

Sur le procédé

PRECOFFRE TH

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

Titulaire(s) : **Société FEHR GROUPE SAS**

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

Groupe Spécialisé n° 3.2 - Murs et accessoires de mur

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V6	<p>Cette version, examinée le 25 juin 2024, annule et remplace l'Avis Technique 3.2/17-842_V5. Les modifications apportées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'épaisseur maximale des isolants à 350 mm ; • Augmentation de l'épaisseur maximale des murs à 70 cm ; • Mis à jour de l'appréciation de laboratoire. 	JUNES Angel	BERNARDIN-EZRAN Roseline
V5	<p>Cette version intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajout des connecteurs ISOLINK inclinés ; • Ajout de la classe d'exposition XS2 et XS3 (uniquement pour les murs sans présence du cylindre INOX) ; • Ajout des classes d'exposition XA (uniquement pour les murs sans présence des connecteurs ISOLINK). 	JUNES Angel	BERNARDIN-EZRAN Roseline

Descripteur :

Procédé de mur à coffrage et isolation intégrés constitué de deux parois minces préfabriquées en béton armé, dont l'une comporte un isolant accolé, maintenues espacées par des organes de liaison (connecteurs composites et ancrages porteuses, cylindre et/ou plat) et servant de coffrage en œuvre à un béton prêt à l'emploi, pour réalisation de murs articulés ou encastrés. La paroi extérieure est librement dilatable.

La paroi intérieure a une épaisseur nominale de 6 à 8 cm. Le noyau a une épaisseur nominale d'au moins 8 cm. L'isolant a une épaisseur qui varie entre 6 et 35 cm. La paroi extérieure a une épaisseur nominale variant de 6 à 9,5 cm.

Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses, en infrastructure ou superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux, de dimension maximale 3,80 x 12,34 m ou 4,10 x 10,50 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.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé.....	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté	5
1.1.1.	Zone géographique	5
1.1.2.	Ouvrages visés.....	5
1.2.	Appréciation.....	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Durabilité	7
1.2.3.	Impacts environnementaux	7
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	8
1.4.	Annexe de l'avis du Groupe Spécialisé.....	9
2.	Dossier Technique.....	10
2.1.	Mode de commercialisation	10
2.1.1.	Coordonnées.....	10
2.1.2.	Mise sur le marché.....	10
2.1.3.	Identification.....	10
2.2.	Description.....	10
2.2.1.	Principe.....	10
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	11
2.3.	Dispositions de conception	15
2.3.1.	Prescriptions communes aux différents éléments.....	16
2.3.2.	Dimensionnement du système de liaison entre les deux parois.....	25
2.3.3.	Principe de conception des liaisons.....	31
2.3.4.	Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités dans leur plan	35
2.3.5.	Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan.....	45
2.3.6.	Méthode de calcul des caractéristiques thermiques du « Précoffré TH »	47
2.3.7.	Justification au feu.....	48
2.4.	Transport, maintien et stockage.....	49
2.4.1.	Prescriptions concernant le transport et stockage	49
2.4.2.	Prescriptions concernant la manutention des panneaux	49
2.5.	Dispositions de mise en œuvre	49
2.5.1.	Equipements nécessaires à la pose	49
2.5.2.	Dimensionnement des lests et étais de stabilisation provisoire	50
2.5.3.	Préparation du chantier.....	50
2.5.4.	Réception du chargement et réalisation du déchargement.....	50
2.5.5.	Disposition de calage de la peau extérieure en phase provisoire.....	50
2.5.6.	Mise en œuvre des aciers de liaisons d'angle	50
2.5.7.	Pose des « Précoffré TH ».....	51
2.5.8.	Bétonnage.....	51
2.5.9.	Etanchéité-Traitement des joints-Traitement des parements.....	52
2.6.	Maintien en service du produit ou procédé	53
2.7.	Traitement en fin de vie	54
2.8.	Assistante technique.....	54
2.9.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	54
2.9.1.	Process de fabrication.....	54
2.9.2.	Contrôle de fabrication et certifications.....	55
2.9.3.	Aspects des parements	56
2.9.4.	Caractéristiques dimensionnelles de fabrication.....	56

2.10.	Rôle des différents intervenants.....	57
2.11.	Mention des justificatifs.....	58
2.11.1.	Résultats expérimentaux.....	58
2.11.2.	Références chantiers.....	59
2.12.	Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre.....	59
Annexe 1 :	Principe de vérification des joints entre Précoffré TH. Détermination de l'effort sollicitant au droit du joint.....	59
Annexe 2 :	Principe de vérification des joints entre Précoffré TH. Calcul des efforts résistants au droit du joint.....	61
Annexe 3 :	Exemples de calcul du pourcentage d'armatures transversales du plan de reprise dans le sens longitudinal.....	63
Annexe 5 :	Cas types de Poutres Voiles en « Précoffré TH ».....	66
Annexe 6 :	Justification des renforts de « Précoffré TH » sous appui ponctuel de poutres.....	71
Annexe 7 :	Coefficients de transmission thermique linéique des ponts thermiques de liaison.....	72
Annexe 8 :	Justification au feu (selon l'Appréciation de laboratoire n°AL14-142_V5).....	74
Annexe 9 :	Dispositions constructives générales - Figures du Dossier Technique.....	75
Annexe 10 :	Exemple de cinématique de pose des armatures de liaison dans les angles (Selon §2.5.6 du Dossier Technique)	

1. Avis du Groupe Spécialisé

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

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine.

Le « Précoffré TH » est utilisable en zones de sismicité 1 à 4 (selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) moyennant les dispositions spécifiques définies dans le Dossier Technique.

1.1.2. Ouvrages visés

Murs de locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels, pouvant comporter une hauteur isolée enterrée, en situation non immergée et dont l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi (sous-sol de deuxième catégorie au sens du NF DTU 20.1 partie 2 §5.2). Les limites de hauteur résultent de l'application des règles de dimensionnement définies et approuvées ci-après.

Les murs à coffrages et isolation intégrés sont porteurs.

Possibilité d'emploi dans les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns ou brouillards salins selon la classe d'exposition XS1 définie dans l'Annexe nationale à l'Eurocode 2 partie 1-1, Notes au Tableau 4.1, moyennant le respect des dispositions indiquées aux paragraphes 2.3.1.4 à 2.3.1.6 du Dossier Technique. L'exposition aux environnements d'agressivité chimiques XA est uniquement acceptée du côté paroi intérieure+ du mur sans présence de connecteurs composites ISOLINK. L'utilisation dans les ouvrages exposés à la mer ou exposés aux embruns ou aux brouillards salins pour les classes XS2 et XS3 est visée uniquement pour les murs sans présence de cylindre INOX

Le procédé « Précoffré TH » peut être associé à l'utilisation des prédalles suspendues à partir de la mise en place de boîte d'attente intégrée ou de la réalisation de réservation dans le mur MC2I.

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

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

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

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

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

1.2.1.2. Résistance au séisme

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

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

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

1.2.1.3. Sécurité au feu

1.2.1.3.1. Réaction au feu

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

1.2.1.3.2. Résistance au feu

Le procédé « PRECOFFRE TH » fait l'objet de l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL14-142_V5. Les éléments « PRECOFFRE TH » visés par cette appréciation de laboratoire ont une épaisseur d'isolant comprise entre 8 et 35 cm.

Suivant l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL14-142_V5, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les tableaux de l'Annexe 8 du Dossier Technique donnent les champs de température dans la partie structurale (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé « PRECOFFRE TH ». La résistance au feu de la partie structurale est vérifiée suivant les prescriptions de la NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale en considérant la partie structurale des murs « PRECOFFRE TH » comme homogène.

L'appréciation de laboratoire n° AL14-142_V5 prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu du voile extérieur librement dilatable en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation des organes de liaison (cylindres métalliques FEHR, plats métalliques MVA HALFEN, connecteurs composites ISOLINK) pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurale.

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

Conformément à l'appréciation de laboratoire n° AL14-142_V5, les ancrs porteuses devront être disposées 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 et ne devront pas être installés en deçà d'une hauteur de 1,00 m au-dessus des linteaux.

L'appréciation de laboratoire n° AL14-142_V5 prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0. L'appréciation n° AL14-142_V5 prescrit également les dispositions constructives à respecter pour la justification du procédé mis en œuvre dans des bâtiments d'habitation de la 3ème et 4ème famille et les Immeubles de Moyenne Hauteur IMH (bâtiment à usage d'habitation dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à plus de 28 m sans être considéré immeuble de grand hauteur).

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

Le système permet de l'assurer normalement.

1.2.1.5. 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.

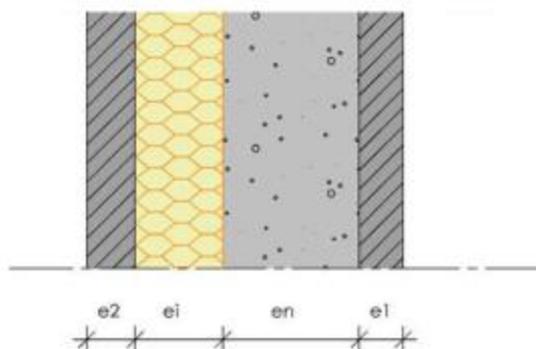
Afin que l'isolant joue convenablement son rôle, la présence en parement extérieur d'une garniture de joint apte à assurer, au droit des joints, sa protection à l'eau est indispensable.

Le calcul du coefficient de transmission thermique du procédé « PRECOFFRE TH » Up se fait par la formule suivante :

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

Où :

- λ_i : Conductivité thermique de l'isolant, certifiée ACERMI, en W/(m.K)
- $n_{connecteur}$: Nombre de connecteurs par m² de paroi, en m⁻²
- $\chi_{connecteur}$: Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et déterminé selon les « Règles Th-Bat », en W/K
- $n_{cylindre}$: Nombre de cylindre par m² de paroi, en m⁻²
- $\chi_{cylindre}$: Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un cylindre et déterminé selon les « Règles Th-Bat », en W/K
- n_{plat} : Nombre de plat par m² de paroi, en m⁻²
- χ_{plat} : Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un plat et déterminé selon les « Règles Th-Bat », en W/K
- e_i, e_1, e_2, e_n : Epaisseurs des différentes couches représentées sur le schéma ci-dessous, en m :



Des valeurs thermiques validées par le CSTB sont données à titre d'exemple à l'Annexe 7 du Dossier Technique pour un isolant de 12 cm ayant une valeur de conductivité thermique $\lambda = 0,035$ W/m.K.

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

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

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

1.2.1.6. Isolation acoustique

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

1.2.1.7. Etanchéité des murs extérieurs

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

1.2.1.8. Risques de condensation superficielle

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

1.2.1.9. Confort d'été

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

1.2.1.10. 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 aux Prescriptions Techniques ci-après. Il ne peut être cependant totalement exclu que, malgré la présence nécessaire d'acières 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'acières de liaison dans les jonctions intérieures, une fissuration du mur au droit des joints est probable.

1.2.1.11. Liaisons avec les ouvrages de second œuvre

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

1.2.2. Durabilité

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

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

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

Elle requiert :

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

1.2.3. Impacts environnementaux

1.2.3.1. Aspects sanitaires

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

1.2.3.2. Impacts environnementaux

Le produit « PRECOFFRE TH » ne dispose d'aucune déclaration environnementale (DE) et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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

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

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

L'Avis Technique actuel ne vise plus les murs « PRECOFFRE TH » non porteurs.

Concernant le système de levage intégré aux MCII, le Groupe tient à préciser que l'Avis intègre l'utilisation des inserts de levage des murs dans des conditions d'épaisseurs définies dans le Dossier Technique. Les capacités portantes des inserts de levage sont déterminées à partir d'essais réalisés suivant le protocole CSTB en date du 16-10-2012. Conformément à ce protocole, les rapports d'essais portant sur le cas de figure le plus défavorable sont établis par un organisme indépendant du demandeur (extérieur au demandeur) qui atteste de la fiabilité des informations

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

1.4. Annexe de l'avis du Groupe Spécialisé

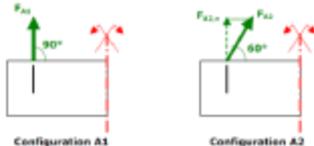
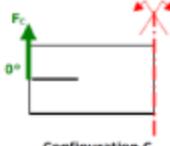
CMU des câbles de levage

La présente annexe fait partie de l'Avis Technique : le respect des valeurs indiquées est une condition impérative de la validité de l'Avis.

Sur la base des rapports d'essais de qualification fournis par le CERIB, les valeurs de la Charge Maximale d'Utilisation (CMU) par câble sont données dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs correspondent à des charges équivalentes pour un levage droit. Elles peuvent être considérées pour un levage avec accrochage direct du crochet d'élingue sur le câble.

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

Réf. câble	Diamètre câble $\varnothing 1$	Epaisseurs nominales du mur MCII e	Epaisseurs nominales parois $h1, h2$	Enrobages nominaux $c_{1r} c_2$	Levage en position verticale du MCII CMU1	Retournement du MCI CMU3
CLTH-9	9 mm	$26 \text{ cm} \leq e \leq 70 \text{ cm}$	$\geq 60 \text{ mm}$	$\geq 15 \text{ mm}$	26,2 kN	19,5 kN
CLTH-12	12 mm	$26 \text{ cm} \leq e \leq 70 \text{ cm}$	$\geq 60 \text{ mm}$	$\geq 15 \text{ mm}$	33,2 kN	19,8 kN

Vérification de la résistance des câbles au levage		
Situation de levage	Levage en position verticale (1)	Retournement
Vérification	$CMU1 \geq \frac{(pA + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$	$CMU3 \geq \frac{1}{2} \frac{(pA + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$
Schémas protocole CSTB		

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

Notations :

- p = poids surfacique du mur de coffrage intégré [kN/m²]
- A = surface du mur de coffrage intégré [m²]
- Q = poids des équipements de sécurité éventuels [kN]
- n_b = nombre de points de levage effectifs : 2 points de levage dans le cas courant (chaque point étant constitué de 2 élingues, donc 4 brins)
- γ_{ed} = coefficient d'effet dynamique dû au levage = 1,15
- γ_{pp} = coefficient d'incertitude sur poids propre = 1,05

2. Dossier Technique

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

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire :

FEHR GROUPE SAS

Route de Froeschwiller

FR-67110 Reichshoffen

Tél. : +33 3 88 80 86 30

Fax : +33 3 88 80 81 34

Internet : <http://www.fehrgroup.com/>

E-mail : info@fehrgroup.com

2.1.2. Mise sur le marché

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

2.1.3. Identification

Chaque « Précoffré TH » est identifié par une étiquette qui comporte la référence du projet, le nom du chantier, le numéro du « Précoffré TH », le numéro du transport, les dimensions du mur, le poids du mur, l'étage, la classe de résistance du béton, la date de fabrication, le nom de l'usine, les références aux certifications et normes.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le procédé de murs à coffrage intégré « Précoffré TH » est destiné à la réalisation de murs porteurs ou non-porteurs en infrastructure et superstructure, de murs de façades, de murs de soutènement, de murs coupe-feu, de murs enterrés et semi-enterrés, de poutres voiles, de poutres et de poteaux destinés à tous types de bâtiments. Il s'agit d'éléments fabriqués sur-mesure, posés à l'avancement du chantier.

Les « Précoffré TH » sont composés en partant de l'intérieur :

- D'un voile préfabriqué intérieur de 6 à 8 cm d'épaisseur équipé d'une nappe d'armatures et de raidisseurs espacés de 60 cm au maximum qui assurent le monolithisme avec le noyau coulé en place.
- D'un vide correspondant au noyau à couler sur chantier d'au moins 8 cm d'épaisseur qui pourra être équipé d'armatures à la fabrication
- D'un isolant de 6 à 35 cm d'épaisseur. Cependant pour tout épaisseur d'isolant au-delà de 20 cm, la justification de la conception du Précoffré TH se fera obligatoirement et uniquement avec des connecteurs ISOLINK type C - EHØ12mm et C-EDØ12mm, décrits au §2.2.2.4.
- D'un voile préfabriqué extérieur de 6 à 10 cm d'épaisseur équipé d'une nappe d'armature.

Ce voile préfabriqué est assemblé au voile préfabriqué intérieur par des connecteurs, en fibre de verre et résine vinylester posés à l'horizontale, et selon le choix de la conception du « Précoffré TH » par un cylindre et/ou des plats en aciers inoxydables ou des connecteurs inclinés à 45°. L'épaisseur totale du mur est comprise entre 26 cm et 70 cm (Cf. Annexe 9 – Figure 1).

Les murs réalisés suivant le procédé « PRECOFFRE TH » peuvent être considérés comme porteurs lorsque l'épaisseur structurale (épaisseur de la paroi intérieure + épaisseur du noyau coulé en place) est supérieure à 16 cm.

L'une ou l'autre paroi préfabriquée pourra être matricée, moyennant que le relief de la matrice s'ajoute à l'épaisseur de la paroi préfabriquée. Un sablage ou polissage ou désactivation du béton des peaux préfabriquées peut être réalisé, moyennant une surépaisseur de la peau concernée par le traitement.

Les liaisons verticales entre murs sont assurées par des armatures rapportées, disposées dans la partie coulée en œuvre ou par des armatures spécifiques intégrées au « Précoffré TH ».

L'encastrement du « Précoffré TH » dans un radier, une dalle, une semelle, une longrine, est obtenu par des armatures en attente ou intégrées aux « Précoffré TH ».

L'encastrement du « Précoffré TH » 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 Précoffré TH peuvent être associés à divers éléments de structure : poteaux et poutres préfabriqués ou coulés en place, prédalles, dalles alvéolaires, ...

Des armatures de poteaux, longrines, linteaux, encadrements d'ouvertures peuvent être incorporées au « Précoffré TH » ou rapportées sur chantier. De même, les huisseries, menuiseries, gaines, boîtiers, platines, négatifs, goujons, do uilles et autres équipements ou inserts, peuvent être incorporés aux « Précoffré TH » ou rapportés sur chantier dans des réservations prévues à cet effet.

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.

L'étanchéité des « Précoffré TH » est assurée soit par un dispositif rapporté, soit par lui-même moyennant des dispositions spécifiques décrites dans le dossier technique ci-après.

2.2.2. Caractéristiques des composants

Les matériaux utilisés pour la fabrication et la mise en œuvre du « Précoffré TH » sont :

- Le béton des voiles préfabriqués
- Le béton de remplissage,
- L'isolant en polystyrène, ou polyuréthane ou laine de roche (uniquement utilisée pour le respect de l'IT 249 : protection au feu de l'isolant)
- Les connecteurs ISOLINK : des tiges filetées en fibres de verre et résine vinylester de chez SCHOECK
- Les cylindres (FEHR) et des plats de liaison (HALFEN ; système MVA faisant l'objet d'un Avis Technique en cours de validité) en acier inoxydable
- Les aciers,
- Les câbles de levage,
- Les douilles,
- Les matériaux de traitement des joints et d'étanchéité,
- Les matériaux d'habillage ou de traitement intérieur et extérieur.

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

2.2.2.1. Béton des parois préfabriquées du « Précoffré TH »

Les bétons réalisés en usine sont conformes aux normes NF EN 13369 et NF EN 206+A2/CN concernant les classes d'environnement. La classe de résistance minimale visée est de C30/37. En cas d'utilisation des cylindres Inox, une classe de résistance minimale C40/50 est nécessaire.

Résistance en compression minimale du béton garantie à la première manutention par les câbles en usine : 20 MPa sur cube 10x10x10cm.

Granulométrie : $D_{max} = 16$ mm.

2.2.2.2. Béton de remplissage

Le béton de remplissage du noyau est conforme aux spécifications du projet à réaliser et au minimum à celles de la norme NF EN 206+A2/CN et dans le cas général de type BPS. La résistance caractéristique $f_{ck,n}$ en compression à 28 jours est au moins de 25 MPa (classe de résistance minimale de C25/30).

- Pour un noyau d'épaisseur inférieure ou égale à 9 cm, utilisation d'un microbéton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulat D_{max} égale à 12,5 mm ;
- Pour un noyau d'épaisseur strictement supérieure à 9 cm, utilisation d'un béton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulat D_{max} égale à 16 mm.

Le béton de remplissage devra afficher une valeur cible pour l'affaissement de 200 mm, portée à 220 mm lorsque les spécificités de bétonnage l'exigent (densité d'armature élevée, faible épaisseur de l'élément...).

La consistance fluide est obtenue par ajout d'un superplastifiant haut réducteur d'eau conforme à la norme NF EN 934-2.

Dans le cas des BAP, toutes les classes d'étalement peuvent être utilisées. Les prescriptions précédentes sur les granulats restent applicables.

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

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

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

2.2.2.3. Panneaux isolants

L'isolant mis en œuvre se présente sous la forme de plaques rigides, découpées sur mesure et d'épaisseur comprise entre 60 et 350 mm pour s'adapter aux exigences thermiques requises par les ouvrages.

L'isolant fait l'objet d'un classement ACERMI garantissant le coefficient λ de conductivité thermique. Le niveau de performances minimales requis pour l'isolant est I2S1O2L3

Les isolants certifiés ACERMI répondent aux normes suivantes :

- Polystyrène expansé : NF EN 13163

- Polystyrène extrudé : NF EN 13164
- Mousse rigide de polyuréthane : NF EN 13165
- Laine de roche : NF EN 13162 (uniquement utilisée pour le respect de l'IT 249 : protection au feu de l'isolant)

2.2.2.4. Connecteurs de liaison SCHOECK ISOLINK

Le connecteur ISOLINK est un barreau pultrudé de diamètre 8 mm (ISOLINK C-EH) et 12 mm (ISOLINK C-EH et C-ED), en fibre de verre et résine vinylester, usiné afin d'apporter des performances d'adhérence similaires aux fers à béton. La tolérance de fabrication sur la longueur d'un connecteur est de +0/-3 mm pour une longueur de connecteur comprise entre 26 et 50 cm.

Tableau 1 : Caractéristiques du matériau

Diamètre	8 mm	12 mm
Contrainte de traction de calcul f_{yd}	445 MPa	
Module d'élasticité E_s	60 GPa	
Conductivité thermique	$\leq 0,5 \text{ W/(m}\cdot\text{°K)}$	
Section	50,3 mm ²	113 mm ²

Contrainte d'adhérence du connecteur ISOLINK :

- Pour un béton de classe C20/25 (phase définitive) :
 $f_{bd} = 2,03 \text{ MPa}$.
- Pour un béton de classe C50/60 (phase définitive) :
 $f_{bd} = 2,58 \text{ MPa}$.
- Pour des classes de béton intermédiaires, f_{bd} peut être déterminé par interpolation linéaire. Par exemple, pour un béton de classe C40/50 :

$$f_{bd} = 2,40 \text{ MPa}$$

A partir de la contrainte d'adhérence, il est possible de déduire la contrainte à l'arrachement du connecteur en fonction du diamètre du connecteur ϕ et de la longueur d'ancrage L_{anc} à l'aide de la formule suivante :

$$N_{Rd} = f_{bd} \times \pi \times \phi \times L_{anc}$$

ISOLINK type C- EH et C-ED 12mm de la société SCHOECK.

La densité minimale des connecteurs est de 4 pièces au m². La distance maximale entre 2 connecteurs est de 50cm (maillage de 50x50 cm).

- Résistance de calcul en compression :
 - $N_{rd,c} = 13,1 \text{ kN}$ pour des épaisseurs d'isolant jusqu'à 200 mm ;
 - $N_{rd,c} = 7.25 \text{ kN}$ pour des épaisseurs d'isolant de 210 mm jusqu'à 350 mm.
- Résistance à l'arrachement du connecteur pour un béton de classe C20/25 pour un ancrage de 60 mm (phase provisoire) : 3,78 kN ;
- Performances mécaniques des connecteurs C-EH et C-ED 12 mm en traction :

Tableau 2 : Performances mécaniques des connecteurs C-EH et C-ED 12 mm :

Longueur Libre en mm (épaisseur d'isolant)	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300	350
Raideur statique en traction C-EH K_{stat} (kN/mm)	113	84,7	67,8	56,5	48,4	42,4	37,7	33,9	27,1	22,6	19,4
Raideur statique en traction C-ED K_{stat} (kN/mm)	80,0	60,0	48,0	40,0	34,3	30,0	26,7	24,0	19,2	16,0	13,7
Raideur dynamique en traction C-ED K_{dyn} (kN/mm)	80,0	60,0	48,0	40,0	34,3	30,0	26,7	24,0	19,2	16,0	13,7

Pour un connecteur C-EH et un voile en C20/25 :

Ancrage dans la paroi (mm)	60	70	80	90	100
Résistance statique de calcul à la traction $N_{Rd,stat}$ (kN)	3,67	4,44	5,20	5,97	6,73
Résistance dynamique de calcul à la traction $N_{Rd,dyn}$ (kN)	6,10	7,37	8,64	9,91	11,18

Pour un connecteur C-ED et un voile en C40/50 :

Ancrage dans la paroi (mm)	60	70	80	90	100
Résistance statique de calcul à la traction $N_{Rd,stat}$ (kN)	5,95	7,23	8,51	9,79	11,07
Résistance dynamique de calcul à la traction $N_{Rd,dyn}$ (kN)	9,88	12,00	14,13	16,25	18,38

- La déformation radiale limite de calcul des connecteurs C-EH 12mm est de 3,7 mm pour des épaisseurs d'isolant supérieures ou égales à 100 mm et de 1,2 mm pour des épaisseurs d'isolant inférieures à 100 mm. Celle-ci a été déterminée à partir des essais de cisaillement réalisés sur les connecteurs C-EH 12 mm afin de limiter les contraintes internes dans les connecteurs (avec prise en compte de la concomitance traction-cisaillement).

Connecteur SCHOECK ISOLINK type C-EH 8mm

La densité minimale des connecteurs est de 5.66 pièces au m². La distance maximale entre 2 connecteurs est de 30 cm (maillage de 30x30 cm).

- Résistance à l'arrachement du connecteur pour un béton de classe C20/25 dans un voile de 60 mm (phase provisoire) : 1,15 kN.
- Performances mécaniques des connecteurs C EH 8 mm en traction :

Tableau 3 : Performances mécaniques des connecteurs C-EH 8mm :

Longueur libre (épaisseur isolant) en mm	60	80	100	120	140	160	180	200
Raideur statique en traction K_{stat} (kN/mm)	50,3	37,7	30,2	25,1	21,5	18,8	16,8	15,1

Ancrage dans la paroi (mm)	60	70	80	90	100
Résistance statique de calcul à la traction $N_{rd,stat}$ (kN)	2,48	3,08	3,69	4,29	4,14
Résistance dynamique de calcul à la traction $N_{rd,dyn}$ (kN)	1,98	2,47	2,95	3,43	3,31

- Les caractéristiques du matériau sont identiques au type C-EH 12 mm (tableau 1). La déformation radiale des connecteurs C-EH 8 mm est inférieure à celle des C-EH 12 mm. On considère donc que les valeurs indiquées dans le paragraphe ci-dessus sont toujours applicables.

2.2.2.5. Ancres porteuses

Les ancres porteuses sont utilisées pour suspendre la paroi extérieure à la paroi structurale et pour résister aux actions sismiques dans le plan.

2.2.2.5.1. Cylindres de connexion

Des cylindres de retenue en acier inoxydable 1.4571 (Z6 CNDT 17.12) de diamètre 255 mm, d'épaisseur 1,5mm servent à reprendre le poids propre du voile préfabriqué extérieur qui reste librement dilatable. (Cf. Annexe 9 – Figure 2)

La longueur de ces systèmes d'accroche ponctuels dépend de l'épaisseur totale du mur.

Le cylindre est armé avec 2 x 2 barres HA 6 de longueur 70 cm positionnées perpendiculairement dans ce dernier, au niveau de la peau intérieure uniquement ou dans la partie de vide du noyau. Il n'est pas prévu d'armature d'ancrage de ce type au niveau du cylindre dans la peau extérieure.

La capacité de résistance en cisaillement des cylindres est indiquée ci-dessous :

Tableau 6 : En zone non sismique :

Ep. d'isolant (cm)	6cm	7 et 8cm	9 et 10cm	11 et 12cm	13 et 14cm	15 à 17cm	18 à 20cm
$V_{rd,stat}$ (kN)	53,7	47,2	42,7	39,9	37,9	36,5	36,4

(Les valeurs du tableau ci-dessus notées en caractère italique sont obtenues par interpolation cubique des valeurs déterminées par les essais.)

Ep. d'isolant (cm)	6	7 à 10	11 à 14	15 à 20
Raideur en cisaillement du cylindre K_{stat} (kN/mm)	50,0	41,0	30,0	26,0

Tableau 7 : En zone sismique :

Ep. d'isolant (cm)	6	7 et 8cm	9 et 10cm	11 et 12cm	13 et 14cm	15 et 16cm	17 et 18cm	19 et 20cm
Valeur de calcul $V_{rd,dyn}$ (kN)	43,0	37,8	34,1	31,7	30,2	29,4	29,1	29,1

Ep. d'isolant (cm)	6	7 à 10	11 à 14	15 à 20
Raideur en cisaillement du cylindre K_{dyn} (kN/mm)	25,0	20,5	15,0	13,0

L'enrobage du cylindre sera supérieur ou égal à 1,0 cm et l'ancrage du cylindre dans le béton sera supérieur ou égal à 4,5 cm.

2.2.2.5.2. Plats MVA HALFEN

Des ancrages complémentaires MVA HALFEN (plats SP-FA) peuvent être intégrés dans le « Précoffré TH » pour assurer la tenue du voile préfabriqué extérieur lorsque le cylindre seul est insuffisant (présence d'ouvertures, capacité résistante insuffisante, cylindre non positionné sur la verticale du centre de gravité de la paroi extérieure...). Ces ancrages sont des plats en acier inoxydable austénitique de 3,0 mm d'épaisseur, de longueur 320 mm.

L'ancrage des plats dans les voiles sera au minimum de 55 mm. Pour des épaisseurs d'isolant supérieures à 15 cm, l'ancrage des plats dans les parois devra être au minimum de 60 mm (l'épaisseur minimale de la paroi extérieure devra donc être supérieure à 60 mm dans ce cas).

Les performances mécaniques des plats sont indiquées dans l'Avis Technique dont relève le procédé MVA.

Ces plats, disposés sur la même horizontale, seront éloignés de l'axe du cylindre d'une distance minimale équivalente à 3 fois leur longueur, soit 960 mm minimum.

Les plats SP-FA peuvent également être utilisés comme ancrage principal.

Le dimensionnement et la disposition de ces plats dans les murs « Précoffré TH » sont réalisés conformément aux prescriptions de l'Avis Technique en cours de validité dont relève le procédé MVA de la société HALFEN.

Conformément à l'Avis Technique du procédé MVA HALFEN, les plats peuvent uniquement être utilisés dans une paroi d'épaisseur minimale de 6 cm pour une épaisseur d'isolant maximum de 12 cm (hors situation sismique), dans une paroi d'épaisseur minimale de 8cm pour des épaisseurs d'isolant comprises entre 12 et 15 cm (utilisation en situation sismique visée dans ce cas) et dans une paroi d'épaisseur minimale de 8,5 cm pour des épaisseurs d'isolant supérieures à 15 cm (utilisation en situation sismique visée dans ce cas).

2.2.2.6. Armatures

Les armatures utilisées pour la fabrication du « Précoffré TH » répondent aux exigences suivantes :

- Les armatures en barres filantes ou façonnées intégrées aux murs conformes à la norme NF A 35-080-1 pour l'acier et NF A35-014 pour l'inox ; nuance B500A, B500B ou B450B.
- Les panneaux de treillis soudés intégrés aux murs ou utilisés en acier de liaison conformes à la norme NF A 35-080-2 ; nuance B500A, B500B ou B450B.

2.2.2.7. Raidisseurs

Des raidisseurs métalliques (Cf. Annexe 9 – Figure 3) espacés d'au plus 60 cm assurent la liaison entre le voile préfabriqué intérieur du « Précoffré TH » et le noyau coulé en place.

Ils peuvent être :

- De section triangulaire, type BDW KT800 ou équivalent, filant sup. $\varnothing 8$, filants inf. $2\varnothing 5$, et diagonales $\varnothing 5$.
- De section triangulaire type BDW KT900 ou équivalent, filant sup. $\varnothing 8$, filants inf. $2\varnothing 5$, et diagonales $\varnothing 5$ ou $\varnothing 6$.
- De section carrée, réalisés sur mesure par les ateliers FEHR. Les cages d'armatures font l'objet d'un contrôle interne.

Le choix du type de raidisseur se fera en fonction des sollicitations de cisaillement à l'interface « Précoffré TH » / noyau.

Les critères de certification des raidisseurs sont indiqués au §2.7.2.6 du dossier technique.

2.2.2.8. Câbles de levage

La manutention et le levage des murs « Précoffré TH » sont réalisés au moyen de câbles acier galvanisés composés de 7 tons de 19 fils de nuance 1960 N/mm² croisé droit et de diamètre 9 mm ou 12 mm. Ces câbles sont intégrés dans les voiles préfabriqués en béton armé au coulage sur une longueur d'ancrage minimale de 1,10 m. Il est prévu 4 câbles au minimum pour chaque « Précoffré TH », soit 2 câbles sur chaque peau, positionnés en vis-à-vis : voir Annexe 9 – Figure 33.

Pour des murs d'épaisseur comprise entre 26 et 70 cm, une peau extérieure de minimum 6 cm et un enrobage intérieur nominal du câble supérieur ou égal à 15 mm, la charge maximale d'utilisation (CMU) par câble est donnée §1.4-Annexe de l'Avis du Groupe Spécialisé, qui donne également le principe de vérification.

Des plans de pose et une notice de pose sont fournis, qui comprennent au minimum :

- L'angle limite de levage

- Le nombre de points de levage
- L'utilisation d'un système équilibrant si les murs sont pourvus de plus de 2 inserts.

2.2.2.9. Douilles

Elles assurent la liaison des voiles préfabriqués du « Précoffré TH » avec les étais tire-pousse pendant le montage et le bétonnage. Elles peuvent assurer la fixation d'équipements de sécurité.

Les douilles métalliques de type « Pfeiffer » ou équivalent sont scellées dans l'un des voiles préfabriqués du panneau (cf. Annexe 9 – Figure 4).

Elles sont utilisées en combinaison avec des boulons métalliques adaptés (M12, M16, M20, etc...) et autorisent des usages multiples serrages – desserrages.

2.2.2.10. Matériaux de jointoiment et d'étanchéité

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

- Fond de joint type cordon en mousse ou en mousse imprégnée ou mousse expansive en polyuréthane pour blocage de la laitance en phase de bétonnage,
- Mastics élastiques de classement SNJF 25 E ou mousse de polyuréthane imprégnée pré-comprimée ou profilés souples d'obturation à encastrer,
- Mortier riche de réparation sans retrait (pour la paroi intérieure),
- Bande autocollante bitumineuse ou joint hydro-gonflant.

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 justifie leur compatibilité avec les environnements auxquels ils seront exposés.

En tête de murs :

- Chaperon béton préfabriqué ou béton fibré à ultra hautes performances,
- Couvertine métallique.

2.2.2.11. Matériaux de traitement du parement des murs (selon leur destination)

- Lasure,
- Peinture avec bouche pores préalable s'il y a lieu,
- Enduit hydraulique,
- Résine,
- Bardage,
- Pierre collée,
- RPE

2.3. Dispositions de conception

Les « Précoffré TH » sont dimensionnés selon les règles usuelles de la résistance des matériaux et du béton armé avec le cas échéant une vérification de la stabilité de forme.

Le dimensionnement des murs se fait sur la base des règles usuelles du béton armé : NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA.

Les prescriptions données dans ce document s'ajoutent ou, pour certaines d'entre elles, se substituent à ces règles.

Les liaisons doivent assurer la continuité mécanique entre :

- La fondation et le mur « Précoffré TH » ;
- Entre deux murs « Précoffré TH » ;
- Le mur « Précoffré TH » et les ouvrages appartenant au même système statique (exemple : plancher, balcon, ...).

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.

Le calepinage des « Précoffré TH » est réalisé en tenant compte :

- Des dimensions maximales de panneaux de 3,80 x 12,34 m
- Des capacités de levage de la grue
- Des joints de calepinage horizontaux et verticaux qui seront positionnés de façon à ne pas réduire la raideur du mur dans son sens porteur privilégié :
 - 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 incidence.
 - Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan horizontal, les joints verticaux sont disposés à proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets, ...), sauf dispositions particulières. Les joints horizontaux sont sans incidence.

Les parois préfabriquées des « Précoffré TH » contre isolant sont conçues pour assurer leur libre dilatation :

- En supprimant tout contact rigide du voile extérieur un autre panneau ou élément de structure,

- En reliant le voile préfabriqué extérieur au voile préfabriqué intérieur porteur :
 - Avec un ou plusieurs cylindres métalliques (pouvant être complété par un ou plusieurs plats d'ancrage) ou par des connecteurs disposés à 45°
 - Avec des connecteurs horizontaux d'entraxe maximal variable selon le type de connecteur retenu.

2.3.1. Prescriptions communes aux différents éléments

2.3.1.1. Résistance caractéristique du béton équivalent

Pour la détermination de la capacité résistante de la section courante de la partie structurale du mur « Précoffré TH », la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton $f_{ck,eq}$ prise en compte pour l'épaisseur totale de la partie structurale du mur correspond à :

$$f_{ck,eq} = \min \left(f_{ck,p} - 3 \times 10^{-4} \cdot E_{c,eff,n} \cdot \left(1 + \frac{3b_{p1}b_n}{(b_{p1} + b_n)^2} \right), f_{ck,n} \right)$$

Avec :

- $f_{ck,p}$ = résistance caractéristique du béton du voile préfabriqué
- $f_{ck,n}$ = résistance caractéristique du béton du noyau coulé en place
- $E_{c,eff,n}$ = module élastique différé du béton du noyau coulé en place

Cette résistance sera prise en compte pour la justification de l'ensemble des éléments réalisés en « Précoffré TH » ou intégrés dans les « Précoffré TH » (poteaux, poutres, poutre voiles...).

Au niveau des joints entre panneaux de « Précoffré TH », ou entre panneau de « Précoffré TH » et autre structure (radier...) la résistance caractéristique équivalente $f_{ck,eq28}$ à 28 jours, prise en compte est égale à $f_{ck,n}$.

Au droit des joints entre panneaux de « Précoffré TH » ou entre élément et parties coulées en place, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du mur (partie structurale), réduite des chanfreins éventuels, si :

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

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

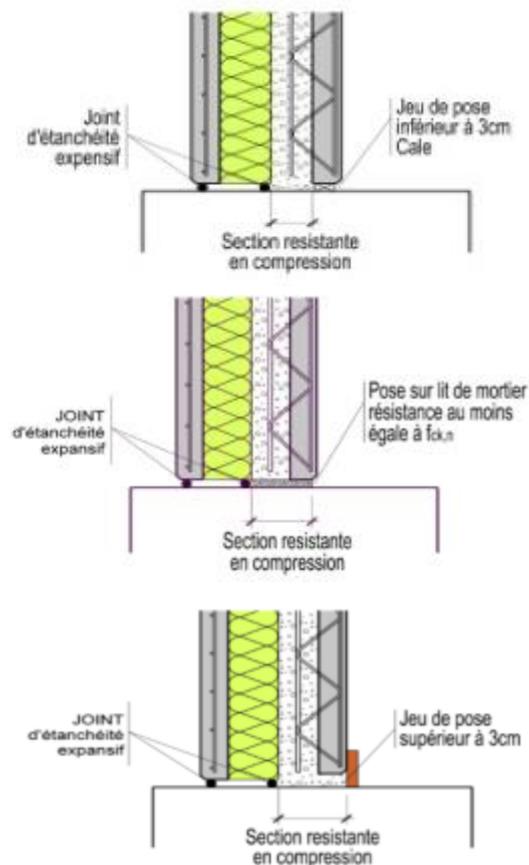


Figure 1 : section résistante en compression en fonction de la réalisation de l'appui en pied du « Précoffré TH »

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

Les dispositions propres à chaque élément sont décrites dans les paragraphes correspondants.

2.3.1.2. Flambement-Effet du second ordre

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

Epaisseur de la partie structurale :	16 cm	22 cm	26 cm
Hauteur limite du « Précoffré TH » :	4 m	5 m	7 m

Hors de ces limites, la détermination de la capacité portante du « Précoffré TH » doit être effectuée en tenant compte d'une excentricité additionnelle e_{add} égale à :

$$e_{add} = \frac{1,5 \times 10^{-4} \cdot E_{c,eff,n} \cdot b_n \cdot b_{p1}}{EI_{eq}} \cdot H^2$$

Avec :

$$EI_{eq} = \frac{E_{c,eff,v}}{4} \cdot \left(\frac{b_{p1}^3}{3} + b_{p1} \cdot b_n^2 \right) + \frac{E_{c,eff,n}}{4} \cdot \left(\frac{b_n^3}{3} + b_n \cdot b_{p1}^2 \right)$$

- H = Hauteur du mur
- b_{p1} = épaisseur de la paroi intérieure préfabriquée
- b_n = épaisseur du noyau

2.3.1.3. Armatures minimales

Les conditions minimales présentées dans cette section sont valables quel que soit la position de l'élément dans l'ouvrage et quel que soit le référentiel qui s'y applique. Ces référentiels peuvent prescrire des conditions plus sévères dont il faudra tenir compte.

Pour des aciers de nuance B500, le voile préfabriqué côté isolant comprend au minimum horizontalement et verticalement :

- 0,2 % de la section de béton si la longueur du panneau est inférieure à 6,00 m et au minimum de 1,88 cm²/ml
- 0,25 % de la section de béton si la longueur du panneau est supérieure à 6,00 m et au minimum de 1,88 cm²/ml

Pour des aciers de nuance B500, le voile préfabriqué côté intérieur comprend au minimum :

- 1,88 cm²/ml d'aciers verticaux

- 1,88 cm²/ml d'aciers horizontaux
- Avec des espacements maximums entre armatures de 33 cm.

Dans la direction parallèle aux raidisseurs, la section d'armature des raidisseurs peut être prise en compte dans cette section minimale.

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

Armatures de renfort dans la paroi extérieure :

Pour les configurations de mur avec deux ancrs cylindriques de liaison tel que prévu au §2.3.2.1.1.2, étant donné la forte rigidité des cylindres dans les 3 directions, des armatures complémentaires seront disposées entre les deux ancrs afin de reprendre les sollicitations générées par le bridage de la dilatation thermique de la paroi extérieure.

En cas de jonction d'angle avec un mur d'épaisseur supérieure ou égale à 45 cm, la peau extérieure sera armée d'un ST25C.

2.3.1.4. Epaisseurs minimales

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

L'épaisseur minimale des parois préfabriquées résulte des exigences d'enrobage et des tolérances d'exécution sur cette dimension et le positionnement des armatures. L'expression de la tolérance résultante Δ_1 sur l'épaisseur du voile structural est donnée au paragraphe §2.3.1.6.

L'épaisseur nominale de la paroi extérieure doit être supérieure ou égale à 6 cm afin de garantir un bon ancrage des dispositifs de connexion.

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

$$b_{p2} \geq e_{ext} + e_{int} + \Phi_v + \Phi_h + \Delta b_{p2}^-$$

Avec :

- e_{ext} : enrobage nominal de la paroi extérieure côté extérieur (fonction de la classe d'environnement côté extérieur)
- e_{int} : enrobage nominal de la paroi extérieure côté isolant (fonction de la classe d'environnement côté isolant)
- Φ_v et Φ_h : diamètre des armatures verticales (v) et horizontales (h) disposées dans la paroi extérieure
- $\Delta b_{p2}^- = 3$ mm : tolérance de fabrication (en moins) sur l'épaisseur de la paroi extérieure préfabriquée

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 valeurs par défaut des tolérances définies au paragraphe §2.3.1.6 et l'expression de $b_{n,min}$ du paragraphe §2.3.1.10. On retiendra une épaisseur nominale du noyau d'au moins 8 cm.

2.3.1.5. Enrobage des armatures

L'enrobage des armatures du mur doit respecter les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA. Il convient notamment de prendre en compte l'adhérence et les conditions d'environnement du mur.

La classe de résistance du béton et l'enrobage compact (donné par la face coffrante des voiles préfabriqués coulés horizontalement sur des coffrages industriels) peuvent permettre de moduler la classe structurale recommandée en vue de la détermination des enrobages minimaux vis-à-vis de la durabilité, au sens du tableau 4.3 NF de l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-1-1/NA.

Sur les faces en contact avec l'isolant, considérer un enrobage correspondant à celui de la classe d'exposition du parement exposé – 5 mm, sans descendre en dessous de celui de la classe XC3.

2.3.1.6. Enrobage des raidisseurs vis-à-vis du noyau coulé en place

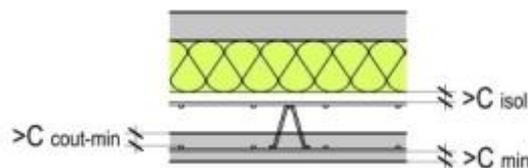


Figure 2 : Définition des enrobages

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

A l'interface peau/noyau, l'enrobage minimal des armatures longitudinales d'un treillis raidisseur est égal à :

$$c_{cout,min} = 10 \text{ mm}$$

Les valeurs d'enrobage nominales sont déterminées à partir des valeurs d'enrobage minimales définies en tenant compte des tolérances d'exécution soient :

- Δe_1^+ la tolérance en plus sur l'enrobage e_1 en face structurale
- Δe_1^- la tolérance en moins sur l'enrobage e_1 en face structurale ;
- Δb_{p1}^- la tolérance en moins sur l'épaisseur de la face structurale ;

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

- $\Delta e_1^+ = 3$ mm ;
- $\Delta b_{p1}^- = 3$ mm ;

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

$$b_{p1} \geq c_{cout_min} + e_1 + \Phi_{t1} + \Phi_{raid_inf} + \Delta_1$$

Avec :

$$\Delta_1 = \sqrt{(\Delta_{e1}^+)^2 + (\Delta_{bp1}^-)^2} = 4,3 \text{ mm}$$

- b_{p1} : l'épaisseur nominale du voile préfabriqué structural
- e_1 : l'enrobage nominal des armatures perpendiculaires au treillis raidisseur, de la paroi intérieure préfabriquée
- c_{cout_min} : l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure de la paroi intérieure préfabriquée
- Φ_{t1} : le diamètre des armatures perpendiculaires aux raidisseurs dans la paroi préfabriquée côté noyau coulé en place,
- Φ_{raid_inf} : le diamètre des armatures inférieures du raidisseur

2.3.1.7. Chevillage

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

Les chevilles implantées perpendiculairement au plan de reprise voile préfabriqué/noyau sont :

- Soit ancrées totalement dans l'épaisseur du voile préfabriqué suivant les préconisations du fabricant ;
- Soit ancrées totalement dans l'épaisseur de béton coulé en place (noyau).

La vérification en traction doit être faite en considérant comme l'épaisseur à fixer, l'épaisseur de la platine augmentée de l'épaisseur du voile préfabriqué concernée par la fixation.

La vérification en cisaillement est effectuée en considérant uniquement l'épaisseur de la platine comme épaisseur à fixer.

Un chevillage parallèle au plan de reprise n'est autorisé que dans la partie béton coulé en place, dont on aura vérifié la bonne compacité. La contribution des voiles préfabriqués est ignorée pour la résistance de l'ancrage de la cheville, sauf disposition contraire de l'avis technique du système de chevillage.

