

Sur le procédé

Duomur Isolant ®

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

Titulaire(s) : **Société SEAC - GUIRAUD FRERES**

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	<p>Cette version, examinée par le GS n° 3.2 le 20 juin 2023, annule et remplace le Document Technique d'Application n° 3.2/20-1026_V1. Elle intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ajout des ancrés de levage ECA-LIFT. 	JUNES Angel	BERNARDIN-EZRAN Roseline

Descripteur :

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

Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses, en infrastructure ou superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux, de dimension maximale 3.00x12.00 m et d'épaisseur totale comprise entre 26,5 et 40 cm (hors reliefs de matrices).

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

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

Revêtements :

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

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé.....	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté	5
1.1.1.	Zone géographique	5
1.1.2.	Ouvrages visés.....	5
1.2.	Appréciation.....	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Durabilité	7
1.2.3.	Impacts environnementaux	7
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	7
1.4.	Annexe de l'Avis du Groupe Spécialisé	9
2.	Dossier Technique.....	10
2.1.	Mode de commercialisation	10
2.1.1.	Coordonnées.....	10
2.1.2.	Mise sur le marché.....	10
2.1.3.	Identification.....	10
2.2.	Description.....	10
2.2.1.	Principe.....	10
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	11
2.3.	Dispositions de conception	16
2.3.1.	Conditions de conception.....	16
2.3.2.	Conception de la paroi extérieure	17
2.3.3.	Dimensionnement du système de liaison.....	17
2.3.4.	Conditions de conception de la paroi structurale.....	20
2.4.	Dispositions de mise en œuvre	43
2.4.1.	Pose des éléments	43
2.4.2.	Méthodologie de pose.....	44
2.4.3.	Stabilité en phase provisoire.....	44
2.4.4.	Préparation des voiles et des joints	44
2.4.5.	Utilisation de coupleurs d'armatures.....	44
2.4.6.	Bétonnage.....	44
2.4.7.	Finitions.....	45
2.5.	Conditions de stockage et de transport.....	45
2.5.1.	Prescriptions concernant la manutention des panneaux	45
2.5.2.	Prescriptions concernant le transport des panneaux	45
2.5.3.	Prescriptions concernant le stockage des panneaux.....	46
2.5.4.	Retourneur	46
2.6.	Assistante technique.....	46
2.6.1.	Fabrication et commercialisation.....	46
2.6.2.	Rôles des différents intervenants.....	46
2.6.3.	Calculs des structures.....	46
2.6.4.	Livraison et pose des éléments sur site.....	46
2.7.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	46
2.7.1.	Fabrication des panneaux	47
2.7.2.	Tolérances dimensionnelles standards	48
2.7.3.	Contrôle et certification.....	48
2.7.4.	Contrôle sur les ancrages de manutention	48
2.7.5.	Contrôle du béton.....	49

2.7.6.	Contrôle en cours de fabrication	49
2.8.	Mention des justificatifs.....	49
2.8.1.	Résultats expérimentaux.....	49
2.8.2.	Données Environnementales.....	49
2.8.3.	Références chantiers.....	50
2.9.	Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre	52
	Annexe I. Principe de vérification des liaisons entre Duomur Isolant.....	52
	Annexe II. Exemple de calcul de p_a	56
	Annexe III. Exemple de calcul de	57
	Annexe IV. Schéma de principe de réalisation des liaisons entre poutres-voiles en « Duomur Isolant ».....	58
	Annexe VI. Traitement des pieds et tête de « Duomur Isolant »	62
	Annexe IX. Tableau des accélérations sismiques	77
	Annexe X. Exemple de calcul de la densité des connecteurs TM.....	78
	Annexe XII : Plan de façonnage des ancrs de manutention.....	84
	Ancre SEAC V1.....	84
	Ancre SEAC V2.....	86
	Ancre Eca-lift.....	88

1. Avis du Groupe Spécialisé

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

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Le « Duomur Isolant » est utilisable en zone sismique (zones de sismicité 1 à 4 selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) couvrant la France Métropolitaine.

1.1.2. Ouvrages visés

Murs de locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels, pouvant comporter une hauteur isolée enterrée de 1 m maximum, en situation non immergée et dont l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi (mur de catégorie 2 défini au §5.2.2 du NF DTU 20.1 P3). Les limites de hauteur résultent de l'application des règles de dimensionnement définies dans le Dossier Technique.

Les murs à coffrages et isolation intégrés peuvent être porteurs et non porteurs.

Les planchers avec prédalles suspendues présentés au paragraphe 10 de l'annexe VII du Dossier Technique doivent respecter les dispositions du NF DTU 23.4.

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

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

Le présent Avis ne porte pas sur les murs avec isolant en laine minérale.

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 de :

- Les ancrages de levage SEAC V1.0, SEAC V2.0 et ECA-LIFT, l'épaisseur nominale des parois préfabriquées est supérieure ou égale à 60 mm.

Les conditions d'utilisation des valeurs de CMU de ces ancrages de levage sont précisées dans l'Annexe « CMU des ancrages de levage » de la partie Avis.

Ne sont pas visés au titre du présent Avis :

- Les accessoires de levage non incorporés aux murs « Duomur Isolant » (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 du Dossier Technique ci-après, les murs réalisés selon ce procédé, peut être normalement assurée.

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

1.2.1.3. Sécurité en cas d'incendie

Réaction au feu

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

Résistance au feu et comportement de façades

Le procédé « Duomur Isolant » fait l'objet d'une Appréciation de laboratoire du CSTB n°AL15-162_V2. Les éléments « Duomur Isolant » visés par cette appréciation de laboratoire ont une épaisseur d'isolant comprise entre 8 et 20 cm. L'utilisation des murs « Duomur Isolant » avec des épaisseurs inférieures à 16cm est exclue au regard des exigences de sécurité en cas d'incendie.

Suivant l'Appréciation de laboratoire N° AL15-162_V2, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les tableaux de l'Annexe VIII du Dossier Technique donnent les champs de température dans la partie structurelle (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé « Duomur Isolant ». La résistance au feu de la partie structurelle est vérifiée suivant les prescriptions

de la NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale en considérant la partie structurelle des murs « Duomur Isolant » comme homogène.

L'appréciation de laboratoire n°AL15-162_V2 prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu du voile extérieur librement dilatable en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation des connecteurs pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurelle. Ces dispositions permettent au détenteur du procédé de déterminer le nombre de connecteurs inclinés nécessaires en fonction de durée de la stabilité au feu requise et de leur position en hauteur dans le voile.

Conformément à l'appréciation de laboratoire n°AL15-162_V2, les connecteurs inclinés à 45° devront être disposés à une distance au-dessus des ouvertures égale à la valeur C+D requise pour un panneau incombustible et déterminée selon la destination du bâtiment, avec un minimum de 80 cm.

L'appréciation n°AL15-162_V2 prescrit les solutions techniques à respecter afin de répondre aux exigences de l'arrêté du 7 août 2019 relatif aux travaux de modification des Immeubles de Moyenne Hauteur (IMH) et de l'arrêté du 13 novembre 2019 modifiant l'arrêté du 31 janvier 1986 (Bâtiments de 4ème famille). En plus des dispositions décrites ci-dessus, les connecteurs à 45° doivent être positionnés à une distance horizontale au moins égale à 50 cm à partir du bord de l'ouverture.

L'appréciation n°AL15-162_V2 prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0. Ainsi, les pourtours des ouvertures devront être protégés par une bande de 100 mm minimum, de laine minérale ou verre cellulaire de densité minimale 120 kg/m³. Elle pourra être réduite à 50 mm lorsqu'elle sera protégée par une bavette en acier.

1.2.1.4. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

Le système permet de l'assurer normalement.

1.2.1.5. Pose en zones sismiques

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

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

1.2.1.6. Isolation thermique

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

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

Le calcul du coefficient de transmission thermique du procédé « Duomur Isolant » U_{DI} se fait par la formule suivante :

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

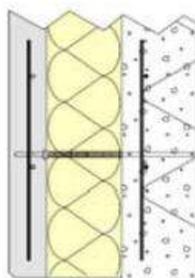
Où :

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

n_c : densité surfacique des connecteurs

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

b_i, b_1, b_2, b_n : épaisseurs des différentes couches du « Duomur Isolant », représentées sur le schéma ci-dessous, en m :



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

La justification de la conformité à la réglementation thermique doit se faire au cas par cas selon les « Règles Th-Bat ». Elle doit notamment prendre en compte la présence d'isolant type laine de roche ou verre cellulaire de densité minimale 120 kg/m³ sur le pourtour des baies.

1.2.1.7. Isolation acoustique

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

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

1.2.1.8. Etanchéité des murs extérieurs

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

1.2.1.9. Risques de condensation superficielle

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

1.2.1.10. Confort d'été

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

1.2.1.11. Finitions-Aspect

Les finitions prévues sont à l'extérieur et à l'intérieur les finitions classiques sur béton. Leur comportement ne devrait pas poser de problème particulier si leurs conditions de mise en œuvre satisfont au Dossier Technique. Il ne peut être cependant totalement exclu que, malgré la présence nécessaire d'aciers de liaison, de fines fissures, sans autre inconvénient que leur aspect, se manifestent au droit de certains joints entre panneaux de coffrage non revêtus. En cas d'absence d'aciers de liaison dans les jonctions intérieures, une fissuration du mur au droit des joints est probable.

1.2.1.12. Liaisons avec les ouvrages de second œuvre

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

1.2.2. Durabilité

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

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

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

Elle requiert :

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

1.2.3. Impacts environnementaux

Données environnementales

Il existe une Déclaration Environnementale (DE) vérifiée par tierce partie indépendante pour ce procédé mentionné au paragraphe 2.8.2 du Dossier Technique. Il est rappelé que cette DE n'entre pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

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.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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

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

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

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

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

Concernant l'utilisation des inserts de levage ECA-LIFT, les éléments de justification transmis par le demandeur ont permis de valider son utilisation en cohérence avec l'Avis Technique dont ces inserts bénéficient.

1.4. Annexe de l'Avis du Groupe Spécialisé

CMU des ANCRÉS 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 ancre 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 l'ancre ou dans le cas d'interposition d'une élingue câble telle que définie dans le Dossier Technique.

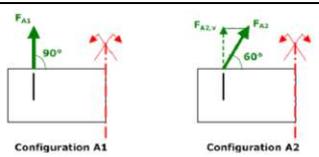
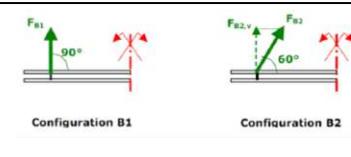
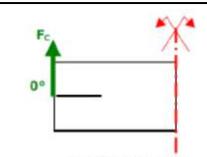
Commentaire : La situation critique correspond parfois à un levage à 60° mais les résultats sont transposés pour afficher la valeur équivalente en levage droit.

Tableau 1 - Valeurs de CMU par ancre

Réf. ancre	Diamètre ancre	Épaisseur nominale de paroi	Enrobages effectifs intérieurs de la boucle C_{1bcint} / C_{2bcint}	Enrobages effectifs extérieurs de la boucle $C_{1bcext} \text{ et } C_{2bcext}$	Résistance béton à 1ère manutention	Résistance béton à la livraison	Levage en position verticale CMU1 (kN)	Levage à plat CMU2 (kN)	Retournement en position verticale CMU3 (kN)
Ancre SEAC V1	14 mm	1 ^{er} peau ≥ 60 mm 2 ^{ème} peau ≥ 60 mm	≥ 15 mm	≥ 15 mm	20 MPa	20 MPa	30,5	11,5	15,4
Ancre SEAC V2 Mur d'épaisseur supérieure ou égale à 26,5 cm	14 mm	1 ^{er} peau ≥ 60 mm 2 ^{ème} peau ≥ 60 mm	≥ 15 mm	≥ 15 mm	15 MPa	20 MPa	27,3	-	19,5
Ancre Eca-lift Mur d'épaisseur supérieure ou égale à 26,5 cm	10 mm	1 ^{er} peau ≥ 60 mm 2 ^{ème} peau ≥ 60 mm	≥ 15 mm	≥ 35 mm	13 MPa	20 MPa	21,8	-	13,7

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

Tableau 2 - Vérification de la résistance des ancrés 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	 Configuration A1 Configuration A2	 Configuration B1 Configuration B2	 Configuration C

⁽¹⁾La formule ci-dessus correspond à une disposition symétrique des ancrés par rapport au centre de gravité. Dans les autres cas, on tiendra compte du positionnement des ancrés 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 ancrés 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 §2.2.2.3).

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-quiraud.fr

Internet : www.seac-gf.fr

2.1.2. Mise sur le marché

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

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

2.1.3. Identification

Ces produits sont assortis du marquage CE accompagné des informations prévues par la norme européenne NF EN 14992.

Chaque « Duomur Isolant » 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 et le numéro de référence de l'Avis Technique.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le « Duomur Isolant » est un mur de dimension maximale 3,00x12,00 m constitué de deux voiles en béton armé préfabriqués reliés ensemble au moyen de connecteurs ponctuels THERMOMASS® et incorporant une lame isolante ainsi qu'un espace. Sur site cet espace vide compris entre le voile coffrant et l'isolant est rempli de béton pour constituer un panneau plein -

Figure 1 – Epaisseur nominale de différentes couches composant le procédé « Duomur Isolant »

Epaisseur nominale	Mini	maxi
Voile intérieur	60 mm	-
Noyau central	75 mm	-
Isolant	80 mm	200 mm
Voile extérieur	60 mm	60 mm ⁽¹⁾
Epaisseur totale	265 mm	400 mm ⁽¹⁾

⁽¹⁾ valeur hors relief éventuel de matrice (maximum + 20 mm)

Ce mur composite, une fois complété par le béton coulé en place, est appelé « Duomur Isolant ».

Une fois rempli de béton, l'espace entre le voile préfabriqués et l'isolant, est appelé noyau.

La peau contre le noyau est appelée paroi intérieure. La peau contre l'isolant est appelée paroi extérieure.

L'ensemble paroi intérieure/noyau coulé sur place peuvent être porteur. Ils incorporent les armatures nécessaires à la fonction structurelle du mur, ainsi que les éventuels renforts permettant au « Duomur Isolant » de jouer le rôle de poutre, poteau, poutre voile, console, linteau, acrotères, ...

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

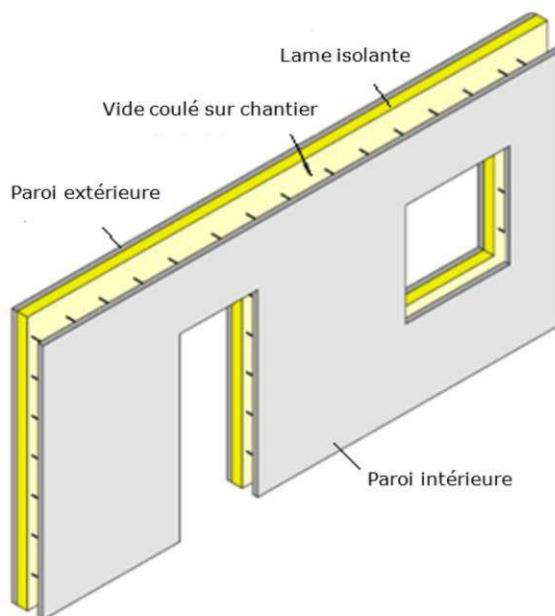
Des huisseries, menuiseries, gaines, boîtiers, modénatures de type faux-joint ou tout autre équipement peuvent être incorporés aux panneaux ou rapportés en œuvre.

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 est brute de décoffrage. L'état de surface courant correspond à une surface brute de décoffrage contre moule. Dénomination E (3-3-0) d'après la norme NFP 18-503. Toutes les arêtes des plaques sont chanfreinées.

Une ou deux faces peuvent recevoir un traitement architectonique, couleur, matricé... Pour respecter les prescriptions du présent avis, la paroi matricée présentera en tout point une épaisseur supérieure ou égale à 60 mm.

Figure 2– Exemple d'élément « Duomur Isolant »



Les liaisons verticales entre les MCII sont assurées par des armatures rapportées disposées dans la partie coulée en œuvre ou par des armatures spécifiques intégrées au MCII. L'encastrement des MCII dans le radier ou la semelle est réalisé par des armatures en attentes ou intégrées aux murs.

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

Des armatures de type poteaux, longrines, linteaux, encadrements d'ouvertures peuvent être incorporées aux MCII.

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

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Béton des voiles

Le béton réalisé en usine est conforme à la norme NF EN 13369 et donc à la NF EN 206+A2/CN. Sa résistance caractéristique à 28 jours est de 40 MPa (C40/50).

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

- En cas d'utilisation des ancrés SEAC V1.0 : 20 MPa sur cube 10x10x10 cm à la première manutention.
- En cas d'utilisation des ancrés SEAC V2.0 :
 - Pour mur de 18 cm d'épaisseur : 20 MPa sur cube 10x10x10 cm à la première manutention.
 - Pour mur de plus de 18cm épaisseurs : 15 MPa sur cube 10x10x10 cm à la première manutention en usine et 20 MPa sur cube 10x10x10 cm à la manutention sur chantier.
- En cas d'utilisation des ancrés ECA-LIFT :
 - Pour toutes les épaisseurs de mur : 13 MPa sur cube 10x10x10 cm minimum à la première manutention en usine et 20 MPa sur cube 10x10x10 cm à la manutention sur chantier.

2.2.2.2. Béton de remplissage

Le béton de remplissage est conforme aux spécifications du projet à réaliser et au minimum à celles de la norme NF EN 206+A2/CN. La résistance caractéristique à 28 jours est au moins de 25 MPa (classe de résistance mini C25/30).

- Pour un noyau d'épaisseur inférieure ou égale à 9 cm, utilisation d'un micro-béton 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.

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 mise en œuvre de BCP est réservée à des opérations faisant l'objet d'une concertation entre le préfabriquant 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 préfabriquant.

Les bétons BCP sont déconseillés pour les zones très ferraiées.

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

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

2.2.2.3. Ancres de manutention

Tous les panneaux sont équipés de ancrs de manutention. Ces ancrs de manutention ont fait l'objet d'essais initiaux garantissant leur capacité portante. Les ancrs de manutention sont repérés par un marquage de couleur. Les ancrs de manutention sont repérés de plus sur les plans des Duomur Isolant. Leur nombre (2 ou 4), dépend de la masse de l'élément à lever. Toutes les ancrs présentes doivent être utilisées simultanément pour le levage. Lorsqu'il y a 4 ancrs, un palonnier équilibré doit obligatoirement être utilisé pour répartir les efforts entre les différentes ancrs.

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

Il existe 3 types d'ancres différentes pouvant équiper les Duomur Isolant.

2.2.2.3.1. Ancre Eca-lift

L'ancre de levage Eca-lift de la société Econac est constituée d'un câble en acier galvanisé (charge > 1960 N/mm²) et d'une tige en fibre de verre à isolation thermique, reliées par un capuchon en plastique. Elles sont décrites dans l'annexe 12 du présent document.

Le câble, à âme métallique, est constitué de 7 ensembles toronnés, composés chacun de 19 fils galvanisés de classe de résistance 1960 MPa conforme à la norme NF EN 12385-2. Son diamètre extérieur est de 10mm et sa charge à la rupture garantie est de 7300 kg pour le câble de 1960 MPa.

Figure 3– Photographie d'une ancre Eca-lift



L'utilisation des ancrs ECA-LIFT est compatible avec les murs « Duomur Isolant ». En effet, la conception du buton ne constitue pas un point dur et ne perturbe pas la libre dilatation de la paroi extérieure (raideur en cisaillement-flexion des butons négligeable). Il n'est pas nécessaire de neutraliser les butons avant le coulage du noyau.

2.2.2.3.2. Ancres Seac V1 et V2

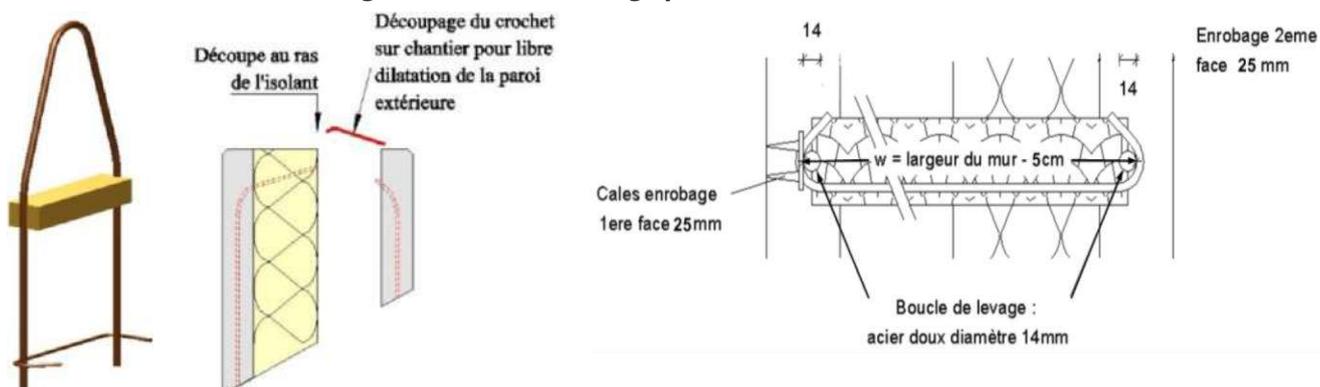
Les boucles sont composées d'un crochet en acier doux Fe 235 de diamètre 14 mm, d'une épingle HA8 et d'une entretoise en Lamibois d'épaisseur 40 mm. Elles sont décrites dans l'Annexe XII du présent document.

La pénétration du crochet dans le béton au niveau des interfaces béton-isolant est protégée par un revêtement anticorrosion. Cette protection spécifique est réalisée dans nos ateliers par application d'une couche protectrice de type peinture anticorrosion.

Après la pose, la tête du crochet doit être sectionnée au droit de l'interface « isolant - béton de remplissage » afin de ne pas gêner la libre dilatation de la paroi extérieure. Côté isolant, le découpage doit supprimer toute pénétration du crochet de manutention dans le noyau coulé en place. Le découpage doit intervenir au cours de la mise en place des panneaux :

- Après le retournement pour les crochets latéraux
- Après la pose et avant le remplissage du noyau coulé en place pour les crochets en tête de « Duomur Isolant ».

Figure 4– Ancre de levage pour « Duomur Isolant »



2.2.2.4. Douilles d'étaieiment

Tous les panneaux sont équipés de douille d'étaieiment insérées à la fabrication, généralement 2 par panneau, de diamètre M12, M16, ou M20. 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 tire-pousse en phase de mise en œuvre. Ces douilles font l'objet d'une certification pour cet usage. Leur diamètre est dimensionné en fonction des efforts à reprendre par le bureau d'étude SEAC.

2.2.2.5. Raidisseurs

Les raidisseurs métalliques ou des cages d'armatures assurent la liaison entre la lame structurelle et le noyau coulé en place. 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 raidisseurs triangulaires font l'objet d'une certification par un organisme extérieur. Les cages d'armatures font l'objet d'un contrôle interne.

Les critères de certification des raidisseurs triangulaires sont les suivants :

- Hauteur déclarée avec une tolérance de +1/-3 mm sur cette dimension, conformément à la norme NF A 35-028 ;
- Résistance des soudures : Ce contrôle porte sur la résistance des soudures du treillis aux aciers longitudinaux inférieurs et supérieurs et doit être conforme aux prescriptions de l'article 7.3.3 de la norme NF A 35-028. La valeur des résistances au cisaillement à vérifier doivent être conformes à la norme NF A 35-028 ou aux Avis Techniques mentionnés dans le certificat du treillis raidisseur. Cette 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_{wi} 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 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, celui de l'armature supérieure est de 7 mm.

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

- Epaisseur du « Duomur Isolant » ;
- Sollicitations de cisaillement à l'interface.

2.2.2.6. Connecteurs

2.2.2.6.1. Généralité

Les connecteurs reliant les parois intérieure et extérieure sont composés de fibres de verre enrobées de résine. La fabrication est de type pultrudé. Chaque fibre est enrobée de résine de façon individuelle, le faisceau de fibres est ensuite comprimé pour obtenir la forme finale des connecteurs. Cette fabrication permet d'obtenir une très grande résistance au vieillissement accéléré et aux environnements agressifs et alcalins (essais réalisés au laboratoire du CSTB à Grenoble).

Ce procédé de liaison répartie garantit la libre dilatation de la paroi extérieure. Il rend possible la réalisation de panneaux de grandes dimensions. Une ou deux lignes de connecteurs disposées à 45° par rapport au plan moyen assurent la reprise du poids propre de la paroi extérieure.

2.2.2.6.2. Les connecteurs Thermomass

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

Figure 5– Caractéristiques des connecteurs TM

Section (section réduite)	50,5 mm ²
Masse volumique	1850 kg/m ³
Inertie dans le sens de la largeur I_w	112,5 mm ⁴
Inertie dans le sens de la hauteur I_s	374,0 mm ⁴
Module d'élasticité en flexion E_{ab}	30000 N/mm ²
Module d'élasticité en compression/traction E_{az}	40000 N/mm ²
Coefficient de Poisson	0,27
Résistance à la traction	850 MPa
Allongement à la rupture	2,1 %
Conductibilité thermique	0,303 W/(m.°C)
χ connecteurs	0,00013 W/K
Coefficient de dilatation	(9±2) x 10 ⁻⁶ m/(m.°C)

2.2.2.6.2.1. Connecteurs TM 90°

Les connecteurs TM90° sont disposés perpendiculairement au plan moyen du panneau et répartis uniformément suivant une maille de 50 x 50 cm au maximum

La longueur L_c du connecteur TM90° est définie suivant la formule :

$$L_c = t + b_i + b_n + t$$

Avec :

- t = longueur nominale d'ancrage dans les parois = 50 mm,
- b_i = épaisseur de l'isolant
- b_n = épaisseur du noyau.

Figure 6 – Détail d'un connecteur TM90°

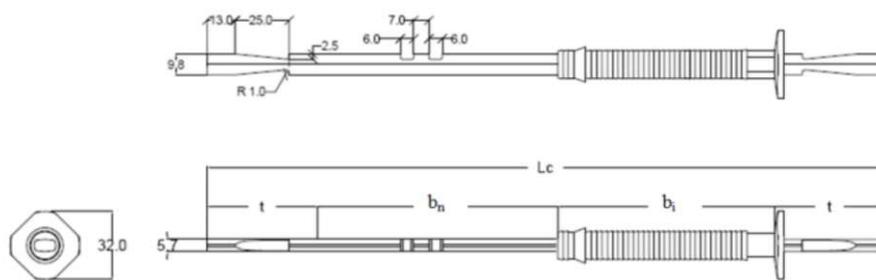
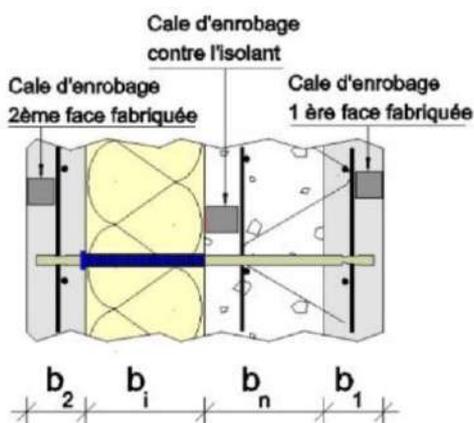


Figure 7 – Positionnement des connecteurs TM90°



2.2.2.6.2.2. Connecteurs TM 45°

Les connecteurs TM45° sont équipés d'une manchette en styrène positionnée à 45° (par rapport à l'axe du connecteur) garantissant le bon positionnement du connecteur par rapport au plan moyen du panneau.

Ils sont situés en zone centrale entre le maillage des connecteurs TM90°.

