FEHR

fehrgroup.com

AVIS TECHNIQUE PRÉCOFFRÉ® CLASSIQUE

N°3.2/18-952_V1

Document Technique d'Application

Référence Avis Technique **3.2/18-952_V1**

Annule et remplace l'Avis Technique 3/10-672 et ses modificatifs

Mur à coffrage intégré
Composite wall

Précoffré

Relevant de la norme	**NF EN 14992** **NF EN 15258**

Titulaire : Société FEHR S.A.S.
Route de Froeschwiller
FR-67110 Reichshoffen

Tél. : +33 (0)3.88.80.86.30
Fax : +33 (0)3.88.80.81.34
E-mail : info@fehr-groupe.com
Internet : http ://www.fehr-groupe.com

Groupe Spécialisé n° 3.2

Murs et accessoires de mur

Publié le 12 octobre 2018

CCFAT COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER LES AVIS TECHNIQUES

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

(arrêté du 21 mars 2012)

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

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)

© CSTB 2018

Le Groupe Spécialisé n° 3.2 « Murs et accessoires de mur » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 17 avril 2018, le procédé de mur à coffrage intégré PRÉCOFFRÉ présenté par la société FEHR S.A.S. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après qui annule et remplace l'Avis Technique 3/10-672, son additif 3/10-672*01 Add et son modificatif 3/10-672*02 Mod. Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine et dans les DROM.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Procédé de mur à coffrage intégré constitué de deux parois minces préfabriquées en béton armé, maintenues espacées par des raidisseurs métalliques verticaux et servant de coffrage en œuvre à un béton prêt à l'emploi, pour réalisation de murs articulés ou encastrés.

Des aciers de liaison sont disposés dans le noyau en béton coulé en place ; les panneaux de coffrage peuvent être associés à des éléments structuraux complémentaires coulés sur place ou préfabriqués auxquels ils peuvent être reliés par des aciers de continuité pour constituer des poutres-voiles, poutres ou poteaux.

Les dimensions maximales du « Précoffré » sont de 3,90 x 12,34 m pour des épaisseurs comprises entre 16 et 45 cm. L'épaisseur des parois est comprise entre 45 mm et 75 mm.

Les panneaux sont destinés à la réalisation de murs intérieurs et de murs extérieurs complétés en œuvre soit par un système d'isolation thermique par l'extérieur soit par un doublage intérieur isolant.

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

Revêtements

- **Extérieur** : parement de la paroi extérieure en béton brut ou complété par un revêtement mince type peinture, enduit ou parement du système d'isolation extérieure.
- **Intérieur** : finitions classiques sur béton lisse ou finitions classiques sur doublage isolant selon le cas.

1.2 Mise sur le marché

En application du règlement (UE) n°305/2011, le procédé de mur à coffrage intégré « Précoffré » fait l'objet d'une déclaration des performances (DoP) établie par FEHR S.A.S. sur la base de la norme NF EN 14992 ou de la norme NF EN 15258.

Les produits conformes à cette DoP sont identifiés par le marquage CE.

1.3 Identification

L'identification des composants se fait comme indiqué au paragraphe A.1.3 du Dossier Technique par le tenant du système.

Ces produits sont assortis du marquage CE accompagné des informations prévues par les normes européennes NF EN 14992 et NF EN 15258.

2. AVIS

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

Ne sont pas visé au titre du présent Avis :

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

2.1 Domaine d'emploi accepté

Murs d'ouvrages, de locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels pouvant comporter plusieurs niveaux de sous-sol, en situation immergée ou non. Les limites de hauteur résultent de l'application des règles de dimensionnement approuvées, définies ci-après.

Possibilité d'emploi en zone sismique au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, et ce jusqu'en zone de sismicité 5, moyennant les dispositions constructives définies dans le Dossier Technique et complétées par les prescriptions du CPT MCI (*cahier du CSTB 3690_V2*).

L'utilisation des systèmes de liaison intégrés est uniquement acceptée pour les liaisons verticales droites non couturées (liaison simple).

L'aptitude au levage du procédé est uniquement visée avec l'utilisation des câbles de levage décrits dans le Dossier Technique. Les conditions d'utilisation des valeurs de CMU de ces câbles de levage sont précisées dans l'Annexe « CMU des câbles de levage » de la partie Avis.

Vis-à-vis de leur aptitude au levage, l'ensemble de la gamme de murs « Précoffré » est visée par l'Avis.

2.2 Appréciation sur le procédé

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

Stabilité

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

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

Sécurité au feu.

Les durées des critères d'exigence coupe-feu ou stabilité au feu d'un mur réalisé selon le procédé « Précoffré » peuvent être justifiées par application des règles de calcul NF EN 1992-1-2 avec son annexe nationale NF EN 1992-1-2/NA à l'ensemble du mur considéré comme homogène de ce point de vue.

Les actions dues à la température sont déterminées suivant la norme NF EN 1992-1-2 avec son annexe nationale française NF EN 1992-1-2/NA. Les joints entre « Précoffré » dont la largeur reste inférieure ou égale à 20 mm sont négligés pour le calcul des températures. Les actions mécaniques sont combinées en situation accidentelle, conformément à la norme NF EN 1990 avec son annexe nationale française NF EN 1990/NA.

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

Le système permet de l'assurer normalement.

Isolation acoustique

A défaut de résultat expérimental, l'indice d'affaiblissement acoustique d'un mur peut être estimé à l'aide de l'annexe B de la norme NF EN 12354-1 appliqué à l'ensemble des peaux coffrantes et du béton coffré, considéré comme homogène de ce point de vue ; la présence de joints entre peaux coffrantes est considérée comme peu influente sur cet indice. L'estimation de la performance acoustique des bâtiments intégrant ce type de procédé pourra aussi s'appuyer sur la série de normes de la série NF EN 12354 (-1 à 6).

Isolation thermique

Elle est assurée par le système d'isolation thermique rapporté, par l'intérieur ou l'extérieur. La vérification est à effectuer selon les « Règles Th-U », en se référant, le cas échéant, à l'Avis Technique visant ce système.

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 ou à l'intérieur. Leur inertie est déterminée au moyen des règles TH-I.

Étanchéité des murs extérieurs

Moyennant le choix de l'organisation appropriée, par application des critères définis dans le Dossier Technique, l'étanchéité des ouvrages et bâtiments du domaine d'emploi accepté peut être considérée comme normalement assurée.

Dans le cas où les joints sont inaccessibles, l'étanchéité des ouvrages avec pression hydrostatique repose sur celle du béton seul. Dans d'autres cas, l'étanchéité (ou l'imperméabilité dans le cas de murs soumis au seul ruissellement d'eau) dépend en partie, de l'organisation du dispositif d'étanchéité des joints.

Risques de condensation superficielle

Le système d'isolation thermique par l'extérieur, associé à ce procédé dans les façades à isolation par l'extérieur, permet d'éviter les ponts thermiques courants ; les risques de condensation superficielle sur ces murs sont donc très limités.

Les façades à isolation rapportée à l'intérieur comportent, à leur jonction avec un mur de refend et avec un plancher, les mêmes ponts thermiques que les systèmes de murs traditionnels de même configuration, qui risquent de favoriser l'apparition de condensations.

Finitions – Aspect

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

Données environnementales

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

Pour revendiquer une performance environnementale, le procédé de mur à coffrage intégré PRÉCOFFRÉ doit faire l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 aout 2015.

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

Aspects sanitaires

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

2.22 Durabilité-Entretien

Moyennant les précautions de fabrication et de mise en œuvre, et les limitations précisées par les Prescriptions Techniques, les murs de ce procédé ne devraient pas poser de problème particulier de durabilité. Il est entendu que, pour les ouvrages d'isolation associés, il y a lieu de se référer, cas par cas, soit à l'Avis Technique spécifique dont ils relèvent lorsqu'ils ne sont pas traditionnels, soit au DTU les concernant lorsqu'ils sont traditionnels. Dans le cas de garniture de mastic disposée dans les joints extérieurs des façades à isolation intérieure, sa réfection est à prévoir périodiquement.

2.23 Fabrication et contrôle

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

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

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

2.24 Mise en œuvre

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

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

Ces caractéristiques engendrent des limitations précisées par les Prescriptions Techniques ; elles nécessitent en outre de l'entreprise de mise en œuvre des précautions particulières et un entraînement des équipes de montage. Le titulaire de l'Avis fournira aux entreprises un Cahier des charges de montage et mettra à leur disposition, sur leur demande, des possibilités de formation du personnel. Il leur diffusera le contenu du présent Avis Technique et notamment le domaine d'emploi accepté et les prescriptions techniques dont il est assorti.

En cas d'utilisation de murs avec aciers de liaison intégrés, l'entreprise veillera à la bonne mise en place de ces aciers avant étaiement du mur. Le positionnement de ces aciers doit correspondre aux hypothèses de conception et doit figurer sur les plans de pose. En cas de non-conformité, le mur ne devra pas être posé.

2.3 Prescriptions Techniques

Les éléments constituant ce procédé doivent être fabriqués, calculés, mis en œuvre et utilisés conformément au Cahier des Prescriptions Techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégrés (CPT MCI, *Cahier du CSTB 3690_V2 de juillet 2014*) et aux prescriptions particulières complémentaires suivantes.

2.31 Conditions de conception

1- Le BET Structure détermine les efforts, les épaisseurs de mur et les sections d'armatures. Le calepinage est effectué par le titulaire de l'Avis. Le BET du titulaire (ou BET ayant l'accord du titulaire et soumis à son contrôle), réalise le dimensionnement des points spécifiques (liaisons entre murs, monolithisme, ...) conformément aux prescriptions du CPT MCI (*Cahier du CSTB 3690_V2*).

2- 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.

3- Sauf à rétablir par armatures rapportées la continuité des armatures de flexion, les jonctions horizontales des panneaux sont à considérer comme articulées. Les armatures de flexion de ces murs doivent être incorporées dans le voile de coffrage tendu. Des poteaux verticaux, disposés à un espacement compatible avec un effet de plaque, peuvent utilement être utilisés en renfort, le cas échéant.

4- 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.

5- On doit disposer un cordon d'étanchéité à l'extrémité d'un voile coffrant, en l'absence d'autre dispositif d'étanchéité spécifique rapporté s'opposant au cheminement éventuel d'infiltrations corrosives pour les aciers traversant le plan de contact entre voile coffrant et béton coffré.

6- Dans le cas des inserts perpendiculaires aux raidisseurs, l'épaisseur des parois doit être calculée en tenant compte des inserts de levage, de leur position dans la paroi et de l'enrobage nécessaire appliqué aux inserts. Les conditions d'utilisation sont précisées dans l'Annexe de la partie Avis « CMU des câbles de levage ».

7- Les aciers de liaison intégrés sont utilisables avec les murs d'épaisseur comprises entre 20 et 40 cm et quelle que soit leur hauteur.

8- Lorsque les aciers de liaison intégrés sont utilisés (liaisons articulées simples uniquement), la vérification de la couture du plan de cisaillement et la détermination de la longueur de recouvrement des armatures de peau avec les aciers de liaison sont réalisées en tenant compte de l'angle maximal des aciers de liaison par rapport à l'horizontale. Cet angle est défini à partir d'un décalage de 2 cm entre l'axe de rotation de l'épingle sur le Précoffré B et le cadre HA en vis-à-vis sur le Précoffré A.

2.32 Contrôle et certification

Les contrôles doivent permettre de garantir les caractéristiques certifiées suivantes :

- la résistance caractéristique à la compression à 28 jours du béton des parois préfabriquées, $f_{c,p}$.
- épaisseur des parois, b_1 et b_2.
- enrobages des armatures et des raidisseurs en considérants les tolérances déclarées par le fabricants et prises égales à :
  - -1/+2 mm dans la première paroi pour les murs d'épaisseur 162 mm ;
  - +3/-3 mm dans tous les autres cas.
- épaisseur des parois, en considérant une tolérance sur l'épaisseur des parois définie par le fabricant de :
  - +3/-3 mm pour les murs de 16 et 16.2 cm d'épaisseur totale et l'ensemble des murs qui sont équipés d'aciers de liaison intégrés quelle que soit l'épaisseur ;
  - pour les murs ne relevant pas des conditions ci-dessus, les tolérances de fabrication associées au produit sont précisées dans le référentiel de certification décrit dans le DTED.
- spécifications techniques de l'insert (matériau, dimensions et tolérances), avec catalogue des caractéristiques des inserts tenu à disposition de l'organisme certificateur.
- conditions de mise en œuvre à la fabrication (enrobage intérieur effectif de l'insert, longueur d'ancrage de l'insert, ferraillage spécifique de renfort autour des inserts, nombre d'inserts). Les

longueurs dépassantes des boucles des systèmes de levage CL 40-LINK doivent être identiques sur un même point de levage.

- identification visuelle des inserts de levage.
- Les murs équipés d'aciers de liaisons intégrés doivent faire l'objet de la mise en place d'un contrôle en cours de fabrication sur le positionnement des armatures de liaison et des cages d'armatures associées en considérant une tolérance de +/- 1 cm.

2.33 Conditions de mise en œuvre

Les documents à fournir par le titulaire et/ou le BET Structure sont :

- les plans de calepinage et de préconisation de pose ;
- les plans de coffrage et de ferraillage ;
- la notice de pose.

Les plans de pose et la notice de pose doivent comprendre à minima :

- l'angle limite de levage ;
- le nombre de points de levage ;
- l'utilisation d'un système équilibrant si les MCI sont pourvus de plus de 2 inserts de levage ;
- les charges des équipements de sécurité prévues pour le domaine d'utilisation considéré (type de MCI, poids limite d'utilisation) ;
- les inserts de levage devront être clairement identifiables lors de contrôles visuels (peinture, etc...).

Ces données devront respecter les valeurs de CMU données en annexe du présent Avis.

Une attention particulière doit être apportée à l'application des recommandations du §5.44 du DTED pour les murs avec systèmes de liaison intégrés afin de garantir un décalage maximum de 2 cm entre les corbeilles et les épingles des panneaux de mur en vis-à-vis.

Conclusions

Appréciation globale

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

Validité

A compté de la date de publication présente en première page et jusqu'au 30 avril 2025.

Pour le Groupe Spécialisé n° 3.2
Le Président

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Les principales évolutions du procédé apportées dans le cadre de la présente révision résident dans l'ajout de dispositions de levage telles que CLTH-12 et CL40-LINK (configuration « CORBEILLE » et « BOITE ») et le développement des aciers de liaisons intégrés.

La principale différence que présente le procédé par rapport à la solution traditionnelle de béton banché réside dans la discontinuité des armatures incorporées dans les parois coffrantes au droit des joints verticaux comme des joints horizontaux entre panneaux coffrants. Des dispositions spécifiques d'armatures rapportées permettent de compenser dans une certaine mesure cette discontinuité mais leur application, qui nécessite du soin, ne doit en aucun cas être improvisée lors du montage des murs. C'est pourquoi l'Avis prescrit de n'effectuer les justifications de calcul de l'ouvrage qu'après avoir procédé au découpage des murs en panneaux, la démarche inverse étant prohibée.

Ce sont les joints entre coffrages qui apparentent le plus ce procédé aux systèmes de panneaux préfabriqués, particulièrement dans le cas de murs de façade à isolation intérieure qui appellent un traitement spécifique de ces joints du point de vue de leur étanchéité à l'eau. Il est cependant noté qu'en raison de la fréquence des raidisseurs verticaux, les variations d'ouverture susceptibles d'affecter les joints tant verticaux qu'horizontaux et donc de solliciter la garniture de mastic correspondante ne peuvent être que très limitées dans des murs de façades ainsi réalisés, ce qui est favorable à la durabilité de cette garniture.

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

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 règlementation en vigueur.

Le Groupe tient à préciser que les schémas annexés au Dossier Technique établi par le demandeur sont à considérer comme des illustrations des prescriptions déjà admises dans le CPT MCI (Cahier du CSTB 3690_V2) et non pas comme des dispositions complémentaires, non visées dans le CPT.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé
n° 3.2

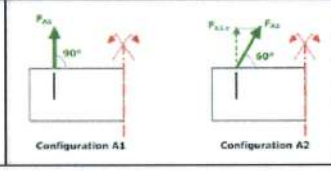
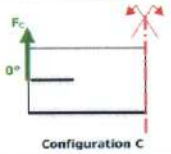
Annexe – CMU des câbles de levage

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	Epaisseurs nominales MCI	Epaisseurs nominales parois	Enrobages nominaux	Ferraillage minimal des parois (2 sens)	Levage en position verticale du MCI	Retournement du MCI
	$Ø_1$	e	h_1, h_2	c_1, c_2		CMU1	CMU3
CL16-9	9 mm	16 cm ≤ e < 18 cm	≥ 45 mm	≥ 15 mm pour levage en position verticale ≥ 11 mm pour l'enrobage extérieur en cas de retournement	1,20 cm²/ml	26,3 kN	19,4 kN
CL40-9	9 mm	18 cm ≤ e ≤ 40 cm	≥ 55 mm	≥ 15 mm	1,20 cm²/ml	23,6 kN	19,8 kN
CL40-12	12 mm	18 cm ≤ e ≤ 40 cm	≥ 55 mm	≥ 15 mm	1,20 cm²/ml	37,5 kN	16,6 kN
CLTH-9	9 mm	18cm ≤ e ≤ 45 cm	≥ 55 mm	≥ 15 mm	1,20 cm²/ml	26,2 kN	19,5 kN
CLTH-12	12 mm	18cm ≤ e ≤ 45 cm	≥ 55 mm	≥ 15 mm	2,57 cm²/ml	33,2 kN	19,8 kN
CL40 – LINK CORB.	2 x 12 mm	18 cm ≤ e ≤ 40 cm	≥ 55 mm	≥ 15 mm	1,20 cm²/ml	43,9 kN	
CL40 – LINK BOITE	2 x 12 mm	18 cm ≤ e ≤ 40 cm	≥ 55 mm	≥ 15 mm	2,57 cm²/ml	70,4 kN	34,6 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 dans le cas courant, 4 dans le cas de levage avec 4 câbles et système équilibrant.

γ_{ed} = coefficient d'effet dynamique dû au levage =1.15

γ_{pp} = coefficient d'incertitude sur poids propre =1.05

Dossier Technique
établi par le demandeur

A. Description

1. Destination et principe

1.1 Domaine d'emploi

Le procédé de murs à coffrage intégré « Précoffré » est destiné à la réalisation de murs porteurs ou non porteurs en infrastructure et en superstructure, de murs de refends, de murs façades, de poutres voiles, de poutres, de poteaux, de murs de soutènement, de silos à grains ou à engrais, de murs coupe-feu, de murs de bassins ou de piscines, d'ouvrages soumis à une pression hydrostatique extérieure ainsi que les murs enterrés soumis ou non à des pressions hydrostatiques destinés entre autres à la réalisation de caniveaux, garages souterrains, galeries de liaison, sous-sols sur un ou plusieurs niveaux.

1.2 Principe

Ces murs sont constitués de panneaux coffrants destinés à être remplis avec du béton coulé sur place. Ils sont constitués de deux peaux coffrantes préfabriquées en béton armé d'une épaisseur de 4,5 cm à 7,5 cm selon le cas, reliées par des raidisseurs métalliques de section triangulaire ou carrée espacés de 60 cm au maximum.

Les dimensions maximales des murs sont variables selon les sites de production. La hauteur maximale de mur productible est de 3.90 m, la longueur maximale de mur productible est de 12.34 m. Les épaisseurs courantes de voiles vont de 16 à 45 cm.

Les Précoffrés peuvent être associés à divers éléments de structure: poteaux et poutres préfabriqués ou coulés en place, prédalles, dalles alvéolaires, radier généraux et fondations.

Les liaisons entre Précoffrés sont assurées par des armatures rapportées disposées dans la partie coulée en œuvre, ou par des armatures intégrées aux murs.

L'encastrement du mur dans la semelle ou le radier est réalisé par des armatures en attente dans la fondation ou intégrées au Précoffré.

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

L'étanchéité des murs est assurée soit par une étanchéité rapportée, soit par un traitement de surface, soit par le mur lui-même moyennant des dispositions constructives décrites dans le dossier technique en fonction du type d'ouvrage.

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

L'isolation thermique, si elle est requise, est assurée soit par un système d'isolation par l'extérieur (système d'enduit sur isolant, bardage, etc.), soit par un système de doublage intérieur.

1.3 Identification

Chaque Précoffré est identifié par une étiquette qui comporte la référence du mur, le nom du chantier, les dimensions du mur, la classe de résistance du béton, la date de fabrication, le nom et l'adresse de l'usine.

2. Matériaux utilisés

Les matériaux mis en œuvre sont :

- le béton des peaux coffrantes préfabriquées
- le béton de remplissage,
- les aciers,
- les matériaux de traitement des joints,
- les matériaux d'habillage ou de traitement intérieur et extérieur.

2.1 Béton des peaux coffrantes préfabriqué

Les bétons réalisés en usine sont conformes à la norme NF EN 206/CN ainsi qu'à la norme NF EN 13369 concernant les classes d'environnement.

Classe de résistance : C40/50.

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

Granulométrie : D_{max} = 16 mm.

2.2 Béton de remplissage

Le béton de remplissage répondra aux exigences de l'Annexe 3 : Préconisations de bétonnage.

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/CN et dans le cas général de type BPS. La résistance caractéristique $f_{ck,n}$ en compression à 28 jours est celle prévue pour la partie d'ouvrage lors de la phase de conception et sera au moins de 25 MPa (classe de résistance minimale de C25/30).

- Pour un voile d'épaisseur inférieure ou égale à 20 cm (pour un noyau d'épaisseur nominale ≤ 9 cm), utilisation d'un microbéton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulat D_{max} égale à 12,5 mm.
- Pour un voile d'épaisseur strictement supérieure à 20 cm (pour un noyau d'épaisseur nominale > 9 cm), utilisation d'un béton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulat D_{max} égale à 16 mm.

Nota : dans le cas d'une utilisation de microbéton, une attention particulière doit être portée à la fissuration due au retrait, et ceci plus particulièrement au niveau des joints verticaux.

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 ferraillées.

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.

2.3 Aciers

Cf. CPT MCI (juillet 2014) § 1.1.1.2.

2.4 Enrobage des armatures

Les tolérances associées à l'enrobage des armatures seront conformes aux prescriptions du référentiel CSTBat/Qb.

Pour les voiles de 160 et 162 mm d'épaisseur et les voiles équipés d'Aciers de Liaison Intégrés (quelle que soit leur épaisseur), des tolérances de fabrication plus restrictives sont à respecter pour :

- Δb_{p1}^{-} = 3 mm pour la moyenne des mesures ; 6mm pour chaque valeur individuelle ;
- Δb_{p2}^{-} = 3 mm pour la moyenne des mesures ; 6mm pour chaque valeur individuelle.

Pour les voiles de 162 mm d'épaisseur uniquement, les tolérances particulières sur l'enrobage à prendre en compte sont :

- Δe_1^{-} = 1 mm ;
- Δe_1^{+} = 2 mm.

2.5 Raidisseurs

Des raidisseurs métalliques (cf. figure 2) espacés d'au plus 60 cm assurent la liaison entre les 2 peaux coffrantes.

Ils peuvent être :

- de section triangulaire, type KAISER OMNIA KT800 ou équivalent, filant sup. ø8, filants inf. 2ø5, et diagonales ø5.

- de section triangulaire type KAISER OMNIA KT900 ou équivalent, filant sup. Ø8, filants inf. 2Ø5, et diagonales Ø5 ou Ø6.
- de section triangulaire (KAISER OMNIA KTW ou équivalent) filant sup. Ø8, filants inf. 2Ø6 ou 2Ø7, et diagonales Ø6 ou Ø7.
- de section carrée, réalisées sur mesure par les ateliers FEHR. Les cadres sont triangulés de manière à raidir la poutrelle vis-à-vis du glissement.

La section des armatures hautes et basses des raidisseurs sera prise en compte dans la section de ferraillage mécaniquement nécessaire parallèlement aux raidisseurs.

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

- Sollicitations de cisaillement à l'interface
- Epaisseur du mur Précoffré
- Tolérances de fabrication associées

2.6 Enrobage des raidisseurs

Selon CPT MCI § 1.1.1.6 (juillet 2014).

2.7 Douilles

Des douilles métalliques type SCHROEDER ou équivalent sont scellées dans l'une des peaux coffrantes des panneaux.

Elles assurent la liaison des peaux coffrantes du Précoffré avec les étais tire- pousse pendant le montage et le bétonnage, et la fixation des équipements de sécurité

Elles sont utilisées en combinaison avec des tires fonds.

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

(Figure 3 Page 64 du CPT -juillet 2014).

2.8 Câbles de levage

La manutention et le levage des Précoffrés sont réalisés au moyen de câbles en acier galvanisé 7 torons de 19 fils et de nuance 1960 N/mm² croisé droit. Les diamètres employés sont le D9 et le D12. Les câbles employés répondent à la norme NF EN 12385 et disposent d'un certificat de conformité délivré par bobine.

Les câbles de levage sont complétés par 2 barres d'armatures HA8 façonnées sur 1.20m, appelées oméga. Les omégas peuvent être substitués par le(s) filant(s) de la corbeille ou du raidisseur, le cas échéant.

Dans le cas des dispositifs LINK, corbeille ou boîte béton, le dispositif de levage se compose de 2*2 câbles de diamètre 12 mm jumelés, ligaturés à une cage d'armature en CFA (cadre de 8 mm, filant de 10 mm).

Dans le cas du LINK boîte béton, le dispositif est complété par 2 barres HA 10mm, façonnées en « oméga », positionnées en quinconce, permettant le passage des câbles, au droit d'un tube placé dans l'interstice formé par les omégas. Un métal déployé est mis en place autour des 2 cadres de la corbeille positionnés de part et d'autre de la position des câbles, permettant le remplissage en béton de cette portion de corbeille lors de la fabrication des murs. La configuration de câbles CLTH-12 et le dispositif LINK Boîte béton nécessitent un ferraillage minimal de chaque peau du Précoffré de 2,57cm²/ml dans les 2 sens.

Le schéma de positionnement des câbles de levage est indiqué en annexe 2.

Le système de levage par câbles est adapté à l'ensemble des épaisseurs des murs Précoffré d'épaisseur courante comprise entre 16 et 45 cm. Les différentes configurations ainsi que les CMU respectives sont indiquées en Annexe 2.

Les tolérances de positionnement des câbles de levages dans le plan du Précoffré sont de +/- 10 cm dans les deux directions du plan.

Les câbles de levage sont positionnés dans le mur de telle sorte que le chevauchement des câbles de levage et des câbles de retournement dans l'épaisseur de la peau n'est pas possible. Ainsi, pour des murs nécessitant un retournement, les câbles utilisés spécifiquement pour le levage sont placés à une distance minimale de 1.10m du bord du mur, pour ne pas croiser les câbles utilisés lors de la phase de retournement.

L'angle de levage minimal est de 60°.

2.9 Matériaux de jointoiement et d'étanchéité

- Fond de joint type Joint d'étanchéité expansif, en mousse polyuréthane ou cordon néoprène, pour blocage de la laitance,
- Mortiers riches de réparation sans retrait,
- Mastics élastomères de 1ère catégorie,
- Emulsion bitumeuse épaisse,

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
- Couvertine métallique

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

- Enduits bitumeux (faces contre terres)
- Lasure
- Peinture
- Résine
- Membrane d'étanchéité (liner)
- Carrelage de parement

3. Conception des Précoffrés

Les Précoffrés sont dimensionnés selon les règles usuelles de la résistance des matériaux et du béton armé en compression, en flexion simple ou composée avec le cas échéant vérification de la stabilité de forme.

Pour les dispositions relatives aux reprises de bétonnage et à l'adhérence des armatures dans le noyau, les préconisations exposées dans l'Annexe 3 (Préconisations de bétonnage) seront respectées.

Les aciers de liaison doivent assurer la continuité mécanique entre :

- la fondation et le mur Précoffré
- entre deux murs Précoffrés
- les murs Précoffrés et les ouvrages appartenant au même système statique (plancher, balcon...)

3.1 Epaisseurs minimales des peaux coffrantes préfabriquées

Suivant 1.1.1.4. du CPT MCI (juillet 2014). Pour un voile de 16cm, l'épaisseur nominale de peau peut être ramenée à 45mm.

3.2 Bases de calcul (cas général)

Cf. 1.1.1.1 du CPT MCI (juillet 2014)

3.3 Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface Précoffré / noyau.

3.31 Généralités

La présence de deux plans de reprise de bétonnage nécessite d'établir le monolithisme de la section.

Deux modes de liaisons peuvent être envisagés :

- Le mode de liaison par le béton avec raidisseur (dérogation à la règle des coutures).
- Le mode de liaison par des armatures de coutures (application de la règle des coutures).

3.32 Calcul de $\tau_{Ed,Lim}$

- Suivant Annexe 4 CPT MCI (juillet 2014)

3.4 Monolithisme – Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface peau/noyau

Selon CPT MCI (juillet 2014) 1.1.4.1.

3.5 Stabilité au feu des structures

Cf. CPT (juillet 2014) §1.2.

4. Type de Précoffrés

4.1 Murs courants

Suivant § 1.1.1.7. du CPT MCI (juillet 2014)

4.11 Murs exposés aux intempéries

Les Précoffrés destinés à la réalisation de murs extérieurs sont composés de deux peaux coffrantes en béton d'épaisseurs minimales 4,8 cm, reliées et maintenues par des raidisseurs métalliques d'entraxe inférieur ou égal à 60 cm.

L'épaisseur minimale des Précoffrés est de 18 cm.

Elle peut être ramenée à 162mm moyennant les dispositions définies en figure 13.

L'épaisseur minimale du béton coulé en place est de 6 cm.

Le ferraillage des peaux coffrantes, 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 ouvertures et baies sont obtenues au moyen de mannequins fixés sur les tables coffrantes. Elles sont renforcées par des armatures périphériques intégrées aux peaux coffrantes.

4.12 Murs non exposés aux intempéries

Mêmes conditions que pour les murs exposés aux intempéries. Des murs de 160mm pourront être mis en œuvre moyennant les dispositions définies dans la figure 12.

4.13 Murs inclinés

Suivant 1.1.3. du CPT MCI (juillet 2014)

4.14 Murs coupe feu

Ils sont dimensionnés aux ELU selon les critères définis dans l'Art. 1.2 du CPT (juillet 2014).

Le mur coupe feu réalisé à l'aide des Précoffrés peut être réalisé suivant plusieurs principes statiques :

- Mur en console encastré en pied complètement indépendant des structures avoisinantes.
- Mur de remplissage entre poteaux.
- Mur articulé en pied et en tête fixé à la charpente avoisinante

4.2 Poteaux

Suivant 1.1.2.2. du CPT MCI (juillet 2014)

4.3 Poutres

Suivant 1.1.2.3. du CPT MCI (juillet 2014)

4.4 Poutre voile

Suivant 1.1.2.4. du CPT MCI (juillet 2014)

4.5 Acrotères

Suivant 1.1.2.5. du CPT MCI (juillet 2014)

5. Type de liaison

Les liaisons assurent la continuité mécanique au droit des joints entre deux Précoffrés et entre les Précoffrés et les ouvrages avoisinant. Les types de liaisons se classent en 3 familles : liaisons articulées, liaisons couturées, liaisons encastrées. Pour le 3ème cas on distinguera les liaisons verticales et horizontales.

Le choix du type de liaison à utiliser est fonction de plusieurs paramètres : efforts de calcul à reprendre (V et M), contraintes de chantier, méthodologie de pose, étanchéité, séisme.

5.1 Liaisons Articulées

CF. l'annexe 1 du CPT MCI (juillet 2014).

Ce type de liaison est utilisé dans les cas suivants :

- Liaisons articulées en pied de Précoffré (détail 7 du CPT MCI (juillet 2014))
- Liaisons articulées verticalement entre deux Précoffrés (détail 13 du CPT MCI (juillet 2014))
- Liaisons articulées horizontalement entre deux Précoffrés superposés (détail 21 du CPT MCI (juillet 2014))
- Liaisons articulées d'angle (détails 15 et 16 du CPT MCI (juillet 2014))
- Liaisons articulées en T (détails 18 et 19 du CPT MCI (juillet 2014))
- Liaisons articulées entre Précoffrés et dalles (détail 10 et 12 du CPT MCI (juillet 2014))

5.2 Liaisons Couturées

Ce type de liaison est préconisé essentiellement pour les ouvrages qui doivent être étanches par le béton seul et dont l'encastrement entre le mur et la fondation est réalisée avec une des solutions avec reprise de bétonnage.

La caractéristique de ce type de liaison est que le panier d'armature qui assure la couture au droit de joint est disposé dans le béton coulé en place et liaisonné avec des armatures en U intégrées dans les peaux du Précoffré.

Ces aciers de forme U intégrés au Précoffré et disposés aux abouts permettent de garantir une couture optimale de la liaison entre les murs.

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

On utilise les cas suivants :

- Liaisons couturées verticalement entre deux Précoffrés
- Liaisons couturées horizontalement entre deux Précoffrés
- Liaisons couturées d'angle

5.3 Liaisons Encastrées

Ce type de liaison est préconisé pour les ouvrages qui doivent être étanches par le béton seul ou qui doivent assurer la continuité du moment et de la transmission de l'effort tranchant entre Précoffré. La section des armatures est calculée en appliquant les règles de l'Eurocode et suivant les efforts résistants des plans de rupture possibles selon l'annexe 1 du CPT MCI (juillet 2014). Si les armatures de reprise en pied ne permettent pas le ripage du mur Précoffré, les Précoffrés nécessitent une fenêtre de tirage ou une ouverture de peau, pour permettre la bonne mise en place du panier d'armature.

- Liaisons encastrées en pied de Précoffré avec ou sans reprise de bétonnage.
- Liaisons encastrées verticalement entre deux Précoffrés.
- Liaisons encastrées horizontalement entre deux Précoffrés superposés.
- Liaisons encastrées d'angle.
- Liaisons encastrées en T.
- Liaisons encastrées entre Précoffré et dalle.

Les liaisons encastrées sont le plus souvent utilisées pour les murs de soutènement, les murs des bassins ou des piscines.

Joint vertical biais

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

Pour un angle supérieur à 135°, le ferraillage de l'angle peut être intégré dans le Précoffré selon la même méthode que la solution pour les joints droits.

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

Le détail de ces joints est présenté en figure3.

5.4 Aciers de Liaisons Intégrées (ALI) / liaison intégrée aux Précoffré

5.41 Principe - description

La liaison intégrée est une disposition constructive permettant d'intégrer la liaison entre murs dans les Précoffré, pour éviter sa mise en œuvre sur chantier. Ce dispositif garantit la continuité mécanique entre 2 Précoffré. Il est principalement destiné aux liaisons articulées mais peut aussi assurer la reprise des sollicitations de cisaillement agissant dans la section transversale réduite au droit du joint vertical. Il permet de réaliser des liaisons simples. Les liaisons couturées et les liaisons encastrées ne sont pas destinées à être réalisées avec ce dispositif. La liaison intégrée peut être mise en œuvre en zone sismique, à condition de réaliser une justification spécifique de la liaison selon l'article 1.1.1.14 du CPT (juillet 2014).

L'utilisation du dispositif pour la réalisation de liaisons horizontales peut être justifiée de manière identique à la liaison verticale. Dans cette configuration, le mur supérieur vient simplement se poser sur le mur inférieur.

La liaison intégrée est mise en œuvre en usine dans le mur Précoffré (Précoffré B) sous forme d'un module, associé à une corbeille coupée-façonnée-assemblée. La caractéristique de ce module, de hauteur équivalente à celle de la liaison verticale, est que l'armature horizontale (épingle) peut pivoter sur elle-même et peut ainsi s'intégrer sans conflit dans le Précoffré déjà en place (Précoffré A) lors d'une pose bord à bord des murs. Le Précoffré A est lui aussi équipé d'une corbeille, de même espacement, et en vis-à-vis, ce qui permet à l'épingle lorsque le mur est posé, d'être maintenue à l'horizontale. Lors de la mise en place du Précoffré B, la partie de la liaison en débord du Précoffré B pivote le long de chaque cadre du Précoffré A, jusqu'à ce qu'elle repose sur le cadre en vis-à-vis dans le Précoffré A.

Voir figure 7.

Les aciers de liaison intégrés doivent être mis en œuvre sur des murs d'épaisseur 20 cm minimum et 40 cm maximum.

5.42 Fabrication – assemblage

Les épingles sont façonnées en B500b certifié AFCAB. Ces épingles sont associées à un câble galvanisé multibrins 6*19 par un ligaturage en 4 points dans la partie de l'épingle qui sera positionnée dans le Précoffré A. Les ligatures utilisées pour assembler le câble et l'épingle sont des cerclages en acier ou des gaines thermorétractables. Ces ligatures devront permettre d'assurer le maintien de la liaison en phase provisoire et lors de la mise en œuvre (bétonnage). Le câble multibrin est également ligaturé en 4 points à un support en acier HA6 en forme de U. Le câble permet ainsi de faire pivoter l'épingle autour de l'axe du support en U avec laquelle elle est en contact. Les différents ensembles (support en U+câble+épingle) sont ensuite assemblés par soudure sur une armature HA verticale de 8mm, au niveau du cadre en U, à intervalles réguliers pour former le module. Les ensembles (support en U+câble+épingle) doivent être soudés perpendiculairement sur l'armature HA8, de telle sorte que tous les ensembles soient bien parallèles les uns par rapport aux autres.

Le module est ensuite soudé à une corbeille au moment de la fabrication de la corbeille dans l'atelier armature. La corbeille avec le module est enfin mise en œuvre sur la table avant bétonnage de la première face du Précoffré. Les corbeilles du Précoffré A et du Précoffré B sont chacune, soit calée en pied contre le coffrage du mur ou le bord de table, soit la cote est vérifiée systématiquement pour s'assurer que les cadres soient bien à la même hauteur sur les 2 murs. Cette étape garantit le bon positionnement, à l'horizontale, de l'épingle sur le cadre, sous respect des recommandations de pose exposées dans le paragraphe 5.44.

Voir figure 7.

5.43 Dimensionnement

La détermination de la géométrie et du diamètre des barres de l'épingle et des cadres est réalisée par le BET FEHR, dans le respect des prescriptions du CPT concernant le dimensionnement des liaisons en respectant les limitations du domaine d'emploi citées au paragraphe 5.41.

Le dimensionnement de l'épingle prend sécuritairement en compte une majoration de la longueur de l'épingle pour assurer la résistance de la couture en cas de décalage entre les cadres du Précoffré A et du Précoffré B de 2cm, conformément à ce qui est autorisé dans le paragraphe 5.44. Le calcul est mené conformément à l'Eurocode 2 : NF EN 1992-1-1, § 8.7.2 [3].

5.44 Recommandations de pose

La conception et le dimensionnement de la liaison intégrée reposent sur l'obligation d'avoir après la pose, des aciers de liaison horizontaux parallèles aux aciers des peaux dont ils assurent le recouvrement. Il est donc impératif de s'assurer à tous les stades de la pose du mur que cette horizontalité sera effectivement assurée. Une liaison dans laquelle les épingles seraient inclinées à l'issue de la pose des murs sera considérée comme non-conforme.

Il est de ce fait conseillé de procéder à la pose de toute la file de murs concernés par les ALI avant de procéder au bétonnage, pour permettre le contrôle visuel de la bonne mise en place des liaisons sur tous les murs.

En cas de décalage trop important, il convient de procéder à la dépose du mur ou de la file de mur.

Pour s'assurer du respect du positionnement des ALI, une attention toute particulière devra être portée sur :

- **La préparation du support avant la pose des murs :** la préparation du support est primordiale. Elle doit permettre de déterminer le point haut à considérer pour toute la file. Tous les murs devront être calés sur ce point.
- **La vérification de la bonne disposition des ALI dans les Précoffrés :** sur chaque mur, il convient de mesurer la hauteur de la première ALI (corbeille ou épingle selon le mur considéré) et l'entraxe entre 2 ALI (corbeille ou épingle selon le mur considéré). Par comparaison des valeurs entre les 2 murs, on vérifie la compatibilité des 2 murs. En cas de décalage supérieur à 2 cm, il convient de ne pas poser le mur.

6. Type d'ouvrage

6.1 Murs enterrés ou semi-enterré

Suivant 1.1.4.3. du CPT MCI (juillet 2014).

6.2 Mur de soutènement

Selon 1.1.4.4. du CPT MCI (juillet 2014).

6.3 Murs de silos ou de magasins de stockage

Conception selon 1.1.4.5. du CPT MCI (juillet 2014).

Des tirants en têtes de murs ou répartis sur leurs surfaces peuvent soulager les sollicitations dans les encastrements et les parties courantes des Précoffrés. On veillera dans ce cas à tenir compte de la raideur et de la déformabilité des tirants.

6.4 Murs de bassins ou de piscines

Ce type d'ouvrage réalisé en Précoffré est considéré comme un ouvrage de CLASSE A au regard des définitions du Fascicule 74 : « Etanchéité assurée par le béton seul ».

Lorsque l'étanchéité est réalisée par une membrane d'étanchéité rapportée (de type Liner), la fissuration n'est plus préjudiciable. Le dimensionnement est fait aux ELU avec une vérification aux ELS en fissuration peu nuisible.

Conception selon 1.1.4.6 du CPT MCI (juillet 2014).

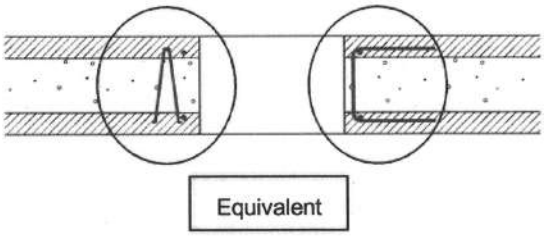
6.5 Murs de galeries, garages souterrains

Conception selon .1.104.7 du CPT MCI (juillet 2014).

7. Disposition constructives

7.1 Généralité

Les renforcements des ouvertures et des bords libres usuellement prévus dans les voiles selon les dispositions du paragraphe 4.2.2.5. du DTU 23.1, pourront être réalisés dans les Précoffrés à l'aide des raidisseurs définis à l'Art. 2.5.



(Voir Art. 1.1.1.10 du CPT MCI (juillet 2014))

De même les épingles de construction utilisées dans les ferraillages, en particulier pour les poutres et les poteaux, pourront être remplacées par des raidisseurs définis à l'Art 2.5.

Le choix du raidisseur de substitution sera fait sur la base des équivalences données dans le tableau ci-dessous. Pour des épaisseurs de mur au-delà de 40cm, les épingles de construction seront maintenues et il ne sera donc pas procédé à la substitution de l'épingle par un raidisseur.

Nota : les types de raidisseurs sont donnés à titre indicatif. Ils sont sujets à variation en fonction des enrobages des aciers du Précoffré.

Epaisseur mur (cm)	Type de raidisseur	Section (cm²/ml)	Equivalent / espacement (cm)		
			6	8	10
16	KT 813 8-5-5	2,73	11	19	29
18	KT 813 8-5-5	2,73	11	19	29
20	KT 815 8-5-5	2,87	10	18	28
22	KT 817 8-5-5	2,97	10	17	27
24	KT 819 8-5-5	3,04	10	17	26
25	KT 820 8-5-5	3,09	10	17	26
30	KT 825 8-5-5	3,19	9	16	25
35	KT 830 8-5-5	3,25	9	16	25
40	KT 835 8-5-5	3,35	9	15	24

7.2 Dispositions parasismiques

Suivant CPT (juillet 2014) §1.1.1.14.

7.3 Définition du plan d'étanchéité

Pour les cas de figures nécessitant une étanchéité assurée par le béton seul, les solutions à base de Précoffrés reposent sur deux modes de mise en œuvre du plan d'étanchéité :

- mise en œuvre sans reprise de bétonnage avec joints verticaux décalés qui permettent de garantir une étanchéité par la continuité du bétonnage du noyau central à l'aide d'un béton présentant un compactage optimal et un faible retrait
- utilisation de solutions mécaniques avec reprise de bétonnage, complétées par le traitement spécifique des reprises de bétonnages

7.31 Mise en œuvre sans reprise de bétonnage

Cette mise en œuvre permet de garantir l'encastrement en pied de panneau et d'avoir une liberté de translation horizontale du Précoffré lors de sa pose. Les armatures des joints verticaux décalés garantissent la couture du joint permettant ainsi de bloquer la fissuration provoquée par le retrait du béton.

La réalisation du plan d'étanchéité repose sur la chronologie de réalisation de l'ouvrage :

- coulage du béton de propreté,
- pose des Précoffrés,
- mise en place des armatures verticales de clavetage des joints verticaux
- pose du cordon de mousse dans le joint pour empêcher la fuite de laitance,
- dépliage des armatures en attente en pied de panneau,
- ferraillage du radier ou de la fondation,
- bétonnage du radier et Précoffré sans reprise de bétonnage à l'aide d'un béton à faible retrait,

- enlèvement du cordon de mousse,
- finition des joints en fonction de la destination de l'ouvrage.

Les reprises de bétonnage verticales pour les ouvrages nécessitant un bétonnage en plusieurs phases sont systématiquement réalisées en partie courante du Précoffré par la mise en œuvre dans le noyau du Précoffré d'un joint Waterstop. La finition des joints est réalisée en fonction de la destination de l'ouvrage.

7.32 Utilisation de solutions mécaniques avec reprise de bétonnage

L'utilisation de solutions mécaniques avec reprise de bétonnage repose aussi sur la mise en œuvre d'un béton présentant un faible retrait. Le domaine d'utilisation de ce type de solution nécessite la mise en œuvre d'un mur de plus de 26 cm d'épaisseur.

La reprise de bétonnage en pied de panneau est traitée avec un joint hydrogonflant ou un joint Waterstop. Ces dispositifs sont disposés selon les prescriptions du fabricant.

Le traitement du joint vertical entre deux Précoffrés peut être réalisé de deux manières différentes en fonction des contraintes de chantier.

7.321 Joints classiques

Le joint est traité comme un joint classique au niveau du bétonnage et du ferraillage, il est complété par la mise en place d'un joint étanche type Compriband, ou toute bande d'étanchéité pour joints à haute flexibilité collée sur les lèvres du joint et garantissant la parfaite étanchéité au contact d'eaux en pression. Le joint est à mettre en œuvre en règle générale sur la face en contact avec l'eau Néanmoins il peut travailler en sous-pression moyennant des dispositions de mise en œuvre particulière définies par les fabricants.

7.322 Joints encastrés

Le joint est traité à l'aide des solutions mécaniques type encastrées. Les reprises de bétonnage verticales pour les ouvrages nécessitant un bétonnage en plusieurs phases sont systématiquement réalisées en partie courante du Précoffré par la mise en œuvre dans le noyau du mur d'un joint Waterstop ou toute autre tôle galvanisée d'arrêt de bétonnage permettant d'augmenter le chemin critique de l'eau

La finition des joints est réalisée en fonction de la destination de l'ouvrage.

7.33 Utilisation de solutions avec étanchéité rapportée type PENTAFLEX

Le procédé PENTAFLEX KB couvert par un Avis Technique en cours de validité est un système de bande d'étanchéité pour reprise de bétonnage.

- Il est mis en œuvre en jonction de parois préfabriquées avec les fondations, enterrées ou non et susceptibles d'être soumises à une pression d'eau. Le système est constitué d'une tôle d'acier enduite sur ses deux faces de bitume. La bande PENTAFLEX s'ancre dans le béton sur une profondeur d'au moins 4cm.

Les applications concernent les sous-sols étanches, les ouvrages au contact avec l'eau de mer, les stations d'épuration, les réservoirs d'eau potable et les bassins d'eau.

Les murs Précoffrés sont calculés en fissuration très préjudiciable au sens du Fascicule 74 et de la NF EN 1992-3 et son annexe nationale.

La garantie du bon fonctionnement du plan d'étanchéité et les points singuliers au droit des joints sont traités et réalisés sur chantier par l'entreprise responsable de la mise en œuvre du procédé PENTAFLEX.

7.34 Utilisation des solutions avec étanchéité rapportée type VOLTEX

Le procédé VOLTEX DS couvert par un Avis Technique en cours de validité peut être utilisé en combinaison avec le Précoffré pour réaliser le plan d'étanchéité. Le VOLTEX DS est intégré sur la face concernée en usine de fabrication des Précoffrés sous la responsabilité du fournisseur de VOLTEX DS.

La garantie du bon fonctionnement du plan d'étanchéité et les points singuliers au droit des joints sont traités et réalisés sur chantier par l'entreprise responsable de la mise en œuvre du procédé VOLTEX DS.

La réalisation du plan d'étanchéité par le biais de ce procédé permet de calculer le Précoffré en fissuration non préjudiciable.

7.4 Traitement des peaux coffrantes et des joints

Suivant 1.5. du CPT MCI (juillet 2014).

7.5 Aspects des parements

Tous les panneaux présentent une surface brute de décoffrage.

7.51 Etat de surface

L'état de surface courant correspond à une surface brute de décoffrage contre moule. Dénomination P3 E (3-3-0) d'après le fascicule P 18-503.

Une des deux faces du Précoffré 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 définis au paragraphe 1.1.1.5 du CPT (juillet 2014).

7.52 Teinte

La teinte du parement des Précoffrés peut varier sur un même panneau ou d'un panneau 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 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.

7.53 Préparation du support

La forte compacité du béton des Précoffrés 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 de parement en plâtre...).

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

7.6 Traitement de la tête des Précoffrés 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 peaux coffrantes et le béton coulé en place par l'un des moyens suivants :

- un chaperon béton
- une couvertine métallique
- un revêtement d'imperméabilisation, appliqué sur une imprégnation époxydique
- ou tout revêtement d'imperméabilisation à base de liant hydraulique, flexible, résistant au gel, et imperméable à l'eau.

8. Fabrication des Précoffrés

8.1 Fabrication

Le panneau est réalisé en usine à l'aide d'un outil automatisé.

Les opérations se déroulent dans l'ordre suivant :

1. Projection automatique d'un décoffrant.
2. Mise en place automatique des joues de coffrage de la première paroi, et traçage par le robot des positions d'inserts, de réservations et d'ouvertures.
3. Mise en place manuelle des inserts, douilles, réservations, et ouvertures.
4. Débit automatique aux longueurs nécessaires des armatures courantes avec cales d'enrobages sur les aciers de répartition, et mise en place sur le moule.
5. Les câbles de levages et/ou les oméga sont ligaturés aux armatures de chaque peau coffrante. Ils sont donc posés après coffrage et avant le coulage du béton de chaque peau
6. Mise en place des raidisseurs et des corbeilles de ferraillage préparées préalablement par les ateliers FEHR.
7. Fabrication du béton dans la centrale située sur le site.
8. Acheminement du béton.
9. Coulage du béton à l'aide d'un répartiteur automatique qui garantit la constance de l'épaisseur mise en place + remplissage éventuel de la boîte LINK.
10. Vibration automatique, programmée et adaptée pour ce type de fabrication.
11. Durcissement à 40° C pendant 8 heures dans une chambre de durcissement.

Opérations 1 à 8 identiques pour la deuxième face du MUR PRECOFFRE, mais sans mise en place de raidisseurs.

12. Transport et retournement de la première face sur la seconde avec centrage et mise en appui sur des cales extérieures préréglées.
13. Vibration automatique.
14. Enlèvement du moule supérieur.
15. Entreposage dans la chambre de durcissement à 40° C pendant 8 heures.
16. Démoulage et stockage sur un conteneur métallique.

8.2 Contrôle de fabrication

8.21 Contrôle des bétons

Les bétons utilisés pour la réalisation des peaux coffrantes du coffrage 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.

Le laboratoire FEHR situé 62 route de Strasbourg F-67240 BISCHWILLER contrôle la production de béton des usines conformément à la norme NF EN 206/CN et aux normes de contrôle auxquelles elle fait référence.

8.22 Contrôle de qualité

Les Précoffré font l'objet d'une certification CSTBat

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

Le contrôle porte sur :

- Les matières premières (Granulat, Ciment, adjuvant, eau de gâchage, armatures, raidisseurs, boucles et organes de levage, béton)
- La résistance à la compression du béton f_{c28} en MPa
- Fabrication du produit (autocontrôle pour chaque poste de moules, armatures, raidisseurs et leur positionnement, qualité du béton mis en place)
- Câbles de levage et omégas : diamètre, longueur, positionnement et ligaturage avant le coulage du premier voile préfabriqué Produits finis (Caractéristiques géométriques, état de surface fini, enrobage des armatures, positionnement des réservations)

La traçabilité du produit est assurée. Le produit est identifié dans chaque étape de production jusqu'au moment de son intégration dans l'ouvrage.

Un contrôle est effectué sur un produit par jour.

FEHR conserve dans ses registres les fiches de contrôle de qualité.

8.23 Caractéristiques

Poids propre du mur PRECOFFRE Classique au m² : 275 à 375 kg/m² suivant l'épaisseur des peaux coffrantes + poids des armatures supplémentaires.

- Dimensions maximales standards usines, largeur x longueur ; épaisseur :

3,90 x 12,30 m ; 42 cm. (usine de Bischwiller (67))

3,80 x 12,34 m ; 42 cm. (usine de Vernou (77))

3,65 x 12,34 m ; 45 cm. (usine de Chateauneuf (26))

3,00 x 10,50 m ; 42 cm (usine de Wiesental (DE))

Epaisseurs courantes : 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45 cm.Mise en œuvre, manutention, montage, stockage, transport

8.3 Chronologie de pose murs courants

1. Réalisation des fondations.
2. Implantation et traçage des murs avec repérage des joints. Préparation du support et repérage du point haut de la file. Cette étape est primordiale en cas de pose d'ALI (voir paragraphe 5.44).
3. Déchargement des murs PRECOFFRES à l'aide d'une grue automotrice, d'une grue à tour, ou par tout autre moyen de levage compatible avec le poids des murs PRECOFFRES.
4. Pose des murs PRECOFFRES sur des cales d'épaisseur 1 à 3 cm ou sur lit de mortier. En cas de murs équipés d'ALI, on vérifiera au préalable que les ALI sont compatibles (voir paragraphe 5.44)
5. Stabilisation des murs PRECOFFRES par des étais tire-pousse (minimum 2 par mur), ou par un système d'équerrage.
6. Mise en place des armatures de liaisons des joints verticaux, des éclisses et chaînages éventuels ou, le cas échéant, vérification de la bonne horizontalité des ALI.
7. Mise en place d'une bande précomprimée dans les joints, pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage.
8. Pose éventuelle des prédalles, dalles alvéolaires, ou coffrage, sur étaiement adapté.
9. Coulage du béton de remplissage conforme aux prescriptions de l'Art. 1.1.1.1.13 du CPT (juillet 2014) et des recommandations du GT EFB MCI (Annexe 3). Le coulage de la dalle peut être réalisé en même temps que la dernière banchée des murs PRECOFFRES. En cas de reprise de bétonnage, l'arrêt du coulage est effectué à une distance minimale de 200 mm sous l'arase.
10. Mise en place des armatures de liaisons des joints horizontaux en tête de murs PRECOFFRES.
11. Finition des joints en fonction de la destination de l'ouvrage (voir paragraphe 7.4.)