2.3.1.8. Principes constructifs

2.3.1.8.1. Liaisons entre éléments

Des schémas de liaisons types entre éléments sont présentés en Annexe 9. Ces liaisons peuvent être du type :

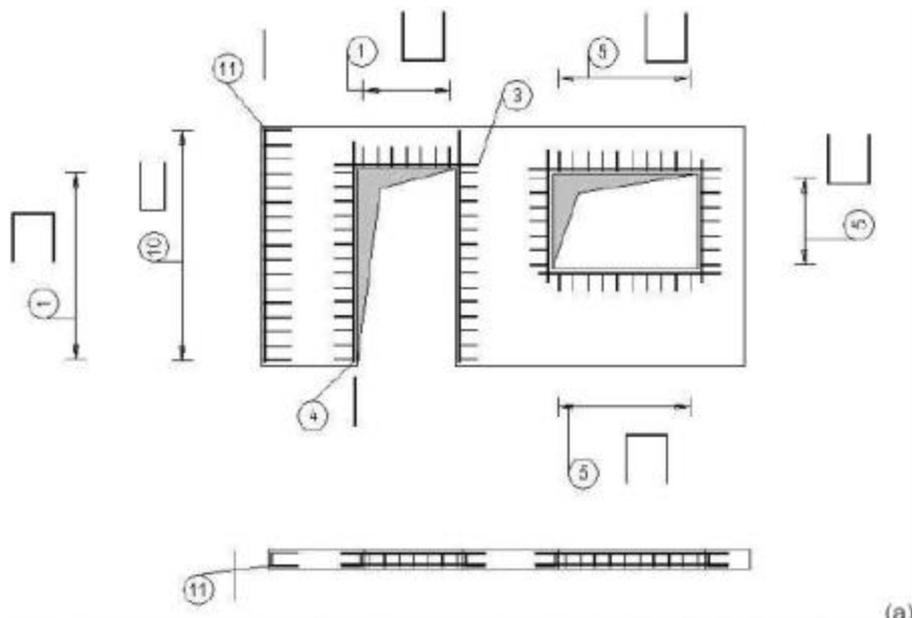
- Articulé : les armatures de liaison sont ajoutées uniquement dans le noyau ;
- Couturé : il s'agit d'une liaison articulée à laquelle est ajoutée une armature de couture reliant les deux voiles préfabriqués, en bord de chaque panneau ;
- Encastrée.

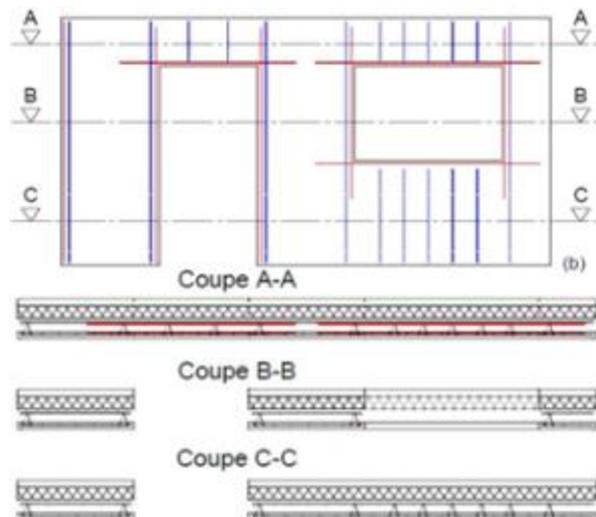
Sauf à rétablir par armatures rapportées la continuité des raidisseurs, les jonctions horizontales des panneaux sont à considérer comme articulées. Des poteaux verticaux, disposés à un espacement compatible avec un effet de plaque, peuvent utilement être utilisés en renfort, le cas échéant.

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.

2.3.1.8.2. Utilisation des treillis raidisseurs dans les renforcements

Les renforcements des bords libres verticaux pourront être réalisés dans les murs « Précoffré TH » à l'aide de treillis raidisseurs. Les barres de chaînages périphériques sont intégrées dans les voiles préfabriqués des murs « Précoffré TH ». Les U de fermeture constructifs peuvent être remplacés par des treillis raidisseurs.





**Figure 3 : Schémas de principe de dispositions équivalentes de renforcement des bords libres verticaux :
(a) solution traditionnelle, (b) solution mur « Précoffré TH »**

Les ferrillages constructifs constitués de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisés dans les murs « Précoffré TH » à l'aide de treillis raidisseurs.

Les filants sont soit intégrés en renforts dans les voiles préfabriqués des murs « Précoffré TH », soit remplacés par les filants des treillis raidisseurs si la section d'armatures est équivalente.

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

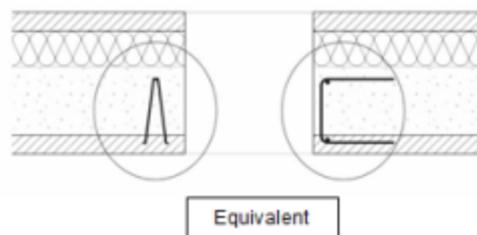


Figure 4 : Equivalence treillis raidisseur et U

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

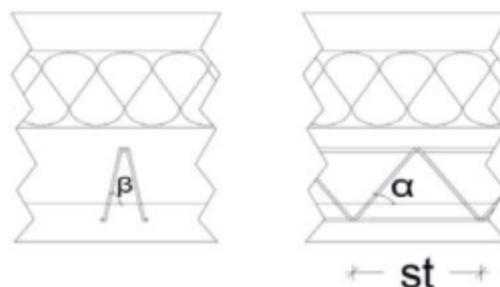


Figure 5 : Géométrie du raidisseur

$$A_{s,eq} = 4 \times F_s \times \frac{\sin \alpha \times \sin \beta}{s_t \times f_{yk}}$$

Avec :

- F_s : effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique calculé de la manière suivante :
$$F_s = \text{Min}(A_{raid,Di} \times R_{e,Di}; F_w)$$
- f_{yk} : limite caractéristique d'élasticité de l'acier des épingles ;
- $R_{e,Di}$: limite apparente d'élasticité de la diagonale du treillis raidisseur ;
- $A_{raid,Di}$: section de la diagonale du treillis raidisseur ;
- F_w : résistance garantie de la soudure des sinusoides sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur ;
- β : angle d'inclinaison des diagonales dans le plan transversal.

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

Largeur de la partie structurale (cm)	Type de raidisseur	Section cm ² /ml	Equivalent espacement armatures classiques en cm		
			φ 6	φ 8	φ 10
15	KT 811 8-5-5	2,52	11	20	31
17	KT 813 8-5-5	2,73	11	19	29
19	KT 815 8-5-5	2,87	10	18	28
21	KT 817 8-5-5	2,97	10	17	27

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 « Précoffré TH ».

2.3.1.8.3. Façonnage des armatures

Aciers structuraux

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

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

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

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

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

Note : dans le cas d'une poutre-voile, seule la configuration (a) de la Figure ci-dessous peut être retenue.

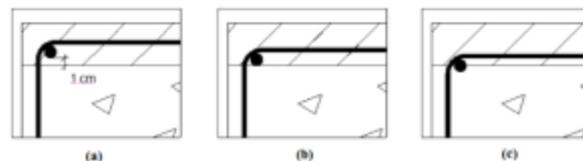


Figure 6 : Enrobage et ancrage des aciers structuraux

Attentes verticales pour murs et poteaux

Les armatures en attente et les armatures de liaison sont disposées de manière à respecter un enrobage minimal autour de ces armatures de 15 ou 30 mm selon la classe d'exposition de l'ouvrage. L'enrobage c_g de ces armatures est compté à partir de la face intérieure des voiles préfabriqués.

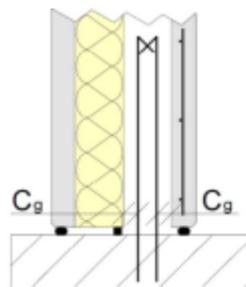


Figure 7 : position des armatures en attente dans un mur « Précoffré TH »

2.3.1.9. Recouvrement d'armature

Les règles de recouvrements des armatures du noyau avec celles intégrées dans les voiles préfabriqués des murs « Précoffré TH » doivent être conformes à l'article 8.7 de la NF EN 1992-1-1 et de son annexe nationale.

2.3.1.10. Eclissage des armatures

Pour les poutres et poutres voiles, les règles d'ancrages d'armatures sur appuis sont celles de la NF EN 1992-1-1 (Art. 9.2.1.4 pour l'appui simple d'about et Art 9.2.1.5 pour l'appui intermédiaire). Les recouvrements d'armatures dans le cas de l'éclissage de la section du tirant seront majorés de 20 % afin de prendre en compte les tolérances de positionnement des armatures dans le noyau.

Ces armatures sont soit intégrées dans les murs « Précoffré TH », soit mises en œuvre dans la partie coulée en place.

Lorsqu'elles sont mises en œuvre dans la partie coulée en place, le nombre maximal de barres est de 2 par lit et le diamètre maximal ϕ_{max} est donné par les expressions suivantes :

Pour les armatures horizontales, le diamètre maximal des armatures est égal à :

$$\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - a_{h1} - a_{h2}}{2}$$

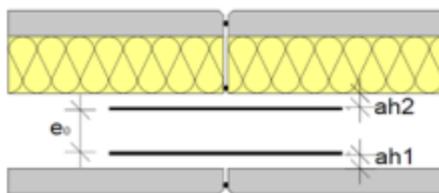


Figure 8 : exemple d'éclissage des armatures horizontales

Pour les armatures verticales, le diamètre maximal des armatures est égal à :

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

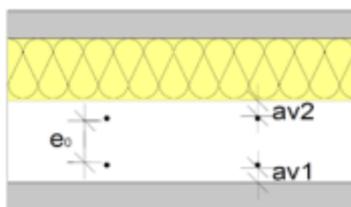


Figure 9 : exemple d'éclissage des armatures verticales

Avec :

- $b_{n,min}$ l'épaisseur minimale du noyau coulé en place, toutes tolérances épuisées ;
- e_0 est nul si les armatures sont accolées ou est égal à $1,7D_{max}$ si les armatures sont espacées.
- a_{h1} , a_{h2} , a_{v1} , a_{v2} : valeurs conventionnelles de l'enrobage prenant en compte les variations dimensionnelles de l'armature et de son positionnement :

$$a_{h1} = \max(25 \text{ mm} ; 1,7D_{max}) + a_{e1} - 15 \text{ mm}$$

$$a_{h2} = \max(25 \text{ mm} ; 1,7D_{max}) + a_{e2} - 15 \text{ mm}$$

$$a_{v1} = \max(25 \text{ mm} ; 1,4D_{max}) + a_{e1} - 15 \text{ mm}$$

$$a_{v2} = \max(25 \text{ mm} ; 1,4D_{max}) + a_{e2} - 15 \text{ mm}$$

- a_{e1} l'enrobage minimal de l'armature de liaison coté paroi structurelle et a_{e2} l'enrobage de l'armature de liaison coté isolant. Les enrobages a_{e1} et a_{e2} prennent les valeurs de 15 mm ou 30 mm selon la destination de l'ouvrage et les conditions d'utilisation (exposition des parois, traitement du joint...).

NOTE : la valeur de l'épaisseur minimale du noyau $b_{n,min}$ se déduit de l'épaisseur nominale du noyau b_n , des tolérances en plus sur les épaisseurs des voiles Δb_1^+ , Δb_2^+ et de la tolérance en moins du mur « Précoffré TH », Δb^- suivant l'expression suivante :

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

Ces dispositions permettent d'assurer, toutes tolérances épuisées, un espace de 25 mm entre les armatures et la face intérieure du voile préfabriqué le plus proche.

Les deux armatures peuvent être remplacées par une section d'armatures équivalente.

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

2.3.1.11. Critère de bétonnage

Hauteur de chute du béton

La hauteur maximale H_{max} de chute du béton n'excèdera pas 3 m quel que soit l'épaisseur du noyau (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 cette 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 entre les voiles préfabriqués (lorsque l'épaisseur du noyau le permet) ou par une trémie latérale respectant cette même hauteur limite. La distance horizontale entre deux trémies ou entre deux positionnements successifs de tube souple ne doit pas excéder 3,80 m.

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

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

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

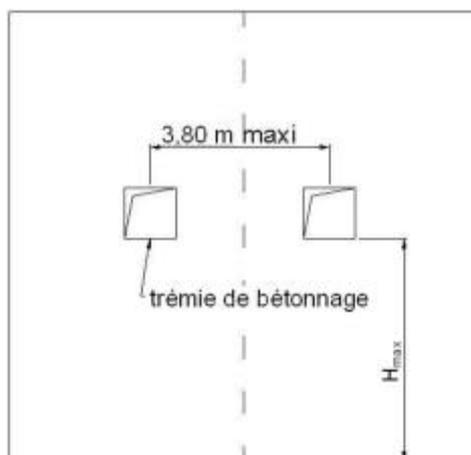


Figure 10 : Hauteur de bétonnage équivalente à hauteur sous trémie

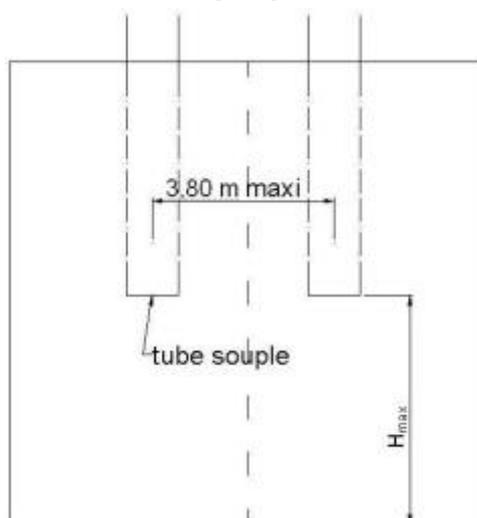


Figure 11 : hauteur de bétonnage équivalente à hauteur sous tube souple

Vitesse de bétonnage

La vitesse de bétonnage est limitée suivant les conditions prévues à l'annexe B informative de la norme NF EN 14992.

Sans étude spécifique, la vitesse de bétonnage est limitée aux valeurs suivantes, quel que soit l'espacement de s connecteurs :

- Température du béton ≥ 15 °C : 70 cm/h
- Température du béton = 10 °C : 60 cm/h
- Température du béton = 5 °C : 50 cm/h

Néanmoins pour les températures inférieures à 15 °C, la vitesse de bétonnage peut être maintenue à 70 cm/h à condition d'utiliser un accélérateur de prise.

L'attention est attirée sur le fait que des dispositions particulières sur le phasage d'exécution des voiles doivent être prises pour que les prescriptions de conditions de bétonnage décrites ci-dessus puissent être respectées. A titre d'exemple, une vitesse bétonnage de 50 cm/h implique le bétonnage d'une hauteur de 3 m sur une durée de 6 heures. Il faudra cependant s'assurer que le béton ait fait prise entre chaque passe.

Pour une jonction d'angle avec un mur d'épaisseur supérieure ou égale à 45 cm, une rangée supplémentaire de connecteurs est à prévoir, à une distance de 15 cm de l'extrémité de la peau intérieure et sur laquelle des connecteurs ISOLINK CEH 12 mm sont positionnés avec un entraxe maximal de 33 cm.

Cependant, sur étude spécifique réalisée par le Bureau d'Etude du fournisseur, la hauteur de bétonnage peut être augmentée, dans la limite de 2,30m, en augmentant la densité des connecteurs en partie courante et au droit des angles le cas échéant. Les autres dispositions de cet article devront être respectées.

2.3.1.12. Dispositions parasismiques

Principe général

L'étude des murs « Précoffré TH » sous les actions sismiques relève de la norme NF EN 1998-1 et de son annexe nationale. Conformément au décret du 22/10/2010, les bâtiments sont répartis en catégories d'importance (I, II, III et IV) (tableau 4.3 de l'EN 1998-1 et son annexe nationale) auxquels correspondent différents coefficients d'importance (article 2.1 (3) de l'EN 1998-1 et son annexe nationale) différenciant ainsi la fiabilité de la structure. De plus, la zone sismique du bâtiment doit être prise en compte (article 3.2.1 de la norme NF EN 1998-1 et son annexe nationale).

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

Tableau 8 : exigences en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance du bâtiment

		Zone de sismicité	1	2	3	4	5
Catégorie d'importance	I						
	II	Maison individuelle	Aucune obligation			Règles Guide CPMI EC8 (si conformité au domaine d'application)	
	II	Autre bâtiment				Eurocode 8	
	III					Eurocode 8	
	IV					Eurocode 8	

Note : (*) : Eurocode 8 sauf pour les bâtiments scolaires respectant le chapitre 1.1 des règles PS-MI.

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

Pour les murs considérés comme éléments secondaires qui ne sont pas considérés comme faisant partie du système résistant aux actions sismiques et dont la résistance et la rigidité vis-à-vis des actions sismiques est négligée, les liaisons entre panneaux sont similaires aux liaisons préconisées en dehors des zones sismiques.

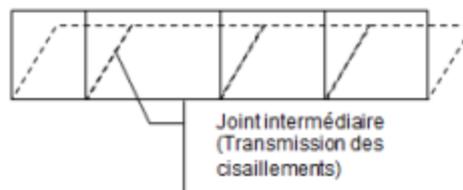


Figure 12 : schéma d'un comportement monolithique des panneaux

Les tirants et chaînages adéquats issus du calcul peuvent être intégrés dans les murs « Précoffré TH ».

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

Principe des vérifications des murs « Précoffré TH » sous sollicitations sismiques

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un panneau de mur « Précoffré TH » est réalisée sur l'hypothèse d'une section homogène équivalente au mur banché substitué.

Les cylindres et les plats doivent se situer dans une zone de béton fretté. Les largeurs des joints entre panneaux sont déterminées par le titulaire en fonction de l'accélération sismique et du nombre d'organes de liaisons à partir des raideurs moyennes en cisaillement des ancrs porteuses. Ces largeurs, indiquées sur les plans, doivent être respectées.

Stabilité locale

Dans le cas de figure où le mur 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 (cf. §2.3.4.4).

A défaut de justifications par le calcul, les murs « Précoffré TH » peuvent être assimilés à un mur banché de section homogène équivalente à condition de respecter les dispositions et justifications exposées dans les paragraphes suivants qui correspondent au cas par défaut.

Liaisons entre murs « Précoffré TH » en zone courante

A défaut de calcul spécifique des liaisons :

- Les liaisons horizontales sont proscrites ;
- Pour les liaisons verticales, il y a lieu de réaliser des poteaux au droit des joints (voir Figure 13), dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des treillis raidisseurs de rive. La section des armatures de liaison est celle déterminée pour le mur banché substitué, majorée du rapport $(b_1 + b_n)/b_n$.

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

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

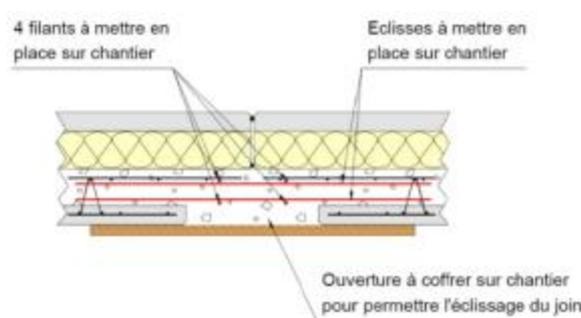


Figure 13 : liaison verticale en zone sismique sans justification par le calcul

Dans le cas de justifications des liaisons par le calcul, l'effort tranchant sollicitant de calcul doit être comparé aux efforts tranchants résistants de calcul mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié. Cette vérification est réalisée par le Bureau d'Etudes Interne du titulaire et a pour objet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié, permettant de reproduire le monolithisme du mur (Voir Annexes 1 et 2).

Liaisons entre murs « Précoffré TH » au droit d'une dalle

Afin de s'assurer du non-glissement du mur « Précoffré TH » par rapport à la dalle sous les sollicitations dynamiques, l'article 5.4.3 et 5.5.3 de la norme NF EN 1998-1 et son annexe nationale doit être vérifié sur la base du noyau du mur « Précoffré TH ».

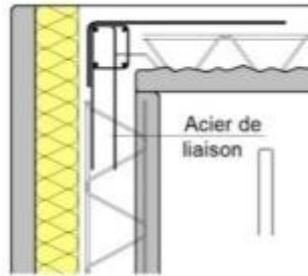


Figure 14 : exemple de chaînage horizontal

Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs murs « Précoffré TH »

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

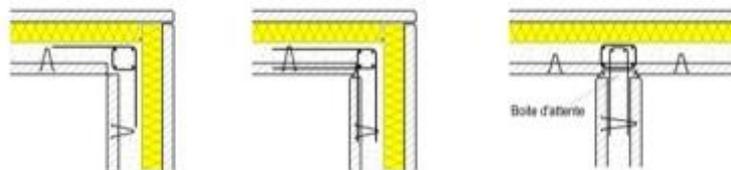


Figure 15 : exemple de chaînage vertical

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

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

Remarque : Les dispositions de ferrailage minimales en zones sismiques peuvent conduire à des encombrements incompatibles avec les plus faibles épaisseurs de noyau. Une augmentation de l'épaisseur totale des éléments de murs « Précoffré TH » est alors nécessaire.

Exigences relatives au façonnage des armatures

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

Exigences relatives à la classe des armatures

Lorsque la NF EN 1998-1 et son annexe nationale est utilisé comme référentiel pour les calculs de prise en compte des effets du séisme sur l'ouvrage, la classe des armatures devra être conformes aux prescriptions de la NF EN 1998-1 et son annexe nationale. Ceci concerne notamment les zones critiques des éléments primaires pour lesquels il ne peut être employé d'armature du type B500 A.

2.3.1.13. Prescriptions particulières aux murs recevant l'application de charges permanentes suspendues à la paroi extérieure

Les charges permanentes légères ($< 0,5 \text{ kN/m}^2$) peuvent moyennant une étude spécifique du fabricant être suspendues au voile préfabriqué extérieur.

La fixation des éléments ne devra pas perturber la libre dilatation de la paroi extérieure (par exemple, degré de liberté au niveau des fixations sur la paroi en mettant en place des trous oblong).

Les autres charges (casquettes, enseignes) seront solidarisées au noyau coulé en place par l'intermédiaire de scellements en inox traversant l'isolant.

Pour assurer la libre dilatation du voile préfabriqué extérieur, la réservation dans le voile préfabriqué extérieur sera plus importante que le dispositif d'ancrage de la charge permanente (cf. Annexe 9 - figure 34).

2.3.2. Dimensionnement du système de liaison entre les deux parois

2.3.2.1. Généralités

Les deux parois préfabriquées en béton sont reliées entre elles par des organes de liaison, destinés à transmettre les charges appliquées sur le voile extérieur à la partie structurale. Les caractéristiques des organes de liaison ont été données aux 2.2.2.4 et 2.2.2.5.

2 types de liaison sont à prévoir et à choisir par le concepteur pour reprendre les charges s'exerçant sur un Précoffré TH :

- Pour la reprise des charges horizontales :
 - Des connecteurs SCHOECK C-EH 12 mm

- Des connecteurs SCHOECK C-EH 8 mm
- Pour la reprise des charges verticales :
 - Des cylindres de connexion et/ou des plats MVA Halfen
 - Des connecteurs SCHOECK C-ED 12mm positionnés verticalement
- Pour la reprise des charges sismiques dans le plan :
 - Des cylindres de connexion et/ou des plats MVA Halfen
 - Des connecteurs SCHOECK C-ED 12mm positionnés horizontalement
- Pour la reprise des charges sismiques perpendiculairement au plan :
 - Des connecteurs SCHOECK C-EH 12 mm
 - Des connecteurs SCHOECK C-EH 8 mm

Pour chaque type de charge (horizontales, verticales, etc.), un seul type d'organe de liaison est admis par « Précoffré TH ». La quantité et la position des organes de liaisons sont déterminées par notes de calcul, selon les spécificités de l'ouvrage.

Le dimensionnement de chaque organe de liaison en fonction de la nature des charges qu'il doit reprendre est détaillé dans les paragraphes suivants.

2.3.2.2. Dimensionnement vis-à-vis de charges verticales : Ancres et connecteurs à 45°

Les ancres ou les connecteurs porteurs sont dimensionnés pour reprendre :

- Le poids propre de la paroi extérieure en tenant compte des surépaisseurs éventuelles liées à l'emploi d'une matrice ou des charges complémentaires induites par un parement complémentaire, noté G

2.3.2.2.1. Règles de mise en œuvre

2.3.2.2.1.1. Connecteurs C-ED 12 mm

Pour la reprise des charges verticales, les connecteurs C-ED 12 mm sont positionnés inclinés verticalement avec un angle de 45°.

Les connecteurs type C-ED 12mm sont découpés droit aux 2 extrémités. Leur longueur est égale à $ep_{mur} \times \sqrt{2}$ et de ce fait, l'angle de mise en œuvre ne pourra jamais être inférieur à 45° (sécurité vis-à-vis des performances mécaniques du connecteur).

Règles de positionnement :

- On prévoira au minimum 2 connecteurs C-ED par peau extérieure.
- A chaque connecteur C-ED est associé un connecteur C-EH
- Une distance minimale de $s_r = 200\text{mm}$ doit être respectée entre 2 connecteurs pour éviter l'interaction entre les cônes de rupture du béton de chaque connecteur.
- Une distance au bord minimale de $b_{min} = 100\text{mm}$ doit être respectée pour permettre la formation du cône de rupture du connecteur C-ED.
- Les connecteurs C-ED doivent être placés de préférence sur l'axe horizontal du centre de gravité et préférentiellement de manière équidistante par rapport cet axe, tout en respectant la distance minimale s_r .
- Ils peuvent également être placés sur l'axe vertical du centre de gravité, en respectant la distance minimale s_r .

2.3.2.2.1.2. Ancres porteuses

Le cylindre de liaison est normalement placé sur la verticale du centre de gravité du voile préfabriqué côté isolant, à mi-hauteur de celui-ci. Lorsque la verticale du centre de gravité traverse une ouverture, le cylindre devra être positionné dans l'allège, de telle sorte que l'axe du cylindre soit toujours à une distance minimum de 50 cm par rapport à l'ouverture et au bord du panneau. Lorsque cette disposition n'est pas réalisable (résistance insuffisante des traverses hautes et basses délimitant la baie, porte-fenêtre, ...), le cylindre sera positionné dans le trumeau le plus large, de telle sorte que l'axe du cylindre soit toujours à une distance minimum de 50 cm par rapport à l'ouverture et au bord du panneau. On lui associe alors un plat d'ancrage dans l'autre trumeau, sur la même horizontale (voir §2.2.2.5.2).

Si le cylindre seul est insuffisant pour reprendre les sollicitations (poids propre, situation sismique, situation d'incendie, ...), un second cylindre pourra être ajouté sur la même horizontale, à une distance entre axes de 765 mm du premier cylindre (cette distance correspond à 3 fois le diamètre du cylindre) comme indiqué dans le schéma ci-dessous :

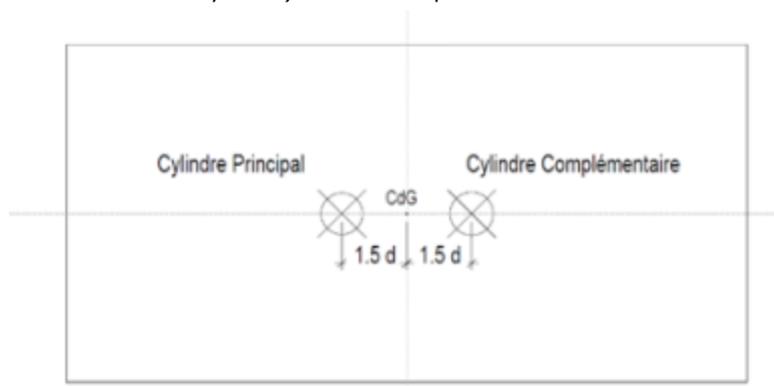


Figure 16 : Disposition du cylindre complémentaire**2.3.2.2.2. Vérification à ELU statique sous le poids propre :**

Ancre porteuses	Connecteurs C-EH
$V_{ELU,stat} \leq V_{Rd,stat} \times n$	$N_{ELU,stat} \leq N_{Rd,stat} \times n$
$V_{ELU,stat} = 1,35G$	$N_{ELU,stat} = 1,35G \times \sqrt{2}$
$V_{Rd,stat}$: résistance statique en cisaillement des ancrages porteuses (voir le §2.2.2.5.1).	Les valeurs de $N_{Rd,stat}$ sont issues du tableau 2.

n : nombre d'ancres ou de connecteurs porteurs

NOTA : Les formules de vérification simplifiées présentées ci-dessus ne sont valables que lorsque le centre de raideur des connecteurs et le centre de masse de la paroi coïncident.

En cas d'excentrement, l'effort sollicitant sera la résultante d'une composante verticale et d'une composante horizontale dues au poids propre.

2.3.2.3. Dimensionnement vis-à-vis de charges perpendiculaires au plan de la paroi

La reprise des charges perpendiculaires au plan de la paroi est assurée soit par les connecteurs SCHOECK C-EH 12mm, soit par les SCHOECK C-EH 8mm.

2.3.2.3.1. Densité minimale

La densité minimale pour chaque connecteur est la suivante :

- C-EH 12 mm : 4 pièces au m², la distance maximale entre 2 connecteurs C-EH est de 50 cm (maillage de 50x50 cm) ;
- C-EH 8 mm : 5,66 pièces au m², la distance maximale entre 2 connecteurs C-EH est de 30 cm (maillage de 30x30 cm) ;

2.3.2.3.2. Charges

Les connecteurs sont dimensionnés pour reprendre :

- L'effort de traction dû à la coulée du béton lors du remplissage du noyau.
- Cette condition est vérifiée pour une vitesse de bétonnage de 70 cm/h maximum et en respectant les maillages indiqués dans le paragraphe ci-dessous (en tenant compte de la résistance à l'arrachement sur un béton C20/25).
- Pour le bétonnage de Précoffré TH positionnés en angle sortant, cette disposition est complétée par les exigences suivantes :
 - La vitesse de bétonnage de la première passe ne devra jamais dépasser 50 cm/h ;
 - La peau extérieure devra avoir une épaisseur minimale de 70 mm pour des épaisseurs structurelles comprises entre 27 et 40 cm inclus ;
 - La peau extérieure devra avoir une épaisseur minimale de 80 mm pour des épaisseurs structurelles supérieures ou égales à 41 cm.
- Une dérogation à la vitesse de bétonnage préconisée ci-dessus est possible, hormis pour la première passe qui devra toujours être de 50 cm/h. Pour un remplissage des « Précoffré TH », la hauteur des passes de bétonnage peut être variable, jusqu'à une hauteur maximale de 2,30 m, moyennant les dispositions suivantes :
 - Une étude spécifique du bureau d'études FEHR validera l'augmentation de la hauteur de bétonnage jusqu'à une hauteur maximale de 2,30 m, par la mise en place de connecteurs C-EH supplémentaires pour reprendre la pression du béton frais dans le « Précoffré TH ».
 - Les murs sur lesquels ce remplissage est autorisé font l'objet d'un marquage spécifique. Une indication sous forme d'étiquette sur le mur précisera que le bétonnage $H_{max} = 2,30$ m est possible sur le « Précoffré TH » concerné.
 - Il est nécessaire de distinguer les « Précoffré TH » concernés par le bétonnage en une passe sur le plan de pose
 - Pour une même phase, tous les murs sont soit à remplir en une passe, soit à remplir selon la vitesse préconisée dans le cas général pour les MCII. Il n'est pas possible sur une même phase d'avoir 2 consignes de remplissage divergentes.
 - Il est nécessaire de s'assurer de la prise effective du béton de la passe venant d'être coulée, avant de procéder au bétonnage de la passe suivante.
- L'étude sera réalisée spécifiquement pour chaque hauteur de bétonnage souhaitée. Les entraxes minimums entre connecteurs et les conditions au bord définis en Annexe 9 – Figure 2 sont à respecter. On veillera également à maintenir un entraxe minimum de 3 fois l'épaisseur de la peau entre les connecteurs. On considère une résistance à l'arrachement dans le béton frais de 3,78 kN. Après avoir défini l'entraxe vertical des connecteurs, on détermine ensuite le nombre de connecteurs nécessaires à reprendre la poussée du béton frais sur la zone d'influence de la rangée de connecteurs concernée.

- Les efforts de pression et de dépression dus au vent. Cette condition est vérifiée quelle que soit la zone de vent considérée.
- Les connecteurs doivent être vérifiés sous la combinaison des efforts de traction dus au gradient thermique et à l'action du vent
- L'action du gradient thermique dans l'épaisseur de la paroi extérieure lié à la présence de l'isolant à l'arrière de celle-ci est prise en compte en considérant une variation de température dans l'épaisseur de la paroi égale à 5°C. L'effort perpendiculaire au plan du panneau engendré par le gradient thermique est déterminé en faisant l'hypothèse d'un système de poutres croisées sur appui élastique (en fonction de la raideur des connecteurs et de la raideur de la paroi extérieure) :

$$N_T = \frac{\alpha \times \Delta T_{lin}}{\frac{8 \times b}{E_c \times a \times b_2^2} + \frac{2 \times b_2}{K_T \times b^2}} + \frac{\alpha \times \Delta T_{lin}}{\frac{8 \times a}{E_c \times b \times b_2^2} + \frac{2 \times b_2}{K_T \times a^2}}$$

Avec : N_T : effort de traction dans le connecteur dû au gradient thermique

α : coefficient de dilatation thermique du béton ($10^{-5} K^{-1}$)

ΔT_{lin} : gradient de la température dans la paroi extérieure (5°C)

a : écartement des connecteurs selon l'axe x

b : écartement des connecteurs selon l'axe y

b_2 : épaisseur de la paroi extérieure

E_c : module d'élasticité du béton (paroi extérieure)

K_T : raideur en traction du connecteur selon tableaux 2 et 3 du §2.2.2.4

- L'action sismique hors plan : le nombre de connecteurs au m^2 sera déterminé en vérifiant que l'action sismique s'exerçant sur un connecteur est inférieure à la résistance en traction du connecteur, soit :

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

Avec :

- n : nombre de connecteurs / m^2 du « Précoffré TH »
- $N_{Rd,dyn}$: résistance dynamique à la traction d'un connecteur

$$N_{ELU,dyn} = k_a \times W_a$$

Avec :

- W_a : poids de la paroi extérieure par unité de surface (y compris surépaisseur béton due à une éventuelle matrice ou le poids supplémentaire du revêtement extérieur)
- k_a : coefficient déterminé d'après le Tableau 9.

Tableau 9 : Coefficient k_a en fonction de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone sismique :

Zone sismique	Catégorie d'importance du bâtiment : 2				
	Classe de sol				
	A	B	C	D	E
III	0,62	0,83	0,93	0,99	1,11
IV	0,9	1,21	1,35	1,44	1,61

Zone sismique	Catégorie d'importance du bâtiment : 3				
	Classe de sol				
	A	B	C	D	E
II	0,47	0,64	0,71	0,75	0,85
III	0,74	1,00	1,11	1,18	1,33
IV	1,08	1,45	1,61	1,72	1,94

Zone sismique	Catégorie d'importance du bâtiment : 4				
	Classe de sol				
	A	B	C	D	E
II	0,55	0,74	0,82	0,88	0,99
III	0,86	1,17	1,30	1,38	1,55
IV	1,26	1,7	1,88	2,01	2,26

Les coefficients sont déterminés en considérant les hypothèses enveloppes suivantes :

- $q_a = 1$
- Coefficient d'importance $g_a = 1$
- $T_a/T_1 = 1$
- $z/H = 1$

Note : Les formules de vérification simplifiées présentées ci-dessus ne sont valables que lorsque le centre de raideur des connecteurs et le centre de masse de la paroi coïncident.

En cas d'excentrement, l'effort sollicitant sera la résultante d'une composante verticale et d'une composante horizontale dues au poids propre.

2.3.2.4. Dimensionnement vis-à-vis de charges dans le plan : Ancres et connecteurs

2.3.2.4.1. Vérification vis-à-vis de la dilatation thermique de la paroi extérieure

L'effort de cisaillement généré par la dilatation thermique différentielle entre les 2 voiles préfabriqués.

La déformation maximale du connecteur notée u_d est variable en fonction de l'épaisseur d'isolant :

- Pour les connecteurs C-EH :
 - $u_d = 1,2$ mm si l'épaisseur d'isolant est inférieure à 100 mm
 - $u_d = 3,7$ mm si l'épaisseur d'isolant est supérieure ou égale à 100 mm

La distance maximale, entre le pôle de dilatation de la paroi (généralement confondu avec le centre du cylindre) et le connecteur le plus éloigné est de :

$$l = u_d / (\alpha_{\text{beton}} \times \Delta\theta)$$

Avec :

$$\alpha_{\text{beton}} : 10^{-5} \text{ m/m/}^\circ\text{C et } \Delta\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

Soit :

Pour les connecteurs C-EH :

$l = 2,40$ m pour une épaisseur d'isolant comprise entre 60 et 100 mm (< 100 mm).

$l = 7,40$ m pour une épaisseur d'isolant comprise entre 100 et 350 mm.

2.3.2.4.2. Vérification à l'ELU sismique :

Les ancrs porteuses ou les connecteurs type C-ED 12 mm positionnés horizontalement avec un angle de 45°, sont dimensionnés pour reprendre les charges sismiques.

Les dispositions constructives détaillées dans le §2.3.2.2 pour les connecteurs C-ED inclinés verticalement s'appliquent également pour les C-ED inclinés horizontalement.

Ancre porteuses	Connecteurs C-ED
$V_{ELU,dyn} \leq V_{Rd,dyn} \times n$	$N_{ELU,dyn} \leq N_{Rd,dyn} \times n$
$V_{ELU,dyn} = E_{d,E}$	$N_{ELU,dyn} = E_{d,E}$
$E_{d,E} = k_a \times G$	$E_{d,E} = k_a \times G \times \sqrt{2}$
$V_{Rd,dyn}$: résistance dynamique en cisaillement des ancrs porteuses (voir le §2.2.2.5.1).	Les valeurs de $N_{Rd,dyn}$ sont issues du tableau 2.

Avec :

- $E_{d,E}$: L'action sismique horizontale dans le plan de la paroi ;
- n : nombre d'ancres ou de connecteurs porteurs
- G : poids total de la paroi extérieure (y compris sur-épaisseur béton due à une éventuelle matrice ou le poids supplémentaire du revêtement extérieur) ;
- k_a : coefficient déterminé d'après le tableau 7

Pour les connecteurs C-ED, la valeur obtenue pour « n » est à prendre en compte pour chaque sens d'orientation des connecteurs de la gauche vers la droite et inversement. Le nombre de connecteurs « n » est donc doublé pour chaque voile.

NOTA : Les formules de vérification simplifiées présentées ci-dessus ne sont valables que lorsque le centre de raideur des connecteurs et le centre de masse de la paroi coïncident. En cas d'excentrement, l'effort sollicitant sera la résultante d'une composante verticale et d'une composante horizontale dues à l'action sismique horizontale.

2.3.2.5. Dimensionnement des joints entre panneaux

La largeur de joint doit être d'au moins de 5 mm, toute tolérance épuisée.

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

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

Avec :

- $\alpha = 1,10 - 5 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (coefficient de dilatation thermique du béton),
- $\Delta T = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ (variation de température),
- L_{max} la distance entre deux points fixes successifs de panneaux encadrant un joint ,
- u_{sis} le déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique (éviter les risques d'entrechoquement, vibration en opposition de phase),
- 5 mm les tolérances de pose
- $\Delta_{fabrication}$ les tolérances de fabrication des panneaux (variables suivant les dimensions des panneaux : voir 2.8.4).

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

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

Avec :

- u_{sis} : déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique
- $E_{d,E,ind}$; effort afférent à une ancre porteuse en situation d'actions sismiques horizontales ou à un connecteur C-ED 12 mm
- K_{dyn} : raideur moyenne en cisaillement dynamique d'une ancre porteuse ou d'un connecteur C-ED 12 mm.

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

2.3.2.6. Exemples de dimensions de la paroi extérieure

Dans le cas d'un panneau plein avec paroi extérieure d'une épaisseur minimale de 6 cm (8 ou 8,5 cm dans le cas des panneaux munis de plats), les surfaces maximales de la paroi extérieure sont données dans les tableaux suivants :

NOTA : les surfaces maximales renseignées dans les tableaux ci-dessous sont déterminées vis-à-vis de la capacité portante des ancrs porteuses ou des connecteurs à 45° et du poids propre de la paroi extérieure (hors action sismique).

Il conviendra également de vérifier le respect de la distance maximale entre le pôle de dilatation de la paroi (généralement confondu avec le centre du cylindre) et le connecteur le plus éloigné conformément aux prescriptions du §2.2.5.1.

- Panneau muni d'un seul cylindre (paroi extérieure de 6 cm) :

Epaisseur de l'isolant (cm)	Surface maximale de la paroi extérieure (m ²)
6	18,8
7 à 14	12,2
15 à 20	10,7

- Panneau muni de deux cylindres (paroi extérieure de 6 cm) :

Epaisseur de l'isolant (cm)	Surface maximale de la paroi extérieure (m ²)
6	37,5
7 à 14	24,5
15 à 20	21,4

- Panneau muni d'un cylindre et d'un plat :

Epaisseur de la paroi extérieure (cm)	Epaisseur de l'isolant (cm)	Surface maximale de la paroi extérieure (m ²)
6	6	31,8
6	7 à 12	22,3
8	13 à 14	14,8
8	15	13,7
8,5	16 à 20	12,4

- Panneau muni de deux plats :

Epaisseur de la paroi extérieure (cm)	Epaisseur de l'isolant (cm)	Surface maximale de la paroi extérieure (m ²)
6	6	26,1
6	7 à 12	20
8	13 à 15	11,3
8,5	16 à 20	9,7

- Panneau muni de connecteurs à 45° et pour une peau extérieure de 60mm :

Nombre de connecteurs inclinés	Surface maximale de la paroi extérieure (m ²)
2	4,10
3	6,15
6	12,30
12	24,6

2.3.3. Principe de conception des liaisons

2.3.3.1. Choix des liaisons entre « PRECOFFRE TH »

Les joints restent des points singuliers qu'il faut traiter comme tels en fonction des sollicitations à reprendre.

2.3.3.1.1. Joints horizontaux

On distingue deux cas :

- La liaison horizontale avec 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 la NF EN 1998-1-1 sur la base du noyau du « Précoffré TH ».

- La liaison horizontale en partie courante du mur (« Précoffré TH » superposés)

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 et du cas de charge étudié. Cf. Annexe 1 et 2.

Cette vérification permet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le voile étudié.

2.3.3.1.2. Joints verticaux

On distingue deux cas :

- La liaison verticale 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 et du cas de charge étudié. Cf. Annexe 1 et 2.

- La liaison verticale d'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 « Précoffré TH » 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 « Précoffré TH » et des contraintes de mise en œuvre.

2.3.3.2. Articulation entre panneaux

2.3.3.2.1. Joint vertical droit, d'angle droit et en T

L'armature de liaison disposée dans le noyau permet de transmettre les efforts tranchants d'un mur à l'autre. La section des armatures est fonction de l'effort tranchant à transmettre. En l'absence de justification précise, elle sera égale à la section des armatures horizontales disposée dans le « Précoffré TH ».

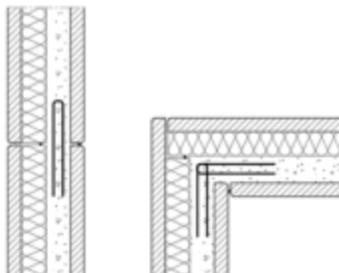


Figure 17 : Joint vertical droit et d'angle droit

2.3.3.2.2. Joint horizontal droit

Le principe de fonctionnement et de détermination des armatures est identique à la solution précédente.

2.3.3.3. Articulation couturée entre panneaux

Les aciers de forme U intégrés au « Précoffré TH » en partie intérieure et disposés aux abouts permettent de garantir une couture optimale de la liaison entre les murs. La chronologie de mise en œuvre de ce type de joint est décrite en Annexe 9 – Figure 16 pour les joints droits.

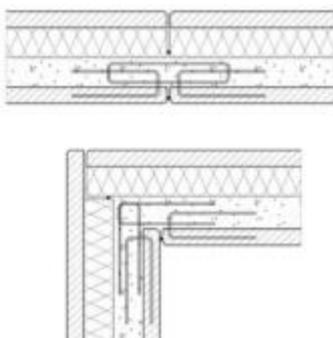


Figure 18 : Articulation couturée entre panneaux

L'ensemble de ces solutions nécessite une fenêtre de tirage en partie inférieure du « Précoffré TH » pour permettre la bonne mise en place du panier d'armature de liaison.

2.3.3.3.1. Joint vertical droit

L'armature de couture disposée dans le noyau permet de transmettre les cisaillements d'un voile à un autre (Cf. Annexe 9 – Figure 16). Les armatures en about de chaque « Précoffré TH » assurent la couture du panier d'armature de liaison.

2.3.3.3.2. Joint d'angle droit vertical

La solution C2 (Cf. Annexe 9- Figure 17) est basée sur le même principe que la solution C1. Elle permet en même temps la réalisation des armatures de poteau à disposer à l'intersection de deux murs.

2.3.3.3.3. Joint d'angle vertical en T

La solution C3 (Cf. Annexe 9- Figure 17) sont basées sur le même principe que la solution C1. Elles permettent en même temps la réalisation des armatures de poteau à disposer à l'intersection de trois murs.

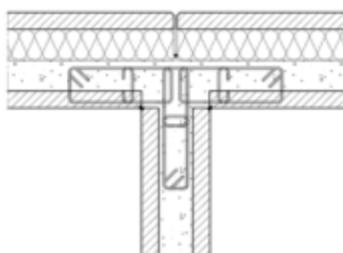


Figure 19 : Joint d'angle vertical en T**2.3.3.3.4. Joint horizontal droit**

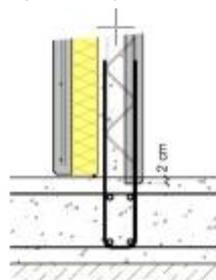
La solution C5 (Cf. Annexe 9- Figure 16) est basée sur le même principe que la solution C1.

2.3.3.4. Encastrement entre panneaux**2.3.3.4.1. Encastrement en pied de panneau****Encastrement avec des armatures intégrées au « Précoffré TH ».**

Ces solutions reposent sur l'intégration des armatures d'encastrement dans le « Précoffré TH » avant la pose du panneau afin de pouvoir bétonner le noyau et la fondation sans reprise de bétonnage.

Cette solution d'encastrement est particulièrement adaptée à la réalisation des murs sur fondations avec débords devant être encastrés en pied.

Des cadres intégrés au « Précoffré TH » dépassent en pied du panneau.

**Figure 20 : Encastrement avec des armatures intégrées au « Précoffré TH »**

Des armatures rapportées assurent la continuité de l'encastrement avec la fondation ou le radier.

Encastrement avec des armatures en attentes dans la fondation

Ces solutions se différencient des précédentes par l'existence systématique d'une reprise de bétonnage à l'encastrement. En général elles ne permettent de mobiliser qu'un moment résistant réduit à l'encastrement à cause de la réduction de hauteur utile du mur.

Néanmoins des solutions particulières permettent le cas échéant de rétablir le moment résistant optimum du mur en coffrant une partie sur chantier.

La continuité de l'encastrement entre la partie porteuse et la fondation est assurée par des armatures en attentes dans la semelle déjà coulée.

Ces armatures viennent en recouvrement avec les aciers placés dans la paroi intérieure du « Précoffré TH ».

Le dimensionnement des armatures d'encastrement sera basé sur une hauteur utile égale à l'épaisseur de la partie structurale (béton coulé en place + paroi intérieure) de « Précoffré TH » réduite de 7 à 8 cm en fonction des diamètres.

Le calage des « Précoffré TH » en pied devra se faire sur des cales de 3 cm minimum pour garantir le bon remplissage du joint en pied afin de pouvoir transmettre les efforts de compression de la zone comprimée du mur vers la fondation ou le radier. Ce joint en pied pourra être coffré à l'aide de bastaings pour éviter les fuites de laitance.