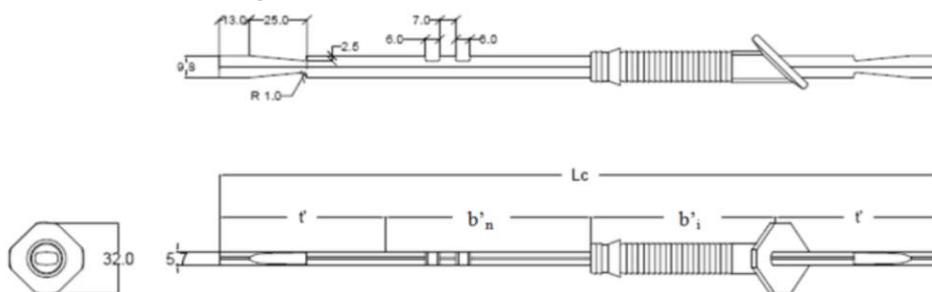
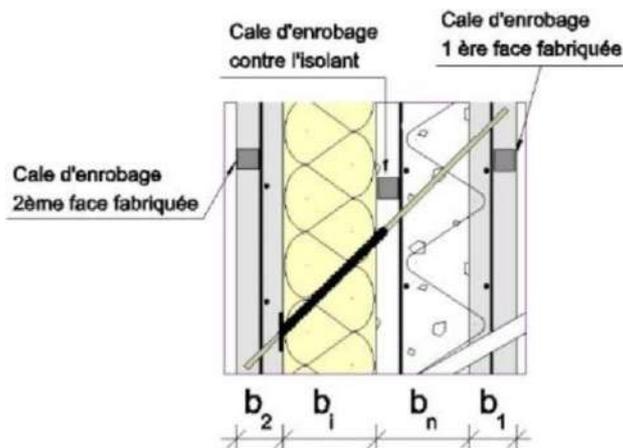
Compte tenu de la faible raideur des connecteurs leur position n'a que peu d'importance. Dans le cas de panneaux avec baies, les connecteurs TM45° peuvent être disposés au-dessus des baies à condition de vérifier les dispositions en situation incendie ci-dessous.

La longueur L_c du connecteur TM45° est définie suivant la formule :

$$L_c = t + b_t + b_n + t'$$

Avec :

- t' = longueur nominale d'ancrage dans la paroi préfabriquée = 60 mm,
- b_t = longueur d'ancrage dans le noyau = ép. noyau x 1,414
- b_n = épaisseur de l'isolant x 1,414

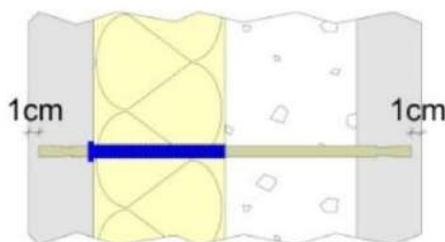
Figure 8– Détail d'un connecteur TM45°**Figure 9– Positionnement des connecteurs à 45°**

2.2.2.6.2.3. Epaisseur de la paroi extérieure

La longueur nominale d'ancrage dans le béton des connecteurs sera de 5 cm afin de garantir un ancrage minimal de 3,8 cm toutes tolérances épuisées.

L'enrobage nominal du connecteur TM vis-à-vis de l'extérieur sera de 1 cm.

Pour respecter ces dispositions l'épaisseur nominale de la paroi est supérieure ou égale à 6 cm.

Figure 10– Enrobage nominal des connecteurs

2.2.2.7. Armatures

Les aciers pour armatures utilisés pour la fabrication du « Duomur Isolant » répondent aux exigences suivantes :

- NF A 35-080-1 pour les barres filantes ou façonnées ;
- NF A 35-080-2 pour les panneaux de treillis soudés.

2.2.2.8. Isolant

L'isolant utilisé se présente sous forme de panneaux rigides découpés sur mesure et pré-perçés dans nos usines pour le passage des connecteurs avant mise en œuvre. L'épaisseur de l'isolant peut varier de 80 à 200 mm. Il fait l'objet d'un classement ACERMI dont les performances sont au moins I2S1O2L3. Pour un classement sous toute autre réglementation ou pour des performances mécaniques inférieures il est nécessaire de s'assurer de la possibilité de mise en œuvre de l'isolant par des tests préalables.

L'isolant le plus couramment utilisé est un polystyrène expansé (PSE) certifié ACERMI de conductivité thermique $\lambda = 0,032$ W/(m.K). Pour des exigences thermiques supérieures un isolant de type mousse rigide de polyuréthane certifié ACERMI peut être utilisé.

Des isolants type laine de roche compressées ou verre cellulaire peuvent être utilisés en protection de l'isolant pour répondre à l'IT249 comme décrit à l'article 2.3.4.2.4.

Dans tous les cas, les isolants seront certifiés ACERMI et répondront aux normes suivantes :

- Polystyrène expansé : norme NF EN 13163 ;

- Polystyrène extrudé : norme NF EN 13164 ;
- Mousse rigide de polyuréthane : norme NF EN 13165 ;
- Laine minérale : norme NF EN 13162 ;
- Verre cellulaire : norme NF EN 13167.

2.2.2.9. Produits de jointement

Les produits de jointoiment doivent être adaptés aux destinations de l'ouvrage et utilisées selon les prescriptions du fournisseur. Ils sont principalement de type :

- Fond de joint mousse possiblement autocollant ;
- Mastic élastique de classement SNJF F25E ;
- Mortier hydraulique à retrait compensé ;
- Joint hydro-gonflant.

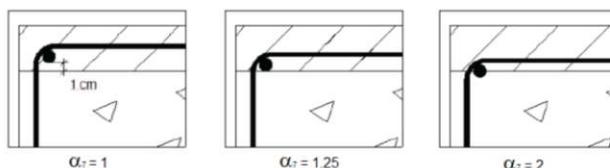
Les dispositions relatives au traitement des joints sont exposées à l'annexe V.

Pour les joints en dilatation de largeur supérieure à 25 mm, il sera nécessaire d'utiliser un produit approprié de type Sikaflex Construction F ou Gutta PreFlex.

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Conditions de conception

- 1- Les justifications de calcul de stabilité et de résistance des murs doivent prendre en compte la présence des joints entre panneaux de coffrage et donc n'être arrêtées qu'après calepinage de l'ouvrage.
- 2- Les murs réalisés suivant le procédé « Duomur Isolant » peuvent être considérés comme porteurs lorsque l'épaisseur structurelle (épaisseur de la paroi intérieure + épaisseur du noyau coulé en place) est supérieure à 16cm. Les critères d'enrobage définis dans le CPT des MCI (cahier 3690_V2 – Juillet 2014 du CSTB) s'appliquent à ce procédé.
- 3- L'organisation des panneaux doit être conçue de telle sorte que chacun des voiles extérieurs en béton soit librement dilatable grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre voile, une façade perpendiculaire ou un autre corps de bâtiment.
- 4- En phase de manutention, le nombre de ancrages de levage nécessaire est déterminé en fonction des dimensions et du poids des panneaux selon les préconisations du fabricant des ancrages.
- 5- Sauf à rétablir par armatures rapportées la continuité des raidisseurs, les jonctions horizontales des panneaux sont à considérer comme articulées. Des poteaux verticaux, disposés à un espacement compatible avec un effet de plaque, peuvent utilement être utilisés en renfort, le cas échéant.
- 6- 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.
- 7- Il convient de tenir compte de l'enrobage intérieur de l'armature dans le voile préfabriqué via l'introduction d'un coefficient α_7 dans le calcul de la longueur d'ancrage de l'armature. La longueur d'ancrage de calcul de l'armature dans le voile préfabriqué vaut donc $\alpha_7 l_{bd}$, avec sa longueur d'ancrage de calcul l_{bd} défini à l'article 8.4.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale. Le coefficient α_7 est quant à lui égal à :
 - 1 si l'enrobage minimal de l'armature de structures est supérieur à 10 mm par rapport à la surface de reprise
 - 1,25 si l'armature est tangente à la surface de reprise
 - 2 si l'armature est sécante à la surface de reprise



- 8- Le bétonnage s'effectue dans les conditions de vitesse et de hauteur de chute spécifiées aux paragraphes 2.4.2 et 2.4.7 du Dossier Technique.
- 9- Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des « Duomur Isolant » de la réduction de section de béton au droit de ces joints.
- 10- Sur les faces en contact avec l'isolant, considérer un enrobage correspondant à celui de la classe d'exposition du parement exposé – 5 mm, sans descendre en dessous de celui de la classe XC3.
- 11- Quels que soient les panneaux et notamment pour les panneaux avec ouvertures, il convient d'adapter la densité des connecteurs à 45° disposés verticalement de façon à assurer l'équilibre des moments (le centre de raideur des connecteurs et le poids de la paroi extérieure librement dilatable doivent être alignés verticalement), ou bien de déterminer pour chaque connecteur les efforts réels en fonction de la répartition retenue.
- 12- Liaisons entre panneaux « Duomur Isolant » en zone courante.

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

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

2.3.2. Conception de la paroi extérieure

2.3.2.1. Généralités

La paroi extérieure en béton armé du procédé « Duomur Isolant » est conçue pour être librement dilatable :

- En supprimant tout contact rigide avec un autre panneau ;
- En reliant la paroi extérieure à la paroi intérieure porteuse avec des connecteurs en matériaux composites ;
- En veillant à ce que tous les éléments de structure qui sont reliés à la partie structurelle ne prennent pas appuis sur la paroi librement dilatable, et ne la mettent pas en charge, et ne bloque pas la dilatation de la paroi extérieure.

2.3.2.2. Armatures minimales

Les aciers pour armatures utilisés pour la fabrication du « Duomur Isolant » répondent aux exigences suivantes :

- NF A 35-080-1 pour les barres filantes ou façonnées ;
- NF A 35-080-2 pour les panneaux de treillis soudés.

La paroi extérieure non structurelle, comprend au minimum :

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

Les armatures de la paroi extérieure sont par ailleurs déterminées à partir des sollicitations appliquées à la paroi dans les différentes configurations (stabilité à froid, résistance au séisme le cas échéant, résistance au feu le cas échéant).

2.3.2.3. Enrobage des armatures

Façades exposées aux intempéries :

- Si $f_{ck,p} \geq 40$ MPa l'enrobage minimal $e \geq 2$ cm ;
- Si $f_{ck,p} < 40$ MPa l'enrobage minimal $e \geq 3$ cm.

Remarque : Les valeurs minimales ci-dessus sont à adapter pour les expositions aux embruns ou brouillards salins ou autres atmosphères très agressives. La qualité du béton ($f_{ck28} \geq 40$ MPa) permet de réduire l'enrobage prescrit de 1 cm.

2.3.2.4. Epaisseur de la paroi extérieure

L'épaisseur de la paroi extérieure doit vérifier l'inégalité suivante :

$$b_2 \geq e_{ext} + e_{int} + \phi_v + \phi_h + \Delta$$

$$\text{avec : } \Delta_1 = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2} = 4,3 \text{ mm}$$

Avec :

- b_2 = l'épaisseur nominale de la paroi extérieure ;
- e_{ext} = l'enrobage nominal de la paroi extérieure côté extérieur (en fonction de la classe d'environnement du côté extérieur de la paroi extérieure) ;
- e_{int} = l'enrobage minimal de la paroi extérieure côté isolant (en fonction de la classe d'environnement côté isolant) ;
- ϕ_v = le diamètre des armatures verticales de la paroi extérieure ;
- ϕ_h = le diamètre des armatures horizontales de la paroi extérieure ;
- $\Delta = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2}$ où, les valeurs de tolérances retenues sont les suivantes :
 - $\Delta e_1^+ = 3$ mm : tolérance en plus sur l'enrobage des armatures de la paroi extérieure ;
 - $\Delta b_1^- = 3$ mm : tolérance en moins sur l'épaisseur de la paroi extérieure ;

2.3.3. Dimensionnement du système de liaison

2.3.3.1. Généralités

Les connecteurs à 90° répartis uniformément sur toute la surface suivant une maille maximale 50 x 50 cm assurent la reprise des sollicitations suivantes :

- Efforts de tractions engendrés par la dépression du vent ;
- Efforts de cisaillement engendrés par le différentiel de température entre les parois extérieure et intérieure ainsi que par les sollicitations sismiques ;

- Efforts de traction dus au gradient de températures dans la paroi extérieure (tuilage) ;
- Sollicitations engendrées par le feu.

La distance d'un connecteur par rapport au bord d'un panneau est comprise entre 10 et 25 cm. Les meneaux auront donc une largeur minimale de 20 cm. Les connecteurs sont répartis de façon uniforme de façon à ce que le centre des raideurs des connecteurs soit proche du centre de gravité de la paroi extérieure.

Une ou deux lignes de connecteurs disposés verticalement à 45° par rapport au plan moyen du panneau, positionnées de façon privilégiées de part et d'autre de l'axe de gravité horizontal, assurent la reprise du poids propre de la paroi extérieure. Ils sont placés au minimum à 50 cm du bord supérieur du panneau.

Dans le cas de deux rangées horizontales, les lignes de connecteurs TM45° sont espacés au plus de 50 cm.

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

2.3.3.2. Résistance des connecteurs TM

Figure 11 – Résistance admissible du connecteur TM

Propriété	Cisaillement	Traction
Raideur moyenne [kN/m]	$73\left(\frac{8}{l}\right)^3$	$1000\left(\frac{8}{l}\right)$
Résistance caractéristique [kN]	$V_{Rka} = 0,75\left(\frac{8}{l}\right)$	$N_{Rka} = 13,6$
Résistance à l'ELU statique [kN]	$V_{Rd} = \frac{V_{Rka}}{1,2 \times 2}$	$N_{Rd} = \frac{N_{Rka}}{1,2 \times 2} = 5,67$
Résistance à l'ELU dynamique [kN]	$V_{Rd} = \frac{0,4 \times V_{Rka}}{1,2} = \frac{V_{Rka}}{3}$	$N_{Rd} = \frac{0,4 \times N_{Rka}}{1,2} = 4,53$
Résistance de calcul aux charges provisoires [kN]	-	4,00

Avec l = longueur libre du connecteur exprimée en cm = épaisseur d'isolant traversée en cm.

La sollicitation N_{Ed} est calculée à l'ELU, par unité de surface de voile librement dilatable.

Divisée par N_{Rd} , elle permet de déterminer le nombre de connecteurs par m².

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \text{nombre de connecteurs/m}^2$$

2.3.3.3. Justification des connecteurs sous chargement dynamique (sismique).

2.3.3.3.1. Généralités

Les justifications suivantes au séisme sont données pour la France européenne (zones de sismicité 1 à 4).

En fonction de la zone de sismicité, de la classe du sol et de la catégorie d'importance du bâtiment on détermine l'accélération sismique horizontale γ à prendre en compte (voir Figure 139 – Tableau des accélérations sismiques Annexe IX). L'accélération verticale est déterminée selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié par l'arrêté du 14 septembre 2014 (en France européenne, pour les zones de sismicité 1 à 4 : accélération verticale = 0,9 fois l'accélération horizontale).

La vérification consiste à s'assurer que la densité de connecteurs est suffisante pour à la fois reprendre les efforts générés et limiter le déplacement des parois extérieures afin de supprimer le risque de choc entre deux panneaux contigus, avec $q_a = 1$ dans la vérification de la stabilité de la peau extérieure.

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

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

La largeur nominale du joint est définie suivant les dispositions du paragraphe § 2.3.3.4. L'annexe X précise les densités de connecteurs à 45° en fonction de l'accélération, de l'épaisseur de la paroi extérieure et du jeu vertical entre panneaux.

2.3.3.3.2. Justification des connecteurs TM90°

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

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

d'équation et ne risque pas de fermer le jeu vertical entre les voiles librement dilatables.

Ces sollicitations appliquées aux connecteurs droits (TM90°) sont indépendantes (une accélération horizontale située dans le plan moyen ne crée que du cisaillement et une accélération horizontale perpendiculaire au plan moyen ne crée que de la traction), le domaine de concomitance des sollicitations admet pour bornes une ellipse d'équation :

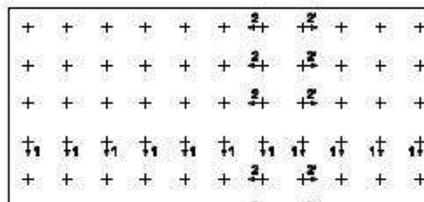
$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^2 = 1$$

Le tableau en Annexe X précise les densités de connecteurs TM90° en fonction de l'accélération sismique, de l'épaisseur de la paroi extérieure, de l'épaisseur de l'isolant et du jeu horizontal entre panneaux. La pose des « Duomurs Isolants » avec calage permet de réduire la tolérance à la tolérance de fabrication (5 mm).

Lorsque les sollicitations sismiques sont importantes, la densité de connecteurs TM90° nécessaire pour contenir le déplacement de la paroi extérieure peut être trop importante. Au-delà de 11 connecteurs TM90 par m², on peut :

- Soit augmenter le jeu vertical entre panneaux et ainsi libérer le déplacement horizontal admissible de la paroi extérieure librement dilatable ;
- Soit compléter le dispositif de connecteurs par deux files verticales de connecteurs TM45° orientés horizontalement respectivement vers la droite et la gauche de façon à reprendre les sollicitations sismiques horizontales quelques soient leurs sens.

Figure 12– Exemple de disposition des connecteurs TM



Avec :

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

2.3.3.3. Reprise des efforts horizontaux dans le cas de connecteurs TM45° orientés horizontalement

Le nombre de connecteurs sur une ligne verticale (repère 2 et 2') est obtenu adaptant les formules des connecteurs TM45° verticaux.

Les connecteurs TM45° 2 et 2' sont disposés de part et d'autre de l'axe de gravité vertical. L'espacement maximal entre 2 lignes de connecteurs TM45° orientés horizontalement est de 50 cm.

Lorsque le dispositif est complété par deux files de connecteurs TM45°, on considère que l'accélération sismique horizontale coplanaire à la paroi librement dilatable est reprise par les connecteurs TM45° horizontaux. L'accélération sismique horizontale perpendiculaire à la peau dilatable est reprise par les connecteurs droits TM90°. On vérifie que la densité des connecteurs TM90° est supérieure à 4 connecteurs/m² soit une trame de 50 x 50 cm au minimum.

2.3.3.4. Non-entrechoquement des parois

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

$$u_j \geq \max\left(\alpha \times \Delta T \times L_{max} + 5mm + \Delta_{fabrication}; 2u_{sis} + 5mm + \Delta_{fabrication}\right)$$

Avec $\alpha = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (coefficient de dilatation thermique du béton), $\Delta T = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ (variation de la température), L_{max} la distance entre deux points fixes successifs de panneaux encadrant un joint (longueur du panneau), u_{sis} le déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique (éviter les risques d'entrechoquement, vibration en opposition de phase), 5 mm les tolérances de pose et $\Delta_{fabrication}$ les tolérances de fabrication des panneaux (variables suivant les dimensions des panneaux : conformément à la norme NF EN 14992).

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

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

Avec :

- u_{sis} : Déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique ;
- $E_{d, E, ind}$: Effort afférent à un connecteur en situation d'actions sismiques horizontales ;
- K_{dyn} : Raideur moyenne en cisaillement dynamique d'une ancre porteuse (voir §2.2.2.6) ;
- u_j : Largeur des joints (avec prise en compte des tolérances de pose et de fabrication).

Pour une simplification des études, la dimension du joint entre parois intérieures peut être considérée comme égale à la dimension du joint entre parois extérieures librement dilatables

2.3.4. Conditions de conception de la paroi structurale

Sauf indication contraire, les dimensions utilisées dans le présent chapitre sont des dimensions nominales. Les enrobages sont donnés en valeur effective.

2.3.4.1. Stabilité

2.3.4.1.1. Prescriptions communes aux différents éléments

2.3.4.1.1.1. Règles de dimensionnement

Les « Duomurs Isolants » 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 courants se fera sur la base des règles usuelles du béton armé : Eurocode 2, DTU 23.1 et NF DTU 14.1.

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 « Duomur Isolant » ;
- Entre deux « Duomur Isolant » ;
- Le « Duomur Isolant » et les ouvrages appartenant au même système statique (exemple : plancher, balcon, ...).

Pour la détermination de la capacité résistante en section courante du « Duomur Isolant », la résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur structurale du mur correspond à :

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

Avec :

- $f_{ck,p}$ = résistance caractéristique du béton des parois préfabriquées ;
- $f_{ck,n}$ = résistance caractéristique du béton du noyau ;
- $E_{c,eff,n}$ = module élastique différé du béton du noyau ;
- b_1 et b_n = épaisseurs de la paroi préfabriquées intérieure et du noyau, respectivement.

Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments incorporés dans le « Duomur Isolant » (poteau, poutre, poutre voile...).

De plus, les effets de second ordre (liés au retrait différentiel des bétons préfabriqués et coulés en œuvre) doivent être pris en compte dans le dimensionnement des panneaux conformément au paragraphe 2.3.4.1.1.2.

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

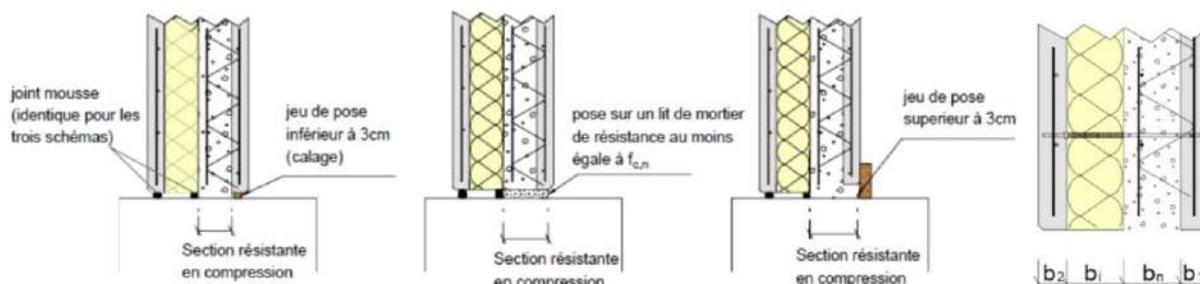
Au droit des joints entre « Duomur Isolant » ou entre « Duomur Isolant » et parties coulées en place, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurale du mur, réduite de la largeur du chanfrein éventuel dans les cas suivants :

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

Dans les autres cas, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau (cf. Figure 13 - Exemple de section résistante en compression).

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

Figure 13 – Exemple 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 « Duomur Isolant » sont décrites dans les paragraphes correspondants.

Sauf calcul spécifique justifiant des valeurs différentes, l'épaisseur de la partie structurale (paroi intérieure + noyau coulé sur chantier) doit être comprise entre 16 et 26 cm.

2.3.4.1.1.2. Flambement – Effet du second ordre

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

- Epaisseur de la partie structurale : 16 cm 22 cm 26 cm
- Hauteur limite du « Duomur Isolant » : 4 m 5 m 7 m

Au-delà de ces valeurs, la détermination de la capacité portante du « Duomur Isolant » doit être effectuée en tenant compte d'une excentricité additionnelle e_{add} égale à :

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

Avec :

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

2.3.4.1.1.3. Armatures minimales

Les aciers de liaison sont dimensionnés par le BET structure du chantier à partir des efforts à transmettre et peuvent s'appuyer sur les exemples de liaisons proposées dans le présent avis technique.

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.

La paroi intérieure comprend au minimum 1,2 cm²/ml d'armatures dans les deux directions, avec un espacement maximum des armatures ≤ 33 cm. Dans la direction parallèle aux raidisseurs, la section d'armatures des raidisseurs est prise en compte dans cette section minimale.

2.3.4.1.1.4. Epaisseurs minimales

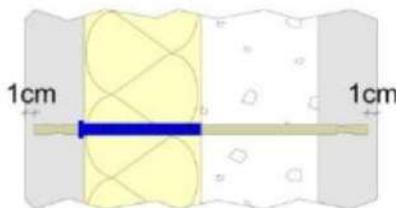
Les épaisseurs minimales considérées dans ce paragraphe sont des valeurs minimales toutes tolérances épuisées.

L'épaisseur minimale de la paroi intérieure préfabriquée résulte des exigences d'enrobage et des tolérances d'exécution sur cette dimension et sur le positionnement des armatures.

L'expression de la tolérance résultante Δ_1 sur l'épaisseur de la paroi intérieure est donnée au paragraphe 2.3.4.1.1.6.

L'épaisseur nominale des parois préfabriquées doit être supérieure ou égale à 6 cm afin de garantir un ancrage des connecteurs de 38 mm toutes tolérances épuisées.

Figure 14– Retrait minimum des connecteurs : 1 cm



L'épaisseur minimale du noyau coulé en place est fixée à 6 cm. Cette épaisseur minimale correspond à une épaisseur nominale de 7,5 cm avec les valeurs par défaut des tolérances définies au paragraphe 2.3.4.1.1.6 et l'expression de $b_{n,min}$ du paragraphe 2.3.4.1.1.11.

2.3.4.1.1.5. Enrobage des armatures

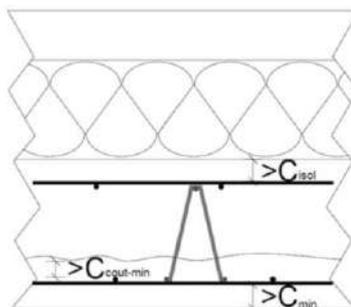
Le calcul de l'enrobage des armatures est fonction de la classe d'exposition de l'élément. L'enrobage des armatures doit respecter les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA.

En particulier, la classe de résistance du béton et l'enrobage compact (donné par la face coffrante des voiles préfabriqués coulés horizontalement sur des coffrages industriels) permettent 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.

L'enrobage c_{isol} des armatures structurales vis à vis de l'isolant dans le noyau coulé en place est l'enrobage minimal des armatures correspondant à la classe d'exposition des armatures de la paroi extérieure coté isolant.

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

Figure 15– Définition des enrobages



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

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

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

- Δe_1^+ la tolérance en plus sur l'enrobage e_1 en face structurelle ;
- Δe_1^- la tolérance en moins sur l'enrobage e_1 en face structurelle ;
- Δb_1^- la tolérance en moins sur l'épaisseur de la face structurelle ;
- Les valeurs de tolérances ci-dessus sont, par défaut, prises égales à :
 - $\Delta e_1^+ = 3$ mm ;
 - $\Delta b_1^- = 3$ mm.

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

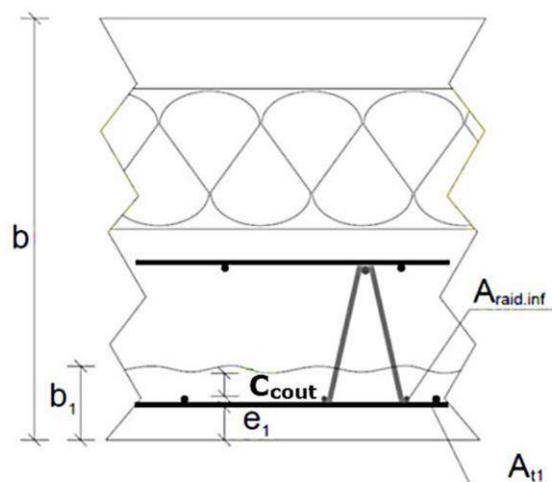
$$b_1 \geq c_{cout_min} + e_1 + \phi_{t1} + \phi_{raidinf} + \Delta_1$$

$$\text{avec : } \Delta_1 = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2} = 4,3\text{mm}$$

Avec :

- b_1 = l'épaisseur nominale de la paroi intérieure préfabriqué ;
- e_1 = l'enrobage nominal extérieur de la paroi intérieure ;
- C_{cout_min} = l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure de la paroi coffrante ;
- ϕ_{t1} = le diamètre des armatures perpendiculaires aux raidisseurs dans la paroi coffrante côté noyau coulé en place, de section A_{t1} ;
- $\phi_{raidinf}$ = le diamètre des armatures inférieures du raidisseur, de section $A_{raidinf}$.