8.4 Chronologie de pose pour les murs avec mise en place du M.C.I. après mise en œuvre du support

1. Coulage du béton de propreté.
2. Implantation et traçage des murs sur le béton de propreté avec repérage des joints.
3. Déchargement des murs à l'aide d'une grue automotrice ou à tour, ou par tout autre moyen de levage compatible avec le poids des murs.
4. Pose des Précoffrés sur des cales d'épaisseur de 1 à 3 cm ou sur lit de mortier et mise en place de joints type Joint d'étanchéité expansif pour éviter les fuites de laitance au bétonnage. Le cas de joints verticaux décalés avec continuité de moments nécessite le ripage horizontal des murs pour le croisement des corbeilles d'armatures intégrées au Précoffré; ainsi l'emprise de pose des murs doit être impérativement exempte de tout ferraillage en attente horizontal ou vertical, de manière à pouvoir effectuer ce ripage.
5. Stabilisation des murs par des étais tire-pousse (minimum 2 par mur).
6. Ferraillage du radier ou de la fondation avec mise en place d'aciers de reprise de l'encastrement (dépliage des armatures en attentes ou vissage des armatures d'encastrement ou ferraillage complémentaires)
7. Mise en place des armatures complémentaires de joints verticaux.
8. Contrôle préalable de la mise en place générale de joints type Joint d'étanchéité expansif ou équivalent dans tous les joints pour éviter les fuites de laitance.
9. Bétonnage simultané du radier ou de la fondation et remplissage des Précoffrés, sans reprise de bétonnage, avec un béton à faible retrait, conforme à l'art. 2.2. Le bétonnage sera conforme aux recommandations du GT EFB MCI en Annexe 3.
10. Enlèvement du cordon de mousse.
11. Finition des joints en fonction de la destination de l'ouvrage (voir paragraphe 7.4 .).

8.5 Critères de bétonnage

Suivant 1.1.1.13. du CPT MCI (juillet 2014) et l'annexe 3 : Recommandations de bétonnage..

8.6 Manutention, Montage, Transport

Les panneaux sont manutentionnés avec des grues à tour ou automotrices. Les élingues sont accrochées aux câbles de levage intégrés aux panneaux.

Les caractéristiques de ces engins et éléments de manutention devront être compatibles avec le poids des panneaux à manutentionner.

8.7 Mise en place

Après la pose, le mur Précoffré est maintenu en position par des étais tire-pousse, fixés aux murs par l'intermédiaire de douilles prévues à cet effet dans le mur Précoffré lors de sa fabrication.

Il s'agit usuellement de douilles métalliques sur lesquelles les étais sont fixés à l'aide de boulons.

Les douilles sont dimensionnées par le bureau d'étude FEHR.

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.

8.8 Transport et stockage

Les PRECOFFRE 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.

9. Divers

9.1 Conditions d'exploitation du procédé

Calcul des structures :

Il est fait par le Bureau d'Etudes Techniques (B.E.T.) de l'opération, en tenant compte des spécificités du procédé développées dans le présent Avis Technique. L'ingénieur FEHR Technologies pourra intervenir à la demande comme conseiller, pour l'aide à la conception et l'aide au calcul des ouvrages à réaliser. Le calepinage est effectué par FEHR Technologies et approuvé par le B.E.T.

Le dimensionnement des douilles de levage est à la charge du BET FEHR.

Le dimensionnement des étais et des lests est à la charge du client, le BET FEHR pouvant cependant intervenir à la demande du client comme conseiller.

Fabrication :

Elle est réalisée dans les usines de la société FEHR Technologies :

- **FEHR Technologies Préfabrication**
  Route de Strasbourg – BP 46
  F-67242 BISCHWILLER Cedex
- **FEHR Technologies Ile De France SAS**
  1, chemin du Port
  F-77670 VERNOU LA CELLE SUR SEINE
- **FEHR Technologies Rhône-Alpes**
  ZA Les Teppes
  F-26300 CHATEAUNEUF-SUR-ISERE
- **FEHR Technologies Deutschland GmbH & Co. KG**
  Triebstrasse 34
  D-68753 WAGHAUSEL – WIESENTAL

Mise en œuvre :

Elle est réalisée par l'entreprise titulaire du marché.

9.2 Aide à la mise en œuvre

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

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

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

B. Résultats expérimentaux

Des essais de réalisation de poutres en murs Précoffrés ont été réalisés le 27 novembre et 8 décembre 2003 au laboratoire du département génie civil de l'IUT Robert Schuman d'Illkirch Graffenstaden. Le but de ces essais était de valider par des tests les dispositions de l'Appréciation Technique d'Expérimentation FEHR Technologies du 13 janvier 2003 référencée sous le numéro ATEX n° 1157, et de montrer que les dispositions de conception qui y étaient définies et qui sont reprises dans la présente révision, permettent de réaliser des poutres « PRECOFFRE » de résistance équivalente à des poutres préfabriquées pleines ou coulées en place.

Essais du 5, 6, 7, 13,14 novembre 2014 selon protocole du 11/06/2012 en configuration A1, A2 et C, sous la supervision du CERIB (rapport 3764) :

- murs d'épaisseur 16 cm et peaux de 45 mm avec câble de 9 mm reliant les 2 peaux.

Essais du 5, 6, 7, 13, 14 novembre 2014 selon protocole du 11/06/2012 en configuration A1, A2 et C, sous la supervision du CERIB (rapport 3765) :

- murs d'épaisseur 40 cm et peaux de 55 mm avec câble de 9 mm reliant les 2 peaux.

Essais du 5, 6, 7, 13, 14 novembre 2014 selon protocole du 11/06/2012 en configuration A1, A2 et C, sous la supervision du CERIB (rapport 3766) :

- murs d'épaisseur 40 cm et peaux de 55 mm avec câble de 12 mm reliant les 2 peaux.

Essais du 5, 6, 7, 13, 14 novembre 2014 selon protocole du 11/06/2012 en configuration A1, A2 et C, sous la supervision du CERIB (rapport 3767) :

- murs d'épaisseur comprise entre 18 et 50 cm et peaux de 55 mm avec câble de 9 mm dont les 2 brins sont coulés dans la même peau.

Essais du 19, 20, 25, 26 février 2015 selon protocole du 11/06/2012 en configuration A1, A2 et C sous la supervision du CERIB (rapport 4303) :

- murs d'épaisseur comprise entre 18 et 50 cm et peaux de 55 mm avec câble de 12 mm dont les 2 brins sont coulés dans la même peau.

Essais du 20 et 21 juillet 2016 selon protocole du 16/10/2012 en configuration A1, A2, sous la supervision du CERIB (rapport 6519) :

- murs d'épaisseur comprise entre 18 et 50 cm et peaux de 55 mm avec câble de 12 mm dont les 2 brins sont coulés dans la même peau.

Essais du 30/11 au 07/12/16 selon protocole du 16/10/2012 en configuration A1, A2 sous la supervision du CERIB (rapport 7147) :

- murs d'épaisseur 40 m et peaux de 55 mm avec câble de 12 mm disposition LINK boîte.

Essais du 02/12 et 08/12/16 selon protocole du 16/10/2012 en configuration C sous la supervision du CERIB (rapport 7148) :

- murs d'épaisseur 40 cm et peaux de 55 mm avec câble de 12 mm disposition LINK boîte.

Essais du 30/11 et 07/12/16 selon protocole du 16/10/2012 en configuration A1, A2 sous la supervision du CERIB (rapport 7146) :

- murs d'épaisseur 40 cm et peaux de 55 mm avec câble de 12 mm disposition LINK corbeille.

C. Références

C.1. Données environnementales et sanitaires[1]

Le procédé de mur à coffrage intégré PRÉCOFFRÉ ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 août 2015.

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

C.2. Autres références

Entreprise	Chantier	Quantité (m²)	Année
BOUYGUES	Hopitaux universitaires / Strasbourg (67)	15 000	2016
VINCI/DEMATHIEU BARD	Clinique Rhéna / Strasbourg (67)	12 300	2016
VINCI	Centre commercial Muse / Metz (57)	6 100	2015/17
BOUYGUES	Logements Black Swan / Strasbourg (67)	6 200+ 1 100	2016/17
SOTRAVEST	Logement Tour Elithis / Strasbourg (67)	6 000	2016
LEON GROSSE	Phelma Minatec / Grenoble (38)	6 000	2015
GCC	Faculté de médecine / Lyon (69)	3 100	2015
VALLORGUES	Tribunes / Andrezieux Boutheon (42)	6 300	2014
NOE	Bassin / Port St Louis (13)	120	2012
EIFFAGE	Sous-sol logements Clos des Cèdres / Lyon (69)	800	2015
BOUYGUES	Poste du Louvre / Paris	17 000	2016/17
LEON GROSSE	Parking Parly 2 / Le Chesnay (78)	3 554	2016/17
SICRA	Foyer Adoma / Paris	7 000	2017
PETIT	Samaritaine Rivoli / Paris	10 000	2017
BOUYGUES	Cité de la musique / Boulogne (92)	16 000	2014/15

[1] Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet Avis

Annexe 1 : Tableaux et figures du Dossier Technique

Perspective du PRECOFFRE

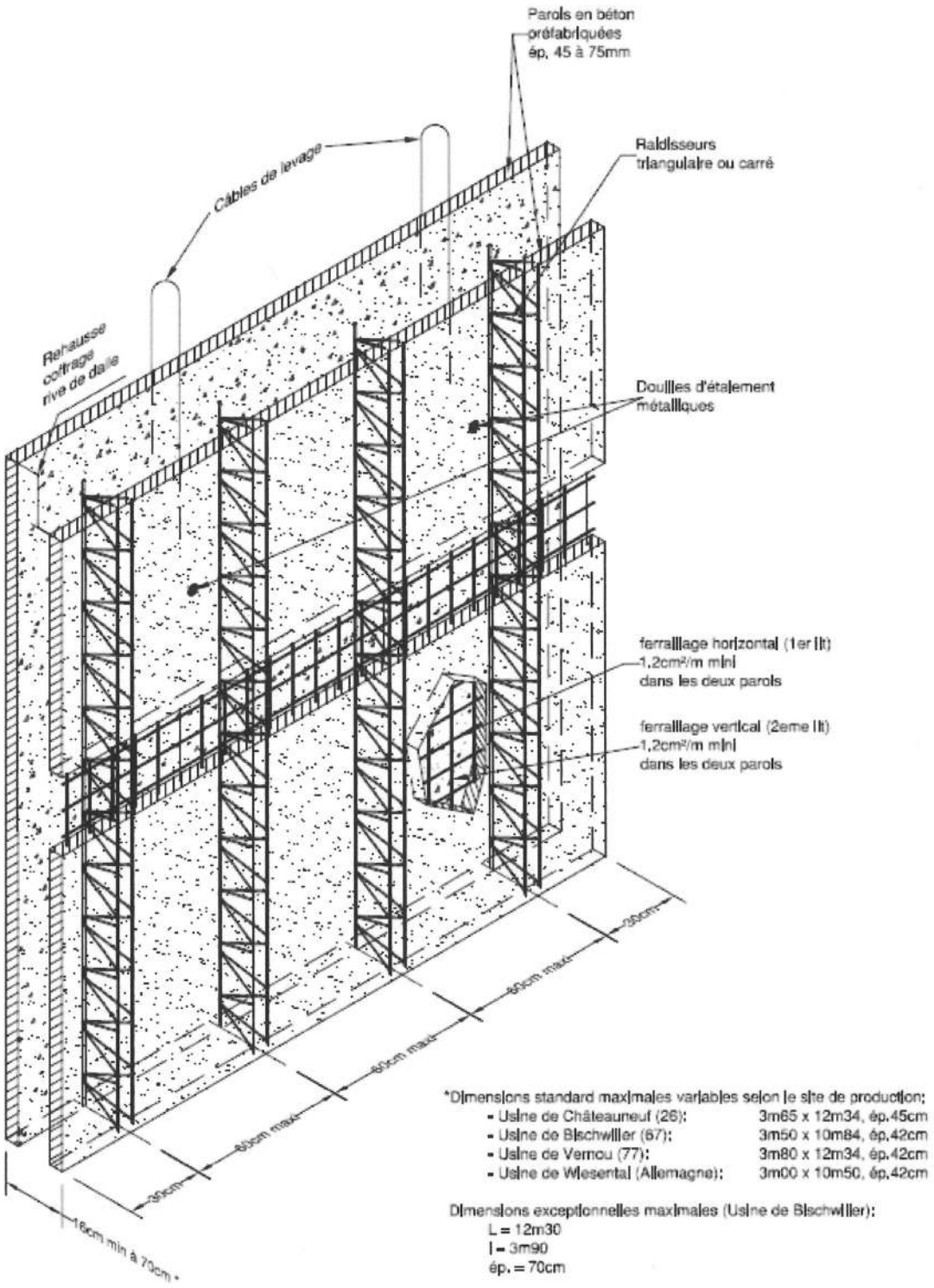


Figure 1 - Perspective du Précoffré

Raidisseurs

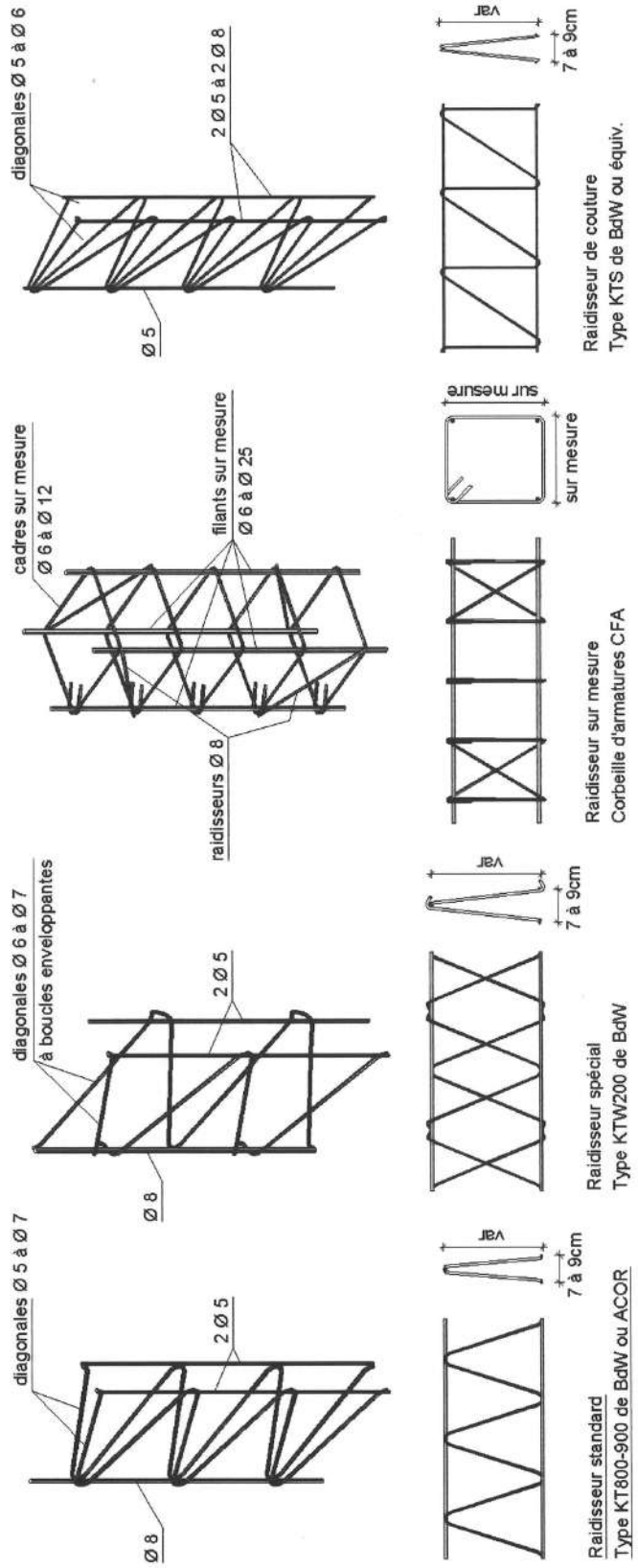


Figure 2 - Raidisseurs

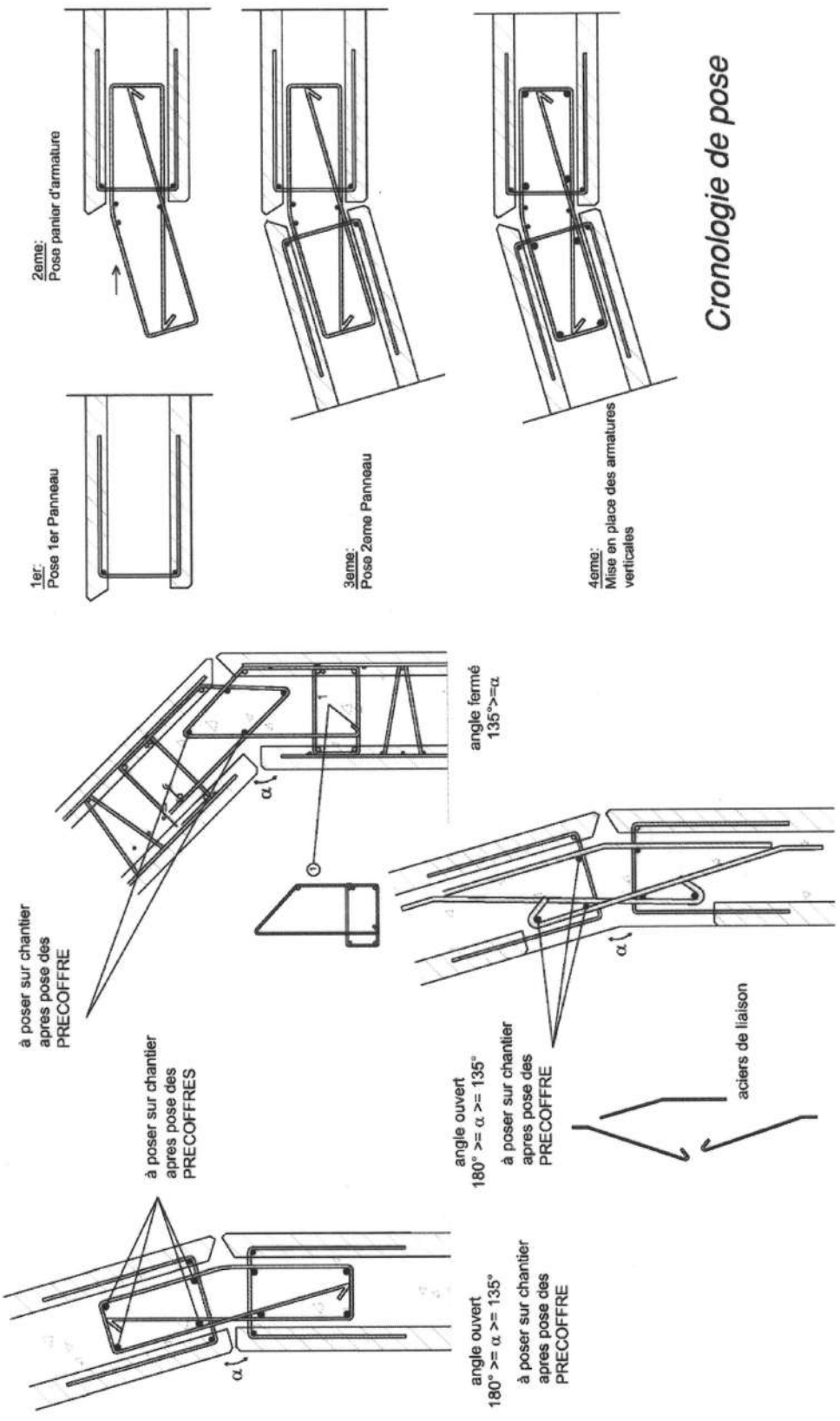
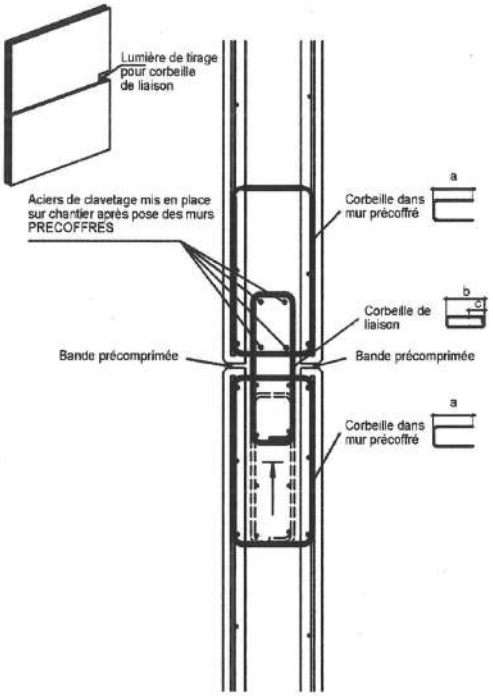


Figure 3 - Liaison d'angle en biais

Liaisons verticales



Liaisons couturées

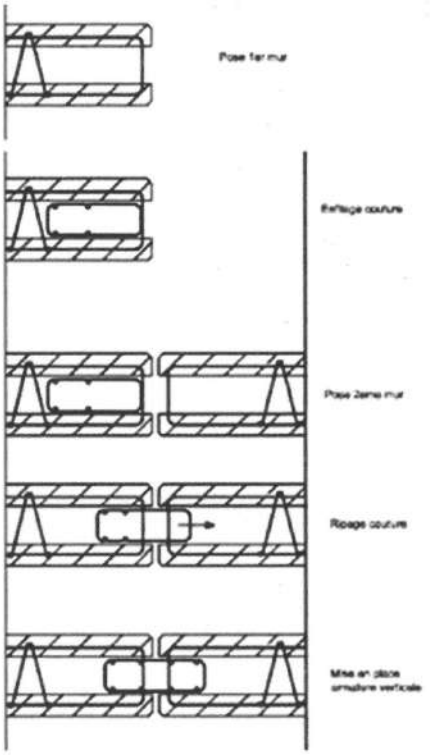


Figure 4 - Liaison couturée droit

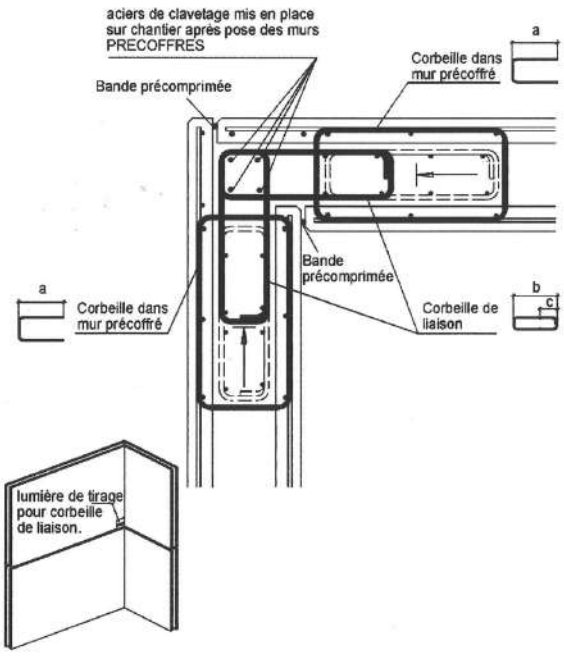


Figure 5 - Liaison couturée d'angle

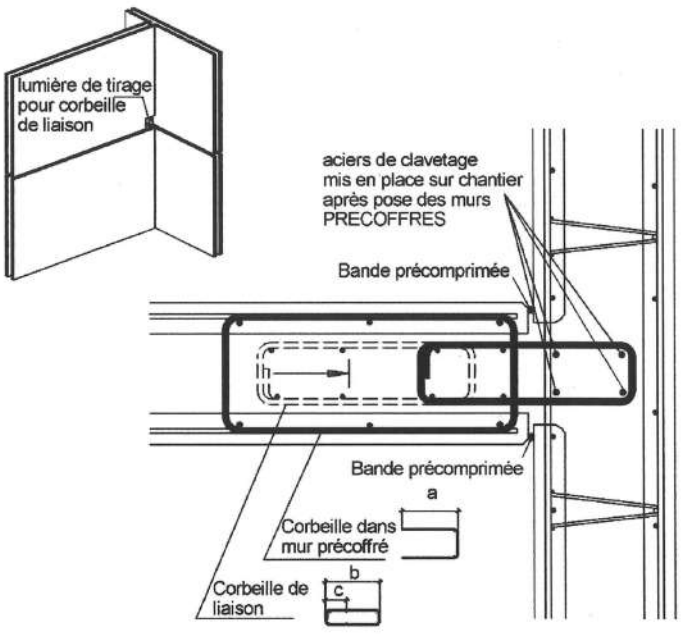
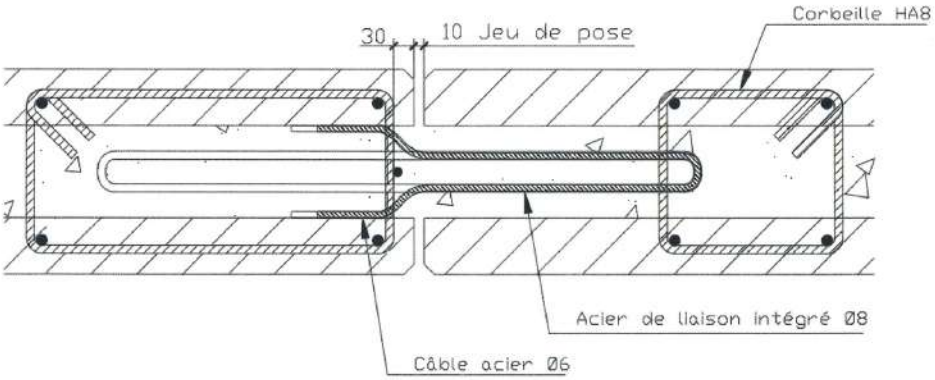


Figure 6 – Liaison mur refend avec sandwich

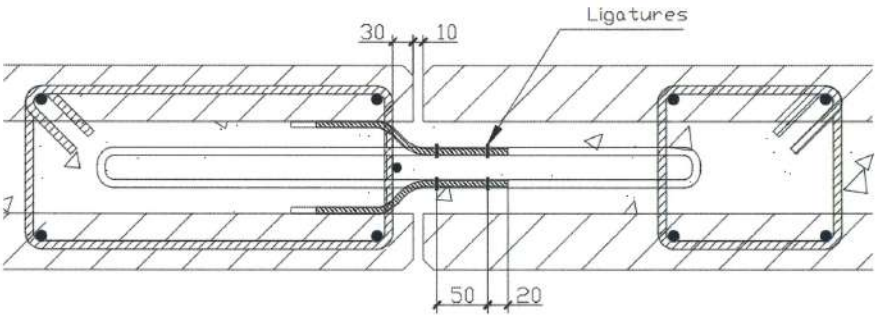
Liaisons verticales

Précoffré B **Précoffré A**

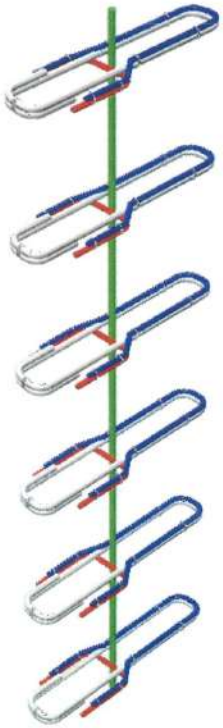


Liaisons verticales variante (2 câbles acier indépendants)

Précoffré B **Précoffré A**



Vues en plan



Module

Figure 7 – ALI, Aciers de Liaison Intégrés

Murs coupe feu

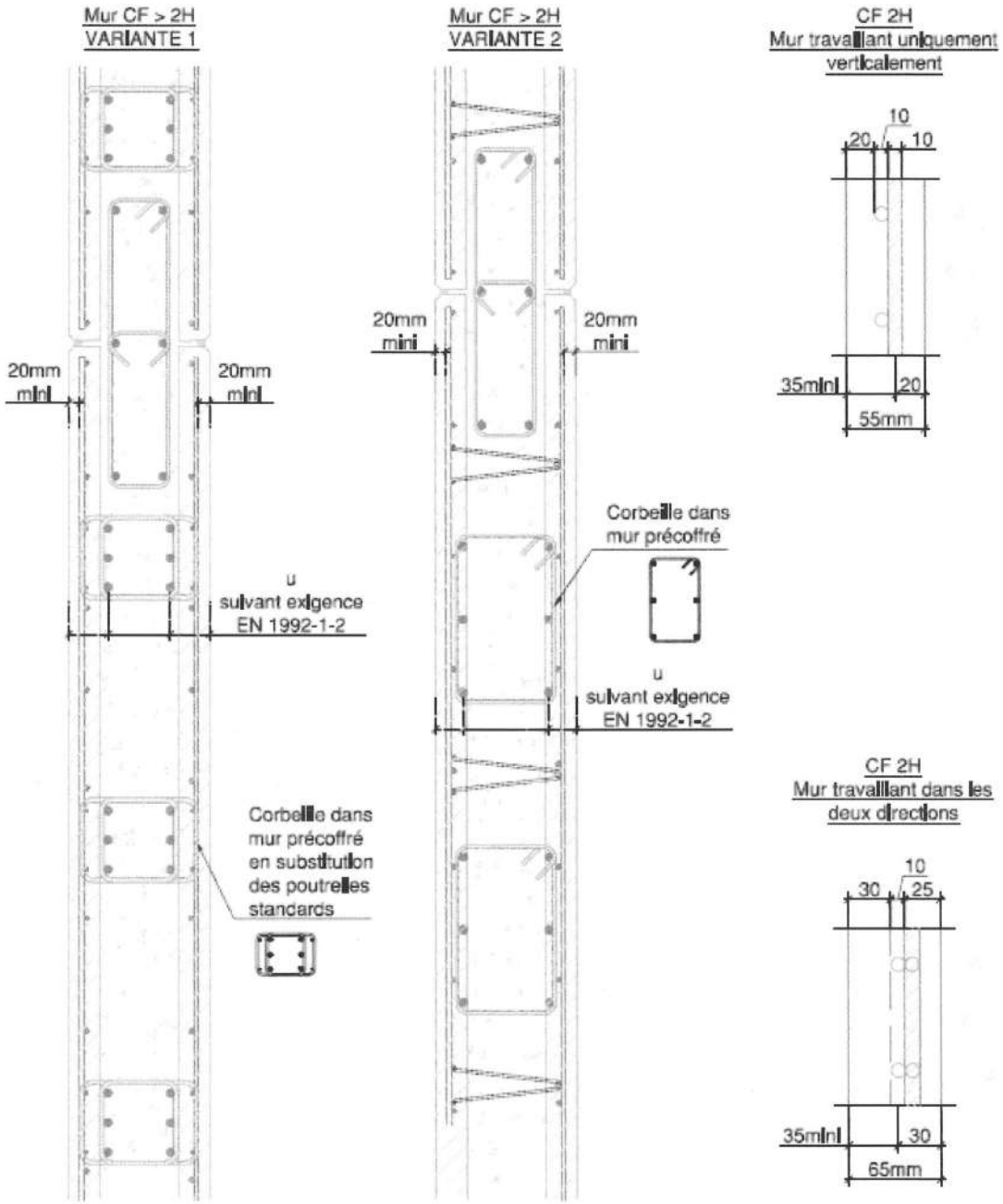


Figure 8 - Murs coupe-feu

Définition du plan d'étanchéité

Encastrement en pied sans reprise de bétonnage

Ce dernier est assuré par le coulage en continu du noyau du Précoffré et du radier. De plus les joints physiques entre les panneaux sont couturés ou encastrés

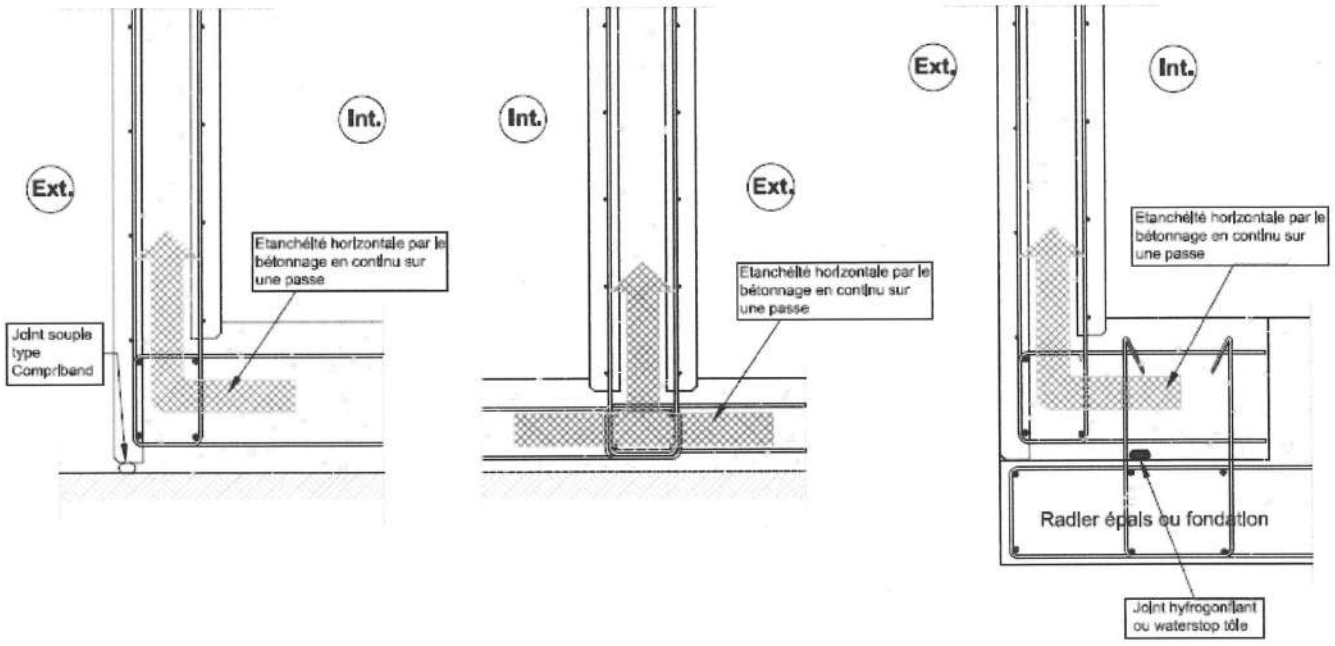
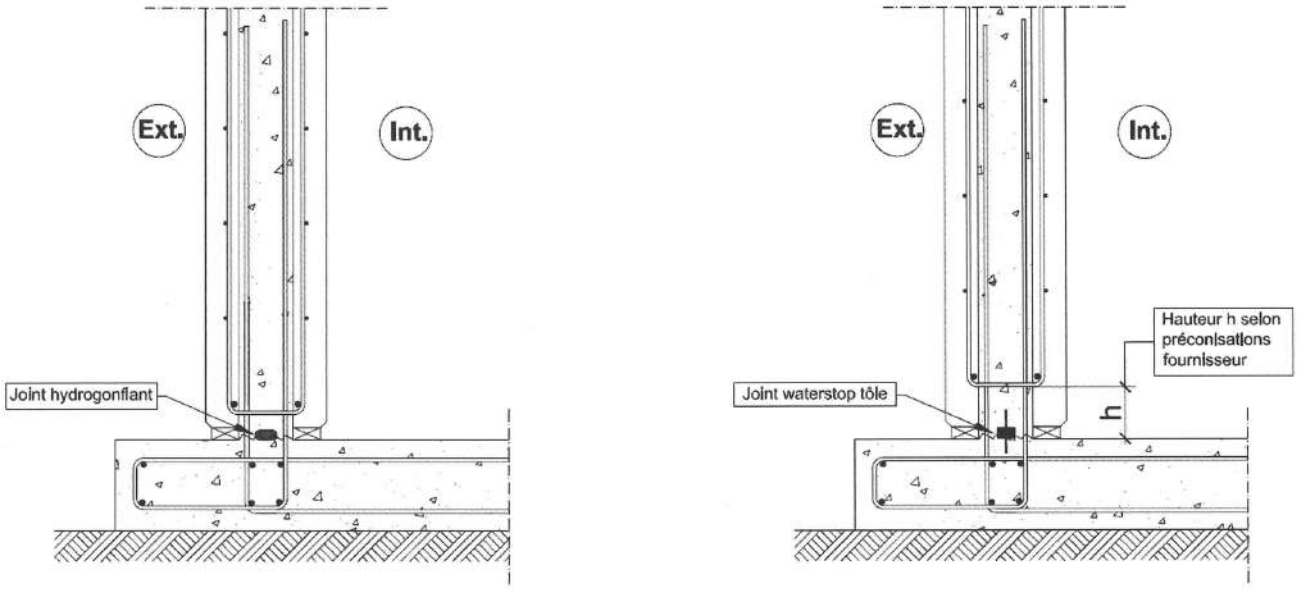


Figure 9 - Encastrement en pied sans reprise de bétonnage

Encastrement en pied avec reprise de bétonnage

La reprise de bétonnage du plan horizontal est assurée par la mise en œuvre d'un joint hydrogonflant ou d'un joint waterstop en tôle. Les plans verticaux sont garantis par la mise en place de coutures dans les zones du joint physique entre panneaux et d'un bétonnage en continu dans ces zones. La reprise de bétonnage est effectuée en zone centrale des Précoffré et sont réalisées à l'aide de joint waterstop en tôle.



La mise en œuvre des joints d'étanchéité sera réalisée conformément aux prescriptions du fabriquant et aux Avis Techniques en cours de validité.

Figure 10 - Encastrement en pied avec reprise de bétonnage

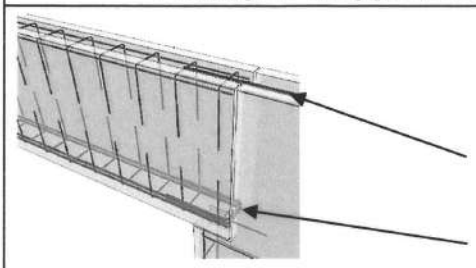
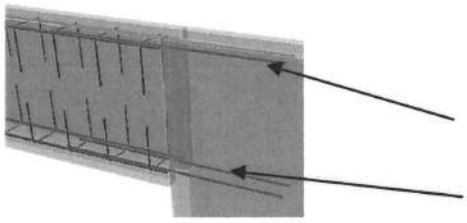
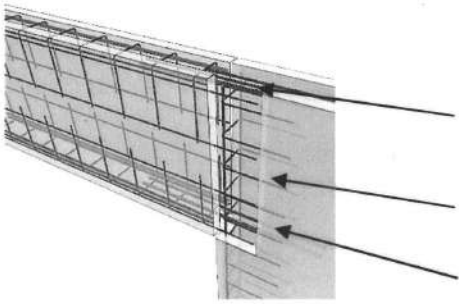
Principes d'appuis de poutres en murs précoffrés	
	Appui complet de toute l'épaisseur de la poutre précoffré sur l'appui. Eclisses hautes, mises en place sur chantier dans la partie coulée en place. Aciers d'ancrage d'effort tranchant intégrés au mur précoffrés (U à plats ou barres droites)
	Arrêt de la poutre précoffré avant l'appui avec joint de 1cm. Eclisses hautes, mises en place sur chantier dans la partie coulée en place. Eclisses basses, mises en place sur chantier dans la partie coulée en place.
	Ouverture d'une face de la poutre précoffré sur appui. Eclisses hautes, mises en place sur chantier dans la partie coulée en place. Aciers horizontaux dépassants côté peau ouverte. Eclisses basses, mises en place sur chantier dans la partie coulée en place.

Figure 11 - Principes d'appuis de poutres en murs Précoffrés rapporté

Mur précoffré ép. 16cm

Le Précoffré d'épaisseur 16 cm est basé sur le même concept que le Précoffré classique.
On distingue 2 cas de figure :

- Voiles intérieurs :

Les points de divergence avec les Précoffrés d'autres épaisseurs portent sur :

- les épaisseurs de peaux sont réduites à 4,5 cm,
- les enrobages des armatures sont réduits à 1.0 cm sur les faces non exposées,
- les murs ne peuvent pas être retournés sur chantier (hauteur maxi 3,80m)
- la CMU pour le voile de 16cm est spécifique

- Voiles extérieurs :
  - les épaisseurs de peaux sont réduites à 4,8 cm,
  - l'épaisseur nominale du mur est de 162mm
  - les poutrelles sont remplacées par des corbeilles façonnées sur mesure
  - la CMU pour le voile de 16cm est spécifique

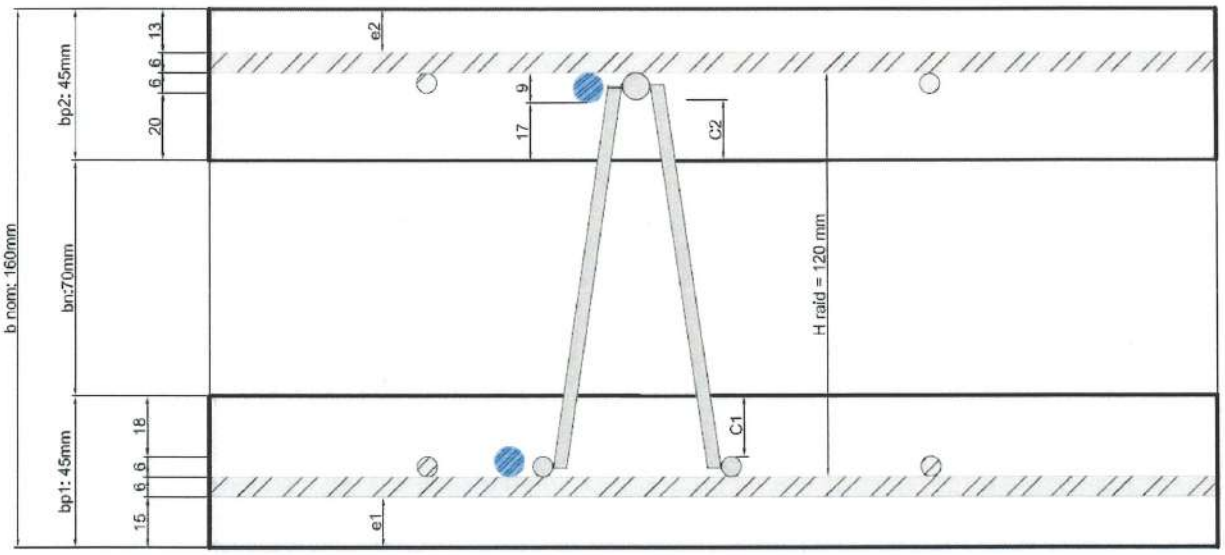


Figure 12 - Mur Précoffré ép. 16 cm en INTERIEUR

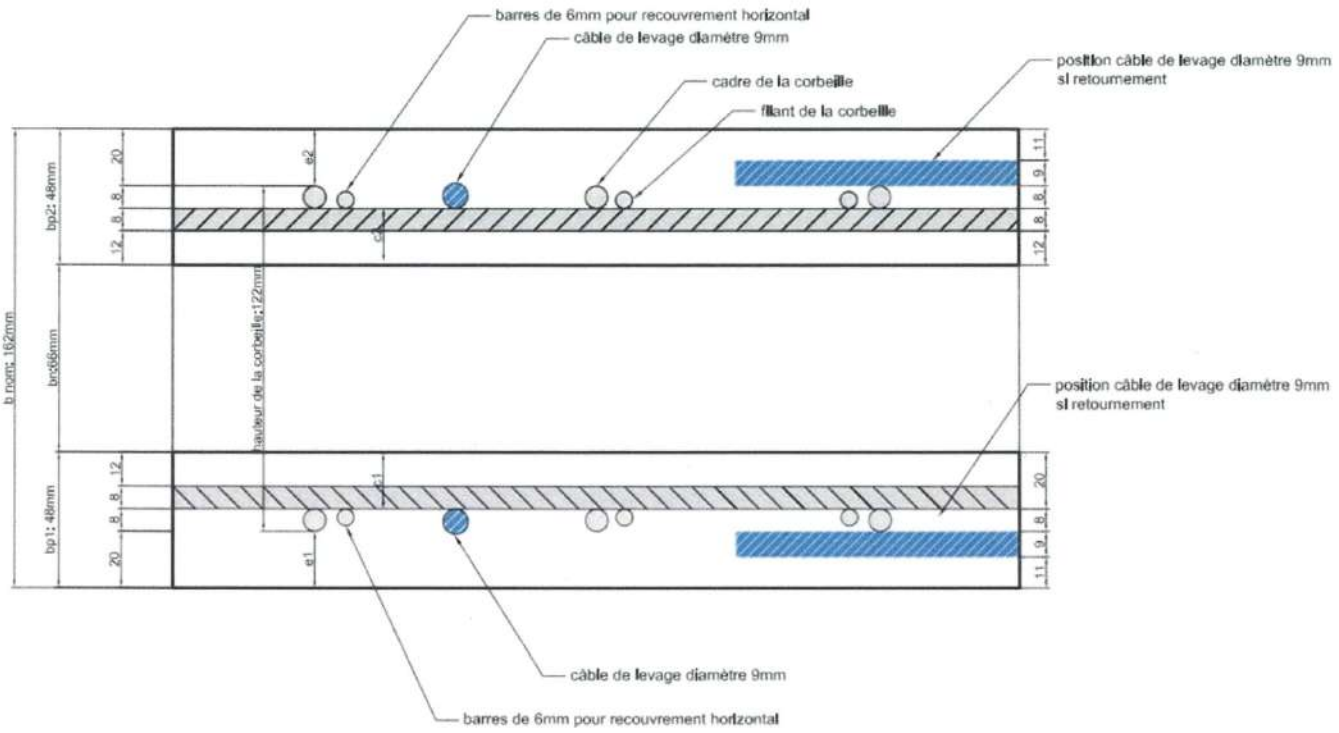
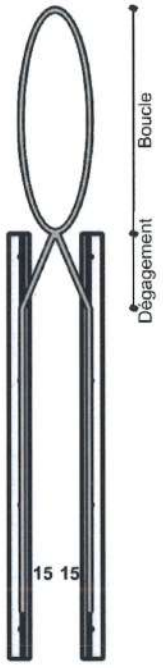


Figure 13 - Mur Précoffré ép. 16,2 cm
FACADE

Annexe 2 : Levage

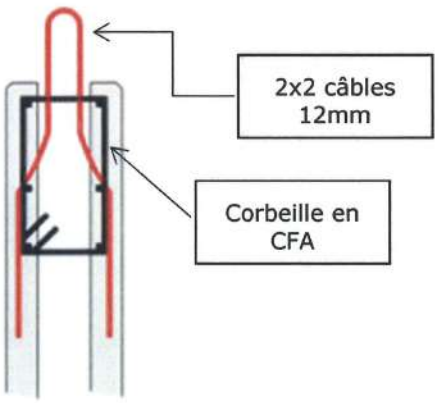
Exemple de câble de levage et positionnement

Les câbles de levage des Précoffrés sont des câbles d'acier galvanisés 7x19 1960 N/mm² croisé droit.

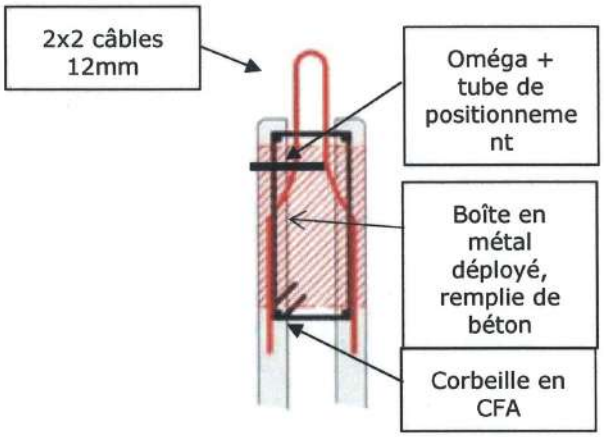


Câble de levage reliant les 2 peaux (CL16-9 / CL40-9 / CL40-12)

Câble de levage dont les brins sont coulés dans la même paroi préfabriquée (CLTH-9 / CLTH-12)



Câble CL40 LINK corbeille

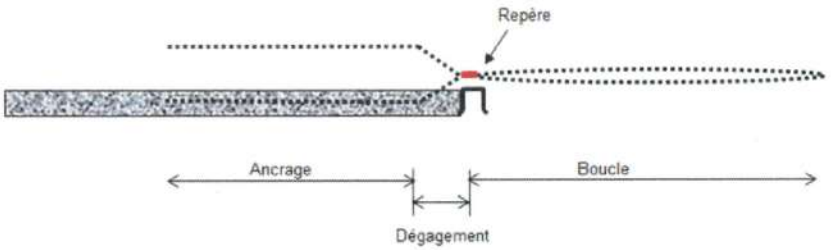


Câble CL40 LINK boîte

Le choix du diamètre du câble, le nombre de câbles et le positionnement des câbles nécessaires (2 brins dans la même paroi préfabriquée ou 1 brin par paroi préfabriquée ou LINK corbeille/boîte) sont déterminés par le bureau d'études du fabriquant pour chaque Précoffré. Un étiquetage des câbles est prévu, indiquant le diamètre son diamètre et son lot d'origine. Un repère de couleur est prévu en usine sur chaque type de câble pour différencier les longueurs de boucle.

La longueur de la boucle et la longueur d'ancrage sont donnés par le tableau ci-dessous :

Hauteur des murs	Longueur à couper	Ancrage	Dégagement	Boucle	Couleur
< 2,30 m	**3,80 m**	1,10 m	2 x 20 cm	0,60 m	
2,31 m à 2,80 m	**4,30 m**	1,10 m	2 x 20 cm	0,85 m	
2,81 m à 4,10 m	**5,30 m**	1,10 m	2 x 20 cm	1,35 m	
RETOURNEMENT	**3,80 m**	1,10 m	2 x 20 cm	0,60 m	

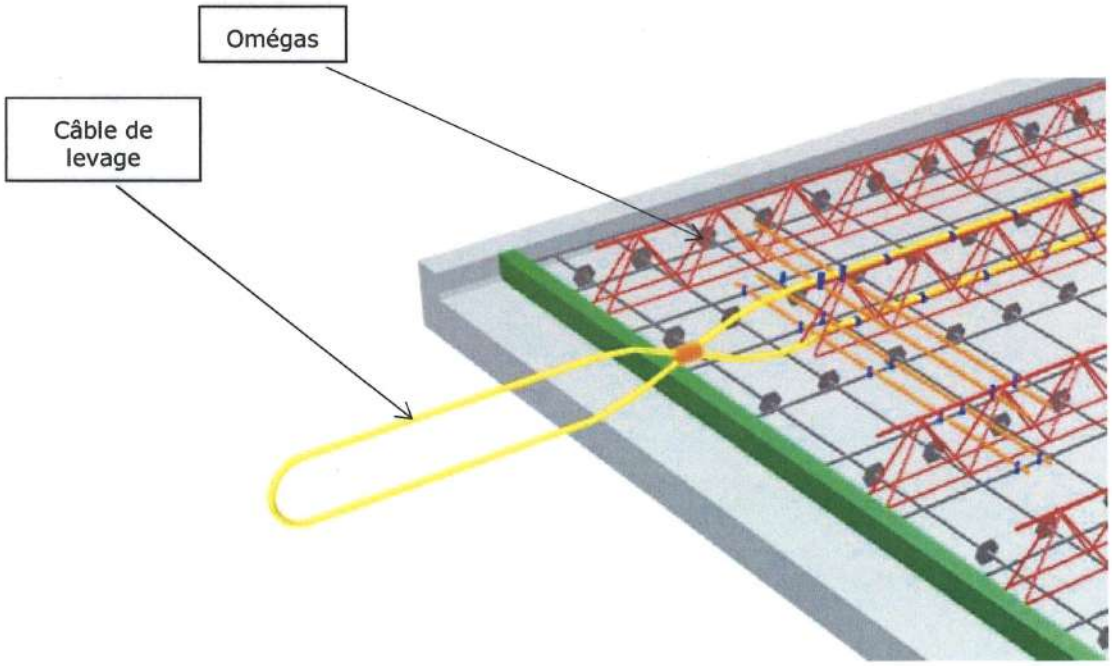


Position du Repère : Ancrage + Dégagement

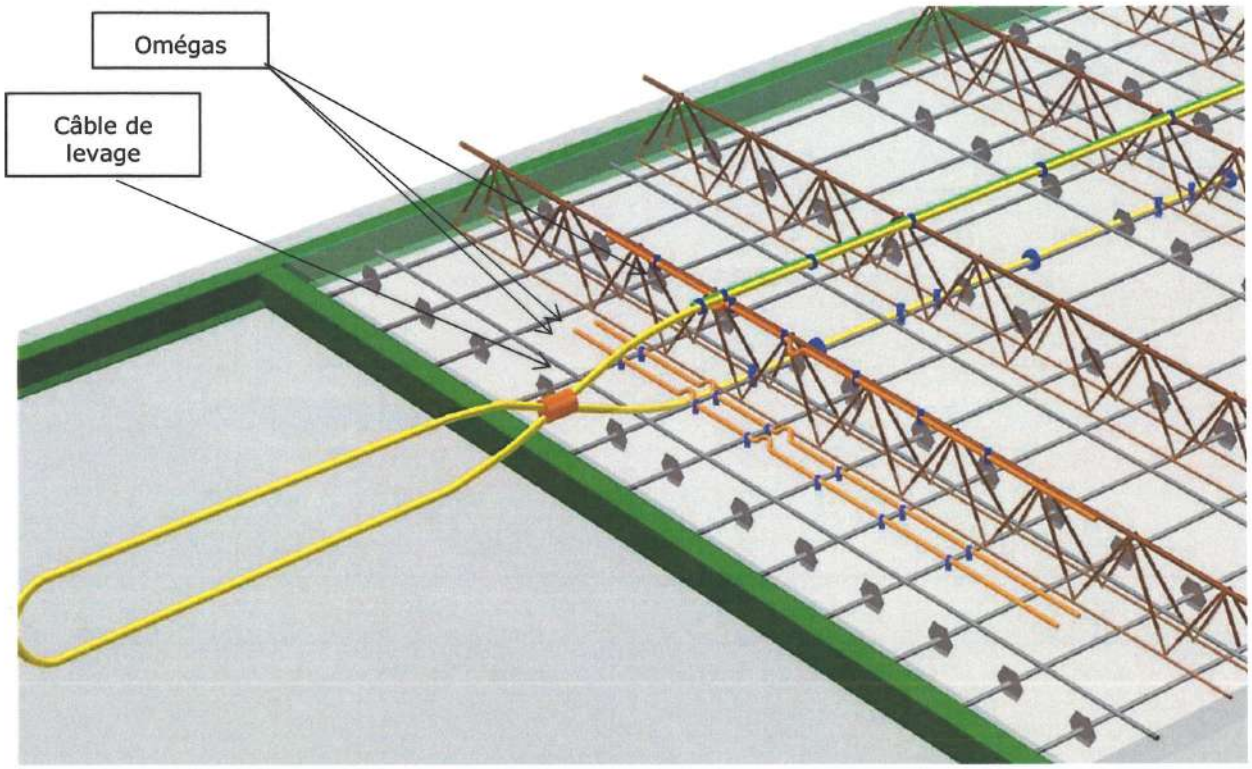
Dans le cas du dispositif LINK, composé de 2 câbles de levage de 12mm, la longueur d'ancrage est de 0.90 m et la longueur de de dégagement est de 0.20 m

En complément des câbles, il est prévu deux barres HA8 de longueur 1.20m complémentaires (notées oméga), ligaturées aux armatures de peau du Précoffré. En cas de corbeille ou de raidisseur, associés aux câbles, les filants perpendiculaires de la corbeille ou de la poutrelle peuvent se substituer aux omégas.

