

Sur le procédé

Duomur

Famille de produit/Procédé : Mur à coffrage intégré

Titulaire(s) : **Société SEAC**
Internet : www.seac-gf.fr

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

Groupe Spécialisé n° 3.2 - Murs et accessoires de mur

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	Cette version annule et remplace l'Avis Technique 3.2/14-775_V1. Elle intègre les modifications suivantes : • Ajout de l'ancre de levage Seac V2.0 • Remplacement de la certification CSTBat par la certification NF • Mise à jour du paragraphe « Données Environnementales » de la partie Dossier Technique	Angel JUNES Ph.D Angel JUNES 	Roseline BERNARDIN-EZLAN 

Roseline Bernardin-Ezran

Descripteur :

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

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.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté.....	5
1.1.1.	Zone géographique.....	5
1.1.2.	Ouvrages visés	5
1.2.	Appréciation	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Durabilité	6
1.2.3.	Impacts environnementaux	6
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
1.4.	Annexe de l'Avis du Groupe Spécialisé	8
2.	Dossier Technique.....	9
2.1.	Mode de commercialisation	9
2.1.1.	Coordonnées	9
2.1.2.	Mise sur le marché	9
2.1.3.	Identification	9
2.2.	Description.....	9
2.2.1.	Principe.....	9
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	9
2.3.	Disposition de conception.....	11
2.3.1.	Stabilité	11
2.3.2.	Sécurité au feu	13
2.3.3.	Isolation thermique	13
2.3.4.	Isolation acoustique.....	13
2.3.5.	Traitement des joints et des parois.....	13
2.3.6.	Finitions et aspects.....	14
2.3.7.	Types de liaisons.....	14
2.3.8.	Dispositions parasismiques	15
2.4.	Disposition de mise en œuvre	15
2.4.1.	Prescriptions concernant la manutention des panneaux.....	15
2.4.2.	Prescriptions concernant le transport des panneaux.....	15
2.4.3.	Prescriptions concernant le stockage des panneaux	15
2.4.4.	Conditions de mise en œuvre.....	15
2.4.5.	Travaux préliminaires	16
2.5.	Traitement en fin de vie	18
2.6.	Assistance technique	18
2.7.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	19
2.7.1.	Fabrication des panneaux	19
2.7.2.	Tolérances dimensionnelles standards.....	19
2.7.3.	Contrôle sur les ancrs de manutention	19
2.7.4.	Contrôle du béton.....	19
2.7.5.	Contrôle en cours de fabrication	19
2.7.6.	Contrôles par un organisme externe	20
2.8.	Mention des justificatifs	20
2.8.1.	Résultats Expérimentaux	20
2.8.2.	Données Environnementales	20
2.8.3.	Références chantiers.....	20
2.9.	Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre.....	21

Annexe 1 : Perspective d'un « Duomur »21

Annexe 2 : Plan de façonnage des ancrs de manutention22

Annexe 3 : liaisons entre « Duomurs »26

1. Avis du Groupe Spécialisé

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

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, moyennant les dispositions constructives définies dans le Dossier Technique et complétées par les prescriptions du CPT MCI (Cahier du CSTB 3690_V2).

1.1.2. Ouvrages visés

Le procédé « Duomur » est destiné aux ouvrages suivants :

Réalisation des 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.

Voiles encastrés et/ou enterrés, pour la réalisation de murs principalement sollicités en flexion. Le « Duomur » peut être associé à des éléments de structure préfabriqués ou coulés en place, tels que poteaux, poutres, planchers.

Plus généralement le « Duomur » peut être utilisé pour :

- Tous éléments essentiellement sollicités par des charges dans leur plan (exemples : murs, poteaux, poutres, poutres-voiles, acrotères).
- Tous éléments sollicités en flexion simple ou composée par des charges perpendiculaires à leur plan (exemples : murs de soutènement, bassin, murs de silos ou de magasins de stockage).

Les murs d'épaisseur inférieure à 18 cm ne sont pas visés dans le présent Avis.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Aptitude au levage

Vis-à-vis de leur aptitude au levage, seuls les murs d'épaisseur totale comprise entre 18 cm et 40 cm sont visés par l'Avis. Dans le cas d'utilisation des boucles de levage SEAC V1.0, l'épaisseur nominale des parois préfabriquées est supérieure ou égale à 50 mm pour la première paroi et supérieure ou égale à 60 mm pour la deuxième paroi. Dans le cas d'utilisation des boucles de levage SEAC V2.0, l'épaisseur nominale des parois préfabriquées est supérieure ou égale à 60 mm, à l'exception du mur de 18 cm d'épaisseur pour lequel l'épaisseur nominale de la 1^{ère} paroi est égale à 50 mm. Les conditions d'utilisation des valeurs de CMU de ces boucles de levage sont précisées dans l'Annexe « CMU des boucles de levage » de la partie Avis.

Ne sont pas visés au titre du présent Avis :

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

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

1.2.1.3. Sécurité en cas d'incendie

Les durées des critères d'exigence coupe-feu ou stabilité au feu d'un mur réalisé selon le procédé « Duomur » peuvent être justifiées par application des règles de calcul de la norme 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. En particulier, les voiles porteurs seront justifiés par application de la clause 5.4.2, les éléments fléchis perpendiculairement à leur plan seront justifiés par application de la clause 5.7 et les poutres seront justifiées par application de la clause 5.6.

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 prémurs 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.

1.2.1.4. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

Le système permet de l'assurer normalement.

1.2.1.5. 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-Bât », en se référant, le cas échéant, à l'Avis Technique visant ce système.

1.2.1.6. 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 NF EN 12354 (-1 à 6).

1.2.1.7. Etanchéité 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 l'étanchéité 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.

1.2.1.8. Risque 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.

1.2.1.9. Confort d'été

Pour la détermination de la classe d'inertie thermique quotidienne des bâtiments, qui constitue un facteur important du confort d'été, les murs extérieurs de ce procédé appartiennent à la catégorie des parois lourdes à isolation rapportée à l'extérieur ou à l'intérieur. Leur inertie est déterminée au moyen des règles TH-Bât.

1.2.1.10. Finition-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.

1.2.1.11. Aspects sanitaires

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

1.2.2. Durabilité

Moyennant les précautions de fabrication et de mise en œuvre, et les limitations précisées dans 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, au 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.

1.2.3. Impacts environnementaux

Il existe des Déclarations Environnementales (DE) vérifiées par tierce partie indépendante pour ce procédé mentionnées au paragraphe 2.8.2 du Dossier Technique.

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

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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 voiles coffrants 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 par un organisme extérieur. Cette certification porte sur le contrôle de la hauteur et de la résistance des soudures des raidisseurs.

Concernant le système de levage intégré aux MCI, le Groupe tient à préciser que l'Avis intègre l'utilisation des inserts de levage des murs dans des conditions d'épaisseurs définies dans le Dossier Technique. Les capacités portantes des inserts de levage sont déterminées à partir d'essais réalisés suivant le protocole CSTB en date du 11-06-2012 pour les ancrs de type SEAC v1.0 et du 22-04-2021 pour les ancrs de type SEAC v2.0. Conformément à ce protocole, les rapports d'essais portant sur le cas de figure le plus défavorable sont établis par un organisme indépendant du demandeur (extérieur au demandeur) qui atteste de la fiabilité des informations.

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

Le Groupe tient à rappeler que le stockage et le transport à plat sont à proscrire. Toutefois, ils sont exceptionnellement admis dans les cas prévus dans le document « Prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité » publié par l'INRS (ED6118) et en respectant les dispositions prévues par ce même document.

1.4. Annexe de l'Avis du Groupe Spécialisé

CMU des BOUCLES 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 essais de qualification fournis par la Société SEAC, les valeurs de la Charge Maximale d'Utilisation (CMU) par boucle sont données dans le tableau 1 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 la boucle ou dans le cas d'interposition d'une élingue câble telle que définie dans le Dossier Technique.

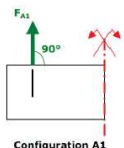
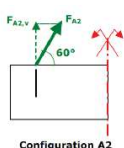
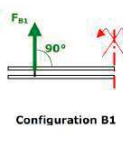
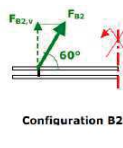
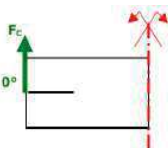
Commentaire : La situation critique correspond parfois à un levage à 60° mais les résultats sont transposés pour afficher la valeur équivalente en levage droit.

Tableau 1 - Valeurs de CMU par boucle

Réf. boucle	Diamètre boucle	Epaisseur nominale de paroi	Enrobage nominal des aciers et des boucles	Levage en position verticale CMU1 (kN)	Levage à plat CMU2 (kN)	Retournement en position verticale CMU3 (kN)
Ancre SEAC V1.0	14 mm	1 ^{er} peau ≥ 50 mm 2 ^{ème} peau ≥ 60 mm	≥ 15 mm	30,5	11,5	15,4
Ancre SEAC V2.0 Mur de 18°cm d'épaisseur	14 mm	1 ^{er} peau = 50 mm 2 ^{ème} peau = 60 mm	≥ 15 mm	27,3	-	19,5
Ancre SEAC V2.0 Autres épaisseurs	14 mm	1 ^{er} peau ≥ 60 mm 2 ^{ème} peau ≥ 60 mm	≥ 15 mm	27,3	-	19,5

Nota : Les épaisseurs données dans le tableau ci-dessus sont des valeurs nominales.

Tableau 2 - Vérification de la résistance des boucles de levage

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

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

p = poids surfacique du mur de coffrage intégré [kN/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 boucles et système équilibrant.

γ_{ed} = coefficient d'effet dynamique dû au levage = 1,15

γ_{pp} = coefficient d'incertitude sur poids propre = 1,05

NOTA : Pour des panneaux de dimensions réduites, il est possible d'utiliser un seul point de levage (voir § 2.2.2.2.5).

2. Dossier Technique

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

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : Société SEAC
47 boulevard de Suisse CS2158
FR - 31200 Toulouse
Tél. : 05 34 40 90 00
Email : commerce@seac-guiraud.fr

2.1.2. Mise sur le marché

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

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

2.1.3. Identification

Les « Duomurs » sont conformes à la norme européenne NF EN 14992+A1 « Produits préfabriqués en béton - Eléments de murs » ou à la norme NF EN 15258 « Produits préfabriqués en béton - Eléments de murs de soutènement » lorsqu'ils relèvent du domaine d'emploi de cette dernière. Les « Duomurs » bénéficient de la certification NF.

Chaque « Duomur » est identifié par une étiquette qui mentionne le nom du client, le nom du chantier, le numéro et le poids de l'élément, la classe de résistance du béton et la référence de l'usine de production. Sont aussi mentionnés : le numéro de certificat NF, le marquage CE, le numéro de certificat de Contrôle de Production en Usine et le numéro de référence de l'Avis Technique.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le « Duomur » est un mur constitué de deux voiles en béton armé préfabriqués reliés ensemble et espacés au moyen de raidisseurs métalliques de forme triangulaire ou éventuellement carrée. Sur chantier, l'espace vide compris entre les deux voiles coffrant est rempli de béton pour constituer un panneau plein.

Les voiles préfabriqués sont communément appelés « peaux » ou « peaux coffrantes ».

L'espace entre les voiles préfabriqués, une fois rempli de béton, est appelé « noyau ».

Les deux voiles incorporent les armatures nécessaires à la fonction structurelle du mur, ainsi que les éventuels renforts permettant au « Duomur » de jouer le rôle de poutre, poteau, poutre-voile, console, linteau, acrotère,... Ces deux peaux ainsi que le noyau constituent un ensemble porteur.

En complément des armatures prévues dans les panneaux, des armatures sont mises en œuvre sur chantier avant coulage du béton afin d'assurer les encastrement et les continuités entre panneaux correspondants aux fonctions structurelles prévues.