Figure 16 : Définition des chaînes de cotes



2.3.4.1.1.7. Calepinage et largeur de joint

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

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

- La variation dimensionnelle due aux effets thermiques est inférieure à 25 % de la largeur nominale du joint ;
- La variation dimensionnelle due aux effets thermiques est inférieure à la largeur du joint moins 5 mm ;
- Respecter les conditions définies dans le paragraphe 2.3.3.4.

Les dimensions de joint résultent du critère technique (dimension des panneaux), sismique (sismicité de la zone et classe du bâtiment) et économique (densité des connecteurs). L'augmentation de la sismicité, comme l'augmentation de la dimension des éléments, augmentent la largeur des joints. En zone sismique, l'augmentation de la densité des connecteurs permet de réduire les déplacements des parois extérieures librement dilatables et donc de réduire les largeurs de joint.

2.3.4.1.1.8. Chevillage

Il appartient au Maître d'œuvre ou au BET de vérifier que l'ouvrage support, c'est-à-dire le « Duomur Isolant », 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 paroi/noyau sont ancrées totalement dans l'épaisseur de la partie structurale (noyau coulé en place + paroi intérieure préfabriquée).

La vérification en traction doit être faite en considérant l'épaisseur à fixer comme étant l'épaisseur de la platine augmentée de l'épaisseur de la paroi. La vérification en cisaillement est effectuée en considérant uniquement l'épaisseur de la platine comme épaisseur à fixer.

Le chevillage dans la paroi extérieure est à proscrire sauf dispositions particulières prises lors de la conception.

Un chevillage parallèle au plan de reprise n'est autorisé que dans la partie béton coulé en place. La présence des parois préfabriquées est ignorée pour le dimensionnement de la cheville non prévue lors de la conception.

2.3.4.1.1.9. Liaisons structurelles sur « Duomur Isolant »

Les éléments assemblés sur chantier tels que plancher, balcon, poutre, linteaux, console en Duomur Classique, « Duomur Isolant », préfabrication traditionnelle ou coulés sur chantier et prenant appui ou s'ancrant dans un « Duomur Isolant » doivent être conçus de façon à solliciter uniquement la partie structurale (paroi intérieure + noyau coulé en place) du « Duomur Isolant ».

Dans le cas où l'on traverse ou passe par-dessus la paroi librement dilatable, un espace correspondant au joint minimal doit être ménagé entre les éléments venant s'ancrer et la paroi librement dilatable. La paroi librement dilatable n'est pas conçue pour reprendre un effort autre que celui induit par le poids propre de la paroi librement dilatable en situation sismique.

2.3.4.1.1.10. Principes constructifs

2.3.4.1.1.10.1. Liaisons entre éléments

Des schémas de liaisons types entre éléments sont présentés en Annexe VII. Ces liaisons sont de type :

- Articulée : les armatures de liaison sont ajoutées uniquement dans le noyau coulé en place ;
- Couturée : liaison articulée à laquelle est ajoutée une armature de couture intégrée à la paroi structurale en bord de panneau ;
- Encastrée.

2.3.4.1.1.10.2. Utilisation des raidisseurs dans les renforcements

Les renforcements des bords libres verticaux usuellement prévus dans les voiles selon les dispositions du paragraphe 4.2.2.5 du DTU 23.1 pourront être réalisés dans les « Duomurs Isolants » à l'aide des raidisseurs. Les barres de chaînages périphériques sont intégrées dans la paroi intérieure des « Duomur Isolant » et dans le noyau. Les U de fermeture *constructifs* sont remplacés par des raidisseurs.

Figure 17 : Solution traditionnelle

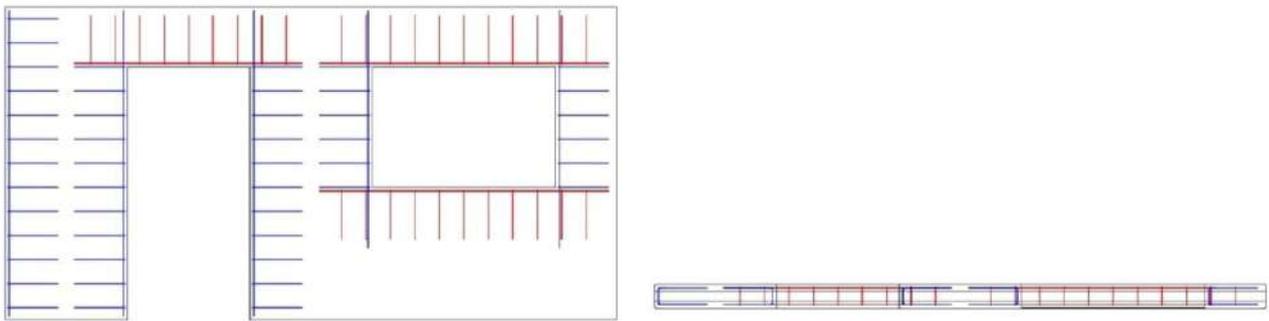
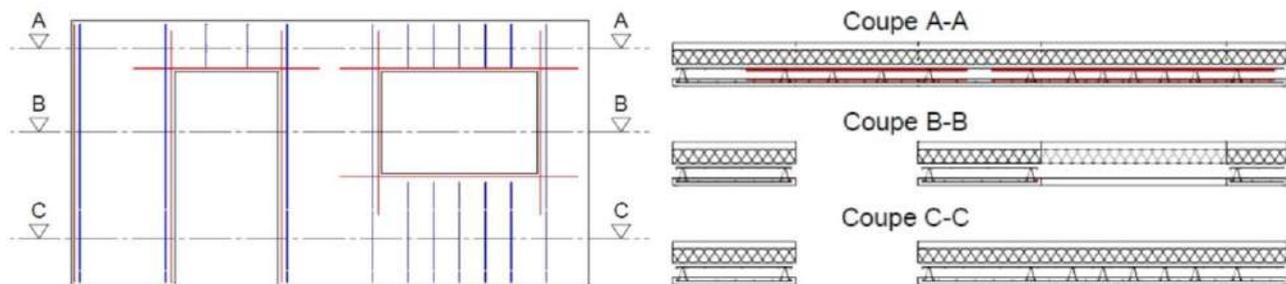
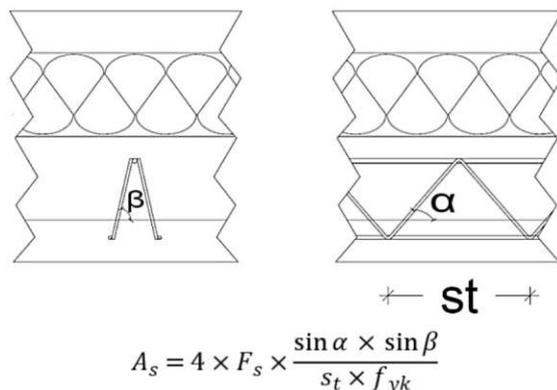


Figure 18 : Dispositions équivalentes de renforcement des bords libres verticaux solution « Duomur Isolant »



Les ferrailages constructifs constitués de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisés dans les « Duomurs Isolants » à l'aide des raidisseurs. Les filants sont soit intégrés en renforts dans les peaux des « Duomur Isolant », soit remplacés par les filants des raidisseurs si la section est équivalente.

Les U, cadres, épingles et étriers constructifs sont remplacés par des raidisseurs. La section d'armature équivalente par mètre linéaire est calculée à partir de l'effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique.

Figure 19 : Géométrie du raidisseur

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

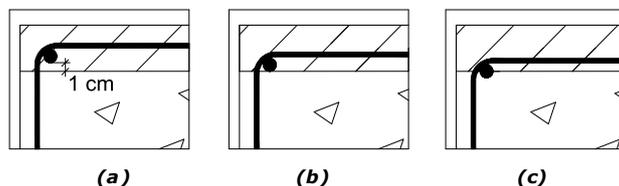
- f_{yk} : limite élastique des épingles
- $R_{e,Di}$: limite apparente d'élasticité de la diagonale du raidisseur
- A_{Di} : section nominale de la diagonale du raidisseur
- F_w : Résistance garantie de la soudure des sinusoides sur les armatures longitudinales du raidisseur

2.3.4.1.1.10.3. Façonnage des armatures

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

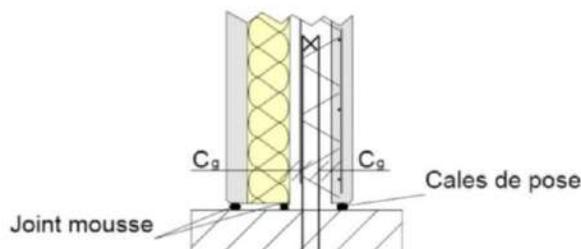
La longueur d'ancrage de calcul de l'armature dans le voile préfabriqué vaut $\alpha_7 l_{bd}$, avec la longueur d'ancrage de calcul l_{bd} définie à l'article 8.4.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

Figure 20 : Enrobage des aciers structuraux et périmètre utile

NOTES :

Dans le cas d'utilisation en poutre-voile, seule la première configuration 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 C_g de ces armatures est compte à partir de la face intérieure des parois préfabriquées.

Figure 21 : Position des aciers en attente dans un « Duomur Isolant »

2.3.4.1.1.11. Recouvrement d'armatures

Suivant CPT MCI (cahier du CSTB 3690- Juillet 2014) §1.1.1.11.

2.3.4.1.1.12. Eclissage des armatures

Suivant CPT MCI (cahier du CSTB 3690_V2 – Juillet 2014) §1.1.1.12.

Ces armatures sont soit intégrées dans les « Duomurs Isolants », 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 l'expression suivante :

- $\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - a_{h1} - a_{h2}}{2}$ pour les armatures horizontales (Figure 22)
- $\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - a_{v1} - a_{v2}}{2}$ pour les armatures verticales (Figure 23)

avec :

- $b_{n,min}$ l'épaisseur minimale du noyau, toutes tolérances épuisées.
- e_0 tel que $e_0 = 0$ si les armatures sont accolées et $e_0 = 1,7D_{max}$ elles sont espacées
- $a_{h1}, a_{h2}, a_{v1}, a_{v2}$: valeurs conventionnelles de l'enrobage prenant en compte les variations dimensionnelles de l'armature et de son positionnement :
 - $a_{h1} = \max(25 \text{ mm}; 1,7D_{max}) + a_{e1} - 15 \text{ mm}$;
 - $a_{h2} = \max(25 \text{ mm}; 1,7D_{max}) + a_{e2} - 15 \text{ mm}$;
 - $a_{v1} = \max(25 \text{ mm}; 1,4D_{max}) + a_{e1} - 15 \text{ mm}$;
 - $a_{v2} = \max(25 \text{ mm}; 1,7D_{max}) + a_{e2} - 15 \text{ mm}$.

a_{e1} l'enrobage minimal de l'armature de liaison côté paroi intérieure et a_{e2} l'enrobage de l'armature de liaison côté isolant. Ces valeurs définies aux paragraphes 2.3.4.5.1 et 2.3.4.5.2 prenant les valeurs de 15 mm ou 30 mm selon la destination de l'ouvrage et les conditions d'utilisation (exposition des parois, traitement du joint...).

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

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

Figure 22 – Exemple de l'éclissage des armatures horizontales

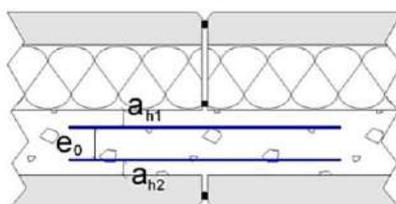
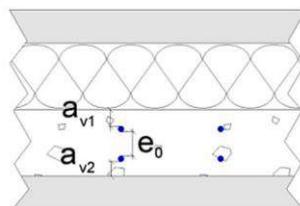


Figure 23 – Exemple de l'éclissage des armatures verticales



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

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

2.3.4.1.1.13. Critères de bétonnage

2.3.4.1.1.13.1. Hauteur de chute du béton

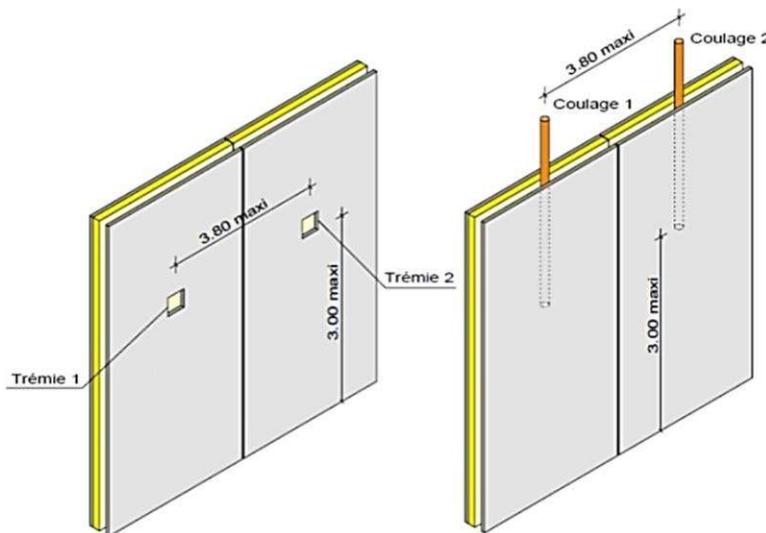
La hauteur maximale H_{max} de chute du béton n'excèdera pas 3,00 m quelque soit l'épaisseur du noyau (en référence à l'art. 1.3 « Déversement par bennes » de la norme NF P 18-504 « Mise en œuvre des bétons de structure »). Lorsque les hauteurs de panneaux sont supérieures à cette hauteur maximale et 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 (lorsque l'épaisseur du noyau le permet) ou par une trémie latérale respectant cette même hauteur limite (Figure 24). La distance 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 « Duomur Isolant » par l'examen des joints verticaux entre panneaux, par le contrôle du volume du béton déversé ainsi que par une observation directe par les ouvertures éventuelles dans les panneaux.

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

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

Figure 24 : Hauteur de bétonnage équivalente à (a) hauteur sous trémie et (b) hauteur sous tube souple



2.3.4.1.1.13.2. Vitesse de bétonnage

La vitesse maximale de bétonnage est de 50 cm/heure 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 lors d'une étude menée en partenariat avec le fournisseur des connecteurs ponctuels en prenant comme référence l'annexe B informative de la norme NF EN 14992.

Cette vitesse peut être de 60 cm/heure pour des températures supérieures à 10°C et 70 cm/heure pour des températures supérieures à 15°C.

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

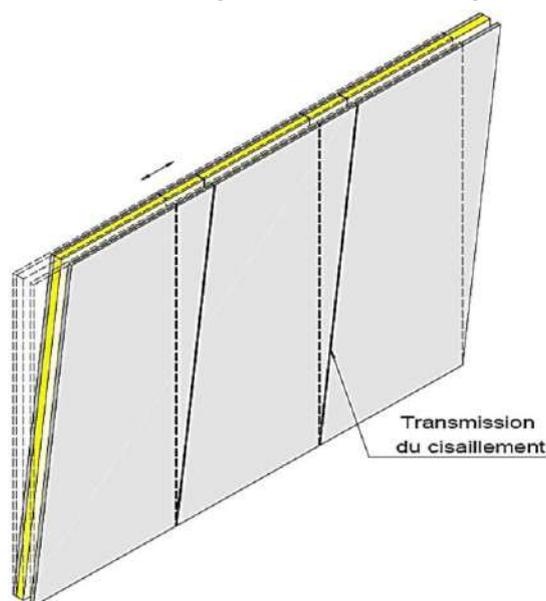
2.3.4.1.1.14. Dispositions parasismiques

2.3.4.1.1.14.1. Principe général

En cas d'utilisation dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, la classe des armatures devra être conforme aux prescriptions de la NF EN 1998-1 et son annexe nationale. Ceci concerne notamment les zones critiques des éléments sismiques primaires pour lesquelles il ne peut pas être employé d'armature du type B500A.

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

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

Figure 25 : Schéma d'un comportement monolithique des panneaux

Les tirants et chaînages adéquats issus du calcul peuvent être intégrés dans le « Duomur Isolant ».

Les efforts engendrés par une situation sismique pondérant la masse de la paroi extérieure sont repris par les connecteurs. Si nécessaire le maillage est complété par des connecteurs supplémentaires implantés à 45° de façon à être sollicités en traction. Les largeurs de joint sont prévues selon les dispositions du paragraphe 2.3.3.4.

2.3.4.1.1.14.2. Principe des vérifications des « Duomur Isolant » sous sollicitations sismiques

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un panneau de « Duomur Isolant » 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 la NF EN 1998-1, qui concerne l'utilisation d'éléments préfabriqués pour la résistance au séisme, il convient de prendre le coefficient k_p égal à 1.

2.3.4.1.1.14.3. Stabilité locale

Dans le cas de figure où le mur est libre sur l'un de ses côtés, on pourra se reporter à la vérification de la stabilité de forme effectuée pour les poutres voiles. A défaut de justifications par le calcul, les « Duomurs Isolants » 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.

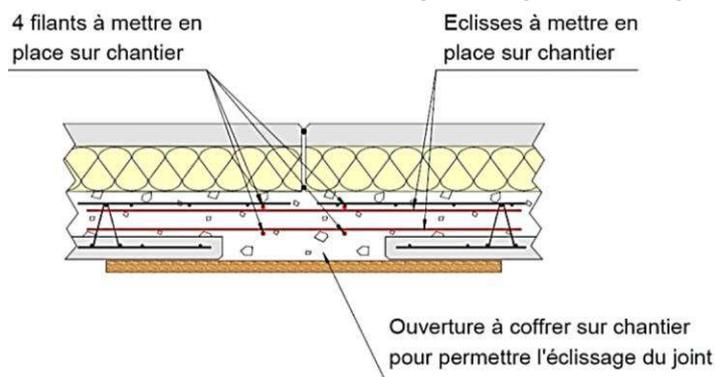
2.3.4.1.1.14.4. Liaisons entre « Duomur Isolant » en zone courante

A défaut de calcul spécifique des liaisons :

Les liaisons horizontales sont proscrites ;

- Pour les liaisons verticales, il y a lieu de réaliser des poteaux au droit des joints (voir figure ci-dessous), dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des raidisseurs de rives. La section des armatures de liaison est celle déterminée pour le mur banché substitué, majorée du rapport épaisseur

structurale / épaisseur du noyau coulé en place, soit $\left(\frac{b_1 + b_n}{b_n}\right)$. Les poteaux doivent comporter au moins une face accessible avant bétonnage et visible après décoffrage. La section des filants verticaux est au moins égale au tiers de la section des armatures horizontales.

Figure 26 : Liaison verticale en zone sismique sans justification par le calcul

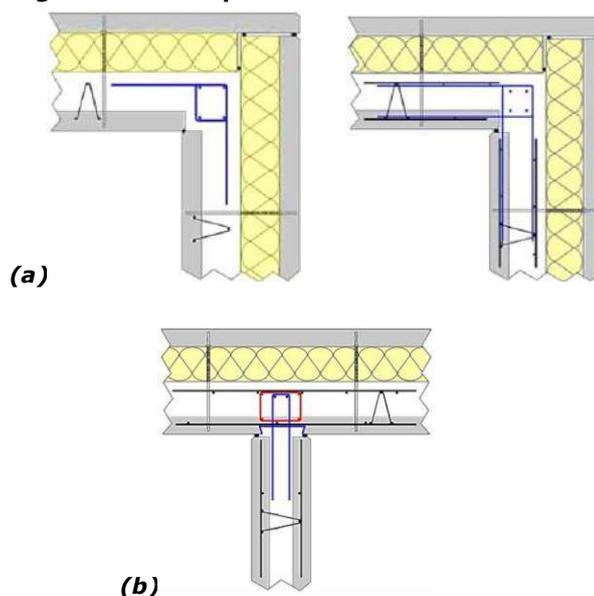
Dans le cas de justifications par le calcul des liaisons, l'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié (voir méthode de calcul proposée Annexe I. Principe de vérification des liaisons entre Duomur). Cette vérification a pour objet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié, permettant de reproduire le monolithisme du mur.

2.3.4.1.1.14.5. Liaisons entre « Duomur Isolant » au droit d'une dalle

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

2.3.4.1.1.14.6. Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs « Duomur Isolant »

Les intersections de murs nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans le « Duomur Isolant » 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 « Duomur Isolant » et des contraintes de mise en œuvre.

Figure 27 : Exemple d'intersections de mur

a. Chaînage vertical dans le noyau coulé en place

b. Chaînage vertical mis en œuvre par le biais des armatures de couture

2.3.4.1.1.14.7. Les chaînages

Les dispositions minimales des NF EN 1998-1 et son Annexe nationale française NF EN 1998-1/NA doivent être respectées, notamment l'utilisation d'armature de type B500B, B450B et B450C :

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

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

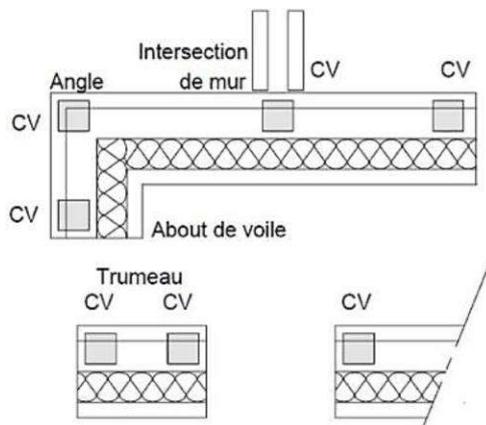
Les chaînages minimaux des zones courantes d'un mur principal sont :

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

Au niveau le plus bas du bâtiment et sur une hauteur d'étage on dispose les chaînages minimaux verticaux CV suivants au bord de chaque trumeau : quatre barres HA Ø12 ligaturées avec des armatures transversales en Ø6 espacés de 10 cm au plus. Des chaînages verticaux identiques doivent être disposés pour tout niveau avec changement de section et ou de contreventement appréciable.

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

Figure 28 : Implantation type des chaînages verticaux CV



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

2.3.4.1.1.14.8. Exigences relatives au façonnage des armatures

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

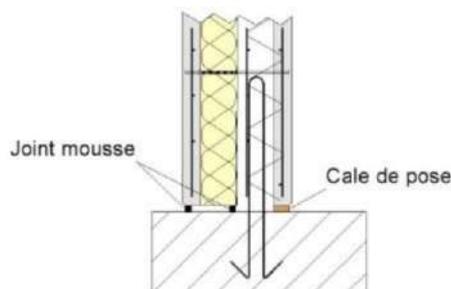
La classe des armatures devra être conforme aux prescriptions de la NF EN 1998-1-1 et son annexe nationale. Ceci concerne notamment les zones critiques des éléments primaires pour lesquels il ne peut être employé d'armature du type B500 A.

2.3.4.1.2. Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités dans leur plan

2.3.4.1.2.1. Prescriptions particulières aux murs courants

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

Figure 29 : Liaisons en pied de murs courants



Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690_V2 Juillet 2014) §1.1.2.1.

2.3.4.1.2.2. Prescriptions particulières aux poteaux

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

- Est considéré comme « poteau » tout élément dont le grand côté de la section transversale ne dépasse pas 4 fois les petits côtés 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 le considérer comme un voile.

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

Type de ferrailage en fonction du type de sollicitations :

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

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

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

Avec :

- λ : l'élançement 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'élançement ;
- A, B et C sont définis à l'article 5.8.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale ;
- n : l'effort normal relatif défini à l'article 5.8.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

Dans l'hypothèse où l'élançement du poteau est supérieur à l'élançement limite calculé ci-dessus, les effets du second ordre ne sont plus négligeables et les méthodes de calcul décrites dans l'article 5.8.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale peuvent être appliquées : méthode basée sur la rigidité nominale (article 5.8.7) et méthode basée sur la courbure nominale (article 5.8.8). Les calculs sont réalisés sur la base de la section courante.

Sollicitation en compression centrée

Poteaux résistants par le béton seul :

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690_V2 Juillet 2014) §1.1.2.2.

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

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

Avec :

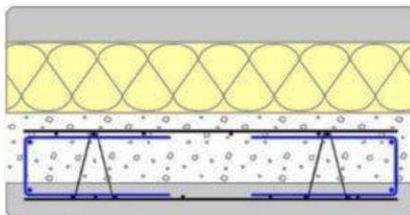
- N_{Rd} l'effort normal résistant de calcul du poteau ;
- $f_{ck,eq}$ la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur totale du mur telle que définie au paragraphe 1.1.2.3.4.1.1.1 ;
- A_c la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur 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 $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs.

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

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

Figure 30 : Section de poteau résistant par le béton seul



Poteaux nécessitant des armatures structurelles :

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690_V2 Juillet 2014) §1.1.2.2.

Ces poteaux pourront être réalisés en murs à coffrage intégré mais les dispositions de ferrailage 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.

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

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

Avec :

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

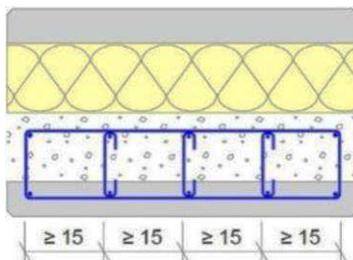
- A_c la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :
 - le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm ;
 - ou la pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur f_{cm} prise 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_{yE} .

Par ailleurs, les sections d'armatures doivent respecter les conditions d'éclissage définies au § 2.3.4.1.1.12

Figure 31 : Section de poteau nécessitant des armatures structurales



2.3.4.1.2.3. Prescriptions particulières aux poutres

L'ensemble des prescriptions du NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale pour le dimensionnement des poutres doivent être vérifiées et complétées par les justifications suivantes. La section de béton prise en compte dans le calcul est l'épaisseur totale de la poutre.

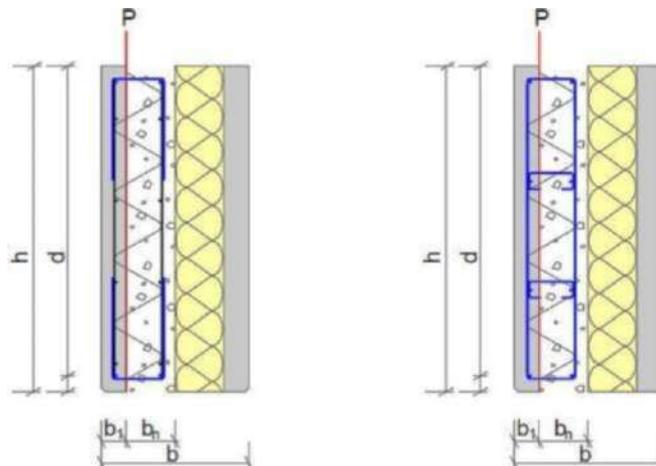
2.3.4.1.2.3.1. Intégrité de la section

Cette vérification consiste à s'assurer du monolithisme de l'ensemble de la section par la détermination des contraintes de cisaillement qui s'exercent à l'interface peau/noyau et par la mise en place d'aciers de couture. La relation suivante devra ainsi être vérifiée :

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd}$$

Le calcul de l'effort tranchant traversant le plan de reprise se fait suivant les dispositions de l'Art. 2.6.5 de l'Eurocode 2 soit :

Figure 32 : Plans de cisaillement dans la section d'une poutre



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

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

avec :

- V_{Ed} = effort tranchant maximal à l'ELU en kN
- $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ en cm^2
- A_{s1} : Section d'acier tendu de la poutre contenue dans la paroi intérieure
- A_{s2} : Section d'acier tendu de la poutre contenue dans le noyau coulé en place
- $z = 0,9 \times d$ en m

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

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

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

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

La liaison par le béton seul est systématiquement renforcée par les raidisseurs traversant le plan de reprise. Par conséquent, la valeur limite de la contrainte de cisaillement τ_{Rd} est telle que représentée ci-dessous ainsi qu'à l'Annexe III. Exemple de calcul de τ_{Rd} :

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

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

avec :

- $f_{cd,n}$: valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage $(\frac{\alpha_{cc} \times f_{ck,n}}{\gamma_c})$
- $f_{ctd,n}$: valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage $(\frac{\alpha_{ct} \times f_{ct,n}}{\gamma_c})$
- $f_t = \min\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \frac{F_W}{(A_{Di} \times \gamma_s)}\right)$
 - f_{yk} : limite caractéristique d'élasticité des aciers
 - F_W : résistance des soudures
 - A_{Di} : section d'une diagonale du raidisseur treillis
- $v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right)$
- c tel que :
 - Cas des charges à caractère principalement statiques : $c = 0,18$;
 - Cas des charges dynamiques ou de fatigue : $c = 0,09$.
- $\mu = 0,6$

Nota 1 : Les valeurs de c et μ dépendent de la rugosité de la surface de reprise et sont définis à l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1.