Configuration câble reliant les 2 peaux :

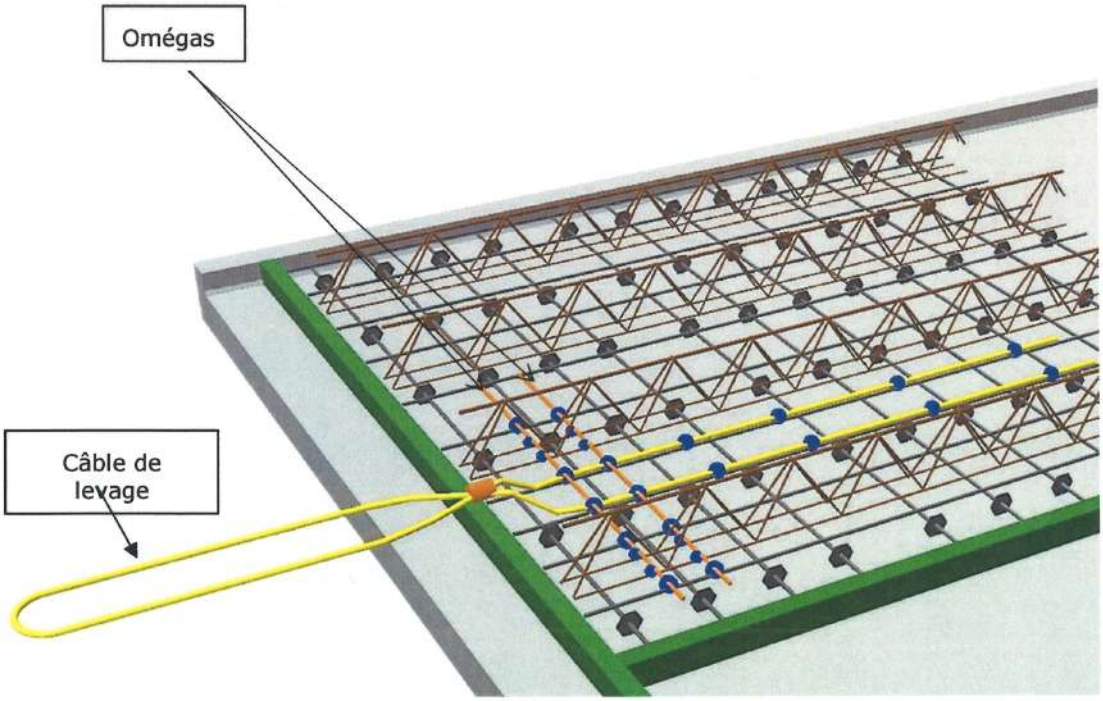


Configuration câble reliant les 2 peaux (en cas de retournement):



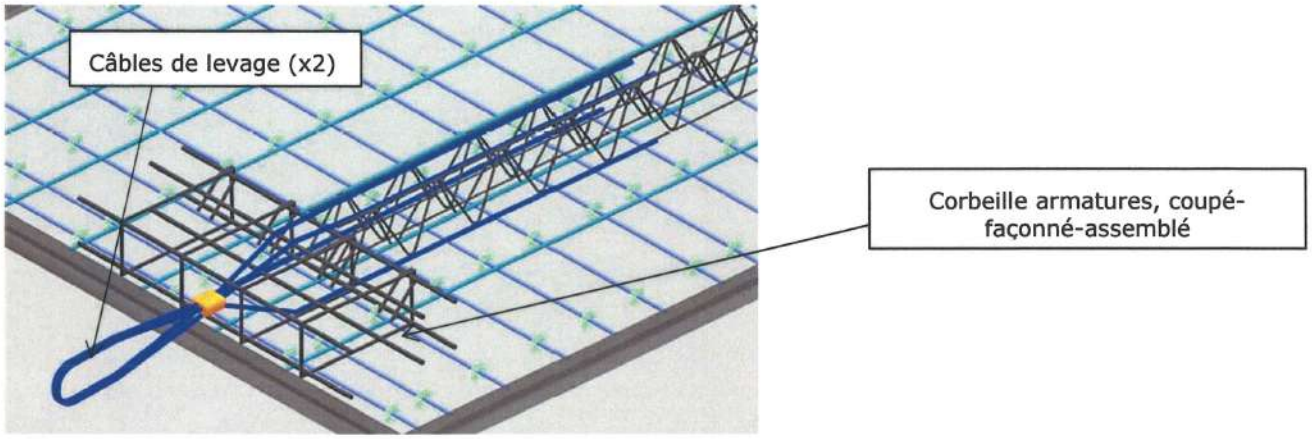
Cette disposition n'est pas compatible avec une épaisseur de peau inférieure à 50mm et des enrobages supérieurs à 10mm.

Configuration câble dont les brins sont coulés dans la même peau :



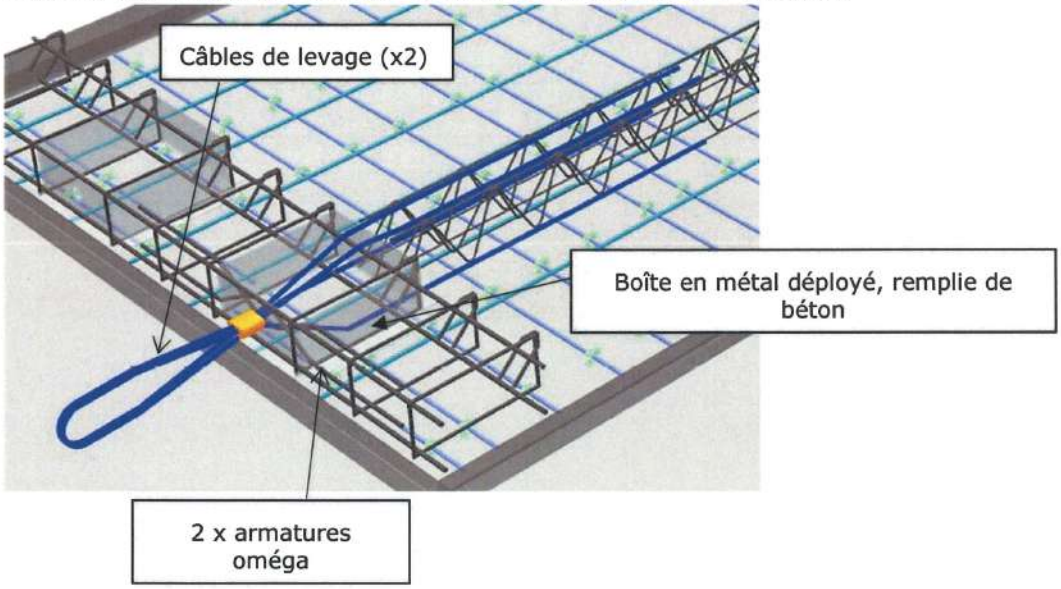
Configuration câble LINK corbeille :

Principe de positionnement des câbles « levage seul » dans le mur

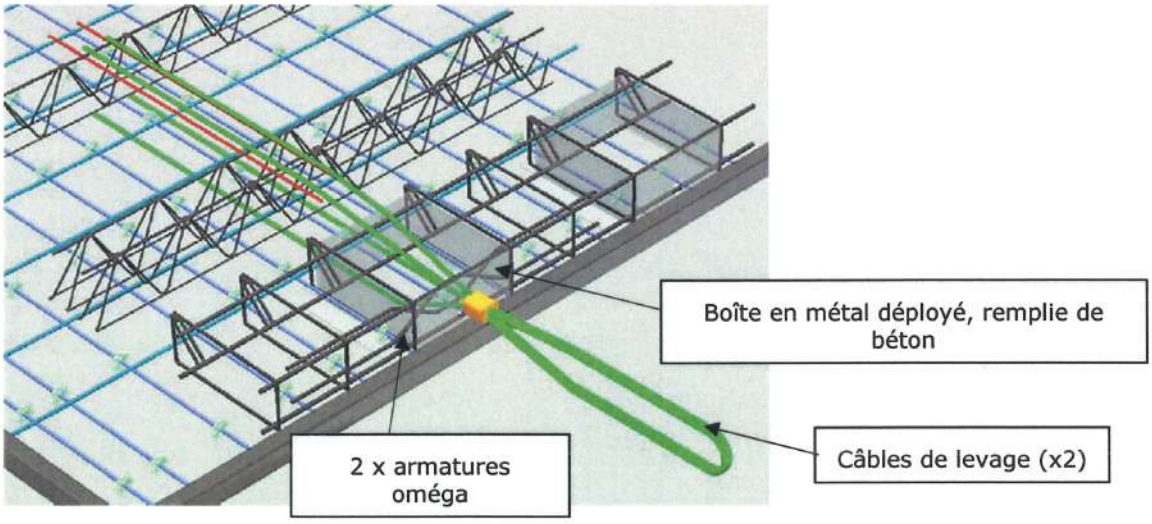


Configuration câble LINK boîte :

Principe de positionnement des câbles « levage droit et retournement » dans le mur

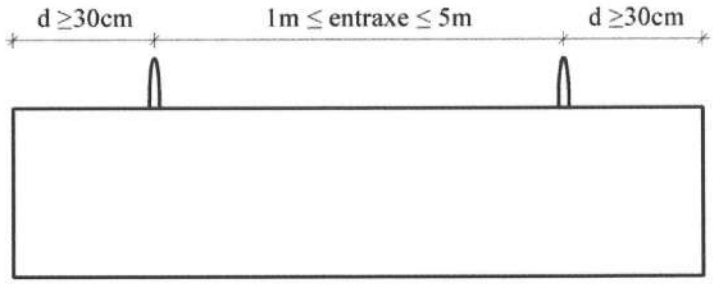


Principe de positionnement des câbles « levage droit » dans le mur

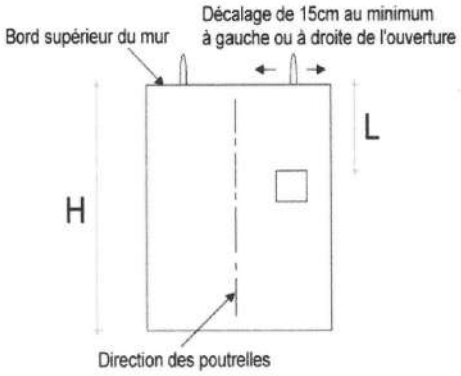


Le principe d'implantation de ces inserts de levage est le suivant :

- Les câbles sont positionnés symétriquement par rapport au centre de gravité du mur.
- Les câbles sont associés impérativement à une poutrelle raccourcie de 30cm par rapport à l'arase supérieure de la face du mur la moins haute.
- La distance minimale d'un câble au bord d'un mur est au minimum de 30 cm.
- L'entraxe minimal entre câble est de 1 m.
- L'entraxe maximal entre câble est de 5 m.



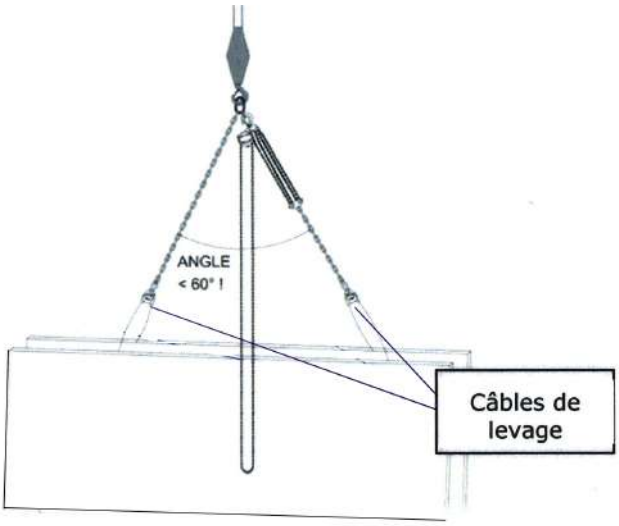
- La distance minimale d'un câble au bord d'une ouverture est de 15 cm.
- Le câble peut être positionné au droit d'une ouverture lorsque la distance de l'ouverture au bord du mur est supérieure ou égale à 1.70, dans le cas contraire, le câble sera décalé à côté de l'ouverture.



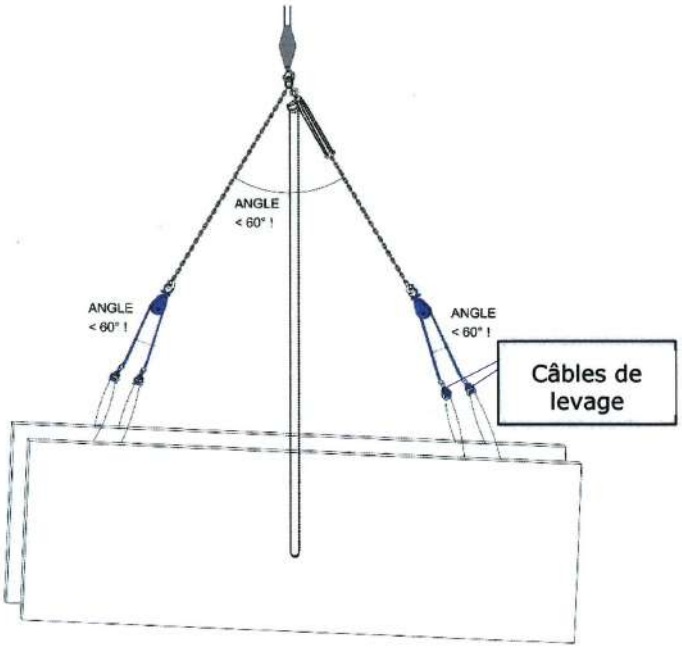
Manutention avec les câbles de levages

La manutention est effectuée avec un angle maximum entre les deux élingues au crochet de la grue de 60°.

Manutention avec 2 câbles de levage : *(CL16-9 / CL40-9 / CL40-12 / LINK)*

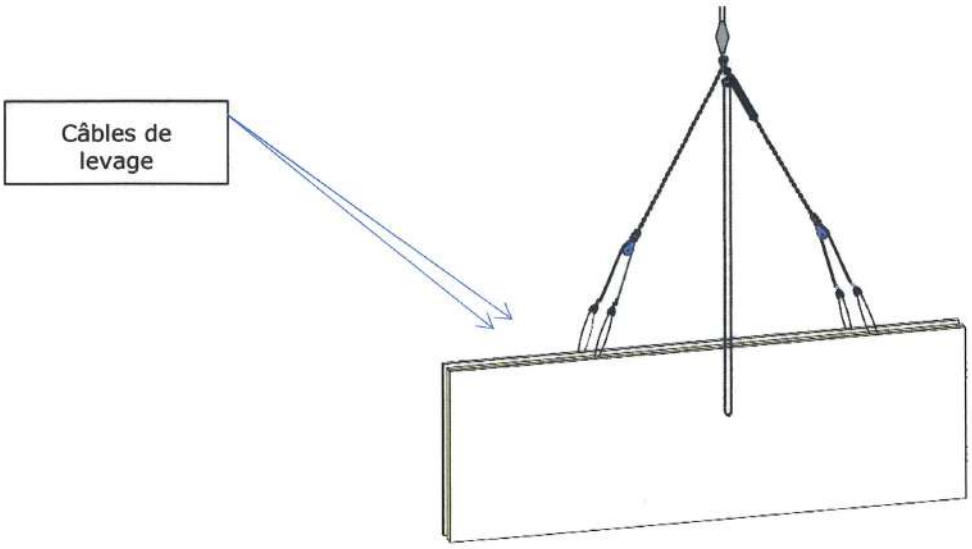


Manutention avec 4 câbles de levage : (CL16-9 / CL40-9 / CL40-12)



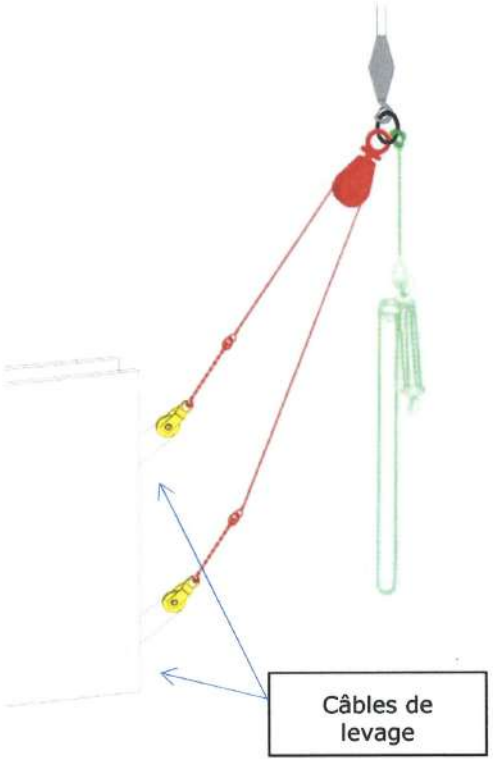
Manutention avec 4 câbles de levage : *(CLTH-9 / CLTH-12)*

La longueur des boucles est de 60cm au minimum et la longueur de dégagement de 20cm. La longueur de l'élingue admise est de 1.20m et le diamètre de la poulie de 13cm. Dans cette configuration, l'angle entre le voile préfabriqué et le câble de levage est négligé (inférieur à 3,7° pour un mur de 50 cm d'épaisseur).

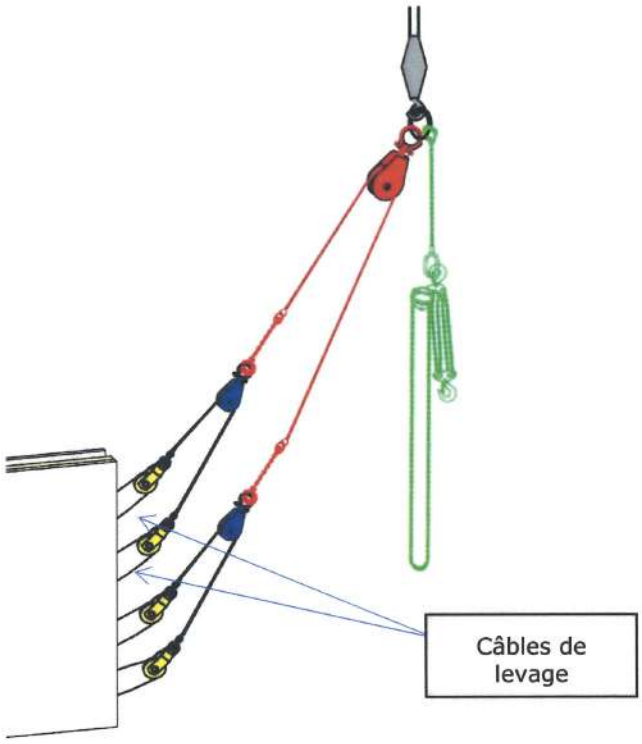


Manutention en cas de retournement : *(CL16-9 / CL40-9 / CL40-12 / LINK)*

L'utilisation de poulies entre le câble de levage et l'élingue est obligatoire.



Manutention en cas de retournement : (CLTH-9 / CLTH12)



Pour la manutention sur chantier et la mise en œuvre, se référer aux prescriptions indiquées dans le Guide de Pose du Précoffré.

Annexe 3 : Préconisations de bétonnage (Extraites des recommandations du GT EFB MCI)

Sommaire :

1. Référentiels des MCI
2. Choix du béton de remplissage
   a. Généralités
   b. Eléments complémentaires de prescription pour les bétons BPS-MCI
   c. Cas particulier des BCP-MCI
3. Modes de remplissage des murs à coffrages intégrés
4. Contrôle du remplissage
5. Hauteur maximale des couches de béton frais
6. Reprise de bétonnage
7. Dimensionnement
8. Glossaire

1. Référentiels des MCI

- NF EN 15258 : produits préfabriqués en béton - éléments de murs de soutènement
- NF EN 14992 : produits préfabriqués en béton éléments de mur
- Avis technique et certification CSTBAT associée
- Cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrages intégrés e-Cahiers du CSTB n° 3690 - Mai 2011
- Guide INRS/CNAM TS/OPPBTP.

2. Choix du béton de remplissage

2.1. Généralités

Le choix du béton dépend de plusieurs facteurs :

- sa capacité de remplissage pour obtenir un bon enrobage des armatures, compte tenu notamment de leur densité
- la vitesse de remplissage retenue en fonction des spécificités de la partie d'ouvrage à réaliser.

Les classes de résistance structurelles du béton de remplissage sont celles prévues pour la partie d'ouvrage lors de la phase de conception ou répondant à la demande du bureau d'étude structure. Sauf étude particulière permettant d'y déroger, les classes d'exposition applicables au béton de remplissage sont celles prévues pour la partie d'ouvrage lors de la phase de conception.

Les bétons utilisables pour le remplissage des MCI sont définis dans les paragraphes 2.2 et 2.3.

2.2. Eléments complémentaires de prescription pour les bétons BPS-MCI

Dans le cas général, les bétons sont de type BPS au sens de la norme NF EN 206-1/CN.

Le D_{max} des granulats des bétons BPS-MCI ne doit pas dépasser 16 mm. Il doit être ramené à une valeur inférieure ou égale à 12,5 mm (tableau 1) lorsque l'épaisseur nominale des MCI est inférieure à 20cm pour les MCI disposant d'une certification CSTBat

D_{max} (mm)	Epaisseur du mur												
	18 cm	19 cm	20 cm	21 cm	22 cm	23 cm	24 cm	25 cm	26 cm	27 cm	28 cm	29 cm	30 cm
Précoffré avec certification CSTBat	12,5	12,5	12,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0

Tableau 1 : D_{max} (mm) des granulats des bétons BPS- MCI en fonction de l'épaisseur du MCI.

La commande sera réalisée non pas en se référant à la classe mais en valeur cible pour l'affaissement. La valeur cible recommandée est de 200 mm, portée à 220 mm lorsque les spécificités de bétonnage l'exigent (densité d'armatures élevée, faible épaisseur de l'élément).

Dans le cas des BAP (NF EN 206-9), toutes les classes d'étalement peuvent être utilisées. Les prescriptions précédentes sur les granulats restent applicables.

2.3. Cas particulier des BCP-MCI

Les bétons BCP-MCI sont conformes à la norme NF EN 206-1/CN. Leur utilisation 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 oeuvre ne peuvent être généralisés à tous les ouvrages et sont soumis à l'acceptation du préfabricant. Ces bétons sont déconseillés pour les zones très ferraillées.

Parmi les caractéristiques communiquées au fournisseur de béton prêt à l'emploi, il est recommandé pour ces bétons de retenir les critères suivants :

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

3. Modes de remplissage des murs à coffrages intégrés

Le remplissage des MCI est réalisé en respectant les conditions ci-après :

Bétons BPS-MCI : Les bétons BPS-MCI, répondant aux spécifications des paragraphes précédents 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 béton auto-plaçant. Il est néanmoins recommandé de vibrer ces bétons lorsque les zones à remplir sont très ferraillées (armatures horizontales de diamètre supérieur ou égal à 12 mm).

Le remplissage se fait par couches horizontales successives dans les conditions définies au paragraphe 5.

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

Bétons BCP-MCI : L'utilisation des bétons décrits au paragraphe 2.3 nécessite des conditions de mise en œuvre particulières qui doivent être approuvées par le préfabricant.

Il est impératif d'utiliser un coulage « en talus » (figure 1). L'objectif est d'assurer le bon remplissage des MCI sur des hauteurs importantes tout en diminuant la poussée.

Il est conseillé d'appliquer une légère vibration lorsque le mur est fortement ferraillé. Il est alors recommandé d'utiliser une aiguille de 25 mm.

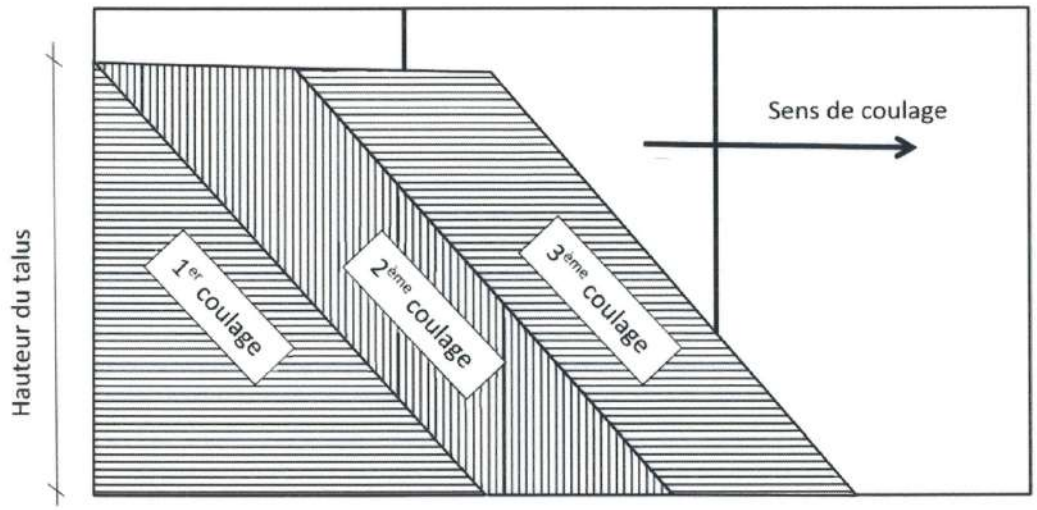


Figure 1 : Principe du coulage en talus

4. Contrôle du remplissage

A défaut d'autres contrôles, il sera prévu lors de la conception et fabrication des MCI 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 MCI:

- 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.

Parmi les autres contrôles, on peut citer la possibilité d'effectuer un trou sur le côté intérieur des panneaux et si nécessaire de l'utiliser pour injecter un coulis de remplissage. L'auscultation sonique peut également être envisagée si nécessaire.

Note : Les contrôles en utilisant un maillet ne sont pas adaptés

5. Hauteur maximale des couches de béton frais

En l'absence de justifications particulières, les vitesse de coulage des couches de béton frais en fonction du type de béton (BPS-MCI ou BCP-MCI) et de la distance entre les raidisseurs sont données dans les figures 2a, 2b, 2c et 2d. Elles sont déduites des courbes données dans la norme NF EN 14992 (annexe B).

Une attention particulière doit être portée lors de bétonnages par temps froid. De plus, la vitesse de bétonnage doit être diminuée de 20 % pour des températures de paroi inférieures à 10° et de 30% pour des températures de paroi inférieures à 5°C. L'impact d'un béton chaud en l'absence de préchauffage de l'espace interne du MCI sur la vitesse de bétonnage est limité compte tenu de l'inertie thermique des parois du mur à coffrage intégré.

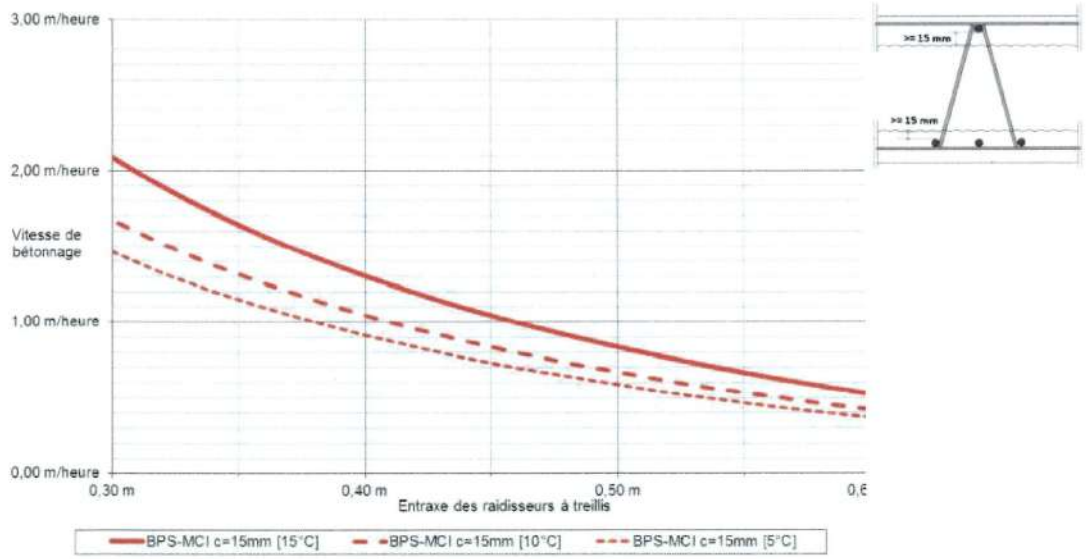


Figure 2a : Vitesse de bétonnage pour les bétons BPS-MCI en fonction de la température et de l'entraxe des raidisseurs (pour un enrobage de l'armature longitudinale du raidisseur de 15mm).

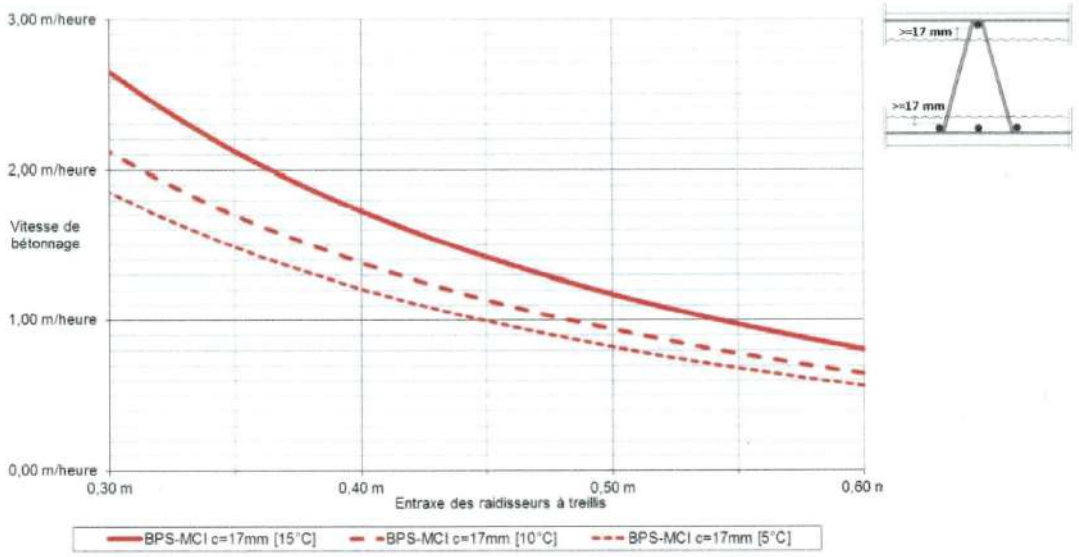


Figure 2b : Vitesse de bétonnage pour les bétons BPS-MCI en fonction de la température et de l'entraxe des raidisseurs (pour un enrobage de l'armature longitudinale du raidisseur de 17 mm).

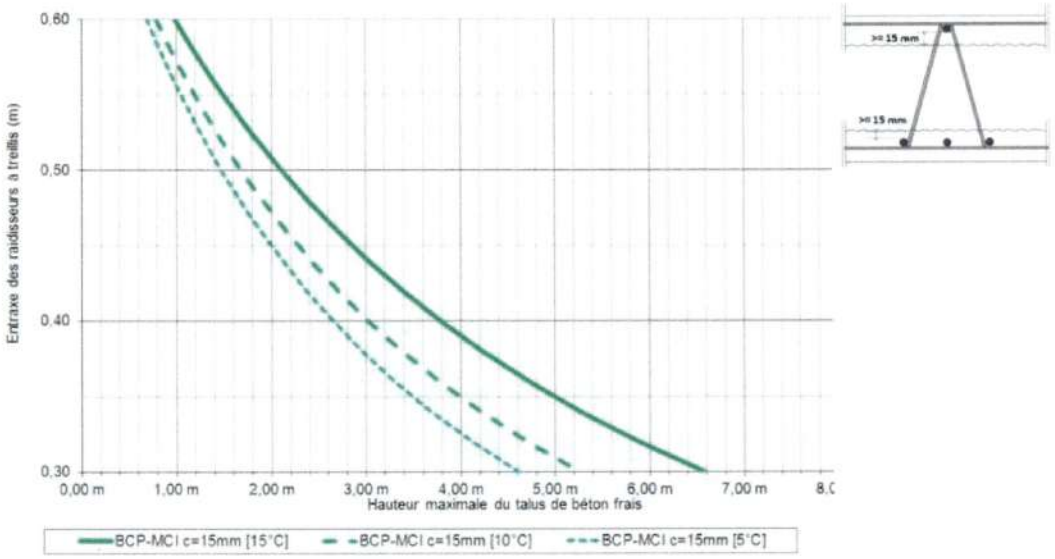


Figure 2c : Choix de l'entraxe des raidisseurs en fonction de la hauteur maximale du talus de béton frais dans le cas des bétons BCP-MCI en fonction de la température (pour un enrobage de l'armature longitudinale du raidisseur de 15 mm).

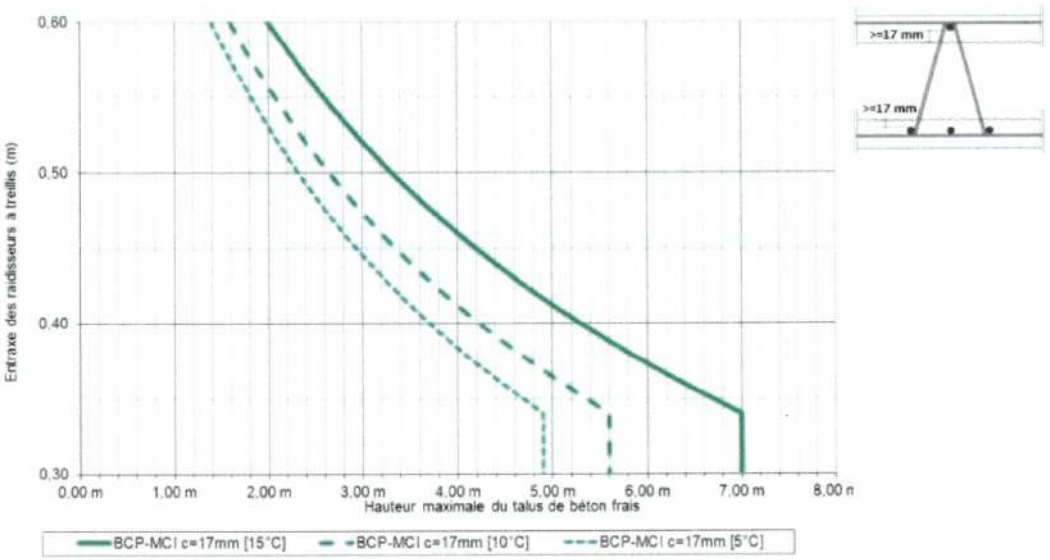


Figure 2d : Choix de l'entraxe des raidisseurs en fonction de la hauteur maximale du talus de béton frais dans le cas des bétons BCP-MCI en fonction de la température (pour un enrobage de l'armature longitudinale du raidisseur de 17 mm).

6. Reprise de bétonnage

Dans tous les cas où la reprise de bétonnage a un rôle mécanique et afin d'éviter qu'elle n'affaiblisse le comportement structurel des MCI, l'arrêt du coulage est effectué à une distance minimale de 200 mm sous l'arase, distance qui doit être compatible avec un éventuel recouvrement d'armatures (figure 3a et 3b).

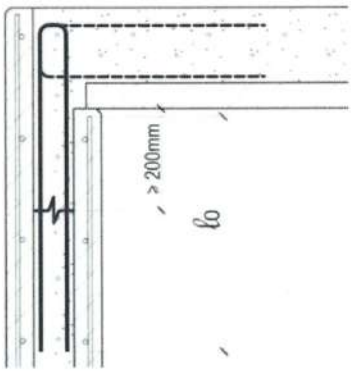


Figure 3a : Reprise de bétonnage dans le cas d'une dalle.

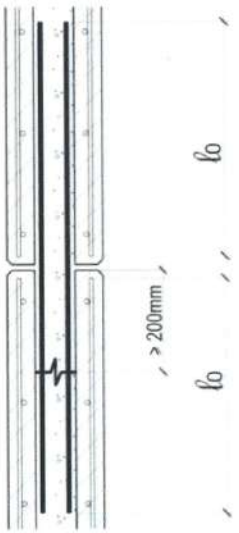


Figure 3b : Reprise de bétonnage dans le cas de MCI superposés.

7. Dimensionnement

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 $\eta 1$ égal à 0,7 pour des armatures horizontales de diamètre supérieur à 12 mm.

Dans tous les autres cas, le coefficient d'adhérence $\eta 1$ est égal à 1.

Note : Coefficient d'adhérence $\eta 1$ selon l'article 8.4.2. de la norme NF EN 1992-1-1

8. Glossaire

MCI : Murs à Coffrages Intégrés

BPS : Béton à Propriétés Spécifiées

BCP : Béton à Composition Prescrite

RAGE : Règles de l'Art Grenelle de l'Environnement

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n°3 — Structures, planchers et autres composants structuraux

Cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégré

Le présent Cahier des Prescriptions Techniques a été édité par le Groupe Spécialisé n° 3 « Structures, planchers et autres composants structuraux » de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques, lors de ses séances du 20 juillet 2010 et du 16 décembre 2010.

e-Cahiers du CSTB

Cahier 3690_V2 - Juillet 2014

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

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1er juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2014

Cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégré

SOMMAIRE

PRÉAMBULE

Les Cahiers des Prescriptions Techniques (CPT) sont des parties intégrantes des Avis Techniques, présentant des dispositions communes. Ces CPT ne sont donc pas des textes à utiliser seuls, mais conjointement avec l'Avis Technique qui y fait référence, et qui peut les compléter ou les amender.

Normes associées **3**

Avant-propos **4**

Généralités **4**

Domaine d'emploi **4**

Symboles **5**

Majuscules latines 5

Minuscules latines 6

Minuscules grecques 8

1. Conditions de conception **9**

1.1 Stabilité 9

1.2 Sécurité au feu 32

1.3 Isolation thermique 33

1.4 Isolation acoustique 33

1.5 Traitement des joints 33

1.6 Finitions et aspect 35

2. Conditions de fabrication **35**

2.1 Précision de fabrication des treillis raidisseurs 35

2.2 Tolérances dimensionnelles standards 35

2.3 Contrôle du béton 35

3. Conditions de stockage et de transport **36**

3.1 Prescriptions concernant la manutention des panneaux 36

3.2 Prescriptions concernant le transport des panneaux 36

3.3 Prescriptions concernant le stockage des panneaux 36

4. Conditions de mise en œuvre **36**

4.1 Pose des panneaux 36

4.2 Stabilité en phase provisoire 36

4.3 Préparation des voiles et des joints 36

4.4 Utilisation de coupleurs d'armatures 36

4.5 Bétonnage 36

4.6 Étapes après décoffrage 36

Annexe I
Principe de détermination des efforts sollicitants sur un mur à coffrage intégré **37**

Annexe II
Vérifications de la liaison au droit du joint – Applications numériques **39**

Annexe III
Exemples de calcul du pourcentage d'armatures transversales ρ_α transversales du plan de reprise dans le sens longitudinal **51**

Annexe IV
Principe et exemple de calcul de la contrainte de cisaillement limite $\tau_{Ed,lim}$ à l'interface entre le béton des voiles préfabriqués et le béton coulé en place du noyau **52**

Annexe V
Schémas de principe de réalisation des liaisons entre poutres-cloisons en mur à coffrage intégré **53**

Annexe VI
Traitement des joints **56**

Annexe VII
Épaisseur minimale et longueur du chemin critique **59**

Annexe VIII
Justification des renforts de mur à coffrage intégré sous appui ponctuel de poutres **61**

Annexe IX
Détails de liaisons des murs à coffrage intégré **62**

Normes associées

- NF EN 1990, Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures.
- NF EN 1990, Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures. Annexe nationale à la NF EN 1990.
- NF EN 1991-1-1, Eurocode 1 : actions sur les structures. Partie 1.1 : actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments.
- NF EN 1991-1-1/NA, Eurocode 1 : actions sur les structures. Partie 1.1 : actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments. Annexe nationale à la norme NF EN 1991-1-1.
- NF EN 1991-1-2, Eurocode 1 : actions sur les structures. Partie 1.1 : actions générales – Actions sur les structures exposées au feu.
- NF EN 1991-1-2/NA, Eurocode 1 : actions sur les structures. Partie 1.1 : actions générales – Actions sur les structures exposées au feu. Annexe nationale à la norme NF EN 1991-1-2.
- NF EN 1992-1-1, Eurocode 2 : calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1992-1-1/NA, Eurocode 2 : calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe nationale à la NF EN 1992-1-1.
- NF EN 1992-1-2, Eurocode 2 : calcul des structures en béton. Partie 1-2 : règles générales – Calcul du comportement au feu.
- NF EN 1992-1-2/NA, Eurocode 2 : calcul des structures en béton. Partie 1-2 : règles générales – Calcul du comportement au feu. Annexe nationale à la NF EN 1992-1-2.
- NF EN 1998-1 : Eurocode 8 : calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1998-1/NA : Eurocode 8 : calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Annexe nationale à la NF EN 1998-1.
- NF EN 206-1 : Béton – Partie 1 : spécification, performances, production et conformité.
- NF A 35-080-1 : Aciers pour béton armé. Aciers soudables. Partie 1 : barres et couronnes.
- NF A 35-080-2 : Aciers pour béton armé. Aciers soudables. Partie 2 : treillis soudés.
- NF A 35-015 : Aciers pour béton armé. Aciers soudables lisses – Barres et couronnes.
- NF A 35-028 : Aciers pour béton armé. Treillis raidisseurs.
- NF A 35-028/A1 : Aciers pour béton armé. Treillis raidisseurs – Amendement A1.
- NF EN 12354-1, Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 1 : isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux.
- NF EN 13369 COMPIL, Règles communes pour les produits préfabriqués en béton.
- NF EN 13369/A1, Règles communes pour les produits préfabriqués en béton.
- NF EN 14992+A1, Produits préfabriqués en béton. Éléments de murs.
- NF EN 15258, Produits préfabriqués en béton. Éléments de murs de soutènement.
- NF P15-317, Liants hydrauliques – Ciments pour travaux à la mer.
- NF P 18-503, Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification.
- NF P 18-504, Béton – Mise en œuvre des bétons de structure.
- NF P93-350, Équipement de chantier – Banches industrialisées pour ouvrages en béton.
- NF P 11-221 (DTU 14.1), Travaux de bâtiment – Travaux de cuvelage.
- NF P 10-202-1-1 (DTU 20.1), Travaux de bâtiment – Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – parois et murs.
- NF P 10-203 (DTU 20.12), Maçonnerie des toitures et d'étanchéité – Gros œuvre en maçonnerie des toitures destinées à recevoir un revêtement d'étanchéité.
- NF P 15-201 (DTU 26.1), Travaux de bâtiment – Travaux d'enduits de mortiers – Partie 1-1 : cahier des clauses techniques – Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux – Partie 2 : cahier des clauses spéciales.
- NF P 74-202 (DTU 59.2), Travaux de bâtiment – Revêtements plastiques épais sur béton et enduits à base de liants hydrauliques. Partie 1 : cahier des charges – Partie 2 : cahier des clauses spéciales.
- Fascicule 74, Construction des réservoirs en béton du CCTG.
- Arrêté du 22/10/2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».
- Murs à Coffrage Intégré (MCI). Prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité. Assurance Maladie, OPP BTP et INRS.

Avant-propos

Le présent document révise et remplace le CPT MCI publié en . L'édition antérieure avait été rédigée sur la base des règles BAEL 91 et PS 92. Les prescriptions de conception et de calcul données dans ce titre du CPT sont établies par référence aux règles de conception et de calcul aux états limites des ouvrages en béton armé prescrites dans la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ainsi que dans la NF EN 1998-1 et son Annexe nationale NF EN 1998-1/NA.

Généralités

Terminologie

Mur composite : mur constitué de deux voiles en béton armé préfabriqués séparés par un espace et généralement liaisonnés au moyen de treillis raidisseurs.

L'ensemble (deux voiles préfabriqués reliés) fabriqué en usine forme un panneau. L'espace entre les voiles préfabriqués ultérieurement rempli de béton coulé sur chantier est appelé noyau.

Le mur composite, une fois complété par le béton coulé en place, est appelé « mur à coffrage intégré » (MCI).

Nota :

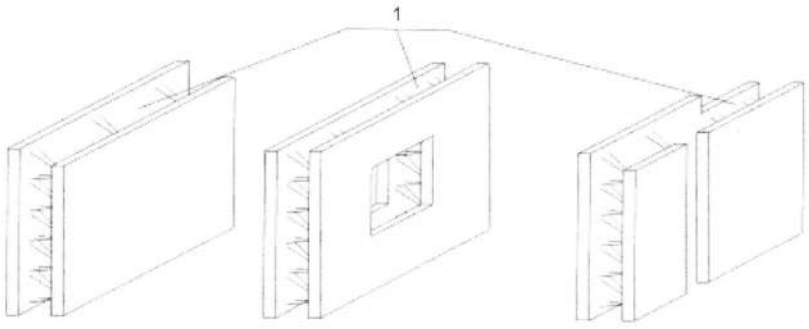
- *le mur à coffrage intégré suit un ordre de fabrication en usine précis en trois étapes : un premier voile est d'abord coulé horizontalement avec les treillis raidisseurs, étuvé puis retourné sur le béton frais d'un second voile. L'ensemble est ensuite étuvé en gardant le vide entre les deux voiles préfabriqués ;*
- *l'espace compris entre les voiles préfabriqués est rempli de béton sur site, une fois les panneaux mis en œuvre ;*
- *le présent document ne s'applique pas aux cas où un seul voile est préfabriqué et l'autre côté est limité par une paroi existante ou un autre coffrage pendant la construction (article 3.5 de NF EN 14992:2007).*

Domaine d'emploi

Les éléments visés dans le présent titre sont les suivants :

- éléments essentiellement sollicités par des charges dans leur plan tels que murs, poteaux, poutres, poutres-cloisons, acrotères, etc. ;
- éléments sollicités en flexion simple ou composée par des charges perpendiculaires à leur plan tels que murs de soutènement, murs de silos ou de magasins de stockage, murs soumis à une pression hydrostatique, etc.

Les murs à coffrage intégré doivent être conformes à la norme européenne NF EN 14992+A1 « Produits préfabriqués en béton – Éléments de murs » ou à la norme NF EN 15258 « Produits préfabriqués – Éléments de murs de soutènement » lorsqu'ils relèvent du domaine d'emploi de cette dernière.



Légende

1 Béton coulé en place

Figure 1 – Exemples de murs composites ou murs à coffrage intégré (source : NF EN 14992)

Symboles

Pour les besoins du présent titre, les symboles suivants s'appliquent.