Cette solution peut aussi être retenue pour la réalisation d'une liaison type rotule en pied de panneau.

Dans le cas particulier où le moment d'encastrement est repris par des armatures en attente situées dans la fondation et entre la peau intérieure et l'isolant, on limitera la densité et les diamètres des aciers en attente dans la fondation aux valeurs du tableau suivant :

Epaisseur du noyau coulé en place (cm)	Ø maxi (mm)
	Pour $a_{e1} = a_{e2} = 15$ mm pour $D_{max} = 16$ mm
10	2 barres HA 12
11	2 barres HA 16
12	2 barres HA 20
13	2 barres HA 25
≥ 14	2 barres HA 32

Un soin particulier doit être apporté au remplissage des joints de calage en pied (30 mm) et à la mise en place d'un système empêchant les fuites de laitance (bastaings par exemple), ce qui assure le bon fonctionnement de l'encastrement.

Un contrôle systématique du remplissage du joint intérieur sera effectué après remplissage des murs. Les joints qui n'auront pas été remplis au bétonnage seront à bourrer au mortier de réparation sans retrait.

2.3.3.4.2. Joint vertical droit

La continuité du moment et du cisaillement entre deux panneaux le long d'un joint vertical est assurée par la mise en œuvre d'une clé mécanique réalisée par le croisement des paniers d'armatures (Cf. Annexe 9- Figure 18).

Le décalage entre les deux voiles sera fonction de la section d'armature à recouvrir.

Cette conception avec décalage de joints d'une face à l'autre permet de conserver une hauteur utile de flexion suffisante pour la transmission de moments de flexion, et coudre efficacement la liaison d'un mur à l'autre pour la réalisation d'une étanchéité constructive.

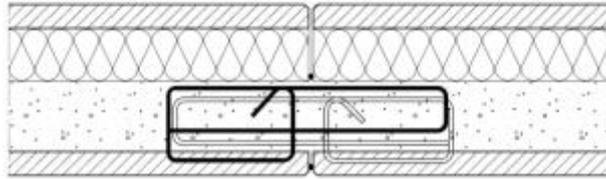


Figure 21 : Liaison E1

La liaison E2 est une variante de la liaison E1, utilisée lorsque les sollicitations sont trop importantes pour être reprises par une liaison E1, ou lorsque le type de liaison en pied de mur ne permet pas de réaliser une liaison E1 (ripage impossible).

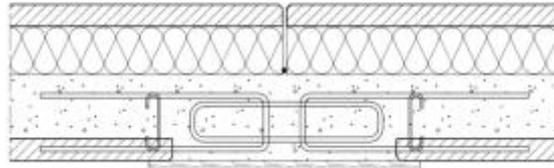


Figure 22 : Liaison E2

2.3.3.4.3. Joint d'angle droit vertical

Le principe constructif est similaire à la solution pour les joints verticaux droits (Cf. Annexe 9- Figure 19). La solution E3 permet de mobiliser un bras de levier optimal.

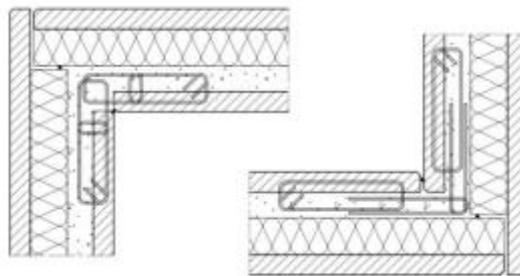


Figure 23 : Joint d'angle droit vertical

La solution E4 garantit l'encastrement par la mise en place d'armatures de coutures dans le noyau. Cette solution permet de mobiliser des efforts importants mais nécessite la mise en œuvre d'un coffrage de rive.

2.3.3.4.4. Joint d'angle vertical en T

Ces solutions permettent de transmettre un moment à l'intersection de 3 panneaux (Cf. Annexe 9- Figure 20).

2.3.3.4.5. Joint vertical biais

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

Pour un angle supérieur à 135° le ferrailage de l'angle peut être intégré dans le « Précoffré TH » selon la même méthode que la solution pour les joints droits (Cf. Annexe 9- Figure 21).

Pour les angles inférieurs à 135° l'armature sera rapportée dans la partie coulée en place.

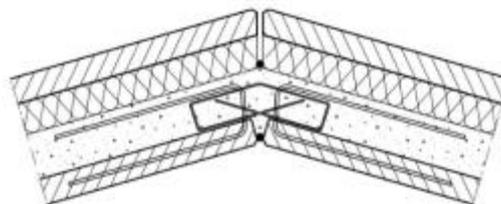


Figure 24 : Joint vertical biais

La Figure 21 en Annexe 9 décompose la cinématique de pose des armatures pour cette solution.

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

2.3.3.4.6. Joint horizontal droit

Le principe constructif est basé sur deux systèmes constructifs :

- La solution E8 (Cf. Annexe 9- Figure 22) :

- Les armatures en attente dans le mur sont calculées avec une hauteur utile réduite.
- Les aciers disposés dans les voiles préfabriqués du « Précoffré TH » sont calculés pour équilibrer le moment sollicitant qui se développe dans la section droite située immédiatement au-dessus de l'extrémité supérieure des attentes.

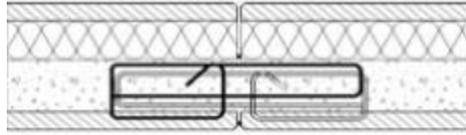


Figure 25 : Joint horizontal droit

- Les murs sont posés sur des cales d'au moins 2 à 3 cm d'épaisseur de manière à permettre le remplissage du joint au bétonnage et la transmission des efforts de compression de la zone comprimée du « Précoffré TH » vers le mur inférieur. Ces joints seront coffrés pour éviter les fuites de laitance.

La solution E9 (Cf. Annexe 9 - Figure 22) est basée sur le même principe constructif que la solution E1.

Le choix de la solution se fera en fonction des sollicitations à reprendre et des contraintes de chantier.

2.3.3.5. Liaison voile/dalle

2.3.3.5.1. Liaison courante

Ce type de liaison correspond à une liaison de type rotule (Cf. Annexe 9 - Figure 14).

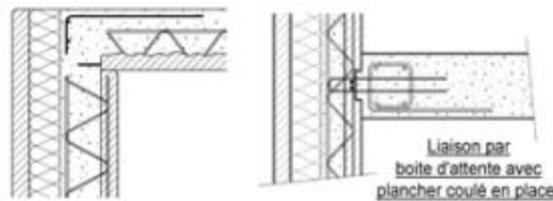


Figure 26 : Liaison courante

La dalle peut être posée en tête de mur « Précoffré TH » ou suspendue à l'aide de boîte d'attentes type STABOX (ou équivalent) disposées dans le mur (Cf. Annexe 9 - Figure 15).

2.3.3.5.2. Liaison encastrée

Afin d'assurer la mobilisation d'un moment entre la dalle et le « Précoffré TH », des aciers sont intégrés en tête de mur pour permettre de retourner le moment d'encastrement (Cf. Annexe 9 - Figure 23).

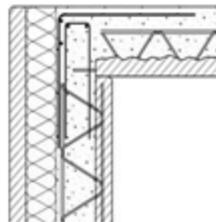


Figure 27 : Liaison encastrée

2.3.4. Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités dans leur plan

2.3.4.1. Prescriptions particulières aux murs courants

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

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

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

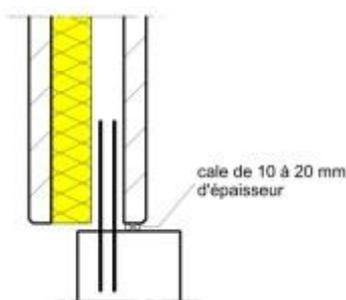


Figure 28 : liaison en pied des murs courants

Dans les cas où le joint présente une largeur minimale de 3 cm ou dans le cas où le joint est réalisé sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur caractéristique en compression du noyau coulé en place $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurale b du mur ($b_{p1} + b_n$).

Les joints de calepinage horizontaux et verticaux sont positionnés de façon à ne pas réduire la raideur du voile dans son sens porteur privilégié.

Pour des murs ayant un fonctionnement principal vertical, les joints horizontaux seront disposés en proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées...). Les joints verticaux sont sans incidence.

Pour des murs ayant un fonctionnement principal horizontal, les joints verticaux seront disposés en proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets...).

Les joints horizontaux sont sans incidence.

Les « Précoffré TH » destinés à la réalisation de murs extérieurs sont composés de deux voiles préfabriqués en béton d'épaisseurs minimales 6cm, reliés et maintenues par des connecteurs en matériaux composites d'entraxe égal à 50 cm au maximum.

L'épaisseur minimale des « Précoffré TH » est de 26 cm.

L'épaisseur minimale du béton coulé en place est de 8 cm.

Le ferrailage des voiles préfabriqués, des réservations, et de la partie coulée en place est fonction des sollicitations, du mode de fonctionnement des murs, et des conditions aux limites. Il est déterminé par l'étude de structure.

Les enrobages minimaux pour les faces exposées, usuellement supérieurs à 2 cm, pourront être réduits à 1,5 cm tel que décrit au §2.3.1.5.

Les ouvertures et baies sont obtenues au moyen de mannequins fixés sur les tables coffrantes. Elles sont renforcées par des armatures périphériques intégrées aux voiles préfabriqués.

Ces armatures pourront être réalisées conformément aux prescriptions du paragraphe 2.3.1.8.2. si les conditions du domaine d'emploi sont respectées.

Le pied du mur sera traité de sorte qu'une évacuation d'eau soit possible (Cf. Annexe 9- Figure 28).

2.3.4.2. Prescriptions particulières aux poteaux

2.3.4.2.1. Définition

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

L'ensemble des prescriptions de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale pour le dimensionnement des poteaux doit être vérifié et complété par les justifications suivantes.

Dans le cas où le poteau est soumis à des efforts horizontaux, le monolithisme de la section doit être vérifié, cf. § 2.3.5

2.3.4.2.2. Type de ferrailage en fonction du type de sollicitations

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

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

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

Avec :

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

Dans l'hypothèse où l'élancement du poteau est supérieur à l'élancement limite calculé ci-dessus, les effets du second ordre ne sont plus négligeables et les méthodes de calcul décrites dans l'article 5.8.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe

nationale peuvent être appliquées : méthode basée sur la rigidité nominale (article 5.8.7) et méthode basée sur la courbure nominale (article 5.8.8). Les calculs sont réalisés sur la base de la section courante.

Sollicitation en compression centrée

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

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

Avec :

- N_{Rd} : l'effort normal résistant de calcul du poteau ;
- A_c : la section résistante du poteau calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels si le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm, ou si la pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs. Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau ;
- f_{cd} : la valeur de calcul de la résistance en compression du béton telle que définie à l'article 3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ;
- A_s : la section d'armatures ;
- σ_s : la valeur de contrainte de calcul dans les aciers égal à f_{yk}/γ_s si $\varepsilon_{c2} > f_{yd}/E_s$ ou à $E_s \varepsilon_{c2}$ sinon (f_{yk} est la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé, ε_{c2} la déformation relative limite du béton sous compression centrée et E_s la valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de béton armé).

Cas particuliers des poteaux résistants par le béton seul

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

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

Avec :

- N_{Rd} : l'effort normal résistant de calcul du poteau
- $f_{ck,eq}$: la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur totale du mur (partie structurelle) telle que définie à l'article 3.21
- A_c : la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :
 - Le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm
 - Ou la pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs
 - Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau de résistance caractéristique à la compression $f_{ck,n}$
- γ_c : coefficient partiel de sécurité relatif au béton tel que défini à l'article 2.4.2.4 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale
- α_{cc} : coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée

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

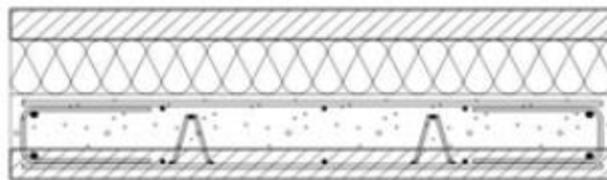


Figure 29 : section de poteau résistant par le béton seul

Cas particuliers des poteaux nécessitant des armatures structurales

Ces poteaux pourront être réalisés en murs « Précoffré TH » mais les dispositions de ferrailage seront les dispositions traditionnelles de réalisation d'un poteau, comme indiquées ci-dessous :

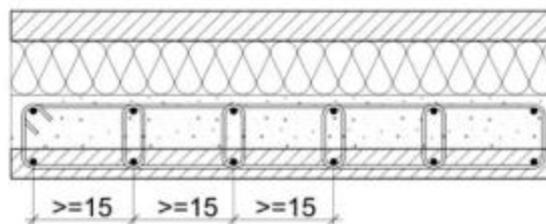


Figure 30 : section de poteau nécessitant des armatures structurales

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

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

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

Avec :

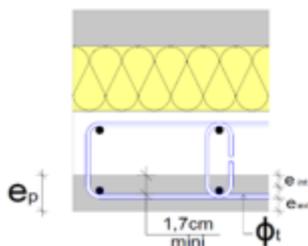
- N_{Rd} : l'effort normal résistant de calcul du poteau
- A_c : la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :
 - Le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm
 - Ou si la pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs
 - Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau de résistance caractéristique à la compression $f_{ck,n}$
- σ_s : la valeur de contrainte de calcul dans les aciers égal à f_{yk}/γ_s si $\varepsilon_{c2} > f_{yd}/E_s$ ou à $E_s \varepsilon_{c2}$ sinon (f_{yk} est la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé, ε_{c2} la déformation relative limite du béton sous compression centrée et E_s la valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de béton armé)
- A_s : la section d'armatures

Par ailleurs, les sections d'armatures doivent respecter les conditions d'éclissage définies au §2.3.1.10.

2.3.4.2.3. Faisabilité de montage des armatures

La bonne mise en œuvre de poteaux à base de « Précoffré TH » nécessite la prise en compte de trois paramètres :

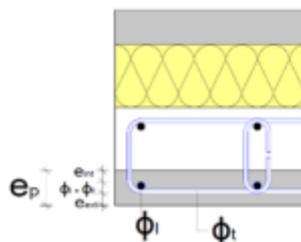
- Le respect de l'enrobage intérieur du cadre du poteau



$$\Phi_t \leq (e_p - 17 \text{ mm} - e_{ext})$$

Figure 31

- Le respect de l'enrobage des armatures longitudinales,



$$\Phi_l + \Phi_t \leq (e_p - e_{int} - e_{ext})$$

Figure 32

Avec :

$$e_{int} \geq 1 \text{ cm}$$

$$e_{ext} \geq 2 \text{ cm}$$

$$6 \leq e_p \leq 7,5 \text{ cm}$$

Si cette dernière condition n'est pas respectée, la section longitudinale peut être mise en œuvre dans la partie coulée en place à condition de respecter les conditions ci-dessous.

- La limitation des sections d'éclissage en fonction des épaisseurs des « Précoffré TH », la section maximale des armatures d'éclissage ou des armatures en attente est fonction de l'épaisseur du « Précoffré TH ».

Epaisseur du noyau coulé en place (cm)	Ø maxi (mm) pour $a_{e1} = a_{e2} = 15$ mm pour $D_{max} = 16$ mm
10	2 barres HA 12
11	2 barres HA 16
12	2 barres HA 20
13	2 barres HA 25
≥ 14	2 barres HA 32

Les dispositions du tableau ci-dessus permettent de préserver toutes tolérances confondues un espace de 2,5 cm minimum entre les armatures d'éclissage et le voile préfabriqués du « Précoffré TH » afin de garantir le bétonnage correct des zones d'éclissage.

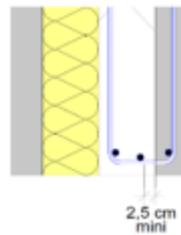


Figure 33

2.3.4.3. Prescriptions particulières aux poutres

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

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

2.3.4.3.1. 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 voile préfabriqué/noyau coulé en place et par la mise en place d'aciers de couture.

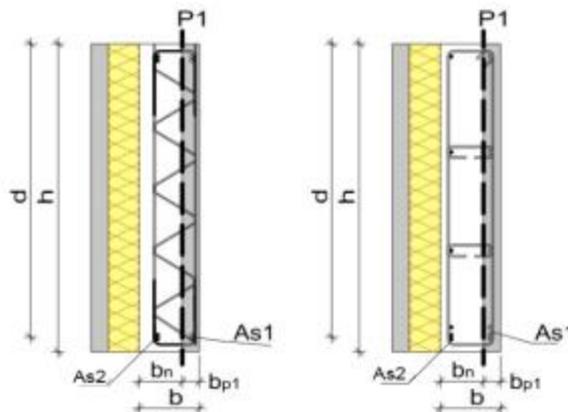


Figure 34: plans de cisaillement dans la section d'une poutre

On peut admettre que l'effort de glissement g_1 par unité de longueur relatif à la largeur du premier voile préfabriqué (sur le plan de cisaillement noté S1) est égale à :

$$g_1 = \max\left(\frac{V_{Ed} \cdot b_{p1}}{z \cdot b}; \frac{V_{Ed} \cdot A_{s1}}{z \cdot A_s}\right)$$

Avec :

- V_{Ed} l'effort tranchant sollicitant de calcul à l'ELU, en kN ;
- A_s la quantité d'armatures tendues égale à la somme des aciers A_{s1} dans le premier voile préfabriqué et des aciers A_{s2} du noyau coulé en place (en cm²) ;
- z le bras de levier de la section, pris égal à 0,9 d (d étant la hauteur utile de la section), en m

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

$$\tau_{Ed,max} = 10^{-3} \times \frac{g_1}{0,6 \cdot h}$$

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

Nota : L'expression de g_1 ci-dessus est valable en partie courante. Le coefficient 0,6 a été choisi pour estimer la part de cisaillement d'interface à reprendre.

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

$$\tau_{Ed,lim} = V_{Rdi} = c \cdot f_{ctd,n} + \rho_{\alpha} \cdot f_t (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) + \rho_{\alpha'} \cdot f_t (\mu \cdot \sin \alpha' + \cos \alpha') \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd,n}$$

Avec :

- $f_{cd,n}$: la valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA
- $f_{ctd,n}$: la valeur de la résistance de calcul en traction du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA
- V_{Rdi} : la valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à l'interface
- La contrainte disponible f_t dans chaque branche du treillis raidisseur est telle que:

$$f_t = \min \left(\frac{R_{e,Di}}{\gamma_s} ; \frac{F_w}{A_{Di} \cdot \gamma_s} \right)$$

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

$$v = 0,6 \cdot \left(\frac{f_{ck,n}}{250} \right)$$

- Les coefficients c et μ dépendent de la rugosité de l'interface et sont définis à l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1. Sauf dispositions complémentaires précisées dans les Avis Techniques et suivies dans le cadre de la certification des produits, les *surfaces* seront classées en lisse avec c_{EC2} égal à 0,20 et μ égal à 0,6. Les valeurs de c et μ sont celles de l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 dans le cas d'une surface de reprise lisse avec la minoration suivante : $c = c_{EC2}/1,1$ (soit c égal à 0,18).

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

- α et α' sont les inclinaisons des diagonales des treillis raidisseurs par rapport au plan de reprise dans le sens longitudinal ;
- ρ_{α} et $\rho_{\alpha'}$ sont les pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' , calculés comme présenté à l'Annexe 4.

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

L'Annexe 4 illustre le principe de calcul de la contrainte de cisaillement limite $\tau_{Ed,lim}$.

Le plan de reprise peut être renforcé en resserrant les treillis raidisseurs ou en disposant des raidisseurs de renforts pour augmenter la valeur de ρ (cf. Annexe 4).

Si la valeur limite de la contrainte de cisaillement est telle que $\tau_{Ed,lim} = V_{Rdi}$ est supérieure à la contrainte v_{min} égale à $0,35 f_{ck,eq}^{0,5} / \gamma_c$ telle qu'indiquée dans l'annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA (6.2.2(1) Note) alors il est nécessaire de disposer des armatures transversales d'effort tranchant.

2.3.4.3.2. Vérifications sur appuis

Les règles d'ancrages d'armatures sont celles de la NF EN 1992-1-1 et de son annexe nationale. Pour le calcul, sauf dans le cas où la vibration est aisée, le dimensionnement est réalisé pour les armatures dans le noyau en considérant un coefficient d'adhérence η_1 égal à 0,7 pour des armatures horizontales de diamètre supérieur à 12 mm. Dans tous les autres cas, le coefficient d'adhérence η_1 est égale à 1.

L'article 9.2.1.4 s'applique pour l'appui simple d'about et l'article 9.2.1.5 s'applique pour l'appui intermédiaire.

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

- Cas 1 : $b_{app} = b_n$ correspond à l'épaisseur du noyau du mur « Précoffré TH » ;

Cas 1 : b_{app} correspond à l'épaisseur coulée en place ($b_0 = b_n$)

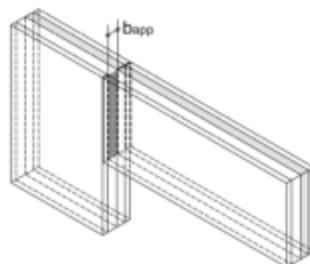


Figure 35 : Cas 1

- Cas 2 : $b_{app} = b_n + b_{p1} - ch_1$ correspond à l'épaisseur totale réduite d'une épaisseur de voile préfabriqué et d'une largeur de chanfrein éventuel ;

Cas 2 : b_{app} correspond à l'épaisseur du noyau coulé en place plus le voile préfabriqué intérieure ($b_0 = b_n + b_{p1}$)

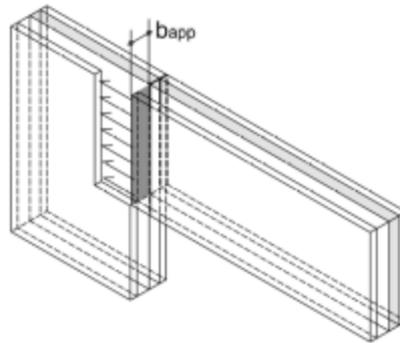


Figure 36 : Cas 2

Avec :

- b_n : l'épaisseur du noyau coulé en place
- b_{p1} : l'épaisseur du premier voile préfabriqué
- ch_1 : la largeur des chanfreins du voile préfabriqué structurel

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

2.3.4.3.3. Résistance à la torsion

Nota : Comme pour les poutres élancées, on doit éviter de faire travailler les éléments de mur en torsion, notamment en raison des déformations qui en résultent.

Toutefois, lorsqu'on ne peut pas éviter de le faire, l'article 6.3 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale s'appliquent.

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

- Soit l'épaisseur b_n du noyau (dans le cas d'un joint du type cas 1 ci-dessus)
- Soit l'épaisseur totale réduite d'une largeur de chanfrein éventuel ($b_n + b_{p1} - ch_1$) dans le cas d'un joint du type cas 2 ci-dessus

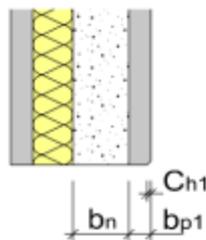


Figure 37 : Résistance à la torsion

Si la largeur du chanfrein (ch_1) est inférieure au $1/10e$ de la plus petite dimension de la section prise en compte dans le calcul de la torsion, alors la présence de ce chanfrein est négligée.

2.3.4.3.4. Faisabilité de montage des armatures

La bonne mise en œuvre des poutres à base de « Précoffré TH » nécessite la prise en compte de trois paramètres :

- Le respect de l'enrobage intérieur du cadre de la poutre pour assurer la résistance du « Précoffré TH » du bétonnage pour les poutres en « Précoffré TH » ne comportant pas de raidisseur,

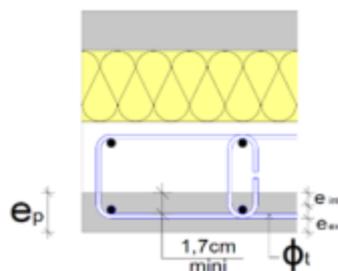


Figure 38

$$\Phi_t \leq (e_p - 17 \text{ mm} - e_{ext})$$

- Le respect de l'enrobage des armatures longitudinales,

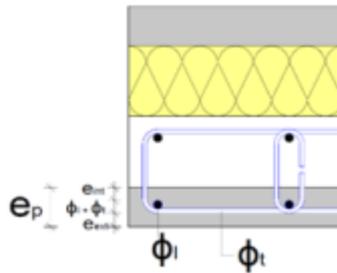


Figure 39

$$\Phi_l + \Phi_t \leq (e_p - e_{int} - e_{ext})$$

Avec :

$$e_{int} \geq 1 \text{ cm}$$

$$e_{ext} \geq 2 \text{ cm}$$

$$6 \leq e_p \leq 7,5 \text{ cm}$$

Si cette dernière condition n'est pas respectée, la section longitudinale peut être mise en œuvre dans la partie coulée en place à condition de respecter les conditions ci-dessous.

- La limitation des sections d'éclissage en fonction des épaisseurs des « Précoffré TH », la section maximale des armatures d'éclissage ou des armatures en attente est fonction de l'épaisseur du « Précoffré TH ».

Epaisseur du noyau coulé en place (cm)	Ø maxi (mm) pour $a_{e1} = a_{e2} = 15 \text{ mm}$ pour $D_{max} = 16 \text{ mm}$
10	2 barres HA 8
11	2 barres HA 14
12	2 barres HA 16
13	2 barres HA 20
14	2 barres HA 25
≥ 15	2 barres HA 32

pour un positionnement de deux barres non accolées.

Les dispositions du tableau ci-dessus permettent de préserver toutes tolérances confondues un espace de 2,5 cm minimum entre les armatures d'éclissage et le voile préfabriqué du « Précoffré TH » afin de garantir le bétonnage correct des zones d'éclissage.

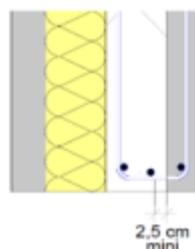


Figure 40 : Espacement entre les armatures d'éclissage et le voile préfabriqué du « PRECOFFRE TH »

2.3.4.4. Prescriptions particulières aux poutres-voiles

Sont considérées comme « poutre-voile » les poutres droites de section constante dont la hauteur de section est supérieure au tiers de la portée selon l'article 5.3.1 (3) de la norme NF EN 1992-1-1.

Les poutres-voiles réalisées en tout ou partie à l'aide de murs « Précoffré TH » sont dimensionnées selon la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

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

Les vérifications portent principalement sur les points suivants :

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

L'Annexe 6 présente les différents cas types qui peuvent être rencontrés.

2.3.4.4.1. Vérification de la stabilité d'ensemble

Il convient de tenir compte des effets d'instabilité latérale des poutres-voiles par une épaisseur minimale du mur « Précoffré TH ».

L'épaisseur minimale du mur « Précoffré TH » doit être au moins égale à :

$$b \geq 0,14 \cdot L \cdot \sqrt[3]{\frac{p_{Ed}}{f_{ck,eq} \cdot h}}$$

Avec :

- p_{Ed} la charge appliquée par unité de longueur du voile sous la combinaison d'actions prises en compte dans le calcul à l'ELU ;
- h la hauteur de la poutre-voile ;
- L la portée de la poutre-voile ;
- $f_{ck,eq}$ la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur totale du mur « Précoffré TH » (partie porteuse).

Cette vérification n'est pas à mener dans le cas de panneaux de murs « Précoffré TH » efficacement raidis par des membrures supérieures et inférieures solidaires des montants d'appui.

Dans le cas de présence de joints de calepinage et quelques soient leurs positions, seule l'épaisseur du noyau est prise en compte pour cette vérification. Dans le cas contraire, l'épaisseur totale du mur « Précoffré TH » (partie porteuse) est prise en compte.

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

- L'épaississement du mur « Précoffré TH » faisant poutre-voile,
- L'ouverture partielle ou complète des joints entre murs, c'est-à-dire l'ouverture, sur le voile préfabriqué structurel, des joints qui seront remplis pour reconstituer la section.

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

2.3.4.4.2. Vérification des points singuliers (joints entre murs « Précoffré TH »)

Les dispositions constructives au droit des joints doivent respecter les prescriptions de l'article §2.3.3 (principe de vérification des liaisons au droit des joints).

Les Annexes 2 et 3 détaillent les principes de vérification des liaisons entre murs « Précoffré TH ».

Les abouts des murs « Précoffré TH » constituant les poutres-voiles doivent être munis de coutures.

A défaut de justification de la résistance de la liaison, une poutre-voile doit être inscrite dans un panneau de mur « Précoffré TH ».

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

Pour le recouvrement des barres coupées et requises par le calcul, il y a lieu d'appliquer le paragraphe 2.3.1.9 et 2.3.1.10.

2.3.4.4.3. Faisabilité de mise en œuvre des armatures

Lorsque les armatures principales des tirants inférieurs ou supérieurs de la poutre voile sont coupées au droit d'un joint, elles sont éclissées dans le noyau coulé en place.

L'épaisseur du noyau coulé en place doit alors être suffisante pour assurer aisément le logement et l'enrobage des armatures d'éclissage.

Le diamètre maximum des armatures d'éclissage est déterminé en fonction de l'épaisseur du « Précoffré TH ».

Epaisseur du noyau coulé en place (cm)	Ø maxi (mm) pour $a_{e1} = a_{e2} = 15$ mm pour $D_{max} = 16$ mm
10	2 barres HA 12
11	2 barres HA 16
12	2 barres HA 20
13	2 barres HA 25
≥ 14	2 barres HA 32

Ces dispositions permettent de préserver toutes tolérances confondues un espace de 2,5 cm mini entre les armatures d'éclissages et le voile préfabriqué intérieur du mur « Précoffré TH » afin de garantir le bétonnage correct du talon de la poutre voile.

Les armatures d'éclissage seront ligaturées entre elles de manière à les maintenir au centre du noyau pendant le bétonnage.

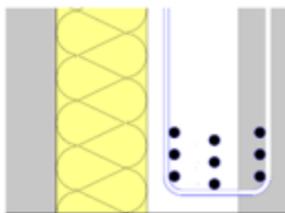


Figure 41 : Faisabilité de la mise en œuvre des armatures

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

2.3.4.5. Prescriptions particulières aux acrotères

La conception des acrotères doit répondre aux prescriptions de l'article 7.2.4 du DTU 20.12 et aux prescriptions particulières ci-après.

Les acrotères en « Précoffré TH » sont réalisés soit par prolongement des « Précoffré TH » de façade, soit par une pièce complémentaire rapportée au-dessus de la toiture.

Pour le traitement des acrotères en « Précoffré TH », on distingue les acrotères hauts et les acrotères bas.

2.3.4.5.1. Acrotères hauts (au sens du DTU 20.12)

Les acrotères hauts peuvent être incorporés aux « Précoffré TH » du dernier niveau ou sont réalisés par des pièces complémentaires rapportées au-dessus de la toiture et liaisonnées à la dalle.

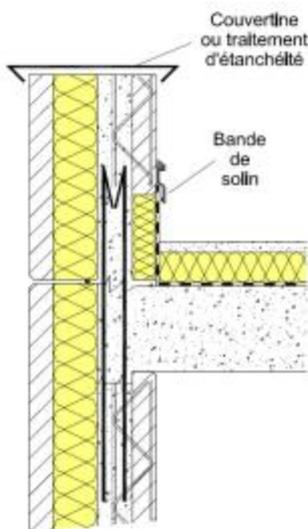


Figure 42 : Acrotères hauts

Les acrotères hauts sont constitués :

- D'une partie basse ferrillée en continu
- D'une partie supérieure fractionnée, exempte d'armatures de liaisons et dont les joints restent vides sur toute l'épaisseur des murs, intégrant une ancre porteuse et des connecteurs assurant la liaison entre les parois préfabriquées intérieures et extérieures du « Précoffré TH ».

Le fractionnement de la partie supérieure des acrotères sera obtenu 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.

L'épaisseur minimale du noyau en béton coulé en place sera de 100 mm.

A la pose, la stabilisation de la partie supérieure est réalisée en calant la peau intérieure sur un chevron et en étayant celle-ci sur la dalle.

Les joints de fractionnement seront espacés d'au plus 8 mètres dans les régions sèches ou à forte opposition de température, 12 mètres dans les régions humides ou tempérées (par référence au DTU 20.12). Ils pourront être confondus avec les joints de murs « Précoffré TH » et auront une largeur de 2 cm. S'ils sont espacés de 4 mètres dans les régions sèches ou à forte opposition de température, 6 mètres dans les régions humides ou tempérées, la largeur des joints de fractionnement peut être ramenée à 1 cm.

Lorsque la longueur des « Précoffré TH » dépasse les limites fixées ci-dessus, ils seront recoupés sur la hauteur de la partie fractionnée par un joint de construction réalisé au moment de la fabrication.

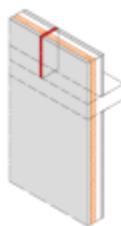


Figure 43 : Acrotères hauts. Joints de construction

Faisabilité de montage des armatures

Sur la hauteur du bandeau continu inférieur les « Précoffré TH » peuvent être équipés au droit des joints d'une réservation disposée côté toiture, permettant le bon éclissage des armatures de la partie continue de l'acrotère.

2.3.4.5.2. Acrotères bas

Les acrotères bas réalisés en murs « Précoffré TH » sont incorporés aux murs « Précoffré TH » du dernier niveau et sont réalisés par le prolongement de ces derniers au-dessus de la toiture.

Suivant que l'étanchéité est protégée par une engravure réalisée dans l'épaisseur du mur, par une couvertine, ou par une bande de solin métallique, la face intérieure de l'acrotère est réalisée en « TH » ou est coulée en place.

Quel que soit le principe utilisé, l'entreprise devra mettre en place sur le chantier, un isolant en partie intérieure et en partie supérieure de l'acrotère, afin de limiter les ponts thermiques. Le choix de l'isolant devra se faire en fonction de la performance thermique demandée pour le bâtiment.

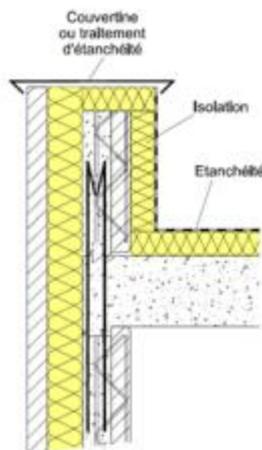


Figure 44 : Cas des acrotères bas

Selon le DTU 20.12, il est nécessaire que l'épaisseur de l'acrotère soit supérieure à 100 mm.

Le ferrailage de l'acrotère est intégré partiellement ou totalement dans le mur « Précoffré TH ».

Le ferrailage longitudinal des acrotères bas est éclissé au droit de chaque joint vertical par la mise en place d'armatures de section équivalente dans le noyau coulé en place.

2.3.4.5.3. Protection du faîtage

La tête des acrotères sera systématiquement protégée des infiltrations d'eau qui pourraient se produire entre les voiles préfabriqués du « Précoffré TH » et la partie coulée en place. Cette protection sera réalisée conformément aux dispositions de §2.4.5.4.

Les joints d'acrotères sont traités à l'identique des joints courants de façade et en continuité de ceux-ci. (Voir §2.4.5.2)

Ce traitement sera mis en œuvre sur tout le contour de l'acrotère, en dehors de la partie protégée par la remontée d'étanchéité.

2.3.5. Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan

2.3.5.1. Prescriptions communes

Encastrement avec armatures en attente

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

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

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

La contrainte tangente à l'interface voile préfabriqué/noyau coulé en place est prise conventionnellement égale à :

$$\tau_{Ed} = 1,1 \frac{V_{Ed}}{b \cdot l}$$

Avec :

- V_{Ed} l'effort tranchant de calcul agissant à l'ELU évalué pour une bande de largeur l ;
- b l'épaisseur totale du mur (partie structurelle).

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

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{l \cdot I}$$

S étant le moment statique de la section d'épaisseur b_{p1} (paroi intérieure préfabriquée) par rapport au centre de gravité de la section, et I le moment d'inertie de la section de hauteur b supposée homogène.

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

$$\tau_{Ed} = \frac{6 \cdot V_{Ed} \cdot b_{p1} \cdot (b_n)}{b^3}$$

Cette contrainte doit être comparée à la valeur de la contrainte maximale de cisaillement calculée grâce à la méthode présentée à l'Annexe 4. Si nécessaire des armatures de renfort doivent être mises en place.

2.3.5.2. Prescriptions particulières pour les éléments bi-articulés en 1^{er} niveau de sous-sol

On peut se dispenser des dispositions spécifiques aux murs sollicités perpendiculairement à leur plan, décrites ci-dessus (Cf. §2.3.5.1) si :

- Les éléments sont bi-articulés ;
- Ils sont utilisés en 1^{er} niveau de sous-sol (hauteur libre inférieure à 3 m) ;
- Il existe au moins un niveau en superstructure ;
- Ils se trouvent en situation non immergée ;
- L'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi (sous-sol de deuxième catégorie au sens du NF DTU 20.1 partie 2 §6.3).

2.3.5.3. Prescriptions particulières aux murs enterrés

La reprise de sollicitations dans les deux directions peut être envisagée à condition d'adopter des dispositions constructives adéquates. Le cas courant correspond au mur travaillant en flexion verticale entre fondation et planchers ou entre deux planchers. Cependant, le mur peut aussi être conçu pour travailler en flexion horizontale, moyennant un calepinage horizontal. La stabilité de la partie porteuse sera vérifiée selon §2.3.5.1. Les armatures de flexion de la partie courante du mur sont disposées dans la peau intérieure du panneau.

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.

Les armatures de reprise au niveau des planchers sont disposées dans le béton coulé en place ou peuvent être intégrées dans le mur « Précoffré TH » 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.

Il est nécessaire de vérifier la stabilité de la paroi extérieure sous la poussée des terres :

Soit $M [kN.m]$ le moment maximal généré sur la paroi extérieure en béton par la poussée des terres correspondantes. On prendra un espacement maximal entre connecteurs de 50 cm ce qui représente le cas le plus défavorable pour le calcul du moment sollicitant. Le moment sollicitant M est déterminé en assimilant la paroi extérieure à une dalle appuyée sur les connecteurs (présence de l'isolant négligée). On vérifie alors :

$$A_s = \frac{M_u}{f_{yd} \times z} \times 10^3 [cm^2/ml]$$

Avec :

- $f_{yd} [MPa]$ résistance de calcul des armatures : $f_{yd} = 435 MPa$
- $z [cm]$ bras de levier :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{c,d}}$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$$

$$d = h - e - \phi/2$$

D'où

$$z = (1 - 0,4 \times \alpha) \times d$$

Avec :

- h : épaisseur de la peau extérieure en béton
- e : enrobage intérieur de l'armature dans la peau extérieure en béton

La paroi extérieure n'est plus librement dilatable. Il est également nécessaire de vérifier l'entraxe des connecteurs sous les efforts de compression générés par la poussée des terres (résistance à la compression des connecteurs et risque de poinçonnement de la paroi extérieure) sur la peau extérieure.

Le nombre de connecteurs est déterminé par la formule :

$$n_c \geq \frac{q}{N_{r,d,c}}$$

$$q = 1,35(\gamma \times H \times K_a) + 1,5(Q \times K_a)$$

Avec :

- γ : la masse volumique de la terre [kN/m^3]
- K_a : le coefficient de poussée
- H : la hauteur enterrée du voile [m]
- Q : les charges appliquées sur le remblai [kN/m^2]
- n_c : le nombre de connecteurs par m^2 de «Précoffré TH».
- $N_{r,d,c}$: résistance à la compression pour un connecteur ISOLINK C-EH 12 mm (voir §2.2.2.4)

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. Le joint sera laissé ouvert pour évacuer les condensats. Le voile extérieur de la partie enterrée sera également liaisonné à la partie porteuse par un cylindre de connexion et si nécessaire par des plats d'ancrage.

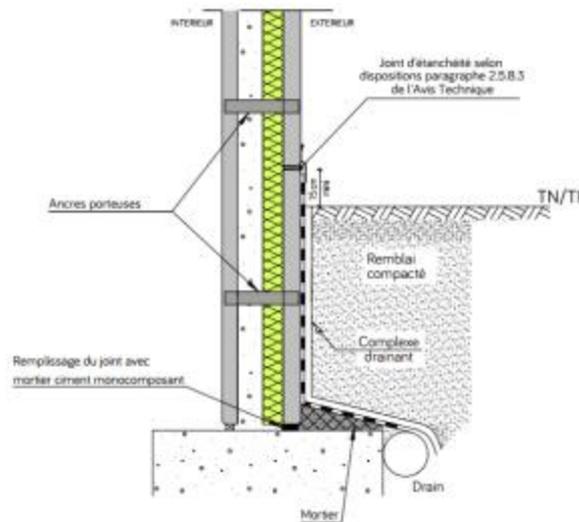


Figure 45 : Cas des murs semi-enterrés

2.3.6. Méthode de calcul des caractéristiques thermiques du « Précoffré TH »

Le principe de calcul est de déterminer le coefficient de transmission thermique U_p du mur à partir des valeurs de U_c du mur sans connecteurs ainsi que des coefficients de transmission ponctuels des connecteurs pultrudés et des ancrages de connexion. Les calculs sont réalisés à partir des principales valeurs tabulées dans le cadre des règles Th ainsi que de la valeur de conductivité thermique de l'isolant λ .

$$U_c = \frac{1}{\frac{e}{\lambda_i} + \frac{e_b}{2} + 0,17}$$

Avec :

- e_i : épaisseur de l'isolant
- λ_i : conductivité thermique de l'isolant
- e_b : somme des épaisseurs des différentes couches de béton

La valeur U_p est déterminée par la formule suivante :

$$U_p = U_c + n_{connecteur} \chi_{connecteur} + n_{cylindre} \chi_{cylindre} + n_{plat} \chi_{plat}$$

- n correspondant à la densité des fixations ramenés au m^2 .
- χ correspondant au coefficient de transmission thermique ponctuel des fixations, ramené au m^2 en W/K.

Avec :

Epaisseur d'isolant	Elément considéré	χ [W/K]
60 mm	Connecteur pultrudé	0,0006
	Cylindre acier	0,3819
100 mm	Connecteur pultrudé	0,0005
	Cylindre acier	0,3509
	Plat acier	0,0964
120 mm	Connecteur pultrudé	0,0004
	Cylindre acier	0,3276
	Plat acier	0,0879
150mm	Connecteur pultrudé	0,0003
	Cylindre acier	0,2694
	Plat acier	0,0751

En supposant une densité de fixation de 4 connecteurs par m² et une densité de fixation d'un cylindre/plat pour 12 m² de voile préfabriqué.

A défaut de justifications particulières, pour des épaisseurs d'isolant supérieure à 150 mm, on pourra retenir les valeurs des coefficients de transmission thermique ponctuel des organes de liaison correspondant à une épaisseur d'isolant de 150 mm.

L'Annexe 7 donne quelques valeurs de coefficients de transmission thermique linéique des ponts thermiques de liaison Ψ . Ces valeurs sont données pour un isolant de 12 cm et un λ de 0,035W/m.K.

2.3.7. Justification au feu

2.3.7.1. Généralités

La justification au feu des murs « Précoffré TH » a fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire du CSTB n°AL 14-142_V5. Dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2 h, celle-ci prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation d'ancres porteuses métalliques et de connecteurs composites pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurelle.

Dans le cas d'un mur exposé au feu, les barres d'ancrage en HA6, qui traversent l'ancre porteuse cylindrique, devront nécessairement être situées dans l'épaisseur du noyau. La distance du parement du voile intérieur côté isolant à l'axe de ces armatures complémentaires est de 2,3 cm.

En cas d'exigence de stabilité au feu, l'épaisseur minimale de l'isolant des murs « Précoffré TH » est de 8 cm.

2.3.7.2. Justification de la stabilité au feu de la paroi structurelle

Suivant l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL14-142_V5, dans la limite d'une durée de tenue de feu de 2H, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurelle des « Précoffré TH », partie structurelle considérées comme homogène de ce point de vue.

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

Les coefficients réducteurs du béton et de l'acier du voile intérieur sont calculés en utilisant les tableaux de températures donnés en Annexe 8 (pour une durée d'exposition au feu allant jusqu'à 2 heures).

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

2.3.7.3. Justification de la tenue de la peau extérieure

La tenue du voile librement dilatable en situation d'incendie fait également l'objet de l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 14-142_V5 afin de s'assurer que la capacité résiduelle des ancrages porteuses et des connecteurs en situation d'incendie est suffisante pour assurer le maintien de la paroi extérieure librement dilatable pour une durée d'exposition au feu allant jusqu'à 2 heures.

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

- Vérification de la capacité résistante résiduelle à chaud des ancrages porteuses (cylindres FEHR, plats MVA et connecteurs inclinés à 45° selon la verticale) pour reprendre le poids propre de la paroi extérieure (en tenant compte des différentes configurations d'épaisseurs de la paroi structurelle, de la paroi extérieure et de l'isolant). Le dimensionnement des connecteurs inclinés à 45° devra être réalisé en utilisant les valeurs de résistance caractéristique à l'arrachement indiquées en Annexe 8.
- Vérification de la capacité résistante résiduelle à chaud des connecteurs horizontaux vis-à-vis de la dilatation différentielle entre les deux parois en béton et de l'effort normal du au vent (en tenant compte des différentes configurations d'épaisseurs de la paroi structurelle, de la paroi extérieure et de l'isolant).

- Vérification de la tenue au feu de la paroi extérieure (sous son poids propre et sous l'action du vent) dans les zones où les connecteurs horizontaux sont rompus. Le ferrailage de la paroi extérieure devra être vérifié au cas par cas à partir des données de l'appréciation de laboratoire n° AL 14-142_V5.

2.3.7.4. Dispositions constructives particulières

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

L'appréciation de laboratoire n° AL 14-142_V5 prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0.

Des bandes de laine de roche de 10 cm et de densité 120 kg/m³ sont disposées, en usine, sur le pourtour des ouvrants, pour empêcher la propagation de l'incendie d'un étage à l'autre.

Afin de couper un éventuel effet de cheminée dans l'espace dédié à l'isolant entre les niveaux d'un ouvrage, une coupure coupe-feu doit être effectuée conformément à l'IT 249. Une disposition de type bande de laine de roche de haute densité insérée avant coulage du noyau et insérée tous les deux niveaux (tous les niveaux pour les bâtiments soumis à l'application du « C+D ») permet d'assurer cette coupure.

Le cylindre de liaison ne peut pas être disposé à la verticale des ouvertures sur une hauteur au-dessus des linteaux respectant la règle du C+D, de sorte à éviter l'échauffement du béton du voile extérieur au niveau de l'ancre cylindrique en cas de flammes et panaches sortant par ces ouvertures. Conformément à l'appréciation de laboratoire n°AL14-142_V5, le cylindre ne devra pas être installé en deçà d'une hauteur de 1,00 m au-dessus des linteaux.

2.4. Transport, maintien et stockage

2.4.1. Prescriptions concernant le transport et stockage

Les « Précoffré TH » sont stockés verticalement sur des conteneurs métalliques et livrés par remorque auto-déchargeuse. Ils restent stockés sur les conteneurs jusqu'à leur mise en œuvre dans l'ouvrage.

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 inserts de levage (câbles de levage) incorporées dans les deux parois de l'élément prévues à cet effet. En aucun cas la manutention ne peut s'effectuer par d'autres armatures.

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

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

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

2.4.2. Prescriptions concernant la manutention des panneaux

La manutention des murs « Précoffré TH » se fait au moyen de câbles de levage intégrés dans les 2 voiles de béton préfabriqués. Les câbles sont dimensionnés selon la charge du « Précoffré TH ». Ils peuvent rester dans l'ouvrage ou être coupés, une fois le mur posé.

Les panneaux sont manutentionnés avec des grues à tour ou automotrices. Les câbles sont accrochés au crochet de la grue depuis le sol. En aucun cas l'angle α des élingues ne sera supérieur à 60°.