Des huisseries, menuiseries, gaines, boîtiers, faux-joints ou tout autre équipement peuvent être incorporés aux panneaux ou rapportés en œuvre.

Le dessus du mur exposé aux intempéries ainsi que les abouts doivent être habillés de couvertines ou fermés par un système étanche (enduit, capot métallique...).

La finition du parement est de type brut de décoffrage dénomination E (3-3-0) d'après la norme NF P 18-503. Toutes les arêtes des plaques sont chanfreinées.

Les parements peuvent recevoir un traitement architectonique, coloré, matricé....

Pour respecter les prescriptions du présent Avis, la paroi matricée présentera une épaisseur correspondant à l'épaisseur nominale du voile augmentée de l'épaisseur du relief de la matrice.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Béton

2.2.2.1.1. Béton des peaux

Les classes de résistance des bétons couramment utilisées pour la fabrication des « Duomurs » varient de C25/30 à C50/60. Les valeurs caractéristiques du béton sont conformes au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.2.

La résistance minimale du béton à la manutention par les boucles de levage est de :

En cas d'utilisation des ancrs SEAC V1.0 :

- 20 MPa sur cube 10x10x10 cm à la première manutention.

En cas d'utilisation des ancrs SEAC V2.0 :

- Pour mur de 18 cm d'épaisseur : 20 MPa sur cube 10x10x10 cm à la première manutention.
- Autres épaisseurs de mur : 15 MPa sur cube 10x10x10 cm à la première manutention en usine et 20 MPa sur cube 10x10x10 cm à la manutention sur chantier.

La composition du béton des voiles préfabriqués respecte les exigences définies dans les tableaux NA.F.1 de la norme NF EN 206/CN en fonction de la classe d'exposition de l'ouvrage.

2.2.2.1.2. Béton de remplissage

Le béton utilisé pour le remplissage des « Duomurs » doit être conforme au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.2.

Le béton de remplissage est conforme aux spécifications du projet à réaliser et à celles de la norme NF EN 206/CN. La classe de résistance minimale est C25/30. La résistance caractéristique à 28 jours est d'au moins 25 MPa.

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

Pour un noyau d'épaisseur strictement supérieure à 9 cm : utilisation d'un béton avec $D_{max} = 16$ mm.

Classe d'affaissement S4 ou S5 - valeur cible pour l'affaissement au cône d'Abrams : 200 mm, portée à 220 mm dans des conditions de bétonnage difficiles (fort ferrailage, faible épaisseur de l'élément).

2.2.2.2. Armatures

2.2.2.2.1. Armatures minimales des voiles préfabriqués

Dans le cas courant, les armatures minimales devant être mises en place dans les peaux du « Duomur » sont conformes au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.1 et § 1.1.1.2.

2.2.2.2.2. Raidisseurs

Les raidisseurs métalliques ou des cages d'armatures assurent la liaison entre les deux peaux. Ils sont espacés au plus de 60 cm et sont au plus situés à 30 cm des bords des panneaux. Ils peuvent être de section triangulaire avec un treillis sinusoïdal ou de section rectangulaire à partir de cages d'armatures incorporant des armatures de contreventement.

Les treillis raidisseurs font l'objet d'une certification par un organisme extérieur de type NF ou équivalent. Les critères de certification sont conformes au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.1.

En acier de nuance B500A (hors exigence sismique), B500B, ou B450C, ces éléments sont généralement de section triangulaire, de type KAISER KT 800 ou similaire, constitués :

- D'un filant supérieur de diamètre $\Phi 7$ à $\Phi 16$;
- De diagonales de diamètre $\Phi 5$ à $\Phi 8$;
- De deux filants inférieurs de diamètre $\Phi 5$ à $\Phi 16$.

Les cages d'armatures font l'objet d'un contrôle interne.

Le choix du type de treillis raidisseur dépend des critères suivants :

- Vitesse de bétonnage du noyau ;
- Sollicitations de cisaillement à l'interface ;
- Epaisseur du « Duomur » ;
- Enrobages des armatures ;
- Diamètre des armatures.

2.2.2.2.3. Armatures complémentaires

Les aciers mis en œuvre dans les voiles sont conformes au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.2.

2.2.2.2.4. Douilles d'étalement

Tous les panneaux sont équipés de douilles d'étalement, de diamètre M12, M16, ou M20, avec un minimum de 2 par panneau. Ces douilles sont destinées à recevoir des boulons de diamètre adapté à pas métrique de longueur filetée 40 mm. Elles servent à fixer les étais tirant-poussant en phase de mise en œuvre. Ces douilles font l'objet d'une certification pour cet usage. Leur nombre et leur diamètre sont dimensionnés en fonction des efforts à reprendre.

2.2.2.2.5. Boucles de manutention

Tous les panneaux sont équipés de boucles de manutention (plan de façonnage en annexe 2). Les boucles sont composées d'un crochet en acier doux Fe 235 de diamètre 14 mm, d'une épingle HA8 et d'une entretoise en Lamibois d'épaisseur 40 mm. Ces boucles de manutention ont fait l'objet d'essais initiaux garantissant leur capacité portante.

Les boucles de manutention sont repérées dans le mur par un marquage de couleur. Les boucles de manutention sont repérées sur les plans des « Duomurs ». Leur nombre (2 ou 4), dépend de la masse de l'élément à lever. Toutes les boucles présentes doivent être utilisées simultanément pour le levage. Lorsqu'il y a 4 boucles, un palonnier équilibrant doit obligatoirement être utilisé pour répartir les efforts entre les différentes boucles.

Pour les panneaux dont la largeur ne permet pas de positionner 2 boucles de levage ($< 1,25$ m) et dans la mesure où leur poids ne dépasse pas 1,50 tonne, une seule boucle sera mise en place dans le panneau.

2.3. Disposition de conception

2.3.1. Stabilité

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.

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.

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.

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.

2.3.1.1. Prescriptions communes aux différents éléments

2.3.1.1.1. Règles de dimensionnement

Les règles de dimensionnement sont conformes au *cahier CSTB 3690_V2* § 1.1.1.1.

L'épaisseur minimale des voiles préfabriqués est conforme au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.4.

Pour le calcul de la contrainte d'adhérence ultime f_{bd} selon l'article 8.4.2 de la NF EN 1992-1-1, le coefficient d'adhérence des armatures dans le béton non vibré est pris égal à $\eta_1 = 0,7$ pour les armatures horizontales de diamètre supérieur à 12 mm ; dans tous les autres cas, $\eta_1 = 1,0$.

2.3.1.1.2. Caractéristiques

Dimensions :

- Longueur :
 - Minimum : 0,40 m
 - Maximum : 12,20 m
- Largeur :
 - Minimum : 0,40 m
 - Maximum : 2,97 m
- Epaisseur totale :
 - Minimum : 18 cm
 - Maximum : 40 cm
- Epaisseur (nominale) des parois :
 - Minimum : 50 mm
 - Maximum : 70 mm pour les cas courants et 90 mm pour les cas particuliers matricés ou enrobages spécifiques

Poids unitaires des panneaux :

- 270 kg/m² pour un panneau associant une peau de 5 cm et une peau de 6 cm
- 290 kg/m² pour un panneau associant deux peaux de 6 cm
- 315 kg/m² pour un panneau associant une peau de 6 cm et une peau de 7 cm

2.3.1.1.3. Enrobage des armatures

2.3.1.1.3.1. Enrobage des armatures des peaux coffrantes

Les enrobages des armatures sont conformes au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.5 sans être inférieurs à 15 mm.

2.3.1.1.3.2. Enrobage des raidisseurs

L'enrobage des raidisseurs est conforme au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.6 sans être inférieur à 15 mm.

Les tolérances dimensionnelles utilisées pour la conception du « Duomur », sur la base des notations du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.6, sont les suivantes :

$$\Delta e1^+ = 2 \text{ mm}$$

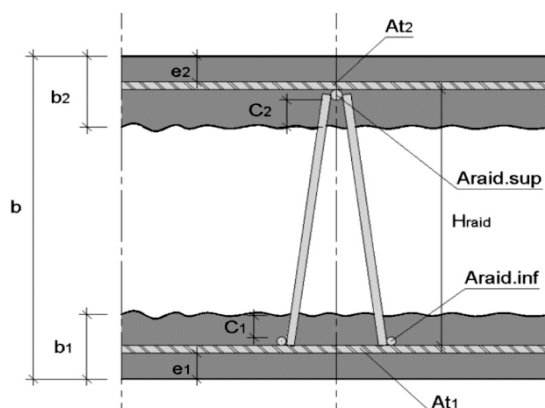
$$\Delta e1^- = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta b1^- = 3 \text{ mm}$$

$$\Delta b2^- = 3 \text{ mm}$$

$$\Delta b^+ = 3 \text{ mm}$$

$$\Delta H_{raid}^- = 3 \text{ mm}$$



2.3.1.1.4. 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 à proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées, ...), sauf dispositions particulières. Les joints verticaux sont sans incidence.
- Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan horizontal, les joints verticaux sont disposés à proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets), sauf dispositions particulières. Les joints horizontaux sont sans incidence.

2.3.1.1.5. Chevillage

Les dispositions prises pour le chevillage doivent être conformes au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.9.

2.3.1.1.6. Principes constructifs

2.3.1.1.6.1. Liaison entre éléments

Suivant cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.10

Des exemples de liaisons entre éléments sont présentés en Annexe IX de ce cahier. Ces liaisons sont de type :

- Articulé : les armatures de liaison sont ajoutées uniquement dans le noyau coulé en place,
- Couturé : liaison articulée à laquelle est ajoutée une armature de couture intégrée à la paroi structurelle en bord de panneau,
- Encastré.

2.3.1.1.6.2. Utilisation des raidisseurs dans les renforcements

Suivant cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.10

2.3.1.1.7. Recouvrement d'armatures

Suivant cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.11

2.3.1.1.8. Eclissage d'armatures

Suivant cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.12

2.3.1.1.9. Critère de bétonnage

Suivant cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.13

2.3.1.1.10. Dispositions parasismiques

Suivant cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.14

2.3.1.2. Prescriptions particulières aux éléments sollicités dans leur plan

2.3.1.2.1. Prescriptions particulières aux murs courants

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.2.1.

2.3.1.2.2. Prescriptions particulières aux poteaux

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.2.2.

Schémas de liaisons présentés en Annexe IX de ce cahier (détails 4 et 6) et annexe 3.A du présent Avis Technique.

2.3.1.2.3. Prescriptions particulières aux poutres

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.2.3.

Schémas de liaisons présentés en Annexe IX de ce cahier (détail 5)

2.3.1.2.4. Prescriptions particulières aux poutres-cloisons

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.2.4.

Schémas de liaisons présentés en Annexe 9 de ce cahier (détails 23 et 24)

2.3.1.2.5. Prescriptions particulières aux acrotères

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.2.5.

2.3.1.3. Prescriptions particulières aux éléments inclinés

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.3.

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

2.3.1.4.1. Prescriptions communes

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.4.1.

2.3.1.4.2. Prescriptions particulières pour les éléments bi-articulés

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.4.2.

2.3.1.4.3. Prescriptions particulières aux murs enterrés

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.4.3.

2.3.1.4.4. Prescriptions particulières aux murs de soutènement

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.4.4.

2.3.1.4.5. Prescriptions particulières pour les murs de silo ou de magasin de stockage

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.4.5.

2.3.1.4.6. Prescriptions particulières pour les murs de bassins et de piscines et pour les bassins de forme polygonale

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.4.6.

2.3.1.4.7. Prescriptions particulières aux murs de galerie souterraines

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.4.7.

2.3.2. Sécurité au feu

Le dimensionnement suit les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.2.

2.3.3. Isolation thermique

La performance thermique est déterminée suivant les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.3.