Majuscules latines

$A_{s,eq}$	Section d'armatures équivalente par mètre linéaire
A_{s1}, A_{s2}	Sections d'armatures de frettage dans le cas de renforts de murs à coffrage intégré sous appui ponctuel de poutres
A_{s3}	Section d'armatures de montage
A_c	Section résistante de béton
A_{cout}	Section des armatures de couture aux abouts traversant l'interface paroi préfabriquée/béton coulé en place
A_j	Aire du joint par mètre
A_{lj}	Section des armatures de liaison au droit du joint
$A_{lj,min}$	Section minimale des armatures de liaison au droit du joint
$A_{raid,Di}$	Section de la diagonale du treillis raidisseur
$A_{raid,inf}$	Section des armatures inférieures du treillis raidisseur
$A_{raid,sup}$	Section des armatures supérieures du treillis raidisseur
$A_{s,eq}$	Section d'armatures équivalente par mètre linéaire
$A_{s,p1}$	Section d'armatures horizontales dans le premier voile préfabriqué
$A_{s,p2}$	Section d'armatures horizontales dans le second voile préfabriqué
$A_{sl,rqd}$	Section des armatures de liaison requise par le calcul
E30 ou E60, ...	Classe de résistance au feu pour le critère d'étanchéité pendant 30 ou 60 ... minutes d'exposition au feu normalisé
$E_{c,eff,n}$	Module d'élasticité effectif tangent du béton du noyau coulé en place
E_s	Valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de béton armé
D_{max}	Diamètre maximal du plus gros granulat
F	Force ponctuelle horizontale sur le mur
F_w	Résistance garantie de la soudure des sinusoïdes sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur
$F_{w,i}$	Résistance individuelle au cisaillement mesurée sur un point de soudure sur un treillis raidisseur
F_s	Effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique
H_{max}	Hauteur maximale de chute du béton
H_{raid}	Hauteur nominale du treillis raidisseur
I30 ou I60, ...	Classe de résistance au feu pour le critère d'isolation pendant 30 ou 60 ... minutes d'exposition au feu normalisé
I	Moment d'inertie d'une section
L	Longueur du panneau constitué de murs à coffrage intégré ; portée de la poutre-cloison
L_c	Charge de bétonnage par mètre de treillis raidisseur
N_{Ed}	Effort normal de calcul agissant à l'ELU
N_{Rd}	Effort normal résistant de calcul à l'ELU
R_{Ed}	Réaction d'appui pondérée à l'ELU
$R_{e,Di}$	Limite apparente d'élasticité de la diagonale du treillis raidisseur
R30 ou R60, ...	Classe de résistance au feu pour le critère de résistance mécanique pendant 30 ou 60 ... minutes d'exposition au feu normalisé
S	Moment statique d'une section
V	Effort tranchant
V_{Ed}	Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant à l'ELU
$V_{Ed,max}$	Valeur de calcul maximale de l'effort tranchant agissant à l'ELU
$V_{Ed,j}$	Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant à l'ELU au droit du joint
$V_{Rd,i}$	Effort tranchant résistant de calcul à l'interface paroi préfabriquée/noyau coulé en place
$V_{Rd,j}$	Effort tranchant résistant de calcul au droit du joint
V_c	Vitesse de bétonnage

Minuscules latines

$a_{e1,min}$	Distance minimale libre entre l'armature de liaison au droit du joint et la face intérieure du premier voile préfabriqué
$a_{e2,min}$	Distance minimale libre entre l'armature de liaison au droit du joint et la face intérieure du second voile préfabriqué
a_{h1}	Distance nominale libre entre l'armature de liaison horizontale disposée au droit du joint et la face intérieure du premier voile préfabriqué
a_{h2}	Distance nominale libre entre l'armature de liaison horizontale disposée au droit du joint et la face intérieure du second voile préfabriqué
a_{v1}	Distance nominale libre entre l'armature de liaison verticale disposée au droit du joint et la face intérieure du premier voile préfabriqué
a_{v2}	Distance nominale libre entre l'armature de liaison verticale disposée au droit du joint et la face intérieure du second voile préfabriqué
b	Épaisseur du mur à coffrage intégré
b_{app}	Largeur de calcul au niveau des appuis
b	Épaisseur nominale du mur à coffrage intégré
b_p	Épaisseur des voiles préfabriqués
b_{p1}	Épaisseur du premier voile préfabriqué
b_{p1}	Épaisseur nominale du premier voile préfabriqué
b_{p2}	Épaisseur du second voile préfabriqué
b_{p2}	Épaisseur nominale du second voile préfabriqué
$b_{p,min}$	Épaisseur minimale d'un voile préfabriqué, toutes tolérances épuisées
$b_{n,min}$	Épaisseur minimale du noyau coulé en place
b_n	Épaisseur nominale du noyau coulé en place
c	Coefficient de cohésion dépendant de la rugosité de l'interface
$c_{EC2\text{-}lisse}$	Coefficient dépendant de la rugosité de l'interface et prenant la valeur préconisée dans la NF EN 1992-1-1 pour les surfaces lisses
c_g	Recouvrement par du béton pour un bétonnage correct
$c_{1,min}$	Enrobage minimal de la membrure inférieure du treillis raidisseur côté face intérieure du premier voile préfabriqué
$c_{2,min}$	Enrobage minimal de la membrure supérieure du treillis raidisseur côté face intérieure du second voile préfabriqué
$c_{bét_1min}$	Enrobage minimal de la membrure inférieure du treillis raidisseur, côté face intérieure du premier voile préfabriqué, vis-à-vis de la résistance au bétonnage
$c_{bét_2min}$	Enrobage minimal de la membrure supérieure du treillis raidisseur, côté face intérieure du second voile préfabriqué, vis-à-vis de la résistance au bétonnage
c_{cout_1min}	Enrobage minimal de membrure inférieure du treillis raidisseur, côté face intérieure du premier voile préfabriqué, vis-à-vis des coutures de l'interface peau/noyau
c_{cout_2min}	Enrobage minimal de membrure supérieure du treillis raidisseur, côté face intérieure du second voile préfabriqué, vis-à-vis des coutures de l'interface peau/noyau
ch_1	Largeur des chanfreins du premier voile préfabriqué
ch_2	Largeur des chanfreins du second voile préfabriqué
d	Hauteur utile de la section
d_0	Distance entre l'armature du voile préfabriqué et l'armature de liaison au droit du joint en recouvrement
e	Espacement des treillis raidisseurs/largeur du joint dans le cas de murs coupe-feu
e_1	Enrobage nominal des armatures perpendiculaires au treillis raidisseur, du premier voile préfabriqué
e_0	Paramètre prenant la valeur 0 si les armatures sont accolées et la valeur 1,7Dmax si les armatures sont espacées
h	Hauteur de la poutre, hauteur du mur
f	Charge linéaire horizontale appliquée sur la partie supérieure du panneau
f_{bd}, $f_{bd,p}$, $f_{bd,n}$	Contrainte ultime d'adhérence du béton du voile préfabriqué, du béton du noyau coulé en place
$f_{cd,p}$, $f_{cd,n}$	Valeur de calcul de la résistance en compression du béton du voile préfabriqué, du béton du noyau coulé en place

$f_{ck,eq}$	Résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur totale du mur à coffrage intégré
$f_{ck,p}$, $f_{ck,n}$	Résistance caractéristique à la compression du béton du voile préfabriqué, du béton du noyau coulé en place
$f_{ctk,5\ \%,p}$, $f_{ctk,5\ \%,n}$	Résistance caractéristique à la traction d'ordre 5 % du béton du voile préfabriqué, du béton du noyau coulé en place
$f_{ctd,p}$, $f_{ctd,n}$	Résistance de calcul en traction du béton du voile préfabriqué, du béton du noyau coulé en place
$f_{ctm,p}$, $f_{ctm,n}$	Valeur moyenne de la résistance à la traction axiale du béton du voile préfabriqué, du béton du noyau coulé en place
f_{yk}	Limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé
f_{yd}	Limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé
g_1	Effort de glissement par unité de longueur relatif au premier voile préfabriqué
g_2	Effort de glissement par unité de longueur relatif au second voile préfabriqué
l	Largeur de bande
l_c	Charge de bétonnage
l_b	Longueur de scellement droit
l_{brq}	Longueur d'ancrage de référence
l_{bd}	Longueur d'ancrage de calcul
l_0	Longueur de recouvrement de calcul
$l_{0,préfa}$	Longueur de recouvrement de calcul des armatures dans le voile préfabriqué
$l_{0,noyau}$	Longueur de recouvrement de calcul des armatures de liaison dans le noyau
n	Effort normal relatif
n_b	Nombre de bielles de compression développées dans le mur sous l'action de la charge linéique q sur le mur
p_{Ed}	Charge appliquée par unité de longueur de la paroi à l'ELU
q	Charge linéique sur le mur
s_{cout}	Espacement des armatures de couture aux abouts
s_t	Pas de la sinusoïde du treillis raidisseur
s_j	Espacement des armatures de liaison au droit du joint
s_{p1}	Espacement des armatures dans le premier voile préfabriqué
s_{p2}	Espacement des armatures dans le second voile préfabriqué
v_{Rdi}	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à l'interface
$v_{Rd,max}$	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement maximale à l'interface
x	Distance de l'extrémité de l'armature de liaison à l'about du voile préfabriqué pour la vérification de la résistance sur le contour de liaison
z	Bras de levier pris égal à 0,9 d

Minuscules grecques

α, α'	Angle d'inclinaison des diagonales du treillis raidisseur par rapport au plan de reprise dans le sens longitudinal
β	Angle d'inclinaison des diagonales du treillis raidisseur dans le plan transversal
Δ_1	Tolérances résultantes sur l'épaisseur du premier voile préfabriqué
Δ_2	Tolérances résultantes sur l'épaisseur du second voile préfabriqué
Δe_{1+}	Tolérances en plus sur l'enrobage des armatures perpendiculaires au treillis raidisseur, du premier voile préfabriqué
Δe_{2+}	Tolérances en plus sur l'enrobage des armatures perpendiculaires au treillis raidisseur, du second voile préfabriqué
Δb_{p1+}	Tolérances en plus sur l'épaisseur du premier voile préfabriqué
Δb_{p2+}	Tolérances en plus sur l'épaisseur du second voile préfabriqué
Δb^-	Tolérance en moins sur l'épaisseur du mur à coffrage intégré
Δb_{p1}^-	Tolérances en moins sur l'épaisseur du premier voile préfabriqué
Δb_{p2}^-	Tolérances en moins sur l'épaisseur du second voile préfabriqué
Δ_{Hraid}^-	Tolérances en moins sur la hauteur du treillis raidisseur H_{raid}
Δ_b^+	Tolérances en plus sur l'épaisseur du mur b
ε_{c2}	Déformation relative limite du béton sous compression centrée
λ, λ_{lim}	Élancement, élancement limite
ϕ_{cout}	Diamètre des armatures de couture aux abouts, de section d'armatures A_{cout}
ϕ_l	Diamètre des armatures de liaison au droit du joint, de section d'armatures A_l
$\phi_{raid,Di}$	Diamètre des diagonales du treillis raidisseur de section d'armatures $A_{raid,Di}$
$\phi_{raid,inf}$	Diamètre des armatures inférieures du treillis raidisseur de section d'armatures $A_{raid,inf}$
$\phi_{raid,sup}$	Diamètre de l'armature supérieure du treillis raidisseur de section d'armatures $A_{raid,sup}$
ϕ_{p1}	Diamètre des armatures perpendiculaires aux treillis raidisseurs dans le premier voile préfabriqué
ϕ_{p2}	Diamètre des armatures perpendiculaires aux raidisseurs dans le second voile préfabriqué
ϕ_{max}	Diamètre maximal des armatures d'éclissage
γ_c	Coefficient partiel de sécurité sur le matériau béton
$\gamma_{c,pcred}$	Coefficient partiel de sécurité réduit sur le matériau béton préfabriqué
γ_s	Coefficient partiel de sécurité sur le matériau acier
α_{cc}	Coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont est appliquée la charge
ν	Coefficient de réduction de la résistance du béton
μ	Coefficient de frottement tenant compte de la rugosité à l'interface
$\mu_{EC2\text{-}lisse}$	Coefficient dépendant de la rugosité de l'interface et prenant la valeur préconisée dans la NF EN 1992-1-1 pour les surfaces lisses
ρ_α, $\rho_{\alpha'}$	Pourcentage des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α'
σ_n	Contrainte normale à l'interface engendrée par une force normale externe minimale à l'interface susceptible d'agir en même temps que l'effort de cisaillement
σ_s	Contrainte dans les aciers
σ_{Sd}	Contrainte de calcul dans les aciers
$\tau_{Ed,max}$	Valeur maximale de la contrainte de cisaillement de calcul agissant à l'ELU
$\tau_{Ed,lim}$	Valeur limite de calcul de la contrainte de cisaillement agissant à l'ELU

1. Conditions de conception

Sauf indication contraire, les dimensions utilisées dans le présent chapitre sont des dimensions nominales. Les dimensions nominales sont définies comme des dimensions minimales plus une marge de calcul pour tolérances d'exécution.

Pour la conception des produits, les valeurs de tolérances suivantes doivent être retenues par défaut (classe B au sens de la norme NF EN 14992).

Δ_{Hraid}^{+}	Tolérance en plus sur la hauteur du treillis raidisseur	+1 mm
Δ_{Hraid}^{-}	Tolérance en moins sur la hauteur du treillis raidisseur	-3 mm
Δb_{p1}^{+}	Tolérance en plus sur l'épaisseur b_{p1} du premier voile préfabriqué	8 mm
Δb_{p1}^{-}	Tolérance en moins sur l'épaisseur b_{p1} du premier voile préfabriqué	8 mm
Δb_{p2}^{+}	Tolérance en plus sur l'épaisseur b_{p2} du second voile préfabriqué	8 mm
Δb_{p2}^{-}	Tolérance en moins sur l'épaisseur b_{p2} du second voile préfabriqué	8 mm
Δb^{+}	Tolérance en plus sur l'épaisseur b du mur à coffrage intégré	8 mm
Δb^{-}	Tolérance en moins sur l'épaisseur b du mur à coffrage intégré	8 mm
Δe_1^{+}	Tolérance en plus sur l'enrobage e_1 dans le premier voile préfabriqué	5 mm
Δe_1^{-}	Tolérance en moins sur l'enrobage e_1 dans le premier voile préfabriqué	5 mm
Δe_2^{+}	Tolérance en plus sur l'enrobage e_2 dans le second voile préfabriqué	5 mm
Δe_2^{-}	Tolérance en moins sur l'enrobage e_2 dans le second voile préfabriqué	5 mm

Des valeurs différentes peuvent être prescrites dans l'Avis Technique sous réserve que le produit fasse l'objet d'une certification. Les tolérances sur les épaisseurs à prendre en compte correspondent aux tolérances moyennes par élément.

1.1 Stabilité

1.1.1 Prescriptions communes aux différents éléments

1.1.1.1 Règles de dimensionnement

Les murs à coffrage intégré sont dimensionnés selon les règles usuelles de la résistance des matériaux et du béton armé avec le cas échéant 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, DTU 14.1 et du Fascicule 74 du CCTG, lorsqu'il s'agit d'ouvrages de type réservoirs.

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 à coffrage intégré ;
- deux murs à coffrage intégré ;
- le mur à coffrage intégré et les ouvrages appartenant au même système statique (exemple : plancher, balcon, etc.).

Pour la détermination de la capacité résistante de la section courante du mur à coffrage intégré, la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton fck,eq prise en compte pour l'épaisseur totale du mur correspond à :

$$f_{ck,eq} = \min\left(f_{ck,p} - 3.10^{-4}E_{c,eff,n};f_{ck,n}\right)$$

Avec :

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

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

$E_{c,eff,n}$ = module d'élasticité effectif tangent du béton du noyau.

Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments incorporés dans le mur à coffrage intégré (poteau, poutre, poutre-cloison, etc.).

Au niveau des joints entre panneaux de mur à coffrage intégré, ou entre panneaux de mur à coffrage intégré et autre structure (par exemple radier, etc.), la résistance caractéristique prise en compte est égale à $f_{ck,n}$.

Au droit des joints entre éléments de murs à coffrage intégré ou entre éléments de mur à coffrage intégré et parties coulées en place, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du mur, réduite de la largeur des chanfreins éventuels, si :

- le joint présente une largeur 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 (cf. *Figure A-1*).

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

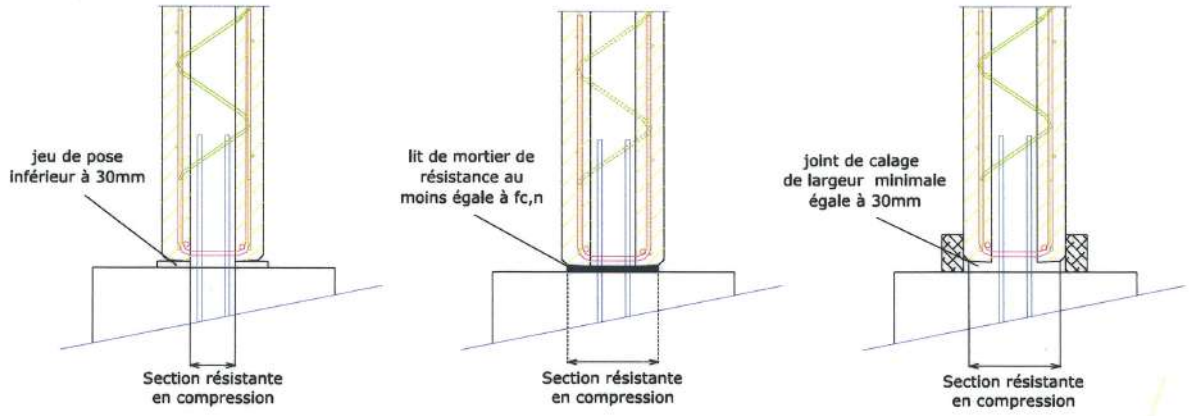


Figure A-1 – Exemples de section résistante en compression

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 de mur à coffrage intégré sont décrites dans les paragraphes correspondants.

1.1.1.2 Valeurs caractéristiques des matériaux

Le béton réalisé en usine est conforme à la norme NF EN 13369. Sa résistance caractéristique minimale en compression à 28 jours est de 25 MPa.

Le béton de remplissage du noyau est conforme aux spécifications du projet à réaliser et au minimum à celles de la norme NF EN 206-1. La résistance caractéristique $f_{ck,n}$ en compression à 28 jours est au moins de 20 MPa (classe de résistance minimale de C20/25) :

- 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 10 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.

Nota : dans le cas d'une utilisation de microbéton, une attention particulière doit être portée à la fissuration due au retrait, et cela plus particulièrement au niveau des joints verticaux.

La classe de consistance est S4 ou S5, soit un affaissement au cône d'Abrams au moins égal à 160 mm) selon la norme NF EN 206-1.

Les aciers pour armatures doivent répondre aux exigences suivantes :

- les aciers en barres filantes ou façonnées intégrées aux murs à coffrage intégré doivent être conformes à la norme NF A 35-080-1 ;
- les panneaux de treillis soudés intégrés aux murs à coffrage intégré ou utilisés en acier de liaison doivent être conformes à la norme NF A 35-080-2 ;
- les aciers pour organes de levage doivent être conformes à la norme NF A 35-015 ;
- les treillis raidisseurs métalliques ou les cages d'armatures assurent la liaison entre les deux voiles préfabriqués. Ils sont espacés au plus de 60 cm. Les treillis raidisseurs sont de section triangulaire avec un treillis sinusoïdal et les cages d'armatures sont de section rectangulaire avec des armatures de contreventement. Les cages d'armatures doivent faire l'objet d'un contrôle interne. Les treillis raidisseurs doivent faire l'objet d'une certification par un organisme extérieur. Les critères de certification sont les suivants :
  - hauteur déclarée avec une tolérance de +1/-3 mm sur cette dimension, conformément à la norme NF A 35-028,
  - résistance des assemblages soudés, conformément à l'article 7.3.3 de la norme NF A 35-028 : les valeurs des résistances au cisaillement à vérifier doivent être conformes à la norme NF A 35-028 ou aux Avis Techniques mentionnés dans le certificat du treillis raidisseur. La vérification sera faite statistiquement, avec un fractile de 5 % et un niveau de confiance de 90 %. De plus, la valeur minimale de chaque force de cisaillement mesurée $F_{wd,i}$ des points de soudure dans un treillis raidisseur, ne doit pas être inférieure à 0,9 fois la valeur déclarée,
  - la valeur prise en compte dans les calculs aux *paragraphes 1.1.1.10* et *1.1.2.3* est égale à la plus petite des deux valeurs certifiées : soit la résistance de la soudure au niveau de la membrure supérieure, soit la résistance de la soudure au niveau de la membrure inférieure. Le diamètre minimal des diagonales et des armatures de base est de 5 mm et celui de l'armature supérieure est de 7 mm.

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

- vitesse de bétonnage du noyau ;
- sollicitations de cisaillement à l'interface ;
- épaisseur du mur à coffrage intégré ;
- enrobages des armatures ;
- diamètre des armatures.

1.1.1.3 Armatures minimales

Les conditions minimales présentées dans cette section sont valables quelle 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.

Chaque voile préfabriqué comprend au minimum 1,2 cm²/ ml d'armatures dans les deux directions, avec un espacement maximal des armatures inférieur ou égal à 33 cm. Dans la direction parallèle aux treillis raidisseurs, la section d'armatures des treillis raidisseurs est prise en compte dans cette section minimale.

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

1.1.1.4 Épaisseurs minimales

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

L'épaisseur minimale des voiles préfabriqués résulte des exigences d'enrobage et des tolérances d'exécution sur cette dimension et sur le positionnement des armatures. Les expressions des tolérances résultantes Δ1 et Δ2 sur l'épaisseur du premier et celle du second voile préfabriqué sont données au *paragraphe 1.1.1.6.*

Sauf certification du mur à coffrage intégré, la valeur minimale $b_{p1,min}$ (ou $b_{p2,min}$) de l'épaisseur d'un voile préfabriqué, toutes tolérances épuisées, est au moins de 65 mm.

L'épaisseur minimale du noyau coulé en place $b_{n,min}$ est fixée à 60 mm. Cette épaisseur minimale correspond à une épaisseur nominale b_n de 75 mm avec les valeurs par défaut des tolérances définies au *paragraphe 1.1.1.6* et l'expression de $b_{n,min}$ du *paragraphe 1.1.1.12.*

1.1.1.5 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.

1.1.1.6 Enrobage des treillis raidisseurs, côté face intérieure

L'enrobage des treillis raidisseurs doit permettre de respecter les exigences vis-à-vis de la résistance au bétonnage et celles vis-à-vis des coutures entre le voile préfabriqué et le béton coulé en place.

On définit ainsi l'enrobage minimal $c_{1,min}$ des armatures longitudinales inférieures du treillis raidisseur, côté face intérieure du premier voile préfabriqué et l'enrobage minimal $c_{2,min}$ des armatures longitudinales supérieures du treillis raidisseur, côté face intérieure du second voile préfabriqué :

$$c_{1min}=Max\left(c_{bét_1min};c_{cout_1min}\right) \text{ et } c_{2min}=Max\left(c_{bét_2min};c_{cout_2min}\right)$$

Avec :

$c_{bét_1min}$ = enrobage minimal des armatures longitudinales inférieures d'un treillis raidisseur, côté face intérieure du premier voile préfabriqué, vis-à-vis de la résistance au bétonnage ;

c_{cout_1min} = enrobage minimal des armatures longitudinales inférieures d'un treillis raidisseur, côté face intérieure du premier voile préfabriqué, vis-à-vis des coutures de l'interface voile préfabriqué/ noyau coulé en place ;

$c_{bét_2min}$ = enrobage minimal des armatures longitudinales supérieures d'un treillis raidisseur, côté face intérieure du second voile préfabriqué, vis-à-vis de la résistance au bétonnage ;

c_{cout_2min} = enrobage minimal des armatures longitudinales supérieures d'un treillis raidisseur, côté face intérieure du second voile préfabriqué, vis-à-vis des coutures de l'interface voile préfabriqué/ noyau coulé en place.

Vis-à-vis de la résistance au bétonnage, le *paragraphe 1.1.1.13* donne des références pour déterminer les vitesses de bétonnage à adopter en fonction de l'espacement entre treillis raidisseurs pour un enrobage minimal $c_{bét_1min}$ (= $c_{bét_2min}$) de 15 ou 17 mm.

Pour les murs à coffrage intégré non certifiés, les valeurs minimales des enrobages vis-à-vis du bétonnage sont égales à $c_{bét_1min}$ (= $c_{bét_2min}$) de 20 mm.

Vis-à-vis des coutures de l'interface voile préfabriqué/ noyau, les valeurs minimales des enrobages des armatures longitudinales d'un treillis raidisseur sont égales à :

- c_{cout_1min} = 10 mm pour l'armature soudée à une nappe de treillis ;
- c_{cout_2min} = 15 mm lorsque l'armature est soudée à deux nappes de treillis.

Dans le cas où la résistance caractéristique $f_{ck,p}$ du voile préfabriqué est supérieure à 25 MPa, la valeur de 15 mm peut être réduite. L'enrobage minimal c_{cout_2min} sera dans ce cas égal à :

$$c_{cout_2min}=\max\left(15mm\times\sqrt{\frac{1,8}{f_{ctk,5\%p}}};10mm\right)$$

avec f_{ctk}, 5 %,p = résistance caractéristique à la traction du béton préfabriqué.

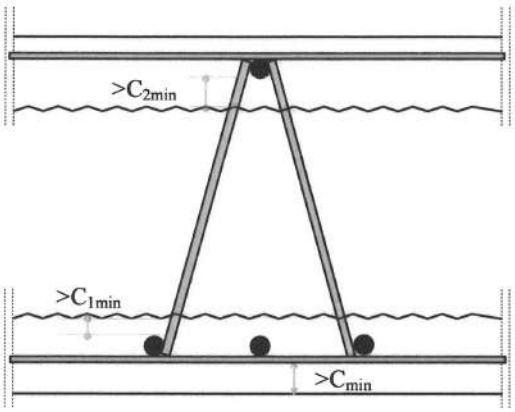


Figure A-2 – Définition des enrobages

Les épaisseurs des voiles préfabriqués doivent vérifier les inégalités suivantes :

$$b_{p1} \geq c_{1,min} + e_1 + \phi_{tp1} + \phi_{raid,inf} + \Delta_1$$

$$\Delta_1 = \sqrt{\left(\Delta e_1^{+}\right)^2 + \left(\Delta b_{p1}^{-}\right)^2}$$

$$b_{p2} \geq c_{2,min} + (b_{nom} - e_1 - \phi_{t1} - H_{raid}) + \phi_{raid,sup} + \Delta_2$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\left(\Delta e_1^{-}\right)^2 + \left(\Delta b_{p2}^{-}\right)^2 + \left(\Delta b^{+}\right)^2 + \left(\Delta H_{raid}^{-}\right)^2}$$

Avec :

b_{p1} l'épaisseur nominale du premier voile préfabriqué ;

b_{p2} l'épaisseur nominale du second voile préfabriqué ;

b l'épaisseur nominale du mur à coffrage intégré ;

e_1 l'enrobage nominal des armatures perpendiculaires au treillis raidisseur, du premier voile préfabriqué ;

$c_{1,min}$ l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure du premier voile préfabriqué ;

$c_{2,min}$ l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure du second voile préfabriqué ;

H_{raid} la hauteur nominale du raidisseur ;

ϕ_{p1} le diamètre des armatures perpendiculaires aux treillis raidisseurs dans le premier voile préfabriqué, de section d'armatures Ap1 ;

ϕ_{p2} le diamètre des armatures perpendiculaires aux treillis raidisseurs dans le second voile préfabriqué, de section d'armatures Ap2 ;

$\phi_{raid,inf}$ le diamètre des armatures inférieures du treillis raidisseur, de section d'armatures $A_{raid,inf}$;

$\phi_{raid,sup}$ le diamètre des armatures supérieures du treillis raidisseur, de section d'armatures $A_{raid,sup}$.

***Nota** : dans le cas où la tenue du mur au coulage du béton est assurée par des cages d'armatures, la vérification des tolérances ci-dessus s'applique en remplaçant la tolérance Δ_{Hraid} par la tolérance sur la hauteur de la cage d'armatures.*

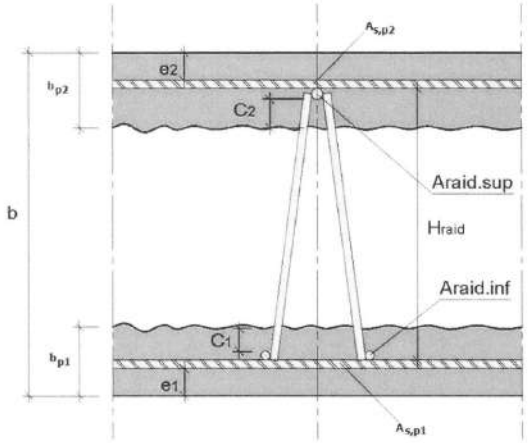


Figure A-3 – Définition des chaînes de cotes

1.1.1.7 Calepinage

Les joints de calepinage horizontaux et verticaux sont 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 en proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées, etc.), sauf dispositions particulières. Les joints verticaux sont sans incidence ;
- pour les murs dont la flexion se fait dans un plan horizontal, les joints verticaux sont disposés en proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets, etc.), sauf dispositions particulières. Les joints horizontaux sont sans incidence.

1.1.1.8 Principe de vérification des liaisons au droit des joints

Une application numérique sur la vérification des liaisons au droit des joints est présentée dans l'*Annexe II.*

a) *Généralités*

Ce document concerne la vérification des liaisons au droit des joints entre murs à coffrage intégré.

Δb_{p1}^{+}	Tolérance en plus sur l'épaisseur b_{p1} du premier voile préfabriqué
Δb_{p1}^{-}	Tolérance en moins sur l'épaisseur b_{p1} du premier voile préfabriqué
Δb_{p2}^{+}	Tolérance en plus sur l'épaisseur b_{p2} du second voile préfabriqué
Δb_{p2}^{-}	Tolérance en moins sur l'épaisseur b_{p2} du second voile préfabriqué
Δb^{+}	Tolérance en plus sur l'épaisseur b du mur à coffrage intégré
Δb^{-}	Tolérance en moins sur l'épaisseur b du mur à coffrage intégré
Δe_1^{+}	Tolérance en plus sur l'enrobage e_1 dans le premier voile préfabriqué
Δe_1^{-}	Tolérance en moins sur l'enrobage e_1 dans le premier voile préfabriqué
Δe_2^{+}	Tolérance en plus sur l'enrobage e_2 dans le second voile préfabriqué
Δe_2^{-}	Tolérance en moins sur l'enrobage e_2 dans le second voile préfabriqué

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

- vérification de la résistance au cisaillement de la section transversale réduite au droit du joint ;
- vérification du monolithisme du mur :
  - vérification du recouvrement des armatures de liaison avec celles intégrées dans les voiles préfabriqués,
  - vérification de la résistance au cisaillement sur le contour de liaison à l'interface entre le noyau et le voile préfabriqué.

En situation sismique, il convient de prévoir par défaut (sans calcul spécifique des liaisons) les dispositions constructives que sont les liaisons couturées au droit des joints définies au *paragraphe*) du présent chapitre et celles du *paragraphe 1.1.1.14*. Lors d'un dimensionnement par calcul, d'autres dispositions peuvent être envisagées et sont définies dans ces mêmes paragraphes.

Dans les autres cas, seules les vérifications relatives au monolithisme du mur doivent être réalisées.

Nota : les armatures mises en œuvre dans les voiles préfabriqués et au niveau des liaisons correspondent alors aux armatures minimales définies au paragraphe 1.1.1.3.

b) Vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint

La vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint doit être menée de la façon suivante :

Les exigences de l'article 6.2.2 et de l'article 6.2.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale doivent être vérifiées. Dans le cas où l'article 6.2.3 doit être appliqué, les exigences de l'article 9.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale doivent être vérifiées.

L'effort tranchant résistant de calcul $V_{Rd,c}$ au droit du joint calculé selon l'article 6.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale est comparé à l'effort tranchant sollicitant de calcul V_{Ed} au droit du joint (cf. *Annexe I*). Dans le cas de voiles, la valeur à utiliser pour v_{min} est donnée dans l'Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA et est égale à $0{,}35 * f_{ck,n}^{0,5} / Y_c$. Une vérification du glissement dans la section peut être également réalisée selon l'article 6.2.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

Lorsque la dernière condition de résistance au cisaillement n'est pas vérifiée, il convient de disposer des armatures de liaison en assimilant la section réduite au droit du joint à une reprise de bétonnage verticale. L'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale s'appliquent. La vérification au cisaillement est alors menée en considérant l'hypothèse suivante : les valeurs des deux coefficients c et γ dépendant de la rugosité de l'interface sont égales respectivement à 0,5 et à 0,9.

La valeur de calcul de la contrainte de cisaillement au droit du joint est donnée par l'expression suivante :

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

Avec :

$f_{cd,n}$ la valeur de calcul de la résistance en compression du béton du noyau coulé en place, définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et à son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ;

$f_{ctd,n}$ la valeur de calcul de la résistance en traction du béton du noyau coulé en place, définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1991-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1991-1-1/NA ;

f_{yd} la limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé égale à f_{yk}/Y_s ;

f_{yk} la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé ;

Y_s le coefficient partiel de sécurité de l'acier ;

V le coefficient de réduction de la résistance du béton. Il est donné par l'expression suivante :

$$\upsilon = 0{,}6\left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right)$$

σ_n la contrainte engendrée par la force normale externe minimale à l'interface susceptible d'agir en même temps que l'effort de cisaillement ;

ρ le ratio A_{ij}/A_j (A_{ij} étant la section d'armatures de liaison traversant l'interface et Aj l'aire du joint).

α l'angle d'inclinaison des armatures de liaison au droit du joint.

c) Vérification du recouvrement des armatures

Le recouvrement des armatures entre celles du voile préfabriqué du mur à coffrage intégré et celles du noyau coulé en place doit être conforme à l'article 8.7 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale française.

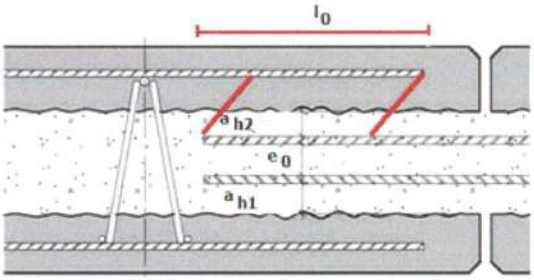


Figure A-4 – Schéma de recouvrement des armatures au niveau du joint

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

Les *Figures A-5* et *A-6* illustrent le principe de la couture avec ou sans liaison aux abouts.

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

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

Avec :

c le coefficient de cohésion et μ, le coefficient de frottement.

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 0,2 et μ égal à 0,6.

Nota : 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 1* en fonction de la sollicitation de calcul vis-à-vis des états limites ultimes (ELU) : combinaisons d'actions en situations durables ou transitoires (fondamentales) au sens de l'article 6.4.3.2 et de l'annexe A1 de la norme NF EN 1990 et combinaisons d'actions accidentelles au sens de l'article 6.4.3.3 et de l'annexe A1 de la norme NF EN 1990.

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.

Tableau 1 – Valeurs des coefficients c et μ

Combinaisons à ELU	Situations durables ou transitoires	Situations accidentelles
c	0,2	0,1
μ	0,6	0,6

σ_n la contrainte normale à l'interface résultant d'un effort de compression ;

$f_{ctd,n}$ la résistance de calcul en traction du béton du noyau coulé en place ;

f_{yd} la limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé ;

ρ le pourcentage d'armatures Acout traversant l'interface voile préfabriqué/noyau coulé en place sur la distance x ;

x la distance de l'extrémité de l'armature à l'about du voile préfabriqué (*Figures A-5 et A-6*).

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

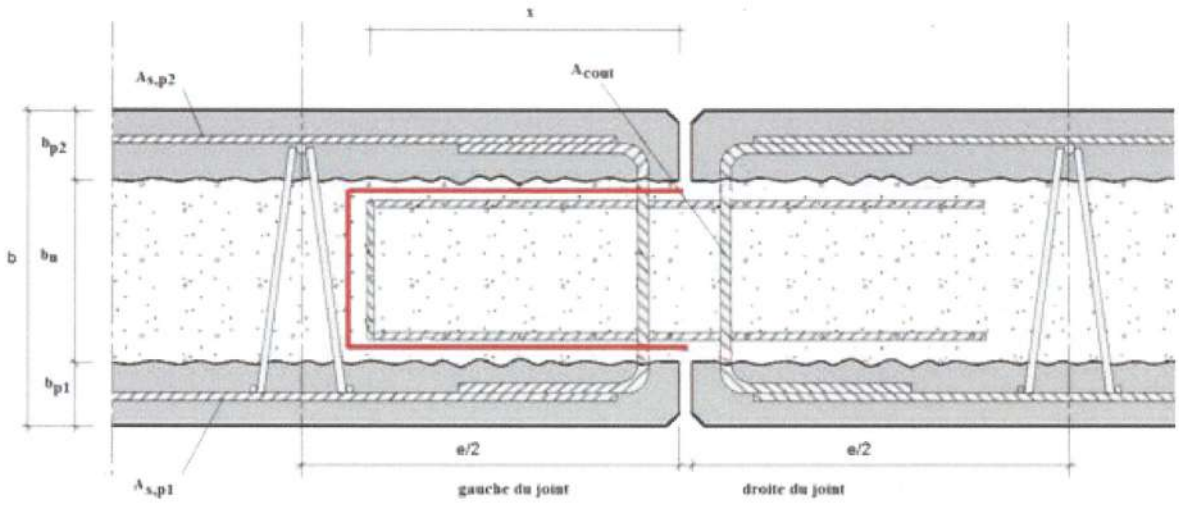


Figure A-5 – Liaison avec couture des abouts

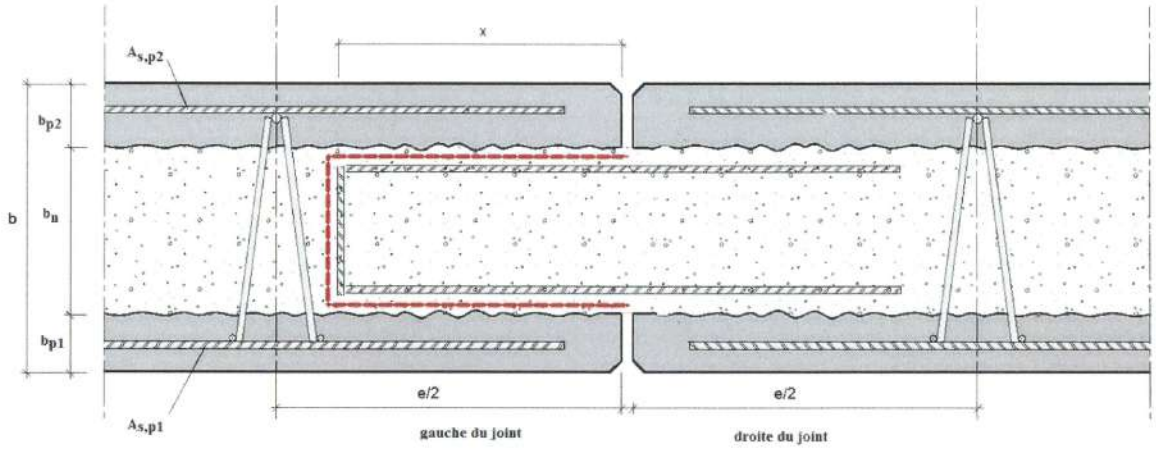


Figure A-6 – Liaison sans couture aux abouts

Nota : la liaison sans couture aux abouts est incompatible avec une utilisation en poutre-cloison (Figure A-6).

1.1.1.9 Chevillage

Il appartient au Maître d'œuvre ou au bureau d'études techniques de vérifier que l'ouvrage support, c'est-à-dire le mur à coffrage intégré, 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. Les systèmes permettant d'en tenir compte peuvent être définis dans chaque Avis.

1.1.1.10 Principes constructifs

- **Liaisons entre éléments**

Des schémas de liaisons types entre éléments sont présentés en *Annexe IX*. 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 ;
- encastré.

- **Utilisation des treillis raidisseurs dans les renforcements**

Les renforcements des bords libres verticaux pourront être réalisés dans les murs à coffrage intégré à l'aide de treillis raidisseurs.

Les barres de chaînages périphériques sont intégrées dans les voiles préfabriqués des murs à coffrage intégré. Les U de fermeture constructifs sont remplacés par des treillis raidisseurs.

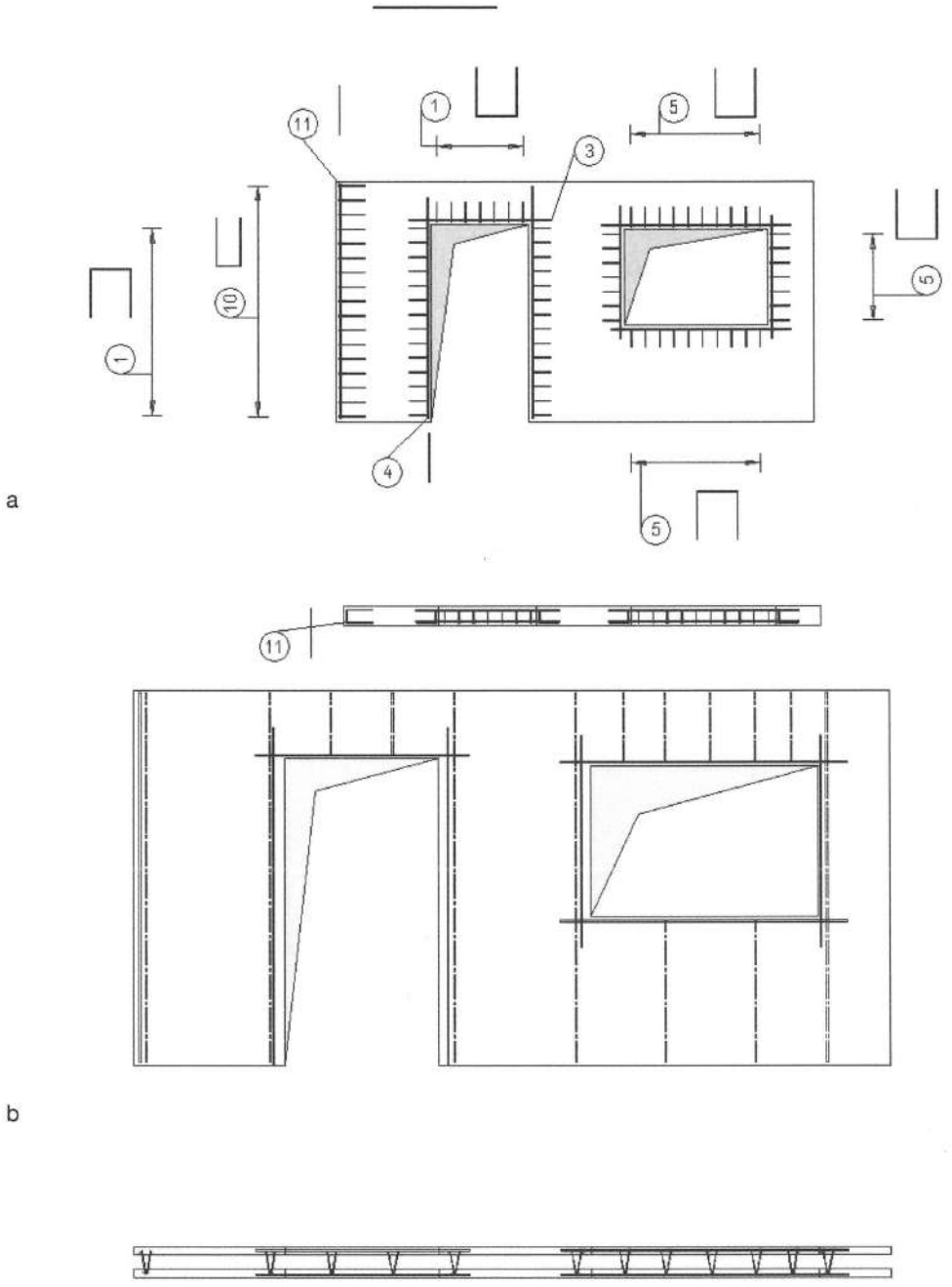


Figure A-7 – Schémas de principe de dispositions équivalentes de renforcement des bords libres verticaux : (a) solution traditionnelle, (b) solution mur à coffrage intégré

Les ferraillages constructifs constitués de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisés dans les murs à coffrage intégré à l'aide de treillis raidisseurs.

Les filants sont soit intégrés en renforts dans les voiles préfabriqués des murs à coffrage intégré, 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.

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.

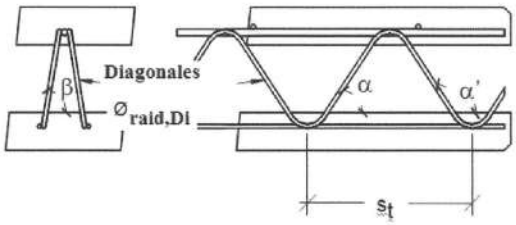


Figure A-8 – Géométrie du raidisseur

$$A_{s,eq} = 4.Fs.\frac{\sin\alpha.\sin\beta}{s_t} / f_{yk}$$

Avec :

F_s : effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique calculé de la manière suivante :

$$F_S = Min(A_{raid,Di}.R_{e,Di} ; F_w)$$

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 sinusoïdes sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur ;

β : angle d'inclinaison des diagonales dans le plan transversal.

- **Façonnage des armatures**

Aciers structuraux

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

***Nota** : dans le cas d'une poutre-cloison, seule la configuration (a) de la* Figure A-9 *peut être retenue.*

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 cg de ces armatures est compté à partir de la face intérieure des voiles préfabriqués.

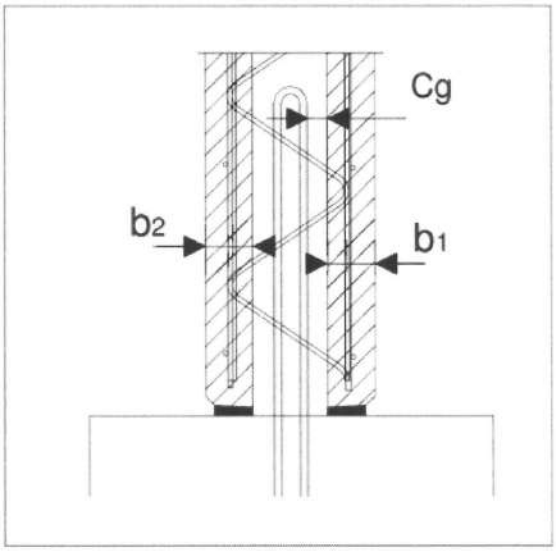


Figure A-10 – Position des armatures en attente dans un mur à coffrage intégré

1.1.1.11 Recouvrement d'armatures

Les règles de recouvrements des armatures du noyau avec celles intégrées dans les voiles préfabriqués des murs à coffrage intégré, doivent être conformes à l'article 8.7 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

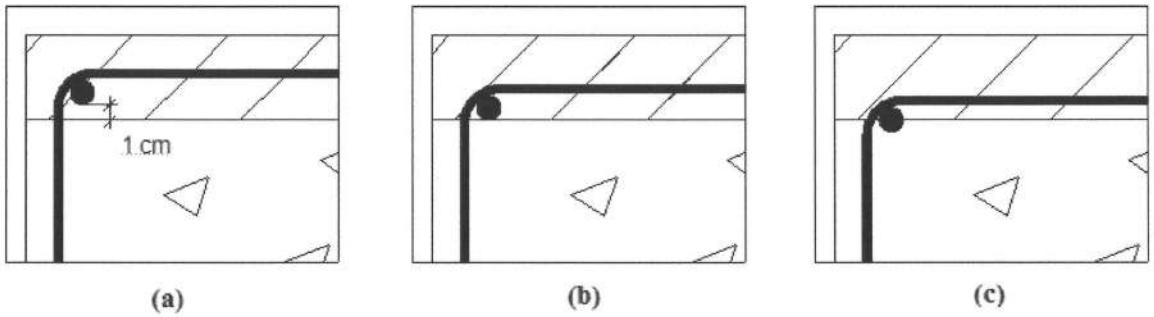


Figure A-9 – Enrobage et ancrage des aciers structuraux

1.1.1.12 Éclissage des armatures

Ces armatures sont soit intégrées dans les murs à coffrage intégré, 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 (*Figure A-11*) :

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

- pour les armatures verticales, le diamètre maximal des armatures est égal à (*Figure A-12*) :

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

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 1,7 D_{max} si les armatures sont espacées.

Les distances nominales libres entre l'armature de liaison horizontale disposée au droit du joint et la face intérieure du premier ou second voile préfabriqué sont notées a_{h1} et a_{h2}.

Les distances nominales libres entre l'armature de liaison verticale disposée au droit du joint et la face intérieure du premier ou second voile préfabriqué sont notées a_{v1} et a_{v2}.

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

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

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

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

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

Avec :

$a_{e1,min}$ la distance minimale libre entre l'armature de liaison au droit du joint et la face intérieure du premier voile préfabriqué ;

$a_{e2,min}$ la distance minimale libre entre l'armature de liaison au droit du joint et la face intérieure du second voile préfabriqué.

Ces distances sont définies aux *paragraphes A.5.1* et *A.5.2*, et prenant les valeurs 15 mm ou 30 mm selon la classe d'exposition de l'ouvrage, les conditions de liaison, etc., (cf. *Annexe VI*).

Nota : 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 à coffrage intégré Δb^- suivant l'expression suivante :

$$b_{n,min} = b_n - \sqrt{(\Delta b^-)^2 + (\Delta b_{p1}^+)^2 + (\Delta b_{p2}^+)^2}$$

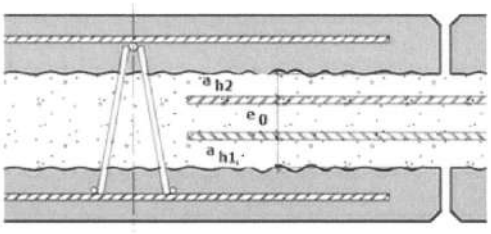


Figure A-11 – Exemple de l'éclissage des armatures horizontales

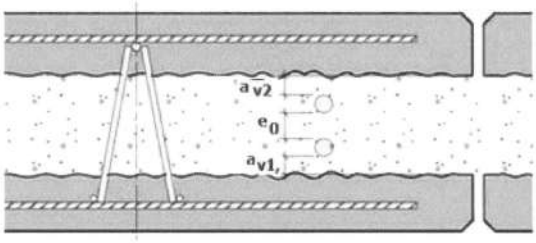


Figure A-12 – Exemple de l'éclissage des armatures verticales

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.

1.1.1.13 Critères de bétonnage

- Hauteur de chute du béton

La hauteur maximale H_{max} de chute du béton n'excèdera pas 3 m quelle 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 (*Figure A-13*). 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 à coffrage intégré par l'examen des joints verticaux entre panneaux, par le contrôle du volume du béton déversé ainsi que par une observation directe par les ouvertures éventuelles dans les panneaux.

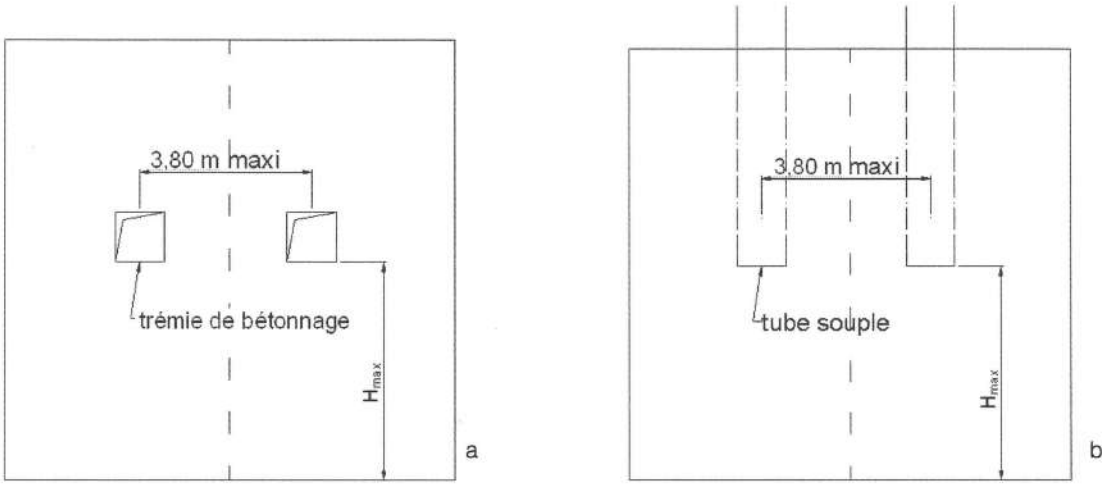


Figure A-13 – Hauteur de bétonnage équivalente à (a) hauteur sous trémie et (b) hauteur sous tube souple

- Vitesse de bétonnage

En l'absence de prescription particulière, la vitesse de bétonnage est de 50 cm/h dans les conditions de température prévues à l'annexe B informative de la norme NF EN 14992.

Au-delà de cette vitesse, la vitesse doit être précisée sur le plan de pose et définie en prenant comme référence l'annexe B informative de la norme NF EN 14992 (cf. *Figure A-14* avec L_c la charge de bétonnage recommandée égale à 15,6 kN/m pour un enrobage minimal de 15 mm et 18,4 kN/m pour un enrobage minimal de 17 mm).

La charge de bétonnage est la capacité résistante à la poussée du béton admissible par le mur à coffrage intégré.

La validité des courbes présentées à la *Figure A-14* est conditionnée à la garantie d'une résistance caractéristique en compression minimale de 20 MPa au moment du bétonnage pour le béton des voiles préfabriqués.

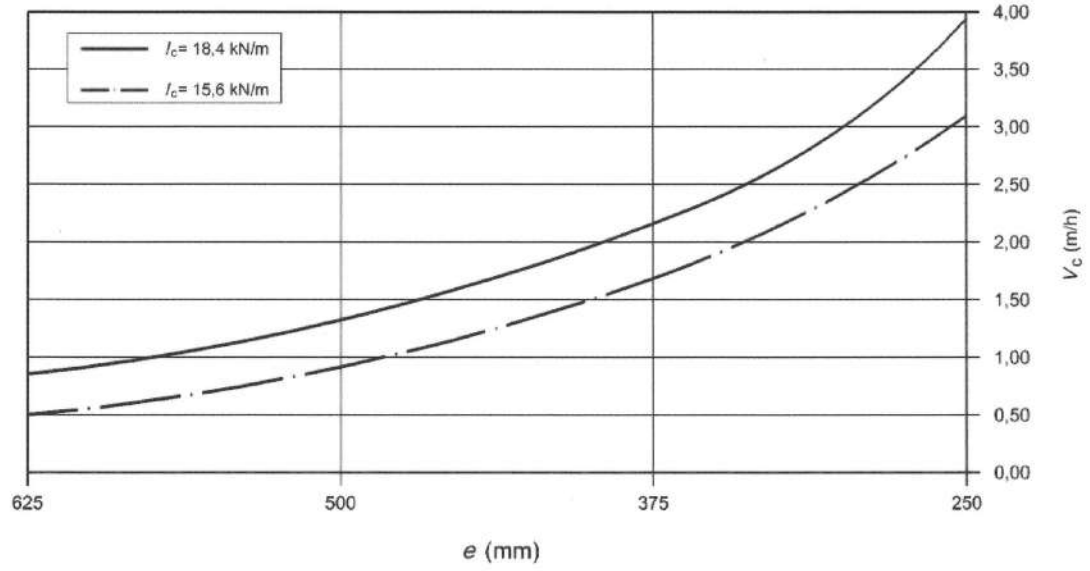


Figure A-14 – Vitesse de bétonnage en fonction de l'entraxe des treillis raidisseurs (Figure B-3 de l'annexe B de la norme NF EN 14992)

Nota : 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. À 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.

1.1.1.14 Dispositions parasismiques

- Principe général

L'étude des murs à coffrage intégré sous les actions sismiques relève de la norme NF EN 1998-1 et de son Annexe nationale. Conformément à l'article 1-II du décret 2010-1254 du 22/10/2010, les bâtiments sont répartis en quatre catégories d'importance (I, II, III et IV). L'arrêté du 22/10/2010 définit ces catégories (article 2.I) et les coefficients d'importance s'y rapportant (article 2.III). De plus, la zone sismique du bâtiment doit être prise en compte conformément aux décrets 2010-1254 et 2010-1255 du 22/10/2010. De plus, la zone sismique du bâtiment doit être prise en compte conformément aux décrets 2010-1254 et 2010-1255 du 22/10/2010.

Les exigences varient en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance du bâtiment (*Tableau 2*).

Tableau 2 – Exigences en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance du bâtiment

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">Catégorie d'importance</th><th>Zone de sismicité</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th></tr>
<tr><td colspan="2">I</td><td rowspan="5" colspan="2">Aucune obligation</td><td colspan="3" rowspan="2">Règles simplifiées PS-MI
(si conformité au domaine d'application)</td></tr>
<tr><td>II</td><td>Maison individuelle</td></tr>
<tr><td>II</td><td>Autre bâtiment</td><td colspan="3" rowspan="3">Eurocode 8</td></tr>
<tr><td colspan="2">III</td><td>(*)</td></tr>
<tr><td colspan="2">IV</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

(*) : *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.

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un panneau de mur à coffrage intégré et le respect des critères de ductilités sont réalisés sur l'hypothèse d'une section homogène équivalente au mur banché substitué.

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

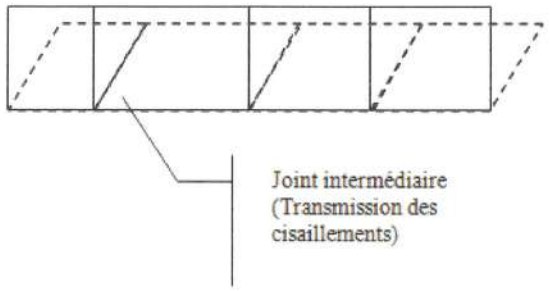


Figure A-15 – Schéma d'un comportement monolithique des panneaux

Les tirants et chaînages adéquats issus du calcul peuvent être intégrés dans les murs à coffrage intégré.

- **Principe des vérifications des murs à coffrage intégré sous sollicitations sismiques**

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

De plus, en référence à l'article 5.11.1.4 de l'EN 1998-1, qui concerne l'utilisation d'éléments préfabriqués pour la résistance au séisme, il convient de prendre le coefficient kp égal à 1.

- **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-cloisons (cf. *paragraphe 1.1.2.4*).

À défaut de justifications par le calcul, les murs à coffrage intégré 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 à coffrage intégré en zone courante**

À 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 (*Figure A-16*), dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des treillis raidisseurs de rive. La section des armatures de liaison est celle déterminée pour le mur banché substitué, majorée du rapport épaisseur totale/épaisseur totale diminuée d'une épaisseur de voile préfabriqué, soit (b/(b-bp)). 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.

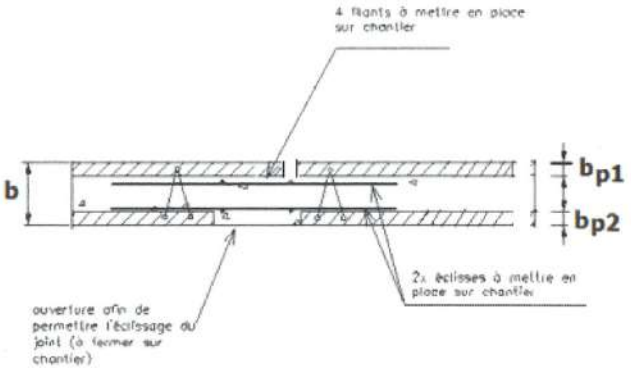


Figure A-16 – Liaison verticale en zone sismique sans justification par le calcul

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 a pour objet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié, permettant de reproduire le monolithisme du mur.

- **Liaisons entre murs à coffrage intégré au droit d'une dalle**

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

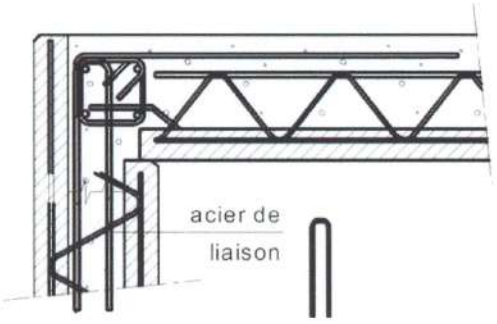


Figure A-17 – Exemple de chaînage horizontal

Dans le cas d'utilisation de prédalles suspendues en situation sismique, les exigences sont celles définies par les Règles Professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes (novembre 2009).