Les prescriptions relatives à la manutention des panneaux sont décrites dans la publication « *Murs à Coffrage Intégré (MCI). Prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité* », de l'Assurance maladie, de l'OPP BTP et de l'INRS.

2.5. Dispositions de mise en œuvre

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

2.5.1. Equipements nécessaires à la pose

Liste des équipements nécessaires à la pose des « Précoffré TH » :

- Les dispositifs de sécurité : échelles plateformes à grappin, garde-corps, nacelles etc.,
- Les équipements de levage : palonnier, élingues, élingues de répartition et poulies,
- Etais tirant poussant, lest en béton,
- Dispositif de sécurité et gardes corps.

2.5.2. Dimensionnement des lests et étais de stabilisation provisoire

La stabilité des « Précoffré TH », 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 fixés aux murs par l'intermédiaire de douilles prévues à cet effet dans le « Précoffré TH » lors de sa fabrication, soit sur un lest en béton, soit directement sur la dalle ou le radier en béton. Il s'agit usuellement de douilles métalliques sur lesquelles les étais sont fixés à l'aide de tire-fonds.

Pour les murs de grandes dimensions exposés au vent ou reprenant des charges provisoires particulières, il s'agit de douilles métalliques, sur lesquelles les étais sont fixés à l'aide de boulons.

Les douilles sont dimensionnées par le bureau d'étude Fehr Technologies.

Le titulaire de l'Avis Technique propose des systèmes de mise en sécurité à la pose, basés sur l'incorporation de douilles ou d'un système plus élaboré à base d'équerres embases de garde-corps ou de passerelles. Il diffuse systématiquement auprès des utilisateurs un guide de pose.

Le dimensionnement des étais et des lests est réalisé pour la valeur de vitesse de vent spécifiée dans les DPM. En l'absence de vitesse de vent spécifiée dans les DPM, une valeur de 85 km/h, quelle que soit la direction du vent, sera retenue (en référence à la norme NF P 93 350 relative aux banches, art. 6.3.1.6).

2.5.3. Préparation du chantier

Nettoyer le support, utiliser le plan de pose pour :

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

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

2.5.4. Réception du chargement et réalisation du déchargement

Vérifier la stabilité de tous les « Précoffré TH » (chaque « Précoffré TH » doit être solidarisé de façon individuelle au conteneur). Les câbles de levage se trouvent en tête du mur. Les câbles sont accessibles depuis le sol. Le levage est réalisé avec un palonnier ou avec des élingues. Le nombre de câbles de levage est précisé sur les fiches de fabrication qui accompagnent le plan de pose.

Accrocher les élingues aux câbles du « Précoffré TH » puis enlever le dispositif de maintien du mur au conteneur.

Décharger les « Précoffré TH ».

Pendant le déchargement ne pas stationner :

- Sous la charge
- Sur le conteneur ou plateforme
- Sur la remorque.

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

2.5.5. Disposition de calage de la peau extérieure en phase provisoire

Les organes de liaison assurant la tenue de la peau extérieure n'ont pas fait l'objet d'un dimensionnement en phase provisoire. Il est donc nécessaire d'assurer la tenue de la peau extérieure par un autre dispositif dès que le mur est désélingué. La peau extérieure devra alors reposer sur un support résistant à l'aide de cales, suffisamment rigide pour résister aux efforts de compression générés en phase provisoire.

Le calage sera réalisé soit sur un support résistant (provisoire ou élément de structure support) pour les panneaux en pied de mur soit sur la paroi extérieure du « PRECOFFRE TH » inférieur pour les panneaux d'étage.

Les cales pourront être :

- Soit des cales biseautées, dont la hauteur respectera l'épaisseur nominale du joint dimensionné selon l'article 2.3.2.5.
- Soit des cales non biseautées de hauteur correspondant à l'épaisseur minimale du joint dimensionné selon l'article 2.3.2.5 (épaisseur diminuée des tolérances cumulées de fabrication et de pose), couplé à un joint expansif.

Ces 2 dispositifs de calage permettent d'assurer une transmission des efforts sur le support résistant et d'assurer un retrait aisé des cales. Les cales pourront être retirées lorsque le béton du noyau du « PRECOFFRE TH » situé le plus en hauteur aura fait prise : retrait des cales en partant des joints horizontaux hauts vers les joints horizontaux bas.

2.5.6. Mise en œuvre des aciers de liaisons d'angle

La méthodologie privilégiée pour la mise en œuvre des aciers de liaison d'angle est celle décrite en Annexe 10 ; cependant d'autres méthodologies peuvent être adoptées si elles permettent la mise en œuvre conforme des aciers de liaison selon l'ensemble des préconisations du présent document.

La mise en œuvre des aciers de liaison dans les angles impose des dispositions complémentaires concernant le bétonnage des Précoffré : se référer au § 2.3.2.3.2.

2.5.7. Pose des « Précoffré TH »

1. La pose des « Précoffré TH », doit être conforme au plan général de pose fourni par le préfabricant.
2. Déchargement des murs « Précoffré TH » à l'aide d'une grue automotrice, d'une grue à tour, ou par tout autre moyen de levage compatible avec le poids des « Précoffré TH ».
3. Poser le « Précoffré TH » sur les cales d'épaisseur 1 à 2 cm sur la peau intérieure.
4. Stabiliser le mur avec les étais tirant-poussant qui sont ancrés aux douilles « Précoffré TH » d'une part et aux lests béton ou radier d'autre part. Régler l'aplomb.
5. Relâcher la tension sur les câbles après s'être assuré que le « Précoffré TH » est stable.
6. Les armatures de liaison peuvent être insérées avant ou après la pose du « Précoffré TH » suivant le cas (dans le cas des panneaux verticaux retournés sur chantier, les armatures sont disposées dans le panneau en position horizontale avant retournement). Dans le cas de liaisons sismiques, il convient de respecter les prescriptions du §2.3.1.12.
7. 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.
8. Coller les joints en mousse imprégnée ou non, pour blocage de la laitance en phase de bétonnage, sur les chants horizontaux et verticaux sur la peau intérieure et entre le béton coulé en place et l'isolant. Le joint en mousse de polyuréthane peut être remplacé par l'injection de mousse polyuréthane après la pose, moyennant mise en place d'un dispositif empêchant l'expansion de l'isolant dans l'épaisseur du béton coulé en place.
9. Poser le « Précoffré TH » suivant avec le joint prévu sur le plan de pose. Le joint entre deux « Précoffré TH » a été dimensionné en tenant compte du jeu de pose, de la libre dilatation de la paroi extérieure, des tolérances de fabrication, de l'entrechoquement de deux parois successives en cas de séisme. Le poseur contrôlera la cote du joint avec une cale d'épaisseur égale au joint.
10. Poser les armatures de chaînage

2.5.8. Bétonnage

Avant bétonnage il conviendra de :

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

Une attention particulière doit être portée à la protection en tête de panneau de l'isolant pour éviter toute infiltration du béton. Le bétonnage en œuvre doit être réalisé en fonction de l'épaisseur et de la hauteur des panneaux conformément aux dispositions définies au CCTP et au paragraphe 2.3.1.11.

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. Le béton de remplissage devra être conforme aux prescriptions du §2.2.2.2.

La vitesse de bétonnage courante ne doit pas excéder les prescriptions du paragraphe 2.3.1.11. Une pause d'une heure est prévue entre chaque levée de bétonnage.

Le remplissage du noyau est réalisé en respectant les conditions ci-après :

- **Béton BPS**, répondant aux spécifications de l'article 2.2.2.2 : ils doivent pouvoir être mis en place sans vibration, cela sous la responsabilité de l'entreprise, dans le cas où le béton n'est pas un BAP. Il est néanmoins conseillé de vibrer ces bétons lorsque les zones à remplir sont très ferrillées (armatures horizontales de diamètre supérieur ou égal à 12 mm).
- Le remplissage se fait par couches horizontales successives dans les conditions définies au paragraphe 2.3.1.11.
- **Béton BCP**. L'utilisation des bétons décrits au paragraphe 2.2.2.2 nécessitent des conditions de mise en œuvre particulières qui doivent être approuvées par le préfabricant. Il est impératif d'utiliser un coulage « en talus ». L'objectif est d'assurer le bon remplissage du noyau sur des hauteurs importantes tout en diminuant la poussée. Il est conseillé d'appliquer une légère vibration lorsque le mur est fortement ferrillé. Il est alors recommandé d'utiliser une aiguille de 25 mm.



Figure 46 : Principe du coulage « en talus »

Dans le cas où la reprise de bétonnage a un rôle mécanique et afin d'éviter qu'elle n'affaiblisse le comportement structurel du « Précoffré TH », l'arrêt du coulage est effectué à une distance minimale de 200mm sous l'arase, distance qui doit être compatible avec un éventuel recouvrement d'armatures.

2.5.8.1. Tolérances de pose du « Précoffré TH »

La mise en place des « Précoffré TH » doit être suffisamment précise pour que l'ouvrage réalisé ait les dimensions prévues avec les tolérances suivantes.

La tolérance de pose d'un panneau est de $+5/-5$ mm (tolérance sur l'épaisseur des joints verticaux et horizontaux entre panneaux).

Tolérances relatives à un niveau :

La tolérance admise sur la distance entre deux murs est de ± 2 cm

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

L'écart d'implantation e_1 maximal mesuré horizontalement entre la trace sur leur plancher commun des plans axiaux de deux Précoffré TH ne doit pas dépasser $1/30$ de l'épaisseur du mur le moins épais, avec un maximum de 1,5 cm.

En outre l'écart e_2 maximal mesuré horizontalement entre les traces des plans de parements des Précoffré TH de part et d'autre d'un plancher ne doit pas dépasser 1,5 cm.

L'écart sur la verticalité du parement d'un « Précoffré TH » sur une hauteur d'étage ne peut dépasser 1,5 cm

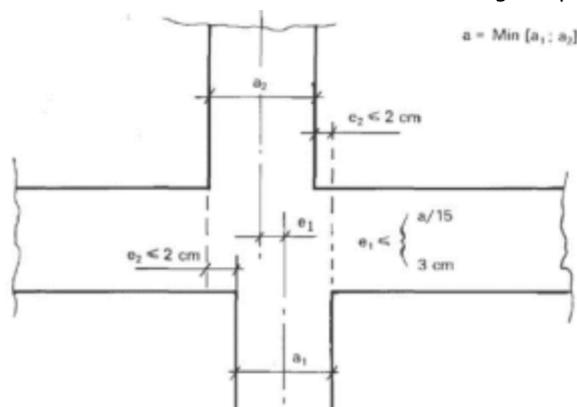


Figure 47 : Tolérances de pose

2.5.9. Etanchéité-Traitement des joints-Traitement des parements

2.5.9.1. 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, secs et traités, si nécessaire, avec un primaire prescrit par le fournisseur de mastic.

La forte compacité du béton des « Précoffré TH » doit être prise en compte lors du choix du type de revêtement qui sera appliqué sur le support. (Lasures, peinture, imprégnation, plot de colle pour fixation des plaques de plâtre...)

Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des « PRECOFFRE TH » de la réduction de section de béton au droit de ces joints.

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.

Le relevé d'étanchéité des planchers haut extérieur (par exemple toitures-terrasses) n'est pas admis sur la peau extérieure des panneaux.

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

2.5.9.2. Murs courants en superstructure

2.5.9.2.1. Paroi extérieure

Il convient de rappeler que la paroi extérieure est susceptible de se dilater ou de se rétracter sous l'effet des variations de températures extérieures. Cette dilatation est compensée par le jeu fonctionnel prévu entre deux panneaux successifs. La cote du jeu fonctionnel doit être prise en compte lors de la conception du revêtement.

2.5.9.2.1.1. Murs de façade revêtus

Les murs revêtus d'un bardage assurant l'étanchéité à l'eau tout en permettant la libre dilatation de la peau extérieure ne nécessitent pas de traitement des joints entre « Précoffré TH ».

2.5.9.2.1.2. Murs de façade bruts de fabrication, peints ou lasurés

Les « Précoffré TH » 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 ou un joint mousse imprégnée

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 15 mm. La compatibilité du mastic élastomère et du cordon de fond de joint devra être vérifiée. Il peut également être mis en œuvre un joint en mousse polyuréthane imprégné pré-comprimé. 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 bavette d'étanchéité collée susceptible de canaliser des eaux d'infiltration hors du « Précoffré TH ».

Nota : Dans le cas des maisons individuelles, en limitant la longueur du panneau à 5 m, et en utilisant une teinte ayant une référence de clarté > 35 % (noir = 0, blanc = 100 %), il est possible de fermer les joints à l'aide d'un revêtement souple de classe i4.

L'étanchéité du joint est traitée avec un profilé souple d'obturation à encastrer

Les profilés de jonction sont mis en œuvre suivant le cahier des charges du fabricant. Au croisement de 4 panneaux superposés accolés on disposera une bavette d'étanchéité collée susceptible de canaliser des eaux d'infiltration hors du « Précoffré TH ».

2.5.9.2.1.3. Murs de façade enduits

Cas des enduits hydrauliques

Les Précoffré TH traités à l'aide d'un enduit hydraulique doivent faire l'objet des mêmes traitements de joint que les « Précoffré TH » restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés. La compatibilité du produit utilisé pour la réalisation du joint 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 « Précoffré TH » 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 la surés.

2.5.9.2.2. Paroi intérieure

Le joint peut rester non traité si ce dernier vient à être masqué par un bardage ou un doublage ou si les contraintes architecturales ne nécessitent pas sa fermeture. Un système d'obturation de type cordon de mousse pourra être mise en place comme fond de joint à la pose des murs, pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage.

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

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

2.5.9.3. Murs courants en infrastructure

2.5.9.3.1. Paroi extérieure courante

Pour parer aux infiltrations provoquées par les eaux de ruissellement, les joints verticaux et horizontaux en contact avec le remblai sont traités avec un mortier de ciment mono composant type SIKA MONOTOP 612 F complété d'une bande bitumineuse auto-adhésive à froid, résistante à la déchirure et à l'eau, et apte à protéger le joint du contact direct des terres et des eaux de ruissellement.

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

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

2.5.9.3.2. Paroi intérieure

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

2.5.9.4. Traitement de la tête des « Précoffré TH » exposés aux intempéries

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

- Un chaperon béton
- Une couvertine métallique

2.6. Maintien en service du produit ou procédé

Dans les conditions normales d'utilisation, le produit ne nécessite pas de maintenance, réparation, remplacement ou réhabilitation durant l'étape de vie en œuvre.

La garniture extérieure des joints est constituée d'un mastic ou d'un joint mousse imprégnée, nécessitant une réfection périodique, selon les préconisations de son fabricant. Le choix du nouveau produit de traitement du joint à mettre en œuvre devra en particulier prendre en compte les raisons de la dégradation du produit de joint initial (environnement, dégradation du support, etc).

Avant mise en œuvre du produit retenu pour la réfection, le produit initial et son fond de joint devront impérativement être retirés ; une réfection du support peut s'avérer nécessaire. La mise en œuvre s'effectue ensuite selon les prescriptions du fabricant ; le produit retenu devra également être compatible avec les préconisations du présent avis technique.

2.7. Traitement en fin de vie

L'étape de fin de vie comprend :

- La déconstruction, la démolition du mur à l'aide d'une pelle mécanique et la séparation des composants
- L'évacuation des matériaux en béton vers un centre de tri ou une installation de stockage en vue de leur valorisation ou de leur élimination :
 - Pour la part valorisée, un traitement par concassage/criblage des déchets en béton en vue d'une réutilisation en granulats secondaires
 - Pour la part éliminée, le stockage dans une installation de stockage pour déchets inertes (ISDI).
- Le transport des aciers (armatures, organes de liaison) qui sont orientés vers un centre de tri en vue d'une valorisation matière
- Les déchets d'isolant qui sont gérés comme DIB. S'ils ne peuvent être recyclés ou transformés en d'autres produits, par manque de filières, ils peuvent faire l'objet d'une valorisation énergétique.
- L'évacuation des déchets de connecteurs et de joints, qui sont collectés et peuvent faire l'objet d'une valorisation énergétique.

2.8. Assistante technique

La société FEHR Technologies fournira systématiquement au client une documentation sur les spécificités de mise en œuvre des « PRECOFFRE TH ».

De plus, l'ensemble des nouveaux clients ou des clients utilisant pour la première fois une technologie de Précoffré particulière seront assistés par un expert de la société FEHR Technologies lors de la préparation et de la mise en place des premiers « PRECOFFRE TH ».

Cette démarche pourra aussi être mise en place au cas par cas pour l'ensemble des clients utilisateurs du « PRECOFFRE TH ».

2.9. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.9.1. Process de fabrication

Les « Précoffré TH » sont fabriqués en usine à l'aide d'un outil automatisé. La fabrication consiste à réaliser un premier voile préfabriqué en béton armé équipé d'une plaque d'isolant, de systèmes de connexion qui, après étuvage, sera assemblé à un second voile préfabriqué par prise du béton frais de ce dernier autour des systèmes de connexion.

Les opérations se déroulent dans l'ordre suivant :

1. Nettoyage des tables de coffrage destinées à la fabrication de la paroi,
2. Mise en place automatique des joues de coffrage de la première paroi, et traçage par le robot des positions d'inserts, d'ancres, de réservations et d'ouvertures,
3. Mise en place manuelle des inserts, douilles, réservations, et ouvertures,
4. Projection d'un décoffrant,
5. Débit automatique aux longueurs nécessaires des armatures courantes avec cales d'enrobages sur les aciers de répartition, et leur mise en place sur le moule. La mise en place des armatures est réalisée en tenant compte de l'encombrement des ancrs porteuses.
6. Mise en place des ancrs porteuses avec interposition de cales et de leurs barres d'ancrage à la position préalablement repérée sur le banc.
7. Pose des câbles de levage,
8. Fabrication du béton dans la centrale située sur le site et cheminement jusqu'au répartiteur,
9. Coulage du béton à l'aide d'un répartiteur automatique qui garantit la constance de l'épaisseur mise en place,
10. Compactage contrôlé,
11. Débitage et perçage des panneaux d'isolant suivant le plan de calepinage et pose des panneaux d'isolation sur le béton frais. Le positionnement des ancrs porteuses et des connecteurs est repéré sur les panneaux d'isolant qui sont pré-perçés en conséquence. Pour les murs avec exigence au feu, des barres d'ancrage complémentaires sont disposées à travers les cylindres dans l'épaisseur du noyau. Ces barres complémentaires sont épinglées à l'isolant pour garantir leur maintien et leur positionnement. Un complément d'isolant est ajouté à l'intérieur du cylindre.
12. Pose des connecteurs dans les réservations pré-perçées de l'isolant suivant le plan de calepinage. En cas de matrice, des dispositifs de maintien des connecteurs contre l'isolant sont mis en place afin de garantir l'ancrage minimum des connecteurs dans les deux parois préfabriquées.
13. Vibration automatique, programmée et adaptée pour ce type de fabrication,
14. Durcissement à 40° C pendant 8 heures dans une chambre de durcissement,

Opérations 1 à 9 identiques pour la deuxième face du « Précoffré TH » qui comprend également la mise en place des raidisseurs.

15. Transport et retournement de la première face sur la seconde avec centrage et mise en appui sur des cales extérieures pré réglées,
16. Vibration automatique, programmée et adaptée pour ce type de fabrication,
17. Enlèvement du moule supérieur,
18. Entreposage dans la chambre de durcissement à 40° C pendant 8 heures,
19. Après durcissement, verticalisation effectuée sur table relevante puis démoulage,
20. Colisage dans un conteneur métallique et expédition suivant l'ordre de pose sur chantier

2.9.2. Contrôle de fabrication et certifications

La fabrication du procédé « PRECOFFRE TH » fait l'objet d'un autocontrôle de la fabrication, surveillé par le CSTB selon le référentiel NF 548 « Murs composites avec ou sans isolant et murs sandwiches ». Les PRECOFFRE TH bénéficiant d'un certificat valide sont identifiables par la présence du logo NF suivi du numéro de marquage apposé sur eux.

2.9.2.1. Contrôle des bétons

Les bétons utilisés pour la réalisation des voiles préfabriqués des murs « Précoffré TH » sont fabriqués dans les centrales FEHR, installées sur les sites des usines de préfabrication.

Les formulations des bétons sont établies par le laboratoire du Service Qualité FEHR situé 62 route de Strasbourg F-67240 BISCHWILLER. Les contrôles des résistances des bétons sont réalisés dans les usines conformément à la norme NF EN 206/CN et à la certification NF en tenant compte de l'exigence complémentaire suivante :

Résistance en compression minimale du béton garantie à la livraison : 20 MPa sur cube 10x10x10 cm.

2.9.2.2. Contrôle des cylindres

Le fournisseur de cylindre procède à un contrôle qualité lors de la production des cylindres portant sur :

- La nuance d'inox utilisée (contrôle mécanique)
- La géométrie des cylindres : longueur, diamètre, positionnement et diamètres des réservations
- La qualité des soudures

Nota : la fabrication des plats MVA est réalisée conformément aux prescriptions de l'Avis Technique dont relève le procédé MVA de la société HALFEN.

2.9.2.3. Contrôle des connecteurs

Lors de la production des connecteurs, la société qui les fournit procède à un contrôle qualité portant sur la géométrie (longueurs, diamètres), les valeurs de résistance mécanique (contrôle mécanique) et la qualité de la coupe des connecteurs.

2.9.2.4. Contrôle des câbles de levage

La totalité de la production est contrôlée à chaque stade de la fabrication par un autocontrôle défini pour chaque poste dans le Manuel Qualité spécifique à chaque usine et avant expédition.

Concernant le système de levage, le contrôle porte en particulier sur la nature et la position des éléments constitutifs du système de levage :

- Câble de levage : diamètre 9 ou 12mm, longueur, positionnement et ligaturage avant le coulage du premier voile préfabriqué.
- Oméga : diamètre, longueur, positionnement et ligaturage avant le coulage du premier voile préfabriqué.

2.9.2.5. Contrôle de qualité

La totalité de la production est soumise à chaque stade de la fabrication à un autocontrôle défini pour chaque poste dans le manuel qualité des usines, et avant expédition.

Le contrôle porte sur les dimensions et la rectitude des voiles préfabriqués, les dimensions et la localisation des réservations, la nature et la quantité des armatures sur la base des plans établis par le bureau FEHR, la nature et la position des câbles de levage, la nature et le positionnement des organes de liaison (ancres porteuses et connecteurs), dans la limite des tolérances de fabrication définies à l'Art. 4.4 ci-après.

2.9.2.6. Contrôle des armatures et raidisseurs

En complément des prescriptions du §2.2.2.6, en cas d'utilisation de coupleurs d'armatures, ces derniers doivent bénéficier d'un certificat délivré par l'AFCAB.

Les raidisseurs font l'objet d'une certification de type NF AFCAB ou reconnue équivalente.

Les critères de certification des raidisseurs sont les suivants :

- Hauteur déclarée avec une tolérance de +1/-3 mm sur cette dimension, conformément à la norme NF A 35-028
- Résistance des soudures : ce contrôle porte sur la résistance des soudures du treillis aux aciers longitudinaux inférieurs et supérieurs et doit être conforme aux prescriptions de l'article 7.3.3 de la norme NF A 35-028. La valeur des résistances au cisaillement à vérifier doit être conforme à la norme NF A 35-028 ou aux Avis Techniques mentionnés dans le certificat du raidisseur. Cette vérification sera faite statistiquement, dans un fractile de 5 % et

un niveau de confiance de 90 %. De plus, la valeur minimale de chaque force de cisaillement mesurée F_{wi} des points de soudure dans un treillis raidisseur, ne doit pas être inférieure à 0,9 fois la valeur déclarée.

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

Ø des 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

2.9.2.7. Isolants

Les panneaux d'isolant utilisés pour la fabrication du procédé PRECOFFRE TH font l'objet d'une certification ACERMI.

2.9.3. Aspects des parements

Tous les panneaux présentent une surface brute de décoffrage.

2.9.3.1. Etat de surface

L'état de surface courant correspond à une surface brute de décoffrage contre moule. Dénomination E (3-3-0) d'après la norme NFP 18-503.

L'un ou l'autre des voiles préfabriqués du « Précoffré TH » peut présenter un aspect structuré grâce à l'utilisation de matrice caoutchouc type RECKLI ou équivalent.

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

L'empreinte doit également permettre de respecter les enrobages minimums du paragraphe 2.3.1.5.

L'un ou l'autre des voiles préfabriqués du « Précoffré TH » peut présenter un aspect béton désactivé, poli ou sablé

2.9.3.2. Teinte

La teinte du parement des « Précoffré TH » peut varier sur un même panneau ou d'un mur à l'autre. L'homogénéité de la teinte n'est pas un paramètre qui peut faire l'objet d'une garantie.

Lorsque la finition du « Précoffré TH » est une lasure dont l'aspect doit être uniforme sur toute la surface du parement, il est impératif de préparer le support à l'aide d'un opacifiant appliqué au préalable, de manière à garantir l'aspect final de la lasure.

2.9.4. Caractéristiques dimensionnelles de fabrication

- Poids propre du « Précoffré TH » Classique (en l'absence de matrice) au m^2 : 275 à 375 kg/m^2 suivant l'épaisseur des voiles préfabriqués + poids des armatures supplémentaires.
- Dimensions maximales, largeur x longueur : 3,80 x 12,34 m ou 4,10 x 10,50 m.
- Epaisseurs courantes : de 26 à 70 cm.

Mesures sur le produit	Tolérances
Longueur sur deux côtés < 3 m De 3 à 6 m > 6 m	± 5 mm ± 6 mm ± 8 mm
Largeur sur deux côtés < 3 m De 3 à 6 m > 6 m	± 5 mm ± 6 mm ± 8 mm
Equerrage et diagonales < 3 m De 3 à 6 m > 6 m	± 5 mm ± 6 mm ± 8 mm
Epaisseur 1 ^{ère} et 2 ^{ème} peaux	Moyenne des mesures : ± 3 mm Chaque valeur individuelle : ± 6 mm
Epaisseur du mur	Moyenne des mesures : +3mm/-2mm Chaque valeur individuelle : ± 6 mm
Enrobage des armatures dans les parois	+/- 3 mm
Positionnement des ouvertures et des inserts	± 10 mm
Rectitude des arêtes	± 4 mm
Planéité (règle de 3 m)	5 mm
Décalage des parois	± 5 mm
Positionnement des ancres et des connecteurs dans le plan de la paroi	± 50 mm
Positionnement des ancres et des connecteurs dans l'épaisseur de la paroi	± 3 mm
Enrobage des ancres et des connecteurs	± 3 mm
Verticalité des connecteurs	+/- 10°

2.10. Rôle des différents intervenants

Fabrication

La fabrication est réalisée dans les usines de la société FEHR Technologies :

FEHR Technologies Région Rhénane SAS

Route de Strasbourg – BP 46

F-67242 Bischwiller Cedex

Tél. : +33 3 88 06 27 90

Fax : +33 3 88 06 27 91

FEHR Technologies Rhône-Alpes SAS

Lieu-dit l'Armailler

F-26300 Chateauneuf-sur-Isère

Tél. : +33 4 75 25 98 80

Calcul des structures :

Le dimensionnement de la paroi extérieure, des organes de liaison et des raidisseurs est réalisé par FEHR Technologies. Le calcul de l'ensemble de la structure est réalisé par le BET de l'opération qui réalise également le dimensionnement du ferrailage de la partie structurale du « PRECOFFRE TH ». L'épaisseur de la paroi structurale est soumise à l'approbation du bureau d'études de structures.

Thermique :

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

Plans d'exécution :

Le calepinage des panneaux « PRECOFFRE TH » (calepinage des joints) est réalisé par FEHR Technologies et soumis à l'approbation du bureau d'études de structures. FEHR Technologies établit les plans d'exécution du ferrailage des panneaux, à partir des plans du bureau d'études de structures et des dispositions et règles de calculs propres au procédé.

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

Mise en œuvre :

Elle est réalisée par l'entreprise titulaire du marché.

2.11. Mention des justificatifs

2.11.1. Résultats expérimentaux

Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL14-142

Organe de liaison FEHR :

- Rapport 12037Pa_14511 (laboratoire Technische Universität Kaiserslautern) : Essais en traction du cylindre de liaison de la société FEHR® du 9/5/14
- Rapport 12037Pa_14511 (laboratoire Technische Universität Kaiserslautern) : Essais en flexion/cisaillement du cylindre de liaison de la société FEHR® du 9/5/14
- Essais du 07/10/16 rapport Sn/Pav/2016_10_07
- Essais en flexion/cisaillement sur le cylindre de liaison de la société Fehr sans barres d'ancrage dans la peau de parement.

Connecteur Schoeck Isolink 12 mm :

- Essais d'arrachement statiques sur 15 connecteurs réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport n° TUK 06034/1/Pa/528)
- Essais d'arrachement statiques sur 5 connecteurs réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport n° TUK 07030/2/Pa/528)
- Essais d'arrachement statiques sur 10 connecteurs réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport n° TUK 11016/HA/515)
- Essais de traction statiques et cycliques (7 essais par configuration ; pour des parois béton de 60 et 100 mm) réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528)
- Essais de compression statiques sur 2x3 connecteurs isolés avec une longueur libre de 140 mm et 200 mm réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport n° TUK 10015Pa/528-3)
- Essais de résistance au poinçonnement sur 6 éprouvettes (compression sur connecteur ancré dans une paroi de 6 cm) réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528)
- Essais de cisaillement statiques et cycliques (5 essais par configuration ; corps d'épreuve constitué de deux parois béton reliées par des connecteurs droits, épaisseur d'isolant de 60, 100 et 140 mm) réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528)
- Essais de cisaillement statique et cyclique (corps d'épreuve constitué de deux parois béton reliées par des connecteurs droits, épaisseur d'isolant de 60 mm) avec application d'une charge de traction constante de 2 kN et de 8 kN réalisés par le laboratoire Technische Universität Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528).
- Rapport 06046/Pa/528: Etudes sur l'application des ComBAR-TA (connecteurs thermiques en fibre de verre) dans des murs avec isolation intégrée
- Rapport 10012Pav/14155 : Essais de caractérisation de la résistance au flambement des connecteurs Schöck.

Connecteur Schoeck Isolink 8 mm :

- Caractérisation à l'arrachement du connecteur Thermonaker TA-H de diamètre 8mm pour une utilisation pour la tenue de la peau extérieure des MCII/Panneau Sandwich en phase provisoire et de service d'une épaisseur de 55mm. Rapport CERIB n° 011034

2.11.2. Références chantiers

Nom de l'entreprise	Nom du chantier	Quantité	Année
Bouygues	Biotope Lille (59)	700 m ²	2018
Eiffage	Booking Tourcoing (59)	4000 m ²	2018
Demathieu et Bard	Archives du Louvre Liévin (62)	2950 m ²	2018
Ferreira	Internat Chateaufort de Galaure (26)	2500 m ²	2019
C chantiers Modernes Construction	SMR RATP Morangis (91)	6050 m ²	2019
Spie Batignolles	LIDL Hoenheim (67)	1500 m ²	2019
Delta Bâtiment	Casernes La Cavalerie (12)	7600 m ²	2020
EMMG	ALDI Marseille (13)	800 m ²	2020
CBA	Conseil Départemental Haguenau (67)	790 m ²	2021
GTM Halle	Logements Grand Coeur Nancy (54)	3270 m ²	2021
FRANCIOLI	Gymnase Chevigny St Sauveur (21)	1424 m ²	2021
Demathieu et Bard	Technicentre Bischheim (67)	815 m ²	2022
Viano BTP	Chai à Chemery (41)	160 m ²	2022
HDF Construction	SDIS Orchies (59)	460 m ²	2022
Langain SAS	Maison technique à Yenne (73)	580 m ²	2022
SNRB	Gymnase à Montlhéry (91)	520 m ²	2023
AQIO	Bâtiment Ampéris à Canéjan (33)	1500 m ²	2023

2.12. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre

Annexe 1 : Principe de vérification des joints entre Précoffré TH. Détermination de l'effort sollicitant au droit du joint

Cette annexe décrit le principe de détermination de l'effort sollicitant au droit du joint dans les cas suivants :

- Le mur « Précoffré TH » est soumis à une force horizontale ponctuelle perpendiculaire à l'épaisseur du mur ou à une charge linéaire horizontale agissant en partie supérieure du mur (cas d'un contreventement) ;
- Le mur « Précoffré TH » est soumis à un chargement réparti en tête sur toute sa longueur (cas d'une poutre-voile).

a. Dans le cas d'un contreventement

On distingue deux cas :

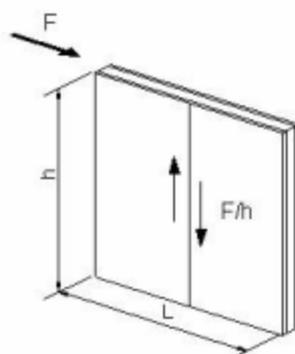
Cas 1 : reprise d'une charge ponctuelle horizontale F sur un mur développant une bielle de compression

La valeur de calcul de l'effort tranchant sollicitant au niveau du joint est telle que :

$$V_{Ed,j} = \frac{F}{h}$$

Avec :

- F : la charge ponctuelle horizontale sur le mur ;
- h : la hauteur du mur ;
- $V_{Ed,j}$: l'effort tranchant sollicitant de calcul au niveau du joint j .



Cas 1

Figure I-1 : effort sollicitant dans le cas d'un contreventement avec reprise d'une charge ponctuelle horizontale (cas 1)

Cas 2 : reprise d'une charge linéaire horizontale F sur un mur développant n_b bielles de compression

La valeur de calcul de l'effort tranchant sollicitant au niveau du joint j est telle que :

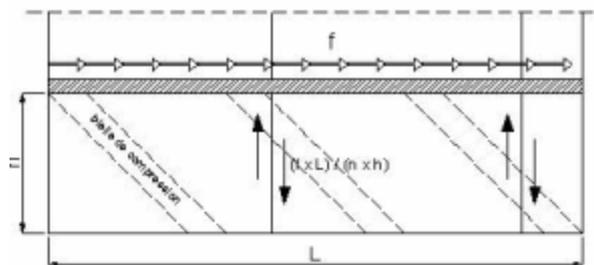
$$V_{Ed,j} = \frac{F \times L}{n_b \times h}$$

Avec :

- F : la charge linéaire horizontale sur le mur ;
- $V_{Ed,j}$: l'effort tranchant sollicitant de calcul au niveau du joint j ;
- L : la longueur du mur
- h : la hauteur du mur ;
- n_b : le nombre de bielles de compression développées dans le mur sous l'action de la charge linéaire F sur le mur.

Le nombre de bielles mobilisables n_b , en supposant une inclinaison des bielles à 45° , est égal à la partie entière de :

$$n_b = \frac{L - h}{h}$$



Cas 2

Figure I-2 : Effort sollicitant dans le cas d'un contreventement avec reprise d'une charge linéaire horizontale (cas 2)

a. Dans le cas d'une poutre-voile

Dans le cas général, l'effort tranchant sollicitant de calcul $V_{Ed,j}$ au droit du joint est déterminée en considérant la valeur maximale de l'effort tranchant sollicitant de calcul $V_{Ed,max}$, indépendamment de la position du joint. En conséquence, l'effort tranchant sollicitant de calcul au niveau des joints des poutres-voiles est donc majoré (cf. Figure I.3).

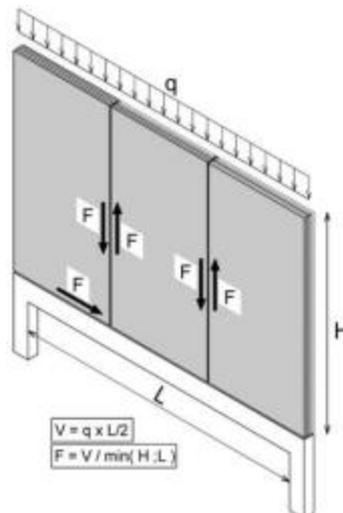


Figure I-3 : Effort sollicitant dans le cas d'une poutre-voile

L'effort tranchant sollicitant de calcul au niveau du joint j est tel que :

$$V_{Ed,j} = \frac{V_{Ed,max}}{\min(h;L)} = \frac{qL/2}{\min(h;L)}$$

Annexe 2 : Principe de vérification des joints entre Précoffré TH. Calcul des efforts résistants au droit du joint

Dans ce qui suit, les vérifications au cisaillement sont réalisées en considérant l'hypothèse suivante : les valeurs des deux coefficients c et μ dépendant de la rugosité de l'interface correspondent au cas d'une surface de reprise de type « lisse » au sens de l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1, soit c égale à 0,18 (avec la minoration suivante : 0,20/1,1) et μ égal à 0,6.

Note 1 : le terme surface lisse, au sens de l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1, peut désigner soit une surface réalisée à l'aide de coffrages glissants, soit une surface extrudée ou soit une surface non coffrée laissée sans traitement ultérieur après vibration.

Les coefficients c et μ sont présentés dans le Tableau ci-dessous pour les combinaisons d'actions en situation durables ou transitoires (fondamentales) et pour les situations de projet sismiques au sens de la norme NF EN 1990. En situation sismique, les valeurs de « c » prises en compte sont les valeurs ci-dessus divisées par 2.

Les efforts résistants déterminés pour chaque type de liaison sont à comparer aux valeurs des efforts sollicitants définis par le BET conformément aux prescriptions de l'Annexe 1 ci-dessus.

ELU	Fondamental	Sismique
c	0,18	0,09
μ	0,6	0,6

Nous rappelons que dans le cas le plus courant où des armatures de couture sont réalisées avec des U aux abouts et que les sections d'armatures sont donc identiques sur les deux plans de couture, et que le noyau est armé du côté extérieur, les efforts résistants sont déterminés par l'expression ci-après :

$$V_{Rd,j} = [c \times f_{ctd,n} + \mu \times (\sigma_n + \rho \times f_{yd})] \times 1 \times 2x$$

Avec :

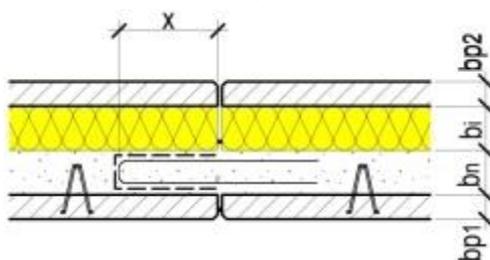
- $f_{ctd,n}$: valeur de calcul de la résistance en traction du béton du noyau coulé en place, définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ($\alpha_{ct} > f_{ctk,0.05} / \gamma_c$).
- γ_c :
 - 1,2 pour les situations accidentelles
 - 1,3 en situation sismique
 - 1,5 dans les autres cas
- f_{yd} : limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé égale à f_{yk} / γ_s ;
- f_{yk} : la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé ;
- γ_s : coefficient partiel de sécurité de l'acier ;
- σ_n : la contrainte engendrée par la force normale externe minimale à l'interface susceptible d'agir en même temps que l'effort de cisaillement ;
- ρ : le pourcentage d'armatures A_{cout} traversant l'interface voile préfabriqué/noyau coulé en place sur la distance x
- x : la distance de l'extrémité de l'armature de liaison à l'about du voile préfabriqué ;

Note : Dans l'expression de l'effort résistant ci-dessus, l'influence du retrait du béton coulé en place est négligée.

Liaison sans couture des abouts (cas incompatible avec une utilisation en poutre voile):

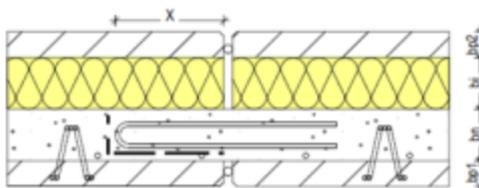
- En cas de présence d'armatures dans la partie coulée en place côté isolant :

$$V_{Rdi} = (c \times f_{ctd,n} \times (2 \times x)) \times 1$$



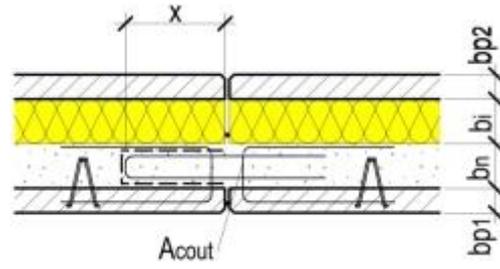
- En l'absence d'armatures dans la partie coulée en place côté isolant :

$$V_{Rdi} = (c \times f_{ctd,n} \times (x + b_n)) \times 1$$



Liaison avec couture des abouts (avec noyau armé coté isolant).

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



Annexe 3 : Exemples de calcul du pourcentage d'armatures transversales du plan de reprise dans le sens longitudinal

Cette annexe décrit à titre d'illustration, la détermination des pourcentages ρ_α et $\rho_{\alpha'}$ des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle d'inclinaison α ou α' dans le sens longitudinal, pour deux types de treillis raidisseurs courants de section triangulaire : type treillis Warren et avec double sinusoïde.

Cas 1 : avec les poutrelles courantes type KAISER OMNIA KT800

Constituées de diagonales $\varnothing 5$ mm et espacées de 60 cm on a :

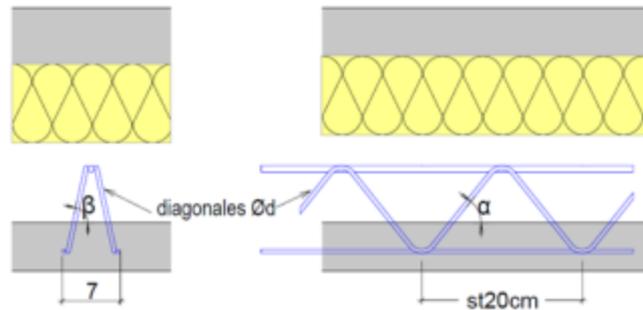


Figure : treillis raidisseur de section triangulaire

Les pourcentages d'armatures transversales ρ_α et $\rho_{\alpha'}$ traversant l'interface du plan de reprise dans le sens longitudinal sont donnés par l'expression ci-après :

$$\rho_\alpha = \rho_{\alpha'} = \frac{2 \times A_{raid,Di} \times \sin \beta}{s_t \times e}$$

Avec :

- $A_{raid,Di}$: sections d'une diagonale (cm²) : 0,1963 cm²
- e : espacement des poutrelles (cm) : 60 cm
- s_t : pas de sinusoïde (cm) : 20 cm
- β : 86°, soit $\sin \beta = 0,997$

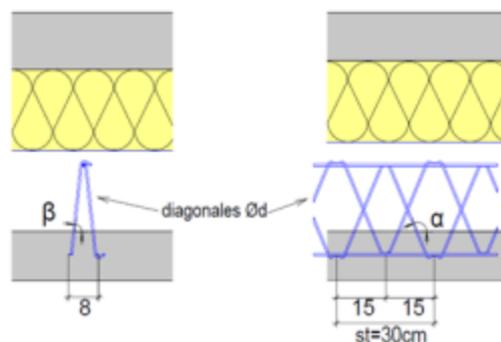
Le pourcentage d'armatures ρ_α et $\rho_{\alpha'}$ des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' dans le sens longitudinal est égal à :

$$\rho_\alpha = \rho_{\alpha'} = \frac{2 \times 0,1963 \times 0,997}{20 \times 60}$$

On obtient des pourcentages d'armatures transversales ρ_α et $\rho_{\alpha'}$, ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' dans le plan longitudinal de 0,0326 %.

Cas 2 : avec les poutrelles courantes type KAISER OMNIA KTW

Constituées de diagonales $\varnothing 6$ et espacées de 60 cm on a :



Avec :

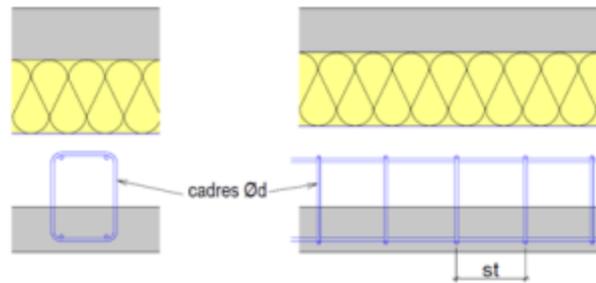
- $A_{raid,Di}$: sections d'une diagonale (cm²) : 0,2860 cm²
- e : espacement des poutrelles (cm) : 60 cm
- s_t : pas de sinusoïde (cm) : 30 cm
- β : 86°, soit $\sin \beta = 0,997$

Le pourcentage d'armatures ρ_α et $\rho_{\alpha'}$ des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' dans le sens longitudinal est défini par l'expression suivante :

$$\rho_{\alpha} = \rho_{\alpha'} = \frac{2 \times A_{raid,Di} \times \sin \beta}{s_t \times e}$$

On obtient des pourcentages d'armatures transversales ρ_{α} et $\rho_{\alpha'}$ ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' dans le sens longitudinal de 0,0313 %.

Cas 3 : avec des cadres à 90°



$$\rho = (2 \cdot A_{raid,Di}) / (s_t \cdot e)$$

Avec :

- $A_{raid,Di}$: sections d'une barre verticale du cadre
- e : espacement des corbeilles

La valeur limite de calcul de la contrainte de cisaillement notée $\tau_{Ed,lim}$ à l'interface entre le béton des voiles préfabriqués et le béton coulé en place du noyau est donnée par l'expression ci-après :

$$\tau_{Ed,lim} = v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd,n} + \rho_{\alpha} \cdot f_t (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) + \rho_{\alpha'} \cdot f_t (\mu \cdot \sin \alpha' + \cos \alpha') \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd,n}$$

Avec :

- $f_{cd,n}$ la valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ;
- $f_{ctd,n}$ la valeur de la résistance de calcul en traction du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1/NA ;
- f_t la contrainte mobilisable au niveau du plan de cisaillement oblique telle que :
 - $f_t = \text{Min}(R_{e,Di}/\gamma_s ; F_W / (A_{Di} \cdot \gamma_s))$;
 - $R_{e,Di}$ la limite apparente d'élasticité des aciers ;
 - F_W la résistance garantie des soudures des sinusoïdes sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur ;
 - A_{Di} est la section d'une diagonale du treillis raidisseur ;
- v est un coefficient de réduction de la résistance du béton défini de la manière suivante :
 - $v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right)$
 - Les coefficients c et μ dépendant de la rugosité de l'interface entre le béton des voiles préfabriqués et le béton du noyau coulé en place sont définis à l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1. Sauf prescriptions particulières définies, les surfaces seront classées en lisse avec c égal à 0,20 et μ égal à 0,6. Les valeurs de c et μ sont celles de l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 dans le cas d'une surface de reprise lisse avec la minoration suivante : $c = 0,20/1,1$ (soit c égal à 0,18). Sous charges dynamiques ou de fatigue, il convient de diviser par deux les valeurs du coefficient c , conformément à l'article 6.2.5 (5).
 - α et α' sont les inclinaisons des diagonales des treillis raidisseurs par rapport au plan de reprise dans le sens longitudinal ;
 - ρ_{α} et $\rho_{\alpha'}$ sont les pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' dans le sens longitudinal, calculés comme présenté à l'Annexe 3.

Pour l'application numérique, on considère les données suivantes :

- Caractéristiques du béton de remplissage du noyau

Le béton de remplissage du noyau a une résistance caractéristique à la compression $f_{ck,n}$ de 25 MPa, une résistance de calcul en compression $f_{cd,n}$ de 16,7 MPa et une résistance de calcul en traction $f_{ctd,n}$ de 1,20 MPa.

- Caractéristiques des treillis raidisseurs

On suppose que le mur « Précoffré TH » est réalisé à partir de treillis raidisseurs courants de section triangulaire, type treillis Kaiser Omnia KT800, espacés d'une distance e de 60 cm, de limite apparente d'élasticité des aciers $R_{e,Di}$ de 500 MPa, avec des diagonales de diamètre 5 mm. La résistance garantie des soudures des sinusoïdes du treillis raidisseur F_W est de 980 daN. Le pas de la sinusoïde s_t est de 20 cm. L'angle α d'inclinaison des diagonales par rapport au plan de repris dans le sens longitudinal est de 56° et l'angle α' de 124°. L'inclinaison des diagonales dans le plan transversal β est de 86°.