- α et α' : inclinaisons des diagonales des raidisseurs dans le plan longitudinal.
- ρ_{α} et $\rho_{\alpha'}$: 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 II (Exemple de calcul de ρ_{α})

Nota 2 : Dans l'expression de la contrainte de cisaillement ci-dessus, l'influence du retrait du béton coulé en place est négligée. Le plan de reprise peut être renforcé en resserrant les raidisseurs ou en disposant des raidisseurs de renforts pour augmenter la valeur de ρ (cf. Annexe III. Exemple de calcul de τ_{Rd}).

Si la valeur limite de la contrainte de cisaillement est telle que $\tau_{Rd} > 0,35 \cdot f_{ck,eq}^{0,5} / \gamma_c$, alors il est nécessaire de disposer des armatures transversales d'effort tranchant.

2.3.4.1.2.3.2. Vérification sur appui

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

- Cas 1 : $b_{app} = b_n$ correspond à l'épaisseur du noyau du « Duomur Isolant » (Figure 17) ;
- Cas 2 : $b_{app} = b_n + b_1 - ch_1$ correspond à l'épaisseur structurelle totale réduite d'une épaisseur de peau et d'une largeur de chanfrein éventuel (Figure 17).

avec :

- b_n : épaisseur du noyau coulé en place
- b_1 : épaisseur de la peau intérieure préfabriquée
- ch_1 : largeur des chanfreins de la paroi intérieure

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

Figure 33 : Définition de géométrie de la section

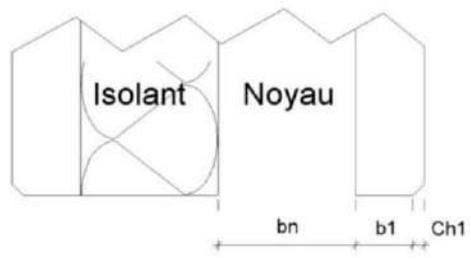
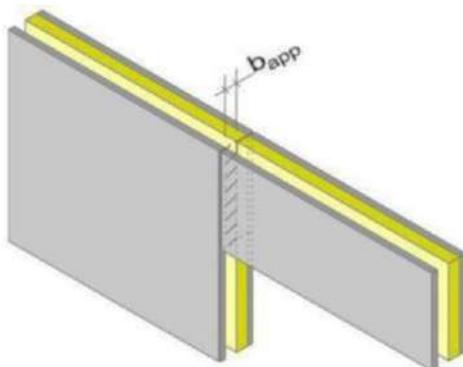
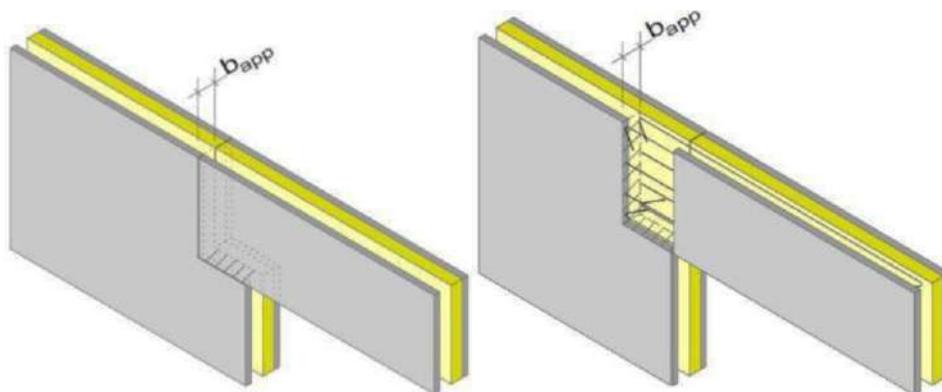


Figure 34 : Appui de poutre – cas 1**Figure 35– Appui de poutre – cas 2**

La réalisation du joint d'appui doit être conforme aux prescriptions communes (cf. paragraphe 2.3.4.1.1.1)

2.3.4.1.2.3.3. Résistance à la torsion

Nota : comme pour les poutres élancées, on doit éviter de faire travailler les « Duomurs Isolants » en torsion, notamment en raison des déformations qu'il en résulte. Toutefois, lorsqu'on ne peut pas éviter de le faire, les prescriptions suivantes sont utilisées.

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

- Soit l'épaisseur du noyau (b_n) dans le cas d'un joint du type cas 1 ci-dessus ;
- Soit l'épaisseur structurelle réduite des largeurs de chanfrein éventuel ($b_1 + b_n - ch_1$) dans le cas d'un joint du type cas 2 ci-dessus.

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

2.3.4.1.2.4. Prescriptions particulières aux poutres-voiles

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690_V2 Juillet 2014) §1.1.2.4.

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

2.3.4.1.2.4.1. Vérification de la stabilité d'ensemble

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690_V2 Juillet 2014) §1.1.2.4.

2.3.4.1.2.4.2. Vérification des points singuliers (joints entre « Duomur Isolant »)

Les dispositions constructives au droit des joints doivent conventionnellement permettre d'équilibrer les efforts tranchants le long de la poutre-voile en respectant la prescription suivante :

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

Avec :

- V_{Edi} , l'effort tranchant sollicitant maximal le long de la poutre-voile à l'ELU ;
- V_{Rdi} , l'effort tranchant résistant au droit du joint déterminé conformément à l'Annexe I. Principe de vérification des liaisons entre Duomur Isolant.

Cette vérification, décrite à l'Annexe I (Principe de vérification des liaisons entre Duomur Isolant), a pour objet de déterminer le type de liaison permettant de reproduire le monolithisme du voile mais ne dispense pas des vérifications au cisaillement qui s'appliqueraient à la poutre-voile banchée traditionnelle.

Dans tous les cas, les abouts de poutres-voiles doivent être munis de chapeau de coutures (cf. Figure 100 - Liaison couturée).

A défaut de justifications de la résistance de la liaison, chaque panneau de « Duomur Isolant » doit correspondre à une travée de poutre-voile.

2.3.4.1.2.5. Prescriptions particulières aux acrotères

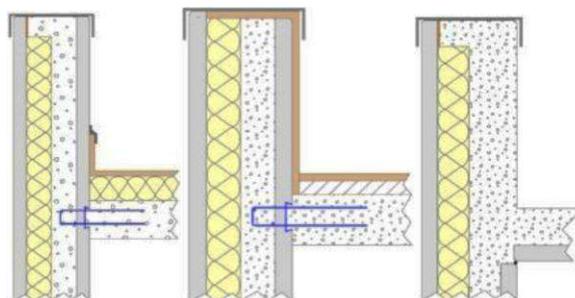
Les acrotères en « Duomur Isolant » sont conformes aux prescriptions de l'article 7.2.4 du DTU 20.12.

2.3.4.1.2.5.1. Acrotères bas

Les acrotères bas réalisés en « Duomur Isolant » sont incorporés aux « Duomur Isolant » 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 « Duomur Isolant » ou est coffrée en place.

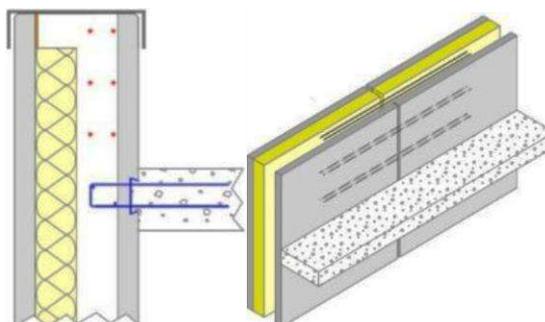
Figure 36 – Protection de l'étanchéité



Le ferrailage de l'acrotère est intégré partiellement ou totalement dans le « Duomur Isolant ». Le ferrailage 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 37 – Eclissage au niveau des joints d'acrotères bas

Eclisses mises en place dans le noyau

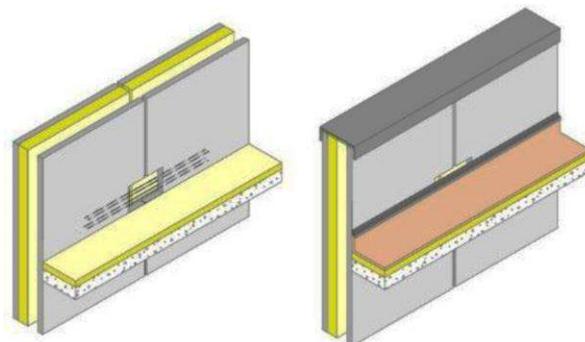


2.3.4.1.2.5.2. Acrotères hauts (au sens du DTU 20.12)

Les acrotères hauts peuvent être incorporés aux « Duomur Isolant » du dernier niveau et être réalisés par le prolongement de ces derniers au-dessus de la toiture.

Figure 38 – Acrotères hauts continus au niveau de la toiture

Partie haute fractionnée, partie basse continue



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

Figure 39 – Acrotères hauts réalisés par des pièces complémentaires au-dessus de la toiture

Partie haute fractionnée, partie basse continue

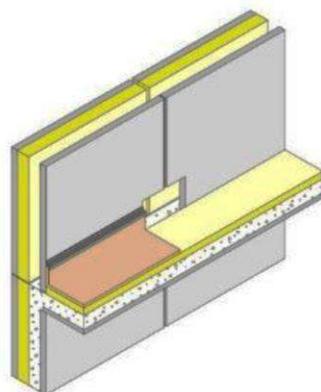
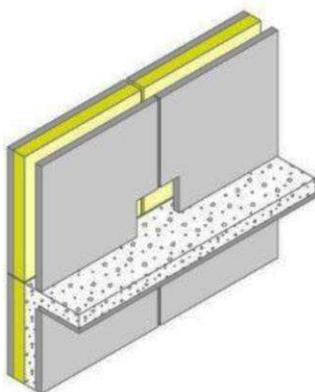


Figure 40– Détail de réalisation du fractionnement des acrotères hauts



Les acrotères hauts sont constitués :

- D'une partie basse ferrillée 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 « Duomur Isolant » et auront une largeur de 2 cm. S'ils sont espacés de 4 mètres dans les régions sèches ou à forte opposition de température et 6 mètres dans les régions humides ou tempérées la largeur des joints de fractionnement peut être ramenée à 1 cm.

2.3.4.1.2.5.3. Faisabilité de montage des armatures

Sur la hauteur du bandeau continu inférieur les « Duomurs Isolants » 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.

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

2.3.4.1.3.1. Prescriptions communes

2.3.4.1.3.1.1. Encastrement des 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.

2.3.4.1.3.1.2. Monolithisme - Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface peau/noyau :

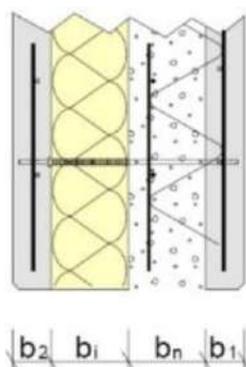
La présence d'un plan de reprise de bétonnage nécessite d'établir le monolithisme de la section. La contrainte tangente à l'interface peau/noyau est prise conventionnellement égale à :

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{0,9 \times l \times (b_1 + b_n)}$$

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

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

Figure 41– Section et épaisseurs d'un « Duomur Isolant »



S_1 étant le moment statique de la paroi intérieure d'épaisseur b_1 par rapport au centre de gravité de la section, et I le moment d'inertie de la section de hauteur $(b_n + b_1)$ supposée homogène.

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

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

Cette contrainte peut alors être comparée à la valeur de la contrainte maximale de cisaillement calculée grâce à la méthode présentée à l'Annexe III (Exemple de calcul de τ_{Rd}) pour la vérification de l'intégrité de la section des poutres. Si nécessaire des armatures de renfort doivent être mises en place.

2.3.4.1.3.2. Prescriptions particulières aux murs enterrés

Dans le cas des murs enterrés, un talutage stabilisé doit être réalisé afin que le mur ne soit pas soumis à la pression des terres en phase provisoire et afin de permettre une intervention pour le traitement des joints extérieurs.

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 « Duomur Isolant » au moyen de boîtes d'attentes dans la paroi structurelle uniquement.

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

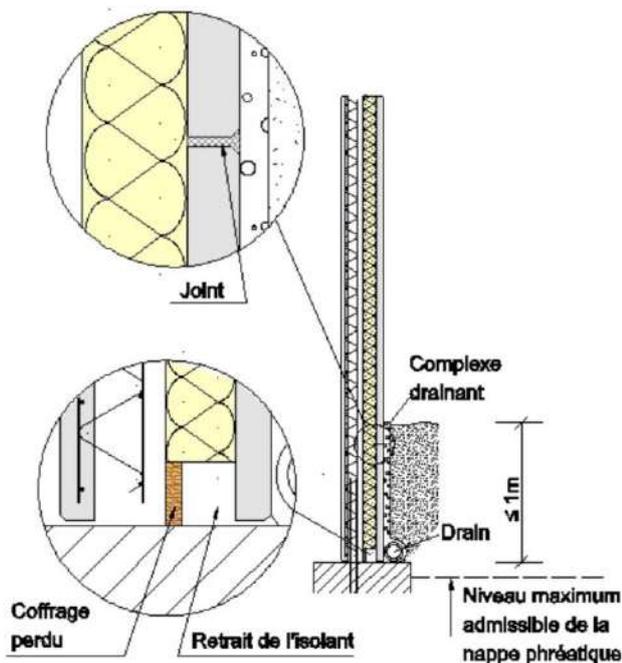
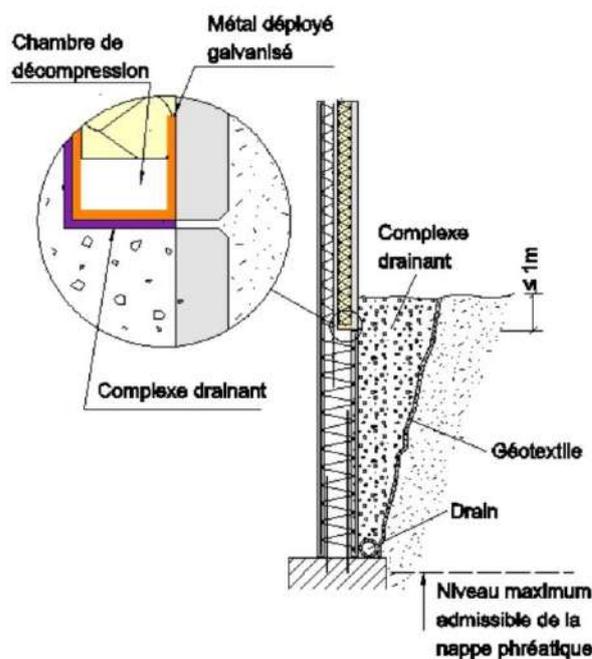
La hauteur enterrée sera calculée en fonction de la capacité de compression de l'isolant et des actions des terres. L'ordre de grandeur de cette hauteur enterrée est un mètre.

L'utilisation de « Duomur Isolant » enterré impose la prise en compte des règles de sécurité en vigueur relatives à ce type d'ouvrage.

2.3.4.1.3.3. Murs semi-enterrés

Les murs semi-enterrés doivent présenter un fractionnement de la paroi extérieure au niveau de la transition partie enterrée – partie exposée. Ce fractionnement pourra selon le cas être prévu en usine ou réalisé sur chantier par découpage après la pose. Dans ce deuxième cas, le découpage sera repéré par une empreinte dans le béton. La hauteur de ce découpage sera étudiée au cas par cas avec le bureau d'étude thermique du chantier. Le joint sera laissé ouvert pour évacuer les condensations.

En fonction des efforts à reprendre, notamment les poussées de terre, la partie enterrée recevra ou non la couche isolante permettant d'épaissir la partie structurelle du « Duomur Isolant » afin de répondre aux poussées de terre les plus pénalisantes. La hauteur d'arrêt de l'isolant sera étudiée au cas par cas en partenariat avec les bureaux d'étude structure et thermique du chantier sans pouvoir dépasser 1,00 m.

Figure 42 – Murs semi enterrés faible hauteur**Figure 43 – Murs semi enterrés hauteur importante**

2.3.4.1.3.4. Prescriptions particulières aux murs de silos ou de magasins de stockage

Pour le dimensionnement des panneaux destinés aux silos, on doit appliquer les « Règles professionnelles de conception et de calcul des silos en béton », en respectant les prescriptions communes des « Duomur Isolant ».

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

2.3.4.2. Sécurité au feu

2.3.4.2.1. Généralités

La justification au feu des murs « Duomur Isolant » a fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire du CSTB n°AL 15-162_V2. Dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, celle-ci prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation des connecteurs Thermomass pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurelle.

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

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

Suivant l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 15-162_V2, dans la limite d'une durée de tenue de feu de 2H, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurelle des « Duomur Isolant », partie structurelle considérées comme homogène de ce point de vue.

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

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

2.3.4.2.3. Justification de la tenue de la peau extérieure

La tenue du voile librement dilatable en situation d'incendie fait également l'objet de l'Appréciation de laboratoire du CSTB n°AL 15-162_V2 afin de s'assurer que la capacité résiduelle des connecteurs Thermomass en situation d'incendie est suffisante pour assurer le maintien de la paroi extérieure librement dilatable pour une durée d'exposition au feu allant jusqu'à 2 heures.

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

- On calcule dans un premier temps jusqu'à quelle distance du point milieu de la ligne des connecteurs à 45° (point de déplacement relatif nul entre les voiles) les connecteurs droits sont capables de supporter les efforts qu'ils subissent du fait de la sollicitation combinée dilatation/vent dans le cas d'incendie ;
- On vérifie ensuite que la partie du voile librement dilatable située au-delà de cette distance peut rester convenablement assemblée à la partie du voile librement dilatable située en-deçà de cette distance ;
- On vérifie enfin que les connecteurs à 45° situés en-deçà de cette distance suffisent à supporter la paroi extérieure librement dilatable.

2.3.4.2.4. Disposition constructive particulières

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

Conformément à l'appréciation de laboratoire n°AL15-162_V2, les connecteurs inclinés à 45° devront être disposés à une distance au-dessus des ouvertures égale à la valeur C+D requise pour un panneau incombustible et déterminée selon la destination du bâtiment, avec un minimum de 80 cm.

L'appréciation n°AL15-162_V2 prescrit les solutions techniques à respecter afin de répondre aux exigences de l'arrêté du 7 août 2019 relatif aux travaux de modification des Immeubles de Moyenne Hauteur (IMH) et de l'arrêté du 13 novembre 2019 modifiant l'arrêté du 31 janvier 1986 (Bâtiments de 4ème famille). En plus des dispositions décrites ci-dessus, les connecteurs à 45° doivent être positionnés à une distance horizontale au moins égale à 50 cm à partir du bord de l'ouverture.

Conformément à l'appréciation de laboratoire n°AL 15-162_V2, en périphérie des réservations la protection de l'isolant (lorsqu'il n'est pas M0) est assurée par la mise en place de matériaux M0.

Cette protection pourra par exemple être assurée soit par une bande de laine de roche de densité 120 à 150 kg/m³, soit par une bande de verre cellulaire de densité minimale 120 kg/m³. L'épaisseur de cette protection est de 5 cm au minimum lorsqu'elle est protégée par une bavette acier et 10 cm dans le cas contraire.

On peut se dispenser de cette disposition pour les bâtiments ne comportant qu'un rez-de-chaussée.

2.3.4.3. Isolation thermique

La performance thermique du « Duomur Isolant » est déterminée en négligeant la présence des joints. Elle est assurée par la présence d'un isolant thermique intégré au panneau préfabriqué. L'isolant placé contre la peau extérieure permet d'éviter les ponts thermiques courants.

Au droit des joints extérieurs, une garniture de joint est à prévoir sur chantier afin de protéger l'isolant des agressions extérieures, voir le paragraphe 2.3.4.5 et l'Annexe V. Traitement des joints.

Le calcul du coefficient de transmission thermique du « Duomur Isolant » U_{DI} se fait de la manière suivante :

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

Avec :

- λ_i : conductivité thermique de l'isolant
- n_c : densité surfacique des connecteurs
- $\chi_{connecteurs}$: coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et calculé selon les « Règles Th-Bat » en W/K
- b_i, b_1, b_2, b_n : épaisseurs des différentes couches du « Duomur Isolant »

Le calcul des coefficients de pont thermique de liaison doit se faire selon le « Règles Th-Bat ».

La justification de la conformité à la réglementation thermique doit se faire au cas par cas selon les « Règles Th-Bat ». Elle doit notamment prendre en compte la présence d'isolant en pourtour de baies ainsi qu'entre étages.

2.3.4.4. Isolation acoustique

A défaut de résultat expérimental, l'indice d'affaiblissement acoustique d'un « Duomur Isolant » peut être estimé à l'aide de l'annexe B de la norme NF EN 12354-1 appliqué à la partie structurelle, considérée comme homogène de ce point de vue. La présence de joint entre peaux structurelles est considérée comme peu influente sur cet indice. L'estimation de la performance acoustique des bâtiments intégrant des « Duomur Isolant » pourra aussi s'appuyer sur la norme de la série NF EN 12354 (1 à 6).

2.3.4.5. 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. L'épaisseur minimale (profondeur) du joint mastic est conforme aux prescriptions du DTU 44.1 (tableau 1 du DTU). Ce chapitre concerne le traitement des joints verticaux et horizontaux. Les schémas de l'Annexe V (Traitement des joints) illustrent les différents cas.

2.3.4.5.1. Murs courants en superstructure

Pour les murs courants en superstructure on distinguera la peau extérieure, soumise aux intempéries, de la peau intérieure. L'enrobage de l'armature de liaison est de 1,5 cm.

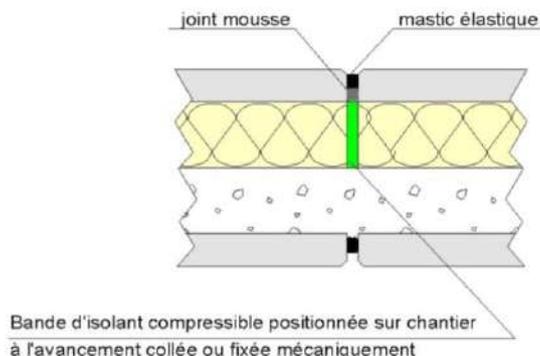
Nota : l'attention est attirée sur le fait que l'étanchéité de la façade réalisée par le joint rapporté nécessite un entretien régulier de ce dernier.

2.3.4.5.1.1. Face extérieure

2.3.4.5.1.1.1. Jonction entre parties isolantes

Au droit des joints entre murs « Duomur Isolant », afin de garantir la libre dilatation de la lame extérieure ainsi que d'éviter un éventuel pont thermique, il convient de garder la jonction entre deux parties isolantes exempte de béton. Une plaque d'isolant d'épaisseur correspondant à l'épaisseur du joint de pose sera collée ou fixée mécaniquement sur l'épaisseur de l'isolant (voir Figure 44). Cette plaque sera mise en place à l'avancement. Sa densité sera inférieure à 15 kg/m³ afin de garantir sa compressibilité. Cette bande d'isolant sera à prévoir par l'entreprise gros œuvre.

Figure 44 – Jonction entre épaisseurs isolantes



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

Un système d'obturation de type cordon de mousse doit être mise en place comme fond de joint à la pose des murs.

Les murs restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés nécessitent le traitement de ce fond de joint à l'aide d'un mastic élastique de classement SNJF F 25 E mono composant ou équivalent 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 2 cm. La compatibilité du mastic élastomère et du cordon de fond de joint devra être vérifiée.

Les variations de largeur de joint, obtenu lors de l'exposition de la paroi extérieure aux variations de température, sont à prendre en compte dans le choix du mastic élastique.

Les intersections entre joints horizontaux et joint verticaux doivent présenter une ouverture afin de permettre l'évacuation d'éventuelle infiltration d'eau derrière la paroi extérieure, voir Figure 65. 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.

2.3.4.5.1.2. 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.

2.3.4.5.1.3. Points singuliers

2.3.4.5.1.3.1. Au niveau des ouvrants

Le traitement des jonctions murs/dormants doit être réalisé conformément au DTU 36.5, 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 baies. 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.

Les pourtours d'ouverture sont protégés par une bande de laine minérale de 100 mm minimum. Elle pourra être réduite à 50 mm lorsqu'elle sera protégée par une bavette acier.

Figure 45 – Laine minérale en pourtour d'ouverture

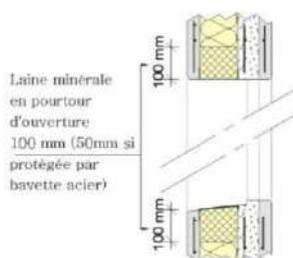


Figure 46 – Plan d'étanchéité de la façade

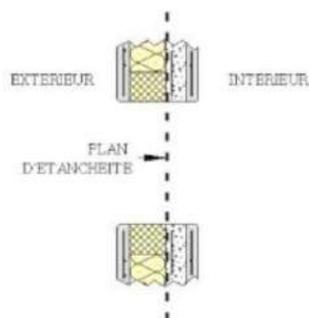
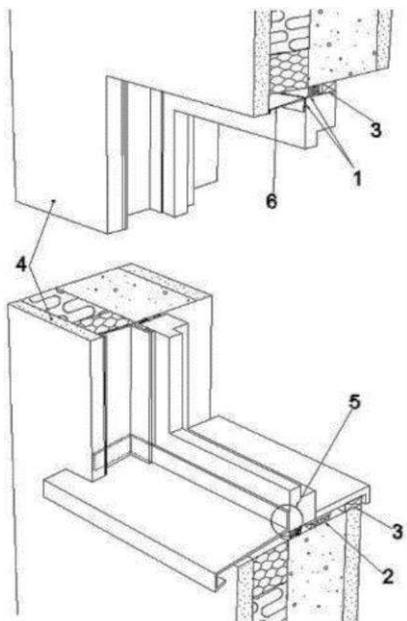
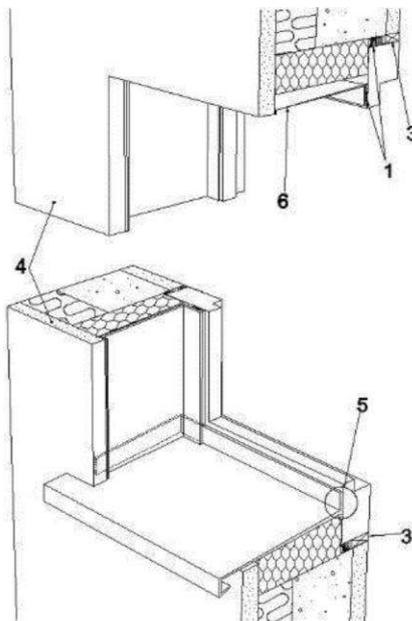
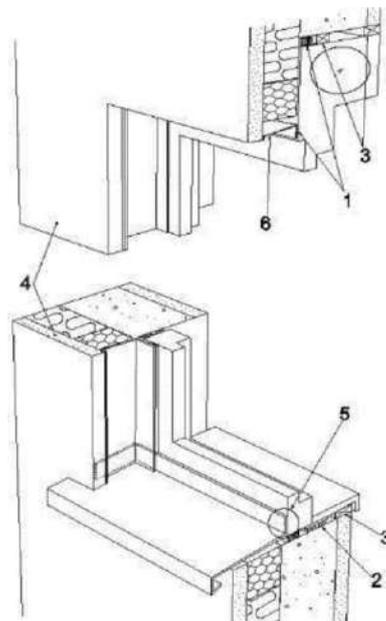


Figure 47 – Exemple de menuiserie à l'interface isolant/béton de remplissage**Figure 48 – Exemple de menuiserie au nu intérieur du « Duomur Isolant »****Figure 49 – Exemple de mise en place de volet roulant**

- | | |
|---|--|
| 1 | Garniture d'étanchéité |
| 2 | Fixation |
| 3 | Calage |
| 4 | Paroi extérieure du « Duomur Isolant » |
| 5 | Liaison étanche de la bavette dormant |
| 6 | Habillage en linteau de l'isolant |

2.3.4.5.1.3.2. Protection de l'étanchéité (acrotères)

Les joints d'acrotères sont traités à l'identique des joints de 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.