- **Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs murs à coffrage intégré**

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

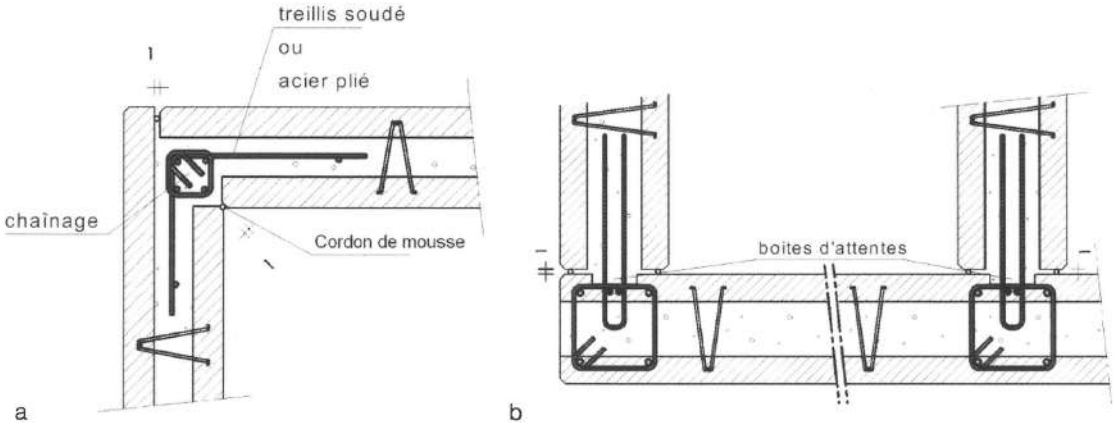


Figure A-18 – Chaînage vertical (a) dans le noyau coulé en place, (b) mis en œuvre par le biais des armatures de couture

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 pour la DCL et article 5.4.1.1(3) pour la DCM) 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 ferraillage 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 à coffrage intégré 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.

1.1.2 Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités dans leur plan

1.1.2.1 Prescriptions particulières aux murs courants

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

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

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

Dans les cas où le joint présente une largeur minimale de 3 cm ou dans le cas où le joint est réalisé sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur caractéristique en compression du noyau coulé en place $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur b totale du mur (cf. *Figure A-1*).

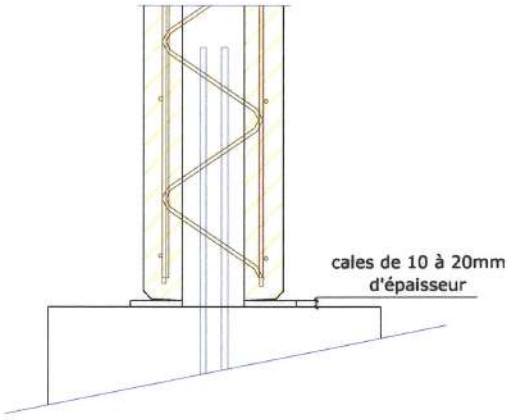


Figure A-19 – Liaison en pied des murs courants

1.1.2.2 Prescriptions particulières aux poteaux

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

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

Dans le cas où le poteau est soumis à des efforts horizontaux, le monolithisme de la section doit être vérifié, (cf. *paragraphe 1.1.4.1*).

- **Type de ferraillage 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 992-1-1 et son Annexe nationale peuvent être appliquées : méthode basée sur la rigidité nominale (article 5.8.7) et méthode basée sur la courbure nominale (article 5.8.8). Les calculs sont réalisés sur la base de la section courante.

- **Sollicitation en compression centrée**

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

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

Avec :

N_{Rd} l'effort normal résistant de calcul du poteau ;

A_c la section résistance 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 égale à f_{yd}.

- **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 :

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

Avec :

N_{Rd} l'effort normal résistant de calcul du poteau ;

$f_{ck,eq}$ la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur totale du mur telle que définie au *paragraphe 1.1.1.1* ;

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 $f_{c\,n}$ prise en compte dans les calculs.

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

γ_c le coefficient partiel de sécurité relatif au béton tel que défini à l'article 2.4.2.4 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

α_{cc} un coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée (cf. article 3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale).

Le ferraillage 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.

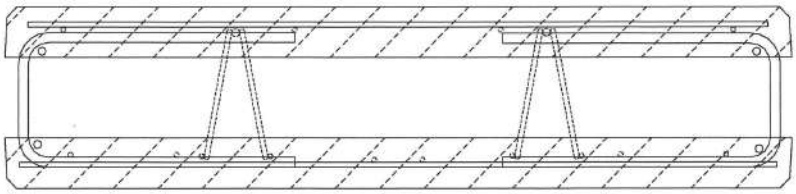


Figure A-20 – Section de poteau résistant par le béton seul

- **Cas particuliers des poteaux nécessitant des armatures structurelles**

Ces poteaux pourront être réalisés en murs à coffrage intégré mais les dispositions de ferraillage seront les dispositions traditionnelles de réalisation d'un poteau, comme indiquées sur la Figure A-21 : 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.

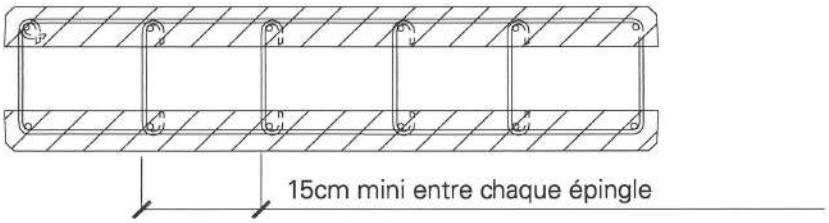


Figure A-21 – Section de poteau nécessitant des armatures structurelles

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

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

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 la pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur fc n prise en compte dans les calculs.

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

σ_s la valeur de contrainte de calcul dans les aciers égal à f_{yd}.

Par ailleurs, les sections d'armatures doivent respecter les conditions d'éclissage définies au *paragraphe 1.1.1.12.*

1.1.2.3 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 doit être vérifié et complété par les justifications suivantes.

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

- **Intégrité de la section**

Cette vérification consiste à s'assurer du monolithisme de l'ensemble de la section par la détermination des contraintes de cisaillement qui s'exercent à l'interface voile préfabriqué/noyau coulé en place et par la mise en place d'aciers de couture.

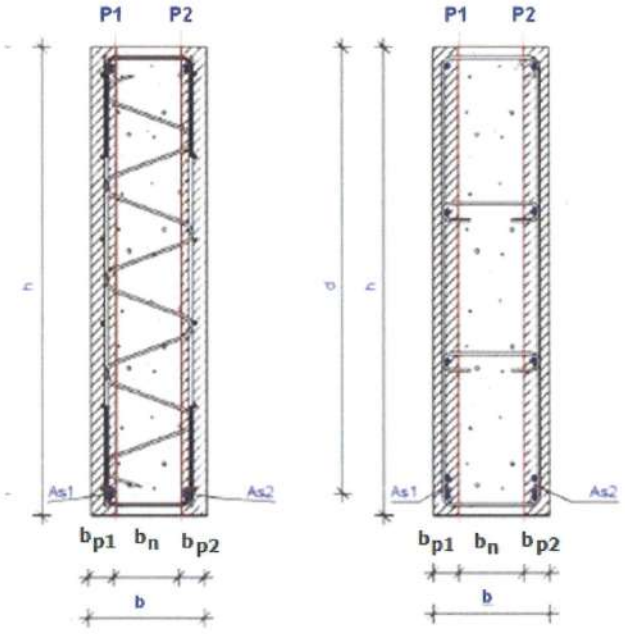


Figure A-22 – Plans de cisaillement dans la section d'une poutre

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 P1) est égale à :

$$g_1 = max\left(\frac{V_{Ed}b_{p1}}{zb};\frac{V_{Ed}A_{s1}}{zA_s}\right)$$

On peut admettre que l'effort de glissement g_2 par unité de longueur relatif à la largeur du second voile préfabriqué (sur le plan de cisaillement P2) est égal à :

Avec :

$$g_2 = max\left(\frac{V_{Ed}b_{p2}}{zb};\frac{V_{Ed}A_{s2}}{zA_s}\right)$$

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 $A_{s,p1}$ dans le premier voile préfabriqué et des aciers $A_{s,p2}$ du second voile préfabriqué (en cm²) ;

z le bras de levier de la section, pris égal à 0,9 d (d étant la hauteur utile de la section),en m.

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

$$\tau_{Ed,max} = 10^{-3}\frac{max(g_1;g_2)}{0{,}6h}$$

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

Nota : les expressions de g_1 et g_2 ci-dessus sont valables 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 vérifier à l'interface entre les deux bétons que la valeur limite de calcul de la contrainte de cisaillement $\tau_{Ed,lim}$ est telle que :

$$\tau_{Ed,lim} = max\begin{cases} v_{Rdi} = cf_{ctd,n} + \rho_\alpha f_t(\mu sin\alpha + cos\alpha) + \rho_{\alpha'} f_{t'}(\mu sin\alpha' + cos\alpha) \\ 0{,}5vf_{cd,n} \end{cases}$$

Avec :

$f_{cd,n}$ la valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ;

$f_{ctd,n}$ la valeur de la résistance de calcul en traction du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1991-1-1 et son Annexe nationale ;

$v_{Rd,i}$ 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 :

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

$R_{e,Di}$ 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 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 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 III*.

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

L'*Annexe IV* 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 (*Annexe IV*).

Si la valeur limite de la contrainte de cisaillement est telle que $\tau_{Ed,lim}$ 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.

- **Vérifications sur appuis**

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

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

- Cas 1 : $b_{app} = b_n$ correspond à l'épaisseur du noyau du mur à coffrage intégré (*Figure A-24*) ;
- Cas 2 : $b_{app} = b - b_{p1} - ch_2$ ou $b - b_{p2} - ch_1$ correspond à l'épaisseur totale réduite d'une épaisseur de voile préfabriqué et d'une largeur de chanfrein éventuel (*Figure A-25*) ;
- Cas 3 : $b_{app} = b - ch_1 - ch_2$ correspond à l'épaisseur totale réduite des largeurs de chanfreins éventuels (*Figure A-26*).

Avec :

b l'épaisseur totale du mur à coffrage intégré ;

b_n l'épaisseur du noyau coulé en place ;

b_{p1} l'épaisseur du premier voile préfabriqué ;

b_{p2} l'épaisseur du second voile préfabriqué ;

ch_1 la largeur des chanfreins du premier voile préfabriqué;

ch_2 la largeur des chanfreins du second voile préfabriqué.

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

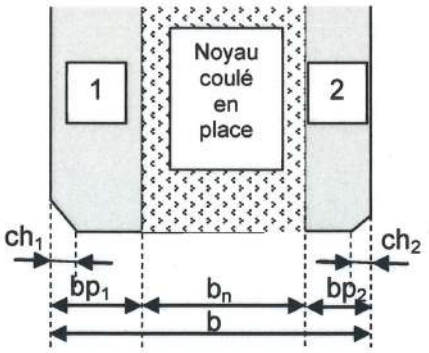


Figure A-23 – Définition de la géométrie de la section

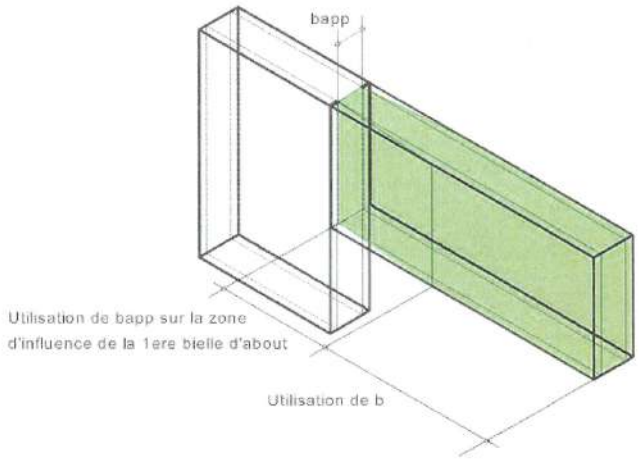


Figure A-24 – Appui de poutre – cas 1

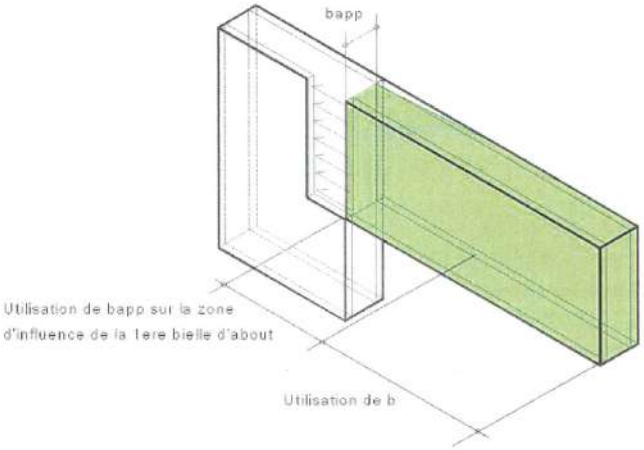


Figure A-25 – Appui de poutre – cas 2

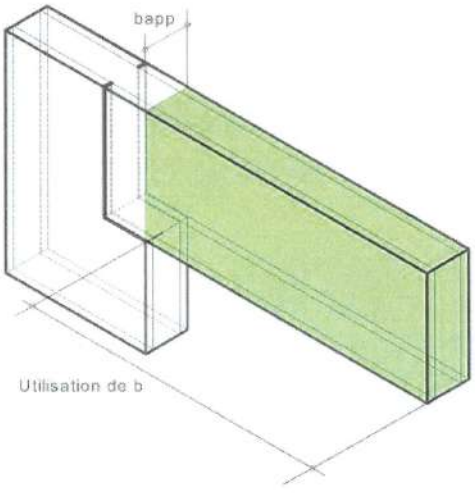


Figure A-26 – Appui de poutre – cas 3

La réalisation du joint d'appui doit être conforme aux prescriptions communes (cf. *paragraphe 1.1.1.1*).

• **Résistance à la torsion**

***Nota** : comme pour les poutres élancées, on doit éviter de faire travailler les éléments en MCI en torsion, notamment en raison des déformations qu'il en résulte. Toutefois, lorsqu'on ne peut pas éviter de le faire, l'article 6.3 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale s'appliquent.*

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

- soit l'épaisseur b_n du noyau (dans le cas d'un joint du type cas 1 ci-dessus) ;
- soit l'épaisseur totale diminuée d'une épaisseur de voile préfabriqué et d'une largeur de chanfrein éventuel ($b - b_{p1} - ch_2$ ou $b - b_{p2} - ch_1$) dans le cas d'un joint du type cas 2 ci-dessus ;
- soit l'épaisseur totale diminuée des largeurs de chanfreins éventuels ($b - ch_1 - ch_2$) dans le cas d'un joint du type cas 3 ci-dessus.

Si la largeur du chanfrein (ch_1 ou ch_2) est inférieure au 1/10 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.

1.1.2.4 Prescriptions particulières aux poutres-cloisons

Sont considérées comme « poutres-cloisons » 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-cloisons réalisées en tout ou partie à l'aide de murs à coffrage intégré 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-cloisons 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-cloison ;
- la vérification des points singuliers (joints entre murs) ;
- la vérification de la faisabilité de mise en œuvre des armatures (tirant).

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

• **Vérification de la stabilité d'ensemble**

Il convient de tenir compte des effets d'instabilité latérale des poutres-cloisons par une épaisseur minimale du mur à coffrage intégré.

L'épaisseur minimale du mur à coffrage intégré doit être au moins égale à :

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

Avec :

p_{Ed} la charge appliquée par unité de longueur de la paroi sous la combinaisons d'actions prises en compte dans le calcul à l'ELU ;

h la hauteur de la poutre-cloison ;

L la portée de la poutre-cloison ;

$f_{ck,eq}$ la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur totale du mur à coffrage intégré.

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

Dans le cas de présence de joints de calepinage et quelles que soient leurs positions, seule l'épaisseur du noyau est prise en compte pour cette vérification. Dans le cas contraire, l'épaisseur totale du mur à coffrage intégré 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 à coffrage intégré faisant poutre-cloison ;
- l'ouverture partielle ou complète des joints entre murs, c'est-à-dire l'ouverture, sur un ou deux voiles préfabriqués, 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.

• **Vérification des points singuliers (joints entre murs à coffrage intégré)**

Les dispositions constructives au droit des joints doivent respecter les prescriptions de *paragraphe 1.1.1.8* (principe de vérification des liaisons au droit des joints).

L'*Annexe III* propose une application numérique sur le principe de vérification des liaisons entre murs à coffrage intégré.

Les abouts des murs à coffrage intégrés constituant les poutres-cloisons doivent être munis de couture (*Annexe II*).

À défaut de justifications de la résistance de la liaison, une poutre-cloison doit être inscrite dans un mur à coffrage intégré (pas de joints) (cf. cas 1 de l'*Annexe V*).

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 1.1.1.11*.

1.1.2.5 Prescriptions particulières aux acrotères

Les acrotères en murs à coffrage intégré sont conformes aux prescriptions de l'article 7.2.4 du DTU 20.12.

• **Acrotères bas**

Les acrotères bas réalisés en murs à coffrage intégré sont incorporés aux murs à coffrage intégré du dernier niveau et sont réalisés par le prolongement de ces derniers au-dessus de la toiture.

Suivant que l'étanchéité est protégée par une engravure, par une couvertine, ou par une bande de solin métallique, la face intérieure de l'acrotère est réalisée en mur à coffrage intégré ou est coffrée en place.

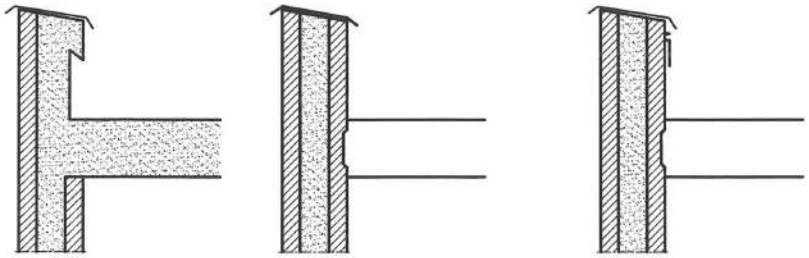


Figure A-27 – Protection de l'étanchéité

Le ferraillage de l'acrotère est intégré partiellement ou totalement dans le mur à coffrage intégré.

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

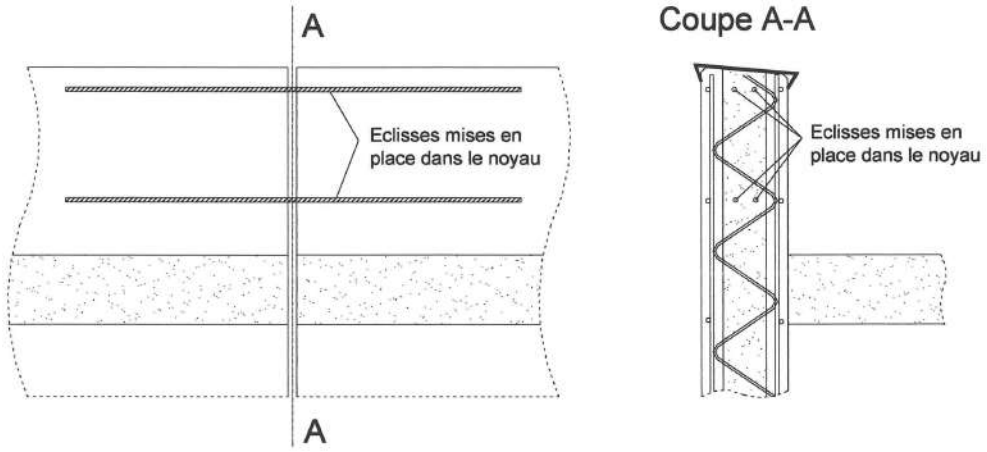


Figure A-28 – Éclissage au niveau des joints d'acrotères

• Acrotères hauts (au sens du DTU 20.12)

Les acrotères hauts peuvent être incorporés aux murs à coffrage intégré du dernier niveau et être réalisés par le prolongement de ces derniers au-dessus de la toiture.

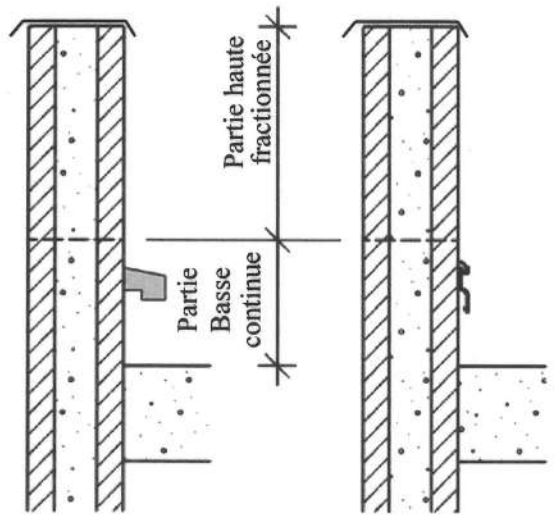


Figure A-29 – Acrotères hauts continus au niveau de la toiture

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

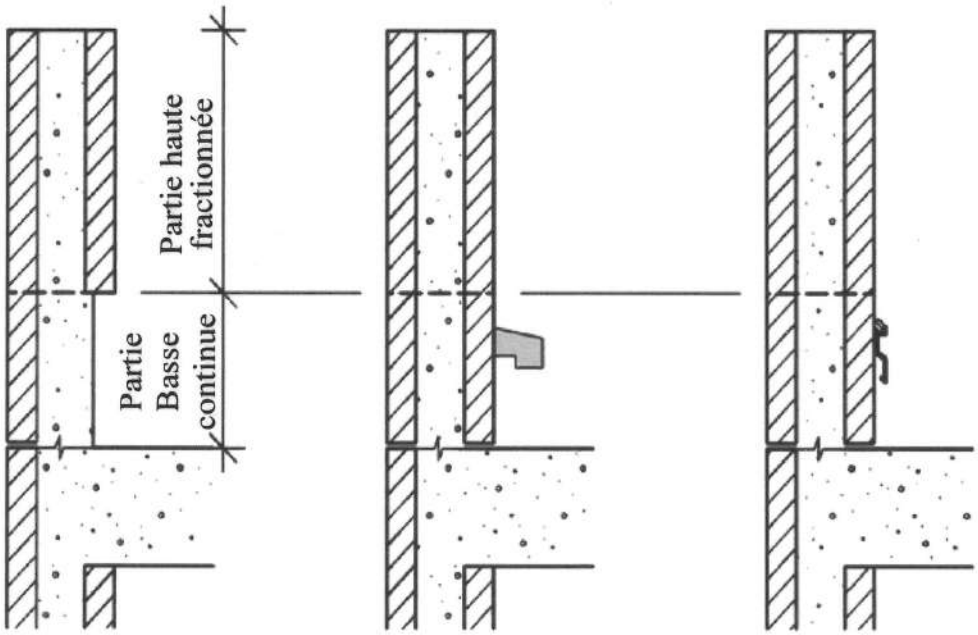


Figure A-30 – Acrotères hauts réalisés par des pièces complémentaires au-dessus de la toiture

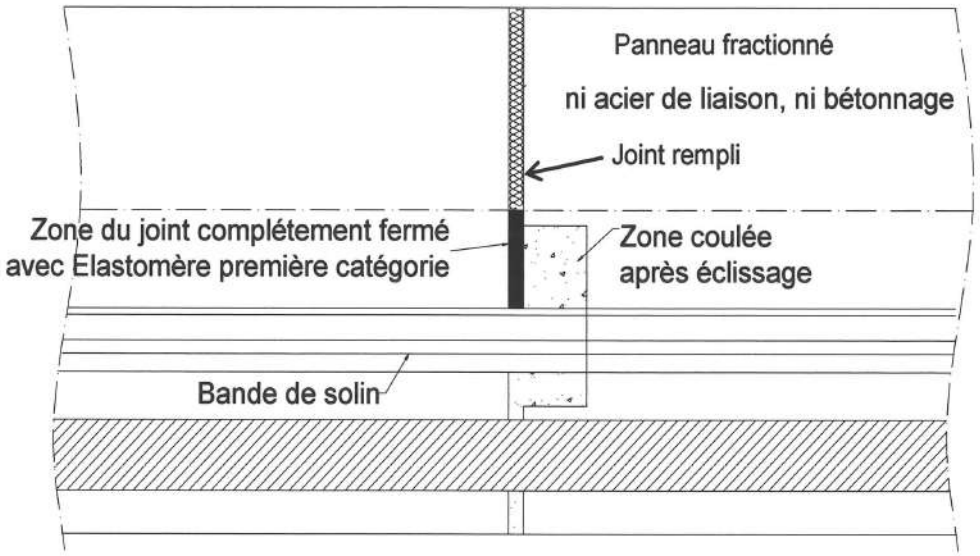


Figure A-31 – Détail de réalisation du fractionnement des acrotères hauts

Les acrotères hauts sont constitués :

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

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

Les joints de fractionnement seront espacés d'au plus 8 mètres dans les régions sèches ou à forte opposition de température, 12 mètres dans les régions humides ou tempérées (par référence au DTU 20-12). Ils pourront être confondus avec les joints de murs à coffrage intégré 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.

- **Faisabilité de montage des armatures**

Sur la hauteur du bandeau continu inférieur, les murs à coffrage intégré sont équipés au droit des joints d'une réservation disposée côté toiture, permettant le bon éclissage des armatures de la partie continue de l'acrotère.

1.1.3 Prescriptions particulières aux éléments inclinés

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

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

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

Les pieds de panneau doivent être vérifiés en phase provisoire. Sauf cas particulier, les deux voiles préfabriqués seront frettés en pied par une armature HA de 6 mm avec un espacement e de 30 mm minimum, disposition forfaitaire qui convient dans le cas général.

En phase définitive, les prescriptions du *paragraphe 1.1.4* s'appliquent.

1.1.4 Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan

1.1.4.1 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 de deux plans 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 :

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{l \times 0{,}9d}$$

Avec :

V_{Ed} l'effort tranchant de calcul agissant à l'ELU évalué pour une bande de largeur l ;

d la hauteur utile.

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

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

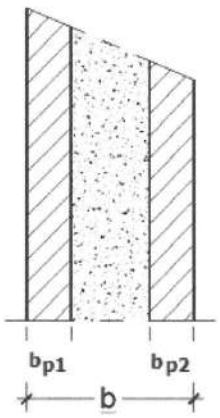


Figure A-32 – Section et épaisseurs d'un mur à coffrage intégré

S étant le moment statique de la section d'épaisseur b_{p1} (ou b_{p2}) 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 :

$$\tau_{Ed} = 6.V_{Ed}.b_{p1}.(b-b_{p1})/b^3 \text{ (ou } \tau_{Ed} = 6.Vu.b_{p2}.(b-b_{p2})/b^3)$$

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

- **Traitement du plan d'étanchéité**

Ce paragraphe traite des murs à coffrage intégré soumis à la pression hydrostatique. L'étanchéité peut être assurée par la structure seule, ou par une étanchéité rapportée.

La finition des joints est réalisée en fonction de la destination de l'ouvrage (cf. *Annexe VI*).

Sur la base des dispositions prévues par le Fascicule 74 du CCTG, l'épaisseur minimale du mur et la longueur du chemin critique (cf. *Annexe VII*) est de 15 cm pour les ouvrages de classe A (étanchéité assurée par la structure seule) et de 12 cm pour les ouvrages de classe B (étanchéité assurée par la structure complétée par un revêtement d'imperméabilisation) et C (étanchéité assurée par un revêtement d'étanchéité). Pour les piscines, cette épaisseur minimale est de 12 cm.

Étanchéité par le béton (ouvrages de classe A)

Pour assurer une étanchéité par le béton d'un mur à coffrage intégré soumis à une pression hydrostatique, les liaisons entre le mur et la fondation (par exemple le radier) doivent être encastrées (cf. Détails 8 et 9 en *Annexe IX*).

Les liaisons verticales ou horizontales entre deux panneaux doivent être de type couturé (cf. Détails 13.3 en Annexe IX par exemple) ou encastré (cf. Détails 14, 17, 22 en *Annexe IX)* afin de bloquer la fissuration provoquée par le retrait du béton.

Au voisinage de ces liaisons, la quantité d'armatures traversant l'interface voile préfabriqué/béton coulé en place, doit être augmentée de 25 %.

Des dispositions spécifiques permettant d'augmenter la longueur du chemin critique de l'eau à la traversée du mur, peuvent être définies dans les Avis Techniques.

Étanchéité par le béton avec traitement des joints (ouvrages de classe D)

Si les joints sont traités avec une étanchéité rapportée de type bande d'étanchéité élastomère pour joints, à haute flexibilité (allongement à la rupture supérieure à 400 %), collée sur les lèvres du joint et garantissant l'étanchéité au contact d'eaux en pression, les liaisons verticales peuvent être de type classique articulé. Le joint est à mettre en œuvre en règle générale sur la face en contact avec l'eau. Néanmoins il peut travailler en sous-pression moyennant des dispositions de mise en œuvre particulière définies par les fabricants.

Plan d'étanchéité rapportée (ouvrages de classes B et C)

La compatibilité du revêtement d'étanchéité rapporté avec la géométrie des joints doit être vérifiée. Ces joints des voiles doivent être colmatés. Un traitement spécifique peut s'avérer nécessaire en fonction des revêtements d'étanchéité.

- **Classification en termes de support d'étanchéité**

Suivant la classification définie dans l'Annexe A du DTU 20.12, les murs à coffrage intégré peuvent être considérés comme équivalent à un support de type B.

1.1.4.2 Prescriptions particulières pour les éléments bi-articulés en 1er niveau de sous-sol

On peut se dispenser des dispositions spécifiques aux murs sollicités perpendiculairement à leur plan, décrites ci-dessus (cf. *paragraphe 1.1.4.1*) si :

- les éléments sont bi-articulés ;
- ils sont utilisés en 1er 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 DTU 20-1 partie 2 §6.3).

1.1.4.3 Prescriptions particulières aux murs enterrés

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

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 à coffrage intégré au moyen de boîtes d'attentes.

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

1.1.4.4 Prescriptions particulières aux murs de soutènement

Les armatures de reprises en pied peuvent être intégrées dans le mur à coffrage intégré (liaison encastrée sans reprise de bétonnage – cf. Détails 9 en *Annexe IX*) ou dans la partie coulée en place (liaison encastrée avec reprise de bétonnage – cf. Détails 8 en *Annexe IX*).

Les joints verticaux non soumis à la flexion sont armés à l'aide des armatures de liaisons de type articulé.

Un drainage ou des barbacanes sont mis en œuvre selon les règles de l'art. Dans le cas contraire, les murs sont soumis à une pression hydrostatique et les prescriptions du sous-paragraphe « Traitement du plan d'étanchéité » au *paragraphe 1.1.4.1* s'appliquent.

1.1.4.5 Prescriptions particulières aux murs de silos ou de magasins de stockage

Pour le dimensionnement des panneaux destinés aux silos, les « Règles professionnelles de conception et de calcul des silos en béton » en respectant les prescriptions communes des murs à coffrage intégré s'appliquent.

Les liaisons en pied sont encastrées (avec ou sans reprise de bétonnage), les liaisons verticales ou horizontales entre panneaux sont fonction de la conception de l'ouvrage.

1.1.4.6 Prescriptions particulières aux murs de bassins ou de piscines

Ils sont dimensionnés aux états limites ultimes de résistance et aux états limites de service conformément au Fascicule 74 du CCTG.

Les prescriptions du *sous-paragraphe « Traitement du plan d'étanchéité » au paragraphe 1.1.4.1* sont appliquées : étanchéité par le béton ou membrane d'étanchéité rapportée type « Liner ».

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

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

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

- articulées pour les ouvrages dont l'étanchéité n'est pas assurée par le béton seul ;
- couturées ou encastrées pour les ouvrages dont l'étanchéité est assurée par le béton seul.

- **Prescriptions particulières pour les murs de bassins de forme polygonale**

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

Lorsque l'angle entre les facettes est supérieur ou égal à 150°, l'incidence des facettes sur le comportement du bassin est négligeable. Par conséquent, les phénomènes secondaires dus aux efforts de traction horizontale qui peuvent se manifester au droit des joints verticaux, sont négligés. L'ensemble des sollicitations est déterminé comme pour un bassin de forme circulaire encastré en pied.

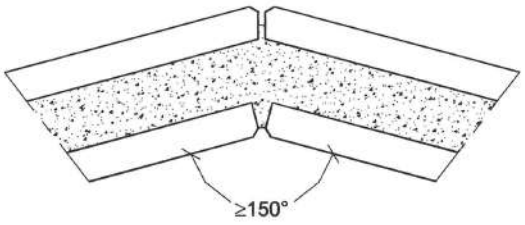


Figure A-33 – Angle minimal entre facettes

Lorsque l'angle entre les facettes est inférieur à 150°, des moments de flexion horizontaux secondaires se développent en partie courante de murs et dans les angles des facettes. Les efforts sont alors déterminés par une modélisation du bassin en facettes et sont pris en compte dans la justification des aciers courants et des aciers de liaisons.

On pourra également se reporter au détail 17.2, *Annexe X.*

1.1.4.7 Prescriptions particulières aux murs de galeries souterraines

Le cas courant correspond aux murs travaillant en flexion verticale entre fondation et dalle de couverture, l'ensemble de l'ouvrage fonctionnant comme une structure fermée (cadre ou portique).

Les encastrements en pied sont réalisés par une solution avec ou sans reprise de bétonnage.

Les liaisons verticales sont articulées. La liaison entre les murs et la dalle de couverture est considérée comme encastrée.

Il est rappelé que l'étanchéité de ces ouvrages doit être assurée.

1.2 Sécurité au feu

Les critères de classification de résistance R, d'étanchéité E et d'isolation I définis à l'article 2 de la norme NF EN 1992-1-2 avec son Annexe nationale française (NF EN 1992-1-2/NA) d'un mur à coffrage intégré peuvent être vérifiés individuellement selon l'une des trois méthodes suivantes et comparés à l'ensemble du mur considéré comme homogène :

- valeurs tabulées, section 5 ;
- méthodes de calcul simplifiées, section 4.2 et annexe B de la NF EN 1992-1-2 et son Annexe nationale française ;
- méthode de calcul avancée, section 4.3.

Les actions dues à la température sont déterminées suivant la norme NF EN 1991-1-2 avec son Annexe nationale française (NF EN 1991-1-2/NA). Les joints entre prémurs dont la largeur e reste inférieure ou égale à 20 mm sont négligés pour le calcul des températures (cf. *Figure A-37, paragraphe 1.5.4*). Les actions mécaniques sont combinées, en situation accidentelle, conformément à la norme NF EN 1990 avec son Annexe nationale française.

En particulier :

- les voiles non porteurs seront justifiés par application de la clause 5.4.1 ;
- les voiles porteurs seront justifiés par application de la clause 5.4.2 ;
- les murs coupe-feu seront justifiés par application de la clause 5.4.3. Le paragraphe 1.5.4 traite le cas des joints vis-à-vis du critère d'isolation I ;
- les poutres sont justifiées par application de la clause 5.6 ;
- les éléments fléchis perpendiculairement à leur plan seront justifiés par application de la clause 5.7.

Nota : les murs à coffrage intégrés sont considérés comme des éléments pleins.

1.3 Isolation thermique

La performance thermique du mur à coffrage intégré est déterminée en négligeant la présence des joints.

1.4 Isolation acoustique

À défaut de résultat expérimental, l'indice d'affaiblissement acoustique d'un mur peut être estimé à l'aide de l'annexe B de la norme NF EN 12354-1 appliqué à l'ensemble des voiles préfabriqués et du béton coffré, considéré comme homogène de ce point de vue ; la présence de joints entre voiles préfabriqués est considérée comme peu influente sur cet indice. L'estimation de la performance acoustique des bâtiments intégrant ce type de procédé pourra aussi s'appuyer sur les normes de la série NF EN 12354 (1 à 6).

1.5 Traitement des joints

Les produits de traitement des parois et de traitement des joints seront mis en œuvre conformément aux prescriptions des cahiers de charges des fournisseurs, tant pour la préparation des supports que pour les dispositions propres de mise en œuvre. En particulier les supports seront préparés de manière à être plans, exempts de laitance, dépoussiérés et secs. Cette section concerne le traitement des joints verticaux et horizontaux. Les schémas de l'*Annexe VI* illustrent les différents cas.

1.5.1 Murs courants en superstructure

Pour les murs courants en superstructure, on distinguera le voile préfabriqué côté extérieur soumis aux intempéries du voile préfabriqué côté intérieur.

La distance minimale libre de l'armature de liaison disposée au droit du joint et la face intérieure du voile préfabriqué $a_{e,min}$ est de 15 mm.

Nota : l'attention est attirée sur le fait que l'étanchéité de la façade réalisée par le joint rapporté nécessite un entretien régulier de ce dernier.

1.5.1.1 Face extérieure

- **Murs de façade revêtus**

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

Un système d'obturation de type cordon de mousse pourra être mis en place comme fond de joint à la pose des murs, pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage. Ce cordon peut être retiré après séchage du béton et le joint rempli de mortier.

- **Murs de façade bruts de fabrication, peints ou lasurés**

Les murs restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés nécessitent le traitement du joint à l'aide d'un mastic élastique de classement SNJF F 25 E monocomposant qui polymérise sous l'action de l'humidité de l'air et prévu pour le traitement des joints de façades préfabriquées exposées.

L'épaisseur du mastic doit être au moins de 20 mm. La compatibilité du mastic élastomère et du cordon de fond de joint devra être vérifiée.

Le chanfrein doit rester marqué.

Dans tous les cas, on veillera à la compatibilité du produit de traitement du joint et de la lasure ou peinture utilisée.

- **Murs de façade enduits**

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

En partie courante, les précautions de préparation du support et de pose doivent être conformes au DTU 26.1.

Si l'enduit couvre le joint, le mastic élastomère n'est pas nécessaire, la zone du chanfrein doit être remplie à l'aide d'un mortier classique et recouverte d'un entoilage.

Il ne peut cependant être totalement exclu, malgré ce traitement, que de fines fissures, sans autre inconvénient que l'aspect de surface, se manifestent au droit de certains joints.

Dans le cas de RPE, celui-ci doit être mis en œuvre après mise en place d'un entoilage marouflé avec un enduit, et suivant les précautions de préparation du support et de pose décrites dans le DTU 59.2.

1.5.1.2 Face 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 mis en place comme fond de joint à la pose des murs, pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage.

Dans les autres cas, 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 l'aspect de surface.

1.5.1.3 Points singuliers

- **Au niveau des ouvrants**

Le traitement des jonctions murs/dormants doit être réalisé conformément aux DTU, Avis Techniques ou Document Technique d'Application dont ils relèvent. Les dispositions adoptées doivent permettre d'assurer la continuité de l'étanchéité en tout point, et notamment au niveau des jonctions avec les menuiseries. Il est nécessaire de prêter une attention particulière au niveau du seuil de baie ou appui de fenêtre, c'est-à-dire au raccordement du plan d'étanchéité de la façade et celui de la menuiserie.

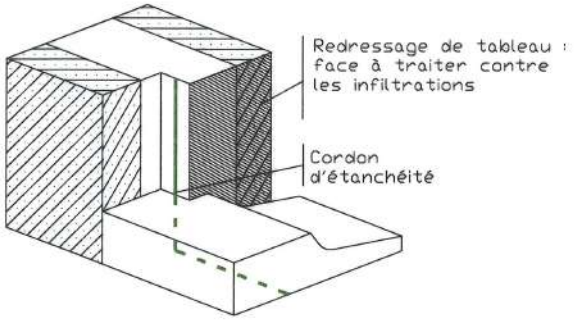


Figure A-34 – Exemple de pose en feuillure

- **Protection de l'étanchéité (acrotères)**

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

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

- **Protection du faîtage**

Afin d'éviter toute infiltration entre les voiles et le noyau coulé sur chantier, le faîtage de l'acrotère est équipé, soit :

- par un chaperon béton ;
- par une couvertine métallique.

1.5.2 Murs courants en infrastructure

Dans le cas où le joint est accessible en phase chantier et inaccessible en phase d'exploitation pour l'entretien, la distance minimale libre entre l'armature de liaison au droit du joint et la face intérieure du voile préfabriqué $a_{e,min}$ de 30 mm peut être réduite à 15 mm moyennant le traitement du joint avec une bande bitumineuse, et que le mur ne soit pas soumis à une pression hydrostatique.

1.5.2.1 Face extérieure

- **Paroi accessible en phase chantier**

Pour parer aux infiltrations provoquées par les eaux de ruissellements, les joints verticaux et horizontaux en contact avec le remblai sont traités avec un mortier de réparation mono- (ou bi-) composant à base de ciment (et de résine), complété d'une bande bitumineuse autoadhésive à froid, résistante à la déchirure et à l'eau, et apte à protéger le joint du contact direct des terres et des eaux de ruissellement.

Dans la mesure où le joint reçoit ce traitement d'étanchéité, la distance minimale libre entre l'armature de liaison au droit du joint et la face intérieure du voile préfabriqué peut être réduite à 15 mm. Un drainage sera systématiquement mis en œuvre pour collecter les eaux de ruissellements.

- **Paroi non accessible en phase chantier**

Le traitement du joint extérieur se fera par la mise en œuvre au montage, sur le chant du voile préfabriqué extérieur des murs à coffrage intégré, d'un cordon d'étanchéité de mousse à cellules ouvertes imprégnée et autocollante. L'étanchéité du joint sera complétée par un bétonnage en continu dans la zone du joint vertical.

La distance minimale libre entre les armatures de liaison au droit du joint et la face intérieure du voile préfabriqué doit être de 30 mm minimum, et les abouts de mur à coffrage intégré doivent être coutures.

Dans le cas d'utilisation en murs de 1re catégorie au sens du DTU 20.1 partie 2 paragraphe 6.3, les dispositions présentées au sous-paragraphe « traitement du plan d'étanchéité » en 1.1.4.1 doivent être appliquées (épaisseurs minimales, chemins critiques ou élément rapporté).

1.5.2.2 Face intérieure

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

1.5.3 Murs soumis à des pressions hydrostatiques

Les aciers des liaisons d'encastrement entre panneaux sont disposés de façon à être enrobés conformément à la classe d'exposition visée. Cette prescription doit être également appliquée aux aciers dit de « couture », mis en place lors de la préfabrication des murs à coffrage intégré, qui traversent l'interface voile préfabriqué/béton coulé en place, au voisinage des joints (cf *Figure A-35* par exemple).

Il convient par ailleurs d'effectuer la vérification d'ouverture de fissure au niveau de la jonction peau préfabriquée et béton coulé sur place comme un plan de reprise de bétonnage (suivant l'EN 1992-1-1).

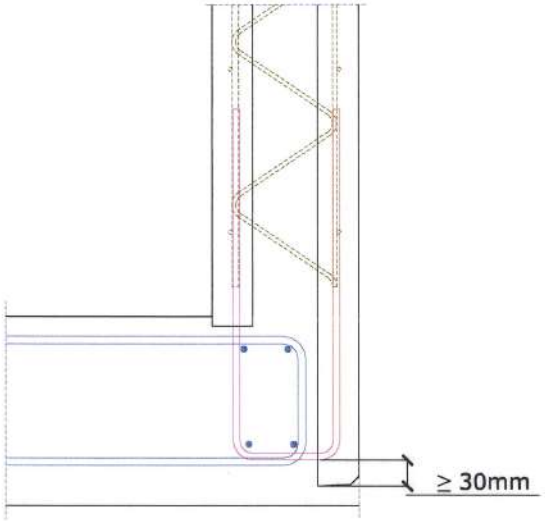


Figure A-35 – Enrobage minimal des armatures traversant l'interface voile préfabriqué/béton coulé en place

1.5.3.1 Face en contact avec la terre

Seul un cordon d'étanchéité de mousse imprégnée sur le chant du voile préfabriqué extérieur est mis en place. Le béton du noyau coulé en place combiné au voile préfabriqué intérieur accessible assure seul l'étanchéité dans la masse.

1.5.3.2 Face intérieure en contact avec l'eau en pression

Les joints verticaux et horizontaux sont fermés avec un mastic élastique de classement SNJF F 25 E apte à résister aux pressions hydrostatiques.

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

Le joint horizontal entre le mur et le radier peut présenter une engravure afin de traiter efficacement le contact béton préfabriqué/béton coulé en place (cf. *Figure A-36*).

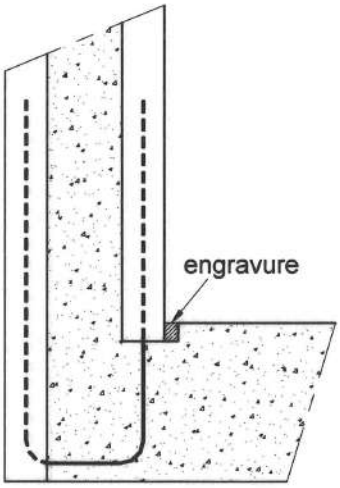


Figure A-36 – Engravure à la liaison entre le mur et le radier

1.5.3.3 Face intérieure en contact avec de l'eau agressive

Les joints verticaux et horizontaux sont fermés avec un système spécifique, apte à résister aux pressions hydrostatiques et au contact de solutions agressives.

Ce système, ainsi que les spécifications du béton, sont définis dans chaque Avis Technique.

Le joint horizontal entre le mur et le radier peut présenter une engravure afin de traiter efficacement le contact béton préfabriqué/béton coulé en place (cf. *Figure A-36*).

1.5.4 Murs coupe-feu

Pour les murs coupe-feu non exposés aux intempéries, s'agissant du critère I, il convient de vérifier conformément à l'article 4.6 (4) de la norme NF EN 1992-1-2, que la largeur e des joints n'excède pas la limite de 20 mm (*Figure A-37*).

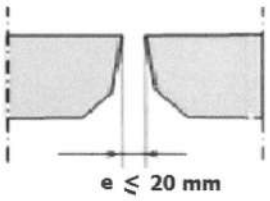


Figure A-37 – Largeur des joints inférieure ou égale à 20 mm dans le cas de murs coupe-feu

1.5.5 Murs de silos ou magasins de stockage

Pour le traitement des joints en contact avec la matière à stocker on veillera à la compatibilité sanitaire de la nature des matériaux constituant le joint et des éléments stockés (agrément d'alimentarité à vérifier).

Les joints pour les silos de stockage de céréales sont réalisés avec un mortier de réparation monocomposant à base de ciment.

1.6 Finitions et aspect

1.6.1 État de surface

L'état de surface courant doit être précisé dans chaque Avis Technique, conformément à la norme NF P 18-503.

1.6.2 Préparation du support

La forte compacité éventuelle du béton des panneaux doit être prise en compte lors du choix du type de revêtement qui sera appliqué sur le support (lasure, peinture, imprégnation, plot de colle pour fixation des doublages ou plaques de parement, etc.).

2. Conditions de fabrication

2.1 Précision de fabrication des treillis raidisseurs

Compte tenu de la minceur des voiles préfabriqués, les treillis raidisseurs métalliques doivent être fabriqués avec une grande précision pour respecter les exigences d'enrobage minimal.

Le stockage des raidisseurs et leur manutention entre le lieu de stockage et leur mise en place dans le moule ne doivent pas altérer leurs qualités techniques et dimensionnelles.

Ils doivent faire l'objet d'une certification. Les critères de cette certification sont définis au *paragraphe 1.1.1.2.*

2.2 Tolérances dimensionnelles standards

2.2.1 Raidisseurs

L'industriel doit intégrer, dans son SOPAQ (ou PAQ) un contrôle dimensionnel des raidisseurs.

2.2.2 Mur à coffrage intégré

Les tolérances dimensionnelles maximales des murs doivent être conformes à la norme NF EN 14992).

La tolérance sur la rectitude des arêtes (bord de pièce) est au plus de ± 5 mm.

Pour les murs à coffrage intégré non certifiés, la tolérance sur l'enrobage des raidisseurs et des armatures est de ± 5 mm maximum.

2.3 Contrôle du béton

Le béton des voiles préfabriqués doit faire l'objet d'un contrôle régulier.

3. Conditions de stockage et de transport

3.1 Prescriptions concernant la manutention des panneaux

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'OPPBTP et de l'INRS.

3.2 Prescriptions concernant le transport des panneaux

Les prescriptions relatives au transport vertical ou horizontal des panneaux sont décrites dans la publication sur les Murs à Coffrage Intégré citée au *paragraphe 3.1* (conditionnement, transport et stockage). Le transport à plat est à proscrire sauf dans les cas définis à l'article 3.2.4 de cette publication.

3.3 Prescriptions concernant le stockage des panneaux

Le stockage vertical et à plat des panneaux est décrit dans la publication sur les Murs à Coffrage Intégré citée au *paragraphe 3.1*.

4. Conditions de mise en œuvre

La publication sur les Murs à Coffrage Intégré, citée au *paragraphe 3.1*, traite également des conditions de mise en œuvre des panneaux de murs à coffrage intégré.

4.1 Pose des panneaux

La pose des panneaux, qui est effectuée par l'entreprise, doit être conforme au plan général de pose réalisé et fourni par le bureau d'études technique du préfabricant.

4.2 Stabilité en phase provisoire

La stabilité des murs à coffrage intégré, en phase provisoire, nécessite une attention toute particulière, vis-à-vis d'éventuels efforts principalement dus au vent.

Les panneaux sont présentés, réglés et calés à leur position définitive. Leur stabilité est assurée par des étais tirant-poussant fixés aux panneaux au moins aux deux tiers de la hauteur grâce aux douilles incorporées dans les voiles préfabriqués. En pied, les étais « tirant-poussant » prennent appui soit sur un massif en béton, soit directement sur l'ouvrage déjà exécuté (la dalle ou le radier en béton par exemple).

Le dimensionnement des douilles est réalisé pour la valeur de vitesse de vent spécifiée dans les DPM. En l'absence de vitesse de vent spécifiée dans les Documents particuliers du marché (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).

4.3 Préparation des voiles et des joints

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

4.4 Utilisation de coupleurs d'armatures

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

4.5 Bétonnage

4.5.1 Généralités sur le bétonnage en œuvre

Le bétonnage en œuvre doit être réalisé en fonction de l'épaisseur et de la hauteur des panneaux conformément aux dispositions définies dans le Dossier Technique et aux prescriptions du paragraphe 1.1.1.13.

4.5.3 Bétonnage des joints verticaux et horizontaux

Dans le cas de liaisons encastrées ou couturées présentant une forte densité d'armatures, dans le cas des éléments de type poutre ou poteau et dans le cas des joints des ouvrages dont l'étanchéité requise est assurée par le béton seul, les parties, au droit des joints verticaux, bétonnées en place doivent être vibrées.

4.6 Étapes après décoffrage

La publication sur les Murs à Coffrage Intégré, citée au *paragraphe 3.1*, décrit par ailleurs les finitions à apporter aux panneaux.

4.6.1 Fermeture des joints après bétonnage

Les joints non étanchés entre panneaux de coffrage et entre ceux-ci et les planchers doivent être rebourrés avec soin au mortier.

4.6.2 Ragréage éventuel

Le désafleurement éventuel entre panneaux doit être traité avec un produit de ragréage spécifique avant la mise en œuvre des revêtements.

Annexe I
Principe de détermination des efforts sollicitants sur un mur à coffrage intégré

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

- le mur à coffrage intégré 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 à coffrage intégré est soumis à un chargement réparti en tête sur toute sa longueur (cas d'une poutre-cloison).

• **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 :

$$V_{Edj} = \frac{F}{h}$$

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.

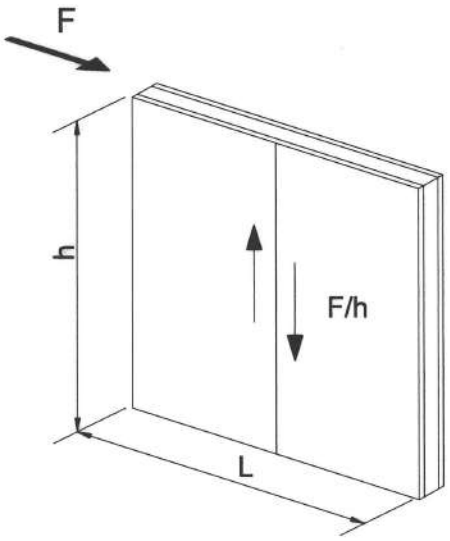


Figure 1 – Effort sollicitant dans le cas d'un contreventement avec reprise d'une charge ponctuelle horizontale (cas 1)

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 :

$$V_{Edj} = \frac{f \times L}{n_b \times h}$$

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 au nombre réel défini par :

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

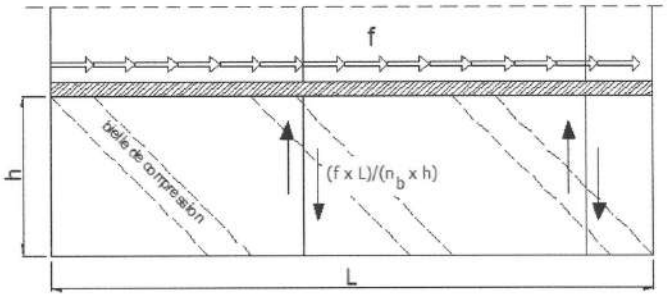


Figure 2 – Effort sollicitant dans le cas d'un contreventement avec reprise d'une charge linaire horizontale (cas 2)

• Dans le cas d'une poutre-cloison

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-cloisons est donc majoré (*Figure 3*).

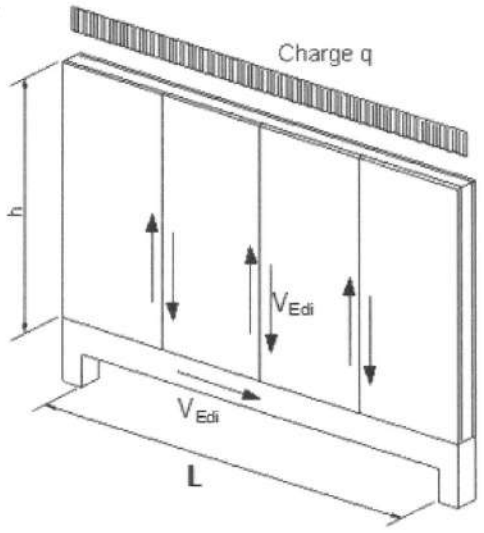


Figure 3 – Effort sollicitant dans le cas d'une poutre-cloison

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

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

Annexe II
Vérifications de la liaison au droit du joint – Applications numériques

Cette annexe illustre les vérifications de la liaison au droit d'un joint dans les cas suivants :

- mur soumis à des sollicitations de cisaillement notables ;
- murs avec dispositions d'armatures minimales.

