

Sur le procédé

Panneaux Sandwich DECOMO à isolation continue

Famille de produit/Procédé : Mur de façade de types panneaux sandwich

Titulaire(s) : **Société DECOMO SA**

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 le 29 novembre 2023, annule et remplace l'Avis Technique n° 3.2/21-1033_V1. Elle intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Mise à jour selon la nouvelle trame ; Ajout du système d'accrochage « FIXI DOUBLE PEAU de la société FIXINOX ; <p>Mise à jour de l'appréciation de laboratoire.</p>	JUNES Angel	BERNARDIN-EZRAN Roseline

Descripteur :

Procédé de mur de façade mettant en œuvre des panneaux de façade en béton armé, de type sandwich à voile extérieur librement dilatable, avec interposition d'un isolant.

Ces éléments de façade, constituent l'enveloppe extérieure et peuvent avoir des fonctions d'éléments de façade porteurs ou non porteurs.

Le panneau courant a les épaisseurs suivantes :

- Voile extérieur d'épaisseur minimum 7 cm ;
- Isolant thermique d'épaisseur 6 cm à 20 cm ;
- Voile intérieur d'épaisseur minimum 10 cm.

Ces panneaux, de dimension maximales 16 m x 4 m, peuvent être superposés.

Deux types de dispositifs d'accrochage pour voile extérieur librement dilatable sont utilisés :

- Le système « SP-MVA / SP-FA / SP-SPA » de la société HALFEN, conformément aux prescriptions de l'Avis Technique en cours de validité dont il relève ;
- Le système « FIXI DOUBLE PEAU » de la société FIXINOX, conformément aux prescriptions de l'Avis Technique en cours de validité dont il relève.

La liaison du panneau à l'ossature s'effectue soit par des armatures en attentes dimensionnées par le bureau d'études, soit par des rails et douilles de fixation en acier galvanisé.

Les menuiseries extérieures, équipées ou non d'appuis de baie métalliques, sont rapportées en œuvre.

Étanchéité des joints horizontaux par système à recouvrement.

Étanchéité des joints verticaux par dispositif à chambre de décompression ou joint mécanique à gouttière ménagé dans le voile extérieur.

Étanchéité à l'air des joints verticaux et horizontaux par cordon préformé ou bande collée, au niveau du voile intérieur.

Revêtements :

- Extérieur : parements extérieurs en béton de parement
- Intérieur : finitions classiques sur béton

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé.....	4
1.1.	Domaine d'emploi accepté	4
1.1.1.	Zone géographique	4
1.1.2.	Ouvrages visés.....	4
1.2.	Appréciation.....	4
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	4
1.2.2.	Durabilité	5
1.2.3.	Impacts environnementaux	6
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
2.	Dossier Technique.....	7
2.1.	Mode de commercialisation	7
2.2.	Description.....	7
2.2.1.	Principe.....	7
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	7
2.3.	Dispositions de conception	11
2.3.1.	Dimensionnement du système de liaison entre les parois	11
2.3.2.	Dimensionnement de la paroi intérieure.....	12
2.3.3.	Dimensionnement de la paroi extérieure	14
2.3.4.	Dimensionnement en situation d'incendie.....	14
2.3.5.	Dispositions parasismiques.....	15
2.3.6.	Isolation acoustique intérieure	17
2.4.	Dispositions de mise en œuvre	17
2.4.1.	Transport des panneaux.....	17
2.4.2.	Levage des panneaux	18
2.4.3.	Pose des panneaux	18
2.5.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	19
2.5.1.	Fabrication	19
2.5.2.	Contrôle interne	19
2.5.3.	Marquage.....	19
2.6.	Mention des justificatifs.....	20
2.6.1.	Résultats expérimentaux.....	20
2.6.2.	Références chantiers	20
2.7.	Tableaux et figures du Dossier Technique	21

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

L'Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine. Possibilité d'emploi en zone sismique 1 à 4 moyennant les dispositions constructives définies dans le Dossier Technique.

1.1.2. Ouvrages visés

Mur destiné à des bâtiments tertiaires, scolaires, de commerces, d'hôpitaux et de logements.

Les panneaux sont généralement aveugles ; ils peuvent être également munis d'ouvertures.

Les panneaux ne sont pas destinés à être utilisés en mur enterrés.

La pose inclinée n'est pas visée.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

Les panneaux non porteurs ne participent pas à la stabilité du bâtiment (contreventement, fonction porteuse, ...). La stabilité propre du voile de béton extérieur librement dilatable des panneaux sandwichs peut être normalement assurée moyennant l'application des prescriptions techniques visant les dispositifs de liaison associés à ces panneaux.

L'utilisation des panneaux comme éléments porteurs est acceptée moyennant le respect des prescriptions données au Dossier Technique.

1.2.1.2. Utilisation en zone sismique

L'utilisation en zone sismique des panneaux porteurs est limitée aux zones 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, moyennant le respect des dispositions prévues au paragraphe 2 « Dossier Technique ».

L'utilisation des panneaux non porteurs est acceptée, moyennant le respect des prescriptions données au Dossier Technique.