Le pourcentage d'armatures transversales est calculé comme présenté dans l'Annexe 3. On obtient ainsi : $\rho_{\alpha} = \rho_{\alpha'} = 0,0326\%$. La contrainte mobilisable f_t au niveau du plan de cisaillement oblique dans chaque branche du treillis raidisseur est égale à 435 MPa.

On calcule successivement :

$$v_{Rdi} = 0,18 \times 1,2 + 3,26 \times 10^{-4} \times 435 \times (0,6 \times \sin 56 + \cos 56) + 3,26 \times 10^{-4} \times 435 \times (0,6 \times \sin 124 + \cos 124)$$

$$v_{Rdi} = 0,359 \text{ MPa}$$

$$v_{Rdi} \leq 0,5 \times v \times f_{cd} = 4,5 \text{ MPa}$$

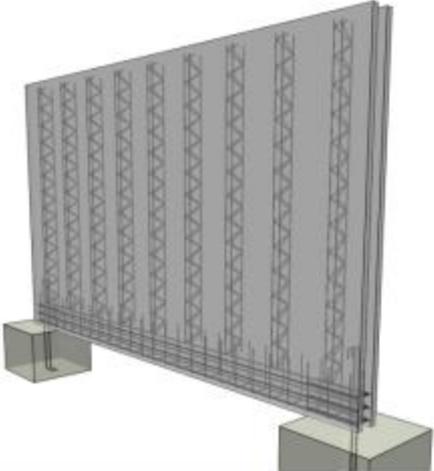
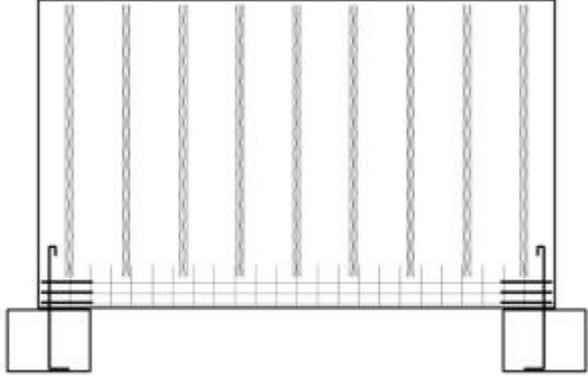
La valeur de calcul de la contrainte de cisaillement v_{Rdi} à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place est donc égale à 0,359 MPa, dans le cas de situations durables ou transitoires.

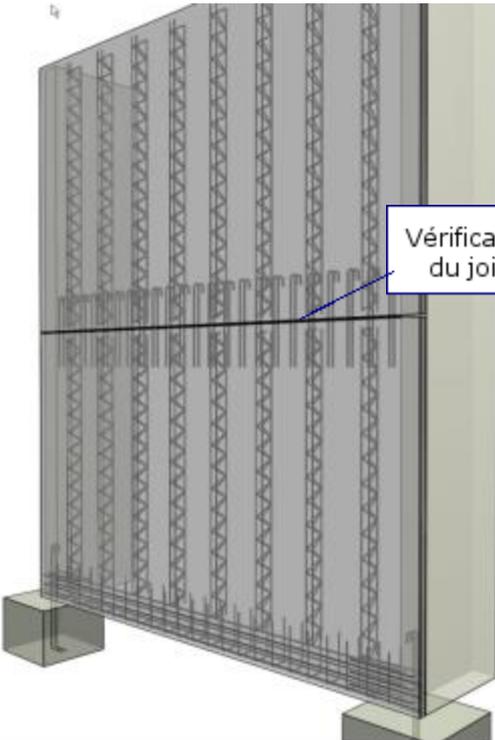
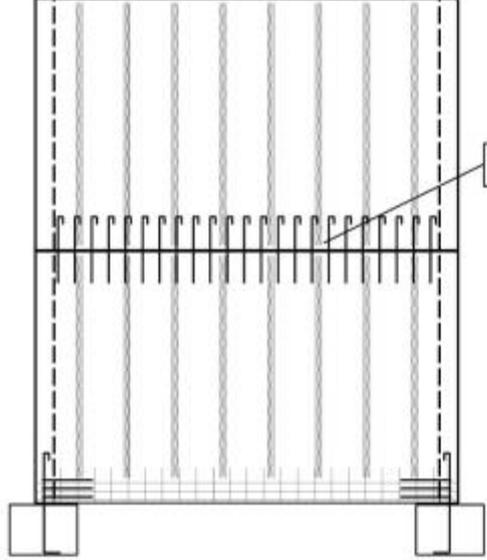
$$\tau_{Ed,lim} = 0,359 \text{ MPa}$$

En resserrant les armatures suivant un espacement de 50 cm, le pourcentage d'armature ρ est alors égal à 0,0392%. La valeur limite de calcul de la contrainte de cisaillement admissible à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place devient, dans le cas de situations durables ou transitoires :

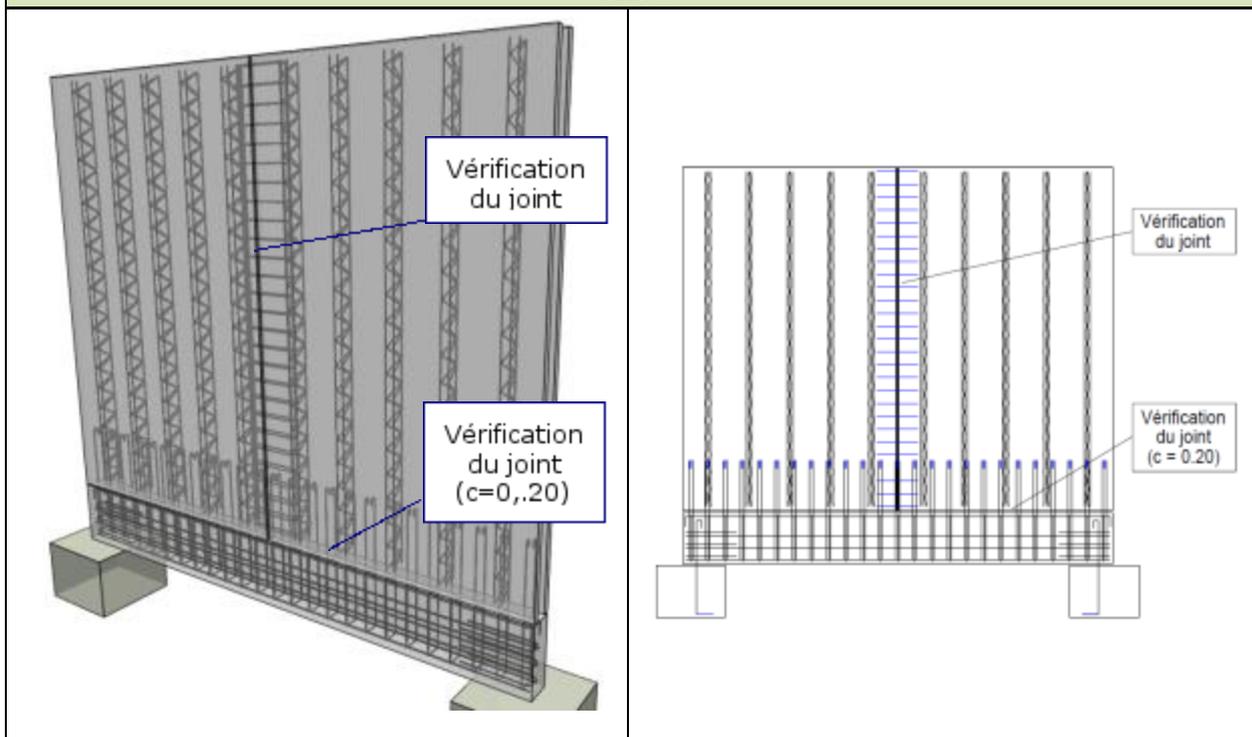
$$\tau_{Ed,lim} = 0,387 \text{ MPa}$$

Annexe 5 :Cas types de Poutres Voiles en « Précoffré TH »

CAS 1	
	
<p>Mise en place des aciers de liaisons après pose des murs. La cage d'aciers de liaison est descendue verticalement dans la partie à couler en place.</p>	
<p>POUTRE VOILE réalisée d'un seul tenant, avec intégration du tirant dans le « Précoffré TH ».</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etant donné l'absence de joints, cette solution ne nécessite pas de vérifications particulières par rapport au calcul classique de poutre voile. 	

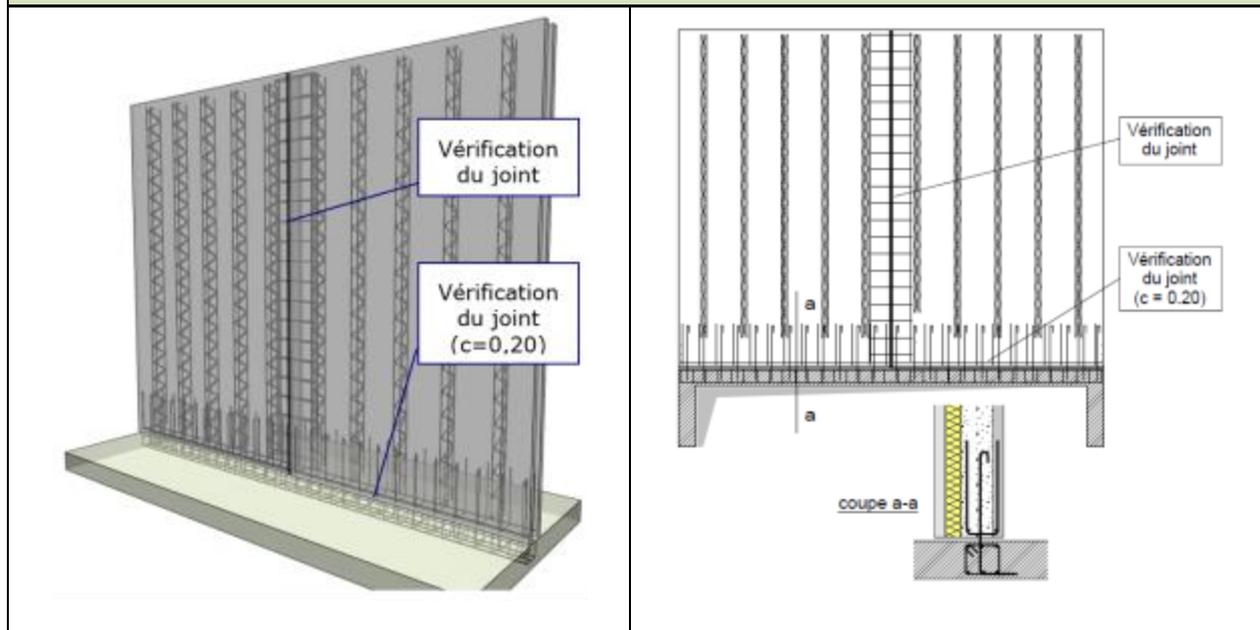
CAS 2	
 <p style="text-align: center;">Vérification du joint</p>	 <p style="text-align: center;">Vérification du joint</p>
<p>POUTRE VOILE réalisée en plusieurs « Précoffré TH » superposés.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cette solution nécessite la vérification de la résistance du joint horizontal à l'effort tranchant. • Le type de liaison est choisi parmi celles de l'ANNEXE 9, en fonction de l'effort à reprendre. • Ce type de configuration nécessite la présence de refends afin de raidir la poutre voile. 	

CAS 3

**POUTRE VOILE réalisée en plusieurs parties.**

- Le tirant de la poutre voiles est coulé en place ou préfabriquée.
- La partie au-dessus du tirant est réalisée en «Précoffré TH».
- Cette solution nécessite la vérification de la résistance des joints horizontaux et verticaux à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis parmi celles de l'ANNEXE 9.

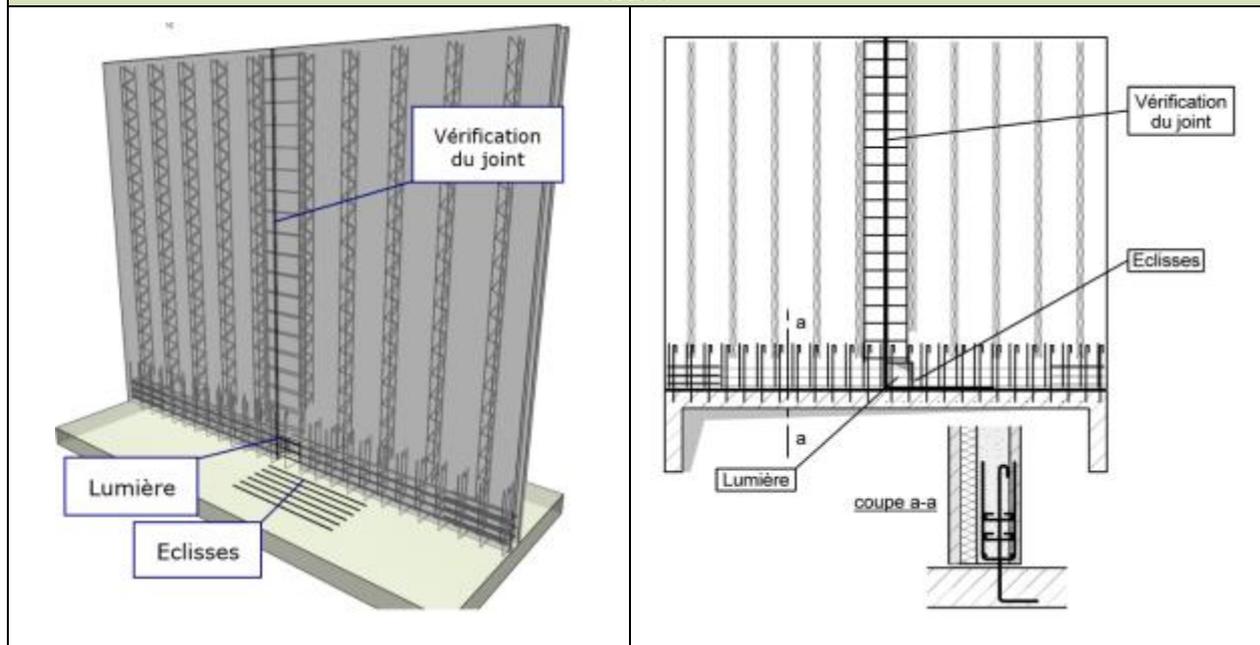
CAS 4



POUTRE VOILE placée au-dessus d'une dalle, laquelle est suspendue à la poutre voile.

- Le tirant de la poutre voile est disposé dans l'épaisseur de la dalle.
- Cette solution nécessite la vérification de la résistance des joints horizontaux et verticaux à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis parmi celles de l'ANNEXE 9.

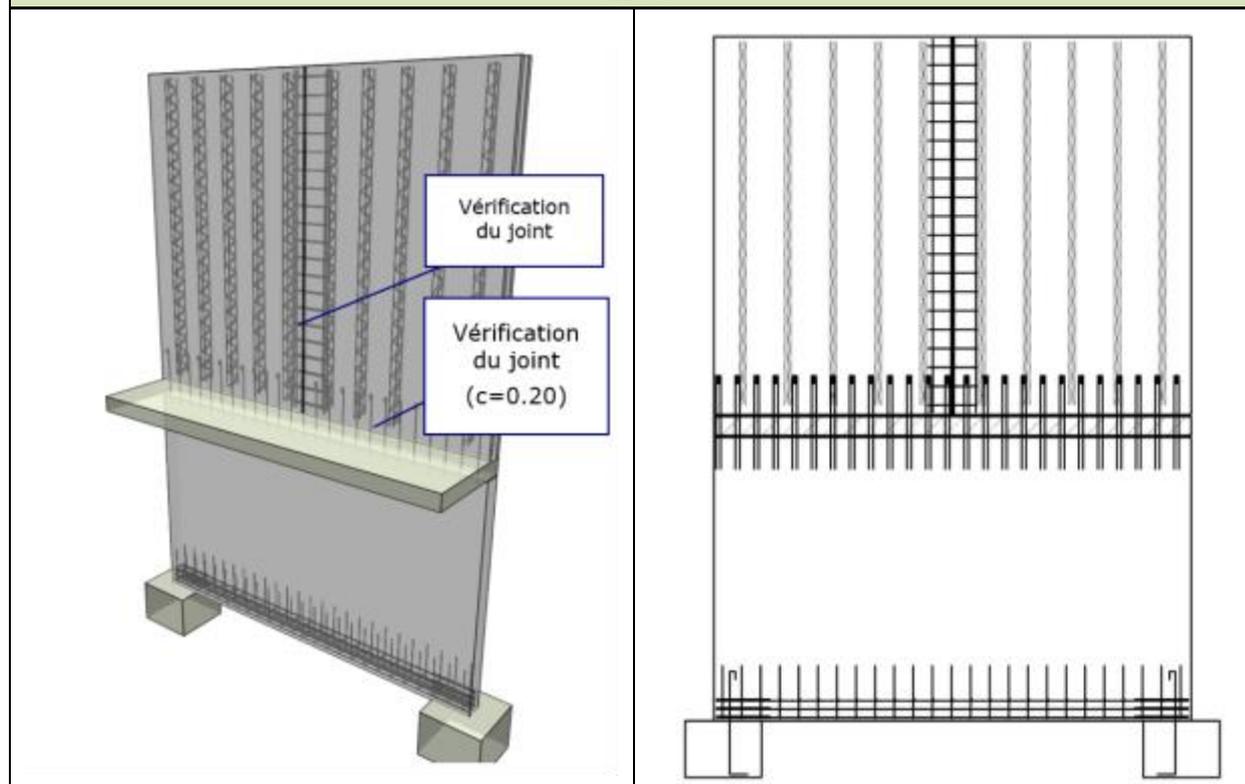
CAS 5



POUTRE VOILE placée au-dessus d'une dalle, « VARIANTE ».

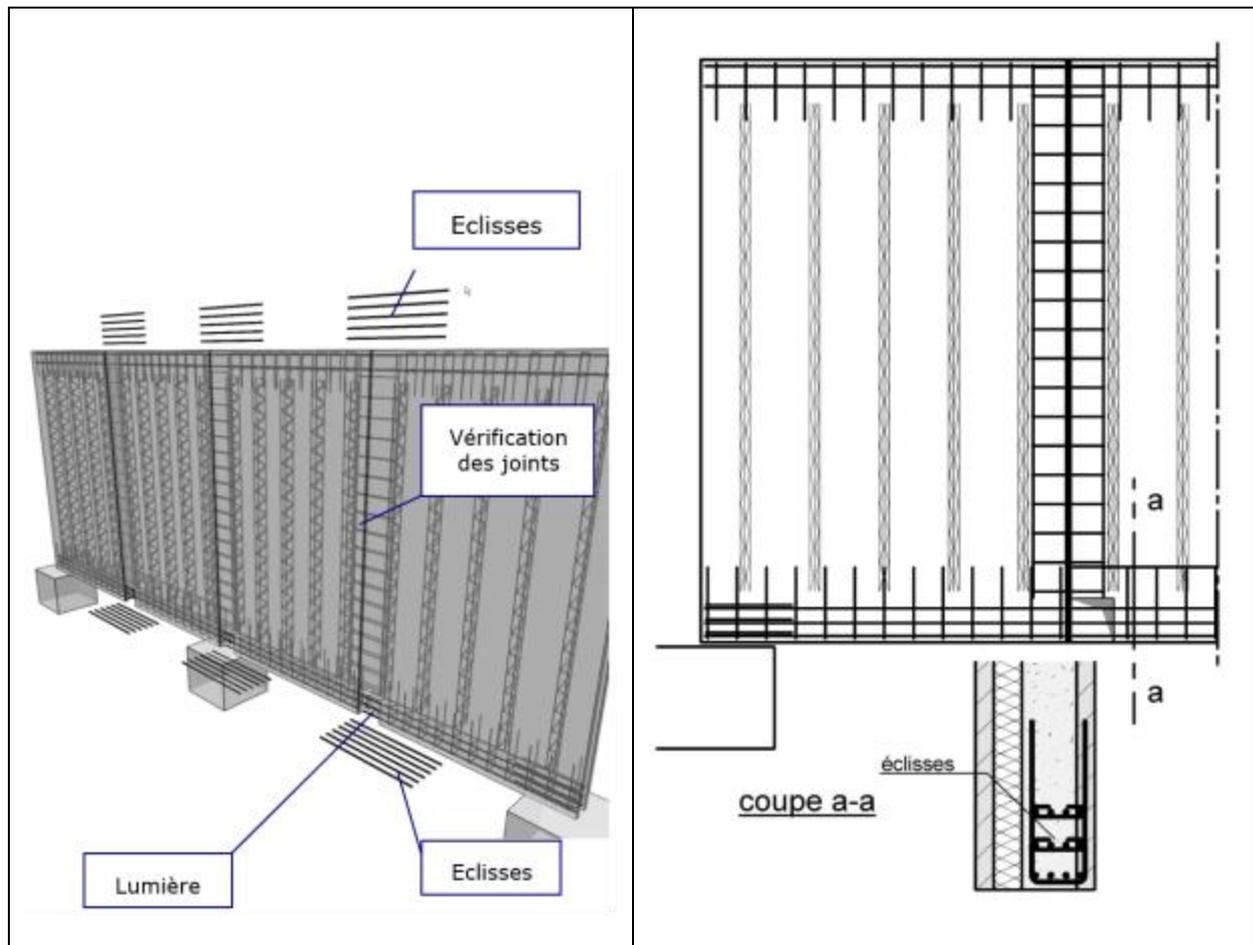
- Le tirant de la poutre voile est disposé en partie inférieure des « Précoffré TH ».
- Une lumière permet d'éclisser les filants du tirant au droit des joints.
- Cette solution ne nécessite que la vérification de la résistance des joints verticaux à l'effort tranchant.
- Le joint inférieur entre dalle et poutre voile n'est pas cisailé, la dalle n'étant que suspendue.
- Les types de liaisons sont choisis parmi celles de l'ANNEXE 9 pour le joint vertical.

CAS 6

**POUTRE VOILE réalisée en deux parties.**

- La partie inférieure est réalisée en béton coulé en place, la partie supérieure est réalisée en « Précoffré TH ».
- Cette solution nécessite la vérification de la résistance des joints horizontaux et verticaux à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis parmi celles de l'ANNEXE 9.

CAS 7



POUTRE VOILE réalisée entièrement en « Précoffré TH », avec continuité sur une ou plusieurs travées.

- Les tirants de la poutre voile sont intégrés en partie inférieure et supérieure des « Précoffré TH », et éclissés au droit des joints.
- Une lumière en partie basse permet d'éclisser les filants du tirant inférieur au droit des joints.
- Les filants du tirant supérieur ne nécessite en principe pas de lumières. Elles peuvent néanmoins être prévue si besoin.
- Cette solution ne nécessite la vérification de la résistance des joints verticaux à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis parmi celles de l'ANNEXE 9 pour le joint vertical.

Variantes :

- le tirant supérieur peut être disposé entièrement dans la partie coulée en place (dans une dalle par exemple).
- le tirant inférieur peut être disposé dans un élément préfabriqué ou dans une dalle (à l'image des CAS 3, 4 et 5 ci-dessus).

Annexe 6 : Justification des renforts de « Précoffré TH » sous appui ponctuel de poutres

Nota : Le cas présenté ci-dessus constitue un exemple illustrant le principe de justification des renforts, exemple dans lequel les armatures filantes intégrées dans le voile préfabriqué ne peuvent pas être prises en compte dans le calcul car de longueur insuffisante.

Soit :

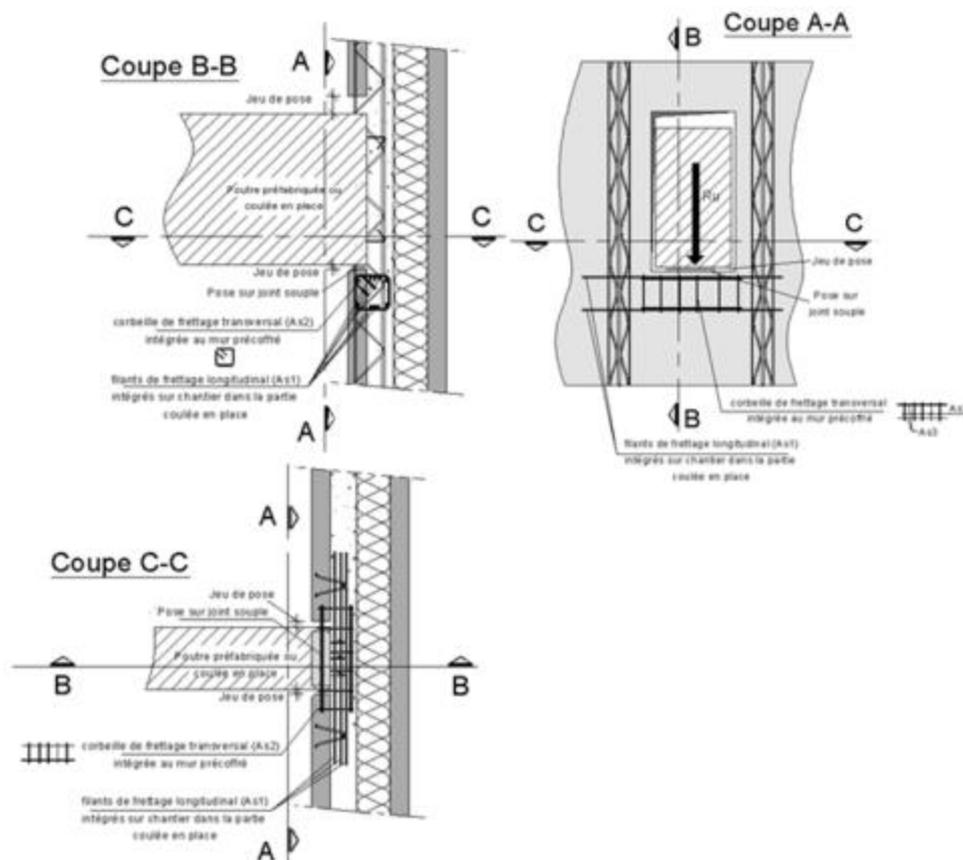
- R_{Ed} la réaction d'appui à l'ELU ;
- f_{yk} la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé ;
- γ_s le coefficient de sécurité de l'acier, pris égal à 1,15 ;
- k un coefficient géométrique tenant compte de la localisation de la réservation dans le mur. En l'absence de données, k est pris égal à 1.

Sous l'effet de la réaction d'appui, il convient de prévoir des armatures de frettage. Les armatures doivent être convenablement ancrées au-delà de la zone d'application de la charge de façon à prévenir toute rupture.

La section d'armatures A_{s1} des aciers longitudinaux horizontaux sous la poutre et la section d'armatures A_{s2} de la corbeille de frettage transversal intégré au mur « Précoffré TH » sont données par l'expression suivante :

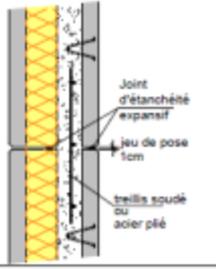
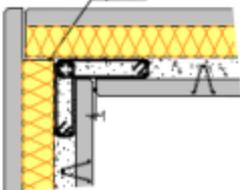
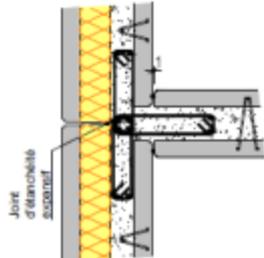
$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{R_{Ed}}{k \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} + \frac{0,04 \cdot R_{Ed}}{\frac{f_{yk}}{\gamma_s}}$$

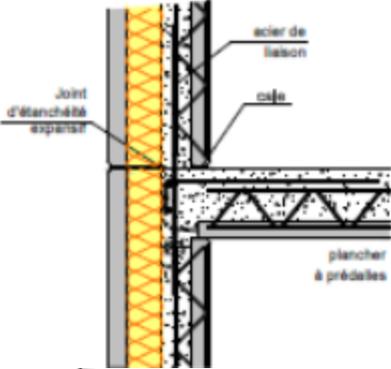
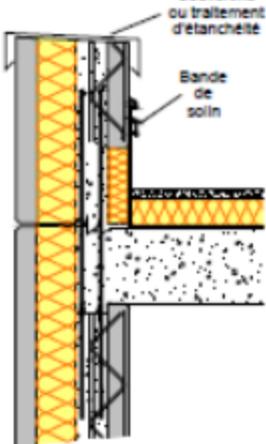
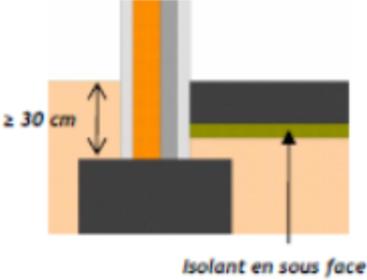
On mettra en place une section d'armatures de montage A_{s3} .



Annexe 7 : Coefficients de transmission thermique linéique des ponts thermiques de liaison

Les valeurs ci-dessous sont données pour un isolant de 12 cm et un λ de 0,035W/m.K.

Liaison	Coupe indicative	Géométrie du mur				Ψ W/(m.K)
		b_1 (cm)	b_0 (cm)	b_1 (cm)	b_2 (cm)	
Deux murs empilés		6	8	12	7	0,01
Angle saillant		6	8	12	7	0,09
Angle rentrant		6	8	12	7	0,07
Refend vertical		6	8	12	7	0,06

Liaison	Coupe indicative	Géométrie du mur				Ψ W/(m.K)
		b_2 (cm)	b_0 (cm)	b_1 (cm)	b_2 (cm)	
Plancher intermédiaire (ép. = 20cm)	 <p>Joint d'étanchéité expansif acier de liaison cable plancher à préfabriqué</p>	6	8	12	7	0,06
Acrotère haut	 <p>Couvertine ou traitement d'étanchéité Bande de soin</p>	6	8	12	7	0,32
Plancher bas isolé sous face	 <p>≥ 30 cm isolant en sous face</p>	6	8	12	7	0,32

Annexe 8 :Justification au feu (selon l'Appréciation de laboratoire n°AL14-142_V5)

Détermination de la température dans la partie structurale du mur « Précoffré TH » :

Températures dans le voile exposé du procédé PRECOFFRE TH après 30 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Épaisseur du voile intérieur [cm]	14	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	23						
	16	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	21					
	18	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20				
	20	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20	20			
	22	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20	20	20		
	24	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20	20	20	20	
	26	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20	20	20	20	20

Températures dans le voile exposé du procédé PRECOFFRE TH après 60 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Épaisseur du voile intérieur [cm]	14	895	784	688	533	417	329	207	133	89	65	58						
	16	895	784	688	533	417	328	207	132	85	58	43	39					
	18	895	784	688	533	417	328	206	131	85	56	40	31	29				
	20	895	784	688	533	417	328	206	131	84	56	39	30	25	24			
	22	895	784	688	533	417	328	206	131	84	56	39	29	25	22	22		
	24	895	784	688	533	417	328	206	131	84	56	39	29	24	22	21	21	
	26	895	784	688	533	417	328	206	131	84	56	39	29	24	22	21	20	20

Températures dans le voile exposé du procédé PRECOFFRE TH après 90 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
Épaisseur du voile intérieur [cm]	14	970	871	782	633	516	423	291	206	153	123	114							
	16	970	871	781	632	515	422	288	199	141	104	84	77						
	18	970	870	781	632	514	421	287	197	137	98	72	58	54					
	20	970	870	781	632	514	421	286	197	136	96	68	51	42	39				
	22	970	870	781	632	514	421	286	197	136	95	67	49	38	32	30			
	24	970	870	781	632	514	421	286	197	136	95	67	49	37	30	27	25		
	26	970	870	781	632	514	421	286	197	136	95	67	49	37	30	25	23	23	

Températures dans le voile exposé du procédé PRECOFFRE TH après 120 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
Épaisseur du voile intérieur [cm]	14	1020	930	848	705	590	497	361	271	214	182	172							
	16	1020	930	846	703	587	493	353	259	195	153	130	123						
	18	1020	929	846	702	585	491	350	253	186	140	110	93	88					
	20	1020	929	846	702	585	490	349	252	183	135	102	80	67	63				
	22	1020	929	846	702	585	490	349	251	182	133	98	74	59	50	47			
	24	1020	929	846	702	585	490	349	251	182	133	97	72	55	44	38	36		
	26	1020	929	846	702	585	490	349	251	182	132	97	72	54	42	35	31	30	

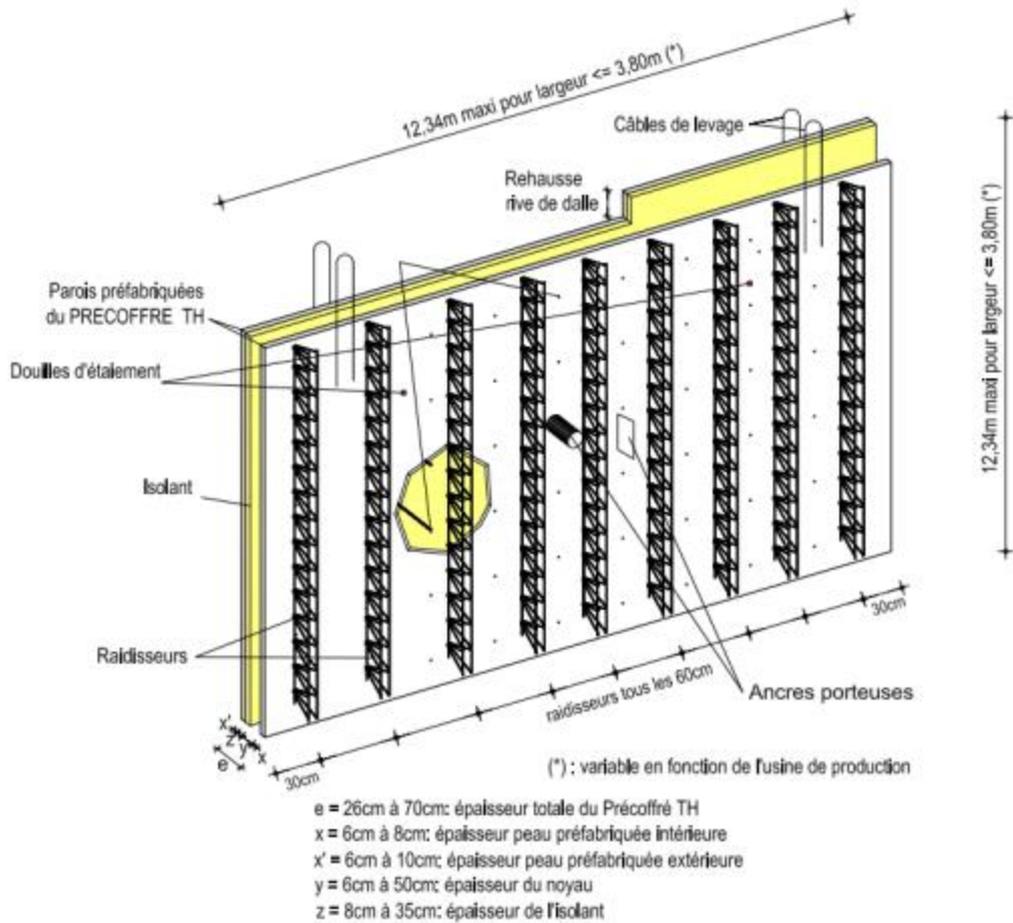
Détermination de la résistance à l'arrachement d'un connecteur C-ED 12mm en fonction de la durée d'exposition au feu, pour un béton de classe C40/50 :

		Résistance caractéristique d'arrachement en kN			
Profondeur d'ancrage du connecteur dans le voile extérieur (mm)		60	70	80	90
durée d'exposition 30mn					
Profondeur d'ancrage du connecteur dans le voile intérieur (cm)	14	6,9	8,2	9,3	9,3
	16	6,9	8,2	9,4	10,7
	≥18	6,9	8,2	9,4	10,7
durée d'exposition 60mn					
Profondeur d'ancrage du connecteur dans le voile intérieur (cm)	14	6,9	8,2	8,4	8,4
	16	6,9	8,2	9,4	10,7
	≥18	6,9	8,2	9,4	10,7
durée d'exposition 90mn					
Profondeur d'ancrage du connecteur dans le voile intérieur (cm)	14	5,4	5,4	5,4	5,4
	16	6,9	8,2	8,4	8,4
	≥18	6,9	8,2	9,4	10,7
durée d'exposition 120mn					
Profondeur d'ancrage du connecteur dans le voile intérieur (cm)	14	0,0	0,0	0,0	0,0
	16	5,5	5,5	5,5	5,5
	18	6,9	8,0	8,0	8,0
	20	6,9	8,2	9,4	10,5
	≥22	6,9	8,2	9,4	10,7

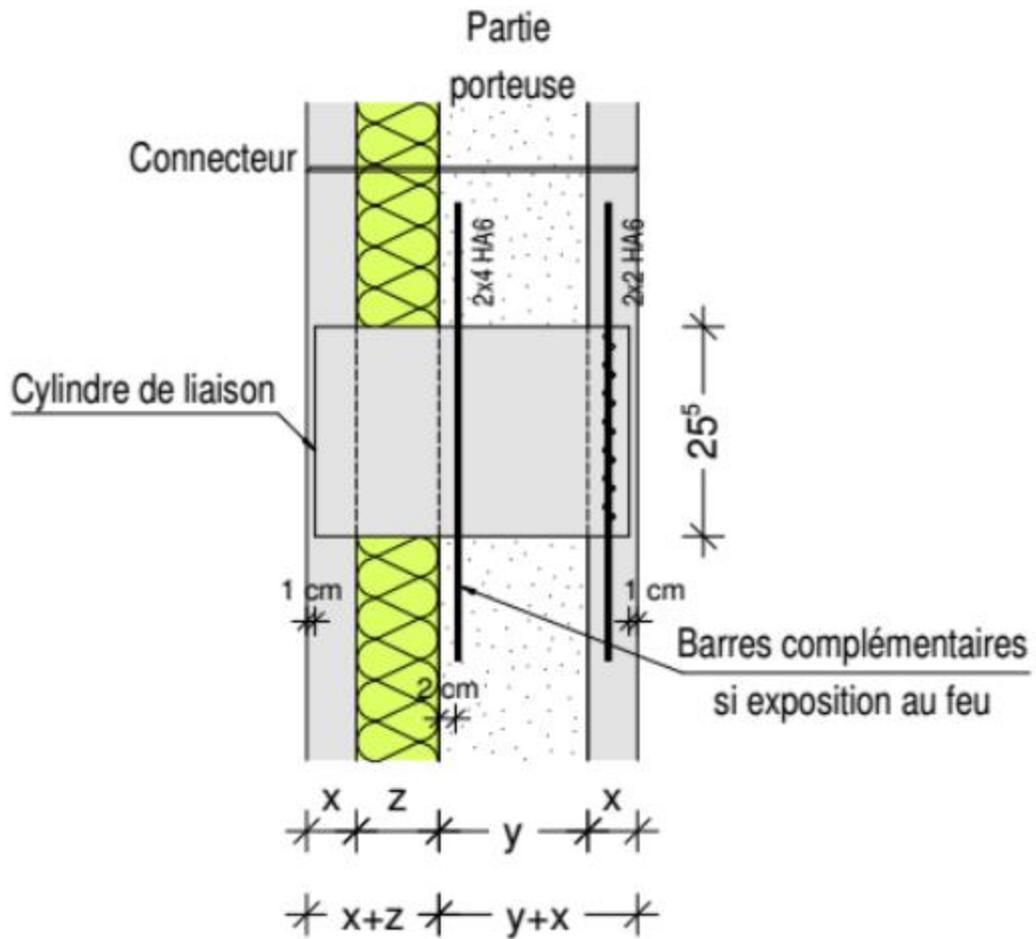
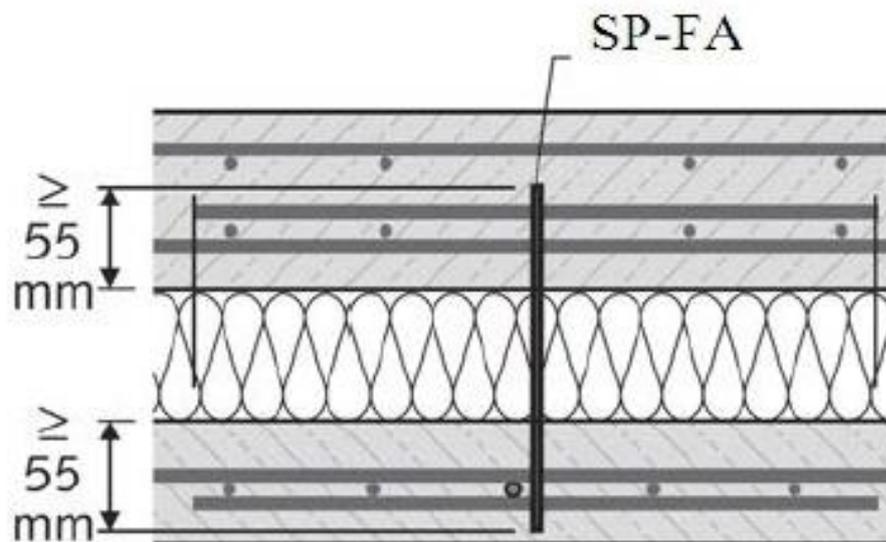
Annexe 9 : Dispositions constructives générales - Figures du Dossier Technique

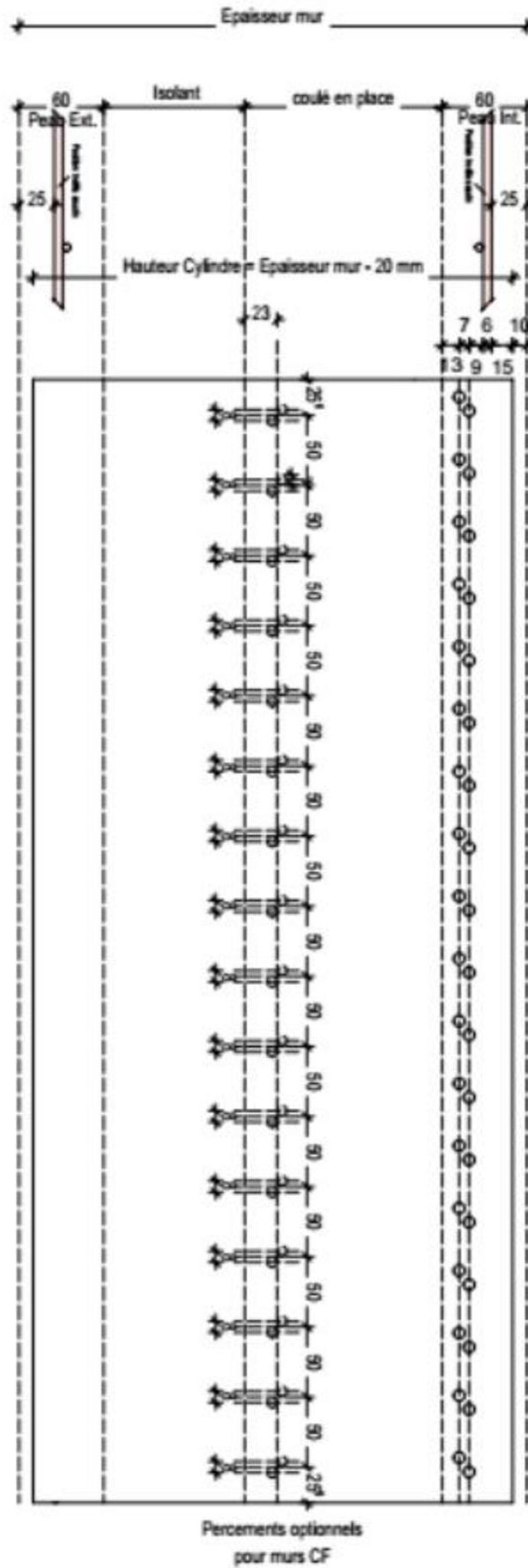
Les schémas sont des schémas de principe donnés à titre d'illustration.

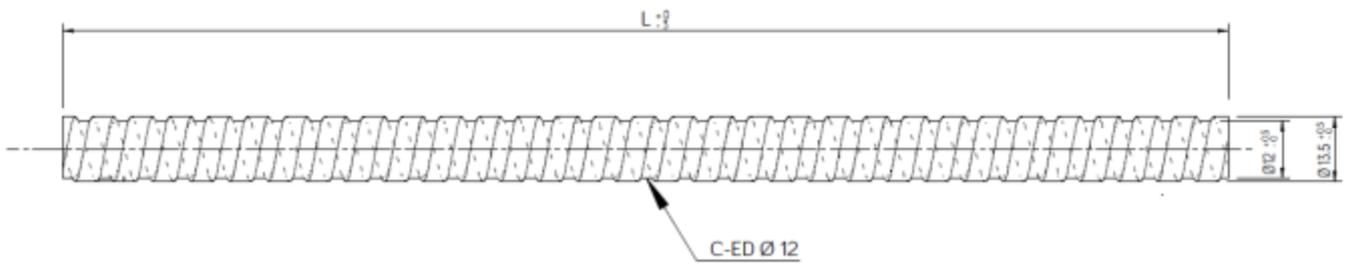
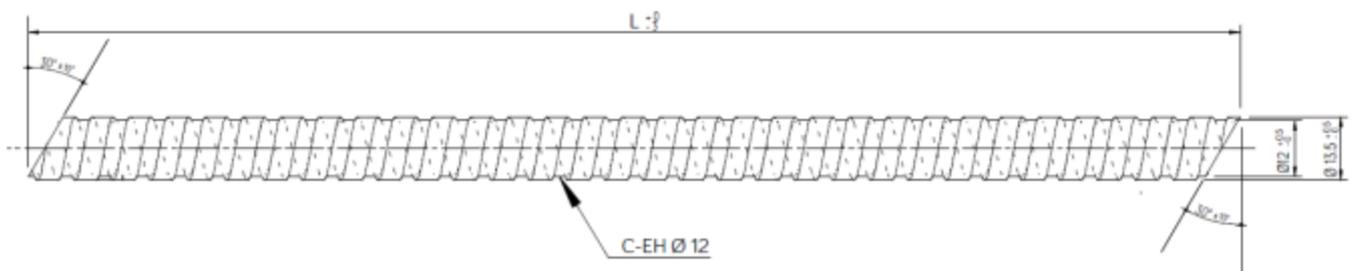
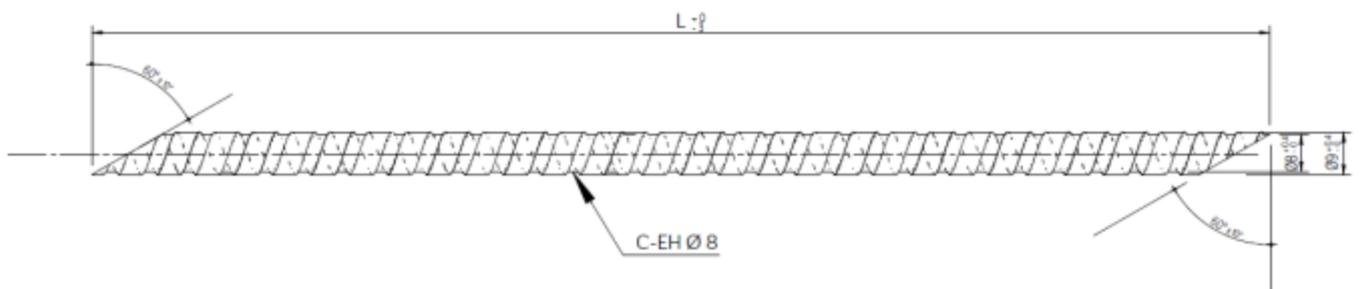
FIGURE 1 : PERSPECTIVE PRECOFFRE TH



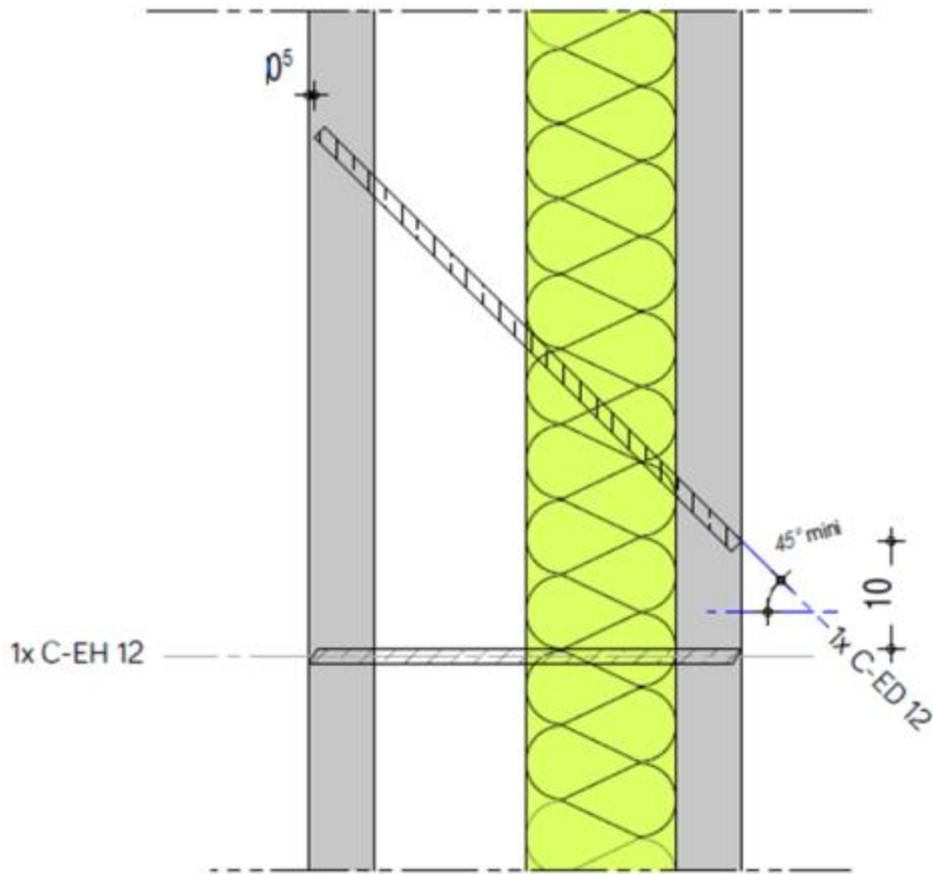
NB : la figure ci-dessus représente la perspective du mur « Précoffré TH » avec ancrs porteuses. Le principe est identique lorsque les ancrs porteuses sont remplacés par des connecteurs Isolink CE-D.