La démarche reprend celle présentée au *paragraphe 1.1.1.8* du présent document. Les données du calcul sont en premier lieu précisées en termes de géométrie, de ferraillage et de sollicitations. Les vérifications de la liaison au droit du joint sont ensuite menées.

Pour les deux exemples numériques présentés, nous avons adopté la disposition et les notat ions suivantes en termes d'armatures dans les voiles préfabriqués, d'armatures de liaison et d'armatures de couture :

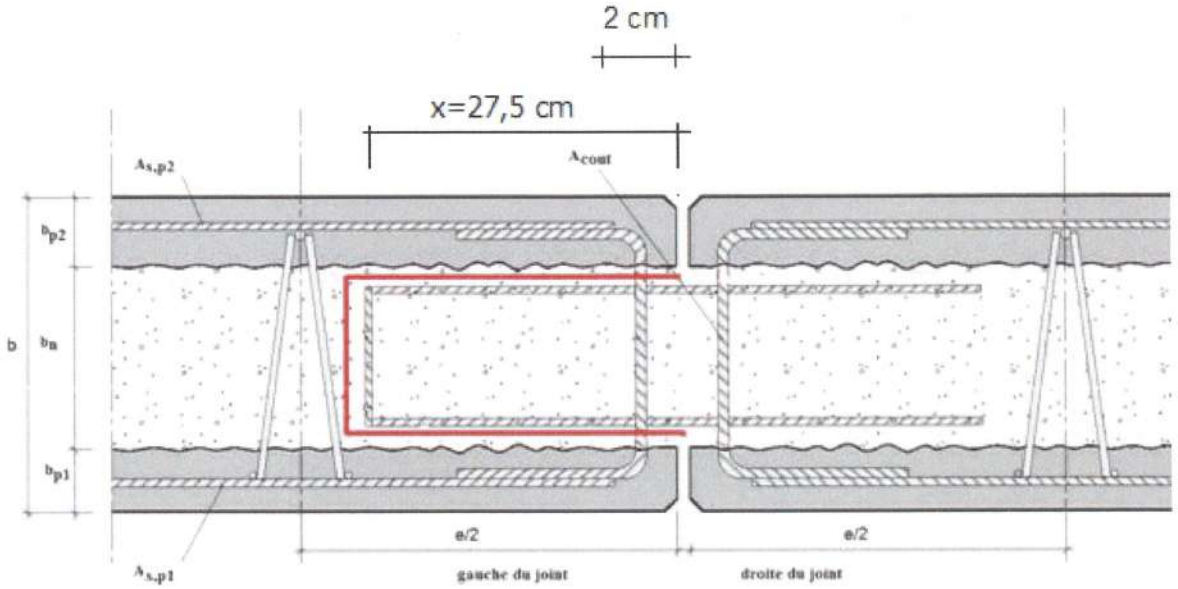


Figure 1 – Ferraillage mis en place au droit du joint dans le cas d'une liaison avec couture aux abouts

À gauche du joint, les armatures de liaison sont terminées par une boucle et à droite du joint, les armatures sont droites. Les armatures de couture aux abouts sont en forme de U. La distance de l'extrémité de la boucle jusqu'à l'about du voile préfabriqué à gauche du joint est prise égale à 27,5 cm compte-tenu de l'encombrement des armatures.

1. Mur à coffrage intégré soumis à des sollicitations de cisaillement notables

On s'intéresse dans cette première partie à la vérification au droit du joint de panneaux de murs à coffrage intégré armés.

1.1 Données du calcul

1.1.1 Caractéristiques du mur à coffrage intégré

Les caractéristiques géométriques des voiles préfabriqués sont données dans le tableau ci-dessous.

Le ferraillage horizontal des voiles préfabriqués est donné dans le tableau ci-dessous et sur la *Figure 2*.

Tableau 1 – Dimensions du panneau

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Épaisseur du premier voile préfabriqué	b_{p1}	55 mm
Épaisseur du second voile préfabriqué	b_{p2}	50 mm
Épaisseur du noyau	b_n	95 mm
Épaisseur totale	b	200 mm
Longueur des panneaux	L	26,2 m
Hauteur des panneaux	h	3,93 m

Tableau 2 – Caractéristiques des armatures dans les voiles préfabriqués

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Diamètre et espacement des armatures du premier voile préfabriqué	ϕ_{p1}/s_{p1}	8 mm/200 mm
Quantité d'armatures dans le voile préfabriqué	A_{p1}	251 mm²/ml
Enrobage des armatures perpendiculaire au treillis raidisseur, du 1er voile préfabriqué	e_1	20 mm

Le ferraillage horizontal au droit des joints des voiles préfabriqués est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 – Caractéristiques des armatures de liaison au droit du joint

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Diamètre des armatures de liaison au droit du joint	ϕ_l	8 mm
Nombre d'armatures de liaison au droit du joint		2
Espacement des armatures de liaison au droit du joint	s_l	150 mm
Quantité d'armatures de liaison par mètre linéaire	A_{sl}	670 mm²/ml

Le ferraillage constituant les armatures en U aux abouts des murs à coffrage intégré est précisé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 – Armatures de couture aux abouts

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Diamètre des armatures de couture aux abouts	ϕ_{cout}	8 mm
Espacement des armatures	s_{cout}	150 mm
Quantité d'armatures de couture par mètre linéaire de chaque côté du joint	A_{cout}	335 mm²/ml

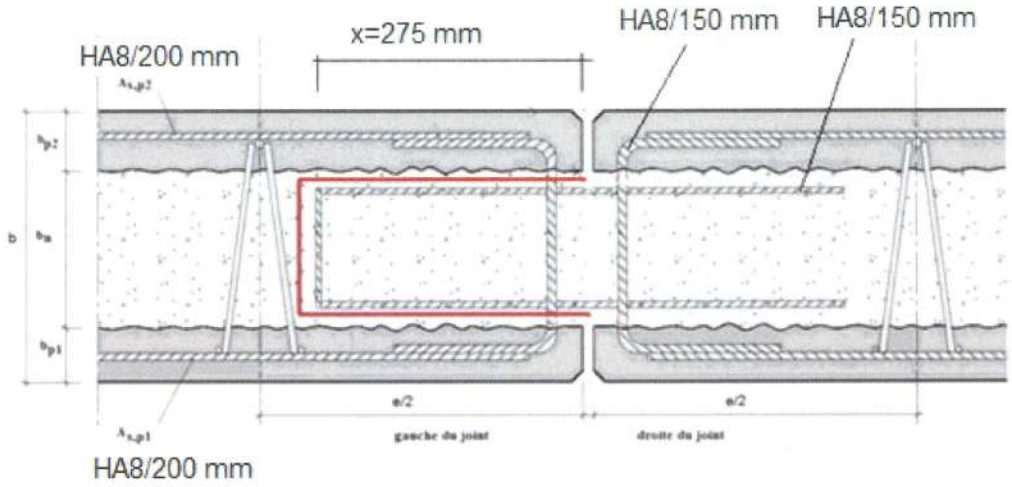


Figure 2 – Ferraillage mis en place au droit du joint pour le mur soumis à des sollicitations notables

Les caractéristiques des bétons sont données dans les tableaux ci-dessous (les différentes valeurs de résistance sont calculées conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale). Le béton des voiles préfabriqués appartient à la classe C40/50 et le béton du noyau coulé en place appartient à la classe C25/30. Le diamètre maximal des granulats D_{max} utilisés pour la confection des bétons est de 16 mm. Le coefficient partiel relatif au matériau béton préfabriqué est réduit $\gamma_{c,pcred}$ et pris égal à 1,35 considérant pour cet exemple que la fabrication des murs à coffrage intégré fait l'objet d'un contrôle de la production en usine évaluée par une tierce partie (certification CSTBat).

Tableau 5 – Caractéristiques du béton des voiles préfabriqués du mur à coffrage intégré

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Résistance à la compression du béton	$f_{ck,p}$	40 MPa
Résistance de calcul à la compression du béton	$f_{cd,n}$	29,63 MPa
Valeur moyenne de la résistance à la traction axiale	$f_{ctm,p}$	3,51 MPa
Résistance caractéristique à la traction d'ordre 5 %	$f_{ctk,5\ \%,p}$	2,46 MPa
Résistance de calcul à la traction	$f_{ctd,p}$	1,82 MPa
Coefficient partiel de sécurité sur le matériau béton préfabriqué	$\gamma_{c,pcred}$	1,35

Tableau 6 – Caractéristiques du béton coulé en place du noyau

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Résistance à la compression du béton	$f_{ck,n}$	25 MPa
Résistance de calcul à la compression du béton	$f_{cd,n}$	16,67 MPa
Valeur moyenne de la résistance à la traction axiale	$f_{ctm,n}$	2,56 MPa
Résistance caractéristique à la traction d'ordre 5 %	$f_{ctk,5\ \%,n}$	1,80 MPa
Résistance de calcul à la traction	$f_{ctd,n}$	1,20 MPa
Coefficient partiel de sécurité sur le matériau béton préfabriqué	$\gamma_{c,n}$	1,5

1.1.2 Chargement appliqué

Le chargement appliqué sur les panneaux est calculé selon l'*Annexe I* du présent document.

On considère une force f horizontale linéaire appliquée sur le panneau égale à 150 kN/m.

Le nombre de bielles mobilisables n_b, en supposant une inclinaison des bielles à 45°, est égal au nombre réel défini de la façon suivante (cf. cas 2 de l'*Annexe I*) :

$$n_b = \frac{L-h}{h} = \frac{26{,}2-3{,}93}{3{,}93} \approx 5{,}7$$

L'effort tranchant sollicitant de calcul V_{Ed} par mètre au droit du joint est égal à :

$$V_{Ed} = \frac{f_h \times L}{n_b \times h} = \frac{150 \times 26{,}2}{5{,}7 \times 3{,}93} = 176\,\text{kN/m}$$

La contrainte de calcul agissant à l'ELU v_{Ed} est égale à :

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_n} = \frac{176 \times 10^{-3}}{0{,}095} = 1{,}86\,\text{MPa}$$

1.2 Vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint

La contrainte de cisaillement résistante v_{min} calculée au droit du joint selon l'article 6.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale est comparée à la contrainte de cisaillement de calcul agissant à l'ELU v_{Ed} :

$$v_{min} = 0{,}35 \times f_{ck,n}^{\,0{,}5} / \gamma_c = 0{,}35 \times \sqrt{25}/1{,}5$$

$$= 1{,}17\,\text{MPa} < v_{Ed} = 1{,}86\,\text{MPa}$$

La contrainte de cisaillement résistante v_{min} est inférieure à la contrainte de cisaillement de calcul v_{Ed} agissant à l'ELU : des aciers sont donc nécessaires au droit du joint.

La vérification de la capacité résistante au cisaillement au droit du joint est menée selon l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale, en assimilant la section réduite à une reprise de bétonnage et en prenant les coefficients dépendant de la rugosité de l'interface égaux à 0,50 et 0, 9 pour c et μ respectivement.

La valeur de calcul de la contrainte de cisaillement résistante à l'interface $v_{Rd,i}$ est donnée par :

$$v_{Rd,i} = c f_{ctd,n} + \rho f_{yd}(\mu \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0{,}5 \upsilon f_{cd,n}$$

Les valeurs de la résistance de calcul en compression et en traction du béton coulé en place sont précisées dans les tableaux précédents.

f_{yd} est la limite d'élasticité de calcul de l'acier égale à f_{yk}/γ_s, soit 435 MPa.

Le coefficient de réduction ν de la résistance du béton du noyau coulé en place est donné par l'expression suivante :

$$\upsilon = 0{,}6\ (1 - \frac{f_{ck,n}}{250})$$

Les armatures de liaison sont inclinées d'un angle α égal à 90° par rapport à l'interface considérée.

La quantité d'armatures requise $A_{sl,rqd}$ pour équilibrer la contrainte de calcul agissant à l'ELU v_{Ed} est donnée par l'expression ci-après :

$$A_{sl,rqd} = b_n \times 1 \times (v_{Ed} - c f_{ctd,n}) / [f_{yd} \times (\mu \sin\alpha + \cos\alpha)]$$

$$A_{sl,rqd} = 10^{-4} \times 0{,}095 \times 1 \times (1{,}86 - 0{,}5 \times 1{,}20) / [435 \times (0{,}9 \times 1 + 0)] = 3{,}06\,\text{cm}^2/\text{m}$$

L'application numérique conduit à une quantité d'armatures de liaison nécessaires égale à 3,06 cm²/m. La quantité d'armatures de liaison mises en place (2 lits d'armatures par nappe : 2 x HA8/150 mm soit 6,70 cm²/m) est supérieure à la quantité d'aciers nécessaire calculée.

La quantité d'aciers de liaison au droit du joint est donc vérifiée.

1.3 Vérification du monolithisme de la section

1.3.1 Recouvrement des armatures

Les armatures de liaison dans le mur à coffrage intégré considéré dans cet exemple sont constitués d'armatures de diamètre 8 mm espacés tous les 150 mm.

On considère que le recouvrement à gauche du joint est réalisé par une barre terminée par une boucle et que le recouvrement à droite du joint est réalisé par des armatures droites.

Le recouvrement des armatures est vérifié conformément à l'article 8.7 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale. Le calcul du recouvrement à gauche et à droite du joint est mené successivement. La longueur de recouvrement retenue pour chacun des côtés du joint est la valeur maximale calculée en considérant successivement la résistance du béton préfabriqué puis celle du béton du noyau coulé en place.

- **Calcul du recouvrement des armatures droites dans le voile préfabriqué**

La longueur de recouvrement de calcul l_0 est donnée par l'expression ci-après :

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

Avec $l_{0,min}$ la longueur de recouvrement minimale donnée par l'expression :

$$l_{0,min} > max \begin{cases} 200\,mm \\ 15\phi_{p1} \\ 0{,}3\alpha_6 l_{brqd} \end{cases}$$

Avec $l_{b,rqd}$ la longueur d'ancrage de référence définie par :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_{p1}}{4} \frac{\sigma_{Sd}}{f_{bd,p}}$$

La contrainte de calcul σ_{Sd} dans les aciers n'étant pas connue, nous prendrons σ_{Sd} égale à fyd (f_{yk}/γ_s = 435 MPa)

La contrainte ultime d'adhérence $f_{bd,p}$ dans le béton préfabriqué est égale à :

$$f_{bd,p} = 2{,}25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd,p}$$

Les conditions d'adhérence sont bonnes au sens de l'article 8.4.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale, soit un coefficient lié aux conditions d'adhérence et à la position des armatures au cours du bétonnage η_1 égal à 1. Le coefficient η_2 lié au diamètre de la barre à recouvrir est égal à 1 car le diamètre de la barre ϕ_{p1} de l'armature de liaison égal à 8 mm est inférieur à 20 mm.

La contrainte ultime d'adhérence est alors égale à :

$$f_{bd,p} = 2{,}25 \times 1 \times 1 \times 1{,}82 = 4{,}09\,\text{MPa}$$

On en déduit que la longueur d'ancrage de référence est égale à :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_{p1}}{4} \times \frac{435}{4{,}09} = 26{,}59\phi_l = 26{,}59 \times 8 \approx 210\,mm$$

On considère que 100 % des barres sont en recouvrement : le coefficient α_6 est pris égal à 1,5.

La longueur de recouvrement minimale est de 20 cm :

$$l_{0,min} > \max\begin{cases} 200\,mm \\ 15\phi_{p1} = 15\times 8 = 120\,mm \\ 0{,}3\times\alpha_6\times l_{b,rqd} = 0{,}3\times 1{,}5\times 210 = 94\,mm \end{cases} = 200\,mm$$

Les armatures de recouvrement sont droites : le coefficient α_1 est donc pris égal à 1.

Pour une classe d'exposition XC1 ($a_{e,1,min}$ égale à 15 mm), l'application numérique conduit à une distance nominale libre a_{h1} entre l'armature de liaison horizontale disposée au droit du joint et la face intérieure du premier voile préfabriqué égale à 27 mm.

Conformément à la figure 8.3 de la norme NF EN 1992-1-1, pour une barre droite, le coefficient c_d est égal à :

$$c_d = \min(a/2; c_1; c)$$
$$c_d = \min(s_{p1}/2; 20) = \min(200/2; 20) = \min(100; 20) \approx 20\,mm$$

Avec a l'espacement entre les barres droites dans le voile préfabriqué égal à l'espacement des barres horizontales s_{p1} et c l'enrobage de ces armatures par rapport à la face extérieure du voile préfabriqué égal à e_1 (20 mm).

Le coefficient α_2 tenant compte de l'effet de l'enrobage minimal, compris dans l'intervalle [0,7 ; 1] est donné par l'expression ci-après :

$$\alpha_2 = \max\left(1 - 0{,}15\times\frac{c_d - \phi_{p1}}{\phi_{p1}}; 0{,}7\right) = \max\left(1 - 0{,}15\times\frac{20-8}{8}; 0{,}7\right) = 0{,}78$$

Le coefficient α_2 est donc égal à 0,78.

Les coefficients α_3, α_4 et α_5 sont pris égaux à 1.

Pour résumer, les valeurs de α_1, α_2, α_3, α_4, α_5 et α_6 sont les suivantes :

Coefficients	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
Valeurs numériques	1	0,78	1	1	1	1,5

La longueur de recouvrement de calcul l_0 est donnée par l'expression ci-après :

$$l_0 = 1\times 0{,}78\times 1\times 1\times 1\times 1{,}5\times 210 \approx 250\,mm \geq l_{0,min} = 200\,mm$$

Les barres en recouvrement sont éloignées d'une distance plus grande que $\min(4\phi_{p1}$;50 mm) (égale à 32 mm) ; la longueur de recouvrement est donc majorée de la distance d_0 conformément à l'article 8.7.2 (3) de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale. La distance d_0 entre l'armature de liaison dans le noyau et l'armature du voile préfabriqué est égale à 54 mm.

La longueur de recouvrement calculée pour les armatures droites dans les voiles préfabriqués est donc égale à 30 cm.

- **Calcul du recouvrement des armatures de liaison dans le noyau coulé sur chantier**

Recouvrement à droite du joint : armatures de liaison droite

La longueur de recouvrement de calcul l_0 est donnée par l'expression ci-après :

$$l_0 = \alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5\alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

Avec l_0,min la longueur de recouvrement minimale donnée par l'expression :

$$l_{0,min} > max\begin{cases} 200\,mm \\ 15\phi_l \\ 0{,}3\alpha_6 l_{brqd} \end{cases}$$

Avec lb,rqd la longueur d'ancrage de référence définie par :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_l}{4}\frac{\sigma_{Sd}}{f_{bd,n}}$$

La contrainte de calcul σ_{Sd} dans les aciers n'étant pas connue, nous prendrons σ_{Sd} égale à f_{yd} (f_{yk}/Y_s = 435 MPa).

La contrainte ultime d'adhérence $f_{bd,n}$ dans le béton du noyau coulé en place est égale à :

$$f_{bd,n} = 2{,}25\times\eta_1\times\eta_2\times f_{ctd,n}$$

Les conditions d'adhérence sont bonnes au sens de l'article 8.4.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale, soit un coefficient lié aux conditions d'adhérence et à la position des armatures au cours du bétonnage η_1 égal à 1. Le coefficient η_2 lié au diamètre de la barre à recouvrir est égal à 1 car le diamètre de la barre ϕ_l de l'armature de liaison égal à 8 mm est inférieur à 20 mm.

La contrainte ultime d'adhérence dans le béton du noyau coulé en place est ainsi égale à :

$$f_{bd,n} = 2{,}25\times 1\times 1\times 1{,}20 = 2{,}69\,MPa$$

On en déduit que la longueur d'ancrage de référence vaut :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_l}{4}\times\frac{435}{2{,}69} = 40{,}42\phi_l = 40{,}42\times 8 \approx 320\,mm$$

On considère que 100 % des barres sont en recouvrement : le coefficient α_6 est pris égal à 1,5.

La longueur de recouvrement minimale est de 20 cm :

$$l_{0,min} > \max\begin{cases} 200\,mm \\ 15\,\phi_l = 15\times 8 = 120\,mm \\ 0{,}3\times\alpha_6\times l_{b,rqd} = 0{,}3\times 1{,}5\times 320 = 144\,mm \end{cases} = 200\,mm$$

Les armatures de liaison dans le noyau coulé en place sont droites : le coefficient α_1 est donc pris égal à 1.

La distance nominale libre a_{h1} entre l'armature de liaison horizontale droite disposée au droit du joint et la face intérieure du premier voile préfabriqué est égale à :

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

Pour une classe d'exposition XC1 ($a_{e,1,min}$ égale à 15 mm), l'application numérique conduit à une distance nominale libre a_{h1} entre l'armature de liaison horizontale disposée au droit du joint et la face intérieure du premier voile préfabriqué égale à :

$$a_{h1} = \max(25;\ 1{,}7 \times 16) + 15 - 15 = 27\,\text{mm}$$

Conformément à la figure 8.3 de la norme NF EN 1992-1-1, pour une barre droite, le coefficient c_d est égal à :

$$c_d = \min(a/2;\ c_1;\ c)$$
$$c_d = \min(s_l/2;\ a_{h1} + b_{p1}) = \min(150/2;\ 27 + 55) = \min(75;\ 82) \approx 75\,\text{mm}$$

Avec a l'espacement entre les barres droite égal à l'espacement des barres de liaison s_l et c l'enrobage de ces armatures par rapport à la face extérieure du voile préfabriqué.

Le coefficient α_2 tenant compte de l'effet de l'enrobage minimal, compris dans l'intervalle [0,7 ; 1] est donné par l'expression ci-après :

$$\alpha_2 = \max\left(1 - 0{,}15 \times \frac{c_d - \phi_l}{\phi_l};\ 0{,}7\right) = \max\left(1 - 0{,}15 \times \frac{75-8}{8};\ 0{,}7\right) = 0{,}7$$

Le coefficient α_2 est donc égal à 0,7.

Les coefficients α_3, α_4 et α_5 sont pris égaux à 1.

Pour résumer, les valeurs de α_1, α_2, α_3, α_4, α_5 et α_6 sont les suivantes :

Coefficients	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
Valeurs numériques	1	0,7	1	1	1	1,5

La longueur de recouvrement de calcul l_0 est donnée par l'expression ci-après :

$$l_0 = 1 \times 0{,}7 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1{,}5 \times 320 \approx 340\,mm \geq l_{0,min} = 200\,mm$$

Les barres en recouvrement sont éloignées d'une distance plus grande que min(4ϕ_l ; 50 mm) (égale à 32 mm) ; la longueur de recouvrement doit donc être majorée de la distance d_0 conformément à l'article 8.7.2 (3) de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

La distance d_0 entre l'armature de liaison dans le noyau et l'armature du voile préfabriqué est égale à :

$$d_0 = a_{h1} + b_{p1} - e_1 - \phi_{p1} = 27 + 55 - 20 - 8 = 54\,mm$$

La longueur de recouvrement des armatures de liaison droites ainsi calculée au droit du noyau en béton coulé en place est donc égale à 39 cm.

- **Recouvrement à gauche du joint : armatures de liaison terminées par une boucle**

La longueur de recouvrement de calcul l_0 est donnée par l'expression ci-après :

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

Avec $l_{0,min}$ la longueur de recouvrement minimale donnée par l'expression :

$$l_{0,min} > \max\begin{cases} 200\,\text{mm} \\ 15\phi_l \\ 0{,}3 \times \alpha_6 \times l_{b,rqd} \end{cases}$$

Avec $l_{b,rqd}$ la longueur d'ancrage de référence définie par :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_l}{4} \frac{\sigma_{Sd}}{f_{bd,n}}$$

La contrainte de calcul σ_{Sd} dans les aciers n'étant pas connue, nous prendrons σ_{Sd} égale à f_{yd} (f_{yk}/γ_s = 435 MPa).

La contrainte ultime d'adhérence $f_{bd,n}$ dans le béton préfabriqué est égale à :

$$f_{bd,n} = 2{,}25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd,n}$$

Les conditions d'adhérence sont bonnes au sens de l'article 8.4.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale, soit un coefficient lié aux conditions d'adhérence et à la position des armatures au cours du bétonnage η_1 égal à 1. Le coefficient η_2 lié au diamètre de la barre à recouvrir est égal à 1 car le diamètre de la barre ϕ_l de l'armature de liaison égal à 6 mm est inférieur à 20 mm.

La contrainte ultime d'adhérence dans le béton du noyau coulé en place est donc égale à :

$$f_{bd,n} = 2{,}25 \times 1 \times 1 \times 1{,}20 = 2{,}69\,\text{MPa}$$

On en déduit que la longueur d'ancrage de référence est égale à :

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_l}{4} \times \frac{435}{2{,}69} = 40{,}42\phi_l = 40{,}42 \times 8 \approx 320mm$$

On considère que 100 % des barres sont en recouvrement : le coefficient α_6 est pris égal à 1,5.

La longueur de recouvrement minimale est de 20 cm :

$$l_{0,min} > \max\begin{cases} 200\,\text{mm} \\ 15\phi_l = 15 \times 8 = 120\,\text{mm} \\ 0{,}3 \times \alpha_6 \times l_{b,rqd} = 0{,}3 \times 1{,}5 \times 320 = 144\,\text{mm} \end{cases} = 200\,\text{mm}$$

Les armatures de liaison dans le noyau coulé en place sont terminées par une boucle : le coefficient α_1 est donné par l'expression suivante :

$$\alpha_1 = 0{,}7 \quad \text{si } c_d > 3\phi_l$$
$$\alpha_1 = 1 \quad \text{sinon}$$

Le coefficient c_d est égal à l'enrobage de l'armature de liaison terminée par une boucle, soit de 82 mm (a_{h1} + b_{p1}) supérieur à 24 mm. Le coefficient α_1 est donc égal à 0,7.

Le coefficient α_2 est égal à :

$$\alpha_2 = \min\left\{1 ; \max\left\{0,7 ; 1-0,15\times\frac{c_d-3\phi_l}{\phi_l}\right\}\right\} = 0,7$$

Les coefficients α_3, α_4 et α_5 sont pris égaux à 1.

Pour résumer, les valeurs de α_1, α_2, α_3, α_4, α_5 et α_6 sont les suivantes :

Coefficients	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
Valeurs numériques	0,7	0,7	1	1	1	1,5

La longueur de recouvrement de calcul l_0 est donnée par l'expression ci-après :

$$l_0 = 0,7\times0,7\times1\times1\times1\times1,5\times320 \approx 240\,mm \geq l_{0,min} = 200\,mm$$

Les barres en recouvrement sont éloignées d'une distance plus grande que min($4\phi_{p1}$;50 mm) (égale à 32 mm) ; la longueur de recouvrement est donc majorée de la distance d_0 conformément à l'article 8.7.2 (3) de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale. La distance d_0 entre l'armature de liaison dans le noyau et l'armature du voile préfabriqué est égale à 54 mm.

La longueur de recouvrement calculée dans le cas d'armatures de liaison terminées par une boucle est donc égale à 29 cm.

- **Récapitulatif des longueurs de recouvrement**

Le *Tableau 7* présente un récapitulatif avec les longueurs de recouvrement calculées et retenues à gauche et à droite du joint.

Sous l'hypothèse de calcul retenue (x égale à 27,5 cm), la longueur de l'armature de liaison disponible à gauche du joint est donc égale à 25,5 cm pour tenir compte de l'enrobage de 20 mm des armatures dans le voile préfabriqué (*Figure 1*). Avec cette longueur de 25,5 cm, le taux de travail de l'armature de liaison est donc égale à (255 – 54)/(290 – 54) x 100 = 85 %. La section d'armatures de liaison effective est donc égale à 85 % x 6,70 cm²/ml = 5,69 cm²/ml. De même, avec cette longueur de 25,5 cm, le taux de travail de l'armature dans le voile préfabriqué est donc égal à (255 – 54)/(300 – 54) x 100 = 82 %. La section d'armatures effective dans les voiles préfabriqués est donc égale à 82 % x 2 x 2,51 cm²/ml = 4,12 cm²/ml et est supérieure à 3,06 cm²/ml calculée en *Annexe II, paragraphe 2.2.*

***Nota** : compte-tenu que la section d'armatures effective calculée dans le mur à coffrage intégré est de 4,12 cm²/ml, la longueur de recouvrement à droite calculée (39 cm) pour un taux de travail de 100 % des armatures de liaison (6,70 cm²/ml) peut être réduite de la façon suivante :*

$$\frac{4,12}{6,70}\times(390-54)+54 = 260\,mm$$

La distance x correspondant entre l'extrémité de l'armature et l'about du voile préfabriqué est donc égale à droite du joint à 260 mm + 20 mm d'enrobage = 280 mm.

Tableau 7 – Récapitulatif des longueurs de recouvrement calculées et retenues à gauche et à droite du joint.

	À gauche du joint (armature de liaison coudée)	À droite du joint (armature de liaison droite)
Longueur de recouvrement des armatures du voile préfabriqué	30 cm	30 cm
Longueur de recouvrement des armatures de liaison	29 cm	39 cm
Longueur de recouvrement minimale ($l_{0,min}$ [Eq. 8.11 NF EN 1992-1-1] + d_0)	20 + 5,4 = 25,4 cm	20 + 5,4 = 25,4 cm
Longueur de recouvrement calculée (taux de travail des armatures de 100 %) max ($l_{0,préfa}$; $l_{0,noyau}$)	30 cm	39 cm
Longueur de recouvrement retenue (correspond à une section d'armatures effective de 4,12 cm²/ml)	25,5 cm	26 cm *(Nota)*
Distance x entre l'extrémité de l'armature dans le noyau et l'about du voile préfabriqué	25,5 + 2 = 27,5 cm	26 + 2 = 28 cm *(Nota)*

1.3.2 Vérification de la liaison avec ou sans couture aux abouts

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.

Nota 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 8* pour les combinaisons d'actions en situation durables ou transitoires (fondamentales) au sens de l'article 6.4.3.2 et de l'*annexe A1* de la norme NF EN 1990.

Tableau 8 : valeurs des coefficients c et μ

Combinaisons à ELU	Situations durables ou transitoires
c	0,18
μ	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, les efforts résistants sont déterminés par l'expression ci-après (1.1.1.8) :

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

Avec :

$f_{ctd,n}$ la résistance de calcul en traction du béton du noyau ;

f_{yd} la limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé ;

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 ;

α l'angle d'inclinaison de l'armature de couture par rapport au contour de liaison (90°).

Nous examinons successivement les deux cas suivants, en considérant le côté gauche du joint avec le recouvrement réalisé par une barre terminée par une boucle :

- liaison sans couture aux abouts ;
- liaison avec couture aux abouts : armatures de diamètre 8 mm, espacés tous les 150 mm.
- **Cas 1 : liaison sans couture aux abouts et armatures de liaison terminées par une boucle à gauche du joint**

Le schéma de liaison sans couture des abouts est présenté sur la *Figure 3*. Les caractéristiques du béton, des aciers et du mur à coffrage intégré ont été précisées dans les paragraphes précédents.

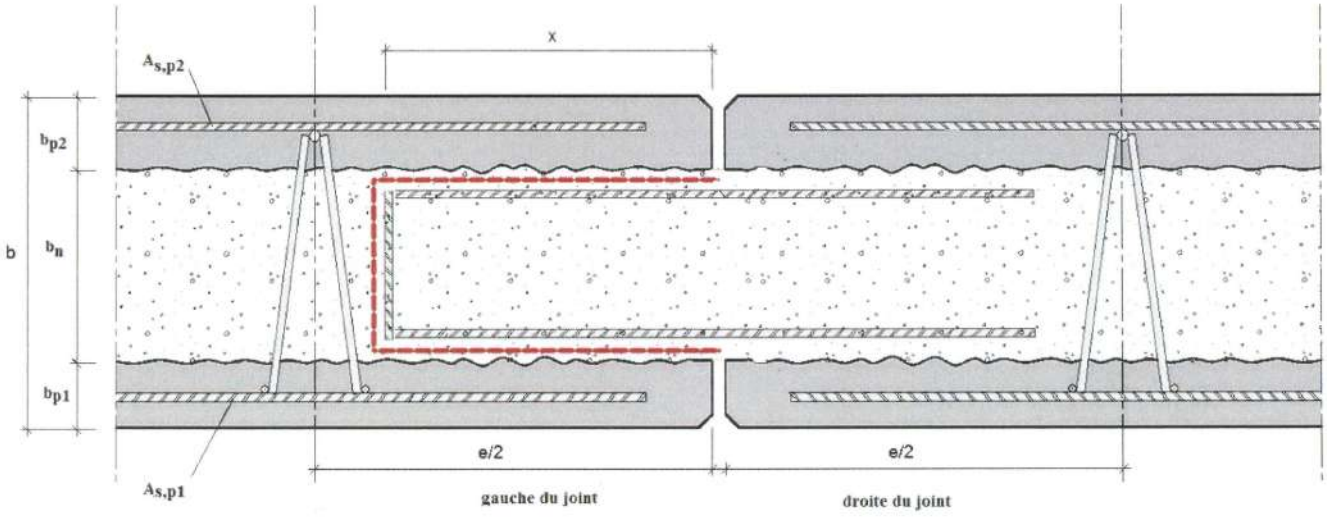


Figure 3 – Liaison sans couture des abouts (en pointillé, le contour de liaison à gauche du joint)

La contrainte normale à l'interface σ_n est nulle.

Compte-tenu des hypothèses de calcul retenues, l'équation de l'effort tranchant résistant de calcul se réduit à l'expression suivante :

$$V_{Rd} = \left(cf_{ctd,n} \times 2x \right) \times 1$$

Pour les calculs, nous avons pris la distance x égale à 27,5 cm.

Le *Tableau 9* présente les résultats de l'application numérique de l'effort tranchant résistant de calcul $V_{Rd,j}$ au droit du joint dans le cas d'une liaison sans couture aux abouts et dans le cas de situations durables ou transitoires.

Tableau 9 – Effort tranchant résistant de calcul dans le cas d'une liaison sans couture aux abouts

	Situations durables ou transitoires
$(cf_{ctd,n}).2x$	132 kN/ml
$\mu.\sigma_n.2x$	0
$\mu.\rho.f_{yd}.2x$	0
$V_{Rd,j}$	132 kN/ml

L'effort tranchant résistant de calcul dans le cas d'une liaison sans couture aux abouts (égal à 132 kN/m) est inférieur à l'effort tranchant sollicitant de calcul (égal à 176 kN/m) : des armatures de couture aux abouts sont donc nécessaires.

- **Cas 2 : liaison avec couture aux abouts et armatures de liaison terminées par une boucle à gauche du joint**

Le schéma de liaison avec coutures aux abouts est présenté sur la Figure 4. Les caractéristiques du béton, des aciers et du mur à coffrage intégré sont présentées dans les paragraphes précédents.

La contrainte normale à l'interface σ_n est nulle.

Le pourcentage ρ d'armatures A_{cout} traversant l'interface voile préfabriqué/noyau coulé en place sur la distance x est égal à 0,122 %.

Le *Tableau 10* présente les résultats du calcul de l'effort tranchant résistant de calcul dans le cas d'une liaison avec couture aux abouts, pour des situations durables ou transitoires.

Tableau 10 – Effort tranchant résistant de calcul dans le cas d'une liaison avec couture aux abouts

	Situations durables ou transitoires
$(cf_{ctd,n}).2x$	132 KN/ml
$\mu.\sigma_n.2x$	0
$\mu.\rho.fyd.2x$	175 kN/ml
$V_{Rd,j}$	307 kN/ml

L'effort tranchant résistant dans la situation de calcul durable ou transitoire (307 kN/m) est supérieur à l'effort tranchant sollicitant de calcul (176 kN/m). La couture aux abouts avec des armatures de diamètre 8 mm tous les 15 cm est donc vérifiée.

2. Mur à coffrage intégré avec dispositions d'armatures minimales

On s'intéresse dans cette seconde partie à un mur faiblement armé d'épaisseur inférieure à 25 cm. La vérification de la liaison est menée en partie intermédiaire du panneau. Le ferraillage horizontal de la liaison au droit du joint doit constituer au minimum une armature de peau de 0,96 cm² par mètre linéaire, avec un espacement maximal de 0,33 m, au sens de l'article 9.6.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

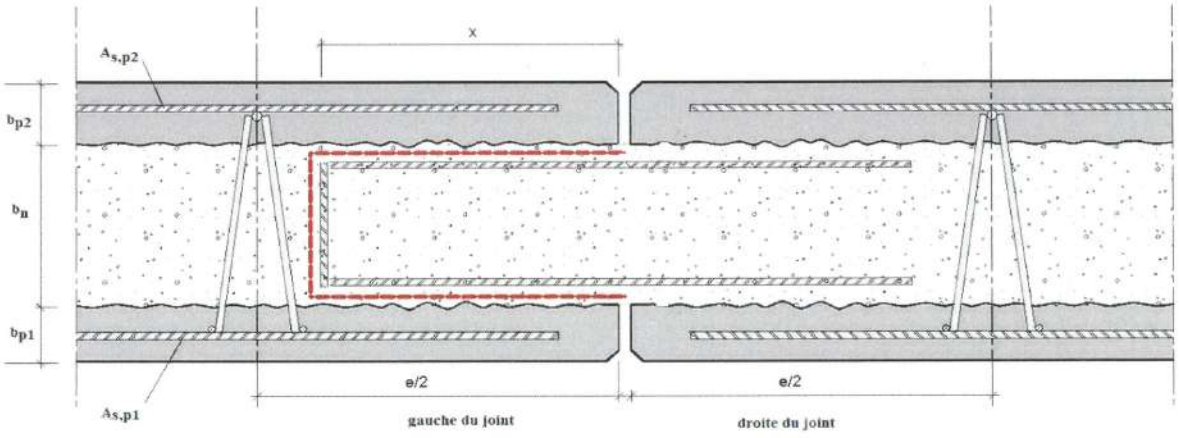


Figure 4 – Liaison avec couture des abouts (en pointillé, le périmètre de liaison à gauche du joint)

2.1 Données du calcul

2.1.1 Caractéristiques du mur à coffrage intégré

Les caractéristiques des voiles préfabriqués sont données dans le tableau ci-dessous. Le ferraillage horizontal des voiles préfabriqués est donné dans le tableau ci-dessous et sur la *Figure 5*. Le ferraillage horizontal au droit des joints des voiles préfabriqués est donné dans le *Tableau 13*.

Tableau 11 – Dimensions du panneau

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Épaisseur du premier voile préfabriqué	b_{p1}	55 mm
Épaisseur du second voile préfabriqué	b_{p2}	50 mm
Épaisseur du noyau	b_n	95 mm
Épaisseur totale	b	200 mm
Longueur des panneaux	L	26,2 m
Hauteur des panneaux	h	3,93 m

Tableau 12 – Caractéristiques des armatures dans les voiles préfabriqués

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Diamètre et espacement des armatures du premier voile préfabriqué	ϕ_{p1}/s_{p1}	6 mm/240 mm
Quantité d'armatures dans le voile préfabriqué	A_{p1}	118 mm²/ml
Enrobage des armatures perpendiculaire au treillis raidisseur, du 1er voile préfabriqué	e_1	20 mm

Tableau 13 – Caractéristiques des armatures de liaison au droit du joint

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Diamètre des armatures de liaison au droit du joint	ϕ_j	6 mm
Nombre d'armatures de liaison au droit du joint		2
Espacement des armatures de liaison au droit du joint	s_j	240 mm
Quantité d'armatures de liaison par mètre linéaire	A_{lj}	236 mm²/ml

Le ferraillage constituant les armatures en U aux abouts des murs à coffrage intégré est précisé dans le tableau ci-dessous si elles sont nécessaires pour assurer la capacité résistante de la liaison.

Tableau 14 – Armatures de couture aux abouts si nécessaire

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Diamètre des armatures de couture aux abouts	ϕ_{cout}	6 mm
Espacement des armatures	s_{cout}	240 mm
Quantité d'armatures de couture par mètre linéaire de chaque côté du joint	A_{cout}	118 mm²/ml

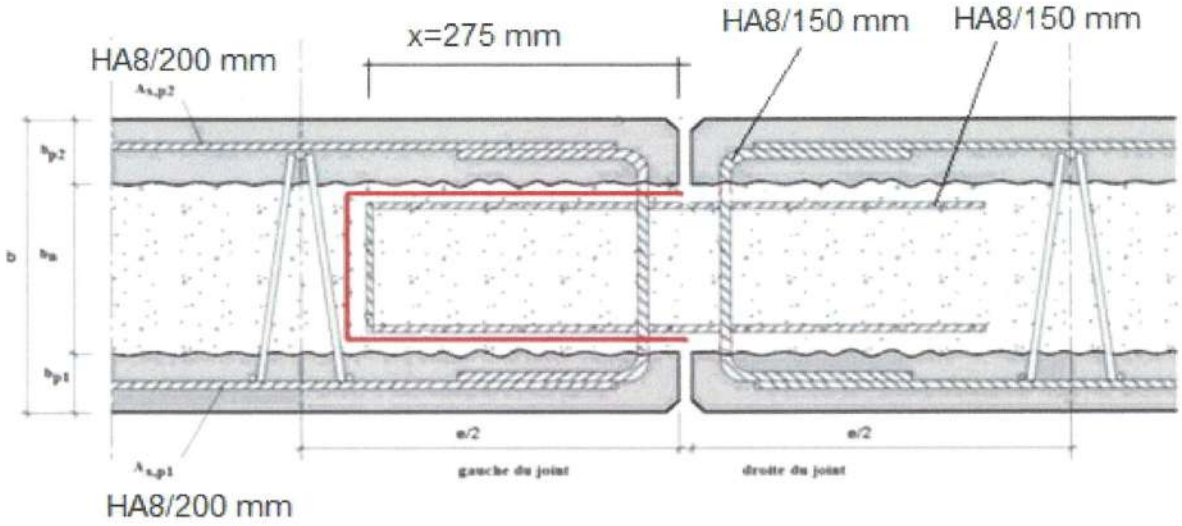


Figure 5 – Ferraillage mis en place au droit du joint pour le mur avec dispositions d'armatures minimales

Les caractéristiques des bétons sont données dans les tableaux ci-dessous (les différentes valeurs de résistance sont calculées conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale). Le béton des voiles préfabriqués appartient à la classe C40/50 et le béton du noyau coulé en place appartient à la classe C25/30. Le diamètre maximal des granulats D_{max} utilisés pour la confection des bétons est de 16 mm. Le coefficient partiel relatif au matériau béton préfabriqué est réduit $\gamma_{c,pcred}$ et pris égal à 1,35 puisque les voiles préfabriqués des murs à coffrage intégré sont associés à un système d'assurance de la qualité et à une attestation de conformité, au sens de l'Annexe A de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

Tableau 15 – Caractéristiques du béton des voiles préfabriqués du mur à coffrage intégré

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Résistance à la compression du béton	$f_{ck,p}$	40 MPa
Résistance de calcul à la compression du béton	$f_{cd,n}$	29,63 MPa
Valeur moyenne de la résistance à la traction axiale	$f_{ctm,p}$	3,51 MPa
Résistance caractéristique à la traction d'ordre 5 %	$f_{ctk,5\ \%,p}$	2,46 MPa
Résistance de calcul à la traction	$f_{ctd,p}$	1,82 MPa
Coefficient partiel de sécurité sur le matériau béton préfabriqué	$Y_{c,pcred}$	1,35

Tableau 16 – Caractéristiques du béton coulé en place du noyau

Dénomination	Notation	Valeur numérique
Résistance à la compression du béton	$f_{ck,n}$	25 MPa
Résistance de calcul à la compression du béton	$f_{cd,n}$	16,67 MPa
Valeur moyenne de la résistance à la traction axiale	$f_{ctm,n}$	2,56 MPa
Résistance caractéristique à la traction d'ordre 5 %	$f_{ctk,5\ \%,n}$	1,80 MPa
Résistance de calcul à la traction	$f_{ctd,n}$	1,20 MPa
Coefficient partiel de sécurité sur le matériau béton préfabriqué	$Y_{c,n}$	1,5

2.2 Vérification du monolithisme de la section

2.2.1 Recouvrement des armatures

Les armatures de liaison dans le mur à coffrage intégré considéré dans cet exemple sont constituées d'armatures de diamètre 6 mm espacées tous les 240 mm.

On considère que le recouvrement à gauche du joint est réalisé par une barre terminée par une boucle et que le recouvrement à droite du joint est réalisé par des armatures droites (comme dans la partie concernant les murs soumis à des sollicitations notables).

Le recouvrement des armatures est vérifié conformément à l'article 8.7 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale. Le calcul du recouvrement à gauche et à droite du joint est mené successivement. La longueur de recouvrement retenue pour chacun des côtés du joint est la valeur maximale calculée en considérant successivement les armatures dans le béton du voile préfabriqué puis celles dans le béton du noyau coulé en place.

Les calculs de recouvrement sont menés de la même manière que dans le cas des murs soumis à des sollicitations notables.

La quantité d'armatures de liaison mises en place (2,36 cm²/ml) est supérieure à la quantité minimale requise (0,96 cm²/ml) travaillant à la contrainte de calcul σ_{sd} (égale à f_{yd}), on prendra alors, pour le calcul de la longueur d'ancrage de référence, une contrainte de calcul dans les armatures de liaison égale à : $A_{lj,min} \times f_{yd} / A_{lj}$ = 177 MPa. De même, la quantité d'armatures dans le mur à coffrage intégré (2 x 1,18 cm²/ml) est supérieure à la quantité minimale requise, on prendra alors, pour le calcul de la longueur d'ancrage de référence, une contrainte de calcul dans les armatures du voile préfabriqué égale à : $A_{lj,min} \times f_{yd} / (A_{p1} + A_{p2})$ = 177 MPa.

Les armatures en recouvrement sont séparées d'une distante d_0 égale à 56 mm supérieure à min(4ϕ ; 50 mm) = 24 mm. Les longueurs de recouvrement calculées présentées dans le Tableau 9Tableau 9 sont donc majorées de la distance d_0 conformément à l'article 8.7.2 (3) de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

On retient une longueur de recouvrement de 25,5 cm identique au cas précédent.

Le *Tableau 17* présente un récapitulatif des longueurs de recouvrement calculées et retenues à gauche et à droite du joint.

2.2.2 Vérification de la liaison avec ou sans couture aux abouts

Les calculs sont menés avec les mêmes hypothèses de calcul que dans le cas des murs soumis à des sollicitations notables. Nous examinons tout d'abord le cas de la liaison sans couture aux abouts.

Le schéma de liaison sans couture des abouts est présenté sur la *Figure 5*. Les caractéristiques du béton, des sections d'armatures et du mur à coffrage intégré ont été précisées dans les paragraphes précédents.

Compte-tenu des hypothèses de calcul retenues, l'équation de l'effort tranchant résistant de calcul se réduit à l'expression suivante :

$$V_{Rd} = (cf_{ctd,n} \times 2x) \times 1$$

Pour les calculs, nous avons pris une distance x égale à 27,5 cm (≈27,6 cm).

Le *Tableau 18* présente les résultats de l'application numérique de l'effort tranchant résistant de calcul au droit du joint $V_{Rd,j}$ dans le cas d'une liaison sans couture aux abouts et dans le cas de situations durables ou transitoires.

Tableau 18 – Effort tranchant résistant de calcul dans le cas d'une liaison sans couture aux abouts pour un mur avec dispositions d'armatures minimales

	Situations durables ou transitoires
$(cf_{ctd,n}).2x$	132 kN/ml
$\mu.\sigma_n.2x$	0
$\mu.\rho.f_{yd}.2x$	0
$V_{Rd,j}$	132 kN/ml

L'effort tranchant résistant de calcul dans le cas d'une liaison sans couture aux abouts pour des cas de situations durables ou transitoires est égal à 132 kN/m.

Par ailleurs, la section d'armatures minimales de liaison $A_{lj,min}$ de 0,96 cm²/ml, mises en place au droit du joint, reprend :

$$A_{lj,min} \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times 10^3 = 0{,}96 \times 10^{-4} \times \frac{500}{1{,}15} \times 10^3 = 41{,}70\,\text{kN/m} \leq 132\,\text{kN/m}$$

L'effort tranchant résistant de calcul dans le cas d'une liaison sans couture aux abouts pour des cas de situations durables ou transitoires est donc suffisant. Des armatures de couture aux abouts ne sont pas nécessaires.

Tableau 17 – Récapitulatif des longueurs de recouvrement calculées à gauche et à droite du joint

	À gauche du joint (barre coudée)	À droite du joint (barre droite)
Longueur de recouvrement des armatures du voile préfabriqué	12	12
Longueur de recouvrement des armatures de liaison	13	16
Longueur de recouvrement calculée $\max(l_{0,préfa} ; l_{0,noyau})$	max(12 cm ;13 cm) = 13 cm	max (12 cm ; 16 cm) = 16 cm
Longueur de recouvrement minimale ($l_{0,min}$ [Eq. 8.11 NF EN 1992-1-1] + d_0)	20 + 5,6 = 25,6 cm	20 + 5,6 = 25,6 cm
Longueur de recouvrement retenue	25,6 cm	25,6 cm

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

Cette annexe décrit à titre d'illustration, la détermination des pourcentages ρ_α et ρ_α' 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 : treillis raidisseurs courants de section triangulaire, type treillis Warren**

Le treillis raidisseur étudié est représenté sur la figure ci-dessous.

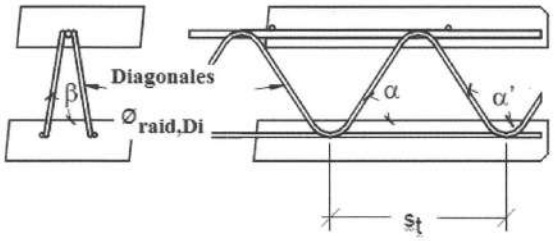


Figure 1 – Treillis raidisseur de section triangulaire, type treillis Warren

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

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

Les caractéristiques du treillis sont présentées dans le *Tableau 1*.

Tableau 1 – Caractéristiques dimensionnelles du treillis raidisseur type treillis Warren

Désignation	Notation	Valeurs numériques
Section d'une diagonale	$A_{raid,Di}$	0,1963 cm²
Espacement des treillis raidisseurs	e	60 cm
Pas de la sinusoïde	s_t	20 cm
Inclinaison des diagonales du treillis raidisseur	β	86°
	sin(β)	0,997

Le pourcentage d'armatures ρ_α et ρ_α' 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 ρ_α' 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 : treillis raidisseurs courants de section triangulaire avec double sinusoïde

Le treillis raidisseur étudié est représenté sur la *Figure 2*.

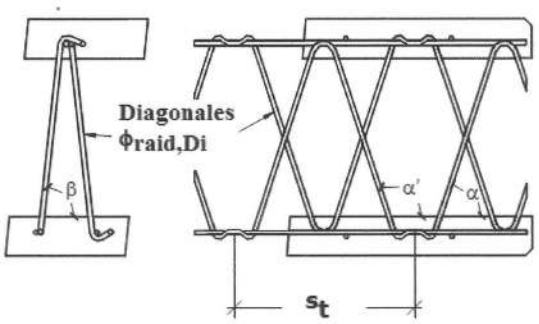


Figure 2 – Treillis raidisseur de section triangulaire avec double sinusoïde

Les caractéristiques du treillis raidisseur sont présentées dans le *Tableau 2*.

Tableau 2 – Caractéristiques dimensionnelles du treillis de section triangulaire avec double sinusoïde

Désignation	Notation	Valeurs numériques
Section d'une diagonale du treillis raidisseur	$A_{raid,Di}$	0,2860 cm²
Espacement des treillis raidisseurs	e	60 cm
Pas de la sinusoïde	s_t	30 cm
Inclinaison des diagonales du treillis raidisseur	β	86°
	sin(β)	0,997

Le pourcentage d'armatures ρ_α et ρ_α' 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 :

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

On obtient des pourcentages d'armatures transversales ρ_α et ρ_α' ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' dans le sens longitudinal de 0,0313 %.

Annexe IV
Principe et exemple de calcul de la contrainte de cisaillement limite $\tau_{Ed,lim}$ à l'interface entre le béton des voiles préfabriqués et le béton coulé en place du noyau

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 :

$$\tau_{Ed,lim} = min\, max \begin{cases} v_{Rdi} = cf_{ctd,n} + \rho_\alpha f_t(\mu sin\alpha + cos\alpha) + \rho_{\alpha'} f_{t'}(\mu sin\alpha' + cos\alpha) \\ v_{Rd,max} = 0{,}5vf_{cd,n} \end{cases}$$

Avec :

$f_{cd,n}$ la valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ;

$f_{ctd,n}$ la valeur de la résistance de calcul en traction du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1991-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1991-1-1/NA ;

f_t la contrainte mobilisable au niveau du plan de cisaillement oblique telle que :

$$f_t = \text{Min}\ (R_{e,Di} / \gamma_s\ ;\ F_W / (A_{Di}.\gamma_s))\ ;$$

$R_{e,Di}$ 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 ;

υ est un coefficient de réduction de la résistance du béton défini de la manière suivante :

$$\upsilon = 0{,}6\left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right)$$

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 c = 0,20. Sous charges dynamiques ou de fatigue, il convient de diviser par deux les valeurs du coefficient c, conformément à l'article 6.2.5 (5).

α et α' sont les inclinaisons des diagonales des treillis raidisseurs par rapport au plan de reprise dans le sens longitudinal ;

ρ_α et ρ_α' 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'0.

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 à coffrage intégré est réalisé à partir de treillis raidisseurs courants de section triangulaire, type treillis Warren, 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 reprise 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 IV.*

On obtient ainsi : $\rho_\alpha = \rho_\alpha' = 0{,}0326$ %.

La contrainte mobilisable ft au niveau du plan de cisaillement oblique dans chaque branche du treillis raidisseur est égale à 435 MPa.