1.2.1.3. Sécurité en cas d'incendie

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

Du fait de la présence de l'isolant dans les panneaux, les règles simplifiées de la NF EN 1992-1-2 de détermination de la distribution de la température dans le béton ne peuvent pas s'appliquer. Une étude selon les règles générales de calcul avancées de la NF EN 1992-1-2 est alors nécessaire, sauf à utiliser les tableaux de températures donnés en annexe du Dossier Technique (pour des durées de stabilité au feu de 60, 90 et 120 minutes) qui ont fait l'objet d'une Appréciation de laboratoire n° AL15-165_V3 du CSTB.

L'appréciation de laboratoire n° AL15-165_V3 comprend également une étude du maintien au feu de la peau extérieure du procédé de mur de façade DECOMO de type panneau sandwich préfabriqué en béton armé.

Celle-ci 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 du dispositif d'accrochage pour suspendre la peau extérieure à la paroi intérieure. Les organes de suspension doivent être dimensionnés moyennant le respect des prescriptions données au Dossier Technique.

Les ancrs principales du dispositif de d'accrochage devront être disposées à une distance au-dessus des ouvertures égale à la valeur C+D requise pour un panneau incombustible et déterminée selon la destination du bâtiment.

Les dispositions permettant le respect de l'IT249, notamment au pourtour des baies, sont décrites dans l'appréciation de laboratoire n° AL15-165_V3. Elle prescrit également les dispositions constructives à respecter pour la justification du procédé mis en œuvre dans des bâtiments d'habitation de la 3^{ème} et 4^{ème} famille et les Immeubles de Moyenne Hauteur IMH (bâtiment à usage d'habitation dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à plus de 28 m sans être considéré immeuble de grande hauteur)

Le comportement au feu des panneaux non porteurs (notamment sur la conception des systèmes de fixation à la structure) doit faire l'objet d'une appréciation de laboratoire agréé pour chaque chantier.

Au regard de l'article AM 8, pour que les parois intérieures assurent le rôle de protection de l'isolant, elles doivent justifier d'un degré coupe-feu d'une demi-heure et être jointoyées par des joints incombustibles à défaut de clavetage en béton.

1.2.1.4. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre du dispositif

Elle peut être normalement assurée moyennant les précautions propres à la manutention et à l'étayage d'éléments lourds de grandes dimensions. Il est noté que les acrotères constitués par un prolongement des panneaux ne sont pas prévus pour assurer l'appui des dispositifs supportant des charges telles que les nacelles d'entretien.

1.2.1.5. Résistance au choc

Par analogie aux ouvrages traditionnels, le procédé est considéré comme satisfaisant vis-à-vis des exigences de résistance aux chocs définies dans la norme expérimentale P 08-302.

1.2.1.6. Isolation thermique

Les vérifications sont à effectuer, dans chaque cas d'utilisation, selon les Règles Th-Bat en vigueur.

A défaut d'une certification de type ACERMI sur les isolants, les performances thermiques des panneaux doivent être calculées en majorant de 15 % les valeurs déclarées de la conductivité thermique de ces isolants.

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 maintien des performances thermiques suppose l'utilisation d'isolants dont les performances ne sont pas dégradées de manière significative par l'humidification possible au niveau des joints.

En l'absence de données fournies par le demandeur, un calcul des coefficients de transmission surfacique doit être réalisé en tenant compte de tous les ponts thermiques structurels (joints, fixations, etc.).

1.2.1.7. Isolation acoustique

Etant donné les épaisseurs de béton minimales mises en jeu, et moyennant les dispositions de traitement des joints décrites au Dossier Technique, le procédé ne devrait pas poser de problèmes d'isolement au bruit aérien, jusqu'aux exigences de $D_{n,T,A,Tf} \geq 35dB$. Au-delà, une étude au cas par cas est nécessaire.

1.2.1.8. Étanchéité des murs extérieurs

Pour les bâtiments à usage autre qu'industriel, l'étanchéité est organisée sur la base des principes du DTU 22.1 et peut être considérée comme normalement assurée dans le domaine d'emploi accepté, avec cependant des risques d'humidification localisée de la paroi intérieure des panneaux isolants.

Quant à la solution d'étanchéité des joints à simple garniture extérieure de mastic, utilisée pour les bâtiments à usage industriel, elle repose essentiellement sur l'efficacité de la garniture extérieure ; elle confère aux façades des bâtiments autres que courants tels que définis dans la NF DTU 20.1 une étanchéité équivalente à celle admise dans ce cas pour les façades traditionnelles, dans les mêmes situations de la construction (situations a, b, c et d sauf front de mer).

Dans le cas des panneaux sandwichs ayant des éléments d'isolant en laine de roche dans leur constitution (afin d'éviter la propagation du feu par les façades cf. Appréciation de laboratoire AL15-165_V3), un écran pare-vapeur doit être interposé entre la peau intérieure et l'isolant afin d'éviter les risques de condensation dans la couche d'isolant.