2.3.4. Isolation acoustique

La performance acoustique est déterminée suivant les prescriptions du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.4.

2.3.5. Traitement des joints et des parois

2.3.5.1. Traitement des joints

Selon la destination de l'ouvrage, le traitement du joint devra être mis en place selon les règles du *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.5.

2.3.5.2. Murs courants en superstructure

Les prescriptions particulières du traitement des joints des murs courants en superstructure sont définies dans le *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.5.1.

Pour les parois exposées aux intempéries, on se reporte aux prescriptions définies dans le *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.5.1.1.

2.3.5.3. Murs courants en infrastructure

Les prescriptions particulières du traitement des joints des murs courants en infrastructure sont définies dans le *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.5.2.

2.3.5.4. Murs avec pression hydrostatique

Les prescriptions particulières du traitement des joints des murs avec pression hydrostatique sont définies dans le *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.5.3.

2.3.5.5. Murs coupe-feu

Les murs coupe-feu non exposés aux intempéries, ne nécessitent pas de traitement particulier du joint si ce dernier est inférieur à 2 cm (Art 4.6(4) de la norme NF EN 1992-1-2).

2.3.5.6. Murs de silos ou magasin de stockage

Les prescriptions particulières du traitement des joints des murs de silos ou de magasins de stockage sont définies dans le *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.5.5.

2.3.6. Finitions et aspects

2.3.6.1. Etat de surface du parement

Il est de type courant selon la Norme NF P18-503 permettant de recevoir tout type de revêtement classique : surface à peindre ou à revêtir de qualité P(2), E(2), T(0).

2.3.6.2. Préparation du support

La forte compacité 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 ...).

Leur comportement ne pose pas de problème particulier si leurs conditions de mise en œuvre satisfont aux prescriptions données dans le présent Avis Technique. Il ne peut être cependant totalement exclu que, malgré la présence nécessaire d'aciers de liaison, de fines fissures, sans autre inconvénient que leur aspect, se manifestent au droit de certains joints entre panneaux de coffrage non revêtus. En cas d'absence d'aciers de liaison dans les jonctions intérieures, une fissuration du mur au droit des joints est probable.

2.3.7. Types de liaisons

Les liaisons assurent la continuité mécanique au droit des joints entre deux « Duomurs » et entre les « Duomurs » et les ouvrages avoisinants.

Les types de liaisons se classent en trois familles : liaisons articulées, liaisons couturées, liaisons encastrées. Pour les trois 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 (moment et effort tranchant), contraintes de chantier, méthodologie de pose, étanchéité, sismicité.

2.3.7.1. Articulation entre panneaux

Ces articulations sont décrites dans l'annexe IX du *cahier du CSTB 3690_V2*.

Ce type de liaison est utilisé dans les cas suivants :

- Liaisons articulées en pied de « Duomur » (détails 7)
- Liaisons articulées verticales droites entre deux « Duomurs » (détails 13)
- Liaisons articulées horizontales entre deux « Duomurs » (détails 21)
- Liaisons articulées d'angle (détails 15 et 16)
- Liaisons articulées en T (détails 18 et 19)
- Liaisons articulées entre « Duomurs » et plancher (détails 10 et 12)
- Liaison articulée bise (Annexe 3-B, détail 1 du présent Avis Technique)

2.3.7.2. Liaisons articulées couturées

Ce type de liaison est préconisé essentiellement pour les ouvrages qui doivent être étanches par le béton seul.

La caractéristique de ce type de liaison tient dans le fait que le panier d'armatures qui assure la couture au droit du joint est disposé dans le béton coulé en place et liaisonné avec des armatures en U intégré dans les peaux du « Duomur ».

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

L'ensemble de ces solutions nécessite soit l'ouverture d'une lame sur la hauteur de la liaison, soit des lumières réparties sur la hauteur de liaison (2,50 m maxi entre les lumières) pour permettre la bonne mise en place de la cage d'armatures de liaison.

On utilise les cas suivants :

- Liaisons couturées verticales et horizontales entre deux « Duomurs » (détail 13.3 de l'Annexe IX du *cahier du CSTB 3690_V2*)
- Liaisons couturées d'angle (détails 1 à 3 de l'annexe 3-C du présent Avis Technique)

2.3.7.3. 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 « Duomurs ».

La section des armatures est calculée en appliquant les règles de la norme NF EN 1992-1-1 avec son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA et suivant les efforts résistants des plans de rupture possibles selon l'annexe II du *cahier du CSTB 3690_V2*. Si les armatures de reprise ne permettent pas le ripage du « Duomur », il faut prévoir soit des lumières réparties sur la largeur de liaison (2,50 m maxi entre lumières) soit l'ouverture d'une peau, pour permettre la bonne mise en place de la cage d'armatures (détails Annexe 3-D du présent Avis Technique).

La continuité du moment et du cisaillement entre 2 panneaux le long d'un joint est assurée par la mise en œuvre soit d'une clé mécanique réalisée par le croisement des cages d'armatures, soit d'un recouvrement total des armatures.

Ces liaisons sont décrites dans l'annexe IX du *cahier du CSTB 3690_V2*.

On utilise les cas suivants :

- Liaisons encastrées en pied de « Duomur » avec ou sans reprise de bétonnage (détails 8 et 9)
- Liaisons encastrées verticales droites entre deux « Duomurs » (détails 14)
- Liaisons encastrées horizontales entre deux « Duomurs » superposés (détails 22)
- Liaisons encastrées d'angle (détails 17)
- Liaisons encastrées en T (détails 20)
- Liaisons encastrées entre « Duomur » et plancher (détails 11 et 12)

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 165°, le ferrailage de l'angle peut être intégré dans le « Duomur » selon la même méthode que la solution pour les joints droits (détail 17.2 de l'Annexe IX du cahier du CSTB 3690_V2)

- Pour les angles inférieurs à 165°, l'armature sera rapportée dans la partie coulée en place (détail 2 de l'Annexe 3-B du présent Avis Technique)

2.3.8. Dispositions parasismiques

La conception et la vérification des joints sous sollicitations sismiques devront être conformes au *cahier du CSTB 3690_V2* § 1.1.1.14.

Principes des dispositions constructives :

Les dispositions constructives doivent permettre d'assurer la continuité des chaînages par des liaisons non fragiles.

Pour les voiles de contreventement constitués par l'assemblage de panneaux verticaux, le mode de fonctionnement peut être considéré de deux manières :

- Fonctionnement en consoles indépendantes pour chacun des panneaux verticaux, avec chaînages incorporés à proximité des bords de chacun des panneaux. Une armature de couture entre les deux panneaux est posée sur site. Cette solution permet d'éviter le coffrage du joint (voir Annexe 3-E partie 2)
- Fonctionnement monolithique avec un chaînage à chaque joint incorporé à l'un des panneaux et une armature de couture associant le deuxième panneau. Dans ce cas, l'une des faces du joint est coffrée pour permettre le ripage des armatures de couture et les contrôles du ferrailage et du bétonnage (voir Annexe 3-E partie 1).

2.4. Disposition de mise en œuvre

2.4.1. Prescriptions concernant la manutention des panneaux

La manutention des « Duomurs » s'effectue uniquement par les boucles de levage incorporées dans les deux voiles de l'élément, prévues à cet effet et repérées par une marque de couleur. En aucun cas, la manutention ne peut s'effectuer par d'autres armatures. Lorsque la forme des panneaux le nécessite, des tirants ou entretoises de rigidité doivent être mis en place afin de garantir la manutention des éléments sans déformation sensible.

Les longueurs des élingues de levage seront à adapter afin que l'angle formé entre ces élingues n'excède pas 60°.

Lorsque le nombre de boucles est supérieur à deux, un palonnier équilibrant doit être obligatoirement utilisé pour équilibrer les efforts dans les boucles (utilisation d'un palonnier à poulies par exemple).

Les murs de hauteur supérieure à 2,75 m peuvent être livrés sur chant et devront être relevés soit avec une grue équipée de double moufle, soit à l'aide d'un retourneur spécifique. Un guide d'utilisation est fourni avec chaque retourneur.

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.

2.4.2. Prescriptions concernant le transport des panneaux

Le transport vertical des murs est réalisé dans des conteneurs auto-déchargeables permettant d'assurer la sécurité des opérateurs notamment durant les phases d'accrochage et de décrochage des murs. Les conteneurs auto-déchargeables peuvent être laissés sur chantier, sur une zone spécifiquement prévue à cet effet, où ils servent de stockage des murs.

Les prescriptions relatives au transport vertical ou horizontal des panneaux sont décrites à l'article 3.2 (conditionnement, transport et stockage) de la publication sur les Murs à Coffrage Intégré citée au paragraphe 2.4.4 du Dossier Technique. Le transport à plat est à proscrire sauf dans les cas définis à l'article 3.2.4 de cette publication.

2.4.3. Prescriptions concernant le stockage des panneaux

Le stockage sur chantier des conteneurs doit être effectué sur une aire régulièrement plane et stable à la charge de l'entreprise ; l'aire de livraison doit être facile d'accès pour les camions. Dans le cas de stockage vertical, les panneaux de coffrage doivent être posés sur des cales prenant simultanément l'appui des deux voiles.

Deux configurations peuvent se présenter dès la sortie d'usine, les éléments sont :

- Soit, pour une livraison verticale, conditionnés dans des conteneurs chargés sur camion. Ces conteneurs sont déchargés sur l'aire de stockage sur chantier,
- Soit, pour une livraison à plat, chargés sur camion et déchargés sur chantier.

Le stockage vertical et à plat des panneaux est décrit dans la publication sur les Murs à Coffrage Intégré citée au paragraphe 2.4.4 du Dossier Technique.

2.4.4. Conditions de mise en œuvre

Les prescriptions relatives à la mise en œuvre des panneaux MCI 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.

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 nécessitent de l'entreprise de mise en œuvre des précautions particulières et un entraînement des équipes de montage.

Les documents à fournir par le titulaire sont :

Les plans de calepinage et de préconisation de pose ;

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 dans les tableaux 1 et 2 en annexe du présent Avis.

2.4.5. Travaux préliminaires

L'entreprise doit disposer de plans de ferrailage et de coffrage établis par le bureau d'études en charge du chantier, incluant les armatures complémentaires conformes au plan de préconisation de pose fourni par SEAC.

Après traçage de l'implantation des « Duomurs » sur les ouvrages de fondation, il est recommandé de fixer une règle côté extérieur ou intérieur pour faciliter le guidage lors de la pose des panneaux.

Préalablement à la pose, il faut vérifier le nivellement des ouvrages et prévoir les calages nécessaires.

Les armatures complémentaires, les dispositifs d'étalement ainsi que les cales nécessaires aux réglages en altimétrie et écartement sont approvisionnés.

2.4.5.1. Pose des panneaux

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

2.4.5.2. 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 sur la base des efforts transmis par le bureau d'étude structure. En l'absence de cette donnée, le dimensionnement est fait sur la base d'un effort 60 daN/m².

2.4.5.3. 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.

2.4.5.4. Utilisation de coupleurs

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

2.4.5.5. Armatures de liaison

A partir des plans d'exécution, l'entreprise doit faire la synthèse des armatures de liaison à mettre en œuvre sur le chantier. Selon le type de liaison, elle doit prévoir les armatures à mettre en place entre la pose de deux panneaux successifs. Des exemples de liaison sont représentés aux annexes 3-B et 3-C.

Les armatures de liaison sont mises en place dans chaque « Duomur » avant la pose de l'élément suivant.

Dans le cas des murs de grande hauteur, il est préférable de disposer les armatures avant de relever l'élément dans sa position finale. Dans tous les cas, les armatures doivent être efficacement ligaturées pour assurer leur maintien pendant ces phases de mise en œuvre.

Après pose des éléments préfabriqués, les armatures de liaison sont déplacées dans leur emplacement définitif et éventuellement complétées par les armatures longitudinales.