On calcule successivement :

$$v_{Rdi} = 0{,}182.1{,}2 + 3{,}26.10^{-4}.435.(0{,}6.\sin 56 + \cos 56) + 3{,}26.10^{-4}.435.(0{,}6.\sin 124 + \cos 124)$$

$$v_{Rdi} = 0{,}3598\ MPa$$

$$v_{Rdi} \leq 0{,}5.\upsilon.f_{cd} = 4{,}5\ MPa$$

La valeur de calcul de la contrainte de cisaillement $v_{Rd,i}$ à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place est donc égale à 0,359 MPa, dans le cas de situations durables ou transitoires.

$$\tau_{Ed,lim} = 0{,}38\ \text{MPa}$$

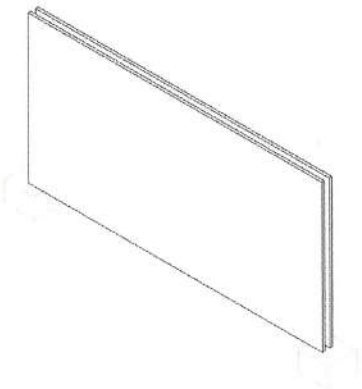
En resserrant les armatures suivant un espacement de 50 cm, le pourcentage d'armature ρ est alors égal à 0,0392 %. La valeur limite de calcul de la contrainte de cisaillement admissible à l'interface béton préfabriqué/ béton coulé en place devient, dans le cas de situations durables ou transitoires :

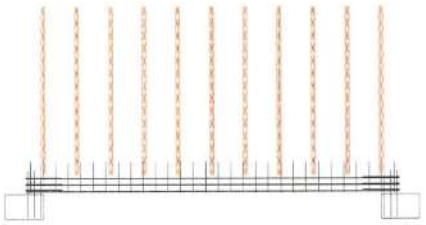
$$\tau_{Ed,lim} = 0{,}387\ \text{MPa}$$

Annexe V
Schémas de principe de réalisation des liaisons entre poutres-cloisons en mur à coffrage intégré

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

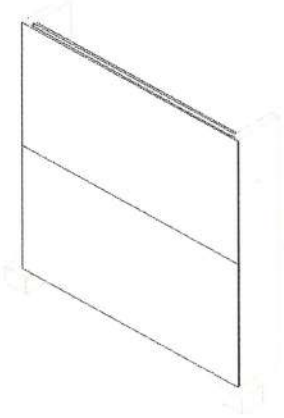
- Cas 1

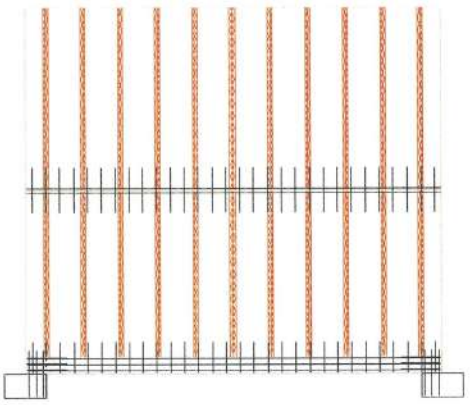




- Poutre-cloison réalisée en un seul tenant, avec intégration complète du tirant dans le mur à coffrage intégré.
- Cette solution ne nécessite pas de vérifications particulières étant donné l'absence de joints hormis la vérification du déversement si nécessaire.
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur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

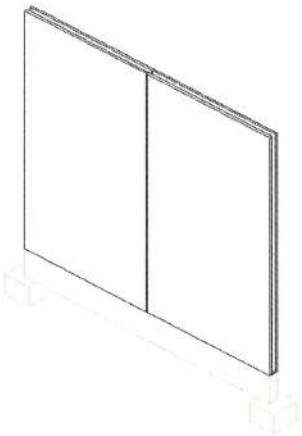
- Cas 2

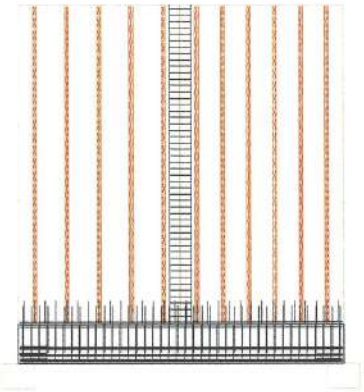




- Poutre-cloison réalisée en plusieurs murs à coffrage intégré superposés.
- Cette solution nécessite la vérification du joint à l'effort tranchant.
- Le type de liaison est choisi en fonction de l'effort à reprendre parmi les liaisons couturées.
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation.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

• Cas 3

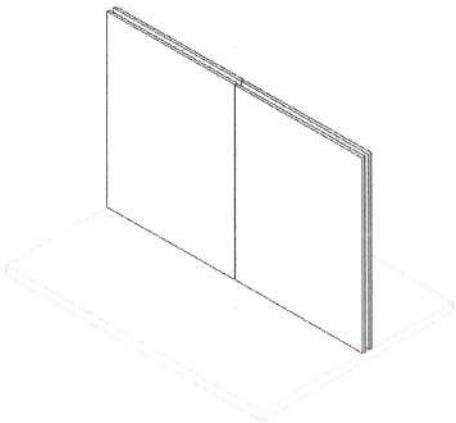


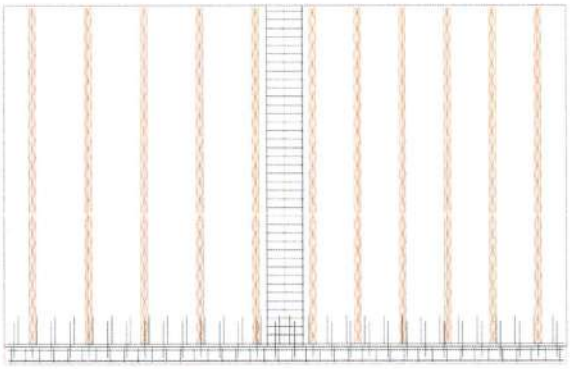


- Poutre-cloison en plusieurs parties.
- La zone du tirant est réalisée de manière traditionnelle ou à l'aide d'une pièce préfabriquée, la zone supérieure est constituée de murs à coffrage intégré.

- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre parmi les liaisons couturées.

• Cas 4



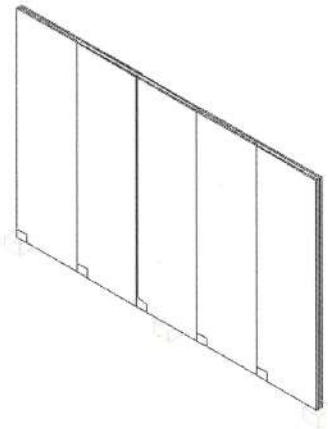


(Cf. Détails 24 de l'0)

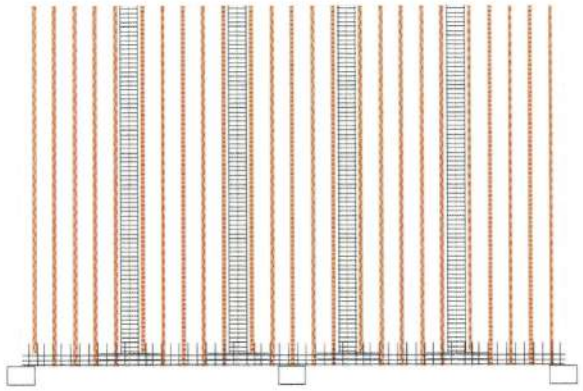
- Poutre-cloison reprenant la dalle inférieure.
- Le tirant de la poutre-cloison est disposé dans l'épaisseur de la dalle ou dans la partie inférieure du mur à coffrage intégré.

- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre parmi les liaisons couturées.

• Cas 5



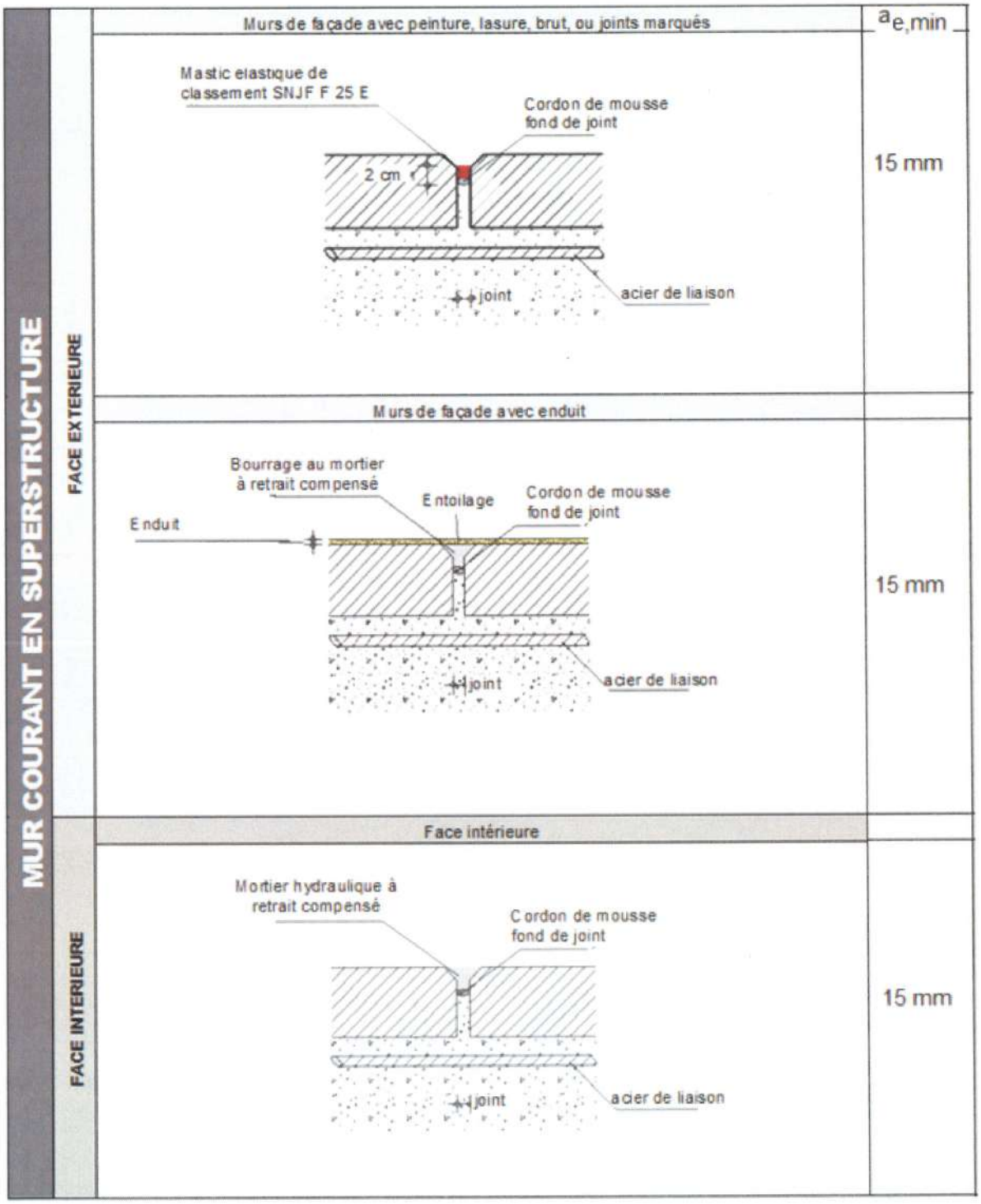
- Poutre-cloison réalisée entièrement en murs à coffrage intégré avec continuité sur une ou plusieurs travées.
- Les tirants de la poutre-cloison sont intégrés en partie inférieure et supérieure des murs à coffrage intégré, et éclissés au droit de joints.
- Une lumière en partie basse permet d'éclisser les filants inférieurs au droit des joints.
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation.
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre parmi les liaisons couturées.

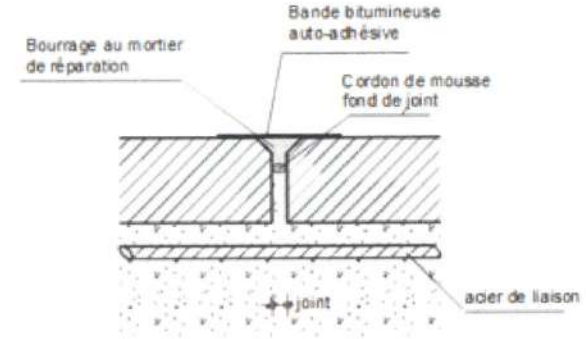
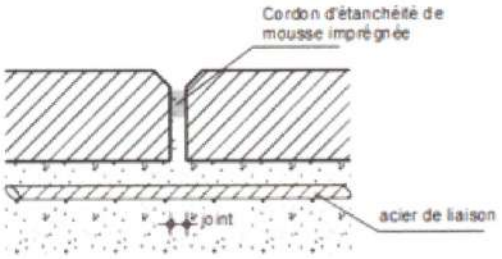
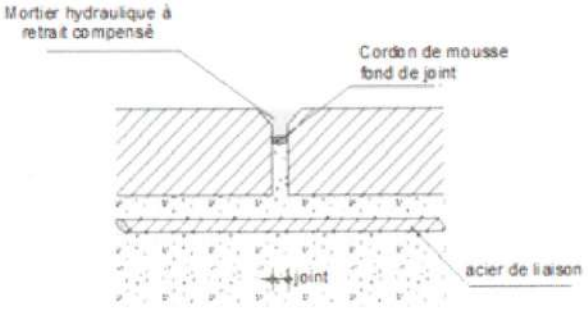


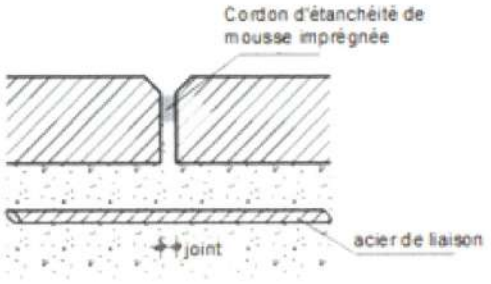
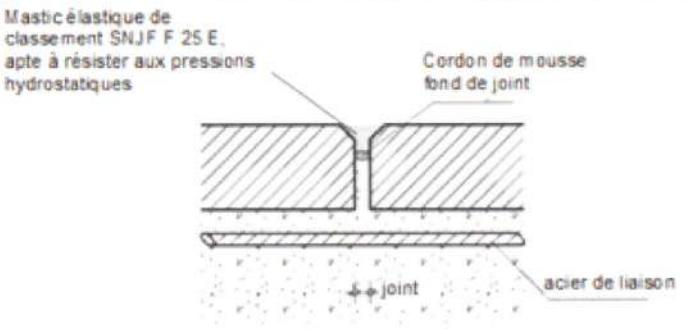
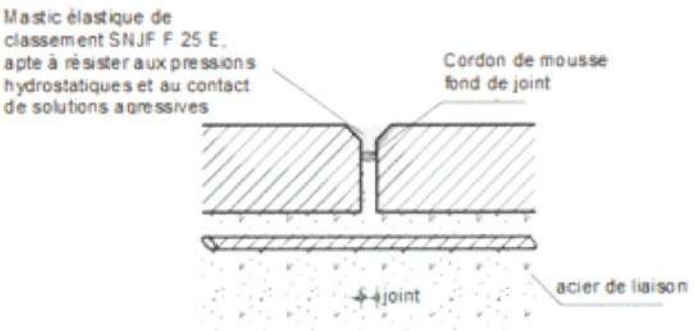
Variante :

- Le tirant supérieur peut être disposé entièrement dans la partie coulée en place (dalle, etc.).
- Le tirant inférieur peut être disposé dans un élément préfabriqué ou dans une dalle.

Annexe VI
Traitement des joints



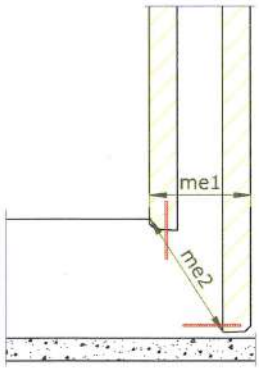
MUR COURANT EN INFRASTRUCTURE			$a_{e,min}$
	FACE EXTERIEURE CONTRE TERRE	Paroi accessible	
			15 mm
		Paroi non accessible (locaux non nobles)	
			30 mm
	FACE INTERIEURE	Face intérieure	
			15 mm

MUR SOUMIS A UNE PRESSION HYDROSTATIQUE			$a_{e,min}$
	FACE EXTERIEURE	Face en contact avec la terre 	30 mm
	FACE INTERIEURE (Réservoir)	Eau en pression 	30 mm
		Paroi en contact avec milieu agressif 	30 mm

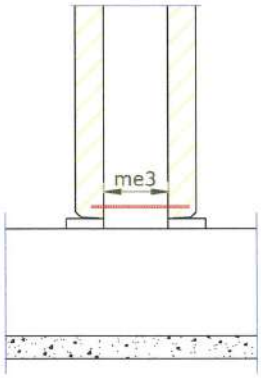
Annexe VII
Épaisseur minimale et longueur du chemin critique

Étanchéité en pied de Prémur

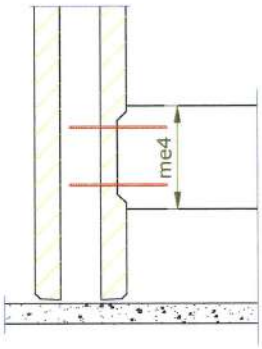
Cas 1



Cas 2

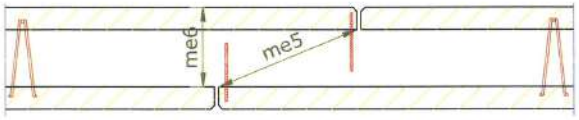


Cas 3

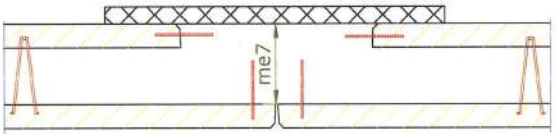


Étanchéité au droit d'un joint verticale droit

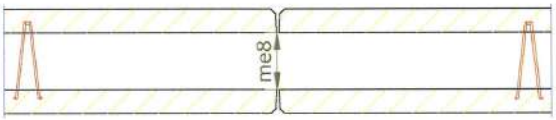
Cas 1



Cas 2



Cas 3

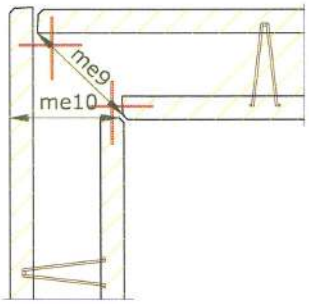


couture

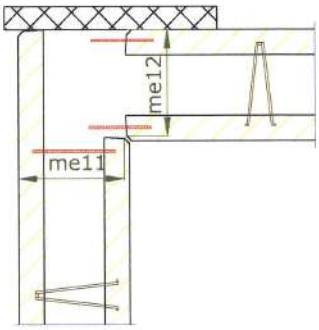
mei: mesure de l'épaisseur minimale requise

Étanchéité au droit d'un joint vertical d'angle

Cas 1

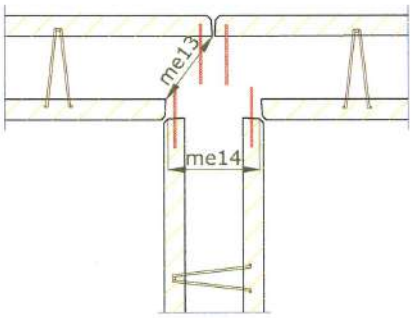


Cas 2

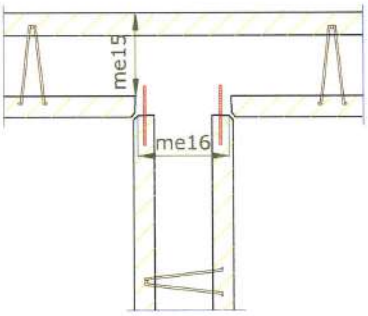


Étanchéité au droit d'un joint vertical avec refends

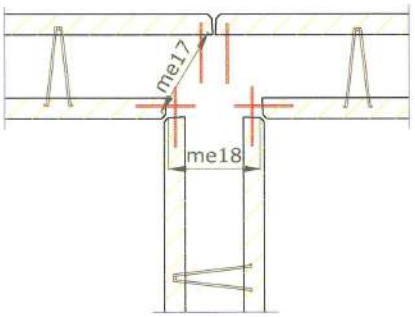
Cas 1



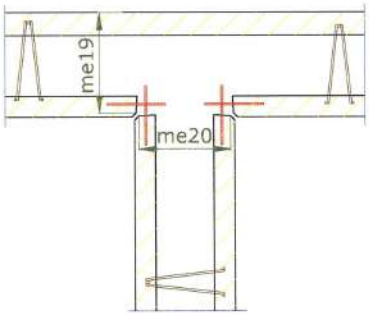
Cas 2



Cas 3



Cas 4



couture

mei: mesure de l'épaisseur minimale requise

Annexe VIII
Justification des renforts de mur à coffrage intégré 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 justifications particulières, k est pris égal à 1.

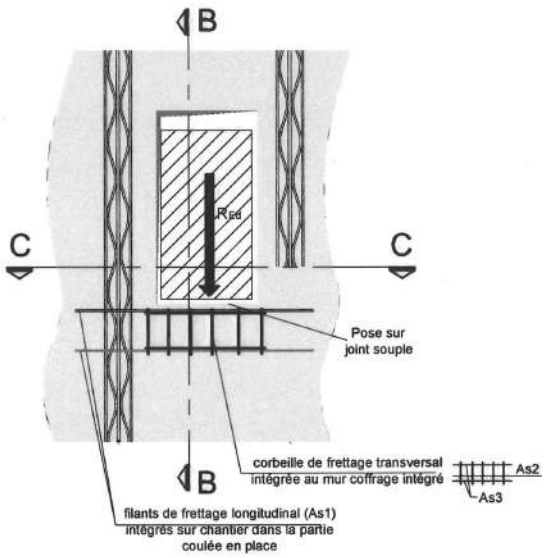
Sous l'effet de la réaction d'appui, il convient de prévoir des armatures de frettage. Les armatures doivent être convenablement ancrées au-delà de la zone d'application de la charge de façon à prévenir toute rupture.

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 à coffrage intégré sont données par l'expression suivante :

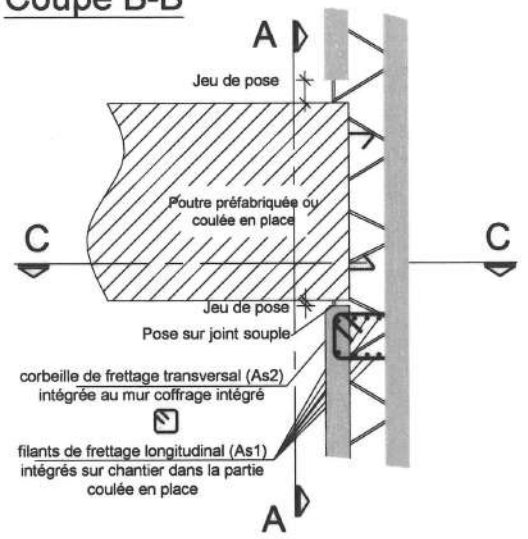
$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{1}{4}\frac{R_{Ed}}{k \times f_{yk}/\gamma_s} + \frac{0{,}04 R_{Ed}}{f_{yk}/\gamma_s}$$

On mettra en place une section d'armatures de montage As3.

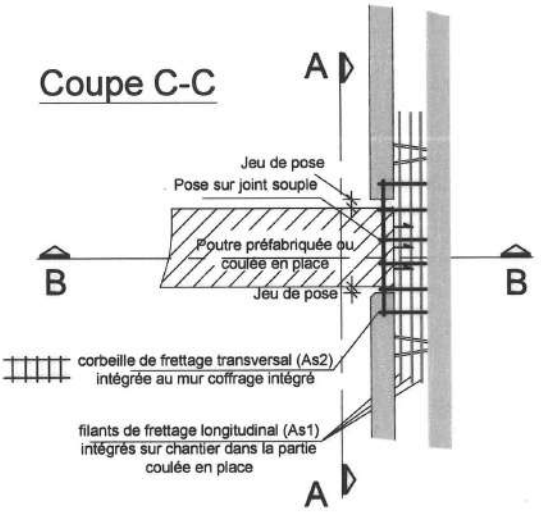
Coupe A-A



Coupe B-B



Coupe C-C



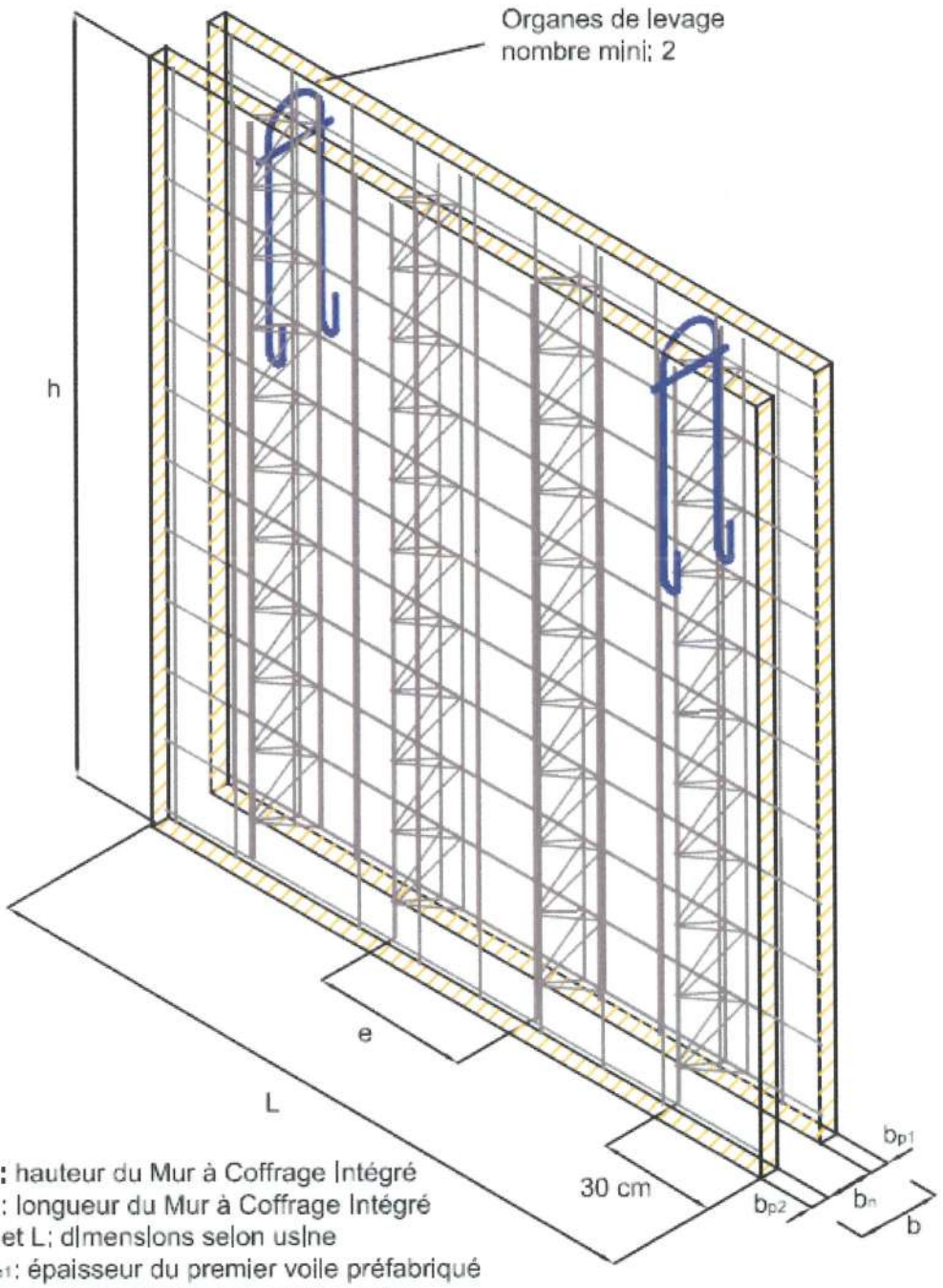
Annexe IX
Détails de liaisons des murs à coffrage intégré

Les schémas sont donnés à titre d'illustration.

Dispositions constructives générales

1. Vue générale d'un mur à coffrage intégré

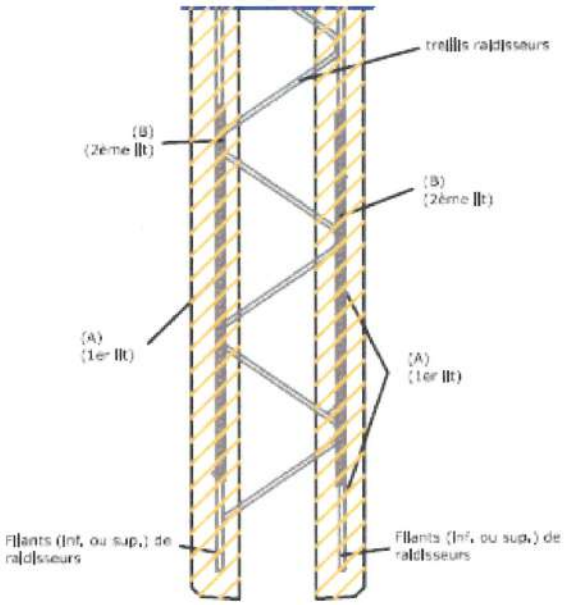
Détail 1.1



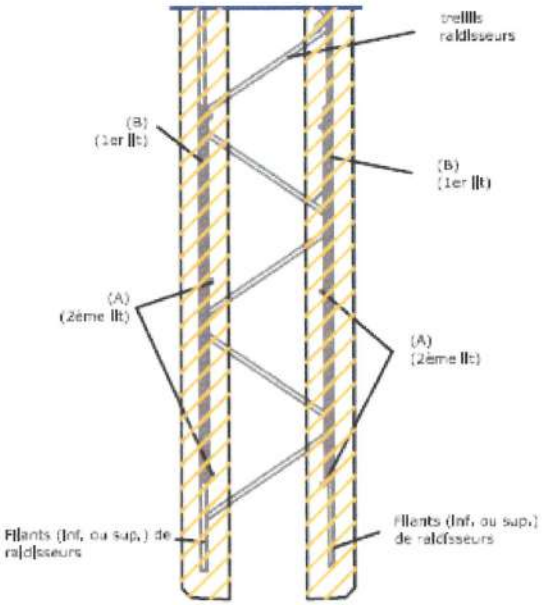
h : hauteur du Mur à Coffrage Intégré
L : longueur du Mur à Coffrage Intégré
h et L : dimensions selon usine
b_{p1} : épaisseur du premier voile préfabriqué
b_n : épaisseur du noyau coulé en place
b_{p2} : épaisseur du second voile préfabriqué
b : épaisseur du Mur à Coffrage Intégré
e : espacement des treillis raidisseurs

2. *Principe de ferraillage des murs à coffrage intégré*

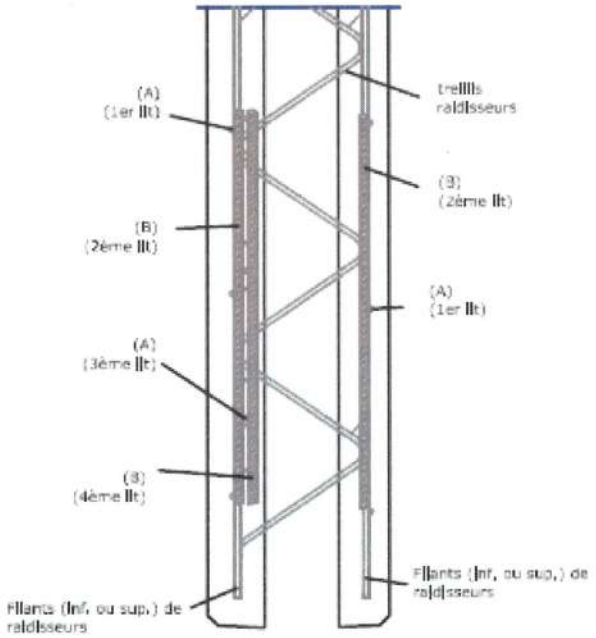
Détail 2.1: cas courant
armatures transversales en 1er lit



Détail 2.2:
armatures longitudinales en 1er lit



Détail 2.3:
cas courant avec ajout de lits supplémentaires

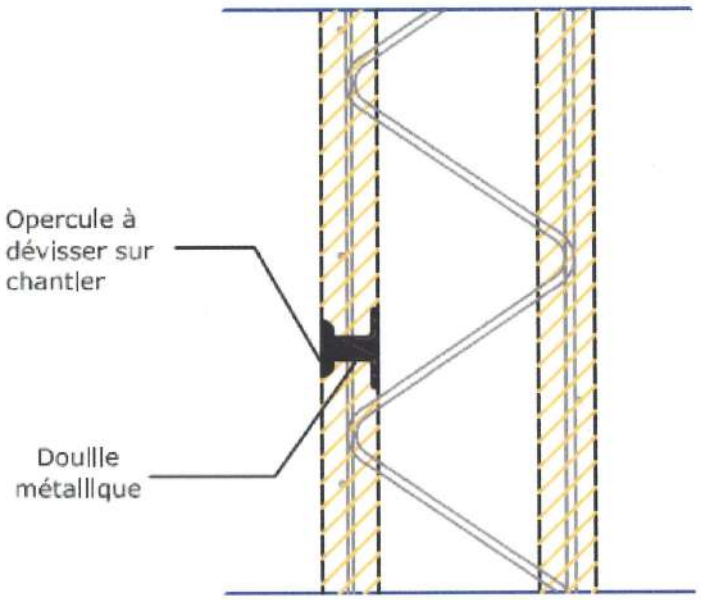


(A) : armatures perpendiculaires aux treillis raidisseurs

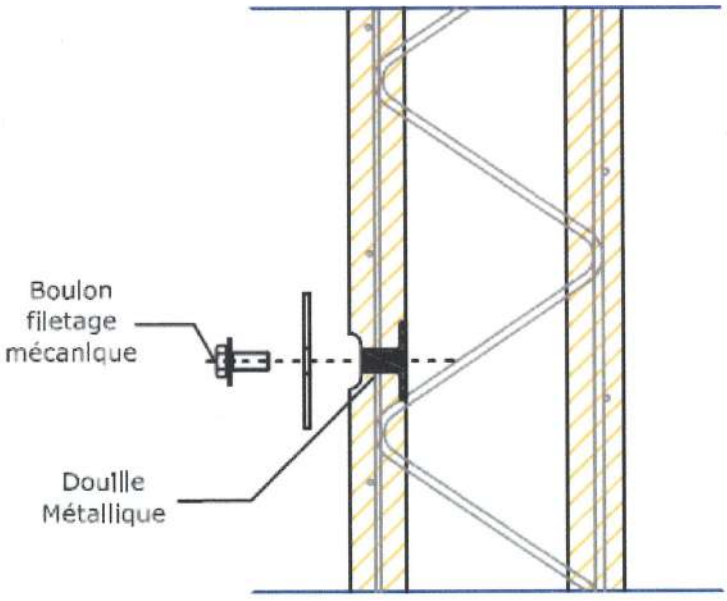
(B) : armatures parallèles aux treillis raidisseurs

3. Douilles de fixation intégrées au MCI

Détail 3.1:
douille métallique



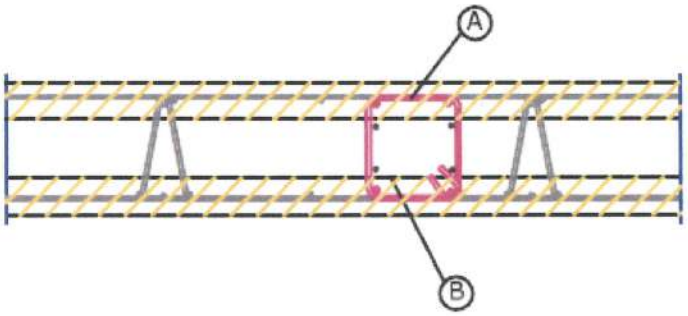
Détail 3.2:
douille métallique



4. Réalisation de poteaux incorporés au MCI (1/2)

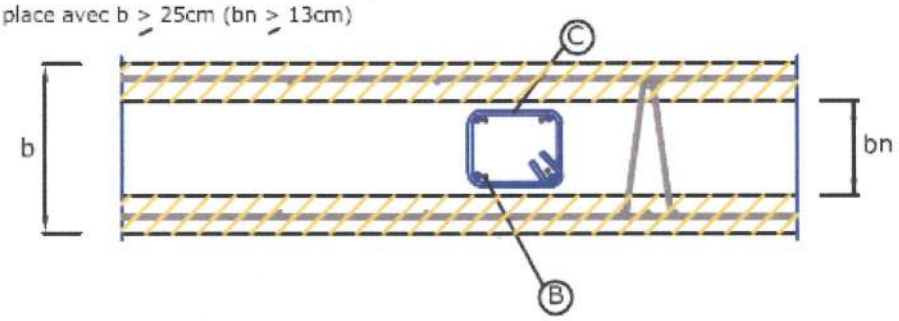
Détail 4.1:

poteau intégré au MCI



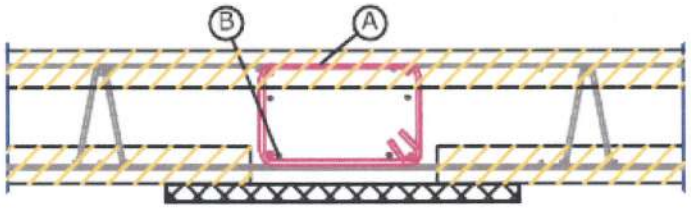
Détail 4.2:

poteau mis en oeuvre dans l'épaisseur du noyau
coulé en place avec b ≥ 25cm (bn ≥ 13cm)



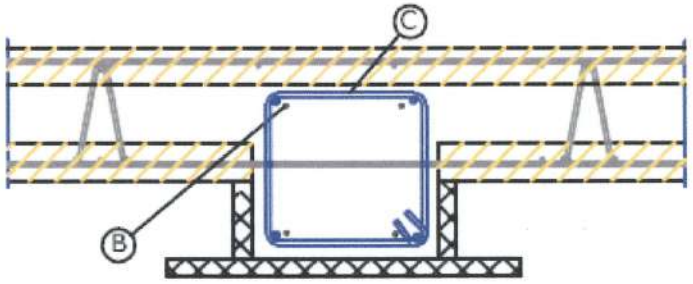
Détail 4.3:

poteau intégré au MCI avec coffrage d'une face sur chantier



Détail 4.4:

poteau excentré avec coffrage d'une face sur chantier

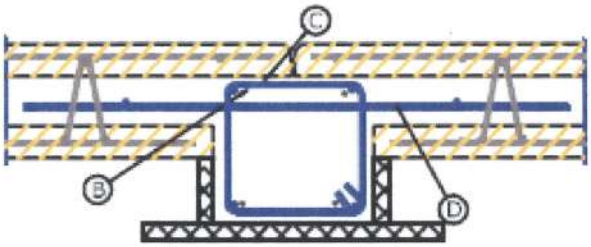


Ⓐ cadres et filants intégrés dans les parois
Ⓑ armatures en attente de poteaux
Ⓒ cadres et filants mis en oeuvre sur chantier

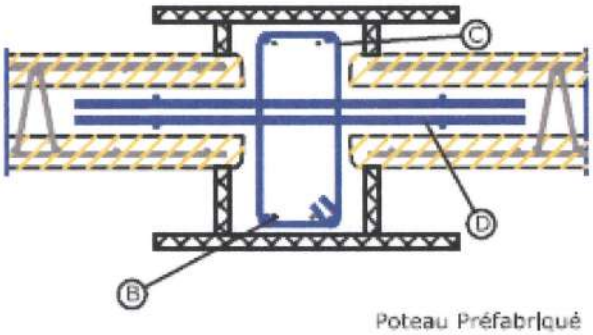
Dispositions constructives générales

4. Réalisation de poteaux incorporés au MCI (2/2)

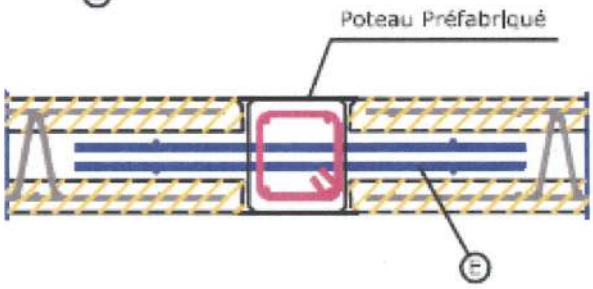
Détail 4.5:
poteau excentré coulé en place au droit d'un joint vertical et avec coffrage d'une face



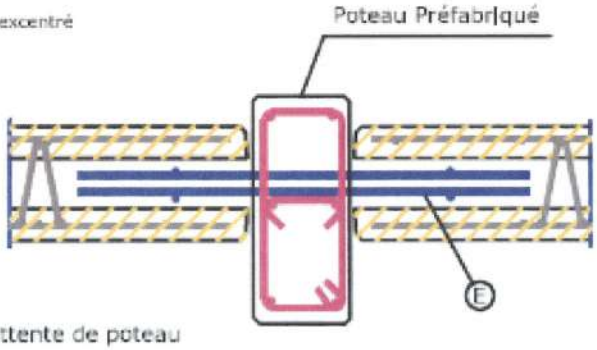
Détail 4.6:
poteau excentré coulé en place avec coffrage deux faces



Détail 5.9:
poteau préfabriqué broché

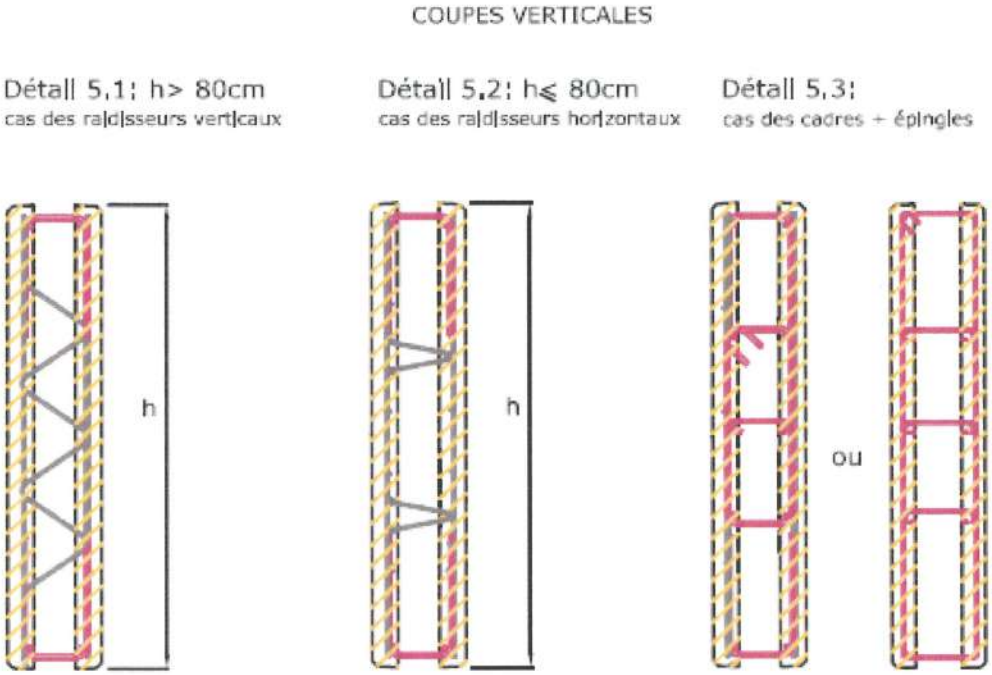


Détail 5.10:
poteau préfabriqué broché excentré

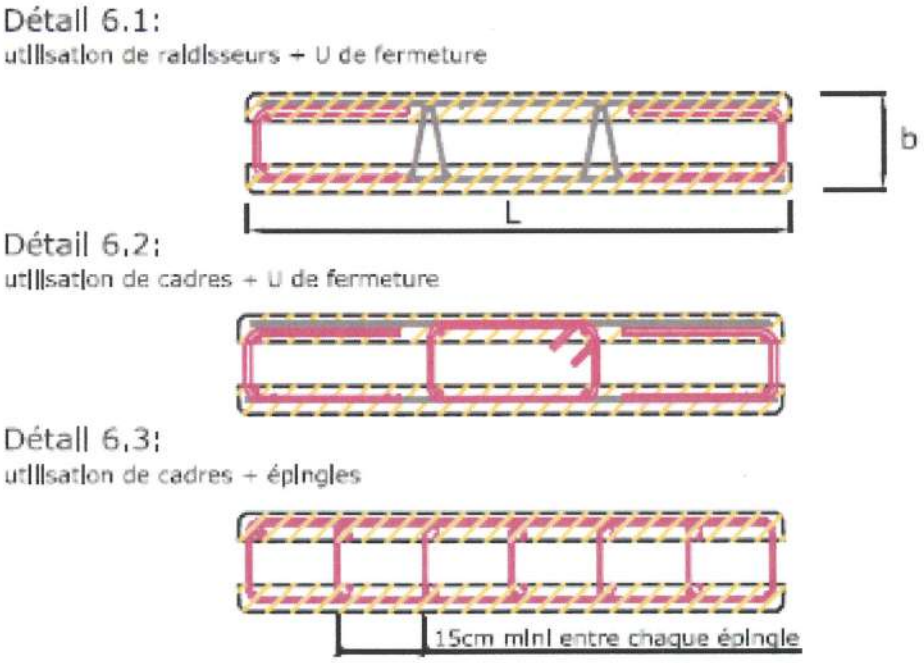


(B) armatures en attente de poteau
(C) cadres et étriers mis en oeuvre sur chantier
(D) armatures de continuité horizontales conformes aux détails de liaisons verticales droites
(E) armatures de continuité horizontales conformes aux détails de liaisons verticales droites

5. Principes de ferraillage des poutres réalisées à partir de MCI



6. Principes de ferraillage des poteaux réalisés à partir de MCI

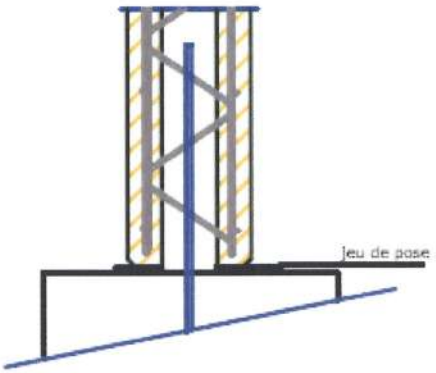


Liaisons en pied de mur à coffrage intégré

7. Solutions articulées

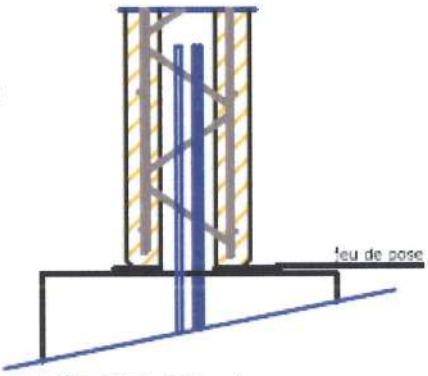
Détail 7.1:

1 lit d'armatures verticales*



Détail 7.2:

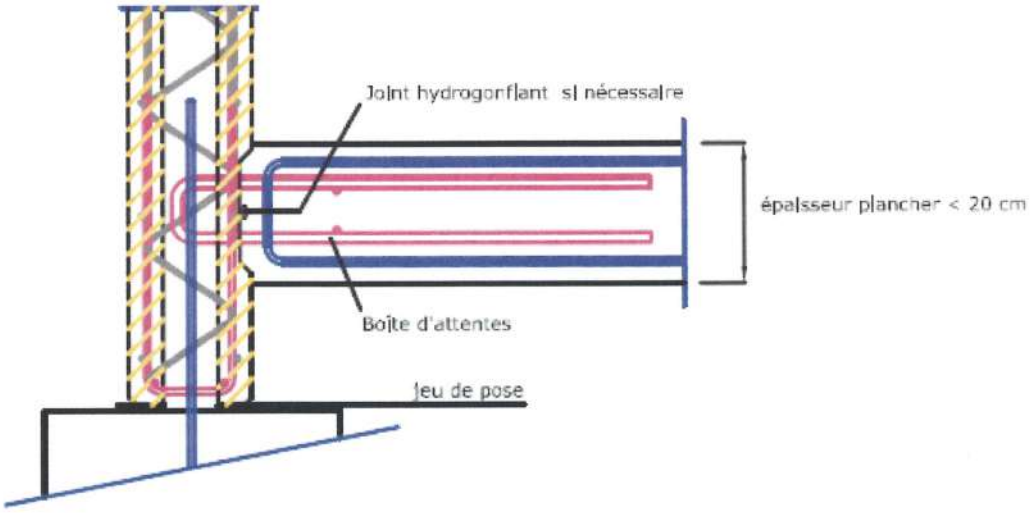
2 lits d'armatures verticales*



Détails valables sur support coulé en place (fondation,dalle,...)