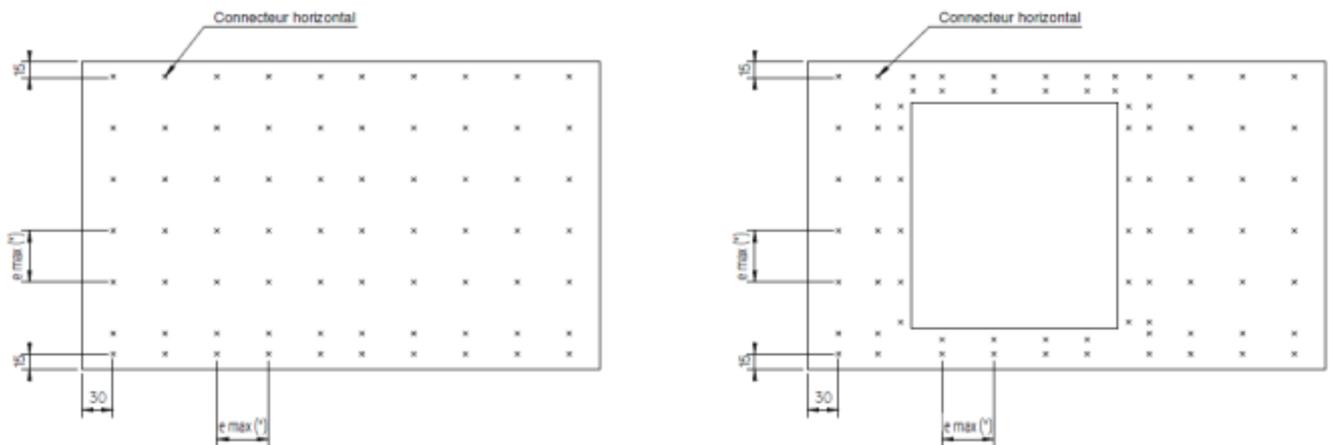
FIGURE 2 : DETAIL DES ANCRES PORTEUSES ET DES CONNECTEURSPOSITIONNEMENT DU CYLINDRE EN COUPEPOSITIONNEMENT DU PLAT SP FA (Vue du dessus)PRINCIPE DU DEVELOPPE DU CYLINDRE DIAM. 255MM :



CONNECTEUR SCHOECK TYP C-ED 12mmCONNECTEUR SCHOECK TYP C-EH 12mmCONNECTEUR SCHOECK TYP C-EH 8mm

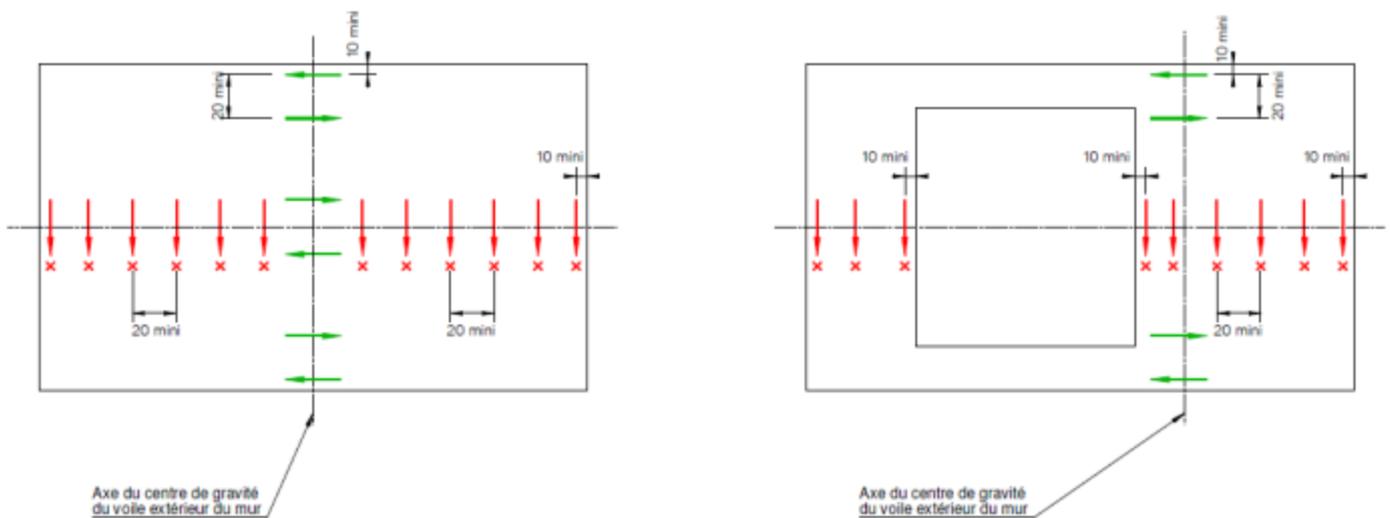
COUPE VERTICALE SUR PRECOFFRE TH / POSITIONNEMENT DES CONNECTEURS ISOLINK CE-D ET CE-H



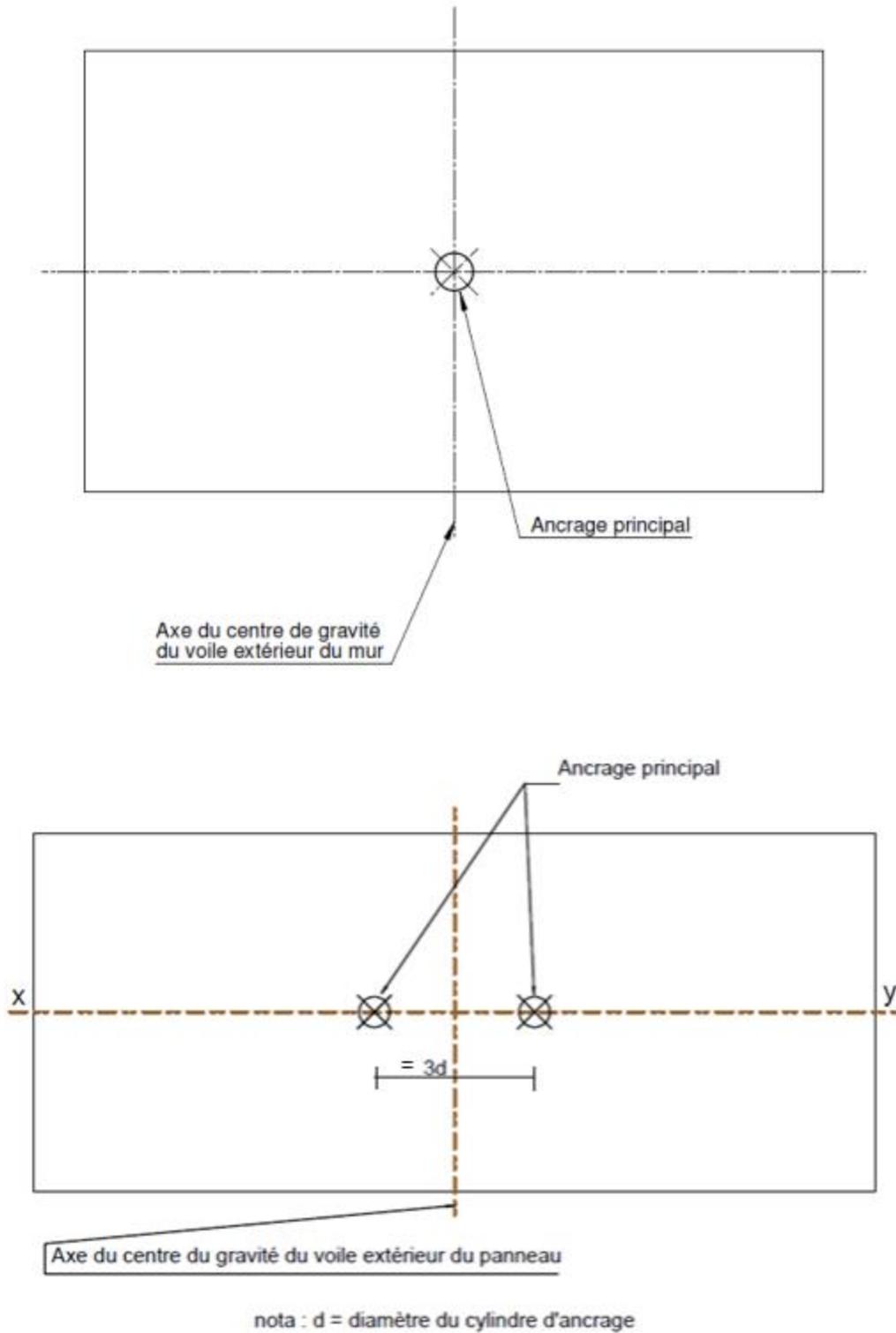
PRINCIPE D'IMPLANTATION DES CONNECTEURS HORIZONTAUX (Elevation)

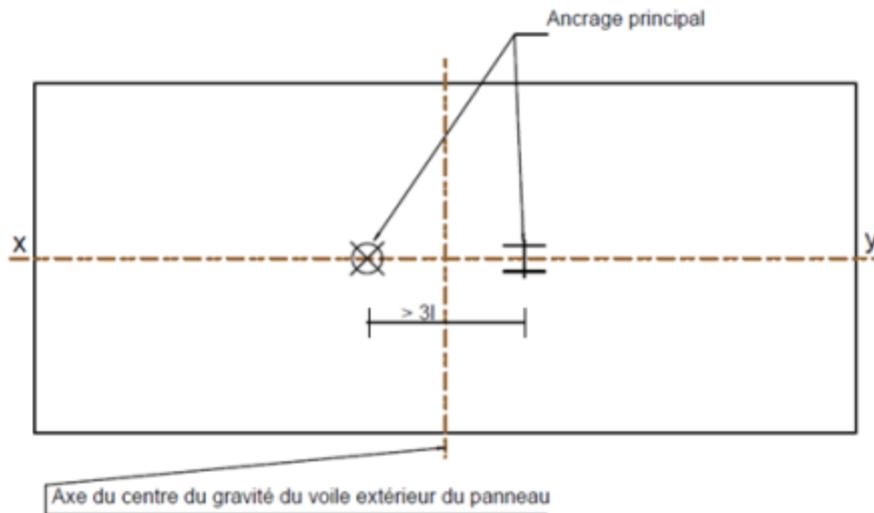
E_{max} : entraxe maximal entre connecteurs :

- 50cm pour C-EH 12 mm
- 45cm pour C-EH 8 mm

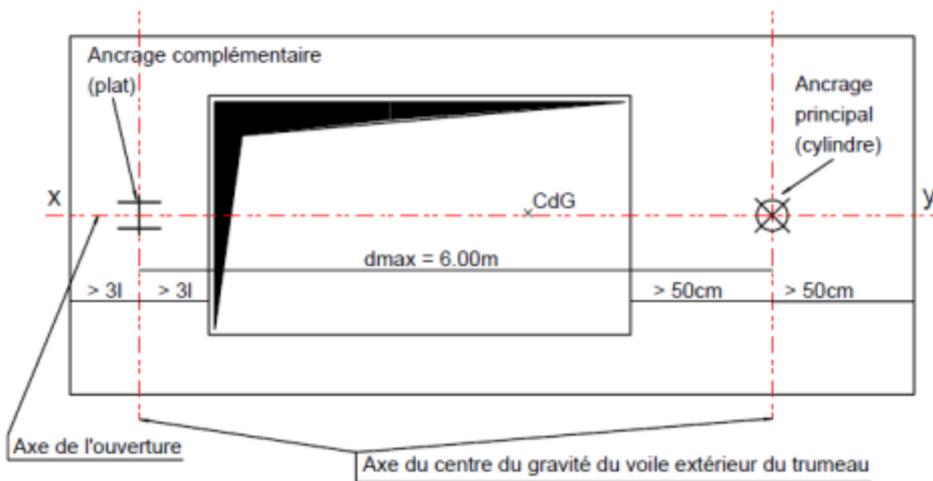
PRINCIPE D'IMPLANTATION DES CONNECTEURS INCLINES (Elevation)

-  Connecteurs C-ED 12 mm pour reprise des charges sismiques
-  Connecteurs C-ED 12 mm
-  Connecteurs C-EH 12 mm ou C-EH 8mm ou Optimas 8mm

PRINCIPE D'IMPLANTATION DES ANCRES PORTEUSES (CYLINDRES ET/OU PLATS)



nota : l = longueur du plat d'ancrage



nota : d = diamètre du cylindre d'ancrage
 l = longueur du plat d'ancrage

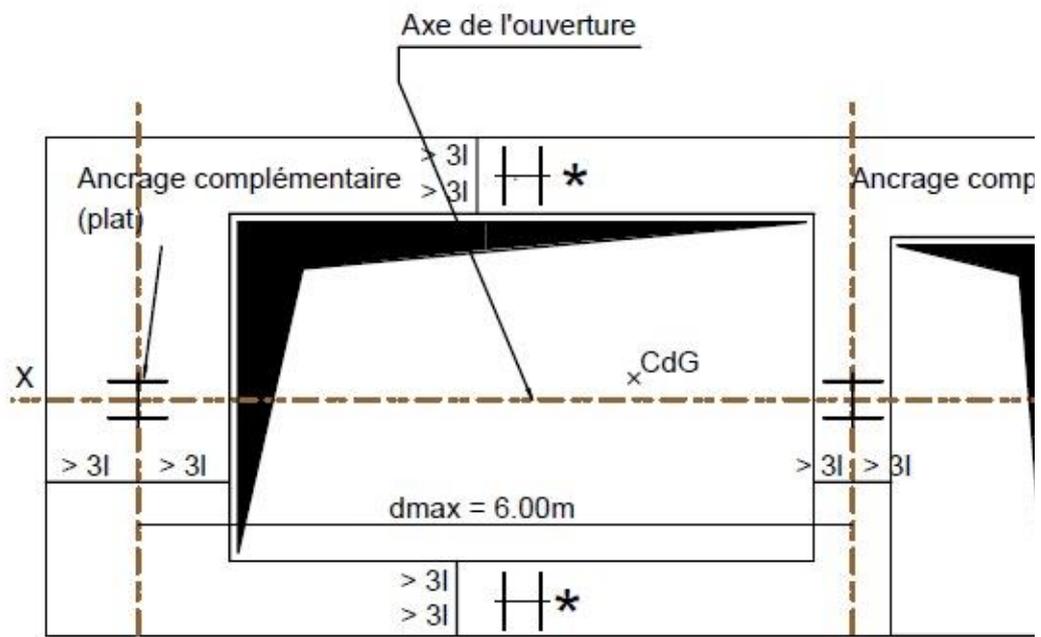


FIGURE 3 : RAIDISSEURS

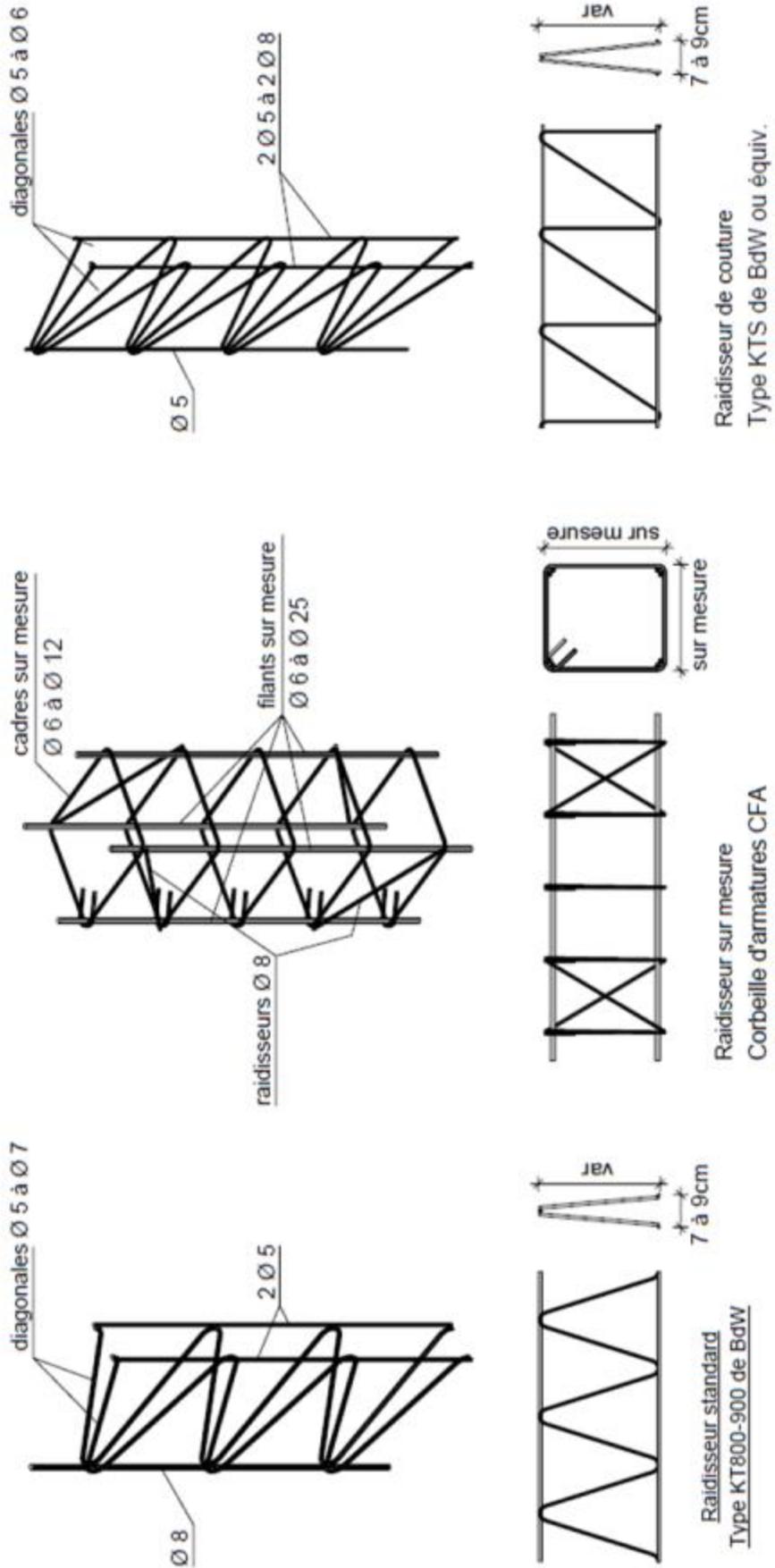
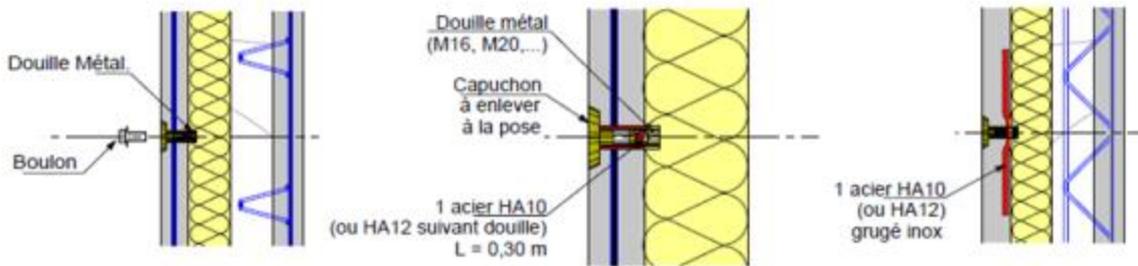


FIGURE 4 : DOUILLES METALLIQUES

Douilles côté extérieur



Douilles côté intérieur

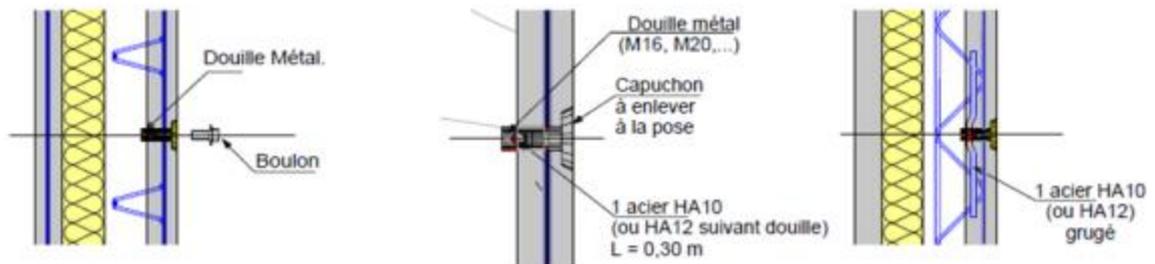
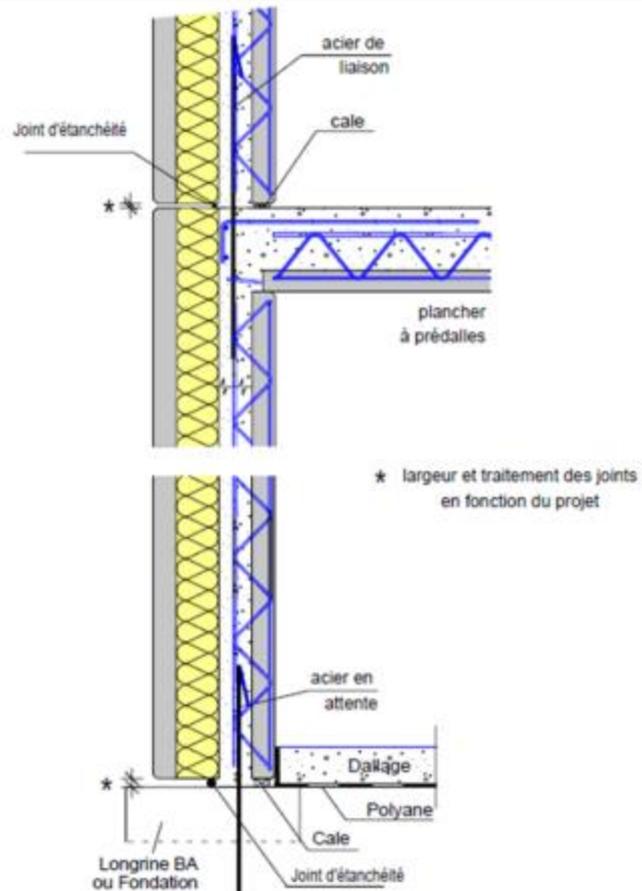
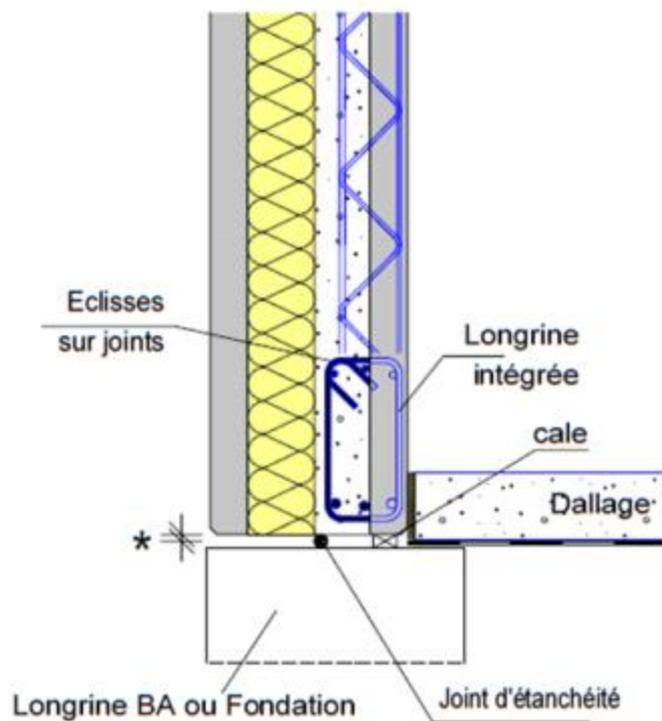
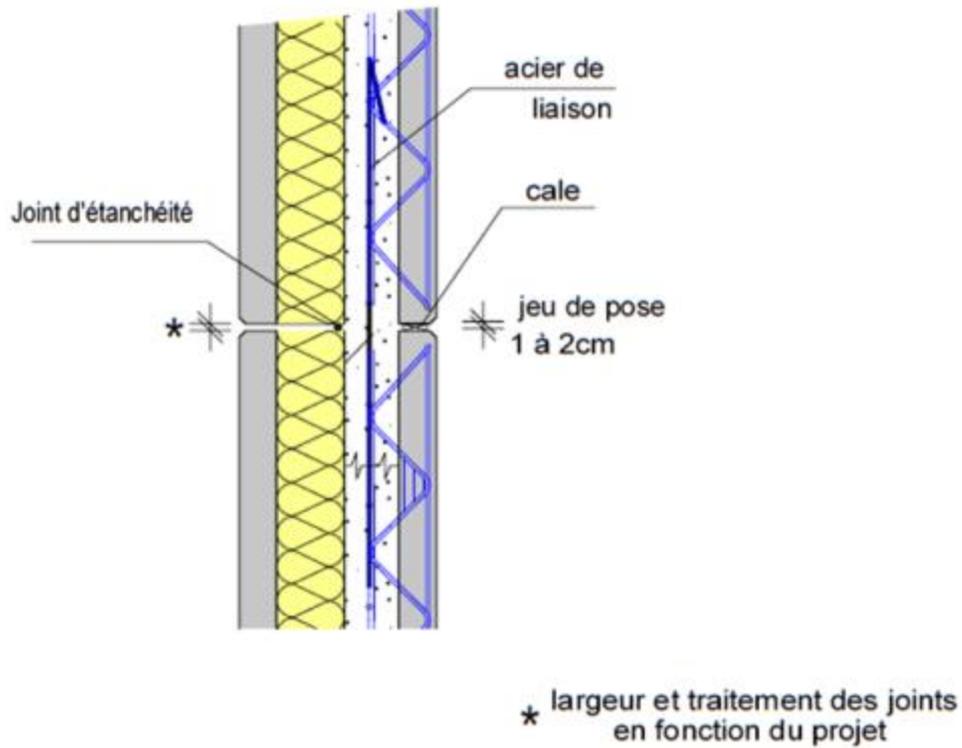


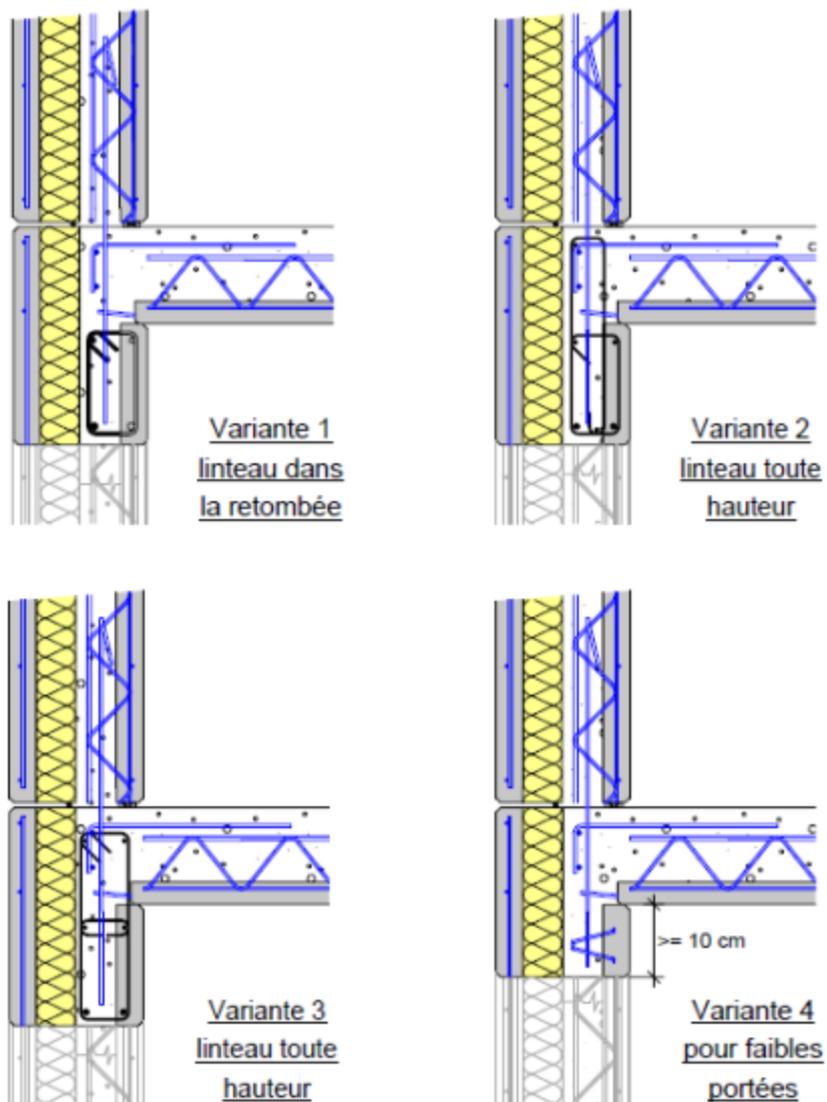
FIGURE 5 : COUPE COURANTE SUR ETAGE INTERMEDIAIRE



Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7

FIGURE 6 : COUPE TYPE : LIAISON SANS PLANCHER

Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7
 Une longrine peut être intégrée au mur «Précoffré TH» notamment en cas de fondations isolées.

FIGURE 7 : LINTEAUX INCORPORES

Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7

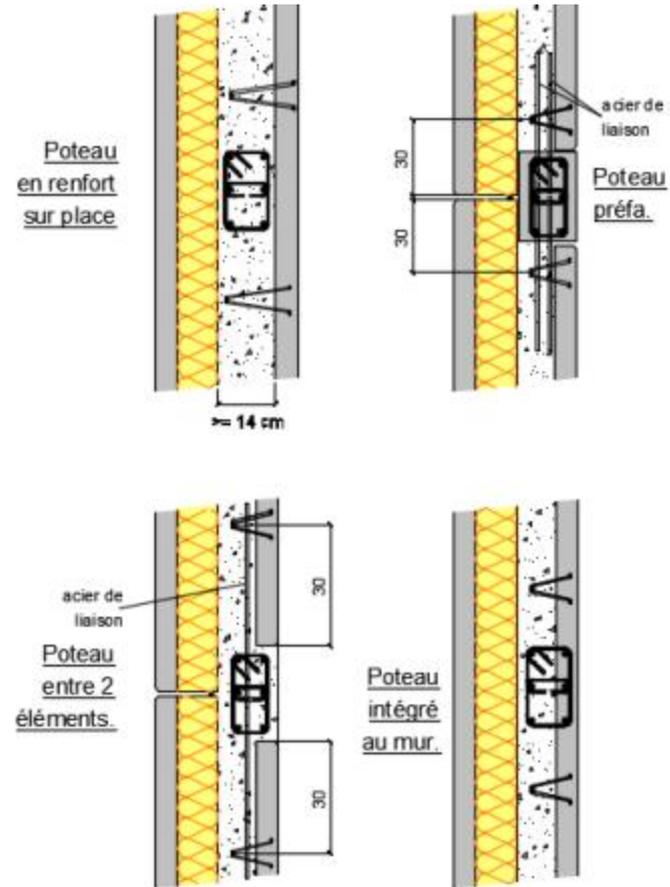
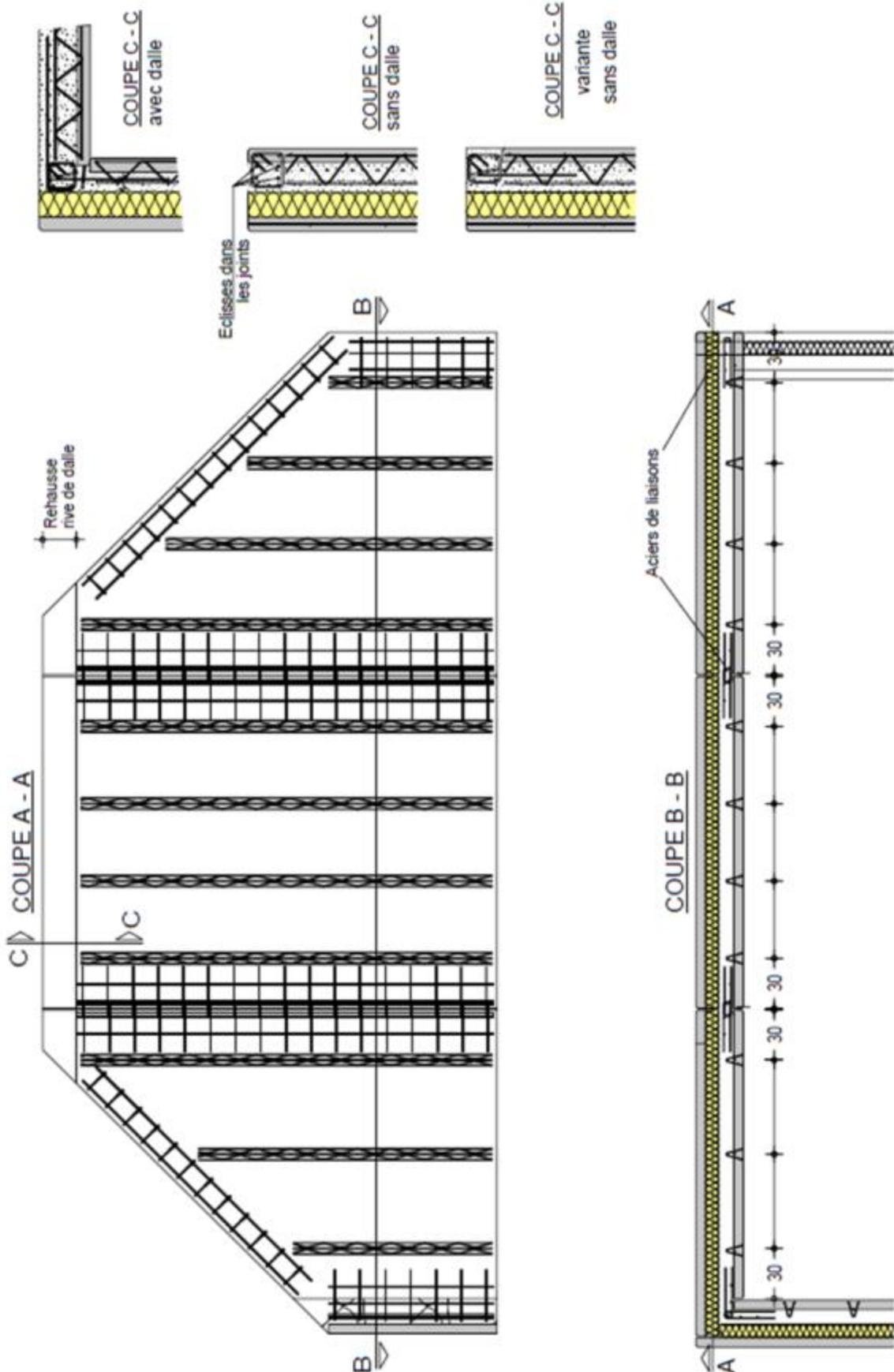
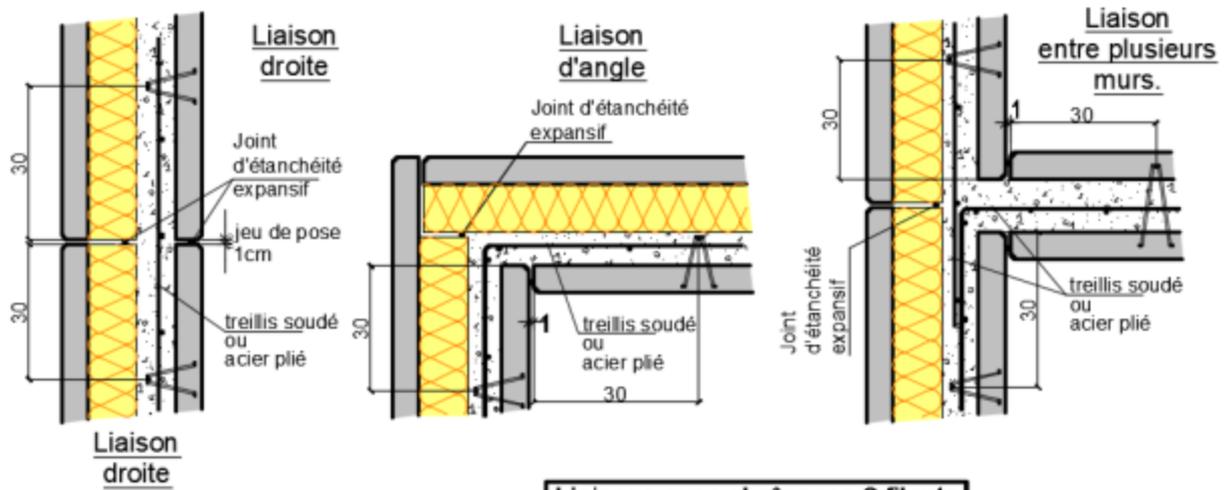
FIGURE 8 : POTEAUX INCORPORES

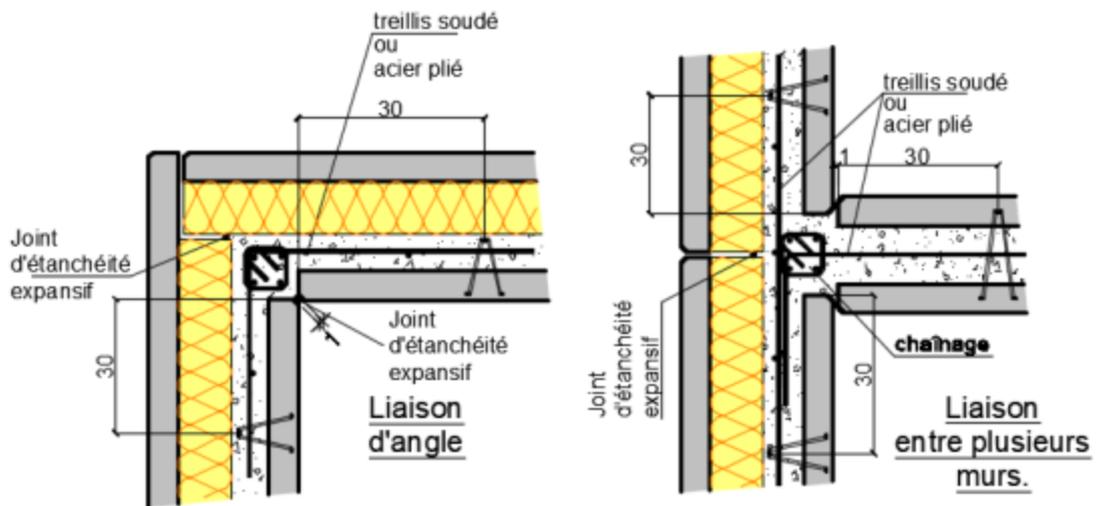
FIGURE 9 : MURS SUR PIGNONS

Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7

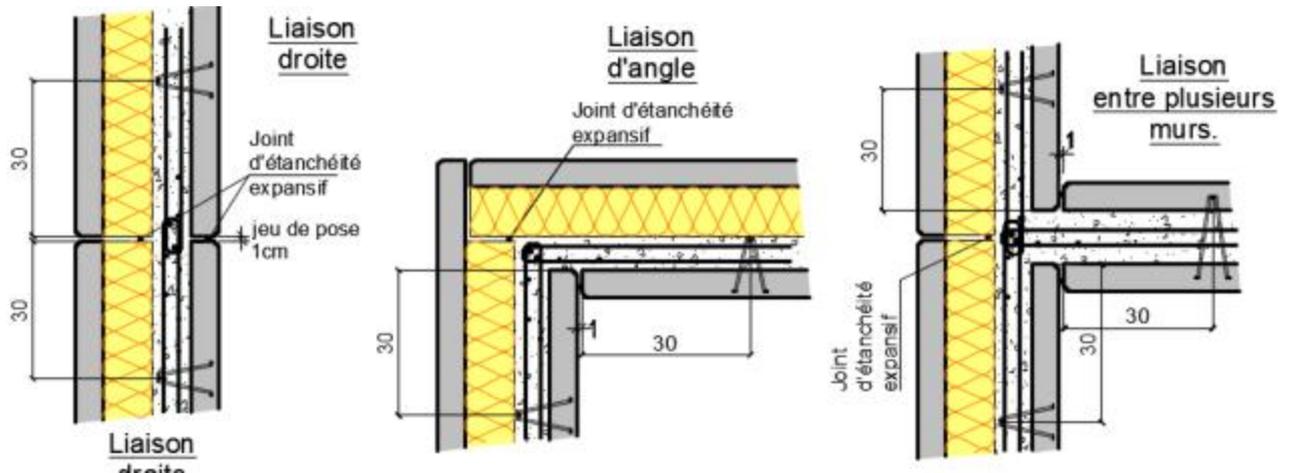
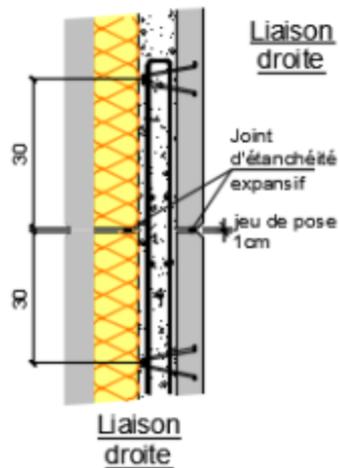
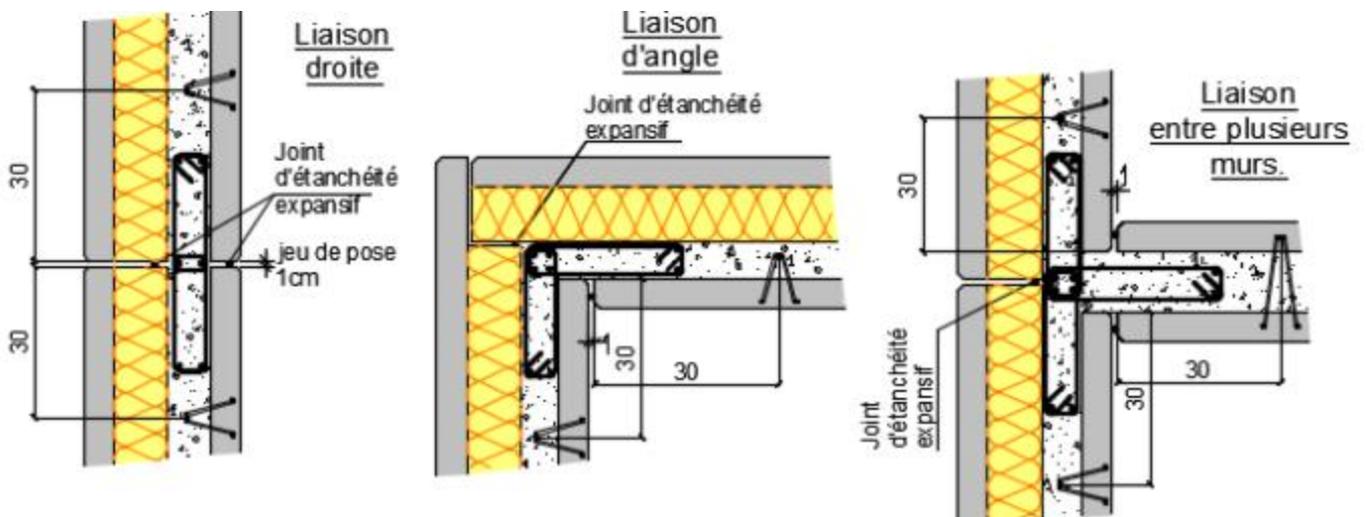
FIGURE 10 : LIAISONS VERTICALES ARTICULEES ENTRE MURS AVEC EP BETON COULE SUR PLACE ≥ 8 CM

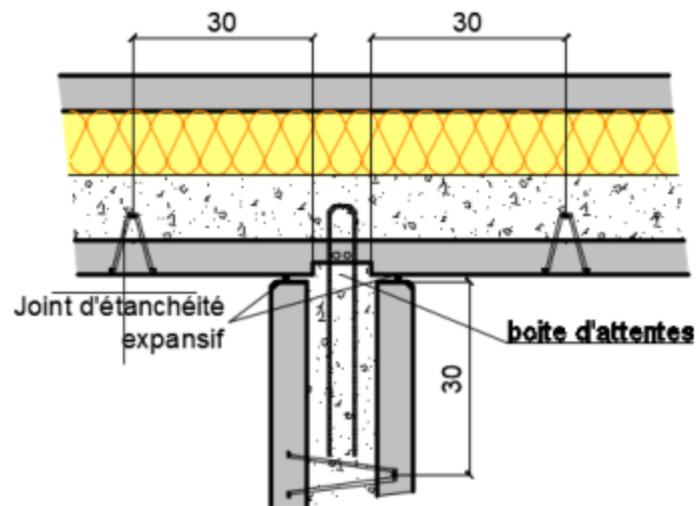


Liaisons avec chaînages 2 filants



Liaisons avec chaînages 4 filants

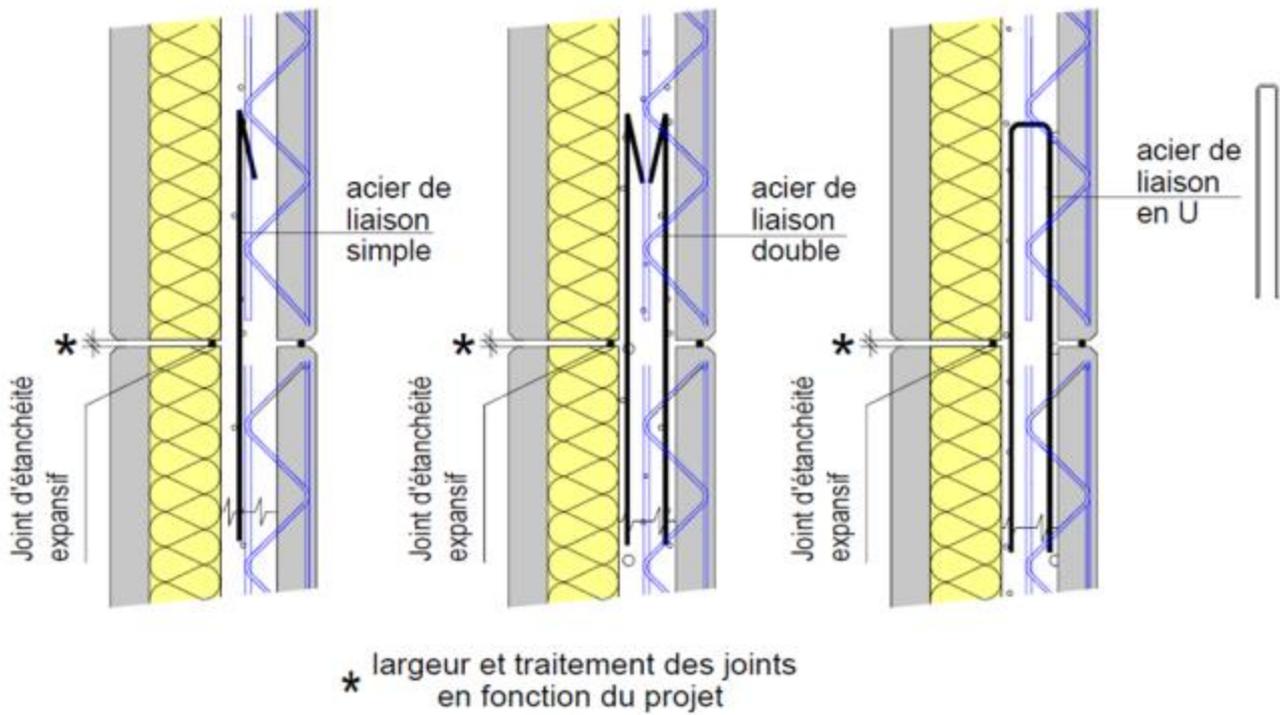
FIGURE 11 : LIAISONS VERTICALES ARTICULEES ENTRE MURS AVEC EP BETON COULE SUR PLACE $\geq 10\text{CM}$ **Liaisons avec aciers de liaisons standard****Liaisons avec aciers de liaisons en TS pliés****FIGURE 12 : LIAISONS VERTICALES ARTICULEES ENTRE MURS EP BETON COULE SUR PLACE $\geq 12\text{CM}$ et LIAISONS AVEC BOITE D'ATTENTES MURS EP BETON COULE SUR PLACE $\geq 8\text{CM}$** **Liaisons avec aciers de liaisons en cadres**



Liaisons avec boîte d'attente

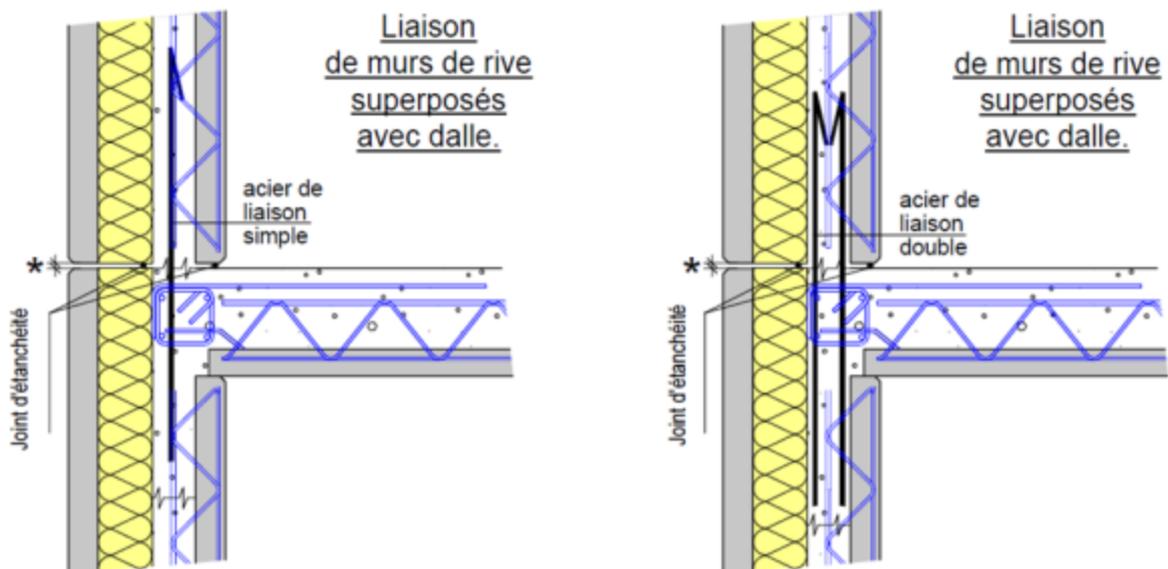
Nota : Les liaisons avec boîte d'attente sans chaînage sont exclues en cas d'exigence sismique.