Les ferrailages complémentaires sont ensuite mis en place avant le début du bétonnage.

Le responsable du chantier vérifie avant coulage la conformité des ferrailages avec les plans du bureau d'études.

2.4.5.6. Bétonnage

2.4.5.6.1. 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 aux prescriptions de l'article 1.1.1.13 du *cahier du CSTB 3690_V2*.

Le bétonnage s'effectue en passes successives de 70 cm de hauteur et à la vitesse d'une passe par heure. Lorsque la température extérieure est inférieure à 15°C, les passes sont espacées de 2 heures et le béton doit comporter un accélérateur de prise.

2.4.5.6.2. Vitesse de bétonnage :

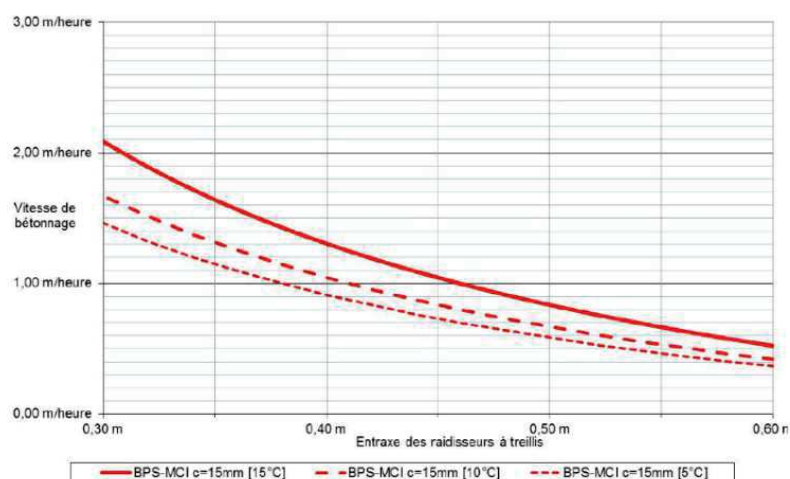
La vitesse de bétonnage est déterminée conformément aux prescriptions de l'annexe B de la NF EN 14992+A1 en fonction de l'entraxe des treillis raidisseurs et de l'enrobage, côté intérieur, des armatures longitudinales des treillis raidisseurs ($c_{\min} = 15 \text{ mm}$ ou 17 mm).

La vitesse maximale de bétonnage est de 70 cm/heure pour des raidisseurs espacés de 60 cm ; dans le cas d'une vitesse supérieure, la vitesse doit être précisée sur le plan de pose.

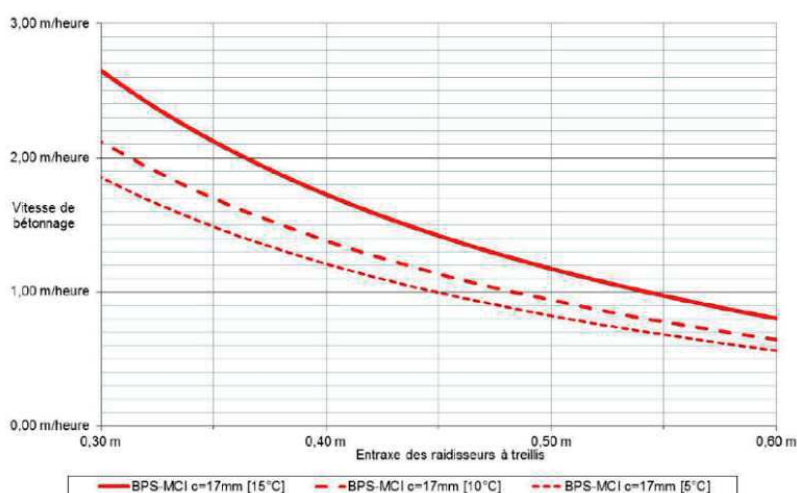
Une attention particulière doit être portée lors des bétonnages par temps froid ; la vitesse de bétonnage doit être diminuée de :

- 20 % pour des températures de paroi inférieures à 10°C
- 30 % pour des températures de paroi inférieures à 5°C

Vitesse de bétonnage pour les BPS en fonction de la température et de l'entraxe des raidisseurs (pour un enrobage du treillis raidisseur $c_{\min} = 15 \text{ mm}$)



Vitesse de bétonnage pour les BPS en fonction de la température et de l'entraxe des raidisseurs (pour un enrobage du treillis raidisseur $c_{\min} = 17 \text{ mm}$)



La hauteur maximale de chute libre du béton de remplissage des murs n'excèdera pas 3 m quelle que soit l'épaisseur du noyau, sauf si des garanties sur la non-ségrégation du béton sont fournies pour des applications particulières. Lorsque les hauteurs de panneaux sont supérieures à cette hauteur maximale et ne permettent donc pas le bétonnage par le haut des panneaux, le bétonnage doit être réalisé par introduction d'un tube souple dans le vide coffré (lorsque l'épaisseur du vide le permet) ou par une lumière ou une trémie latérale respectant cette même hauteur limite.

De plus, dans ce cas, les lumières et les trémies latérales de bétonnage doivent être espacées d'au plus 3,80 m et l'on doit s'assurer du bon remplissage des coffrages 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.

Contrôle du remplissage :

Le bon remplissage du noyau des MCI « Duomur » doit être contrôlé lors de la mise en œuvre en s'assurant de l'absence de poches d'air et de ségrégation du béton

Un contrôle visuel peut se faire via la présence d'orifices dans la peau intérieure (diamètre de l'ordre de 50 mm), prévus lors de la conception ou réalisés sur chantier. Lorsque les orifices sont prévus à la conception, l'utilisateur doit en faire la demande à l'industriel.

L'orifice peut être utilisé pour injecter un coulis de remplissage si nécessaire.

Le nombre et la localisation des orifices nécessaires au contrôle dépendent des caractéristiques du MCI :

- Dans le cas général, l'orifice de contrôle doit être situé en partie basse de chaque MCI ;
- Dans les cas de MCI présentant des zones fortement armées, des orifices supplémentaires doivent être prévus.

Un contrôle par vérification du volume de béton coulé en œuvre et inspection de la non-ségrégation au décoffrage des réservations peut être envisagé.

L'auscultation sonique peut également être envisagée.

Les contrôles en utilisant un maillet ne sont pas adaptés.

Reprise de bétonnage :

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

2.4.5.6.3. Bétonnage des joints verticaux et horizontaux

Dans le cas de liaisons encastrées ou couturées présentant une forte densité d'armatures, dans le cas d'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 bétonnées en place au droit des joints verticaux doivent être vibrées.

2.4.5.7. Etapes après décoffrage

La publication sur les Murs à Coffrage Intégré, citée au paragraphe 2.4.4, décrit les finitions à apporter aux panneaux.

2.4.5.7.1. Fermeture des joints après bétonnage

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

2.4.5.7.2. Ragréage éventuel

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

2.5. Traitement en fin de vie

Le traitement en fin de vie peut être considéré comme équivalent à celui des murs traditionnels en béton.

2.6. Assistance technique

La fabrication des « Duomurs » est réalisée exclusivement dans les sites de productions du groupe SEAC.

De même, la commercialisation est assurée par la seule Société SEAC.

Le calcul des structures est effectué par le BET Structures de la Maîtrise d'œuvre du chantier en tenant compte des spécificités du procédé. Le Bureau d'Etudes Interne de SEAC s'engage à effectuer la vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface paroi préfabriquée/béton coulé en place qui est spécifique aux procédés de murs à coffrage intégré, ou à s'assurer que cette vérification a bien été effectuée par le BET Structures de l'opération. Le calepinage des panneaux est effectué par le Bureau d'Etudes Interne de SEAC et soumis à l'approbation du BET Structures par l'intermédiaire de l'entreprise titulaire du marché de gros œuvre. Le Bureau d'Etudes Interne de SEAC vérifie également le dimensionnement des boucles de levage dans le MCI.

Le BET Structures de la Maîtrise d'œuvre doit tenir compte des conditions particulières de la conception parasismique des bâtiments avec ce procédé.

La prestation du détenteur du présent Avis Technique s'arrête à la livraison des éléments sur le chantier. Le déchargement, la pose et la mise en œuvre sont de la responsabilité de l'entreprise de gros œuvre. Celle-ci doit réaliser ces opérations en suivant les prescriptions du présent Dossier Technique, les éléments qui lui sont diffusés par SEAC lors de sa commande et les prescriptions de l'équipe de Maîtrise d'œuvre du chantier.

Le titulaire de l'Avis fournira aux entreprises une notice de pose et mettra à leur disposition, sur leur demande, des possibilités de formation du personnel. Il leur diffusera le contenu du présent Avis Technique et notamment le domaine d'emploi accepté et les prescriptions techniques dont il est assorti.

2.7. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.7.1. Fabrication des panneaux

La préfabrication des panneaux est réalisée en usine dans des bâtiments fermés. Les opérations de préparation, de traçage, de ferrailage et de coulage du béton sont réalisées sur des plateaux coffrants métalliques de 3,00 x 8,00 m ou de 3,00 x 12,50 m, déplaçables et disposés à plat.

Les opérations sont organisées de la manière suivante :

Réalisation de la première face :

- 1** Nettoyage automatique du plateau
 - 2** Traçage automatisé sur le plateau, à partir des données transférées par le BET interne, pour le coffrage de la plaque, les réservations, les positions des diverses douilles et des boucles de manutention. Selon les dimensions des panneaux, un plateau peut comporter une ou plusieurs premières faces.
 - 3** Mise en place manuelle par un opérateur des règles coffrantes aimantées, des douilles, des négatifs de réservations et des coffrages éventuels pour les ouvertures.
 - 4** Pulvérisation d'un décoffrant
 - 5** Mise en place des cales d'enrobage des armatures en treillis soudé ou des treillis reconstitués par barres.
 - 6** Mise en place des armatures pour l'ensemble du panneau dans l'ordre suivant :
Pose de la nappe d'armatures de la première face
Pose des raidisseurs
Pose des renforts de ferrailage de la première face et des boucles de levage
Pose et ligaturage de la nappe d'armatures pour la deuxième face du panneau et de ses renforts éventuels
 - 7** Mise en place des écarteurs des plateaux qui servent également de cales d'enrobage.
 - 8** Contrôle de la conformité aux plans de coffrage/ferrailage du panneau
 - 9** Fabrication du béton dans la centrale située sur le site, acheminement et coulage du béton par l'utilisation d'une benne distributrice à vidage pondéral
 - 10** Vibration globale du plateau par secouage.
 - 11** Stockage automatique du plateau dans une chambre de durcissement par auto-étuvage pour une durée de 17 heures.
- Après séchage de la première face, le lendemain ou 17 heures après, il est procédé à la mise en œuvre de la deuxième face. Les opérations 1 à 4 sont identiques à celles de la première face.
- La mise en œuvre du ferrailage ayant été exécutée avec la première face, la séquence des opérations passe directement aux opérations de bétonnage et de vibration 9 et 10 identiques à la première face.

Réalisation de la deuxième face :

- 12** Mise en place du plateau de la première face sur le dispositif de retournement et clavetage de la plaque de béton sur le plateau avant retournement,
- 13** L'ensemble plateau/plaque est retourné à 180° et positionné sur le plateau de la deuxième face avec le béton frais. Les deux plateaux sont maintenus et centrés l'un au-dessus de l'autre par des écarteurs métalliques correspondant à l'épaisseur du mur,
- 14** Vibration de l'ensemble par secouage de manière à bien enrober les armatures dans le béton de la deuxième face et bien calibrer son épaisseur,
- 15** Déclavetage et enlèvement du plateau de la première face. Vérification de l'épaisseur du produit fini et de l'alignement des deux plaques. Marquage d'identification et repérage,
- 16** Stockage automatique dans la chambre de durcissement pour une durée de 17 heures.
- 17** Le décoffrage du panneau « Duomur » est réalisé horizontalement avec un pont roulant ou verticalement à partir de tables basculantes.
- 18** Le stockage est réalisé sur palette sur le parc avant livraison ou dans des râteliers verticaux de stockage. Dans le cas de stockage à plat, l'empilage comporte au maximum 3 panneaux.