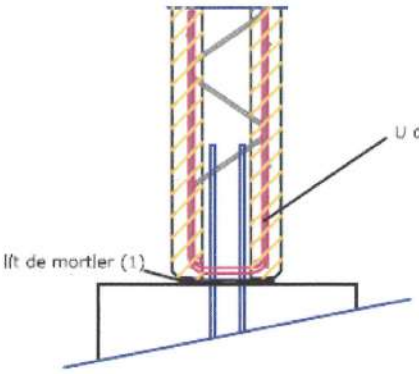
Détail 7.3:

liaison couturée avec un plancher bas



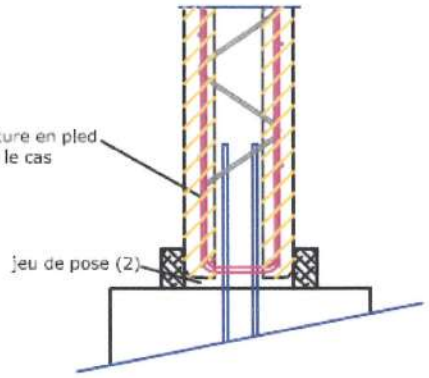
8. *Solutions encastrées : mise en place du MCI après mise en œuvre du support*

Détail 8.1:
Pose sur lit de mortier



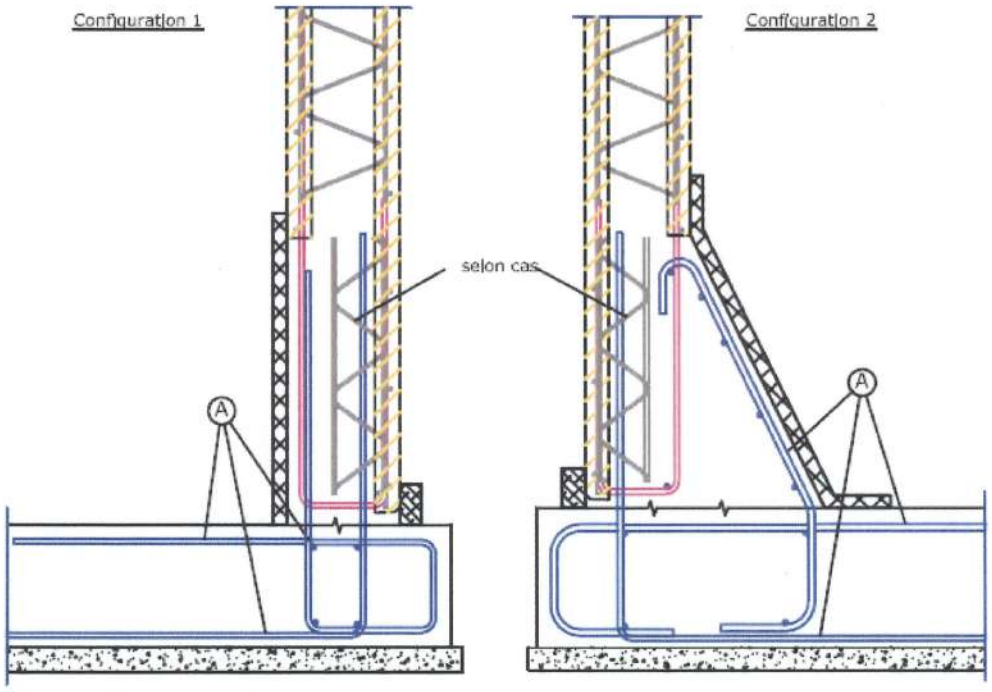
(1) pose des MCI sur un lit de mortier d'épaisseur 20mm et de résistance au moins égale à 25 MPa

Détail 8.2:
Remplissage du joint de calage



(2) un soin particulier doit être apporté au remplissage des joints de calage en pied (30mm) et à la mise en place d'un système empêchant les fuites de laitance (bastaing par exemple)

Détail 8.3:
Coffrage d'une face sur chantier*



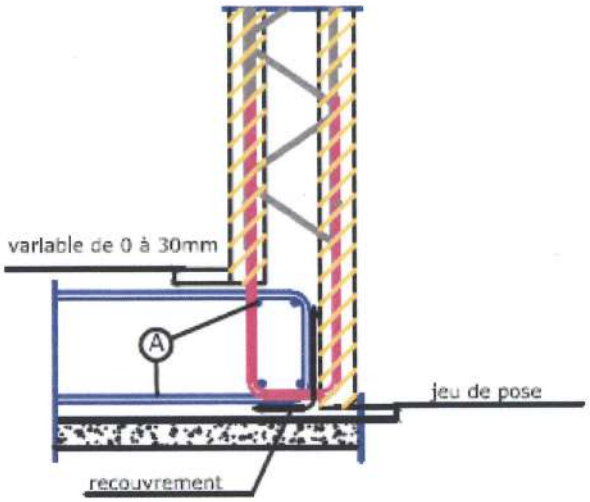
Ⓐ aciers à mettre en place sur chantier

Liaisons en pied de mur à coffrage intégré

9. Solutions encastrées : mise en place du MCI avant mise en œuvre du support

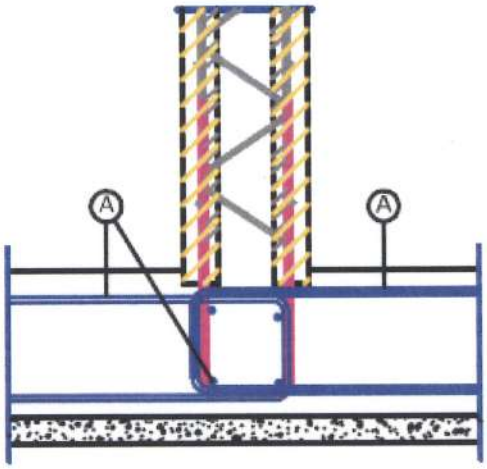
Détail 9.1:

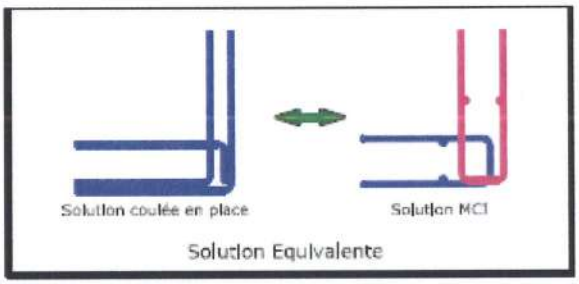
MCI de rive ou semelle excentrée



Détail 9.2:

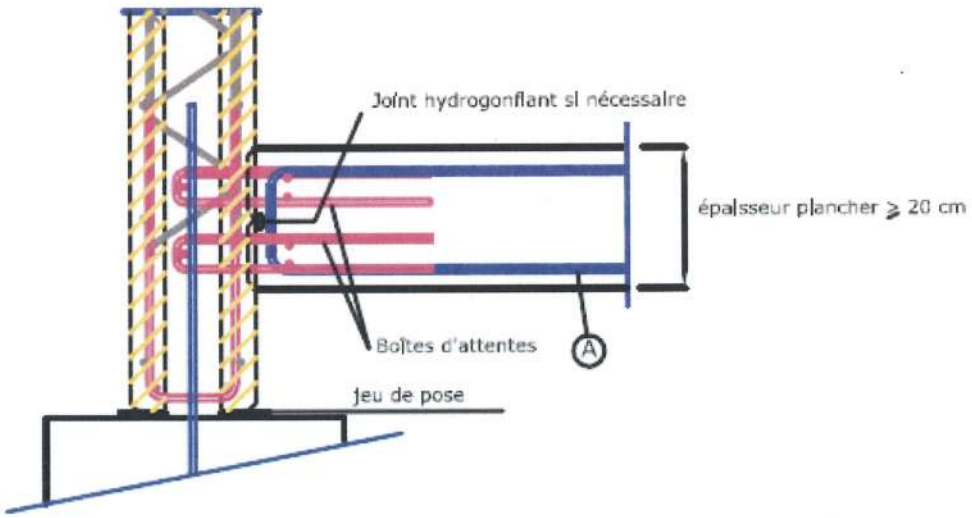
MCI de refend ou semelle centrée





Détail 9.3:

Liaison encastrée avec un plancher bas

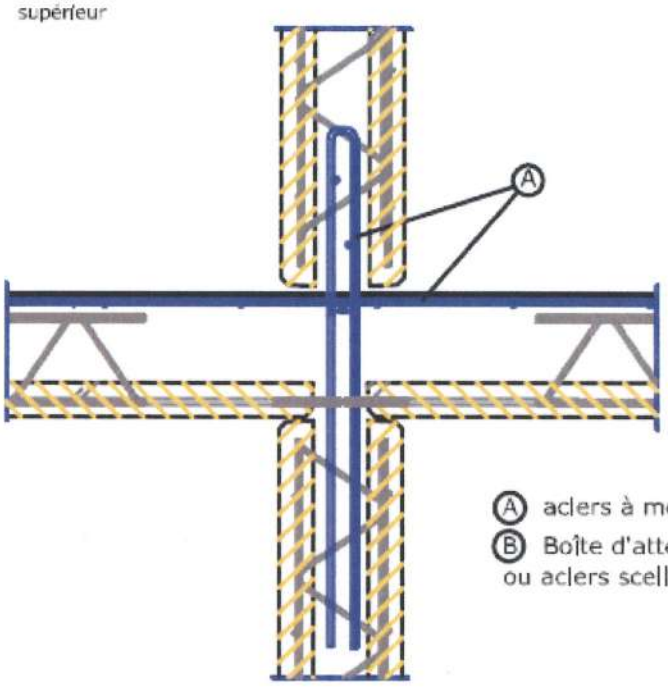


(A) aciers à mettre en place sur chantier

10. Solutions articulées

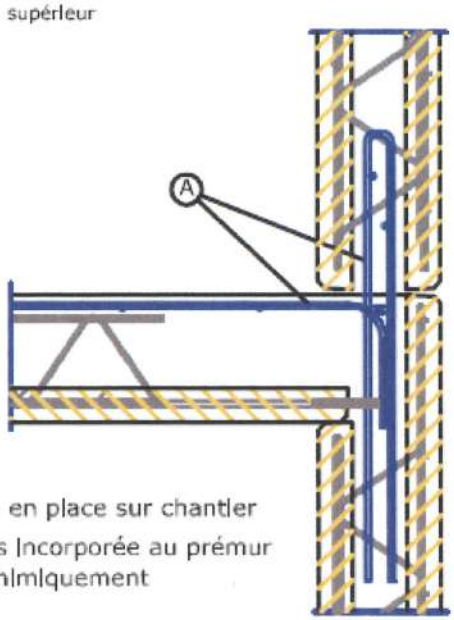
Détail 10.1:

cas d'un appui intermédiaire avec ou sans niveau supérieur



Détail 10.2:

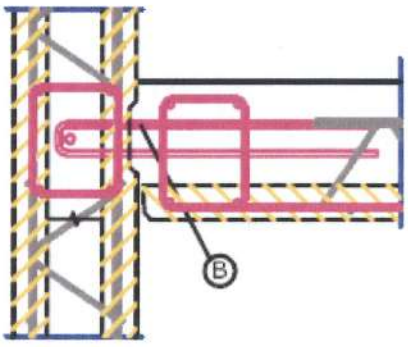
cas d'un appui de rive avec ou sans niveau supérieur



Ⓐ aciers à mettre en place sur chantier
Ⓑ Boîte d'attentes incorporée au prémur ou aciers scellés chimiquement

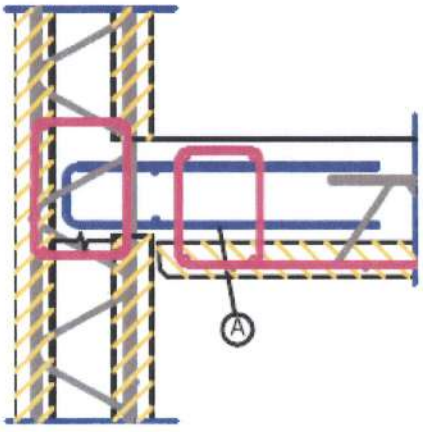
Détail 10.3:

plancher suspendu avec boîte d'attentes



Détail 10.4:

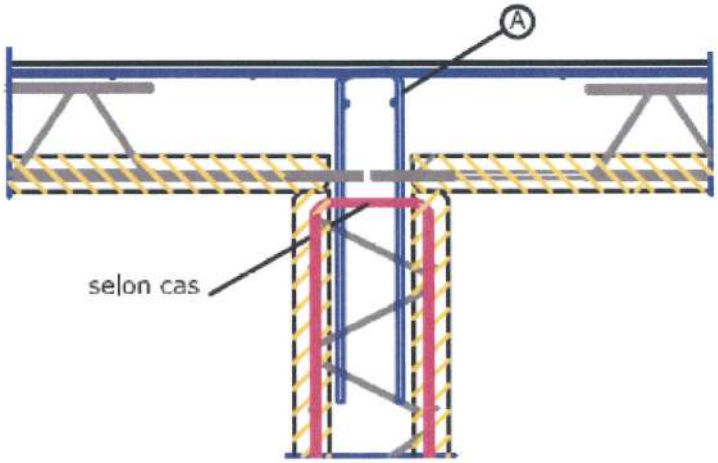
plancher suspendu avec armatures mises sur chantier



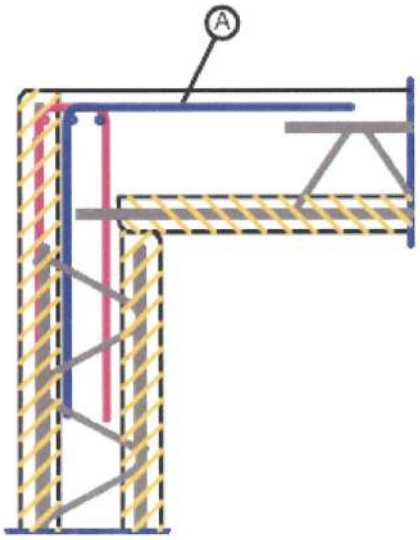
Les planchers sont représentés avec des prédalles, Ils peuvent être coulés en place.

11. Solutions encastrées

Détail 11.1:
cas d'un appui intermédiaire



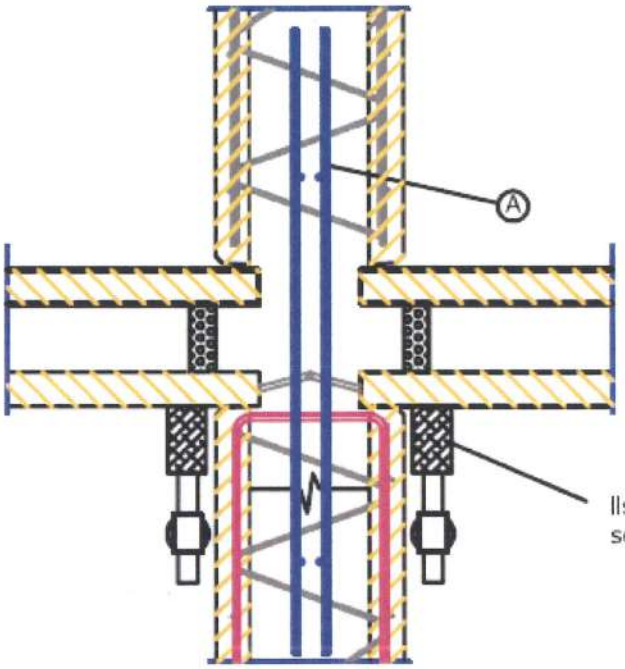
Détail 11.2:
cas d'un appui de rive



12. Solutions Dalle Alvéolée avec repos d'appui

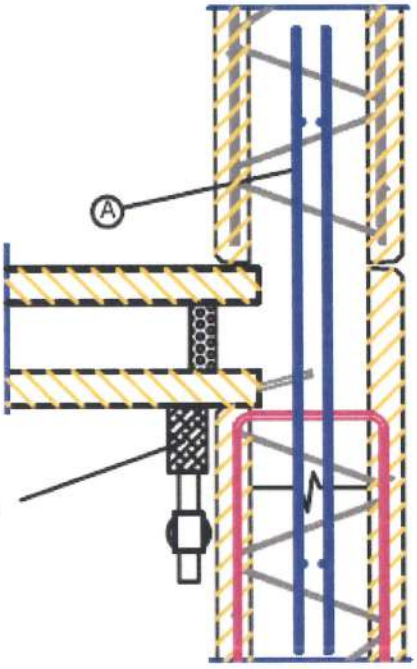
Détail 12.1:

cas d'un appui intermédiaire d'une DA sans table de compression avec ou sans niveau supérieur



Détail 12.2:

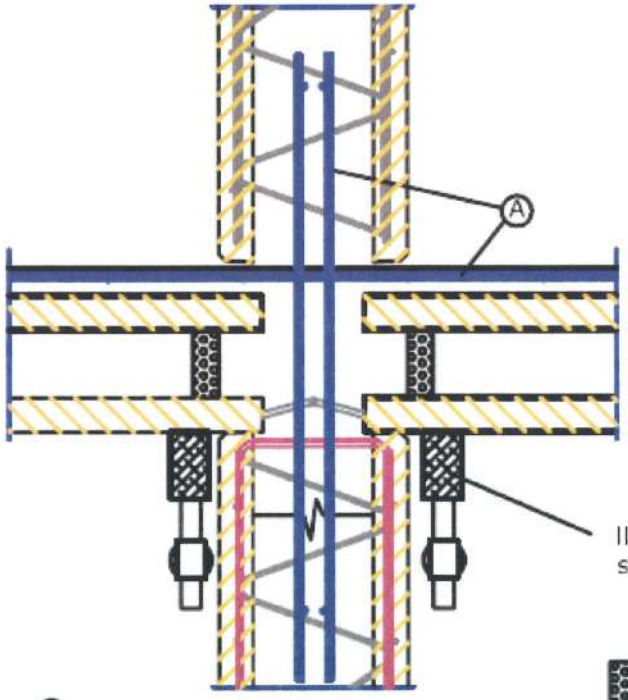
cas d'un appui rive d'une DA sans table de compression avec ou sans niveau supérieur



Isse de rive selon cas

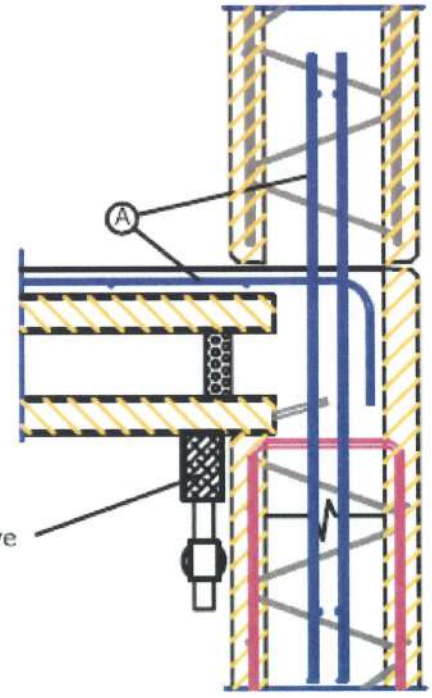
Détail 12.3:

cas d'un appui intermédiaire d'une DA avec table de compression avec ou sans niveau supérieur



Détail 12.4:

cas d'un appui rive d'une DA avec table de compression avec ou sans niveau supérieur



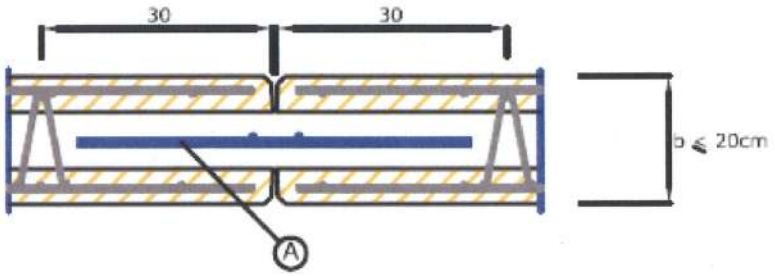
Isse de rive selon cas

(A) aciers à mettre en place sur chantier

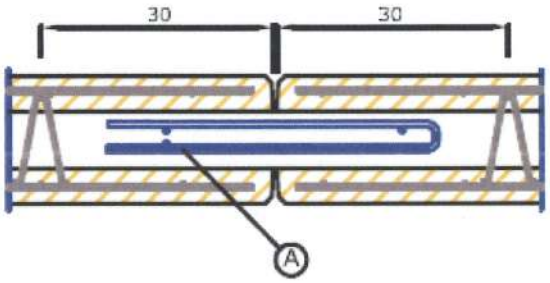
Obturation des alvéoles

13. Solutions articulées

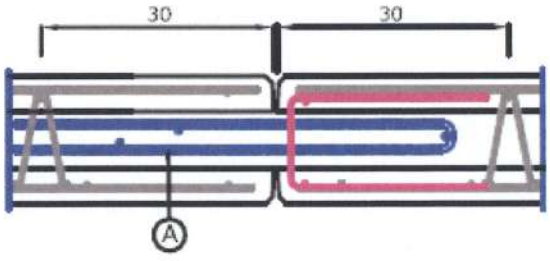
Détail 13.1:
1 lit d'armatures horizontales



Détail 13.2:
2 lits d'armatures horizontales



Détail 13.3:
Liaisons couturée, 2 lits d'armatures horizontales

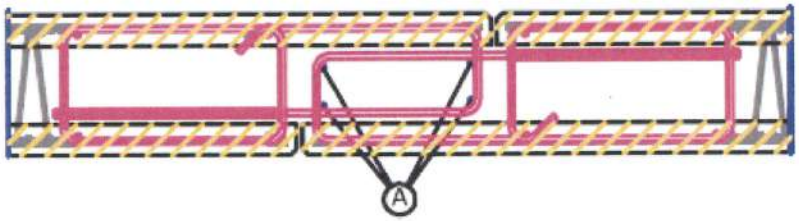


Liaisons verticales droites entre MCI

14. Solutions encastrées

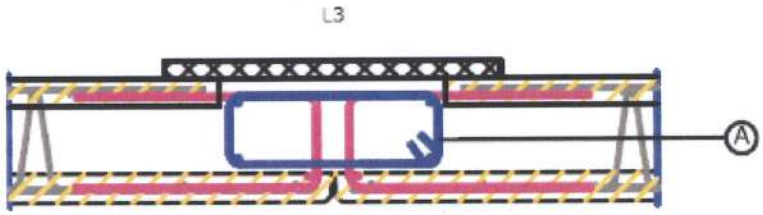
Détail 14.1:

configuration réservée au cas du prémur posé avant réalisation du support



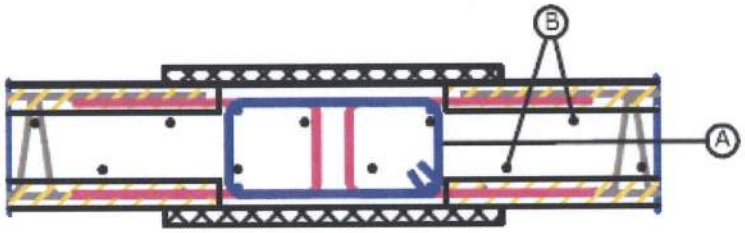
Détail 14.2:

solution avec coffrage d'une face sur chantier, compatible avec ou sans aciers en attente



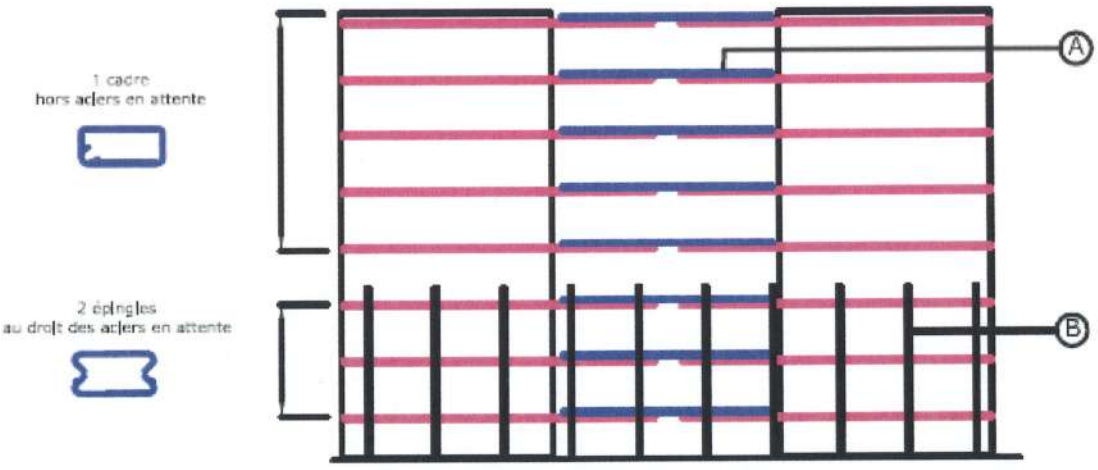
Détail 14.3:

solution avec coffrage de deux faces sur chantier, compatible avec ou sans aciers en attente



Detail 14.4:

élévation de la répartition des aciers (A)



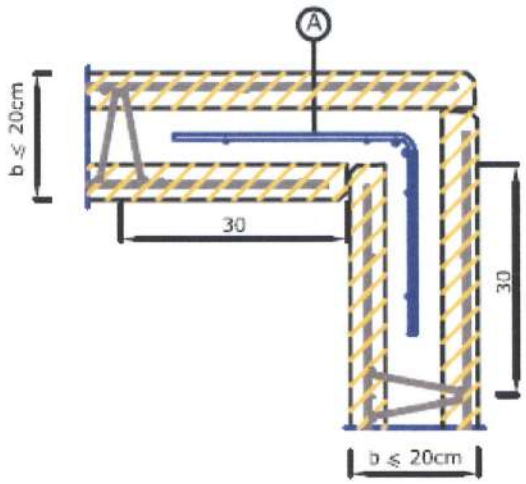
(A) aciers à mettre en place sur chantier (B) aciers en attente en pied

Liaisons verticales d'angle entre MCI

15. Solutions articulées avec chaînage 1 ou 2 filant(s)

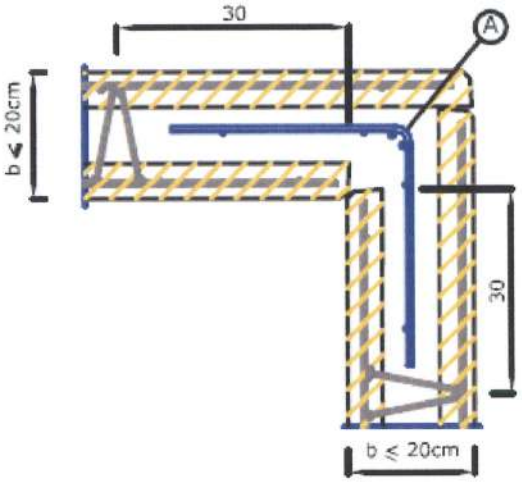
Détail 15.1:

1 lit d'armatures horizontales, parois intérieures croisées



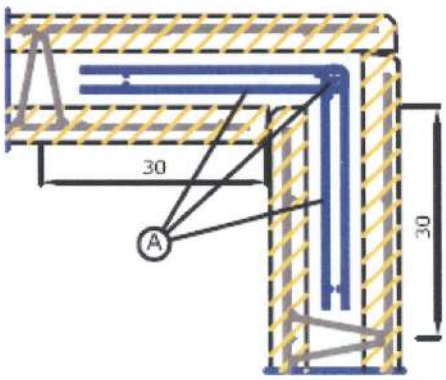
Détail 15.2:

1 lit d'armatures horizontales, parois intérieures décroisée



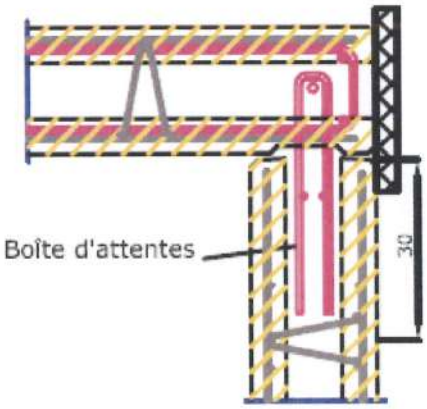
Détail 15.3:

2 lits d'armatures horizontales
Les parois intérieures sont croisées ou décroisées



Détail 15.4:

liaison par boîte d'attentes

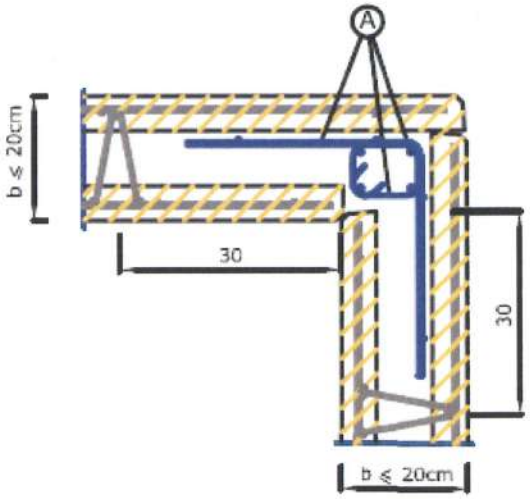


Ⓐ treillis soudé ou acier façonné avec filants de montage, à mettre en place sur chantier
la section de ces armatures est égale à la section des armatures horizontales disposée dans le MCI

16. Solutions articulées avec chaînage 4 filants

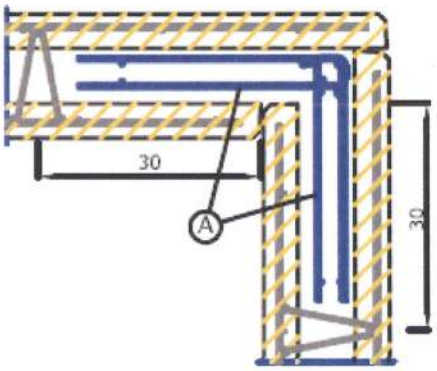
Détail 16.1:

1 lit d'armatures horizontales, parois intérieures décroisées



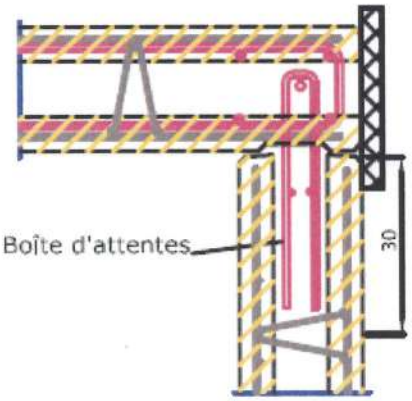
Détail 16.2:

2 lits d'armatures horizontales, parois intérieures croisées



Détail 16.3:

liaison par boîte d'attentes



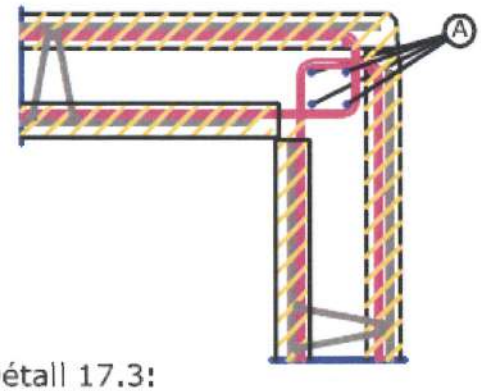
Ⓐ treillis soudé ou acier façonné avec filants de montage, à mettre en place sur chantier
la section de ces armatures est égale à la section des armatures horizontales disposée dans le MCI

Liaisons verticales d'angle entre MCI

17. Solutions encastrées

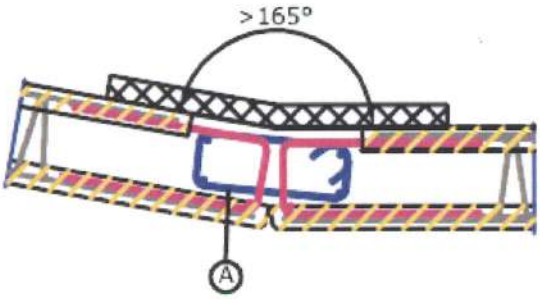
Détail 17.1:

configuration réservée au cas du MCI posé avant réalisation du support



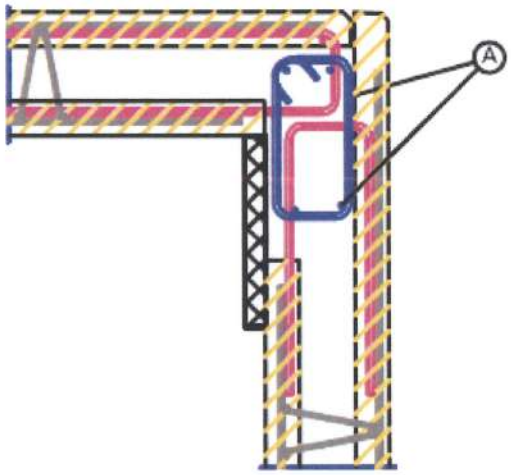
Détail 17.2:

solution particulière pour les angles supérieurs à 165°



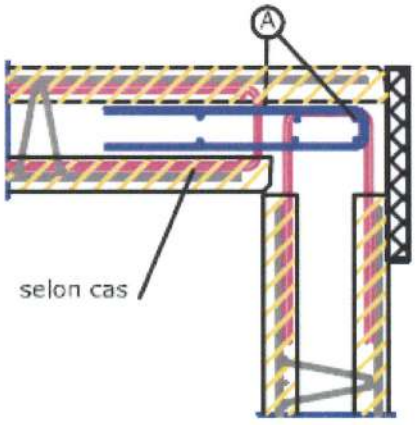
Détail 17.3:

solution avec coffrage de la face intérieure sur chantier, compatible avec ou sans aciers en attente



Détail 17.4:

solution avec coffrage d'une face extérieure sur chantier, compatible avec ou sans aciers en attente

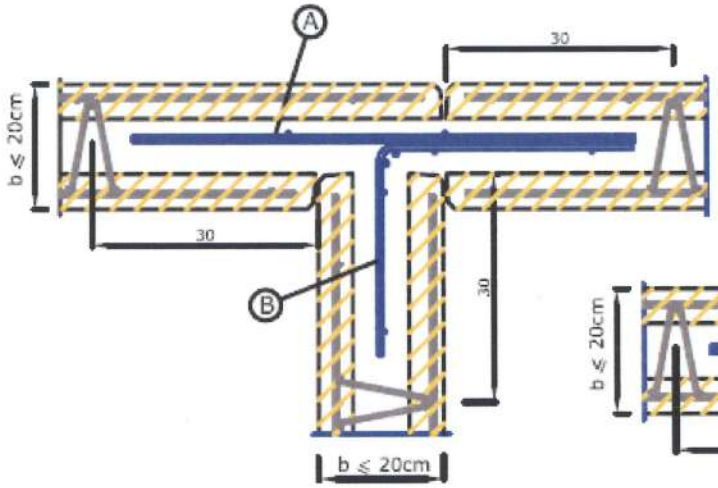


Ⓐ aciers à mettre en place sur chantier

18. Solutions articulées avec chaînage 1 ou 2 filants

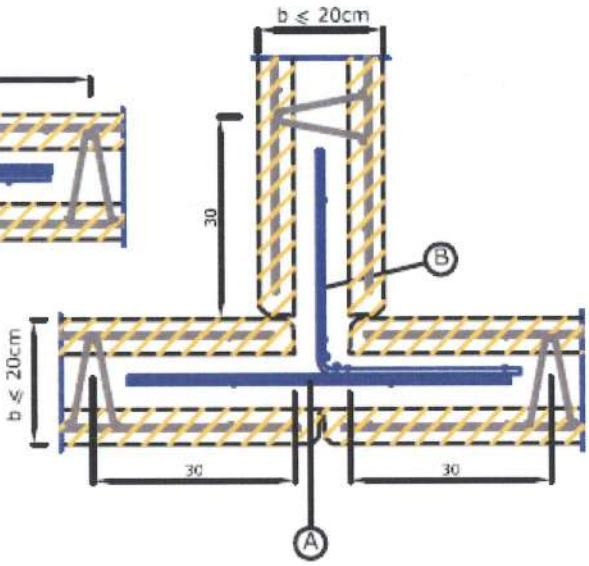
Détail 18.1:

1+1 lits d'armatures horizontales, parois croisées



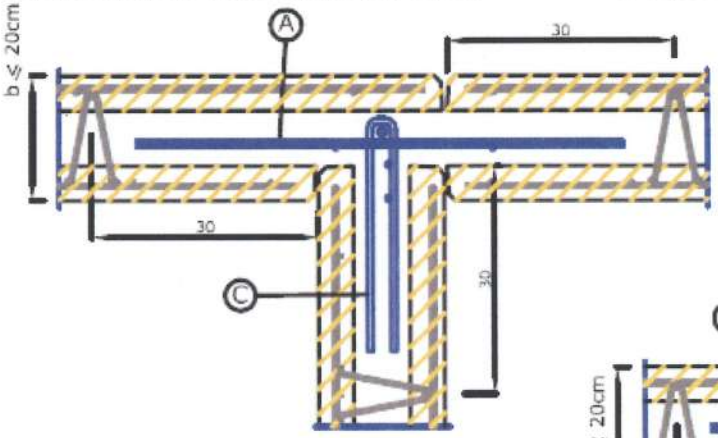
Détail 18.2:

1+1 lits d'armatures horizontales, parois décroisées



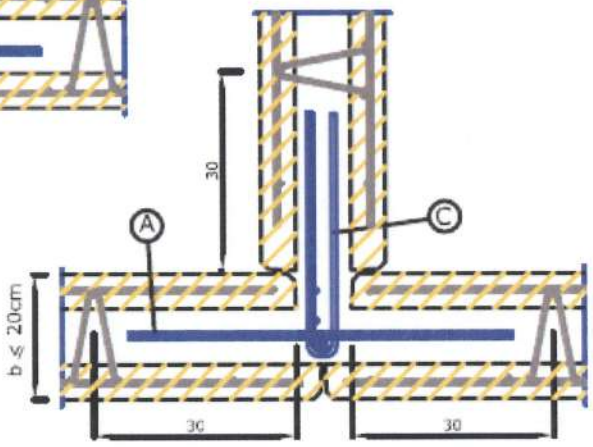
Détail 18.3:

1+2 lits d'armatures horizontales, parois croisées



Détail 18.4:

1+2 lits d'armatures horizontales, parois décroisées



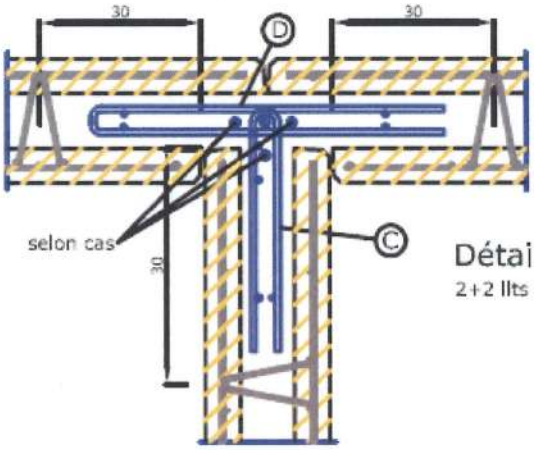
Ⓐ Ⓑ Ⓒ aciers à mettre en place sur chantier

Liaisons verticales avec refend

19. Solutions articulées avec chaînage 4 filants

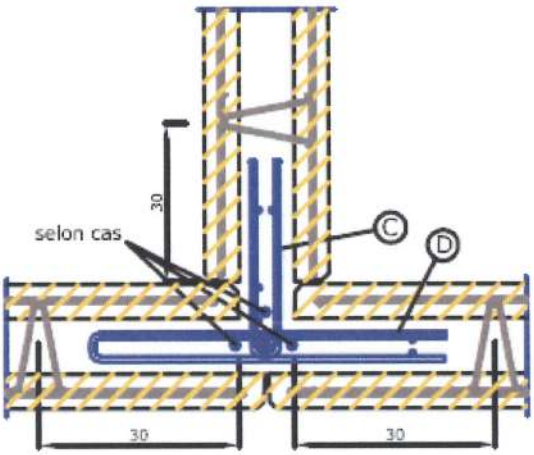
Détail 19.1:

2+2 lits d'armatures horizontales, parois croisées



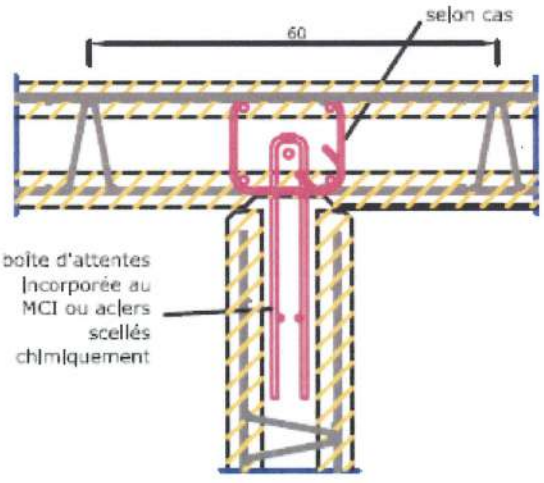
Détail 19.2:

2+2 lits d'armatures horizontales, parois décroisées



Détail 19.3:

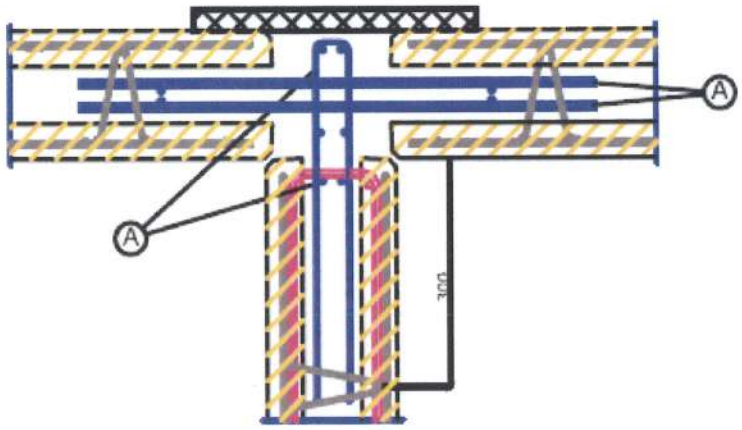
liaison avec boîte d'attentes



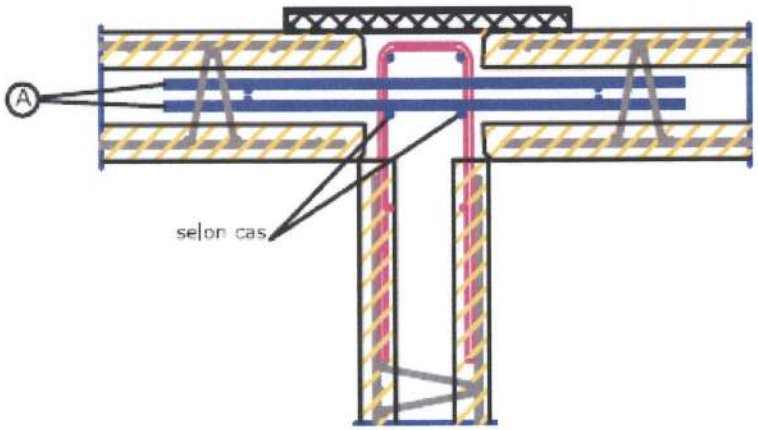
© Ⓓ aciers à mettre en place sur chantier

20. Solutions encastrées (1/2)

Détail 20.1:



Détail 20.2:

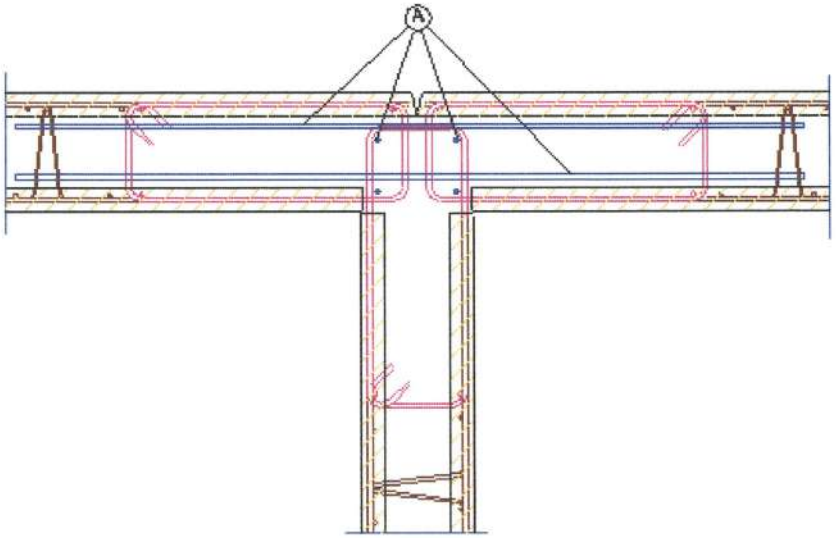


Liaisons verticales avec refend

20. Solutions encastrées (2/2)

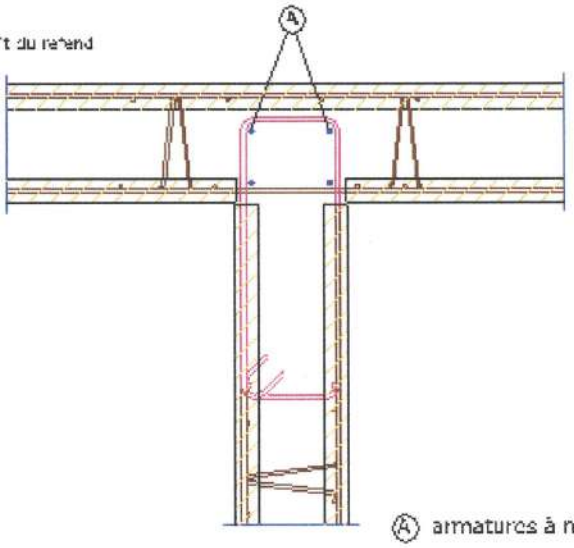
Détail 20.3:

cas avec joint au droit du refend



Détail 20.4:

cas sans joint au droit du refend



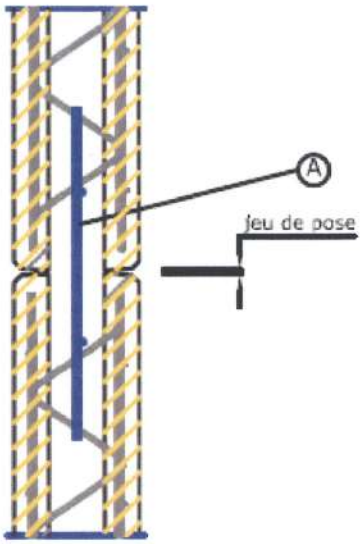
A armatures à mettre en place sur chantier

solutions non compatibles avec des armatures en attente

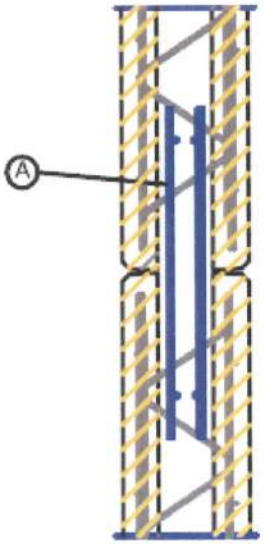
Liaisons horizontales entre MCI

21. Solutions articulées

Détail 21.1:
1 lit d'armatures verticales



Détail 21.2:
2 lits d'armatures verticales

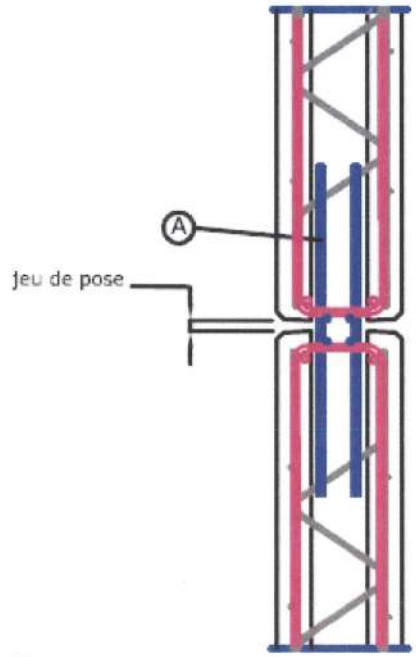


Ⓐ aciers à mettre en place sur chantier

Liaisons horizontales entre MCI

22. Solutions encastrées

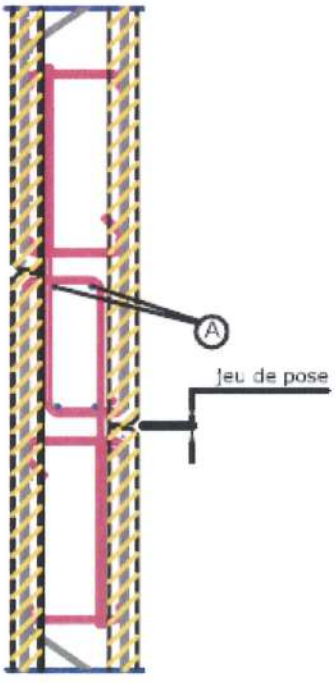
Détail 22.1:
2 lits d'armatures verticales



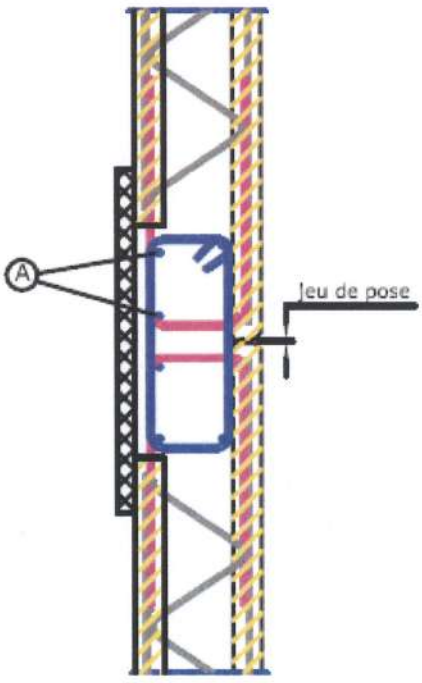
Ⓐ aciers à mettre en place sur chantier

un soin particulier devra être apporté au remplissage des joints de calage en pied et à la mise en place d'un système empêchant les fuites de laitance (parsaing par exemple), gage du bon fonctionnement de l'encastrement

Détail 22.3:
solution avec décalage des deux parois



Détail 22.4:
solution avec coffrage d'une face sur chantier

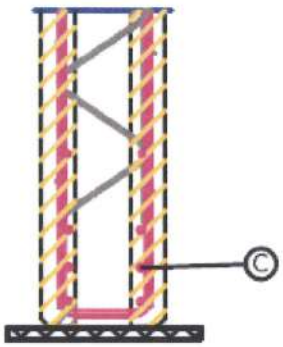


Ⓐ aciers à mettre en place sur chantier

23. Poutres-cloisons sans plancher inférieur suspendu

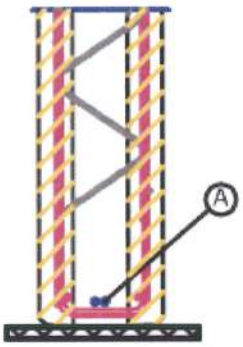
Détail 23.1:

Tirant intégré au MCI dans les deux parois sans joint vertical



Détail 23.2:

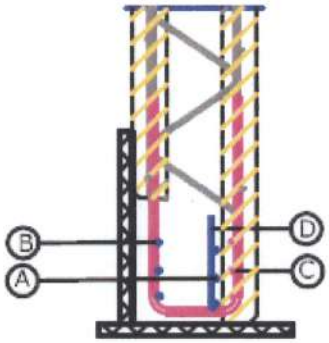
Tirant intégré au MCI avec joint vertical (*) et sans décalage de parois



Ⓐ écisses au droit des joints verticaux

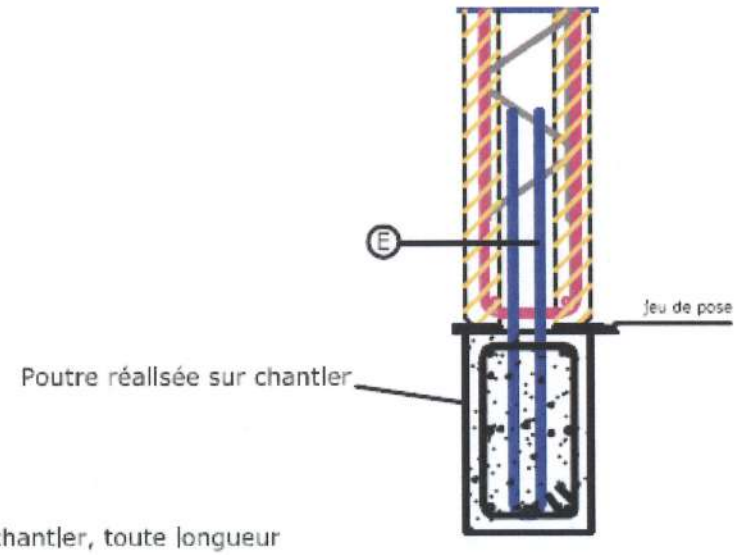
Détail 23.3:

Tirant intégré au MCI avec joint vertical (*) et décalage de parois



Détail 23.4:

Tirant réalisé sur chantier



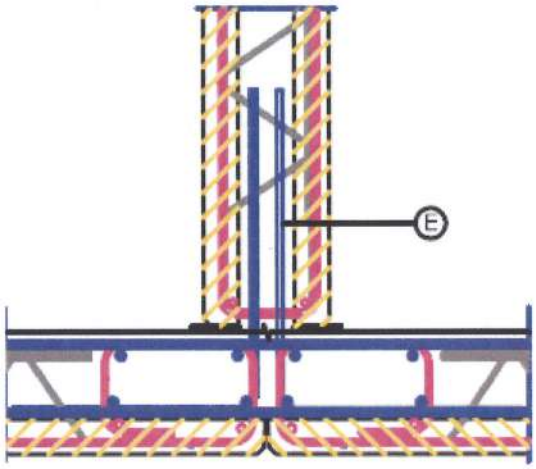
Ⓐ écisses au droit des joints verticaux
Ⓑ armatures du tirant mises en oeuvre sur chantier, toute longueur
Ⓒ armatures du tirant intégrées dans la paroi
Ⓓ acier de montage
Ⓔ armatures verticales en attente

* Dans le cas de présence de joint vertical, les assemblages sont effectués conformément aux détails de liaison verticale droite

24. Poutres-cloisons avec plancher inférieur suspendu

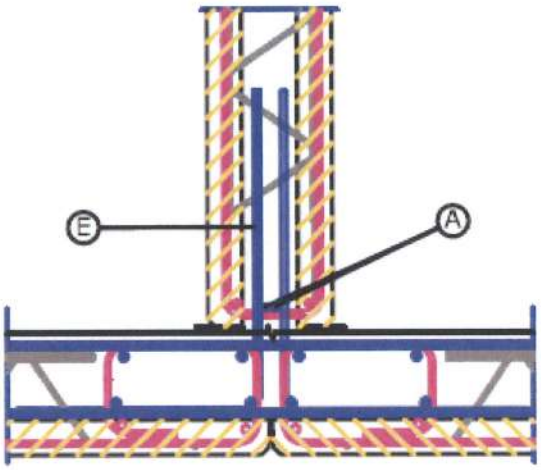
Détail 24.1:

Tirant intégré dans le plancher inférieur



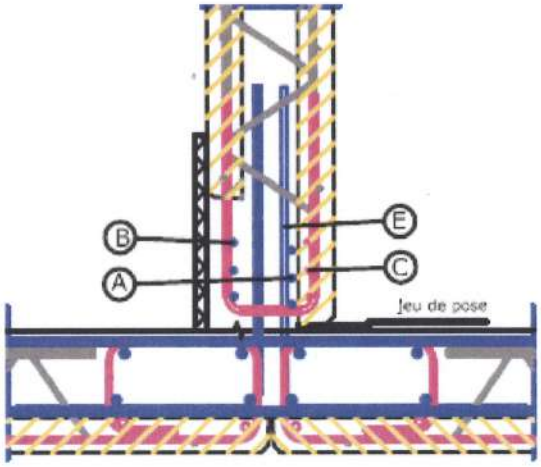
Détail 24.2:

Tirant intégré dans le plancher inférieur et le MCI avec ou sans joint vertical (*) et sans décalage de parois



Détail 28.3:

Tirant intégré dans le plancher inférieur et le MCI avec joint vertical (*) et sans décalage de parois



Ⓐ écllsses au droit des joints verticaux
Ⓑ armatures du tirant mises en oeuvre sur chantier, toute longueur
Ⓒ armatures du tirant intégrées dans la paroi
Ⓔ armatures verticales et de suspente en attente

* Dans le cas de présence de joint vertical, les assemblages sont effectués conformément aux détails de liaison verticale droite

SIÈGE SOCIAL
84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | **www.cstb.fr**

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS

FEHR

This is Concrete.

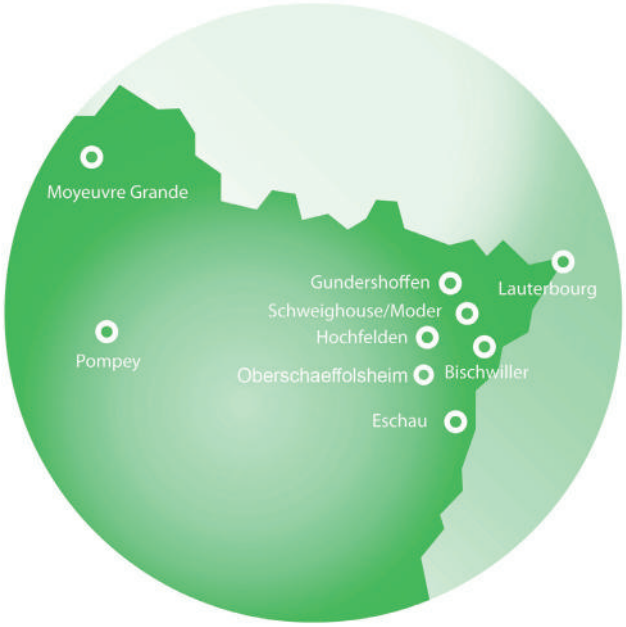
fehrgroup.com

PRODUITS

Béton prêt à l'emploi
Mur Précoffré®
Prédalle
Bardage BFUHP FClad®
Eléments spéciaux

SERVICES

Location
Assemblage
Magasin



Sites de préfabrication

GRAND EST
62, route de Strasbourg - BP 46
F-67242 BISCHWILLER CEDEX
Tel. +33 (0)3 88 06 27 90
Fax +33 (0)3 88 06 27 91

ILE DE FRANCE
1, chemin du port
F-77670 VERNOU LA CELLE SUR SEINE
Tel. +33 (0)1 60 39 61 70
Fax +33 (0)1 60 39 61 81

AUVERGNE RHÔNE ALPES
345 Chemin des Teppes
F-26300 CHATEAUNEUF SUR ISERE
Tel. +33 (0)4 75 25 98 80
Fax +33 (0)4 75 25 98 81

ALLEMAGNE
GmbH & Co. KG
Triebstraße 34
D-68753 WAGHÄUSEL - WIESENTAL
Tel. +49 7254 209 0
Fax +49 7254 209 220

ALLEMAGNE (BFUHP)
Franz-John Strasse 13/1
D-77855 ACHERN
Tel. +49 7841 6812 904

Service commercial
Tel. 0825 800 818

Centrales à béton

Bischwiller
62 Route de Strasbourg
67240 Bischwiller

Eschau
Route du Rhin
67114 Eschau

Gundershoffen
Route de Gumbrechtshoffen
67110 Gundershoffen

Hochfelden
8 quai du Canal
67270 Hochfelden

Lauterbourg
Route de Mothern
67630 Lauterbourg

Oberschaeffolsheim
Chemin du Hitzthal
67203 Oberschaeffolsheim

Schweighouse/Moder
ZI La Sablière
67270 Schweighouse/Moder

Moyeuvre Grande
ZI du Barrage de Beth
57250 Moyeuvre Grande

Pompey
102 Boulevard de la Moselle
54340 Pompey

Service commercial
Tel.+33(0)3 88 80 94 70

Fehr Groupe SAS (siège social)
ZA Emile Mathis - 21 route de Froeschwiller - F-67110 REICHSHOFFEN
Tel. +33 (0)3 88 80 86 30 - Fax +33 (0)3 88 80 34 52

FEHR GROUPE S.A.S à Directoire et C.S. au capital de 10 000 000 € R.C. Strasbourg 73 B 211 - Siret 738 502 111 00029