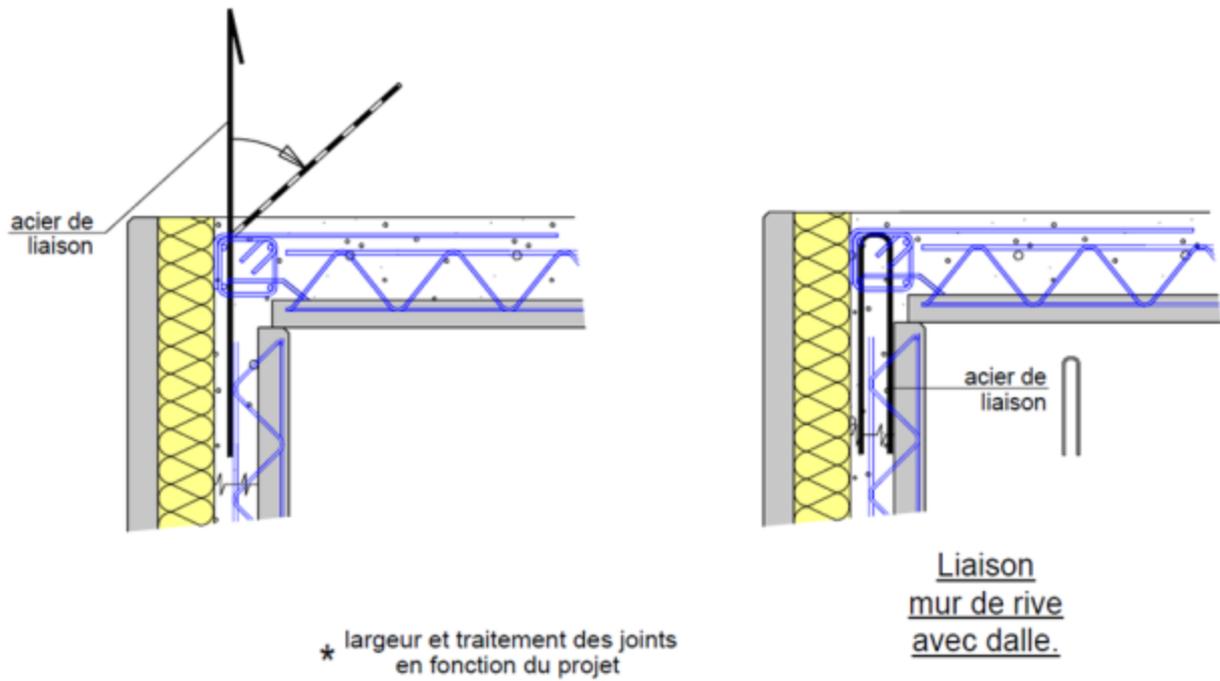
**FIGURE 13 : LIAISONS HORIZONTALES ARTICULEES COURANTES
(Murs superposés sans dalle)**



Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7

FIGURE 14 : LIAISONS HORIZONTALES ARTICULEES COURANTES (Mur de rive avec dalle)

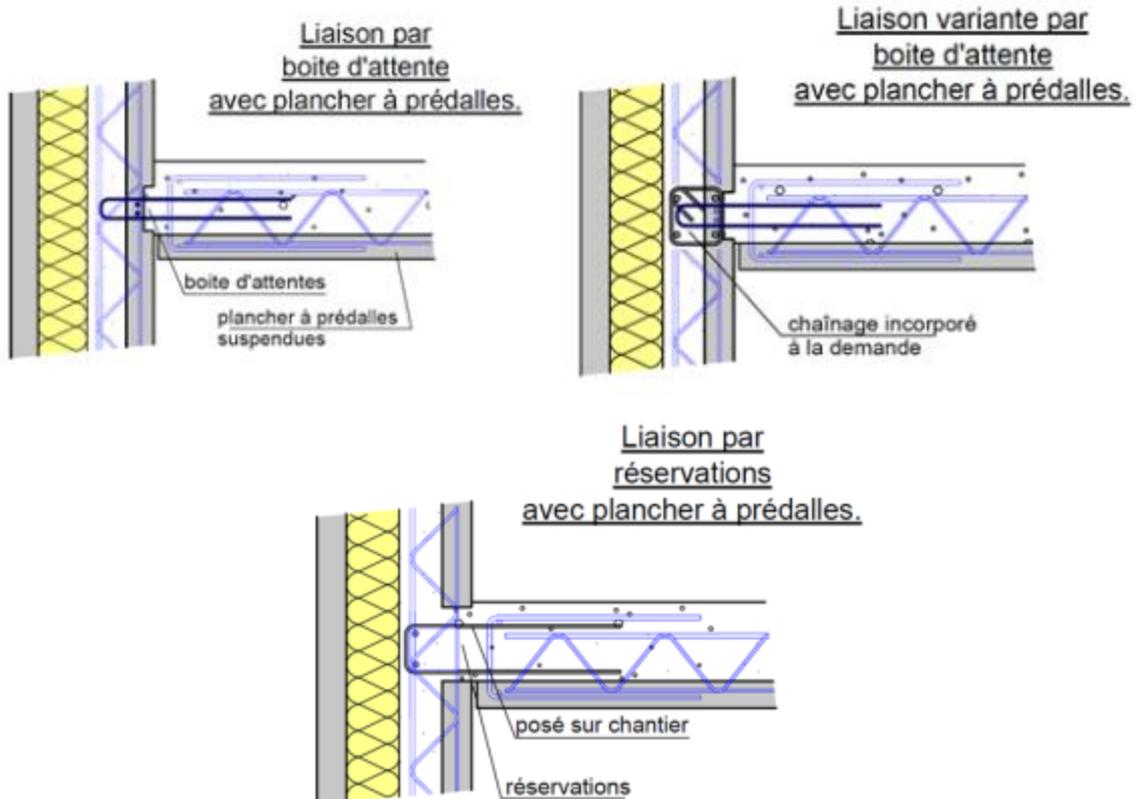




Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7

FIGURE 15 : LIAISONS HORIZONTALES AVEC DALLE SUSPENDUE

Les solutions de planchers suspendus avec boîtes d'attente sont interdites en zone sismique



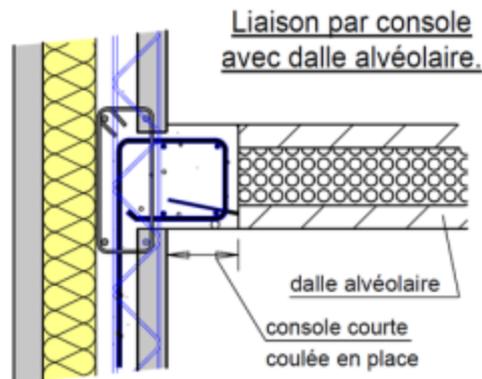
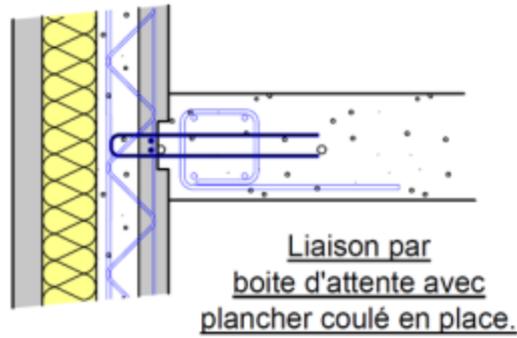
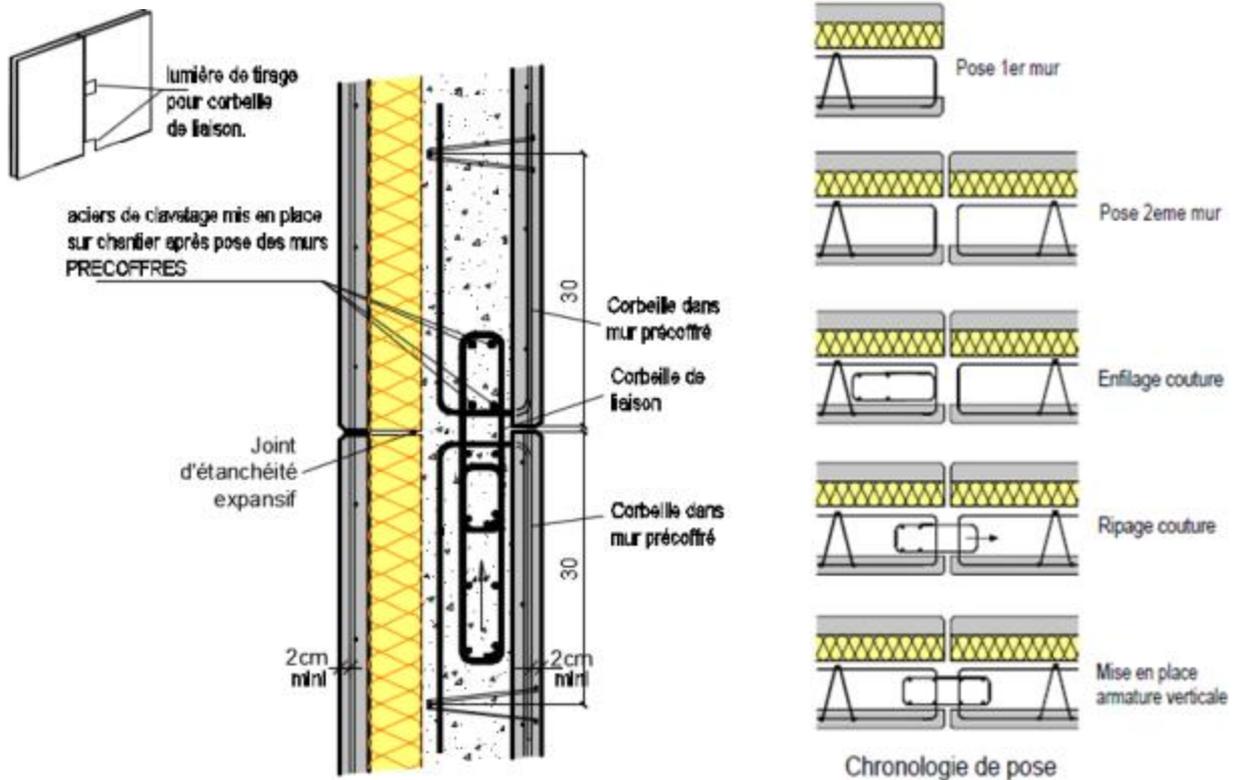
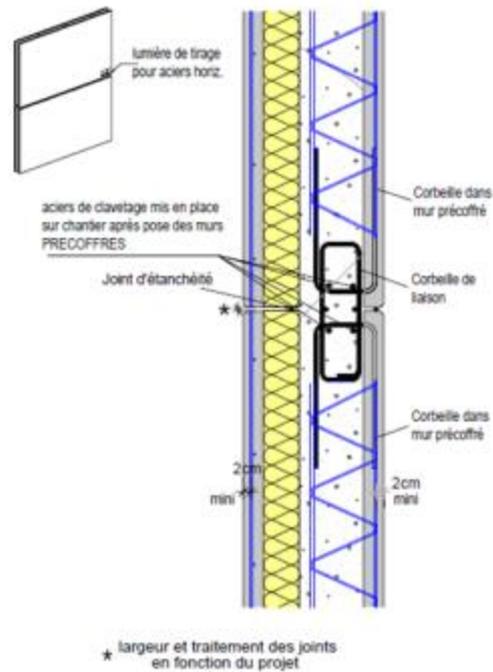


FIGURE 16 : LIAISONS DROITES COUTURES



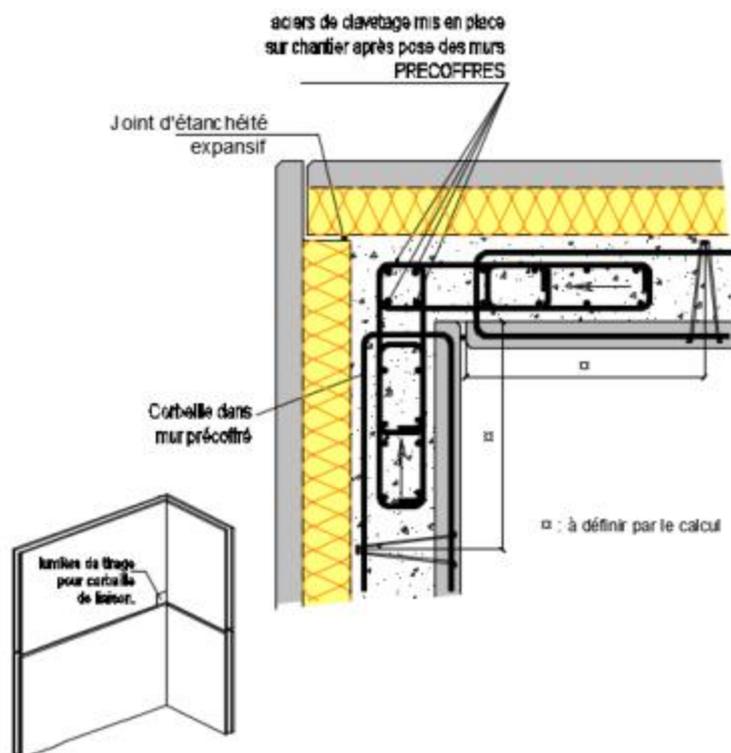
Liaison C1
Liaison Verticale couturée



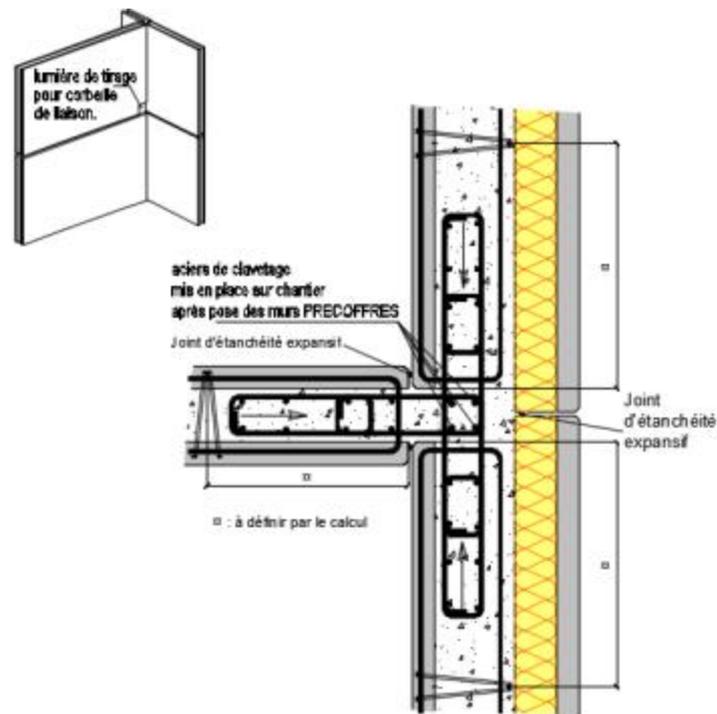
Liaison C5

Liaison horizontale Couturée

FIGURE 17 : liaisons verticales d'angle et de refend couturées



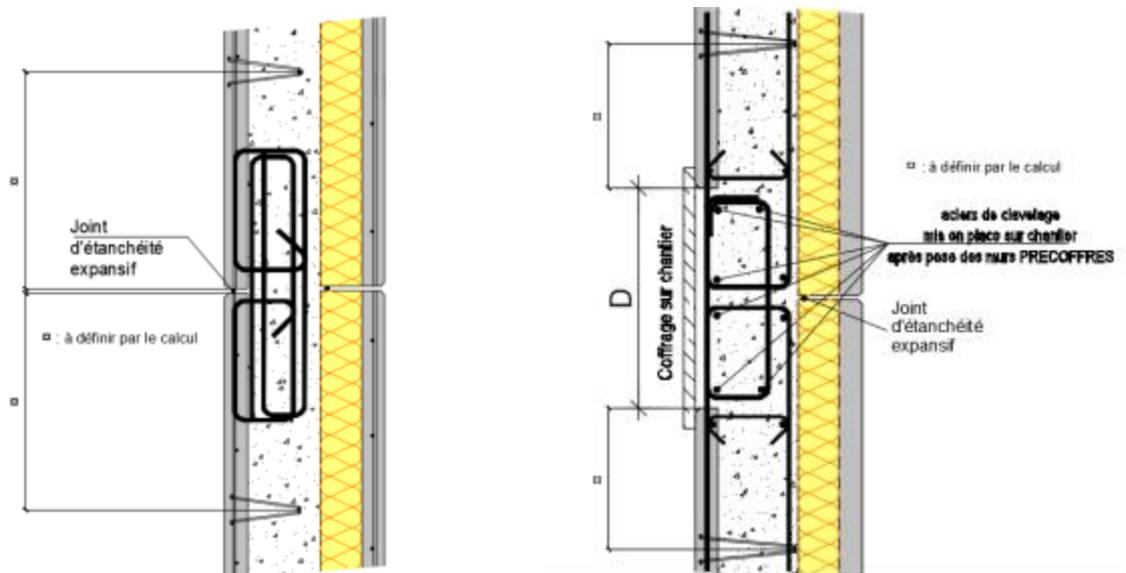
Liaison C2



Liaison C3

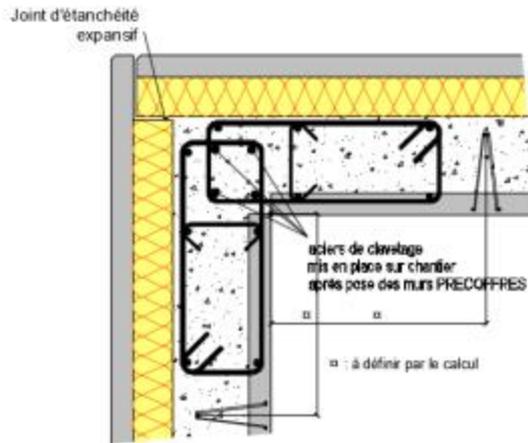
Remarque : les détails ci-dessous sont valables quelle que soit l'épaisseur du noyau. Il convient de prendre en compte la distance entre l'armature principale et l'armature de recouvrement pour le dimensionnement de cette dernière.

FIGURE 18 : Liaisons verticales droites encastrées

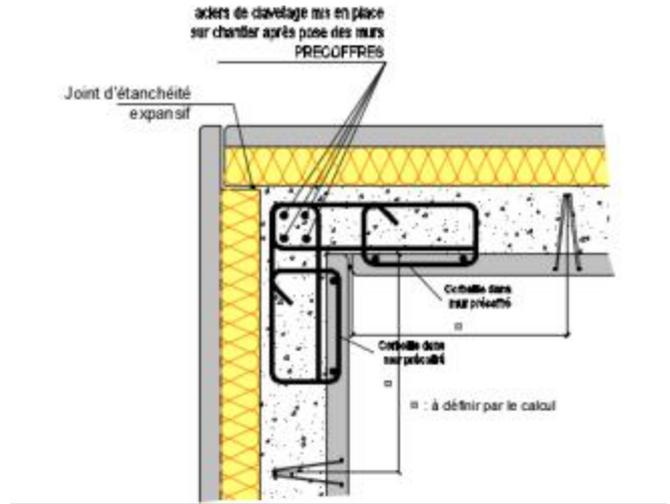


Liaison E1 Liaison E2

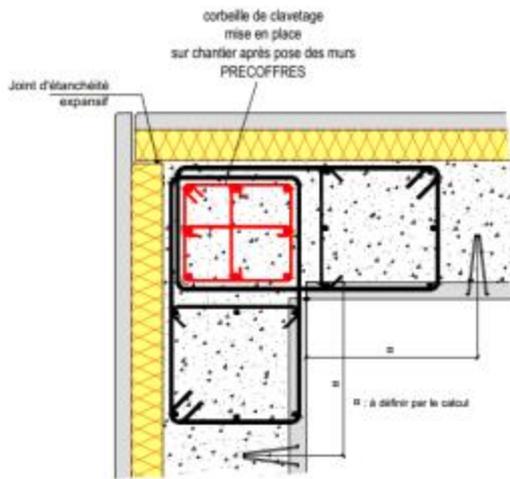
FIGURE 19 : LIAISONS VERTICALES D'ANGLE ENCASTREES



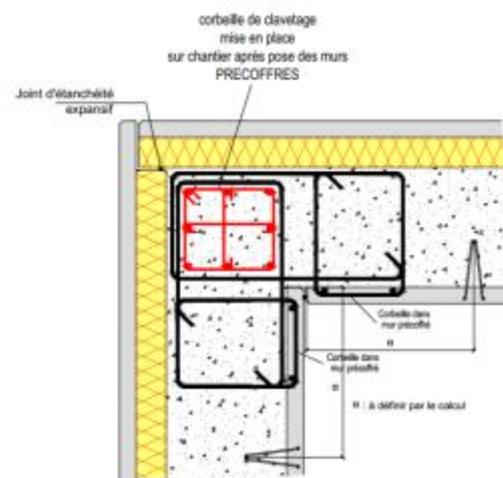
Liaison E3a : épaisseur du noyau ≤ 20cm



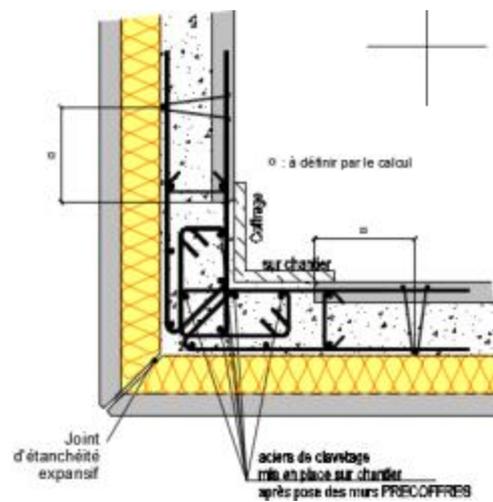
Liaison E3b : épaisseur du noyau ≤ 20cm



Liaison E3c : épaisseur du noyau > 20cm

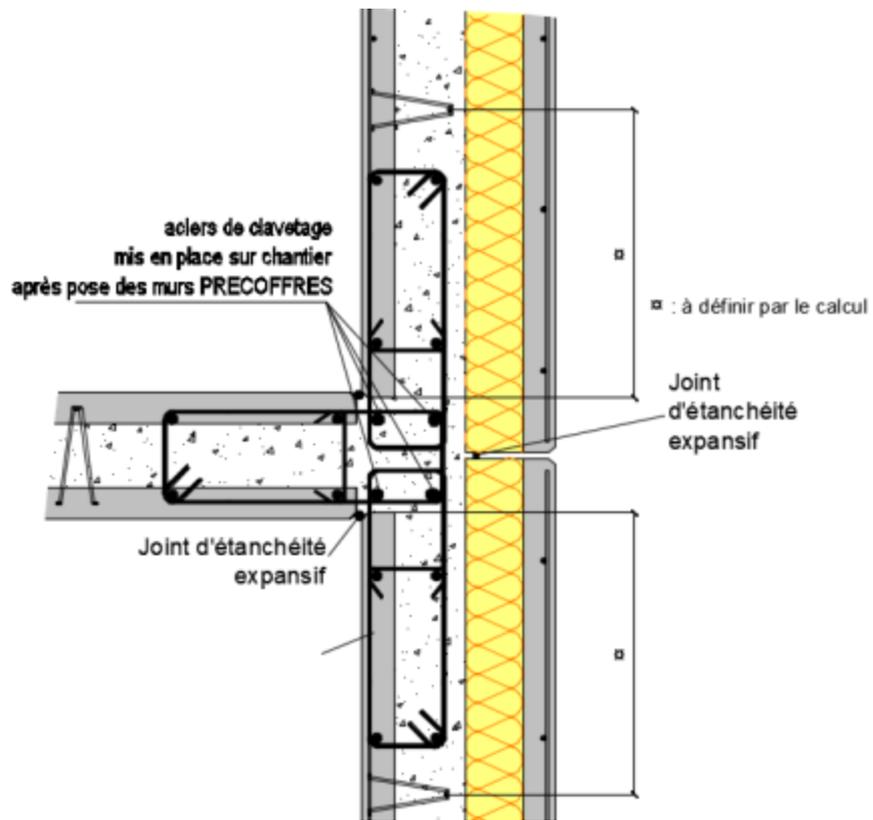


Liaison E3d : épaisseur du noyau > 20cm



Liaison E4 : épaisseur du noyau ≤ 20cm

FIGURE 20 : LIAISONS REFEND ENCASTREES

**Liaison E5****FIGURE 21 : LIAISONS VERTICALES EN BIAIS ENCASTREES**

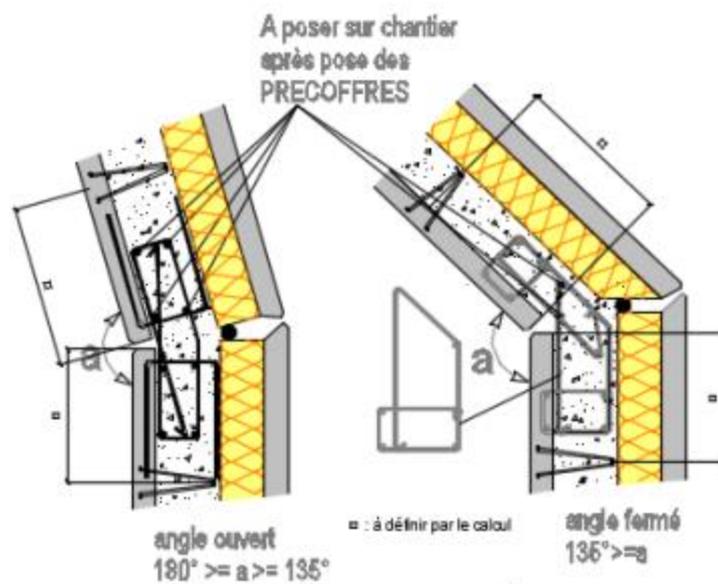
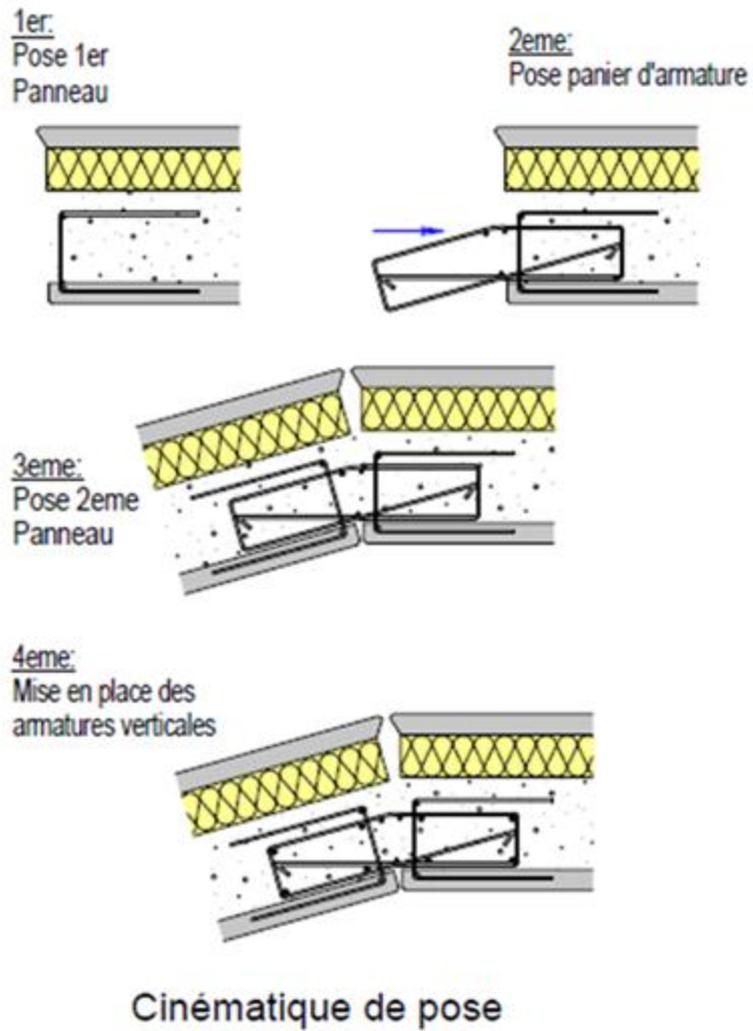
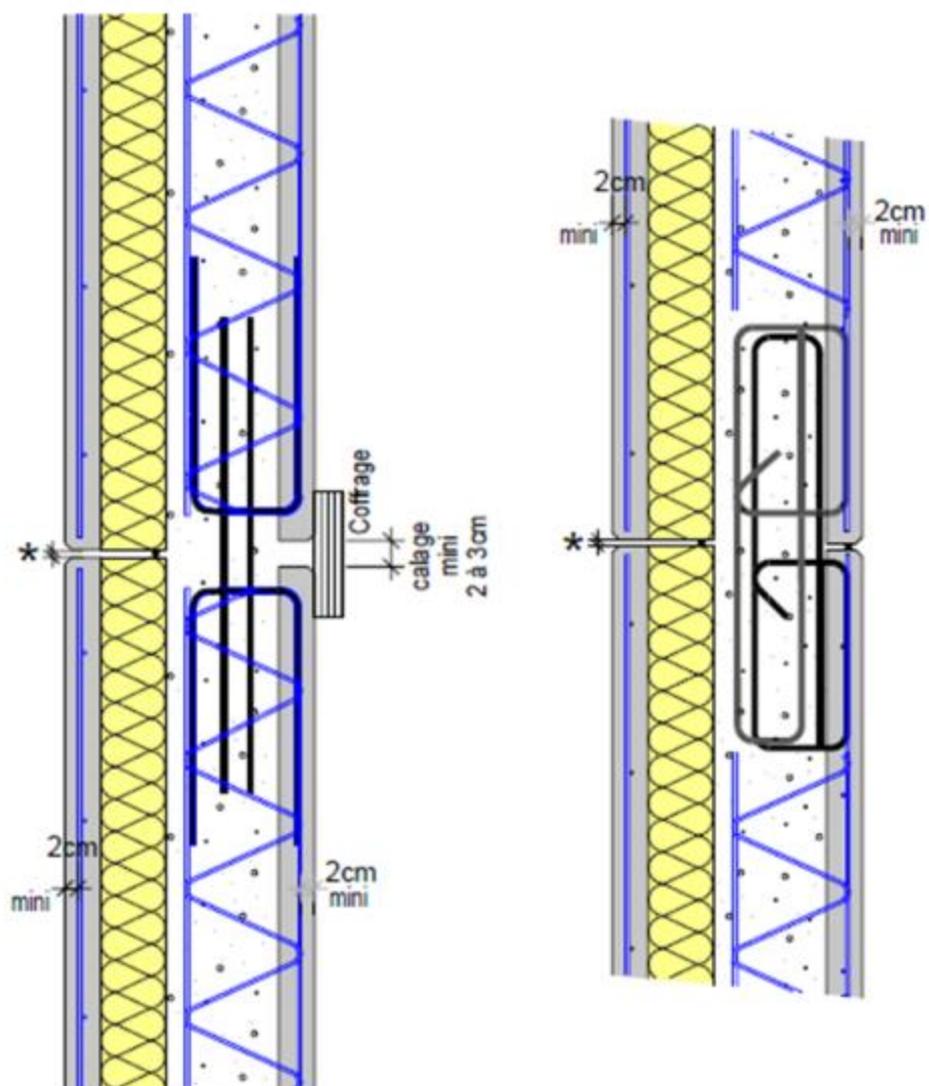


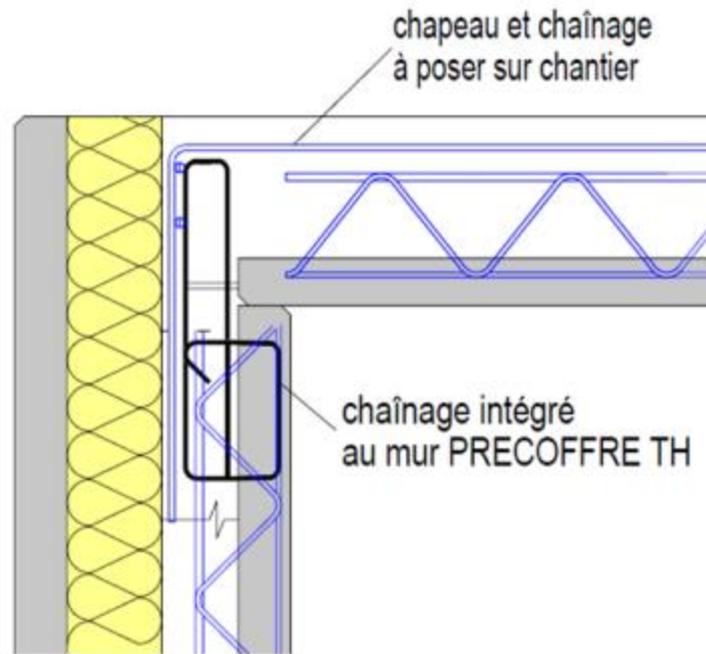
FIGURE 22 : LIAISONS HORIZONTALES ENCASTREES



* largeur et traitement des joints
en fonction du projet

Liaison E8 Liaison E9

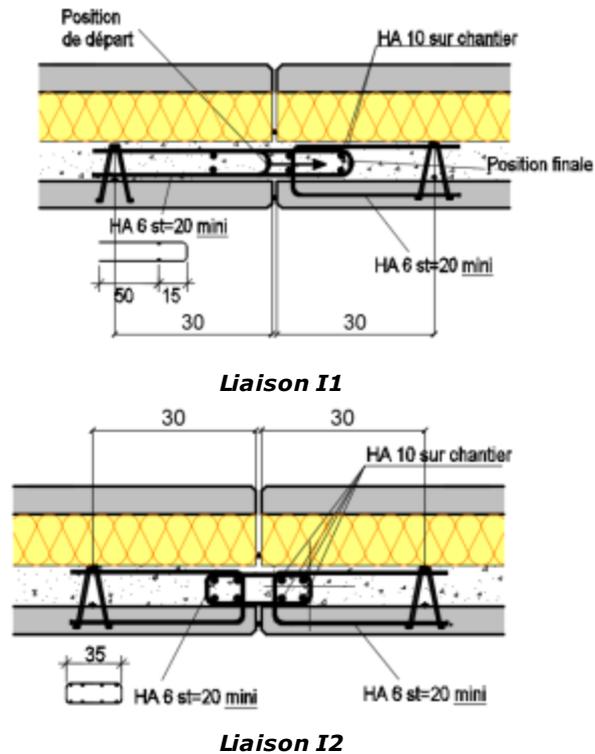
FIGURE 23 : LIAISONS ENCASTREES PLANCHER MUR

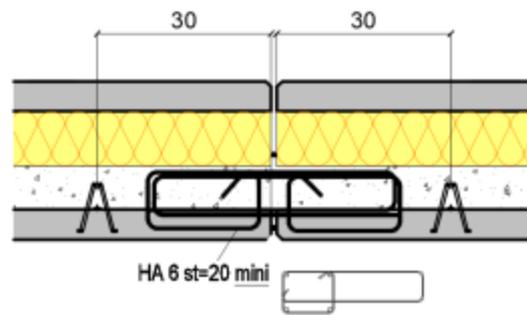
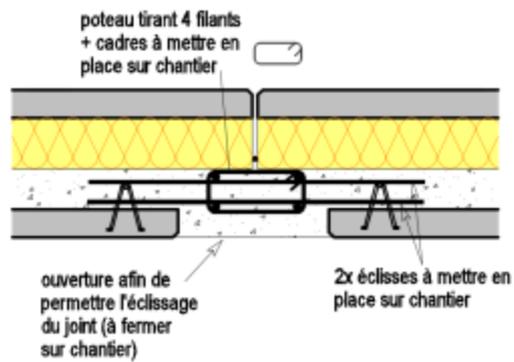


Liaison voile/dalle
avec chaînage incorporé

Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7

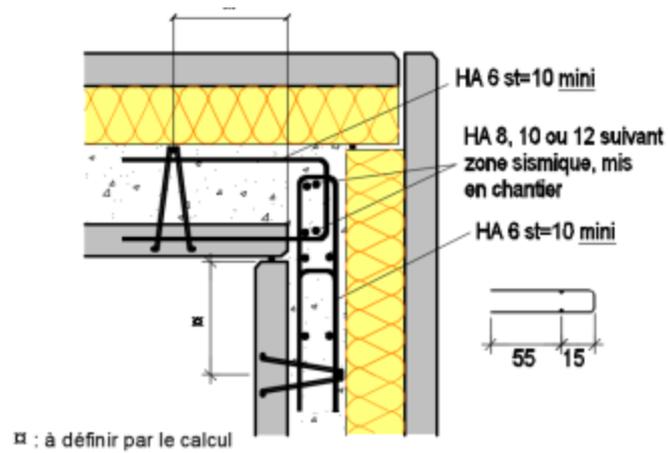
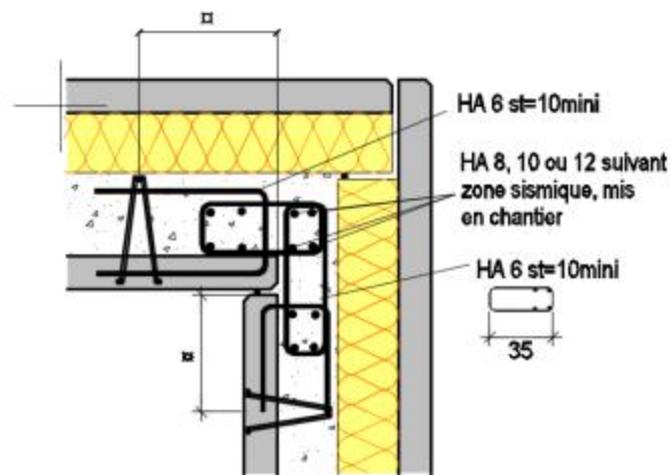
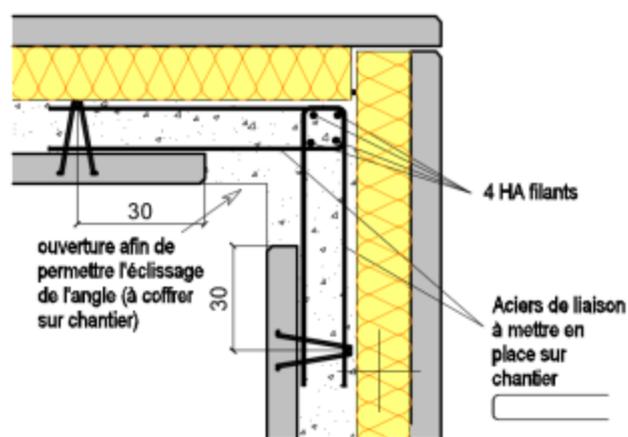
FIGURE 24 : LIAISONS SISMIQUES DROITES COUTUREES



**Liaison I3****Liaison I4**

* : largeur et traitement des joints en fonction du projet

Nota : Les sections d'armatures et les espacements des aciers de liaison sont donnés par le calcul.

FIGURE 25 : LIAISONS SISMIQUES D'ANGLE COUTUREES**Liaison I5****Liaison I6****Liaison I7**

* : largeur et traitement des joints en fonction du projet

Nota : Les sections d'armatures et les espacements des aciers de liaison sont donnés par le calcul.