2.7.2. Tolérances dimensionnelles standards

Les tolérances dimensionnelles des « Duomurs » sont définies par le référentiel de certification NF 548 « Murs composites avec ou sans isolant et murs sandwichs ».

Tolérance sur les dimensions transversales des ancrs de manutention : +2/-1 mm

2.7.3. Contrôle sur les ancrs de manutention

- Contrôle dimensionnel des ancrs.
- Contrôle de l'assemblage par soudure suivant la norme EN ISO 15613

2.7.4. Contrôle du béton

Les bétons utilisés pour la réalisation des peaux coffrantes des « Duomurs » sont fabriqués dans les centrales des sites de production. Le béton des peaux de coffrage fait l'objet d'un autocontrôle régulier en laboratoire interne conformément à la norme NF EN 206/CN et aux normes de contrôles auxquelles elle fait référence.

2.7.5. Contrôle en cours de fabrication

Les contrôles suivants sont réalisés en cours de cycle de fabrication :

- Avant bétonnage de la première face : contrôle visuel de la conformité du coffrage/ferrailage du panneau, des inserts et réservations.
- Après assemblage des deux faces : contrôle de l'épaisseur du mur fini et de l'alignement des deux plaques.
- Contrôle visuel des parements sur les produits finis.
- Ecarteurs : spécifications du référentiel de certification.

2.7.6. Contrôles par un organisme externe

Le procédé « Duomur » fait l'objet d'une certification NF selon le référentiel NF 548 dont le suivi est effectué par le CSTB.

Les contrôles doivent permettre de garantir les caractéristiques certifiées suivantes :

La résistance caractéristique à la compression à 28 jours du béton des parois préfabriquées, $f_{ck,p}$;

L'épaisseur des parois, b_1 et b_2 ;

Les enrobages des armatures et des raidisseurs en considérant une tolérance sur l'enrobage des armatures et des raidisseurs, définie par le fabricant, de +2 mm/-0 mm ;

Les spécifications techniques de l'insert (matériau, dimensions et tolérances) avec catalogue des caractéristiques des inserts tenu à disposition de l'organisme certificateur ;

Les conditions de mise en œuvre à la fabrication (enrobage intérieur effectif de l'insert, longueur d'ancrage de l'insert, ferrailage spécifique de renfort autour des inserts, nombre d'inserts) ;

L'identification visuelle des inserts de levage.

2.8. Mention des justificatifs

2.8.1. Résultats Expérimentaux

Rapport Essai 2014 CERIB 2636 en date du 24/02/2014

Rapport d'essai CERIB n°029189 en date du 07/07/2021

Rapport d'essai CERIB n°029190 en date du 07/07/2021

2.8.2. Données Environnementales¹

Le procédé de MCI « Duomur » (sans béton de remplissage) fait l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) collective. Cette DE a été établie en août 2019 et a fait l'objet d'une vérification par tierce partie indépendante selon l'arrêté du 31 août 2015 et est déposée sur le site www.inies.fr

Le procédé de MCI « Duomur » (avec béton de remplissage à base d'un ciment de type CEM III/A) fait l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) collective. Cette DE a été établie en août 2019 et a fait l'objet d'une vérification par tierce partie indépendante selon l'arrêté du 31 août 2015 et est déposée sur le site www.inies.fr

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.

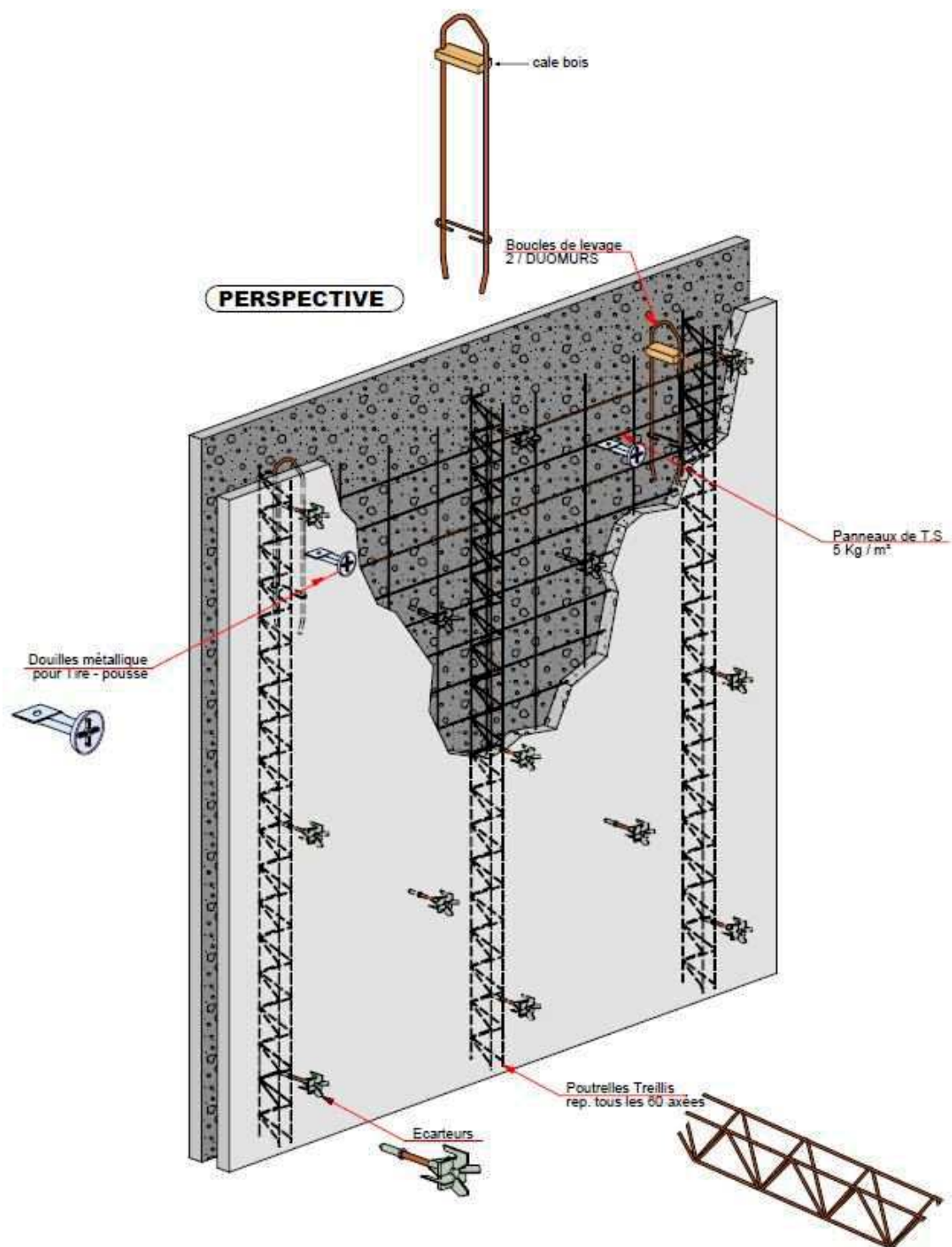
2.8.3. Références chantiers

Année	Chantier, quantité de « Duomurs »	Maître d'œuvre	Bureau de contrôle
2012	Immeuble collectif R-1 à R+4 à Toulouse 1315 m ²	Archi Griff, Toulouse	Dekra Inspection Toulouse
2013	Logements collectifs R-2 à R+4, 2574 m ²	SARL Harter Architecture, Toulouse	Socotec Toulouse
2013	Centre hospitalier de Carcassonne R+3 1135 m ²	AIA architecture St Herblain	Apave Nice
2013	GCS Pôle santé d'Arcachon R+2 6327 m ²	Eiffage Construction Bordeaux	Bureau Veritas Cestas
2018	Immeuble - R+18 MARSEILLE 5500 m ²	AAYP ARCHITECTE	SOCOTEC MARSEILLE
2020	Bibliothèque Universitaire Droit et Lettres Bordeaux 2200 m ²	PRESENT	APAVE ARTIGUES
2020	LOT HABITAT Cahors 5425 m ²	F.MARTINEZ	BUREAU VERITAS CAHORS
2021	Ouvrage Public 2 niveaux CARCASSONNE 3800 m ²	KARDHAM ARCHITECTURE	QUALICONSLT PERPIGNAN

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

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

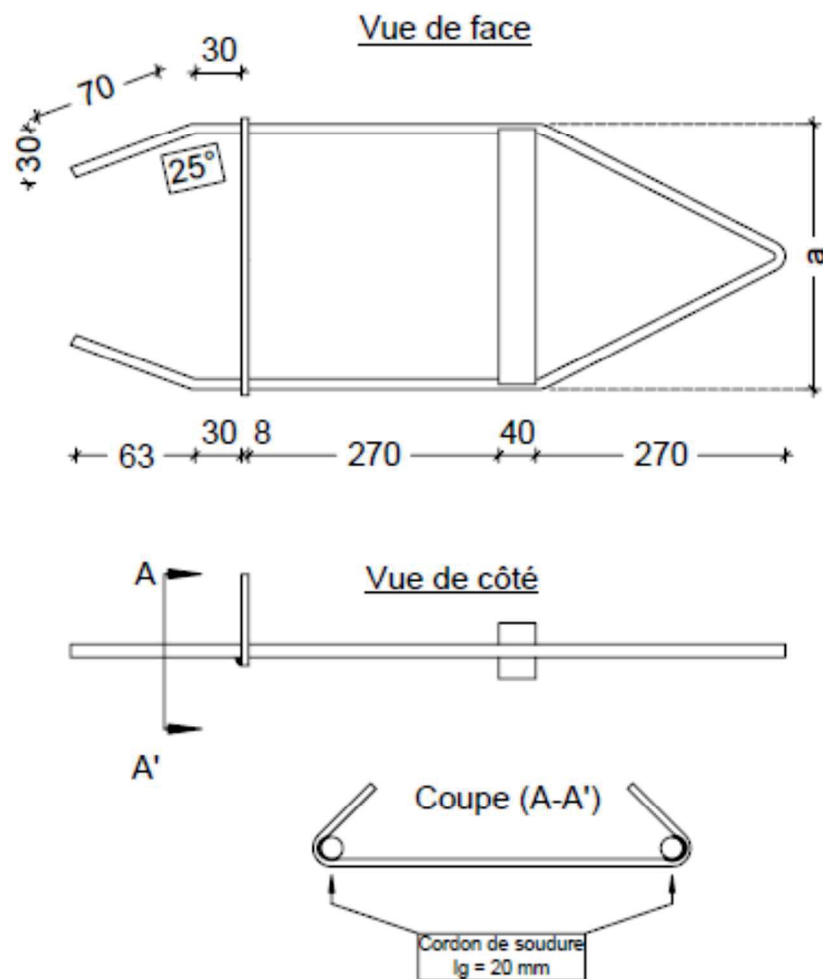
Annexe 1 : Perspective d'un « Duomur »



Annexe 2 : Plan de façonnage des ancres de manutention

Ancre SEAC V1.0

Montage :