2.3.4.5.1.3.3. Protection du faîtage

Afin d'éviter les infiltrations entre les voiles, le noyau coulé et l'isolant sur chantier, le faîtage de l'acrotère est équipé d'un chaperon ou d'une couvertine.

2.3.4.5.2. Murs courants en infrastructure

Dans le cas où le joint de la paroi structurale est accessible en phase chantier et inaccessible en phase d'exploitation pour l'entretien, la dérogation de l'enrobage^{ae} de 3 cm est possible (1,5 cm minimum), moyennant le traitement du joint avec une bande bitumineuse, et que le mur ne soit pas soumis à une pression hydrostatique.

2.3.4.5.2.1. Face extérieure

2.3.4.5.2.1.1. Paroi accessible en phase chantier

Pour parer aux infiltrations provoquées par les eaux de ruissellements, les joints verticaux et horizontaux de la paroi structurale en contact avec le remblai sont traités avec un mastic élastique de classement SNJF F 25 E mono composant qui polymérise sous l'action de l'humidité de l'air et prévu pour le traitement des joints entre éléments préfabriqués complété d'une bande bitumineuse auto-adhésive à froid, résistante à la déchirure et à l'eau, et apte à protéger le joint du contact direct des terres et des eaux de ruissellement.

Dans la mesure où le joint de la paroi structurale reçoit ce traitement d'étanchéité, l'enrobage de l'armature de liaison peut être réduit à 1,5 cm. Un drainage sera systématiquement mis en œuvre pour collecter les eaux de ruissellements.

2.3.4.5.2.1.2. Paroi non accessible en phase chantier

Le traitement du joint extérieur se fera par la mise en œuvre au montage, sur le chant de la peau extérieure des « Duomur Isolant », d'un cordon d'étanchéité de mousse à cellules ouvertes imprégné et autocollant. L'étanchéité du joint sera complétée par un bétonnage en continu dans la zone du joint vertical.

L'enrobage des aciers de liaison doit être de 3 cm minimum, et les abouts de « Duomur Isolant » doivent être couturés. Dans le cas d'utilisation en murs de 1^{ère} catégorie au sens du DTU 20.1 partie 2 paragraphe 6.3, les dispositions présentées au paragraphe « traitement du plan d'étanchéité » en 3.131 doivent être appliquées (épaisseurs minimales, chemins critiques ou élément rapporté).

2.3.4.5.2.2. Face intérieure

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

2.3.4.5.3. 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 des joints intérieurs n'excède pas la limite de 20 mm

2.3.4.6. Finitions et aspect

2.3.4.6.1. Etat de surface

L'état de surface courant correspond à une surface brute de décoffrage contre moule. Dénomination E (3-3-0) d'après la norme NFP 18-503. Une des deux faces du « Duomur Isolant » peut présenter un aspect structuré grâce à l'utilisation de matrice caoutchouc type RECKLI ou équivalent. L'empreinte doit néanmoins permettre de respecter les enrobages minimums des paragraphes 2.3.2.3, 2.3.4.1.1.5 et 2.3.4.1.1.6. Une étude de faisabilité cas par cas, menée en partenariat avec notre bureau d'étude Duomur, est nécessaire.

2.3.4.6.2. Teinte

La teinte du parement des « Duomur Isolant » peut varier d'un mur à l'autre. L'homogénéité de la teinte n'est pas un paramètre qui peut faire l'objet d'une garantie.

Lorsque la finition du « Duomur Isolant » est une lasure transparente, il n'est pas exclu qu'il faille préparer le support à l'aide d'un égalisateur de teinte appliqué au préalable, de manière à garantir l'aspect final de la lasure.

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

2.4. Dispositions de mise en œuvre

2.4.1. Généralités

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

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

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

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

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

Les prescriptions relatives à la mise en œuvre 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. Ces règles décrites pour le cas de Murs à Coffrage Intégré s'appliquent également au cas de Murs à Coffrage et Isolation intégrés. Les prescriptions de ce document seront à adapter au « Duomur Isolant » en considérant que la paroi librement dilatable ne permet pas de reprendre d'effort autre que la pression du béton lors du remplissage.

2.4.1. Pose des éléments

La pose des éléments, effectuée par l'entreprise, doit être conforme au plan général de pose réalisé et fourni par notre bureau d'études technique interne.

2.4.2. Méthodologie de pose

Après traçage de l'implantation des murs sur les ouvrages de fondation il est recommandé de fixer une règle coté 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.

Pose des panneaux :

Les étais tire-pousse sont positionnés sur la paroi structurelle et fixés sur la dalle ou sur des blocs dimensionnés à cet usage. Chaque panneau est posé en se mettant en butée contre les règles de guidage et en fixant immédiatement les étais tire-pousse dans les douilles prévues à cet effet. Après réglage de la verticalité et blocage définitif des étais, les élingues sont décrochées. Afin d'éviter d'éventuels pianotages des panneaux au droit des joints lors des opérations de bétonnage il est préconisé de pincer les panneaux entre eux en tête à l'aide de serre-joints. Après la pose et l'étalement, les crochets de levages sont à sectionner de manière à :

- Permettre la libre dilatation de la paroi extérieure ;
- Libérer l'espace nécessaire à glisser les armatures de liaison.

La continuité de l'isolation entre panneaux est à mettre en place à l'avancement (voir paragraphe 2.3.4.5.1.1.1)

Mise en place des 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.

Bétonnage :

Avant bétonnage les joints entre murs « Duomur Isolant » sont traités à l'aide d'un fond de joint mousse pour éviter toute coulure de laitance. Les éventuelles épaufrures ou interstices de plus grande dimension seront calfeutrées à l'aide de moyens adaptés (exemple : coffrage, mousse de polyuréthane ...). Sauf indications particulières, les joints entre lames de parement ne devront pas empêcher la libre dilatation : des joints souples doivent être utilisés. Les coffrages des ouvertures et divers arrêts de bétonnage doivent être effectués avant humidification de l'intérieur du noyau à couler en place.

La mise en œuvre du béton se fera conformément au § 2.4.7 du présent dossier technique

2.4.3. Stabilité en phase provisoire

La stabilité des « Duomur Isolant » en phase provisoire, nécessite une attention toute particulière, vis-à-vis d'éventuels efforts principalement dus au vent.

Les éléments sont présentés, réglés et calés à leur position définitive. La stabilité est assurée à l'aide d'étais tirant-poussant fixés sur la paroi structurelle du « Duomur Isolant » au moins aux deux-tiers de la hauteur et en pied soit sur un massif en béton, soit directement sur la dalle ou le radier en béton.

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 DPM, une valeur de 85 km/h, quelle que soit la direction du vent, sera retenue (en référence à la norme NF P 93 350 relative aux banches, art.6.3.1.6).

2.4.4. Préparation des voiles et des joints

Avant de procéder au bétonnage, les voiles coffrants 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. 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

2.4.6. Bétonnage

2.4.6.1. 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 dans le Dossier Technique.

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

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 réduites à 60 cm et le béton doit comporter un accélérateur de prise. Pour des températures inférieures à 10°C cette hauteur est réduite à 50 cm.

La hauteur de chute du béton est limitée à 3,00 m, sauf si des dispositions particulières pour éviter la ségrégation du béton sont prises. Pour les panneaux de grande hauteur deux solutions sont possibles en fonction de l'épaisseur des murs :

- Une lucarne de remplissage est prévue dans chaque panneau à hauteur intermédiaire sur la face la plus accessible ;
- Une benne avec manche souple descendue à l'intérieur du panneau pour réduire la hauteur de chute du béton pour les murs d'épaisseur suffisante.

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.

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

2.4.6.2. Bétonnage des joints verticaux et horizontaux

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

2.4.7. Finitions

2.4.7.1. Fermeture des joints après bétonnage

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

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

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

2.4.7.2. Etanchéité des joints

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

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

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

2.4.7.3. Ragréage éventuel

Le désaffleurement éventuel entre 2 panneaux de coffrage structurels doit être traité avec un mortier de ragréage avant la mise en œuvre des revêtements.

2.4.7.4. Menuiserie

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

2.5. Conditions de stockage et de transport

2.5.1. Prescriptions concernant la manutention des panneaux

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

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

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

2.5.2. Prescriptions concernant le transport des panneaux

Le transport à plat est limité aux murs de surface inférieure à 7,5 m². Lors du transport à plat des panneaux, on doit limiter la charge sur le panneau le plus sollicité : la superposition des « Duomur Isolants » ne doit pas excéder 3 panneaux.

Le transport vertical des murs se fait dans des conteneurs auto-déchargeables permettant d'assurer la sécurité des opérateurs notamment durant les phases d'accrochage et de décrochage des murs. Lors du transport vertical des panneaux, on doit prévoir des cales prenant simultanément l'appui des deux parois. Les conteneurs auto-déchargeables peuvent être laissés sur chantier où ils servent de stockage des murs.

Le transport à plat est autorisé pour les dimensions inférieures ou égales aux dimensions suivantes :

Figure 50– Transport à plat selon la hauteur et la longueur du « Duomur Isolant »

Hauteur \ Longueur	< 1m	≤ 1,5m	≤ 2,5m	> 2,5m
< 2m	OUI	E	E	NON
≤ 3m	OUI	E	E	NON
≤ 4m	OUI	E	NON	NON
≤ 5m	OUI	E	NON	NON
≤ 6m	OUI	NON	NON	NON
> 6m	NON	NON	NON	NON

E : Exceptionnellement

2.5.3. Prescriptions concernant le stockage 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'OPPBT et de l'INRS. Ces règles décrites pour le cas de Murs à Coffrage Intégré s'appliquent également au cas de Murs à Coffrage et Isolation intégrés.

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

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 (panneaux de petites dimensions), chargés sur camion, et déchargés sur chantier. Le stockage à plat sont limités aux panneaux de surface maximale 7,5 m².

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

2.5.4. Retourneur

Les murs de hauteur supérieure à 2,75 m peuvent être livrés de champ et devront être relevés à l'aide d'un basculeur spécifique. Celui-ci peut être fourni sur demande. Un guide d'utilisation est fourni avec chaque retourneur.

2.6. Assistante technique

2.6.1. Fabrication et commercialisation

La fabrication des « Duomurs Isolant » est réalisée exclusivement dans les sites de productions du groupe SEAC. De même, la commercialisation est assurée par la seule Société SEAC.

2.6.2. Rôles des différents intervenants

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

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

L'épaisseur de la paroi structurale (paroi intérieure préfabriquée et le noyau coulé sur place) est soumise à l'approbation du bureau d'études de structures.

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

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

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

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

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

2.6.3. Calculs des structures

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 la SEAC et soumis à l'approbation du BET Structures par l'intermédiaire de l'entreprise titulaire du marché de génie civil. Le Bureau d'Etudes Interne de SEAC vérifie également le dimensionnement des ancrages de levage.

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

2.6.4. Livraison et pose des éléments sur site

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.

2.7. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.7.1. Généralités

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 lames ; la précision requise est obtenue moyennant le contrôle régulier et l'ajustement, si nécessaire, des paramètres de la machine de retournement.

Le présent Avis ne vaut que pour les fabrications pour lesquelles les contrôles et modes de vérifications décrits dans le Dossier Technique Etabli par le Demandeur sont effectifs.

2.7.2. Précision de fabrication des raidisseurs

Compte tenu de la minceur des voiles de coffrage préfabriqués, les 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 2.2.2.5.

Les critères de certification sont les suivants :

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

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

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

Tableau 1

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

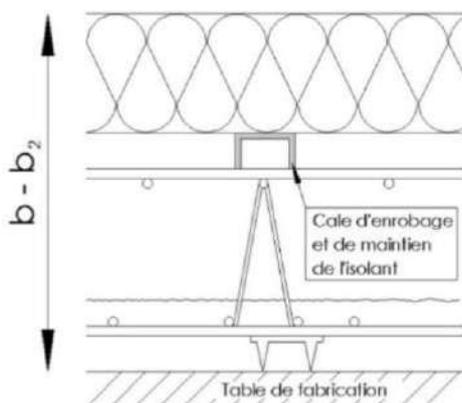
2.7.1. Fabrication des panneaux

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 :

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 ancrs de manutention. Selon les dimensions des panneaux, un plateau peut comporter une ou plusieurs premières faces ;
3. Mise en place des règles coffrantes aimantées, des douilles, des négatifs de réservations et des coffrages éventuels pour 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 de la 1ère face ;
6. Mise en place des armatures pour la partie structurelle du panneau dans l'ordre suivant :
 - a. Pose de la nappe d'armatures de la première face ;
 - b. Pose des raidisseurs ;
 - c. Pose des renforts de ferrailage de la première face et des ancrs de levage ;
 - d. Pose de la nappe d'armatures située dans le vide du panneau et de ses renforts éventuels.
7. Contrôle de la conformité aux plans de coffrage/ferrailage de la 1ère face et du noyau à couler sur chantier ;
8. Coulage du béton de la 1ère face par l'utilisation d'une benne distributrice à vidage pondéral ;
9. Vibration globale du plateau par secouage ;
10. Mise en place des panneaux d'isolant pré-perçés et des connecteurs composites. Les panneaux d'isolant sont séparés de la nappe d'armatures située dans le vide du « Duomur Isolant » et maintenus en position par des cales d'enrobage de hauteur adaptée. Après fabrication ces cales d'enrobage sont laissées en place et seront perdues dans le béton de remplissage ;

Figure 10 – Cale d'enrobage contre l'isolant



11. Nouvelle vibration globale par secouage ;
12. Stockage automatique du plateau dans une chambre de durcissement par auto-étuvage pour une durée de 17 heures. ;
13. Après séchage de la première face, le lendemain ou dix-sept 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 ;
14. Mise en place des cales d'enrobage des armatures en treillis soudé ou des treillis reconstitués par barres de la deuxième face ;
15. Mise en place des armatures treillis soudés ou treillis reconstitués par barres pour la paroi extérieure ;
16. Contrôle de conformité aux plans de coffrage / ferrailage de la paroi extérieure ;
17. Coulage du béton de la paroi extérieure par l'utilisation d'une borne distributrice à vidage pondéral ;
18. 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 ;
19. L'ensemble plateau/plaque/ferrailage/isolant est retourné à 180° et descendu dans le béton frais de la paroi extérieure. Les deux plateaux sont maintenus et centrés l'un au-dessus de l'autre par des écarteurs correspondants à l'épaisseur du mur ;
20. Vibration de l'ensemble par secouage de manière à bien enrober les armatures et les connecteurs dans le béton de la deuxième face et bien calibrer son épaisseur ;
21. Déclavetage et enlèvement du plateau de la première face ;
22. Vérification de l'épaisseur du produit fini et de l'alignement des deux plaques ;
23. Marquage d'identification et repérage ;
24. Stockage automatique dans la chambre de durcissement pour une durée de 17 heures ;
25. Le décoffrage du panneau « Duomur Isolant » est réalisé horizontalement avec un pont roulant ou verticalement à partir de tables basculantes.

Le stockage est réalisé sur palette sur le parc avant livraison ou dans des râteliers de stockage verticaux. Dans le cas de stockage à plat, l'empilage comporte au maximum 3 panneaux.

2.7.2. Tolérances dimensionnelles standards

Les tolérances dimensionnelles maximales des « Duomur Isolant » sont conformes à la norme NF EN 14992 et au référentiel de certification NF 548.

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

2.7.3. 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, $f_{ck,p}$;
- Epaisseur des parois, b_1 et b_2 ;
- Enrobages des armatures (± 3 mm) ;
- Ancrage des connecteurs de 50 mm nominal (40 mm minimal).

2.7.4. Contrôle sur les ancrs de manutention

Ancres SEAC V1 et V2 :

Contrôle dimensionnel des ancrs.

Contrôle de l'assemblage par soudure suivant la norme EN ISO 15613.

Ancres ECA-LIFT (synthèse de contrôles réalisés par ECONAC):

- Contrôle des certificats matériaux « acier »
- Contrôle hebdomadaire de la résistance à la compression de la barre
- Contrôle dimensionnel des ancrs

- Vérification de la fixation du bouchon plastique du câble à la barre en fibre de verre.

2.7.5. Contrôle du béton

Les bétons utilisés pour la réalisation des parois préfabriquées des « Duomur Isolant » sont fabriqués dans les centrales des sites de production. Leurs formulations sont établies par l'ingénieur responsable de la production.

Le béton des parois préfabriquées fait l'objet d'un autocontrôle régulier en laboratoire interne conformément à la norme NF EN 206+A2/CN et aux normes de contrôles auxquelles elle fait référence.

2.7.6. Contrôle en cours de fabrication

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

- Avant bétonnage de la première paroi : contrôle visuel de la conformité du coffrage/ferraillage du panneau, des inserts et réservations ;
- Après bétonnage de la 1ère paroi et mise en place de l'isolant : contrôle des connecteurs (position, verticalité, enfoncement) et de celle de l'isolant (hauteur, jointoiment et alignement) ;
- Après assemblage des deux parois : contrôle de l'épaisseur du mur fini et de l'alignement des deux parois ;
- Contrôle visuel des parois sur les produits finis.

Pour les connecteurs, la longueur d'ancrage dans le béton (mesurée perpendiculairement au nu de la paroi) sera de :

- 50 mm nominale pour les connecteurs droits, tolérance +/- 3 mm ;
- 38 mm minimum pour les connecteurs à 45° ;
- Position en plan : +/- 50 mm par rapport aux positions théoriques ;
- Nombre : à vérifier par rapport au plan de fabrication ;
- Tolérance sur l'inclinaison par rapport à la valeur théorique : 90° +/-10° pour les TM90 et 45° +/-5° pour les TM45.

Ecarteurs :

- Spécifications du référentiel de certification NF 548.

Isolant :

- Spécifications du référentiel de certification NF 548.

2.8. Mention des justificatifs

2.8.1. Résultats expérimentaux

- Fire performance evaluation of a composite concrete wall assembly tested in accordance with NFPA 285, 2006 edition, standard fire test method for evaluation of fire propagation characteristics of exterior non-load-bearing wall assemblies containing combustible components.
- Essai de comportement au feu d'un mur composite type « panneau sandwich » selon la méthode d'essai NFPA 285, édition 2006 « Méthode d'évaluation de la propagation du feu pour des assemblages de murs à lame extérieure non structurelle et incluant un matériau combustible ».
- The Fire Resistance Performance Of Composite Concrete Assembly When Tested In Accordance With BS EN 1364-1: 1999.
- Essai de résistance au feu de murs sandwich en béton d'après la norme BS EN 1364-1 : 1999.
- Comportement au feu des panneaux sandwichs pour façade écran thermique. Etude CERIB référence DT/DPS/2008/002.
- Rapports d'essai N° EEM 06 26005531 Concernant le procédé THERMOMASS pour panneaux muraux en béton. Essai de chargement effectué par le CSTB.
- THERMOMASS Connector System for Concrete Sandwich Walls – 31 January 2001 – Composites Technologies Corporation.
- Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL15-162_V2.
- Rapport d'essai 2014 CERIB 263.
- Essais de levage pour ancrages ECA-LIFT intégrées dans les MCI du 12/05/22 au 01/07/22 établi par le CERIB sur le site de fabrication des murs (rapports n° 037662 et 038242).
- Essais de cisaillement sur l'élément en compression des ancrages ECALIFT, V1.0 du 08/03/23, du 08/03/23 établi par le Laboratoire UHASSELT, en Belgique.

2.8.2. Données Environnementales¹

Le procédé « Duomur Isolant » fait l'objet de 2 fiches de Déclaration Environnementale (DE) disponible sur le site INIES :

- FDES Mur à coffrage et isolation intégrés (sans béton de remplissage, avec isolant PSE) [réf. 438.E] ;
- FDES Mur à coffrage et isolation intégrés (avec béton de remplissage, CEM III/A et isolant PSE) [réf. 437.E].

Les données issues de cette FDES ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être est intégrés.

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

2.8.3. Références chantiers

A ce jour, il a été fabriqué plus de 100 000 m² de « Duomur Isolant ».

Figure 51 Références « Duomur Isolant »

Type	Lieu	Surface/quantité	Type de produit	Bureau de contrôle	Année
Logements - 6 bâtiments de R+4 à R+8	Square Maimat - 31600 Muret	5 680 m ²	« Duomur Isolant » ép 40 cm / Isolant graphité ép. 16 cm.	Bureau Véritas	Juin 2014
Local commercial	Quartier Purpan - 31000 Toulouse	1 200 m ²	« Duomur Isolant » ép 36 cm / Isolant graphité ép. 10 cm.	Bureau Véritas	2013
Centre éducatif fermé	St Pierre du Mont	865 m ²	« Duomur Isolant » ép 40 cm / Isolant graphité ép. 10 cm.	SOCOTEC	2013
Groupe scolaire et gymnase	Colomiersq (31)	1 600 m ²	« Duomur Isolant » ép 40 cm / Isolant graphité ép. 18 cm.	Bureau Véritas	2013
Coeur de BERSOL	PESSAC (33)	3 600 m ²	« Duomur Isolant » ép 36 cm / Isolant graphité ép. 12 cm.	Bureau Véritas	2018
Centre de Préarchivage Judiciaire	COUTRAS (33)	1 600 m ²	« Duomur Isolant » ép 40 cm / Isolant graphité ép. 12cm.	ANCO ATLANTIQUE	2019
Collège de VERDUN/Garonne	VERDUN SUR GARONNE (82)	2 000 m ²	« Duomur Isolant » et « Duomur Isolant matricé » ép 36 cm / Isolant graphité ép. 14 cm.	APAVE	2019
ASComplexe Multisports	Saint-Martin de Crau (13)	5 00 m ²	« Duomur Isolant » ép 36 cm / Isolant polyuréthane ép. 10 cm.	Bureau Véritas	2019
RESERVE A FRICAINE DE SIGEAN, SIGEAN	15b Rue du Peyrou, SIGEAN	350 m ²	« Duomur isolant » ép 36cm / Isolant graphité ép. 10cm.	SOCOTEC, NARBONNE	2022
EXTENSION D'UN BATIMENT DE STOCKAGE	LIBOURNE	700 m ²	« Duomur isolant » ép 40cm / Isolant Polyuréthane ép. 12cm.		2022
Construction d'un complexe sportif et d'une salle multi-activité	LA TOUR DE Crieu (09)	400 m ²	« Duomur isolant » ép 30cm / Isolant Polyuréthane ép. 8cm.	BUREAU VERITAS	2021
RESTRUCTURATION ET EXTENSION DU GROUPE SCOLAIRE D'ATUR	Ville De Boulazac Isle Manoire (24)	1000 m ²	« Duomur isolant » ép 40cm / Isolant Polyuréthane ép. 14cm	SOCOTEC (24)	2021

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

Annexe I. Principe de vérification des liaisons entre Duomur Isolant

Les liaisons entre « Duomur Isolant » doivent être conçues de façon à ce que le monolithisme de la section soit assuré. Cette hypothèse est considérée comme vérifiée si l'inégalité suivante est réalisée :

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

Avec :

- V_{Edi} : effort tranchant sollicitant maximal à l'ELU (cf a) ci-après),
- V_{Rdi} : effort tranchant résistant au droit du joint (cf b) ci-après).

La vérification du monolithisme décrite dans cette annexe ne dispense pas de la vérification au cisaillement du mur continu équivalent (mur banché sans joint lié à la préfabrication) et de la vérification du cisaillement au droit du joint, suivant l'article 4.2.3. du DTU 23.1 et en considérant l'épaisseur du noyau seul.

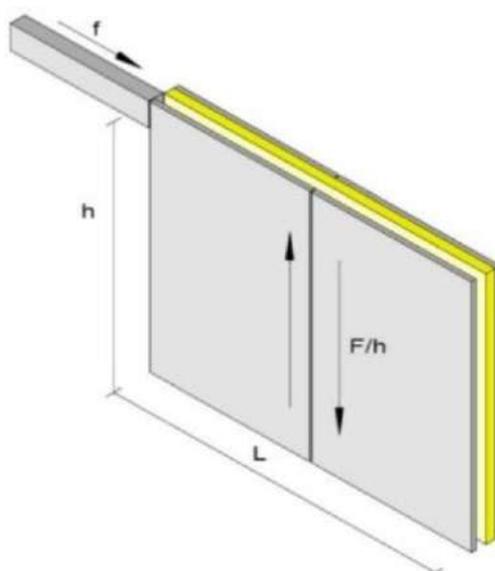
De même, la section des armatures de liaisons doit être au moins égale à la section minimale prescrite pour les éléments continus équivalents et leur longueur doit être suffisante pour assurer le recouvrement avec les armatures intégrées dans les parois coffrantes.

a) Détermination des efforts sollicitants

Contreventement

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

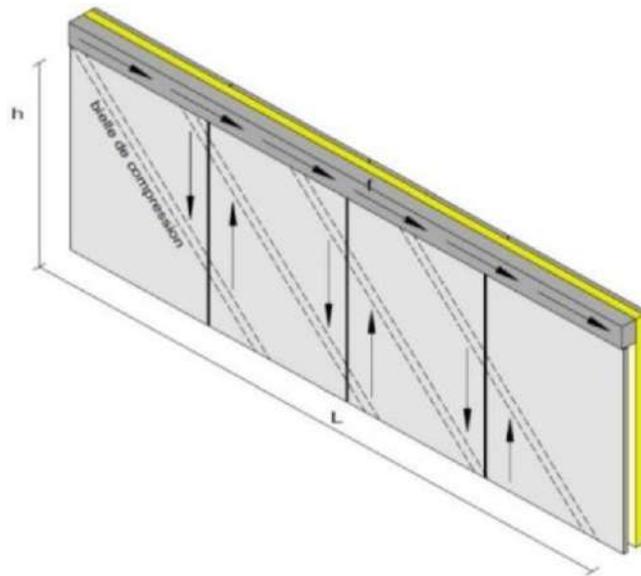
Figure 52 Effort sollicitant dans le cas d'une charge ponctuelle



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

Avec :

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

Cas 2 : reprise d'une charge linéaire horizontale sur un mur développant n bielles de compression.**Figure 53 Effort sollicitant dans le cas d'une charge linéaire horizontale**

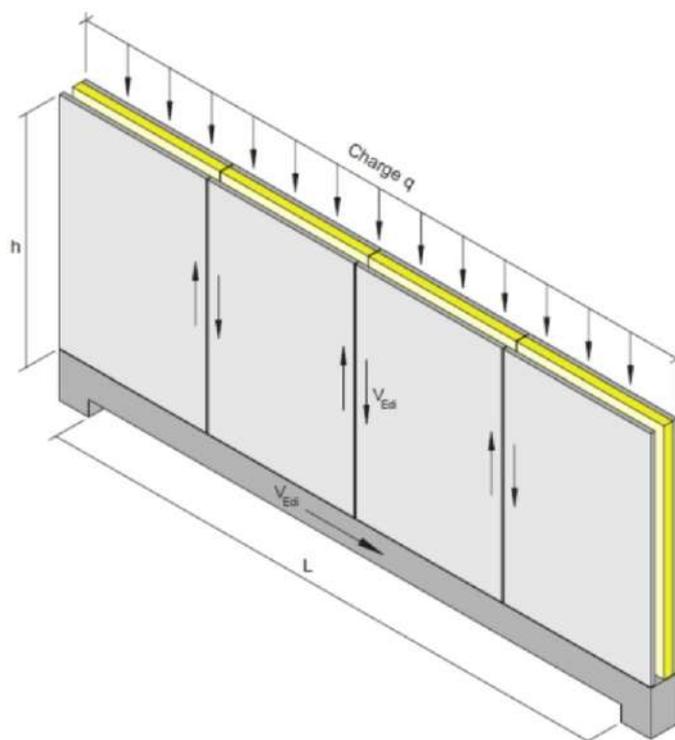
$$V_{Edi} = \frac{f \times L}{N_b \times h}$$

Avec :

- V_{Edi} : l'effort tranchant sollicitant de calcul au niveau du joint i .
- f : la charge ponctuelle horizontale sur le 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 :

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

Poutre-voile**Figure 54 Effort sollicitant dans le cas d'une poutre-voile**

$$V_{Edi} = \frac{V}{\min(h;l)} \quad \text{avec} \quad V = q \times \frac{l}{2} = V_{max}$$

b) Détermination des efforts résistants**Principe général**

Dans ce qui suit, les vérifications au cisaillement sont réalisées en considérant les hypothèses suivantes :

Dans le cas général, la valeur du cisaillement sollicitant est déterminée en considérant la valeur maximale de l'effort tranchant, indépendamment de la position du joint. En conséquence la valeur sollicitante de cisaillement au niveau des joints de poutre-voile est donc majorée (cf. Figure 57).