FIGURE 26 : LIAISONS SISMIQUES EN T COUTUREES

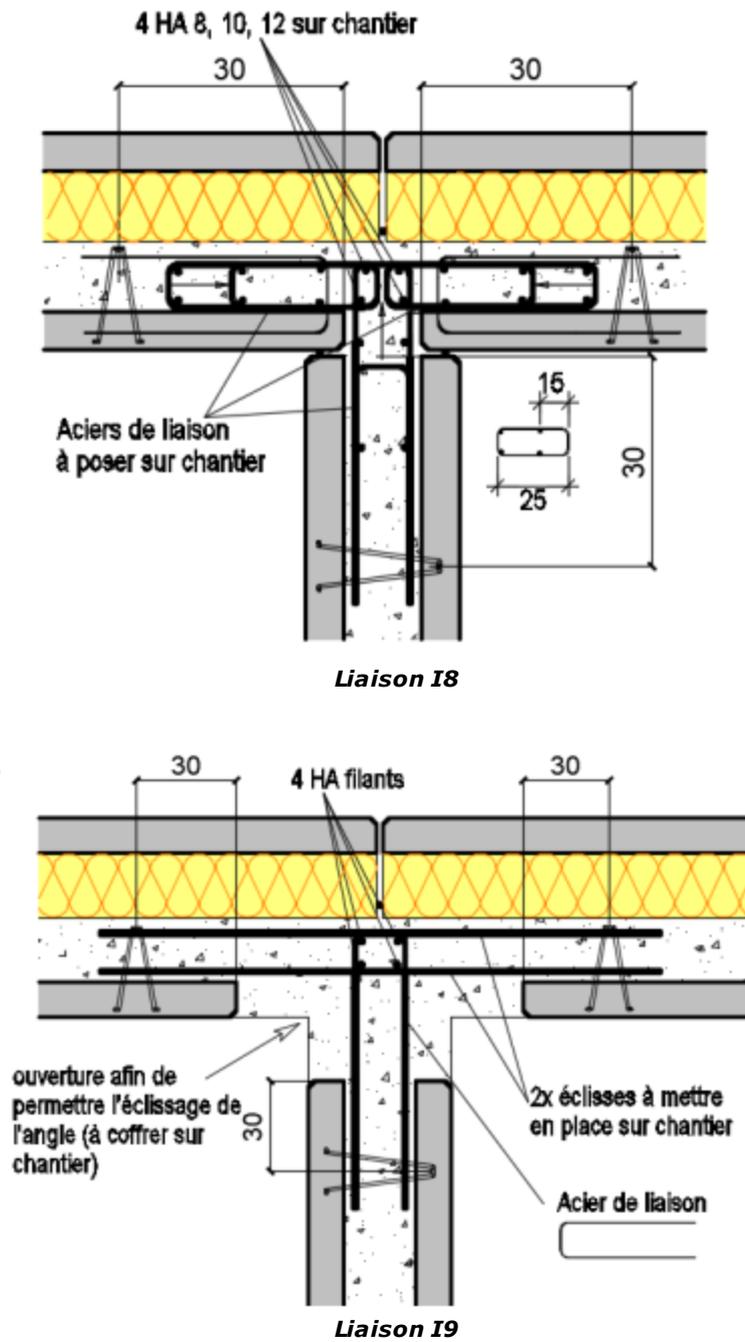
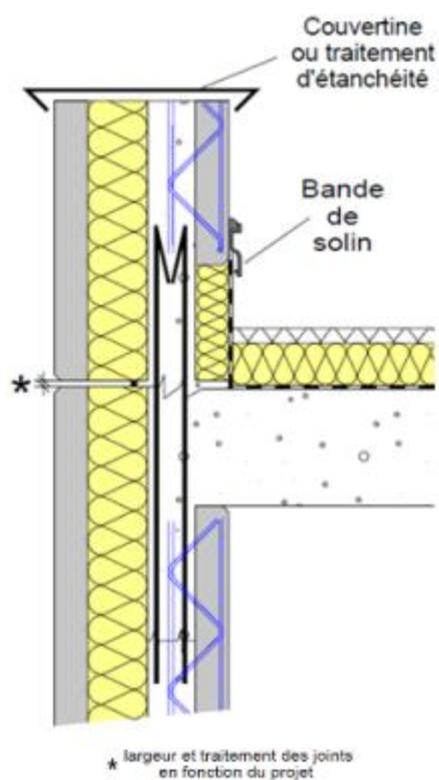
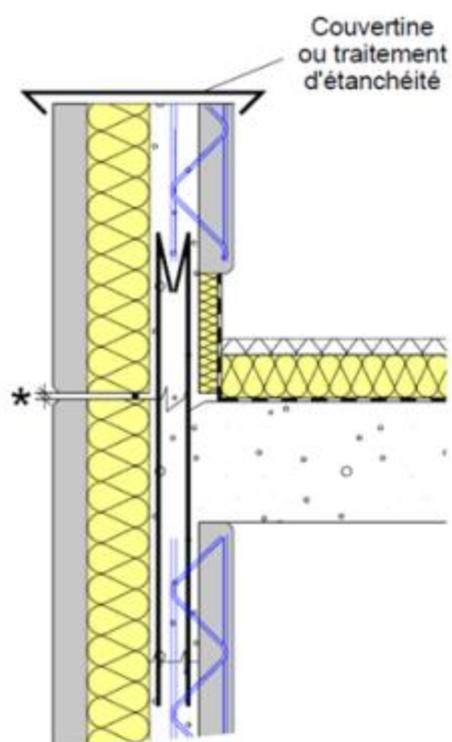


FIGURE 27 : ACROTÈRES

Acrotère haut avec complément d'isolant posé sur chantier : CAS 1



Acrotère haut avec complément d'isolant posé sur chantier : CAS 2

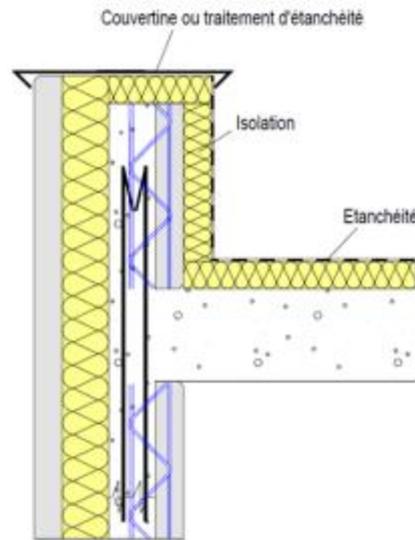


* : largeur et traitement des joints en fonction du projet

Nota 1 : pour ces dispositions, la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7.

Nota 2 : pour ces dispositions, l'épaisseur de béton coulé en place dans les « Précoffré TH » est supérieure ou égale à 10 cm.

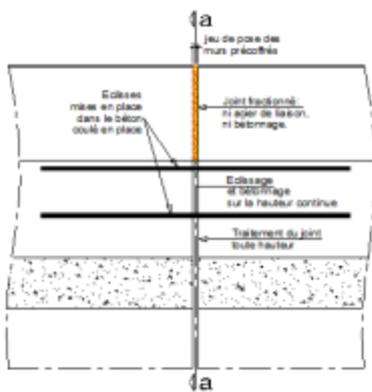
Acrotère bas avec complément d'isolant posé sur chantier : CAS 3



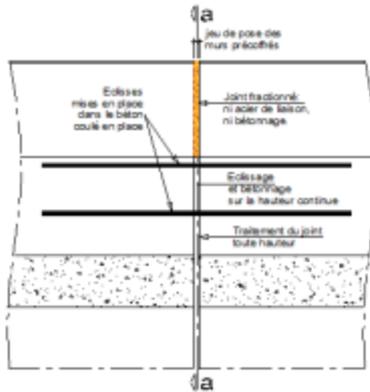
Nota : la reprise de bétonnage sera conforme aux dispositions de l'article 2.5.7

Détails aux joints

Cas 1



Cas 2



Cas 3

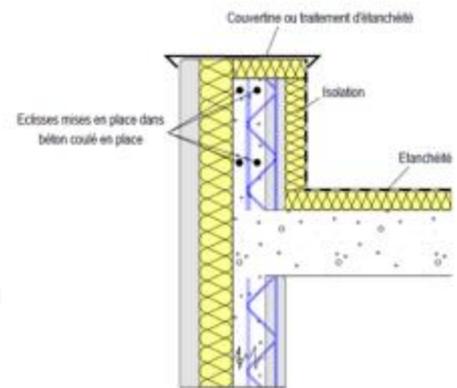
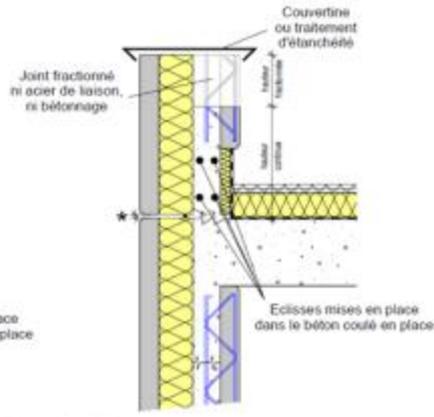
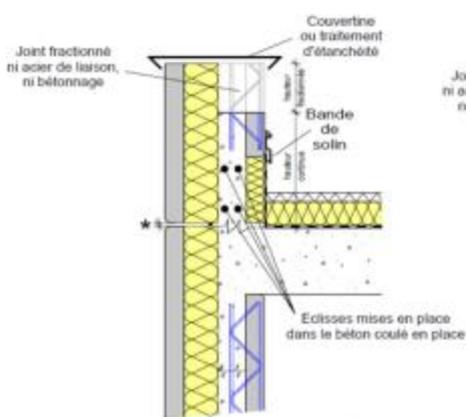
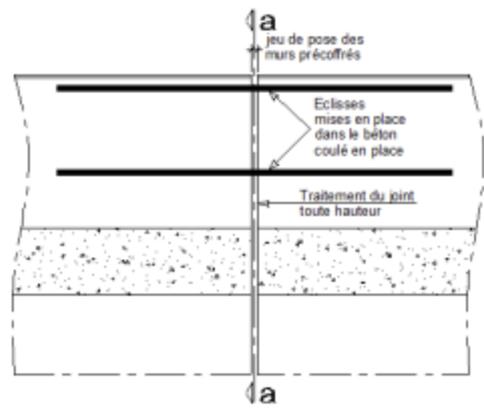
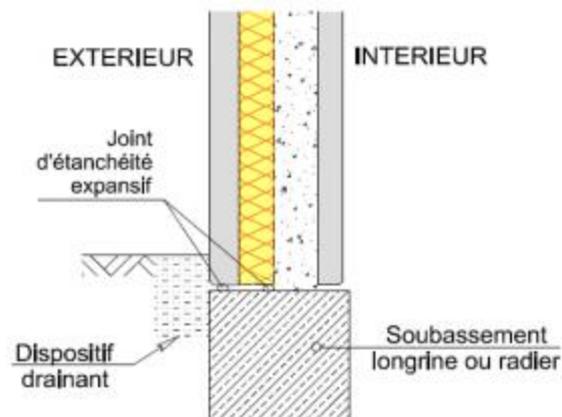
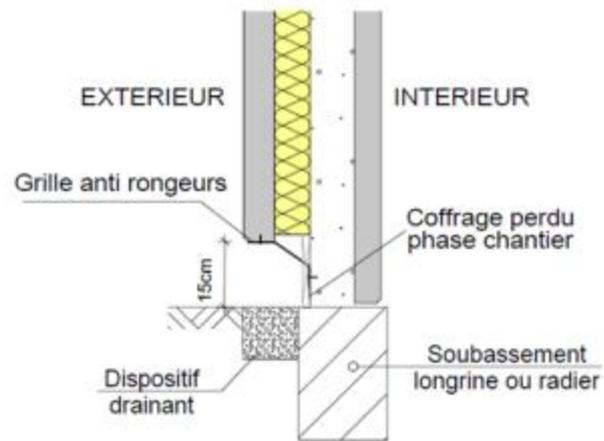
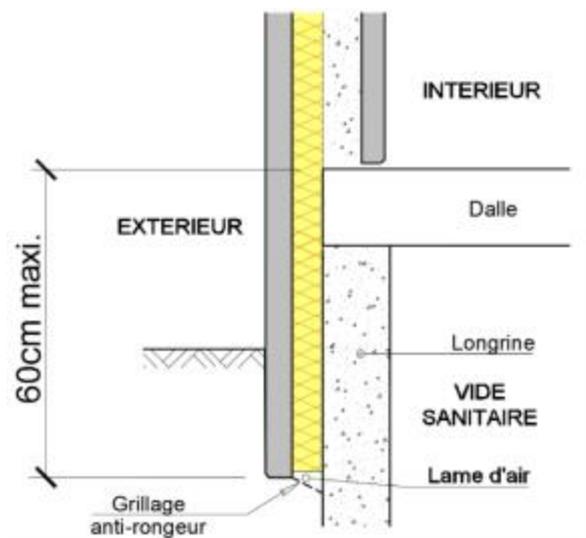
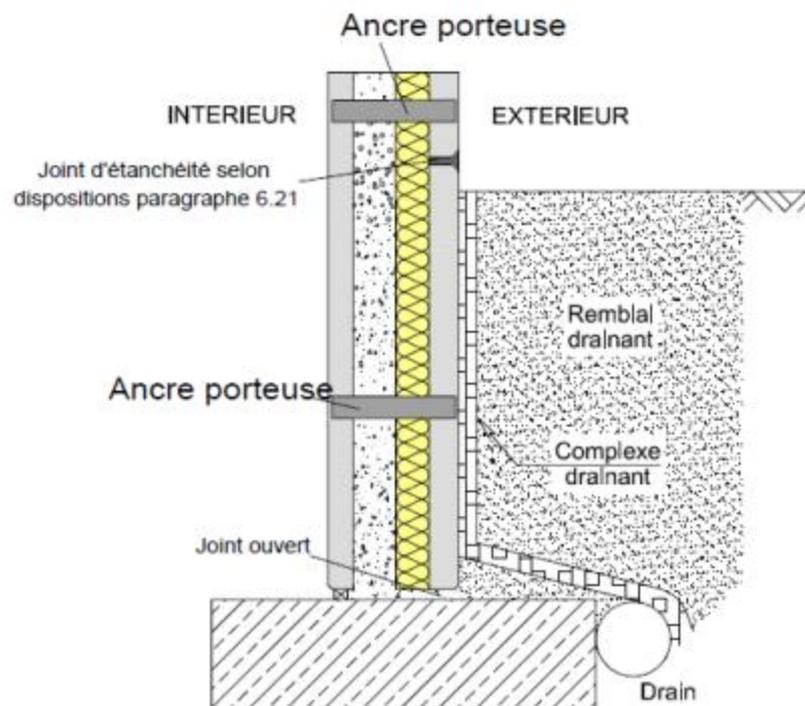
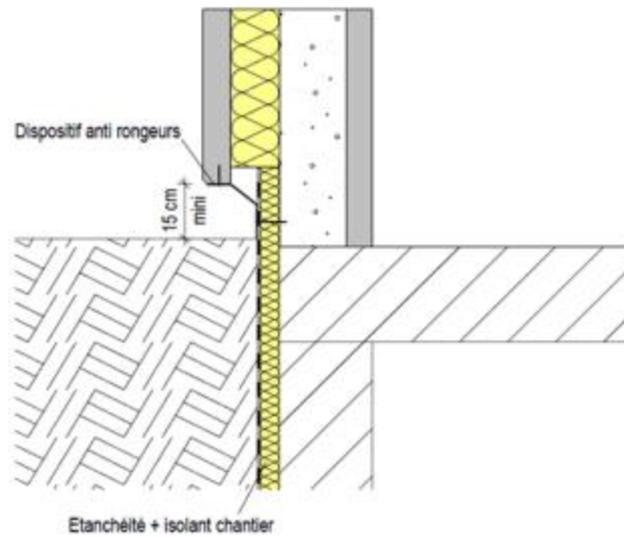


FIGURE 28. : DETAILS INDICATIFS POUR LE TRAITEMENT DES PIEDS DE MURS



Nota : dans la configuration ci-dessus, le joint sera partiellement ouvert à la jonction entre 2 murs, suivant les dispositions de la Figure 32, pour permettre l'évacuation de l'humidité pouvant se former entre l'isolant et le béton coulé en place.





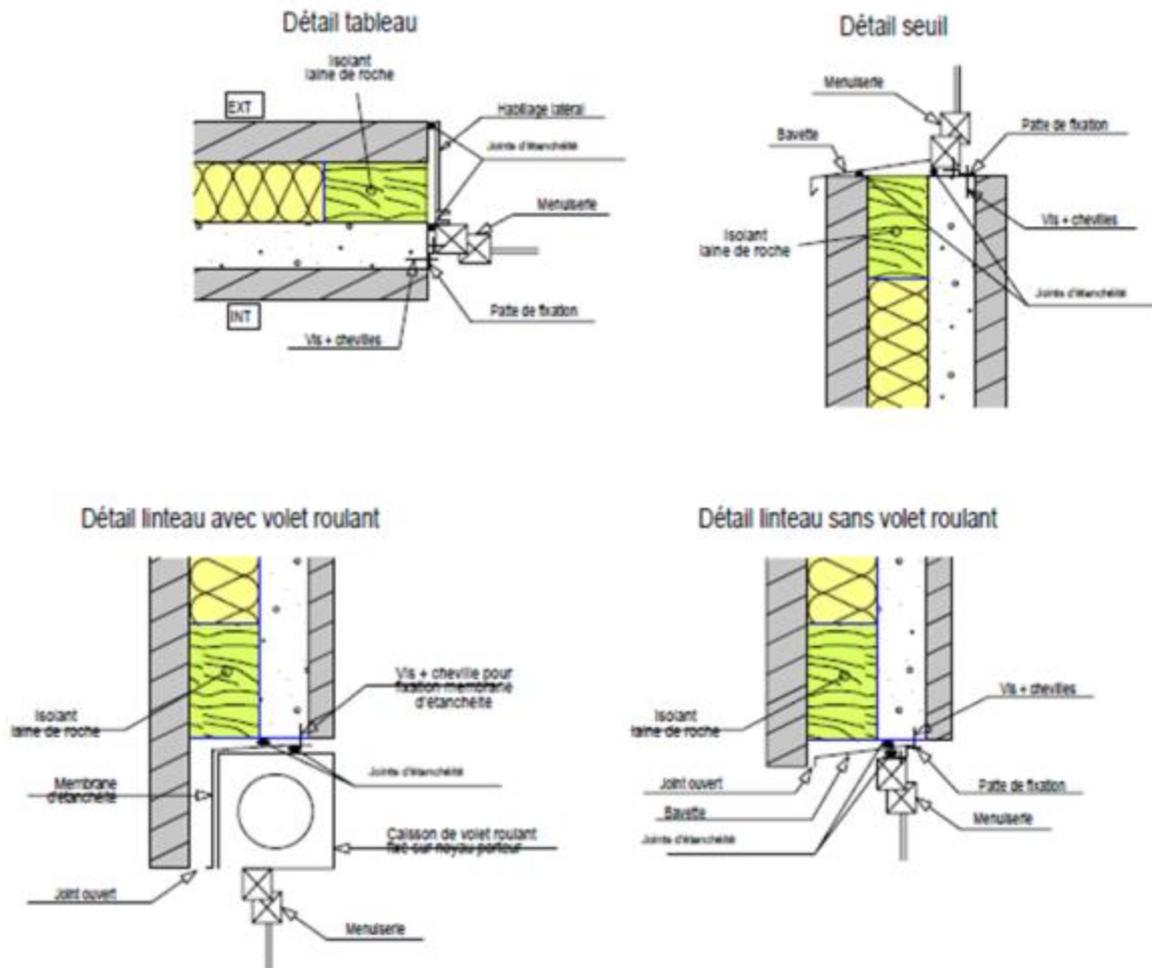
Exemples de dispositifs anti-rongeurs :



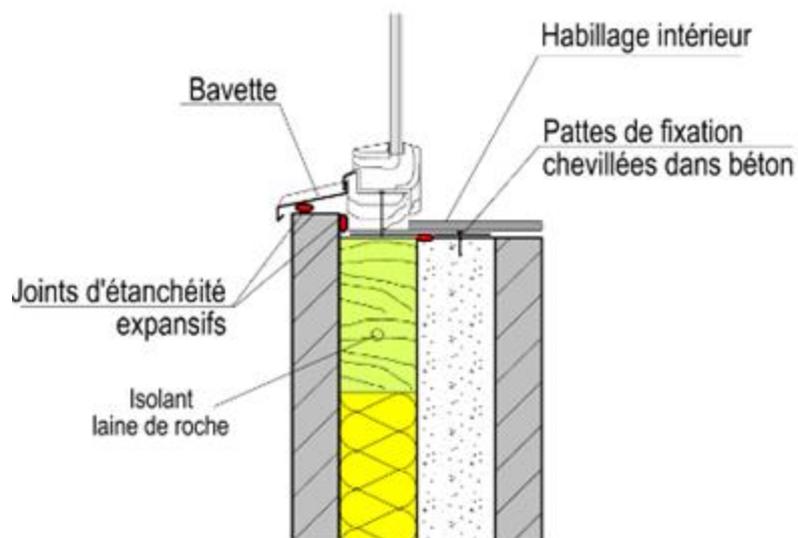
FIGURE 29 : DETAILS INDICATIFS SUR L'INTEGRATION DES MENUISERIES

Nota : Conformément à l'appréciation de laboratoire n° AL14-142_V4, l'épaisseur des bandes de laine de roche représentées dans les figures ci-dessous est d'au moins 10 cm.

Menuiserie avec fixation dans le plan du béton coulé en place :

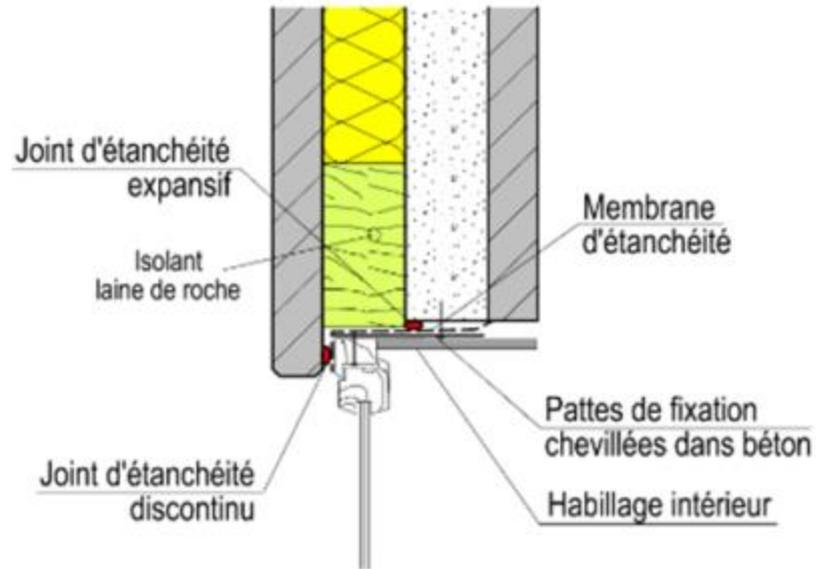


Menuiserie avec fixation dans le plan de l'isolant :

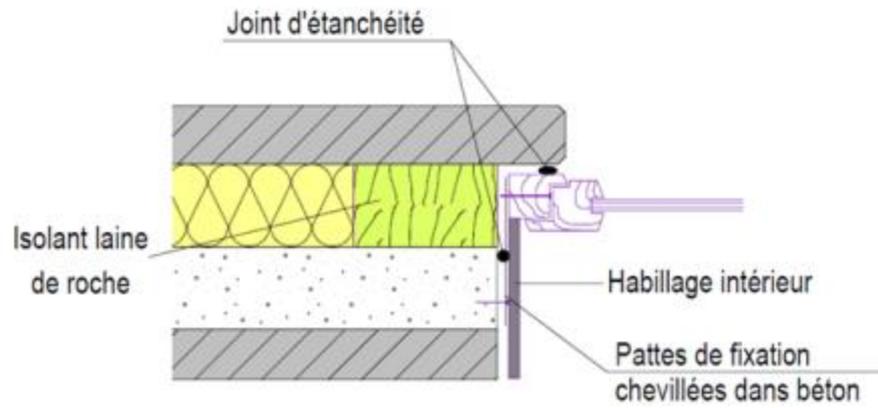


Détail seuil

Détail linteau

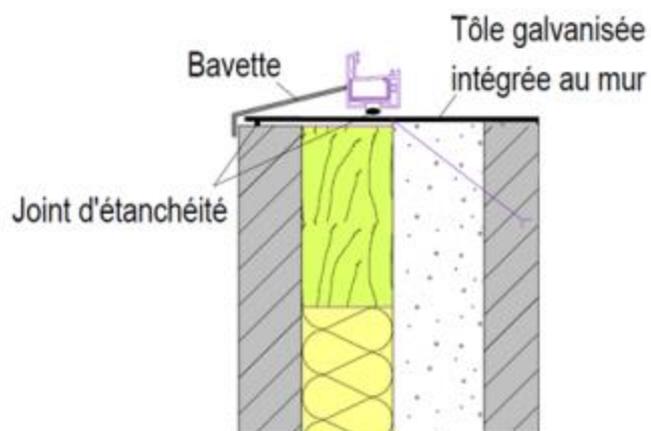


Détail meneau

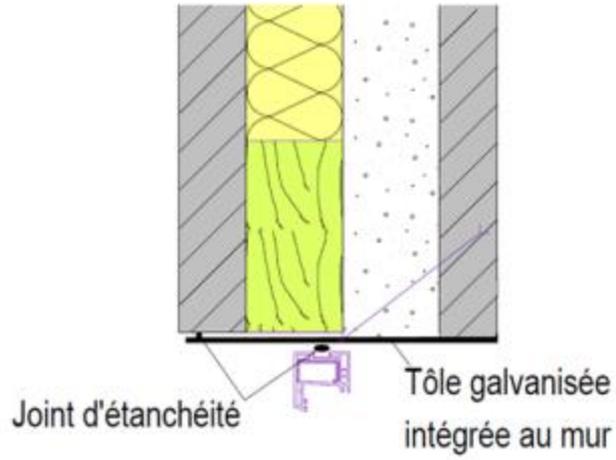


Menuiserie avec fixation sur cadre métallique :

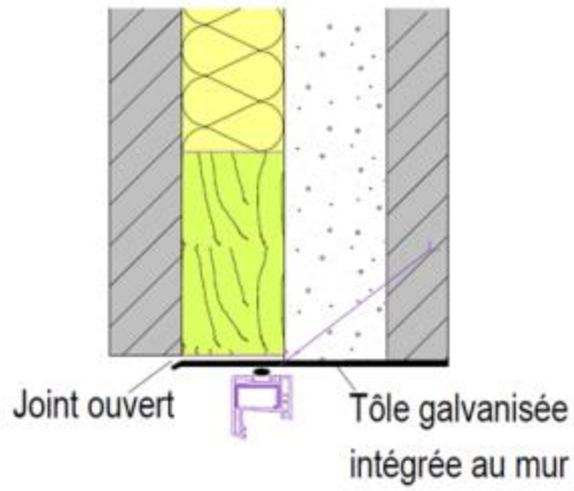
Détail seuil



Détail meneau

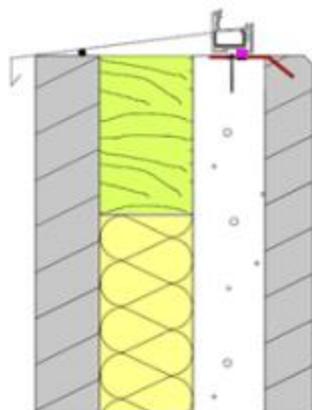


Détail linteau

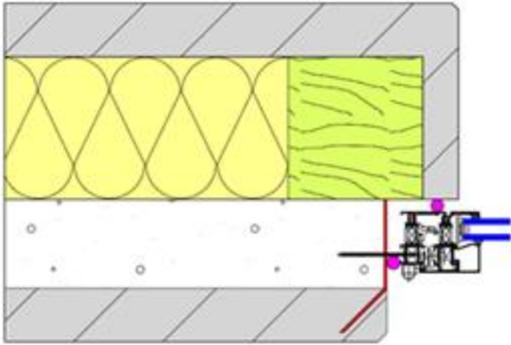


Menuiserie avec encadrements en béton :

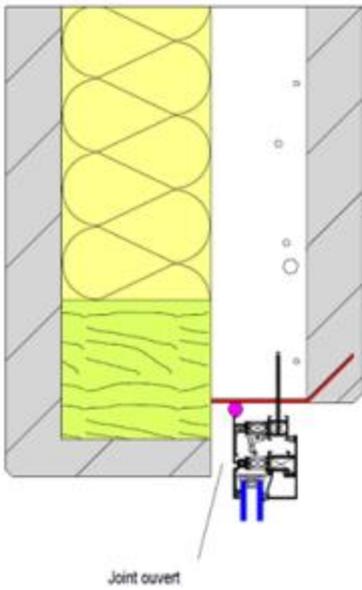
Détail seuil



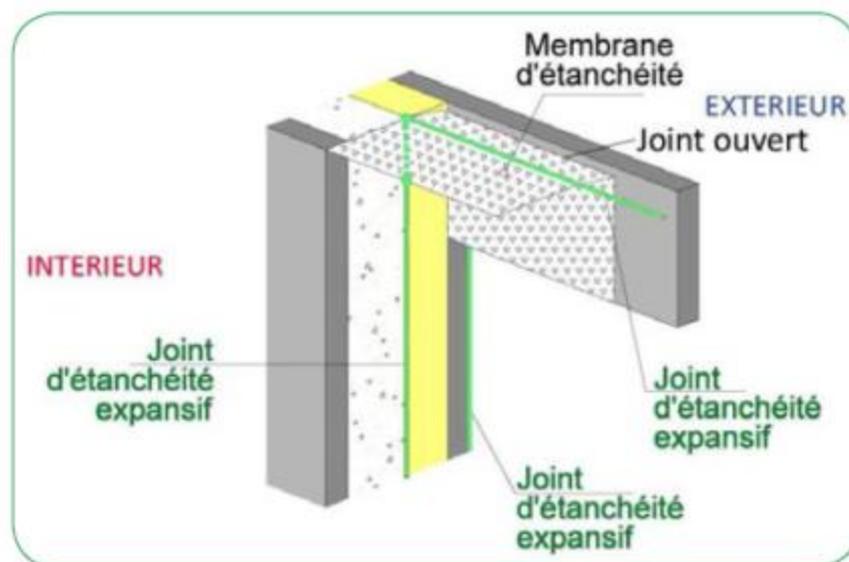
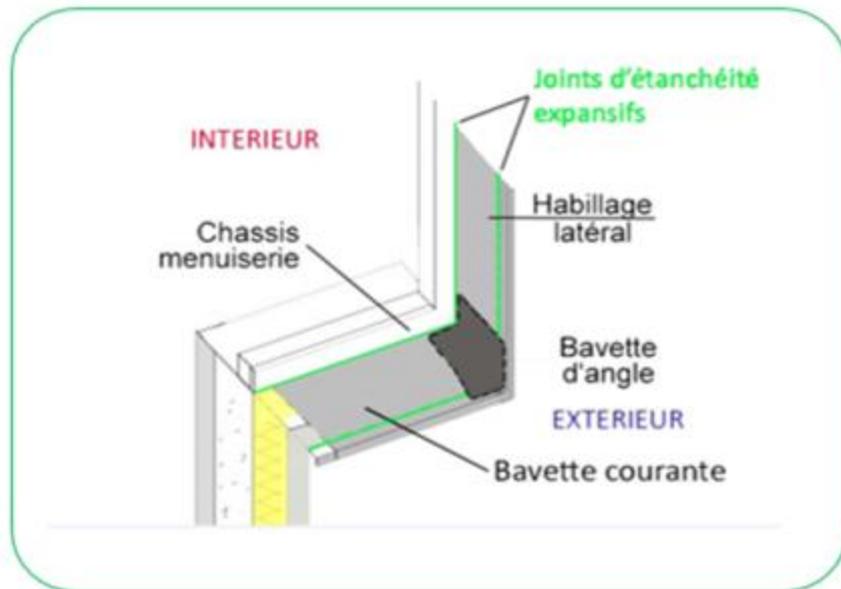
Détail meneau

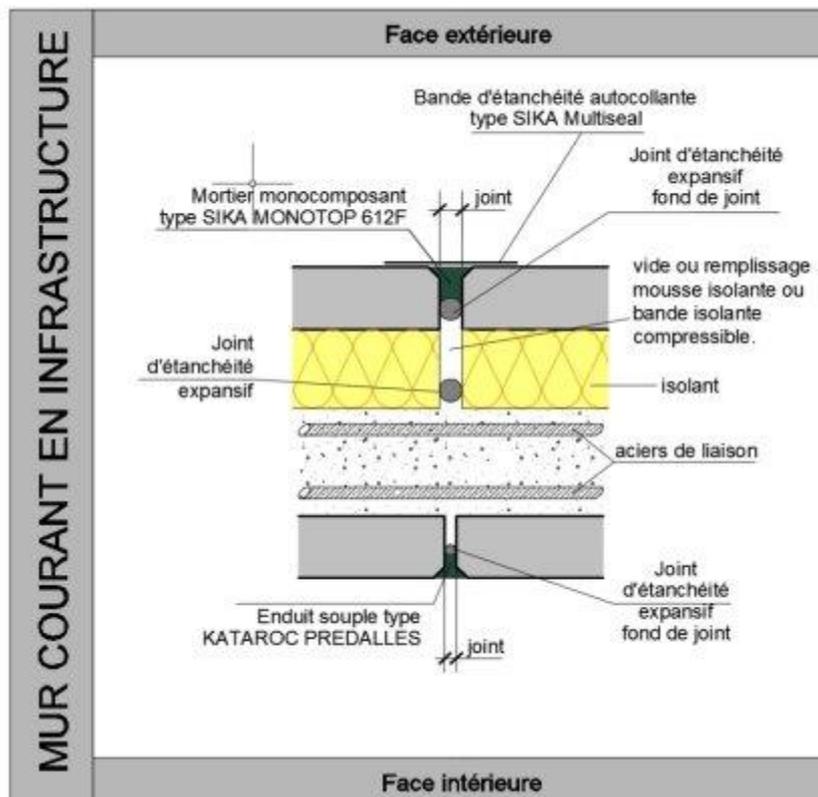
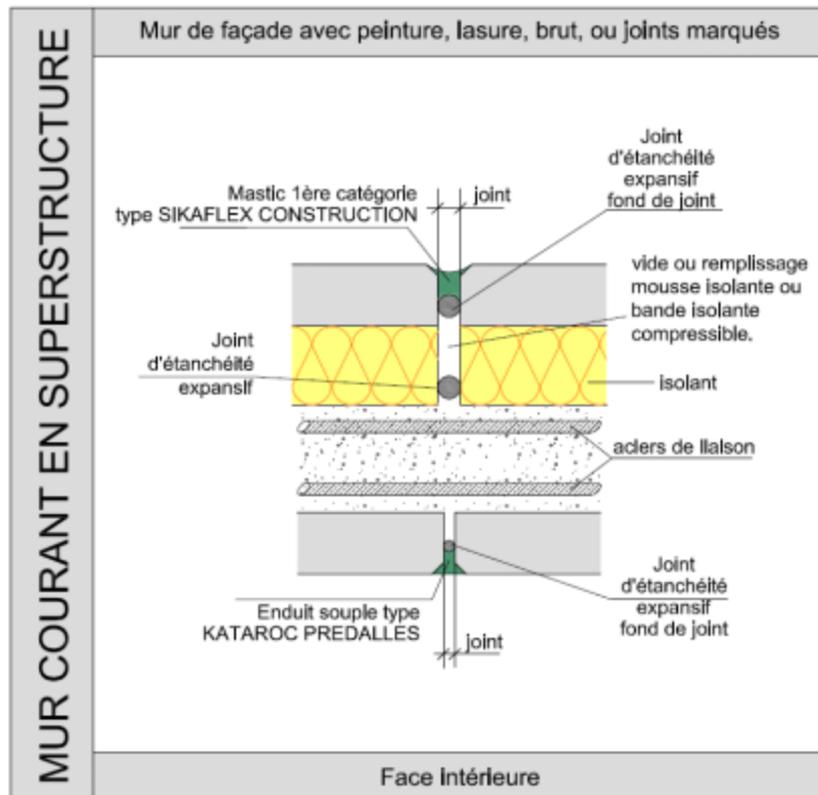


Détail linteau



1

Détails de traitement des angles :**FIGURE 30 : TRAITEMENTS DES JOINTS**



Intersection des joints

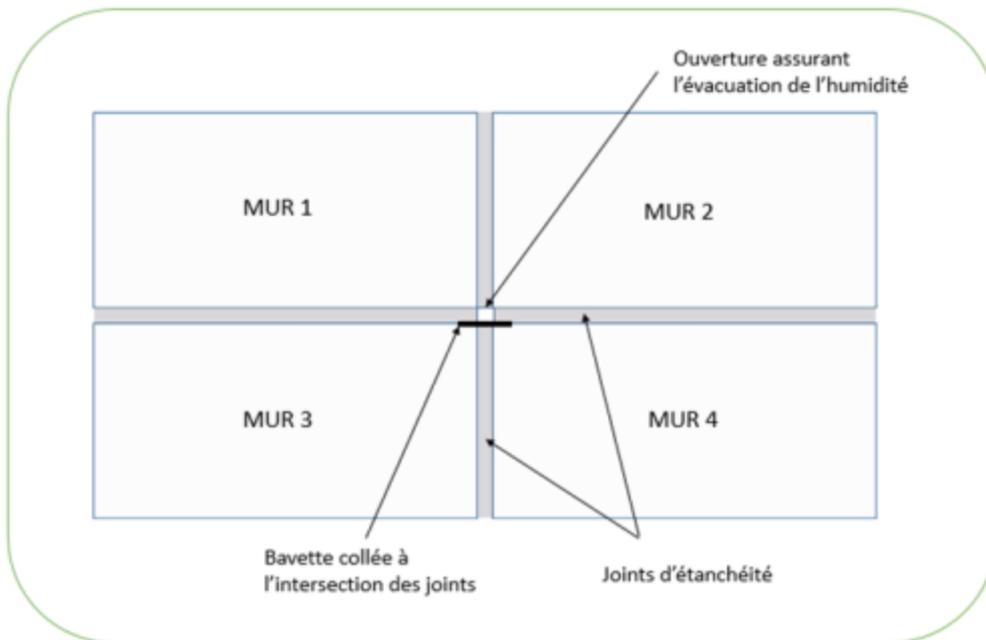
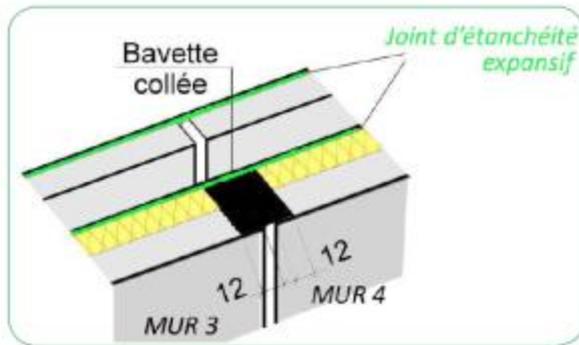
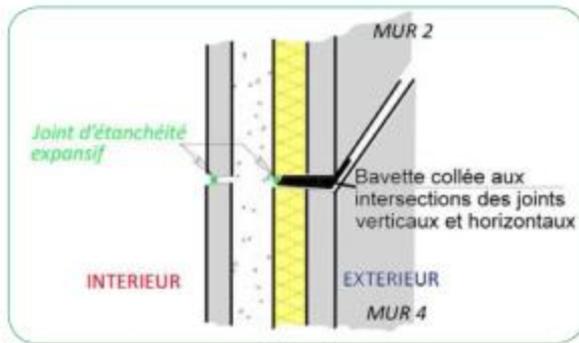
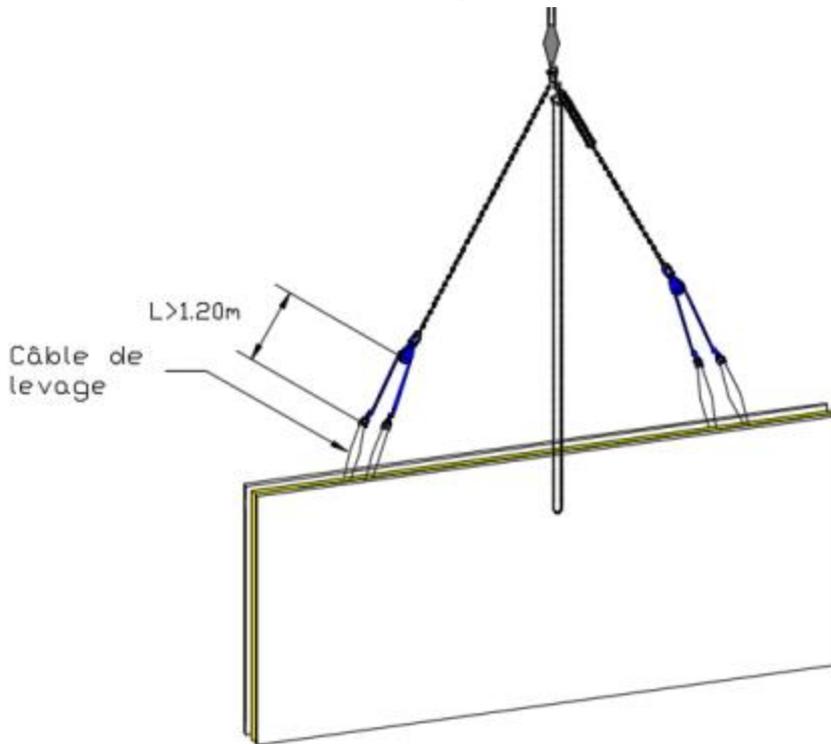
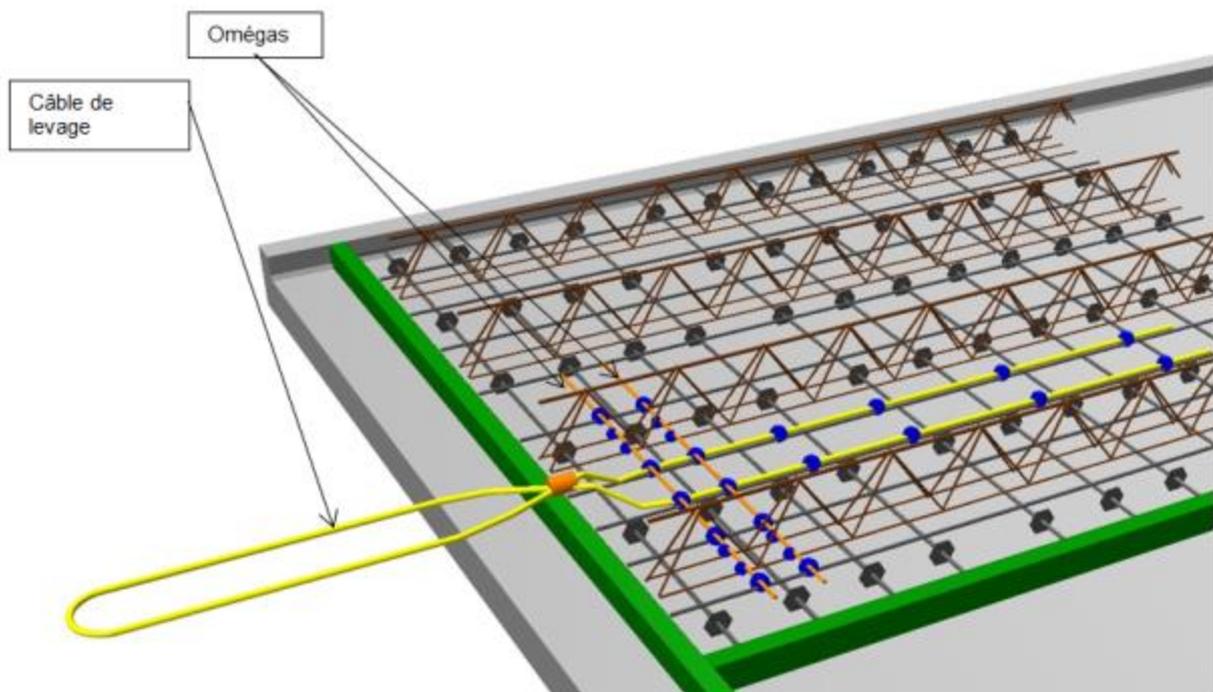


FIGURE 31 : CABLES DE LEVAGE**Manutention du «Précoffré TH» avec 4 câbles de levage:**

La longueur des boucles est de 60 cm au minimum et la longueur de dégagement de 20 cm. La longueur minimale de l'élingue est de 1,20 m et le diamètre minimale de la poulie est de 13 cm.

**Intégration des câbles de levage en usine:****Positionnement des câbles de levage et des omégas par rapport aux bords des panneaux:**

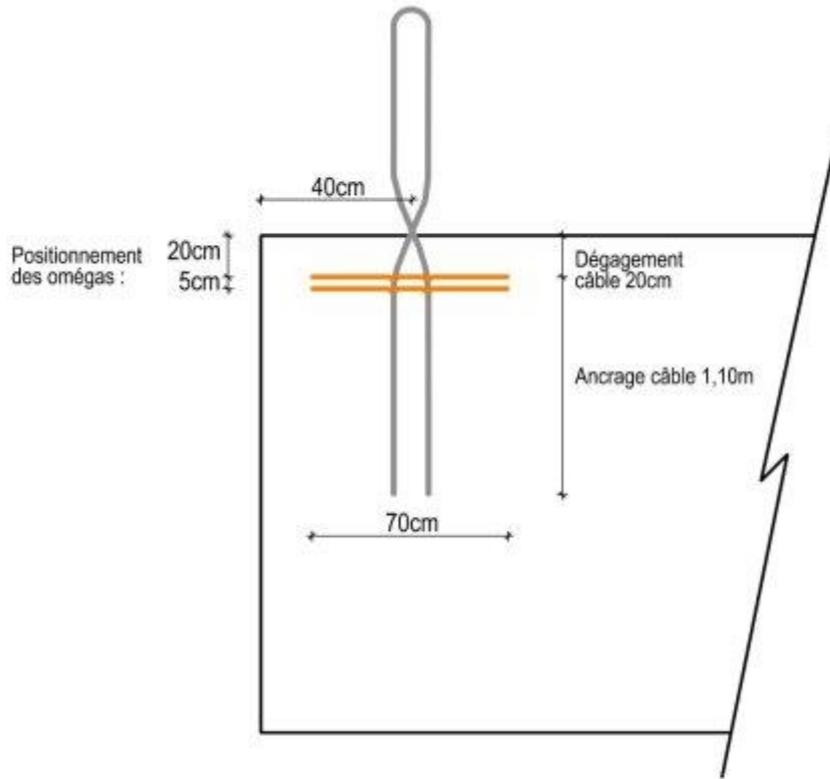
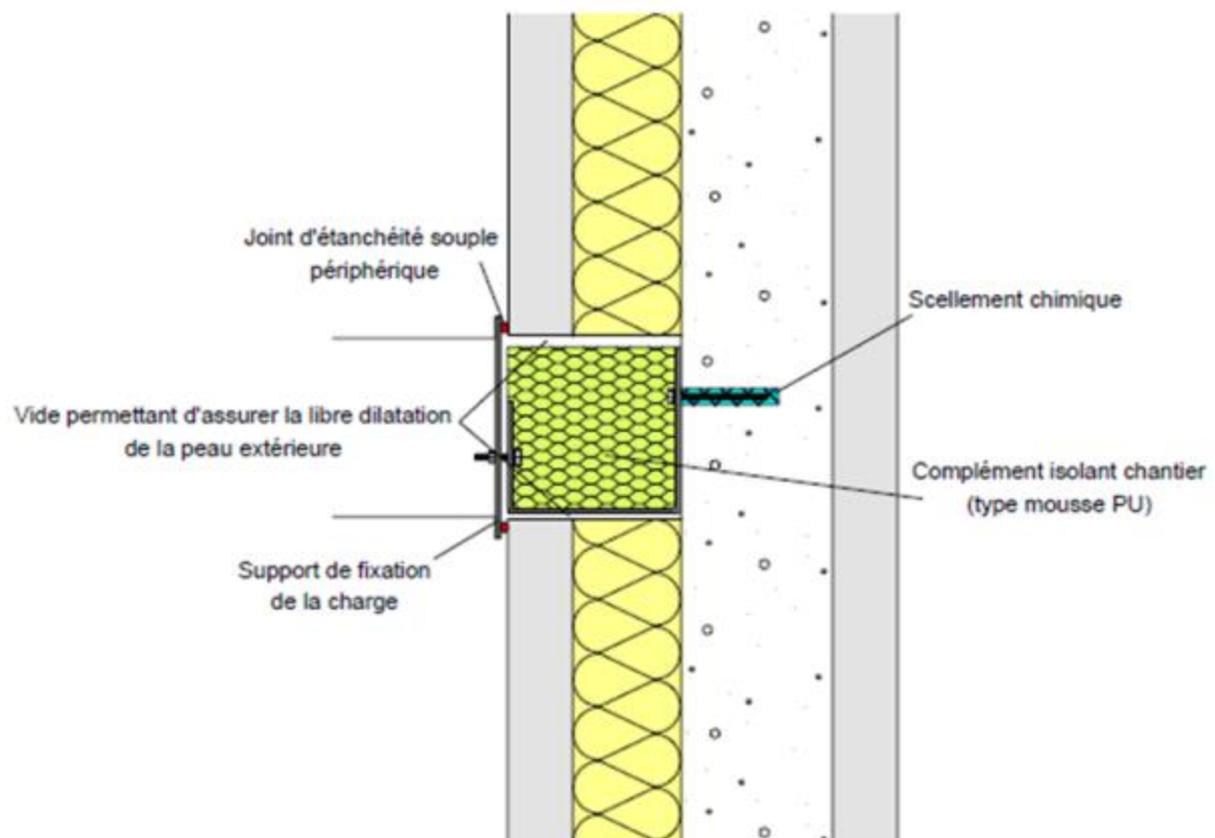


FIGURE 32 : Principe de dispositif permettant la fixation de charges lourdes au droit de la peau extérieure

Annexe 10 :Exemple de cinématique de pose des armatures de liaison dans les angles(Selon §2.5.6 du Dossier Technique)

Schémas de principe donnés à titre d'illustration.