Epaisseur des crochets en fonction de l'épaisseur du mur

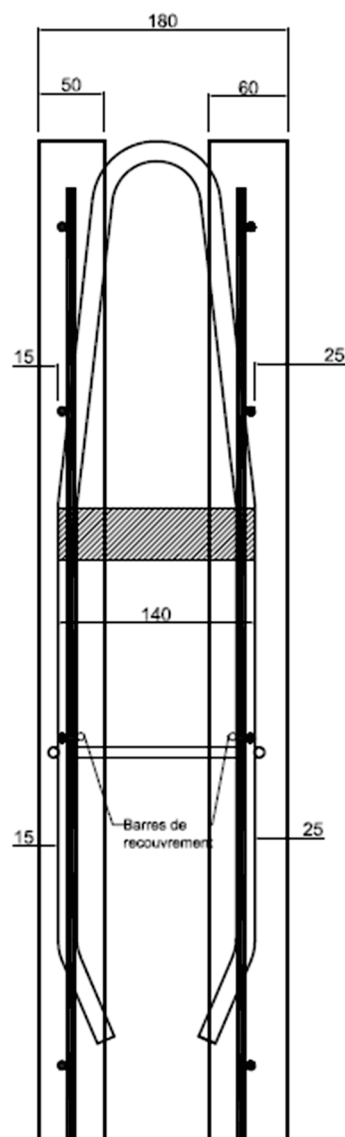
ép. mur (mm)	a (mm)
180	140
200	150
250	200
300	250
360	310
400	350

Caractéristique de la cale bois

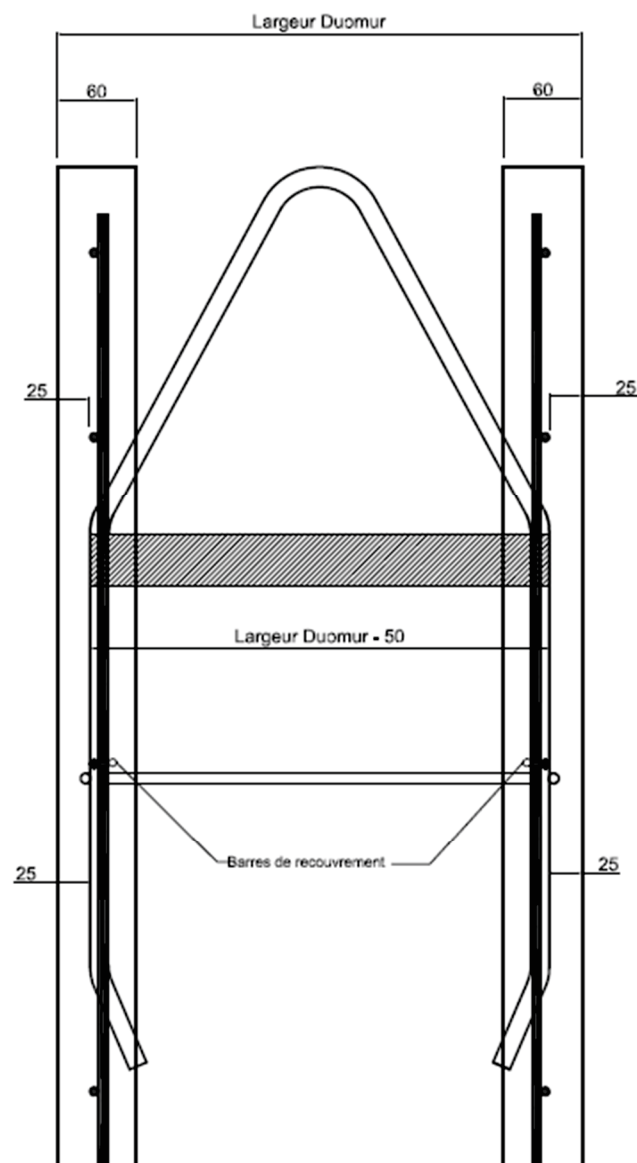
- Type : Lamibois épaisseur 40 mm
- Densité moyenne : 510 kg/m³
- Taux d'humidité à la livraison : 12 %
- Variation dimensionnelle pour 1 % de variation d'humidité :
Longueur : 0.01 % - Largeur : 0.03 % - Epaisseur : 0.24 %

Coupe sur ancre Seac v1.0

Duomur de 180

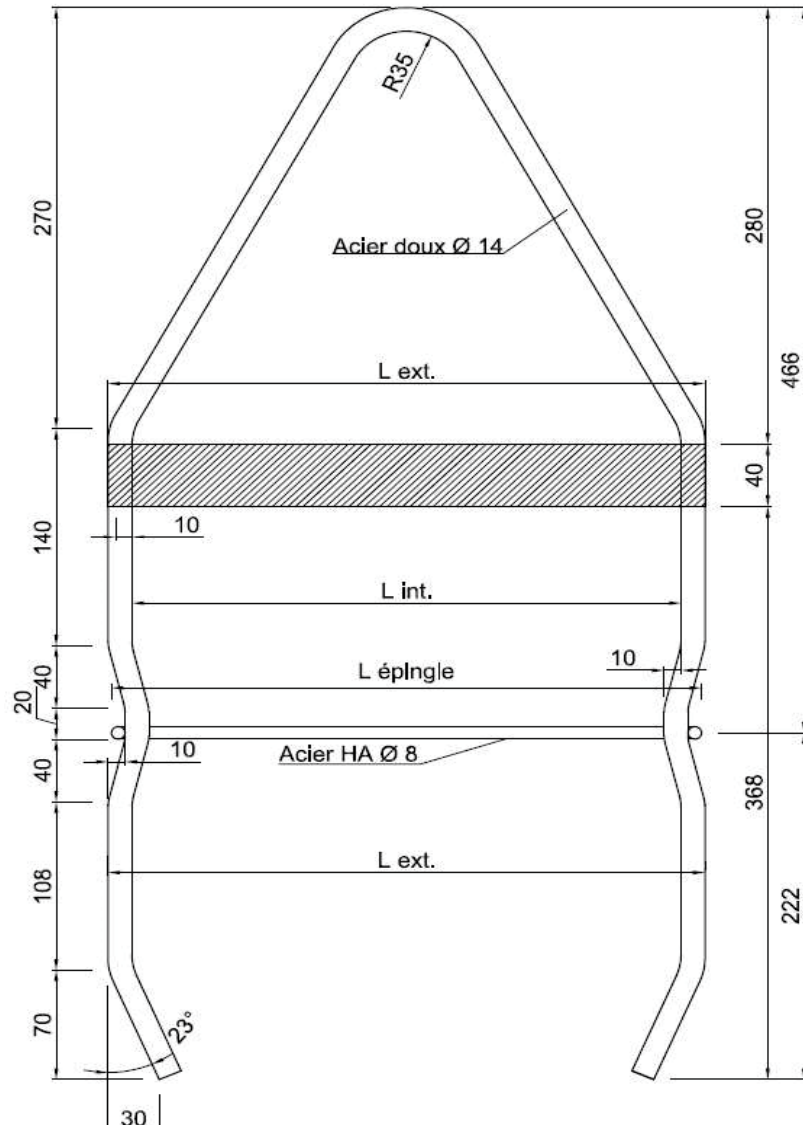


Duomur autres largeurs

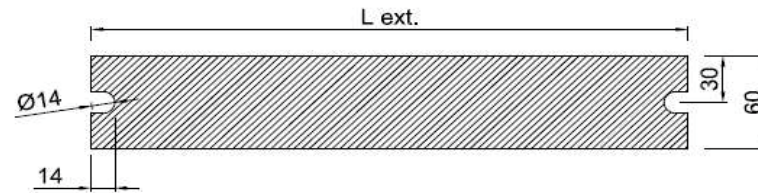


Ancre SEAC V2.0

L'épaisseur nominale des parois préfabriquées doit être supérieure ou égale à 60 mm, à l'exception du mur de 18 cm d'épaisseur pour lequel l'épaisseur nominale de la 1^{ère} paroi est égale à 50 mm.

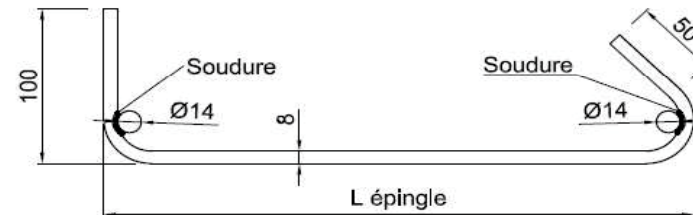


Ancre Duomur V 2
pour mur de 18 à 40 cm



Buton Lamibois type Kerto Q

Densité moyenne 510 kg/m³ – Taux d'humidité à la livraison < 12% – Variation dimensionnelle pour 1% de variation d'humidité: Long. 0.01%, Larg: 0.03%, Ep. 0.24%

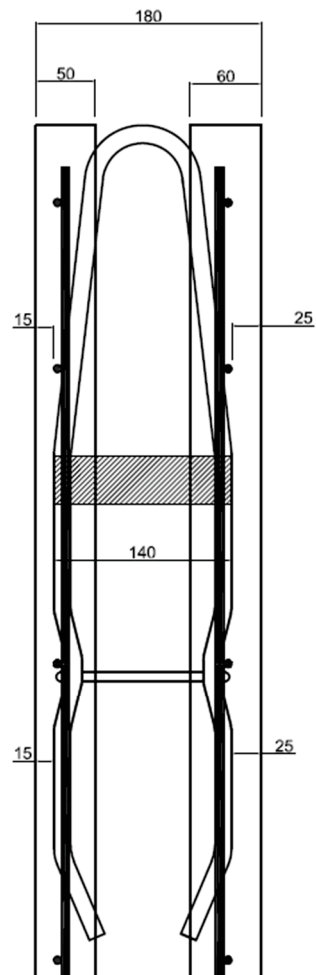


Epingle HA Ø 8

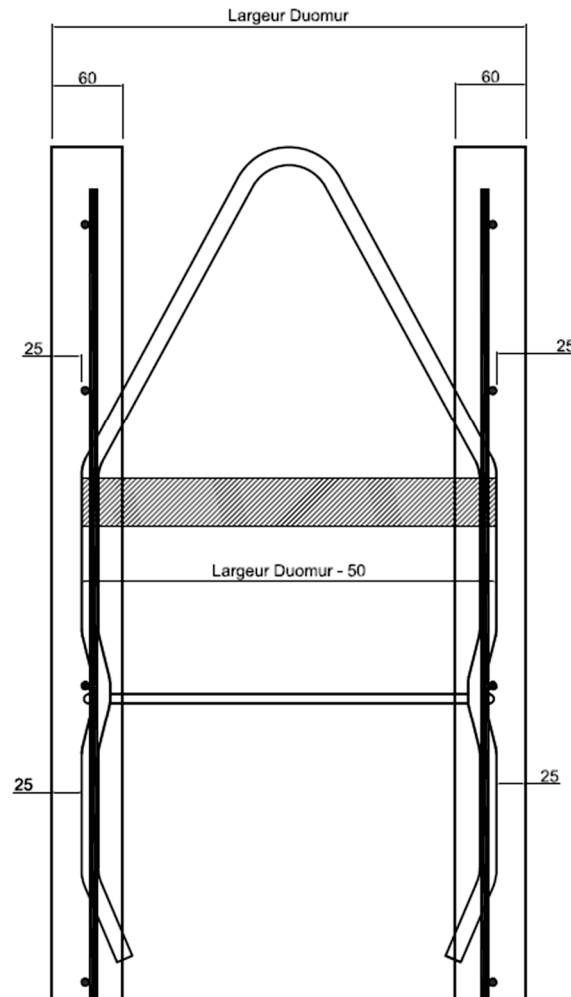
Cotes (mm)			
			v 210707
Largeur de mur	L ext.	L Int.	épingle
400	350	322	346
360	310	272	306
300	250	222	246
250	200	172	196
200	150	122	146
180	140	112	136