Les valeurs de c et μ considérées correspondent au cas d'une surface de reprise de type « lisse » au sens de la norme NF EN 1992-1-1 paragraphe 6.2.5 : $c = c_{E2-lisse}$ et $\mu = \mu_{E2-lisse}$

Nota : surface « lisse » est utilisé ici suivant la définition de l'EN 1992-1-1 paragraphe 6.2.5, c'est à dire une surface réalisée à l'aide de coffrage glissant ou surface extrudée ou surface non coffrée laissée sans traitement ultérieur après vibration.

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

$$V_{Rdi} = \left[c \times \frac{f_{ctk,n}}{\gamma} \times 2x + \mu \left(\sigma_n + \rho \times \frac{f_e}{\gamma_s} \right) \times 2x \right] \times 1$$

Avec :

- ρ : pourcentage d'armature traversant l'interface paroi préfabriquée/béton coulé en place sur la distance^x :

$$\rho = \frac{A_{cout}}{x}$$
- σ_n : contrainte normale à l'interface qui résulte d'un effort extérieur s'équilibrant extérieurement au voile dont on vérifie le cisaillement ;
- x : distance de l'about d'armature à l'axe du joint.

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

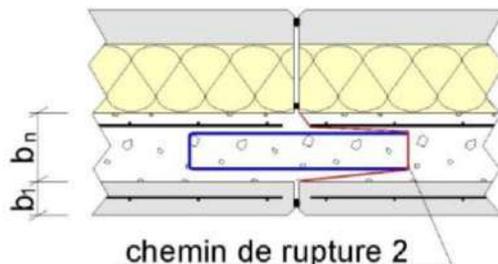
Les coefficients^c et^μ définis tels que ci-dessous :

Tableau 2 : Valeur des coefficients c et μ

ELU	Fondamental	Accidentel
c	0,20	0,10
μ	0,6	0,6

Exemples de liaison :

Cas de la liaison sans couture aux abouts (**cas incompatible avec une utilisation en poutre voile**) :

Figure 55 : Liaison sans coutures aux abouts

$$V_{Rdi} = \left[c \times \frac{f_{ctk,n}}{\gamma_c} \times 2x + \mu \times \sigma_n \times 2x \right] \times 1$$

Par exemple pour :

$$f_{ctk,n} = 2.60 \text{ Mpa}$$

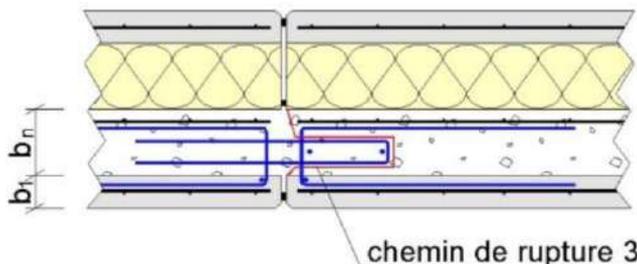
$$x = 25 \text{ cm}$$

$$\sigma_n = 0$$

On obtient : ELU fondamentale $V_{Rdi} = 108 \text{ kN/ml}$

ELU accidentelle $V_{Rdi} = 81 \text{ kN/ml}$

Cas de la liaison avec coutures aux abouts

Figure 56 : Liaison avec coutures aux abouts

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

Par exemple pour :

$$f_{ctk,n} = 2,60 \text{ Mpa}$$

$$x = 25\text{cm}$$

$$\rho = 0,101 \% (\phi 8 \text{ espacement } 20 \text{ cm})$$

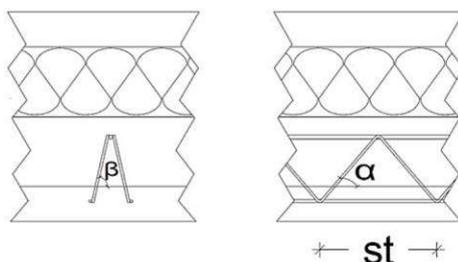
$$\sigma_n = 0$$

On obtient : ELU fondamentale $V_{Rdi} = 250 \text{ kN/ml}$

ELU accidentelle $V_{Rdi} = 219 \text{ kN/ml}$

Annexe II. Exemple de calcul de ρ_α

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire, type Treillis Warren

Figure 57 : Géométrie des raidisseurs type treillis Warren

$$\rho_\alpha = \rho_\alpha = \frac{2 \times A_d \times \sin \beta}{st \times e}$$

Avec :

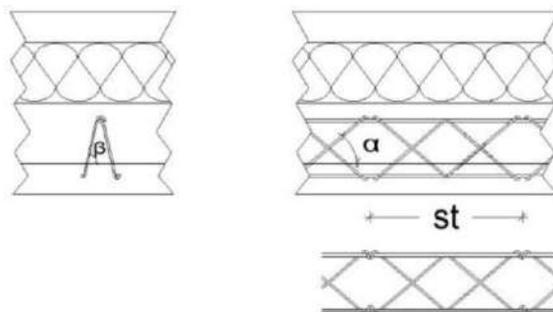
- A_d : section d'une diagonale (m²)
- e : espacement des raidisseurs (m)
- st : pas de sinusoïde (m)
- β : inclinaison des diagonales dans le plan transversal

Par exemple pour :

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

On obtient $\rho_\alpha = 0,0326$ %

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire avec double sinusoïde

Figure 58 : Géométrie des raidisseurs double sinusoïde

$$\rho_\alpha = \frac{2 \times A_d \times \sin \beta}{st \times e}$$

avec :

- A_d : section d'une diagonale (m²)
- e : espacement des raidisseurs (m)
- st : pas de sinusoïde (m)
- β : inclinaison des diagonales dans le plan transversal

Par exemple pour :

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

On obtient $\rho_\alpha = 0,0313$ %

Annexe III. Exemple de calcul de

Aux articles 2.3.4.1.2.3 et 2.3.4.1.3.1, il est admis que le cisaillement admissible τ_{Rd} à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place est donné par l'expression :

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

avec :

- $f_{cd,n}$: valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage $\left(\frac{\alpha_{cc} \times f_{ck,n}}{\gamma_c} \right)$
- $f_{ctd,n}$: valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage $\left(\frac{\alpha_{ct} \times f_{ctk,n}}{\gamma_c} \right)$
- $f_t = \min \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \frac{R}{A_d \times \gamma_s} \right)$
- f_{yk} = limite caractéristique d'élasticité des aciers
- R : résistance des soudures
- A_d = section d'une diagonale du raidisseur treillis
- $v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250} \right)$
- c tel que :
 - Cas des charges à caractère principalement statiques : $c = 0,35/2$
 - Cas des charges dynamiques ou de fatigue : $c = 0,35/4$
- $\mu = 0,6$
- α et α' : inclinaisons des diagonales dans le plan longitudinal
- ρ_a et ρ_a' : 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 II,

Ainsi par exemple

- Pour un béton de remplissage tel que $f_{ck,n} = 25$ MPa, $f_{cd,n} = 16,7$ MPa et $f_{ctd,n} = 1,20$ MPa
- Pour des raidisseurs de section triangulaire, type treillis Warren, espacés de 60 cm, avec $f_{yk} = 500$ MPa, $R = 980$ daN dont les caractéristiques géométriques sont les suivantes : $\emptyset_{diagonales} = 5$ mm, pas de la sinusoïde = 20 cm, $\alpha = 56^\circ$, $\alpha' = 180 - 56 = 124^\circ$ et $\beta = 86^\circ$
- Le pourcentage d'armatures transversales est calculé comme présenté dans l'Annexe II et on obtient $\rho_a = \rho_a' =$

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

0,0326 %. De plus,

On en déduit la valeur de v_{Rdi} :

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

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

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

On a donc :

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

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

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

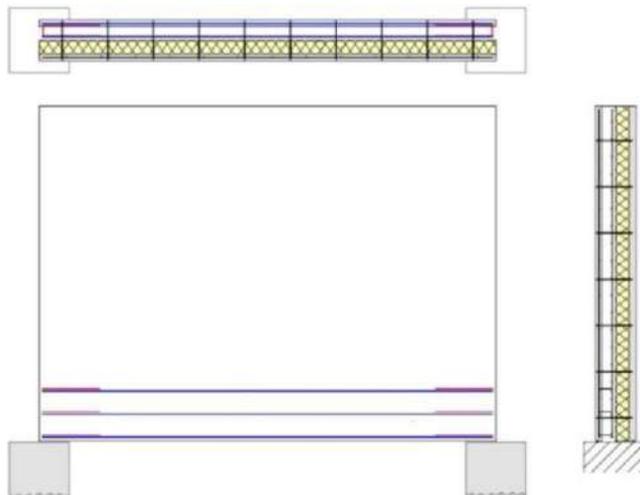
Annexe IV. Schéma de principe de réalisation des liaisons entre poutres-voiles en « Duomur Isolant »

Note : il est rappelé que toutes les liaisons avec des poutres voiles doivent être couturées, qu'elles soient verticales ou horizontales, notamment au niveau des planchers.

Cas 1 - Poutre voile réalisée en un seul tenant, avec intégration complète du tirant dans le « Duomur Isolant ».

- 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

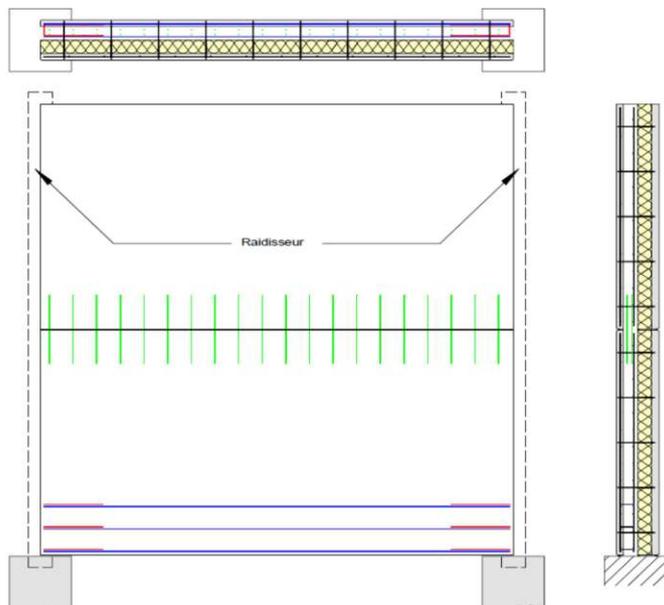
Figure 59 : Poutre voile d'un seul tenant



Cas 2- Poutre voile réalisée en plusieurs « Duomur Isolant » superposés.

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

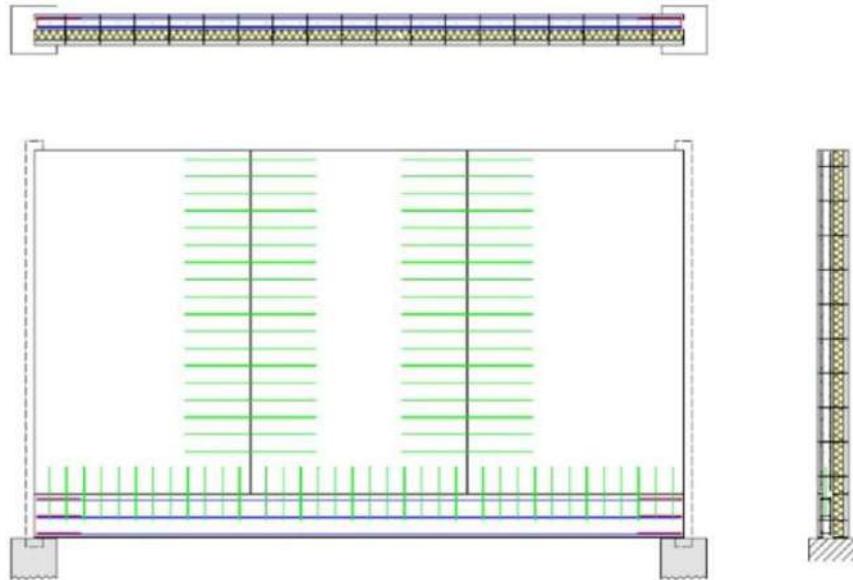
Figure 60 : Poutre voile réalisé en plusieurs « Duomur Isolant » superposés



Cas 3- Poutre voile en plusieurs parties (hors zone nécessitant des dispositions sismiques)

- La zone du tirant est réalisée de manière traditionnelle ou à l'aide d'une pièce préfabriquée, la zone supérieure est constituée de « Duomur Isolant ».
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis parmi les liaisons couturées en fonction de l'effort à reprendre.

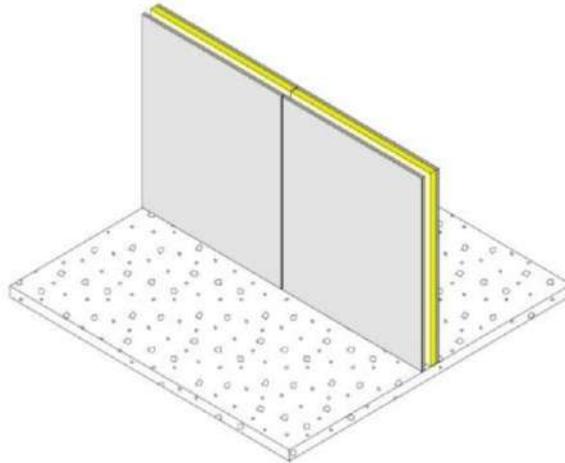
Figure 61 : Poutre voile en plusieurs parties



Cas 4 - Poutre voile retenant la dalle inférieure.

- Le tirant de la poutre voile est disposé dans l'épaisseur de la dalle ou dans la partie inférieure du « Duomur Isolant » (voir Figure 135).
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis parmi les liaisons couturées en fonction de l'effort à reprendre

Figure 62 : Poutre voile retenant la dalle inférieure



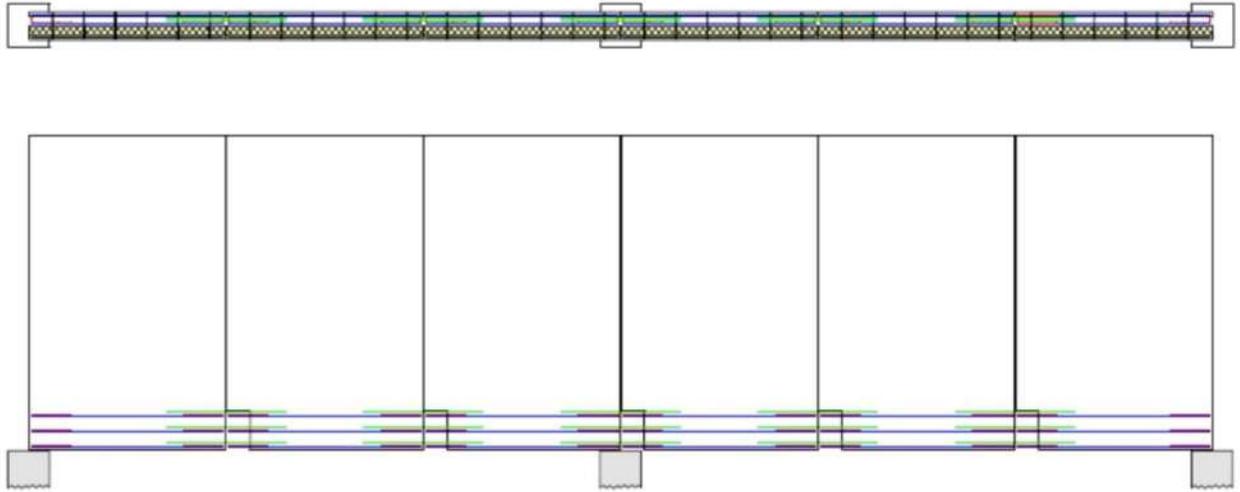
Cas 5

- Poutre voile réalisée entièrement en « Duomur Isolant » avec continuité sur une ou plusieurs travées
- Les tirants de la poutre voile 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 parmi les liaisons couturées en fonction de l'effort à reprendre.

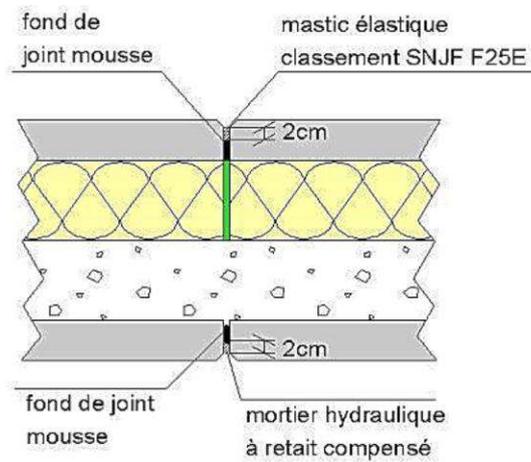
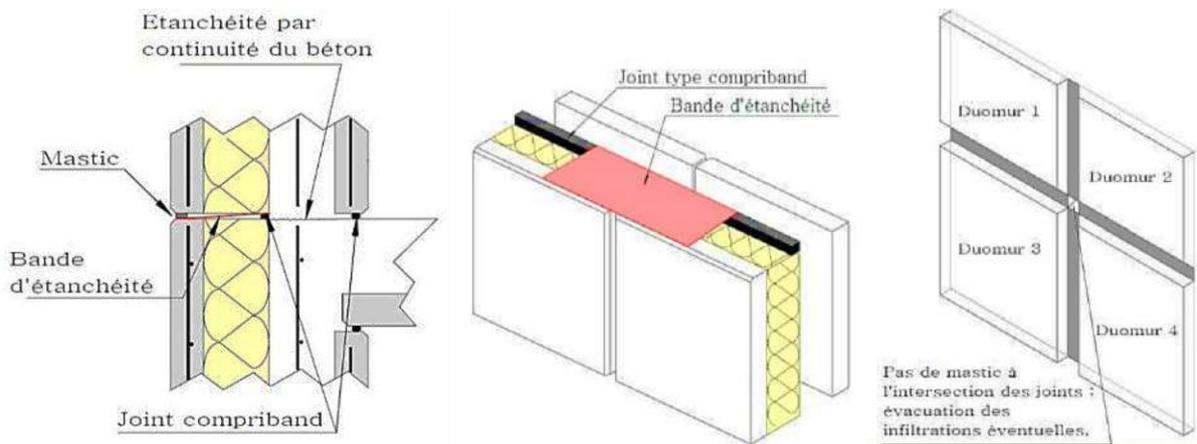
Variante :

- Le tirant supérieur peut être disposé entièrement dans la partie coulée en place (dalle,...)
- Le tirant inférieur peut être disposé dans un élément préfabriqué ou dans une dalle (se rapprochant des cas 3 et cas 4).

Figure 63 : Poutre voile en continuité sur une ou plusieurs travées



Annexe V. Traitement des joints

Figure 64 : Traitement des joints entre « Duomur Isolant »**Intersection de joint :****Figure 65 : Traitement du joint à l'intersection des joints horizontaux et verticaux**

Annexe VI. Traitement des pieds et tête de « Duomur Isolant »

Figure 66 : Tête de « Duomur Isolant »

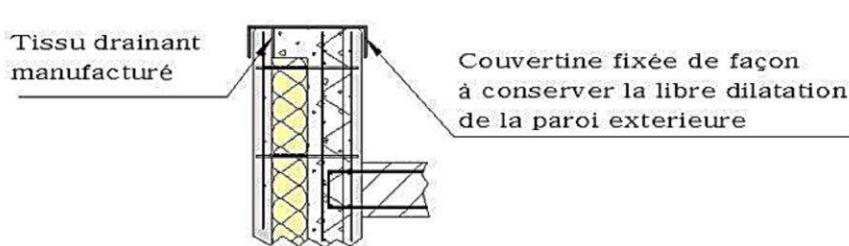


Figure 67 : Pied de mur protégé par système anti-rongeur

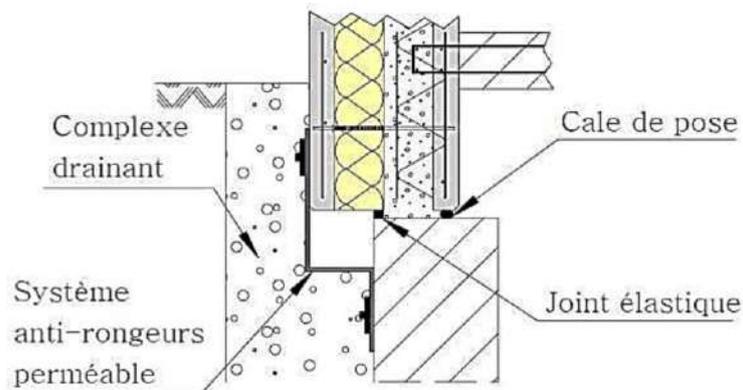


Figure 68 : Pied de murs protégé par le béton de remplissage

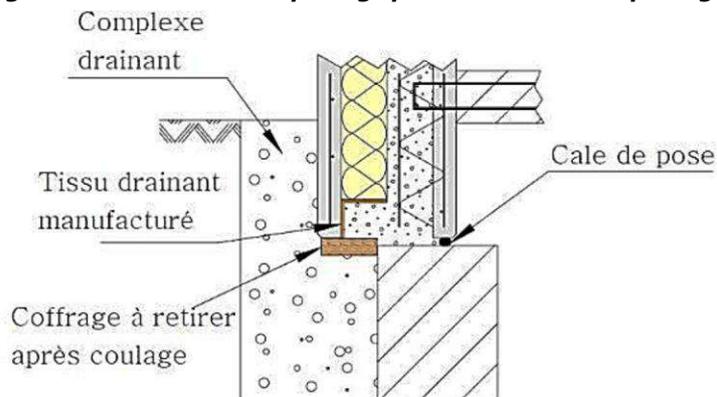


Figure 69 : Détail sur tissu drainant manufacturé



Annexe VII. Détail de liaisons des « Duomur Isolant »

Dispositions constructives générales

1. Vue générale d'un « Duomur Isolant »
2. Principe de ferrailage des « Duomur Isolant »
3. Douilles d'étalement
4. Réalisation de poteaux incorporés au « Duomur Isolant »
5. Principe de ferrailage des poutres ou des longrines réalisées à partir de « Duomur Isolant »
6. Principe de ferrailage des poteaux réalisés à partir de « Duomur Isolant »

Liaisons en pied de « Duomur Isolant »

7. Joint en pied articulé
8. Joint en pied encastré : mise en place du « Duomur Isolant » après mise en œuvre du support
9. Joint en pied encastré : mise en place du « Duomur Isolant » avant mise en œuvre du support ou du plancher bas

Liaison « Duomur Isolant » – plancher

10. 10 Solutions articulées
11. 11 Solution encastrées
12. 12 Solution dalles alvéolées avec repos d'appui

Liaisons verticales droites entre « Duomur Isolant »

13. Solutions articulées
14. Solutions encastrées

Livraisons verticales d'angle entre « Duomur Isolant »

15. Solutions articulées avec chaînage 1 ou 2 filants
16. Solutions articulées avec chaînage 4 filants
17. Solutions encastrées

Liaisons verticales avec refend

18. Solutions articulées avec chaînage 1 ou 2 filants
19. Solutions articulées avec chaînage 4 filants
20. Solutions encastrées

Liaisons horizontales entre « Duomur Isolant »

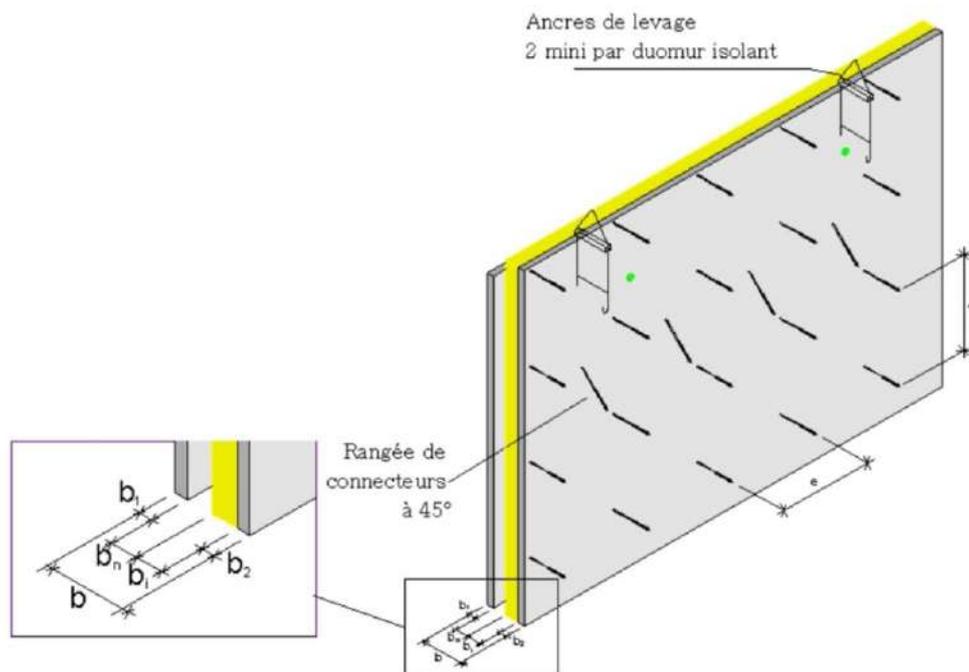
21. Solutions articulées
22. Solutions encastrées

Réalisation de poutre voile à l'aide de « Duomur Isolant »

23. Poutre voile sans plancher inférieur suspendu
24. Poutre voile avec plancher inférieur suspendu

1. Vue générale d'un « Duomur Isolant »

Figure 70 : Vue générale d'un « Duomur Isolant »



e : espacement des connecteurs ≤ 50 cm

b : épaisseur totale du « Duomur Isolant »

b_1 : épaisseur paroi structurelle

b_n : épaisseur noyau coulé en place

b_i : épaisseur de l'isolant

b_2 : épaisseur de la paroi extérieure

L'épaisseur de la paroi intérieure ajoutée à celle du noyau de remplissage ($b_1 + b_n$) doit permettre de respecter les prescriptions du CPT MCI sur les enrobages.

Les figures ci-après sont données à titre d'illustration et ne permettent pas de s'affranchir de la vérification des critères d'enrobage des armatures prévus dans le CPT MCI.

2. Principe de ferrillage des « Duomur Isolant »

Figure 71 : Aciers longitudinaux en 1er lit

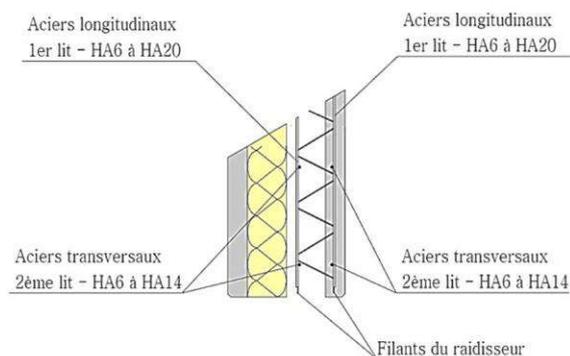
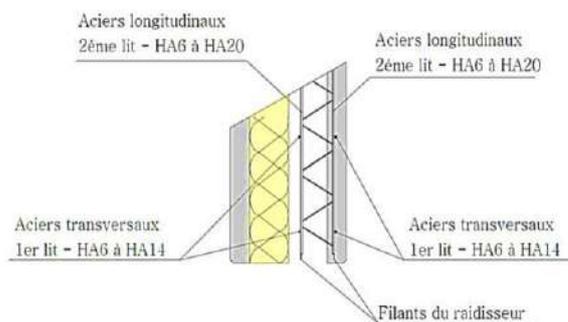
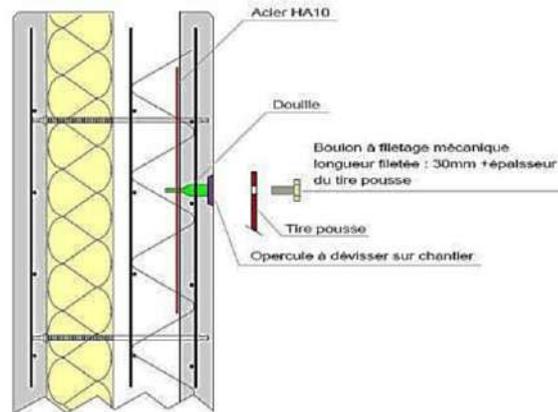


Figure 72 : Aciers transversaux en 1er lit



3. Douilles d'étaie

Figure 73 : Détail sur douille d'étaie



4. Réalisation de poteaux incorporés au « Duomur Isolant »

Figure 74 : Poteau intégré au « Duomur Isolant »

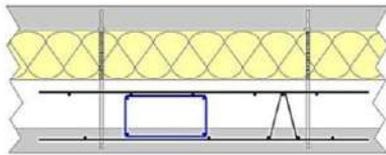


Figure 75 : Poteau mis en œuvre dans l'épaisseur du noyau coulé en place

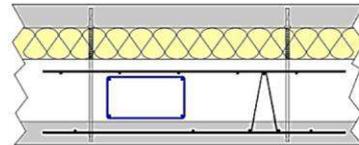


Figure 76 : Poteau coulé en place au droit d'un joint vertical – Coffrage d'une face

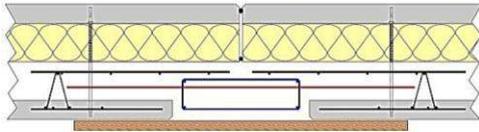


Figure 77 : Poteau excentré coulé en place

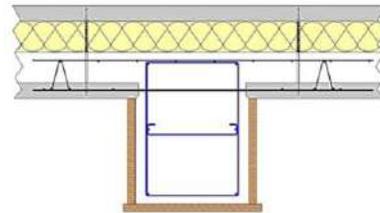


Figure 78 : Poteau intégré au « Duomur Isolant » avec coffrage d'une face sur chantier

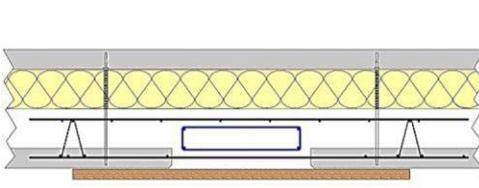
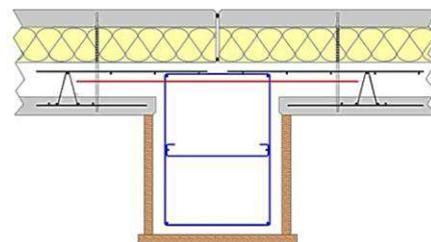
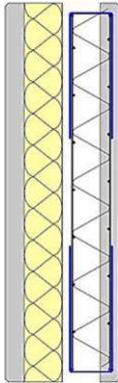


Figure 79 : Poteau excentré coulé en place au droit 'un joint vertical



5. Principe de ferrailage des poutres ou des longrines réalisées à partir de « Duomur Isolant »

**Figure 80 : $h > 80$ cm :
raidisseurs verticaux**



**Figure 81 : $h \leq 80$ cm :
raidisseurs horizontaux**

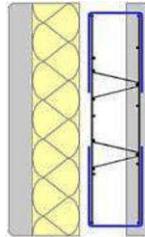
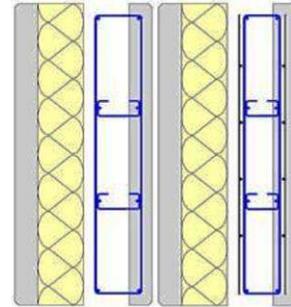


Figure 82 : Cadres + épingles



6. Principe de ferrailage des poteaux réalisés à partir de « Duomur Isolant »

Figure 83 : Raidisseurs + U de fermeture

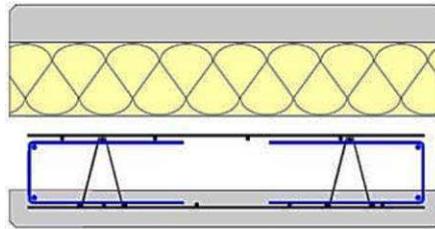
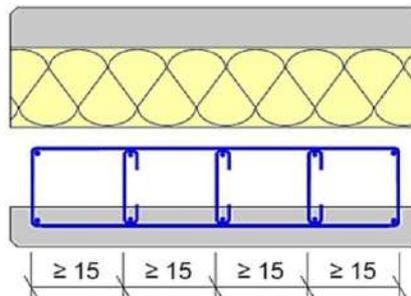


Figure 84 : Cadres + épingles



7. Joint en pied articulé

Figure 85 : 1 lit d'armatures en attente

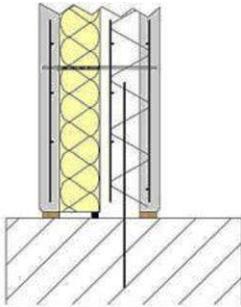


Figure 86 : 2 lits d'armatures en attente

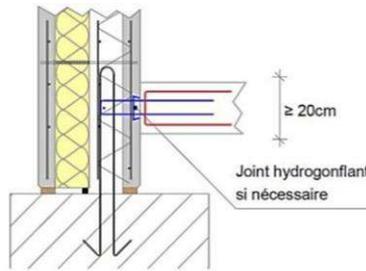
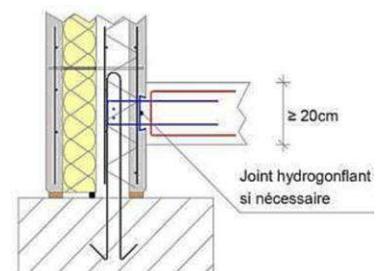


Figure 87 : Liaison couturée avec plancher bas



8. Joint en pied encastré : mise en place du « Duomur Isolant » après mise en œuvre du support

Figure 88 : Pose sur lit de mortier

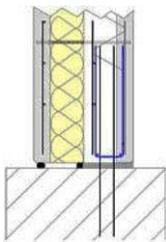


Figure 89 : Calage ≥ 30 mm

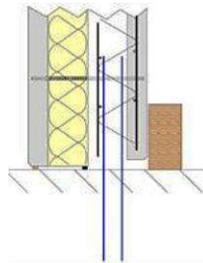
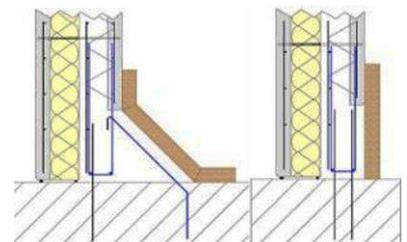


Figure 90 : Coffrage d'une face sur chantier



9. Joint en pied encastré : mise en place du « Duomur Isolant » avant mise en œuvre du support ou du plancher bas

Figure 91 : « Duomur Isolant » de rive ou semelle excentrée

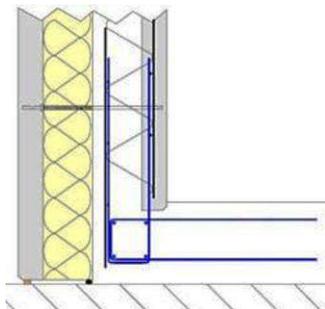
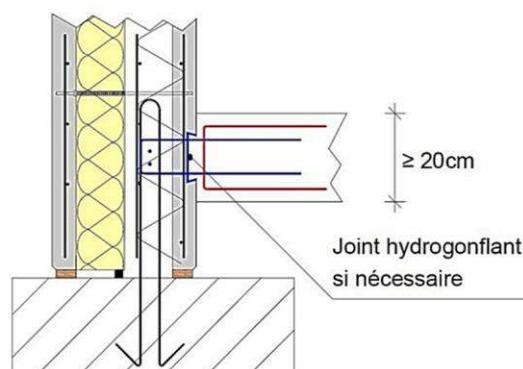


Figure 92 : Liaison encastrée avec un plancher bas



10. Solutions articulées

Figure 93 : Appui de rive avec ou sans niveau supérieur

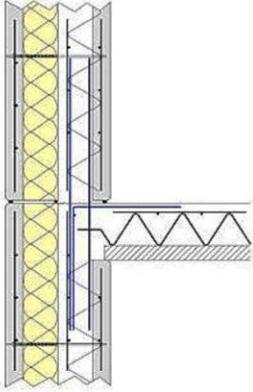


Figure 94 : Plancher suspendu avec boîte d'attente. Celles-ci doivent respecter les dispositions du NF DTU 23.4

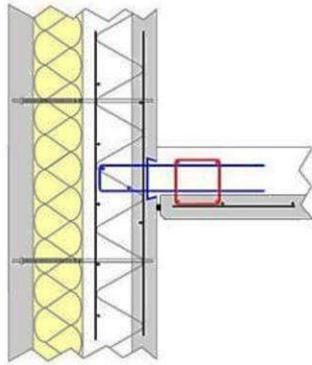
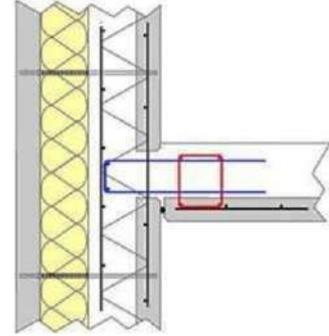
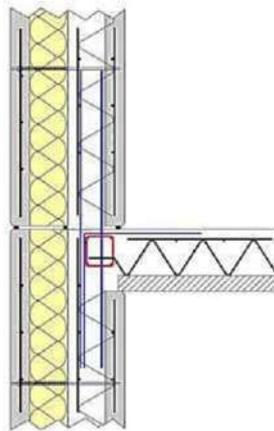


Figure 95 : Plancher suspendu avec attentes mises sur chantier

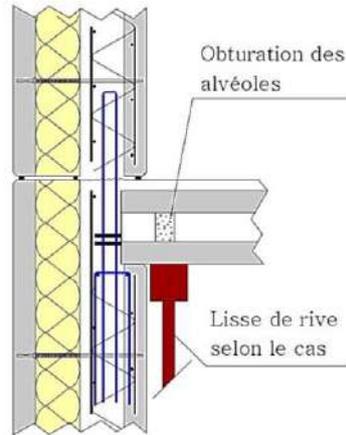


11. Solutions encastées

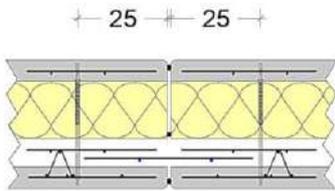
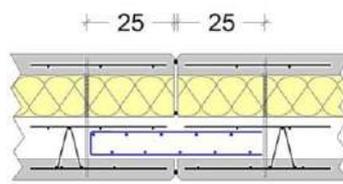
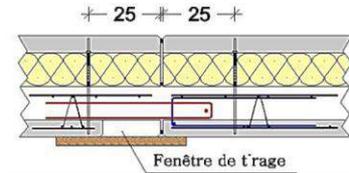
Figure 96 : Appui de rive



12. Solution dalles alvéolées avec repos d'appui

Figure 97 : Dalle alvéolaire en appui de rive avec ou sans niveau supérieur

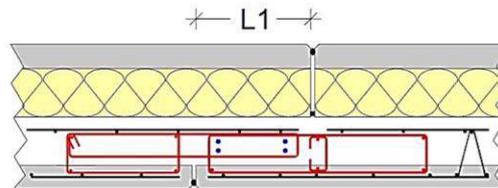
13. Solutions articulées

Figure 98 : 1 lit d'armatures de liaison**Figure 99 : 2 lits d'armatures****Figure 100 : Liaison couturée**

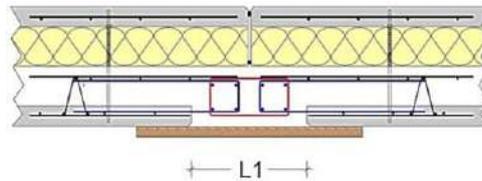
14. Solutions encastées

Figure 101 : « Duomur Isolant » posé avant réalisation du support

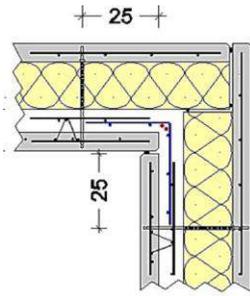
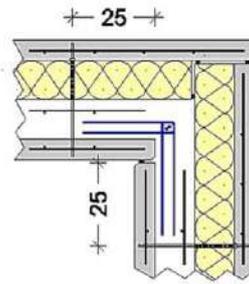
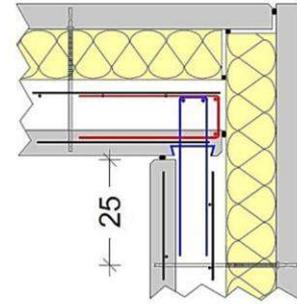
$$L1 = 16 \varnothing + 7 \text{ cm}$$

**Figure 102 : Coffrage d'une face sur chantier solution avec ou sans aciers en attente**

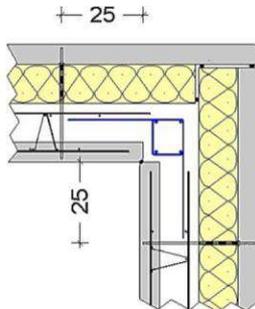
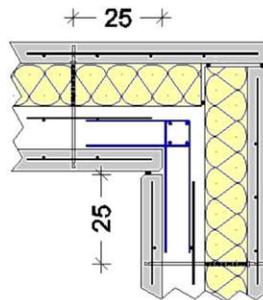
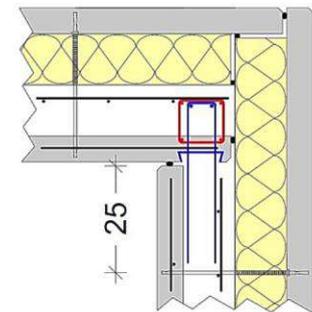
$$L1 = 32 \varnothing + 7 + 5 \text{ cm}$$



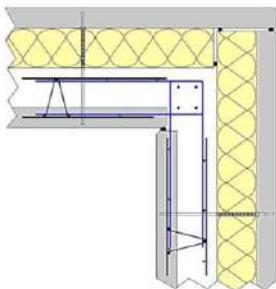
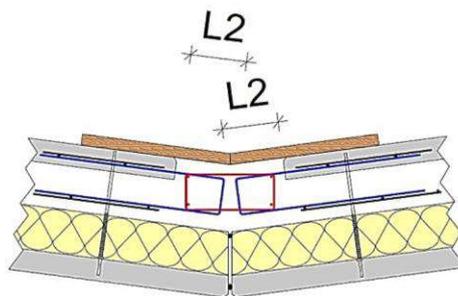
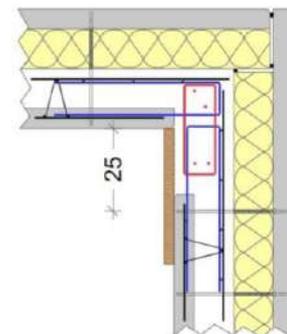
15. Solutions articulées avec chaînage 1 ou 2 filants

Figure 103 : 1 lit d'armatures de liaison**Figure 104 : 2 lits d'armatures de liaison****Figure 105 : Liaison par boîte d'attente**

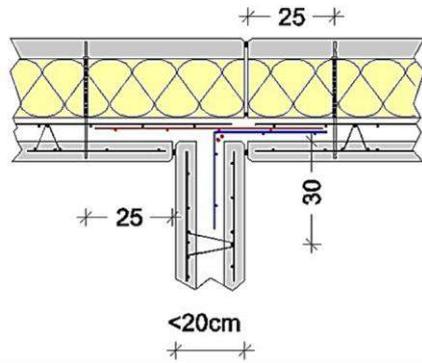
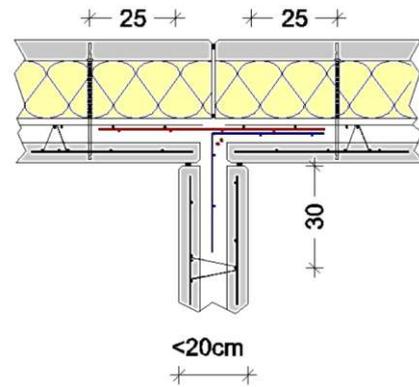
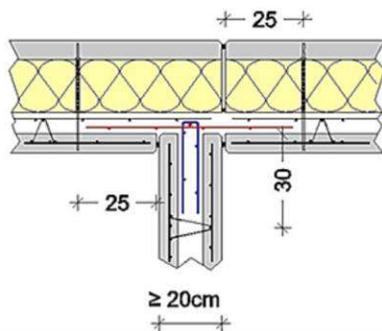
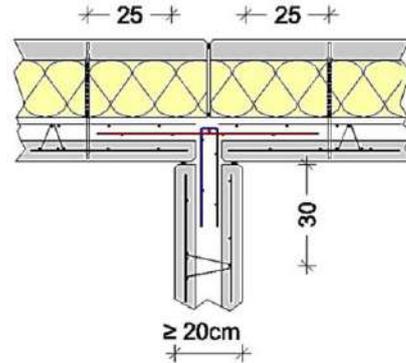
16. Solutions articulées avec chaînage 4 filants

Figure 106 : 1 lit d'armatures, parois intérieures décroisées**Figure 107 : 2 lits d'armatures, parois intérieures croisées****Figure 108 : Liaison par boîte d'attente**

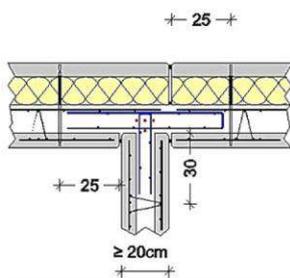
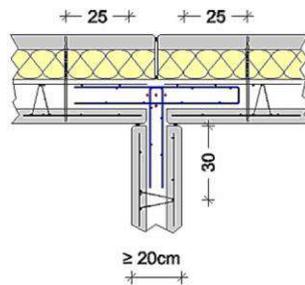
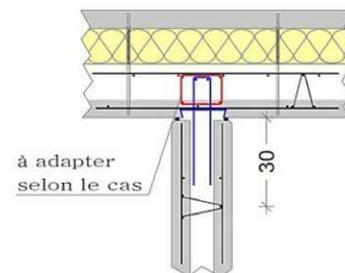
17. Solutions encastées

Figure 109 : « Duomur Isolant » posé avant réalisation du support**Figure 110 : Angles > à 165°
 $L2 = 32 \varnothing + 7 \text{ cm}$** **Figure 111 : Coffrage de la face intérieure, avec ou sans aciers en attente**

18. Solutions articulées avec chaînage 1 ou 2 filants

Figure 112 : 1 + 1 lit d'armatures, parois croisées**Figure 113 : 1 + 1 lit d'armatures, parois décroisées****Figure 114 : 1 + 2 lits d'armatures, parois croisées****Figure 115 : 1 + 2 lits d'armatures, parois décroisées**

19. Solutions articulées avec chaînage 4 filants

Figure 116 : 2 + 2 lits d'armatures, parois croisées**Figure 117 : 2 + 2 lits d'armatures, parois décroisées****Figure 118 : Liaison par boîte d'attente**

20. Solutions encastées

Figure 119 : Coffrage de la face intérieure

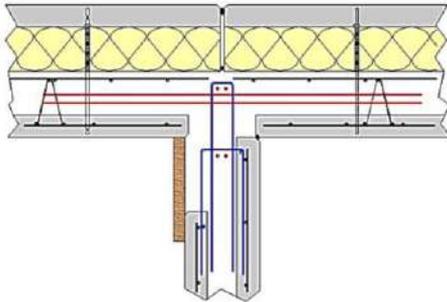


Figure 120 : Coffrage face intérieure, sollicitations importantes

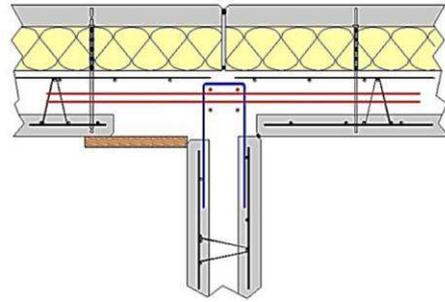


Figure 121 : Joint au droit du refend sans aciers en attente

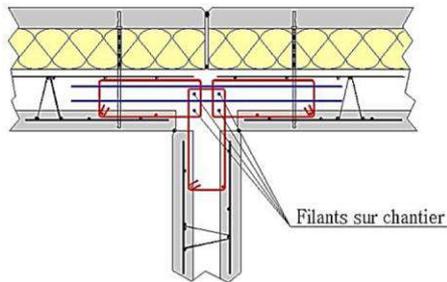
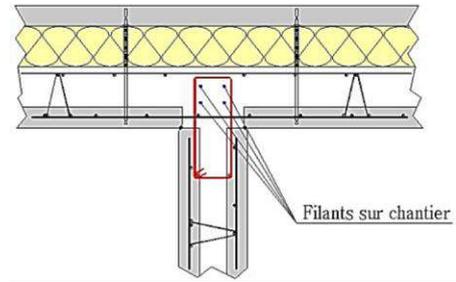


Figure 122 : Sans joint au droit du refend sans aciers en attente



21. Solutions articulées

Figure 123 : 1 lit d'armatures verticales

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

Ls : longueur de scellement

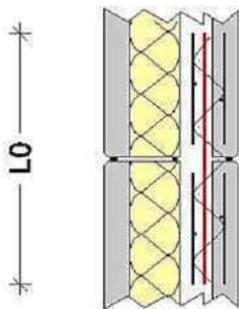
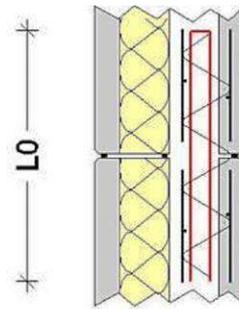


Figure 124 : 2 lits d'armatures verticales

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

Ls : longueur de scellement



22. Solutions encastrées

**Figure 125 : Jeu de pose ≥ 30 mm
 $L0 = 2ls + 15$ cm**

Ls : longueur de scellement

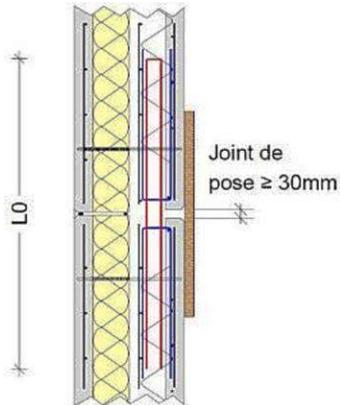


Figure 126 : Solution avec décalage de parois

$L1 = 16 \varnothing + 7$ cm

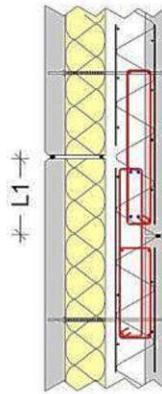
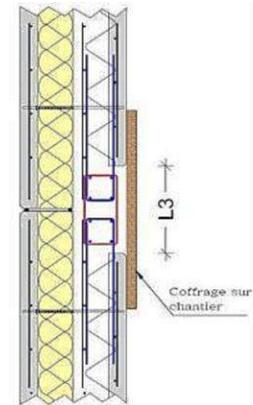


Figure 127 : Solution avec coffrage sur chantier

$L3 = 32 \varnothing + 7$ cm + 5 cm



23. Poutre voile sans plancher inférieur suspendu

Figure 128 : Tirants intégrés au « Duomur Isolant » sans joint vertical

a : tirants inférieurs

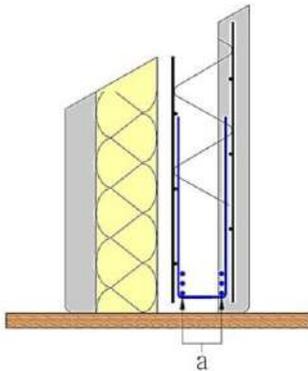


Figure 129 : Tirants intégrés au « Duomur Isolant » avec joint vertical

a : tirants inférieurs b : aciers de recouvrement

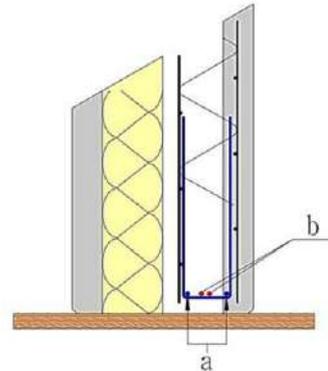
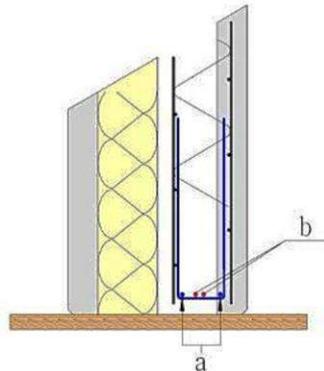
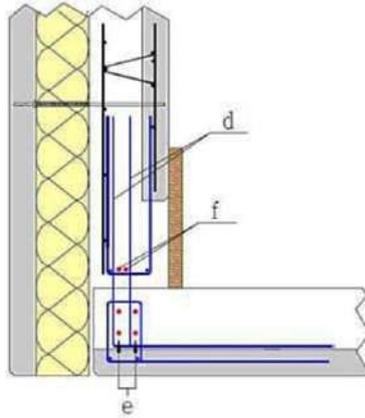


Figure 130 : Tirants inférieurs mis en place sur chantier avec ou sans joint vertical.

a et b : tirants inférieurs



24. Poutre voile avec plancher inférieur suspendu**Figure 131 : Tirants intégrés dans le plancher inférieur et le «Duomur Isolant» avec joint vertical**

d : aciers en attente
e : tirants inférieurs
f : aciers de recouvrement

Annexe VIII. Détermination de la température dans les « Duomurs Isolants » (cf. AL 15-162_V2)

Suivant hypothèses Eurocodes

Tableau 3 : Température dans les « Duomurs Isolants » pour une exposition de 60 minutes – Hypothèses de calcul Eurocodes

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30
Épaisseur du voile [cm]	12	897	785	686	524	311	189	129	103	94						
	15	897	784	685	523	308	183	120	84	63	52					
	18	897	784	685	523	308	182	118	82	58	38	33				
	20	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	28	26			
	23	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	26	23	22		
	25	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	26	23	21	21	
	30	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	26	23	21	20	20

Tableau 4 : Température dans les « Duomurs Isolants » pour une exposition de 90 minutes – Hypothèses de calcul Eurocodes

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30
Épaisseur du voile [cm]	12	971	873	783	630	415	283	205	165	154						
	15	971	871	780	626	406	267	179	132	108	95					
	18	971	871	780	625	404	264	173	123	93	67	58				
	20	971	871	780	625	404	263	172	122	91	61	46	44			
	23	971	871	780	625	404	263	171	121	90	58	40	34	31		
	25	971	871	780	625	404	263	171	121	89	58	40	32	27	26	
	30	971	871	780	625	404	263	171	121	89	58	39	32	25	23	21