Coupe sur ancre Seac v2.0

Duomur de 180



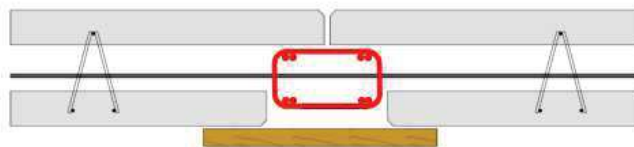
Duomur autres largeurs



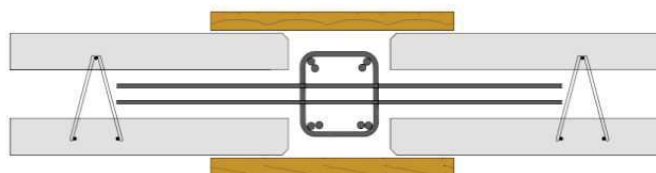
Annexe 3 : liaisons entre « Duomurs »

A. Réalisation de poteaux incorporés

1. Poteau mis en œuvre dans l'épaisseur du noyau coulé en place au droit d'un joint vertical et avec coffrage d'une face

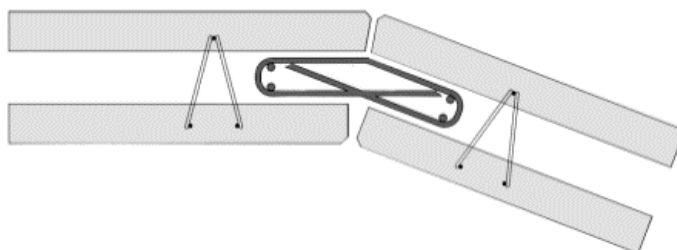


2. Poteau mis en œuvre dans l'épaisseur du « Duomur » coulé en place avec coffrage 2 faces

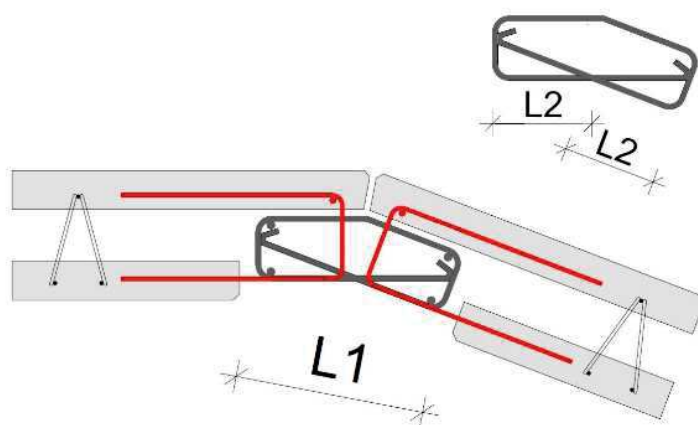


B. Liaisons biaisées

1. Articulée



2. Encastrée

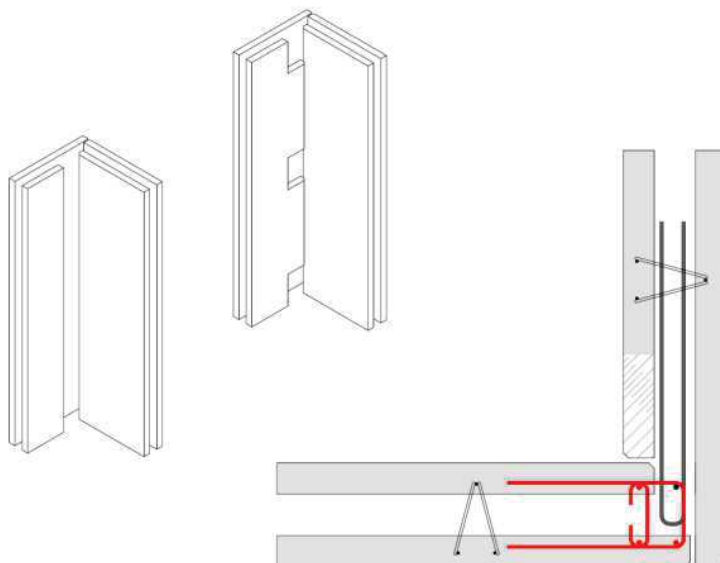


Longueur armature $L2 \geq 32.\phi + 14 \text{ cm}$

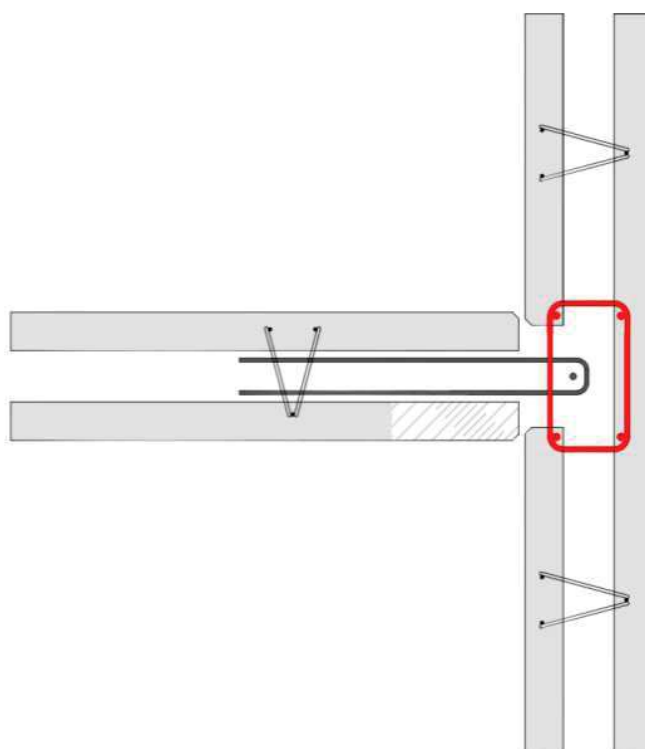
Longueur ouverture $L1 \geq L2 + 5 \text{ cm}$

C. Liaisons articulées couturées

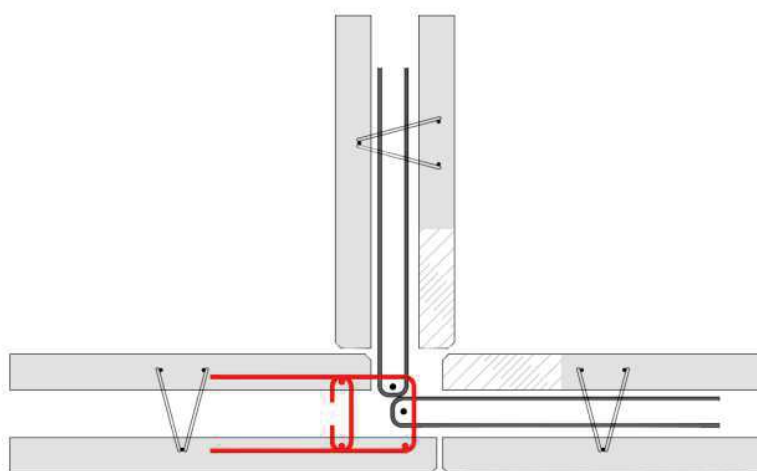
1. Liaison d'angle avec lumières (espacées de 2,50 m maximum) ou ouverture d'une lame toute hauteur pour permettre la mise en place de l'armature de liaison



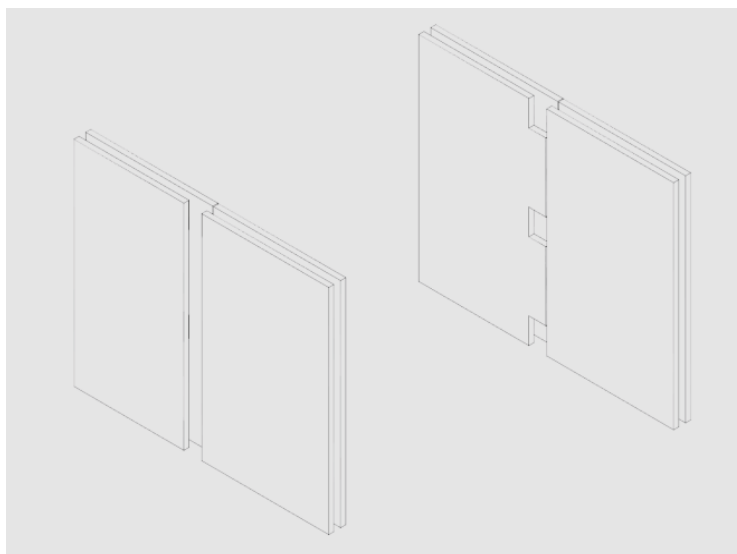
2. Liaison de refend couturée avec lumières (espacées de 2,50 m maximum) ou ouverture d'une lame toute hauteur pour permettre la mise en place de l'armature de liaison



3. Liaison en T couturée avec lumières (espacées de 2,50 m maximum) ou ouverture d'une lame toute hauteur pour permettre la mise en place de l'armature de liaison



D. Lumières (espacées de 2,50 m maximum) ou ouverture de lame toute hauteur pour le ripage de la cage d'armature

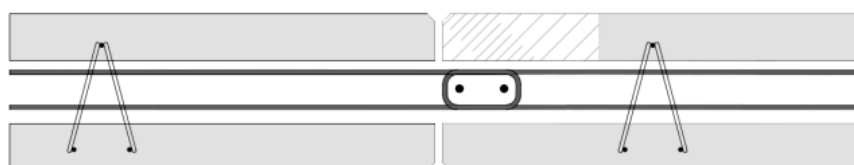


E. Liaisons sismiques

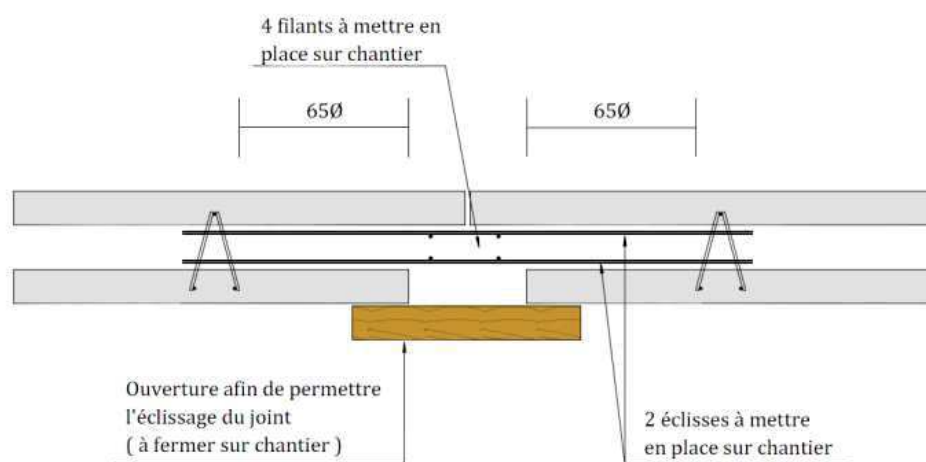
1. Fonctionnement monolithique

a. Liaisons verticales droites

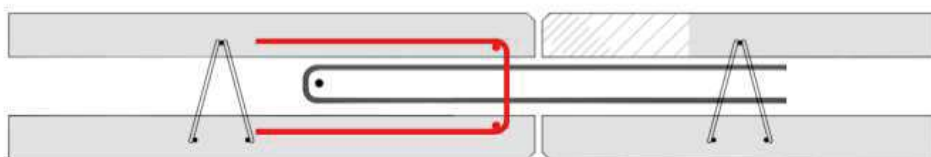
a.1. (Uniquement pour les bâtiments relevant des règles PS MI 89 révisées 92 de janvier 2011)



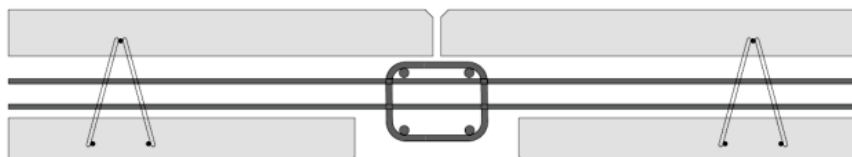
a.2.



a.3.