Tableau 5 : Température dans les « Duomurs Isolants » pour une exposition de 120 minutes – Hypothèses de calcul Eurocodes

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30
Épaisseur du voile [cm]	12	1022	933	851	708	496	360	276	230	215						
	15	1021	931	847	700	482	337	243	183	150	138					
	18	1021	930	846	698	477	330	230	163	128	99	90				
	20	1021	930	845	698	477	328	228	159	122	88	71	67			
	23	1021	930	845	697	476	328	226	156	119	82	59	50	46		
	25	1021	930	845	697	476	328	226	156	118	80	56	46	38	36	
	30	1021	930	845	697	476	328	226	156	118	80	55	44	33	29	25

Annexe IX. Tableau des accélérations sismiques

Tableau 6 : Tableau des accélérations sismiques

Valeur de l'accélération sismique horizontale $\gamma = k \times \gamma_1 \times a_{gr} \times S$ en m/s ²					
k=5,5 (qa=1)	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone de sismicité 2	A	3,08	3,86	4,62	5,4
	B	4,16	5,2	6,24	7,28
	C	4,62	5,78	6,94	8,08
	D	4,92	6,16	7,4	8,62
	E	5,54	6,94	8,32	9,7
Zone de sismicité 3	A	4,84	6,06	7,26	8,48
	B	6,54	8,16	9,8	11,44
	C	7,26	9,08	10,9	12,7
	D	7,74	9,68	11,62	13,56
	E	8,72	10,9	13,06	15,24
Zone de sismicité 4	A	7,04	8,8	10,56	12,32
	B	9,5	11,88	14,26	16,64
	C	10,56	13,2	15,84	18,48
	D	11,26	14,08	16,9	19,72
	E	12,68	15,84	19	22,18
Zone de sismicité 5	A	13,2	16,5	19,8	23,1
	B	15,84	19,8	23,76	27,72
	C	15,18	18,98	22,78	26,56
	D	17,82	22,28	26,74	31,18
	E	18,48	23,1	27,72	32,34

accélération verticale = 0,9 x accélération horizontale (zone 5) et = 0,8 x accélération horizontale (zones 1 à 4)

Annexe X. Exemple de calcul de la densité des connecteurs TM

Exemple de densité des connecteurs TM45 et TM90 dans les conditions suivantes :

- Epaisseur de la paroi librement dilatable : 6 cm
- Epaisseur de l'isolant : 14 cm
- Jeu nominal entre voile : 2 cm
- Tolérance de fabrication : 0,5 cm
- Tolérance de pose : 0,5 cm

Tableau 7 : Exemple de densité de connecteur à TM45

Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m²]				
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment		
		II	III	IV
2	A	0,61	0,64	0,67
	B	0,66	0,70	0,74
	C	0,68	0,73	0,77
	D	0,70	0,74	0,79
	E	0,73	0,78	0,83
3	A	0,69	0,74	0,79
	B	0,77	0,83	0,90
	C	0,81	0,88	0,94
	D	0,83	0,90	0,98
	E	0,88	0,96	1,04
4	A	0,80	0,86	0,93
	B	0,91	1,00	1,09
	C	0,96	1,06	1,16
	D	1,00	1,10	1,21
	E	1,06	1,18	1,30
5	A	1,16	1,30	1,44
	B	1,30	1,47	1,64
	C	1,27	1,43	1,59
	D	1,41	1,59	1,78
	E	1,44	1,64	1,83

Tableau 8 : Exemple de densité de connecteur TM90

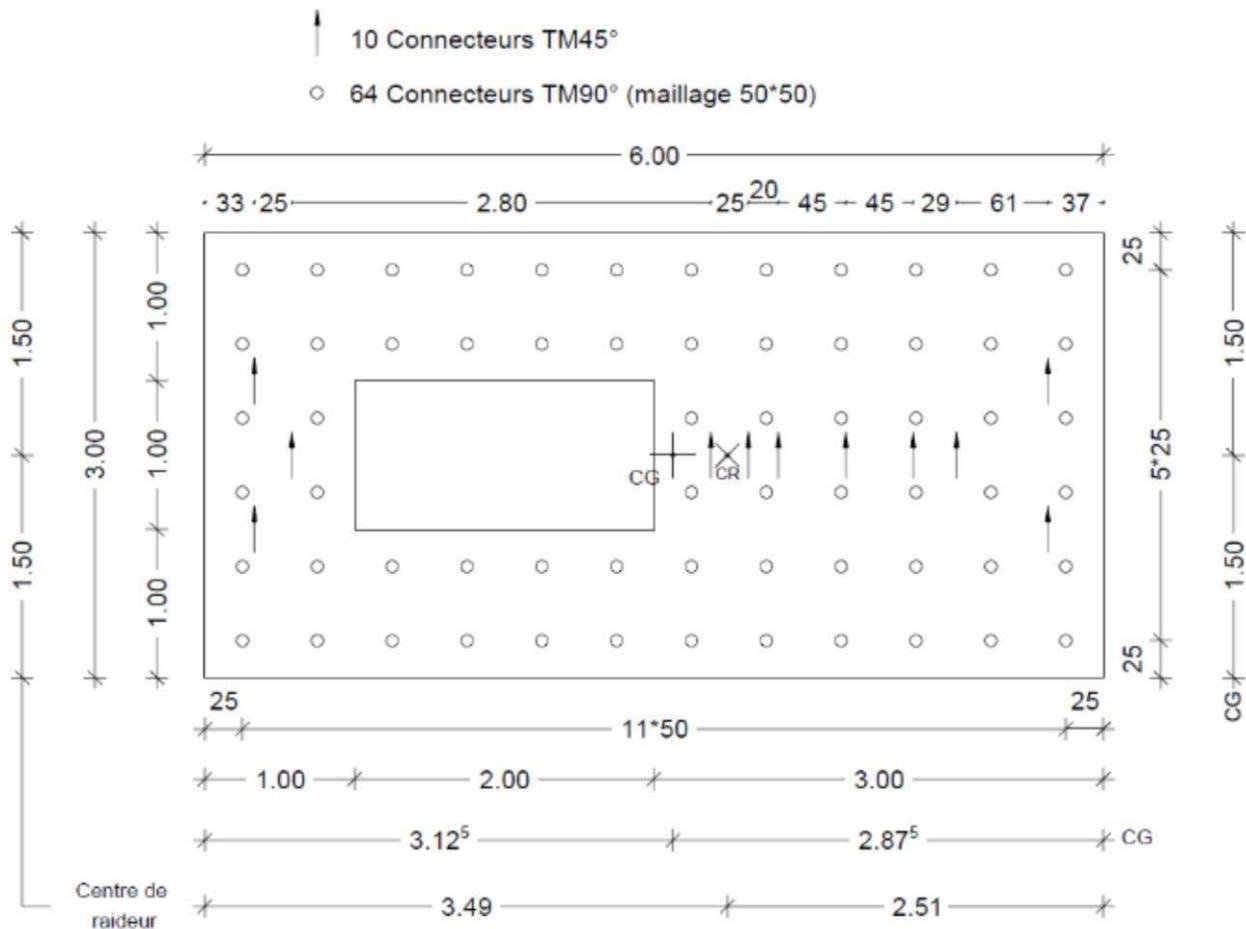
Densité minimale des connecteurs droits à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m²]				
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment		
		II	III	IV
2	A	4,06	4,85	5,67
	B	5,46	6,56	7,65
	C	6,07	7,29	8,49
	D	6,47	7,77	9,06
	E	7,29	8,74	10,19
3	A	6,37	7,63	8,91
	B	8,57	10,30	12,02
	C	9,54	11,45	13,34
	D	10,17	12,21	14,25
	E	11,45	13,72	16,01
4	A	9,24	11,09	12,94
	B	12,48	14,98	17,48
	C	13,87	16,64	19,41
	D	14,79	17,75	20,72
	E	16,64	19,96	23,30
5	A	17,33	20,80	24,27
	B	20,80	24,96	29,12
	C	19,94	23,93	27,90
	D	23,41	28,09	32,76
	E	24,27	29,12	33,97

Nota : le tableau ci-dessus affiche les densités théoriques des connecteurs droits TM 90°. Lorsque la densité des connecteurs TM 90° devient très importante (> 11 connecteur/m²), il est possible de limiter la densité des connecteurs TM 90° à 11 connecteur/m² et d'intégrer deux files (verticales) de connecteurs TM 45° orientés horizontalement respectivement vers la droite et la gauche de façon à reprendre les sollicitations sismiques horizontales quelques soit leur sens.

Annexe XI. Exemples de répartition des connecteurs

Exemple en zone sismique 1 :**Hypothèses :**

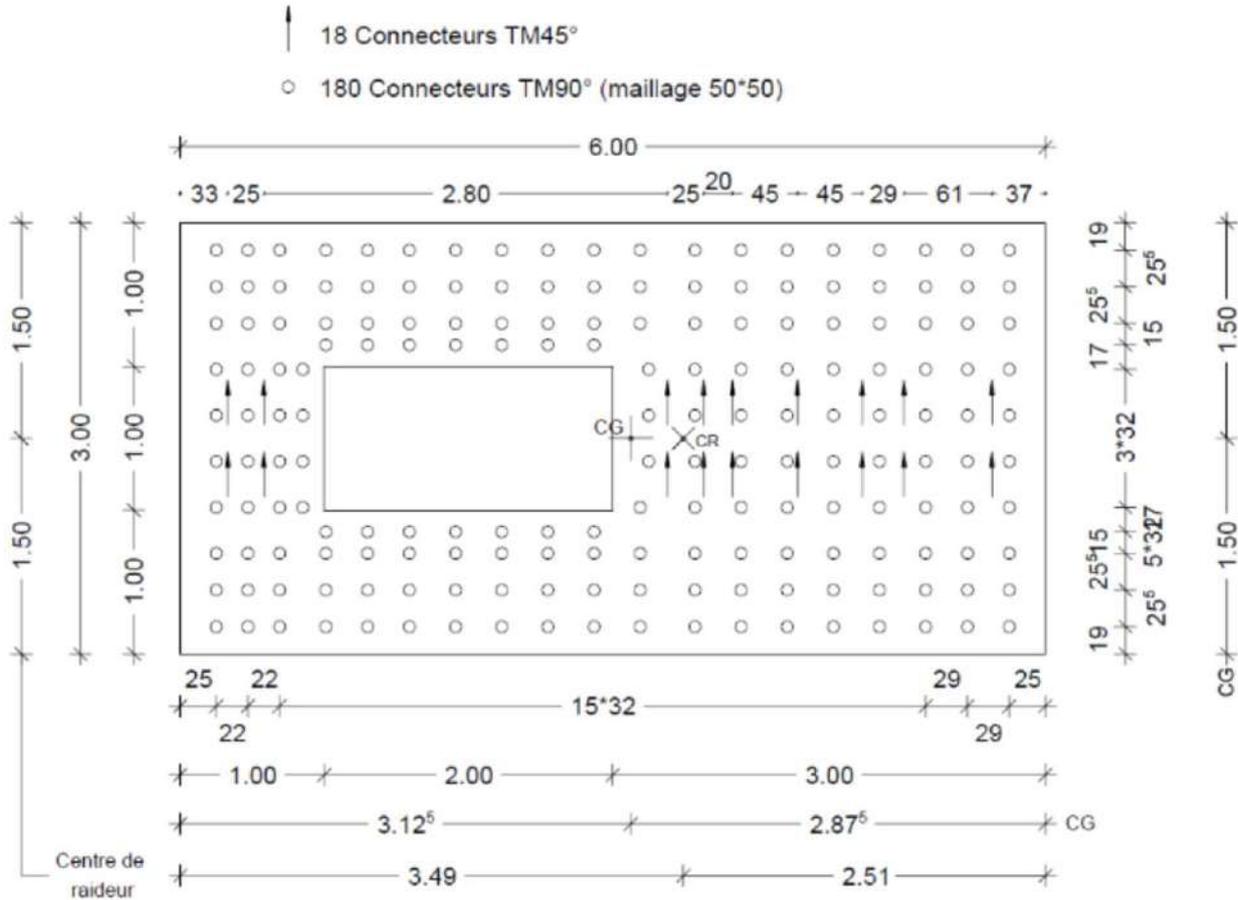
- Catégorie d'importance du bâtiment : sans influence
- Classe de sol : sans influence
- Epaisseur du voile librement dilatable : 6 cm
- Epaisseur de la lame isolante : sans influence
- Jeu nominal entre voile : 2 cm

Cas 1 : Panneau 6m x 3 m avec ouverture**Figure 132 : Exemple de disposition de connecteur zone sismique 1**

Exemple zone sismique 3 :

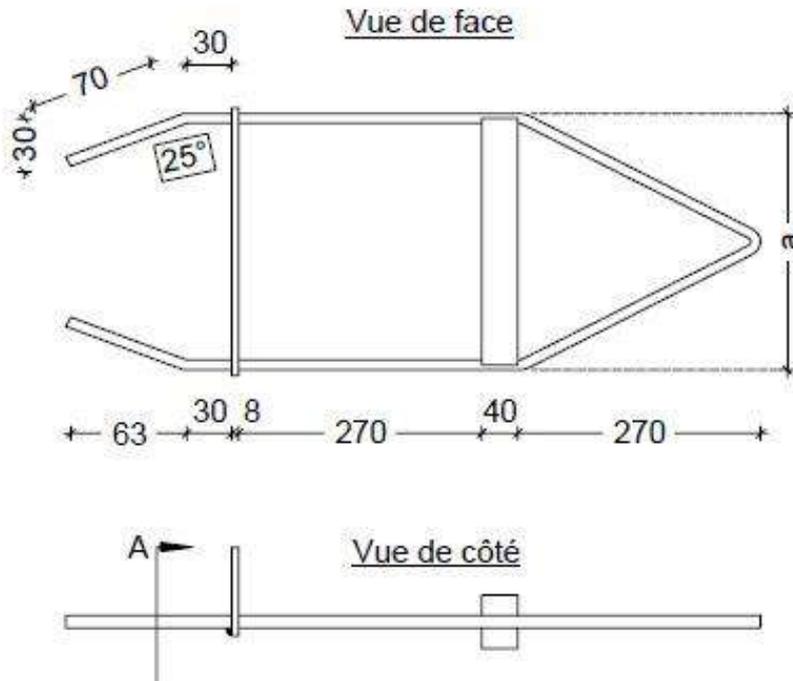
Hypothèses :

- Catégorie d'importance du bâtiment : 3
- Classe de sol : B
- Epaisseur du voile librement dilatable : 6 cm
- Epaisseur de la lame isolante : 14 cm
- Jeu nominal entre voile : 2 cm
- Tolérance de fabrication : 0,5 cm
- Tolérance de pose : 0,5 cm

Cas 1 : Panneau 6 m x 3 m avec ouverture**Figure 134 : Exemple de disposition de connecteur zone sismique 3**

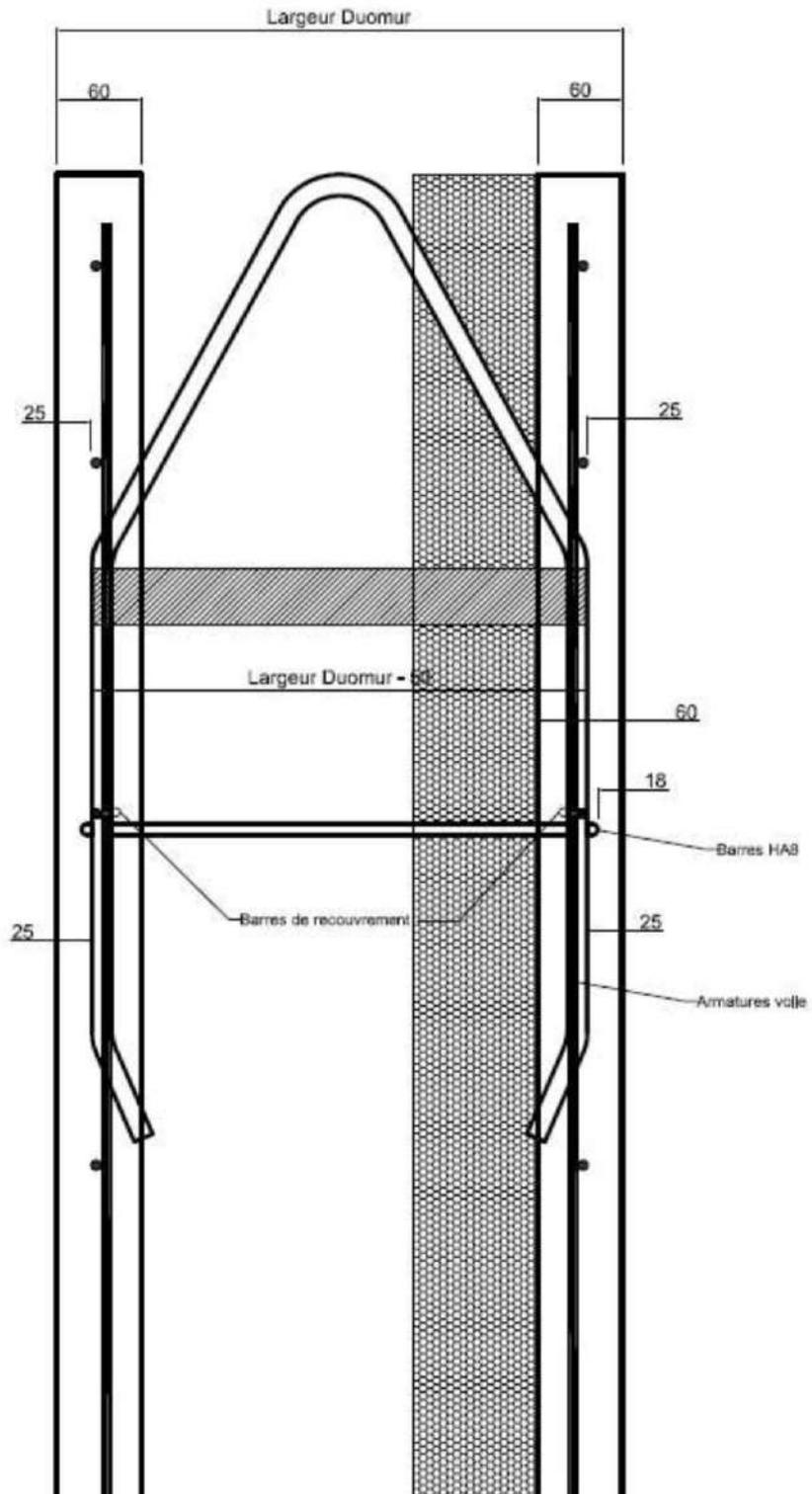
Annexe XII : Plan de façonnage des ancrs de manutention

Ancre SEAC V1

Montage :Epaisseur des croc
l'épaisseur

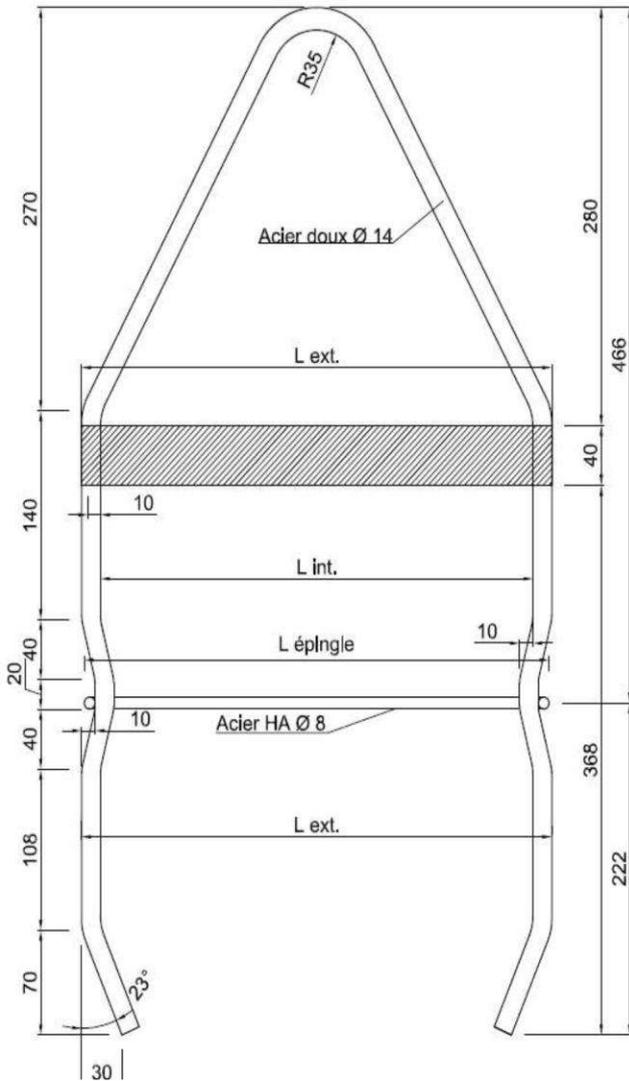
ép. mur (mm)
180
200
250
300
360
400

Caractéristiques de

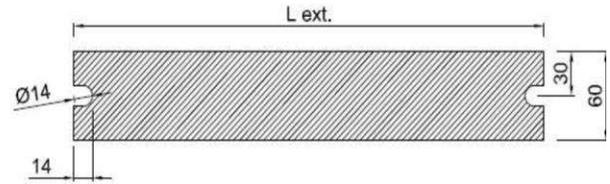


Ancre SEAC V2

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.

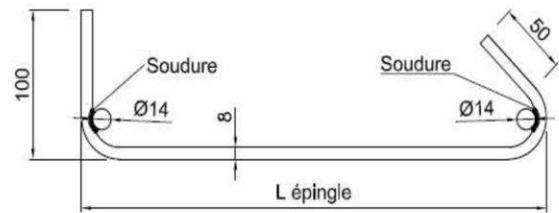


Ancre Duomur V 2 pour mur de 18 à 40 cm



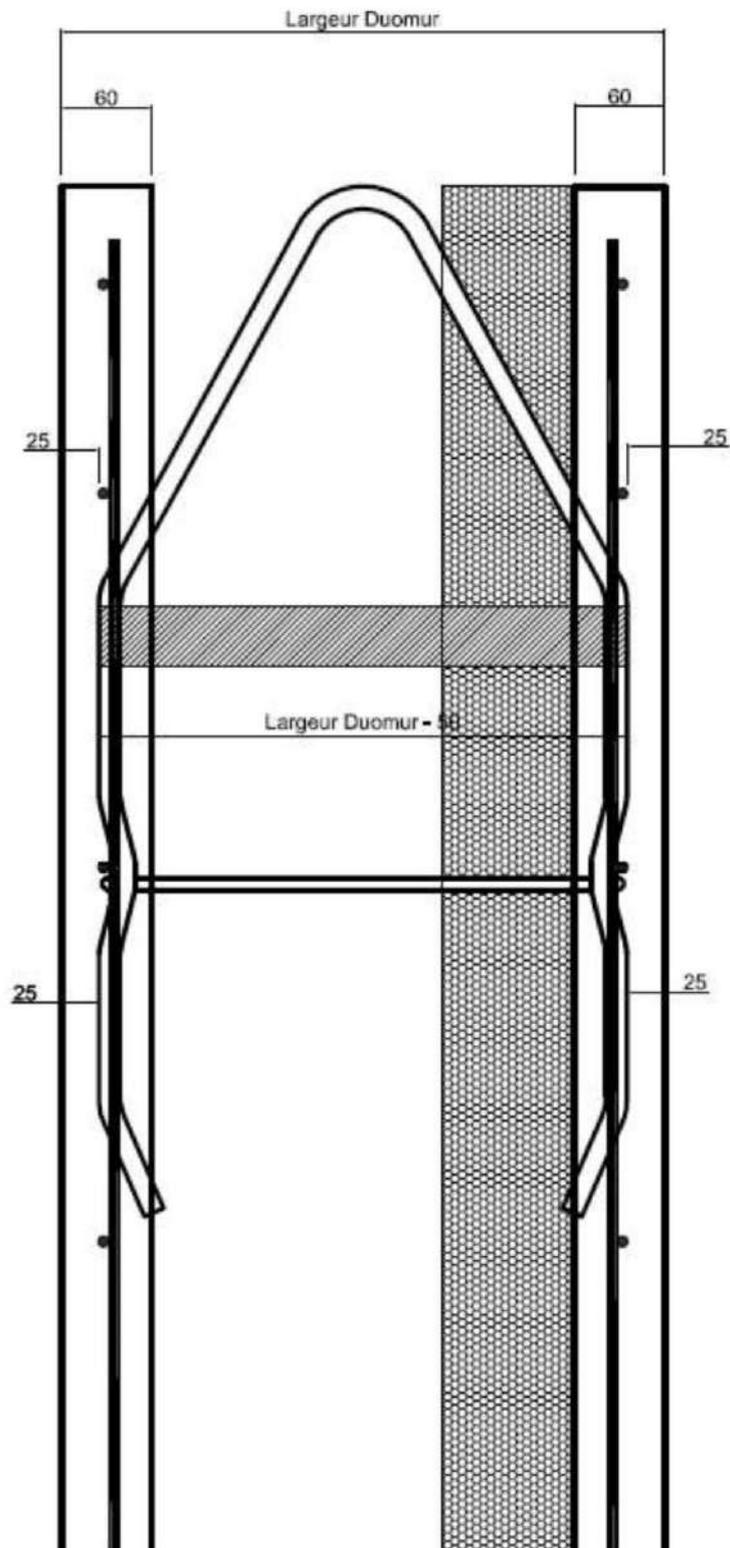
Buton Lamibois type Kerto Q

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%



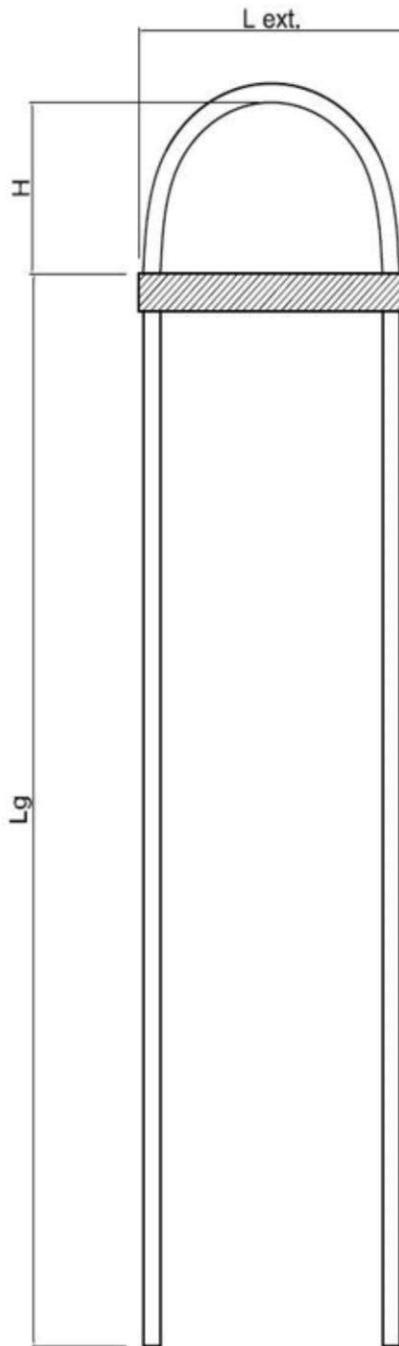
Epingle HA Ø 8

Cotes (mm)			
Largeur de mur	L ext.	L Int.	é
400	350	322	
360	310	272	
300	250	222	
250	200	172	
200	150	122	
180	140	112	



Ancre Eca-lift

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 Eca-lift**

Buton fibre de verre Ø20 mm

Câble métallique Ø 10 mm

Cotes (mm)			
<u>Largeur du mur</u>	L ext.	Lg min	H
400	350	528	240
360	310	528	225
300	250	528	165
250	200	528	165
200	150	528	130
180	130	528	115

Duomur toutes largeurs