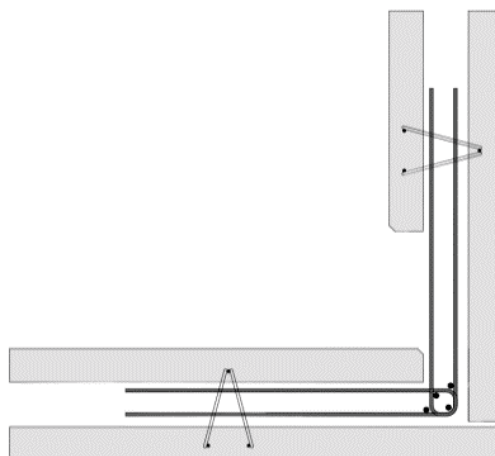


a.4.

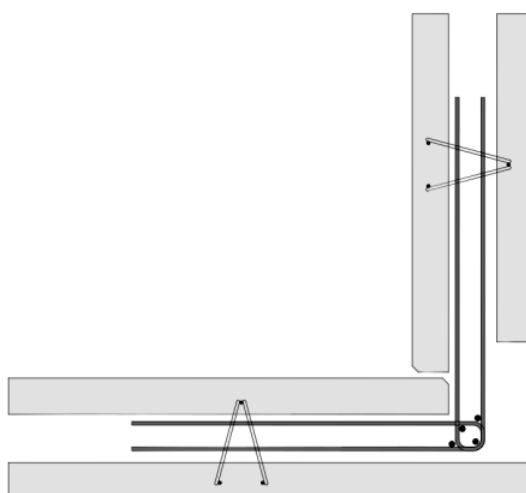


b. Liaisons verticales d'angle

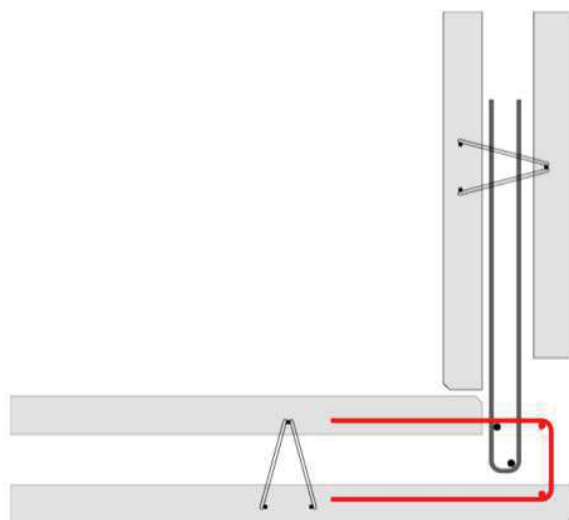
b.1. (Uniquement pour les bâtiments relevant des règles PS MI 89 révisées 92 de janvier 2011)



b.2. (Uniquement pour les bâtiments relevant des règles PS MI 89 révisées 92 de janvier 2011)

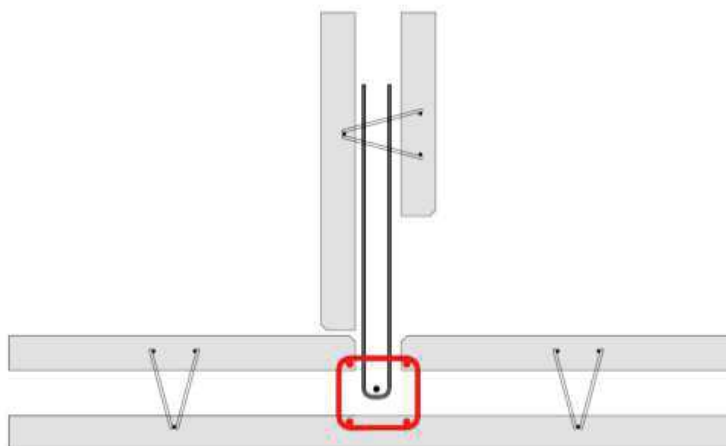


b.3.

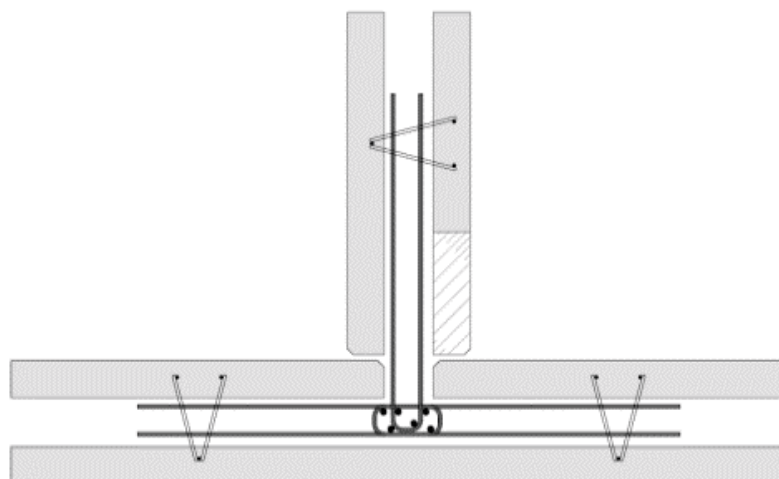


c. Liaisons verticales avec refend

c.1.

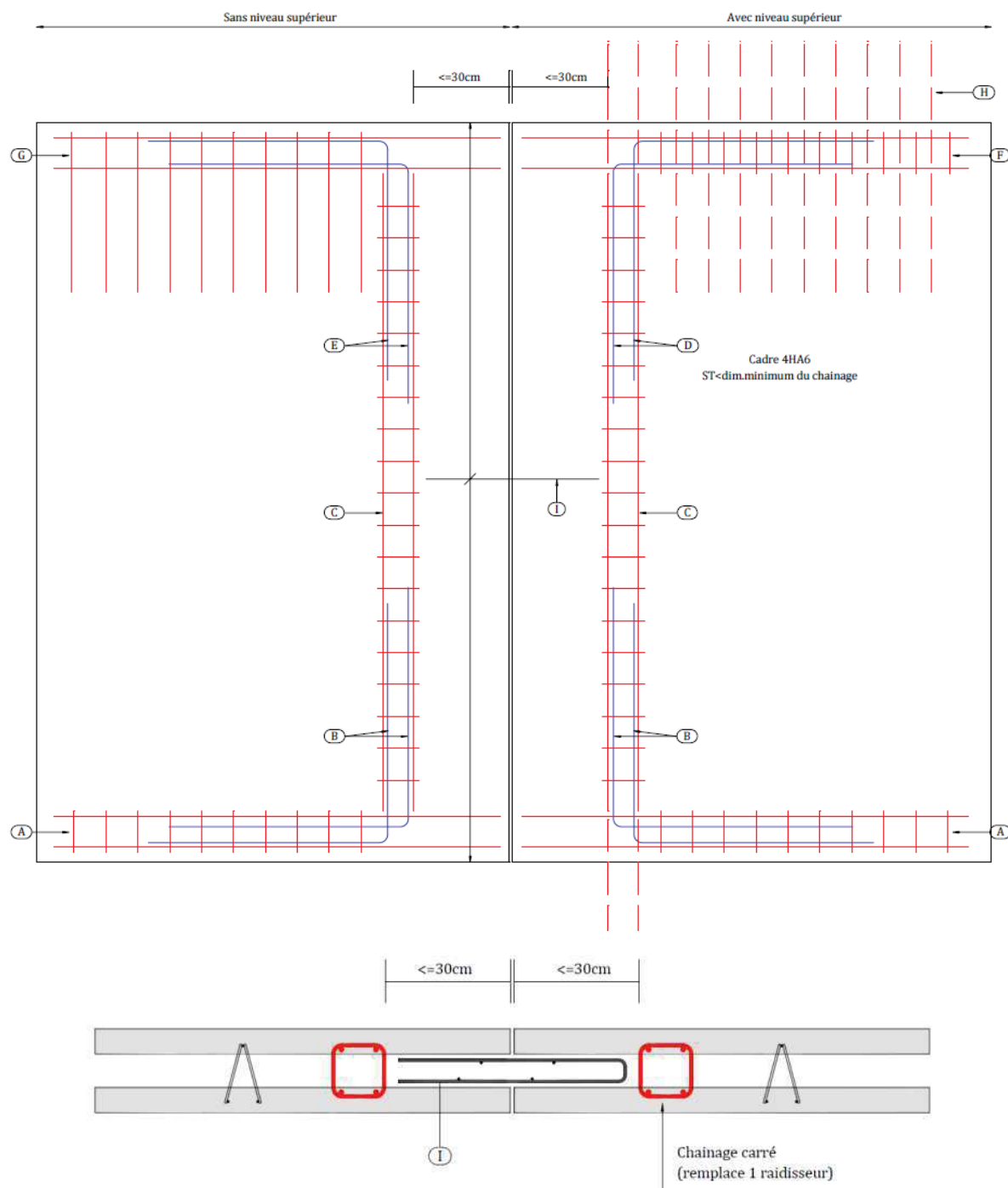


c.2.



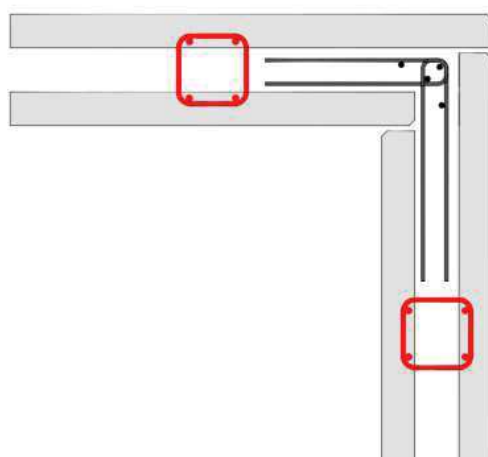
2. Fonctionnement en consoles indépendantes pour chacun des panneaux verticaux

a. Liaison droite

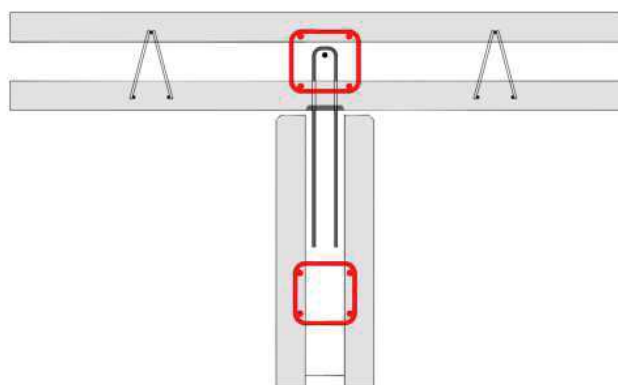


- A. Chaînage horizontal bas en pied de panneau (non nécessaire si chaînage bas présent au niveau du plancher ou au niveau des fondations avec attentes pour les chaînages verticaux)
- B. Equerre basse pour liaison entre chaînage horizontal et chaînage vertical (non nécessaire si armatures en attentes suffisantes prévues)
- C. Chaînage vertical intégré de part et d'autre du joint des « Duomurs »
- D. Equerre haute pour liaison entre chaînage horizontal et chaînage vertical (non nécessaire si armatures en attentes prévues pour le niveau supérieur)
- E. Equerre haute pour liaison entre chaînage horizontal et chaînage vertical
- F. Chaînage horizontal haut en tête de panneau (non nécessaire si chaînage au niveau du plancher mis en place dans le vide à couler en place sur chantier)
- G. Chaînage de tête en U
- H. Attentes en tête à mettre en œuvre sur chantier dans le vide à couler en place
- I. liaison entre « Duomurs »

b. Liaison d'angle



c. Liaison avec refend



s