1.2.1.9. Aspects sanitaires

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

1.2.1.10. Fabrication

Effectuée en usine, par le titulaire de l'Avis, elle nécessite, outre les précautions usuelles propres à la fabrication des panneaux sandwichs à voile extérieur librement dilatable, la réalisation d'un auto-contrôle régulier.

1.2.1.11. Mise en œuvre

Effectuée par l'entreprise de pose titulaire du marché, elle 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 ;
- Une précision particulière pour l'interposition des cales en polyéthylène de manière sensiblement centrée par rapport à l'axe du voile porteur, afin de ménager, du côté de l'isolant, un espace suffisant pour faire filer en continuité le cordon d'étanchéité ;
- Des précautions pour la manutention des panneaux de grande dimension.

La livraison des panneaux étant sans pose par le titulaire DECOMO, il est prévu une assistance technique du titulaire de l'Avis à l'entreprise de pose au montage.

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 béton extérieur par suite du choix du voile intérieur 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).

Au total, 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

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

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le système de liaison entre voiles de panneaux sandwichs utilisé dans ce procédé a fait l'objet d'une évaluation dans le cadre de la procédure de l'Avis Technique. C'est pourquoi le présent Avis ne vaut que si les prescriptions des Avis Technique en cours de validité des dispositifs d'accrochage sont respectées.

Le groupe tient à signaler à l'utilisateur qu'il est nécessaire que toutes les informations relatives aux conditions de l'ouvrage soient transmises aux différents acteurs (DECOMO, BET), pour une bonne coordination.

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

Toute la gamme des épaisseurs d'isolants ne permettent pas de satisfaire les exigences réglementaires. Il est rappelé qu'un calcul thermique est dans tous le cas nécessaire.

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

Le procédé est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : DECOMO SA

Boulevard Industriel 96 ,
7700 MOUSCRON Belgique ;
info@decomo.be

2.2. Description

2.2.1. Principe

Procédé de mur de façade mettant en œuvre des panneaux en béton armé, du type sandwich, constitué de deux voiles dont le voile extérieur est librement dilatable avec interposition d'un isolant.

Les panneaux sont posés horizontalement (côte à côte) ou verticalement (empilés). Ils ont une épaisseur minimum de 23 cm, une largeur maximale de 4 m et une longueur maximale de 16 m quelle que soit leur position en œuvre.

La liaison des deux voiles est assurée par des ancrs et des épingles.

Ces éléments de façade, constituent l'enveloppe extérieure des bâtiments et peuvent avoir deux fonctions :

- Éléments de façade non porteuse : ils sont fixés à la structure du bâtiment. Ces éléments sont autoporteurs, portés ou d'habillage. Ils ne participent pas au contreventement de la structure et ne doivent pas être pris en compte dans les vérifications de calculs de stabilité et de contreventement des structures qu'ils enveloppent. En particulier, dans le cas où les panneaux habillent une ossature, celle-ci doit être dûment contreventée ;
- Éléments de façade porteuse : ils sont posés à l'avancement du chantier et clavetés sur les planchers coulés en œuvre ou en partie préfabriqués dont ils reprennent les charges permanentes et d'exploitations. Dans ce cas, le voile intérieur participe à la reprise des charges verticales sollicitant l'ouvrage. Ils peuvent également être utilisés comme éléments de contreventement.

La face extérieure des éléments est de type béton architectonique : parement brut ou tout autre type de parement (béton désactivé, béton acidé, béton matricé, béton bouchardé, polissage, sablage, ...).

Le fournisseur des panneaux peut mettre à la disposition de l'entreprise de montage, sur sa demande, un produit de ragréage ayant une granulométrie, un aspect et une coloration identiques à ceux des panneaux livrés.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Matériaux

2.2.2.1.1. Béton

Pour la paroi intérieure et la paroi extérieure, le béton est conforme aux normes NF EN 206+A2/CN et NF EN 13369, de classe de résistance minimum C35/45 et classe de consistance S4.

Granulométrie : Pour le voile intérieur Ø maxi 20 mm. Pour le voile extérieur, la granulométrie et la composition sont adaptées au traitement du parement.

2.2.2.1.2. Aciers d'armature

Tous les aciers sont conformes à la norme européenne NF EN 10080 et sont certifiés AFCAB.

Aciers en bobines et barres, B 500 Ø 6 à 32 mm

Treillis soudés standard B 500.

Enrobage minimum des aciers en conformité avec la classe d'exposition des panneaux pour les faces extérieures des parois.

2.2.2.1.3. Accessoires de levage et de fixation

2.2.2.1.3.1. Levage

- Inserts de levage HALFEN-DEHA

Nombre et type déterminé par le poids des panneaux et indiqué sur les plans de production.

Le béton comprenant les éléments de levage doit présenter au minimum une résistance à la compression de 15 MPa lors du premier levage (en cohérence avec les essais expérimentaux menés par la société HALFEN).

Au minimum 2 éléments de levage sont implantés dans chaque panneau lors de la fabrication en usine.

La manutention en usine ou sur chantier se fait à l'aide d'anneaux de levage.

2.2.2.1.3.2. Fixation sur site

Les fixations sont impérativement positionnées dans la paroi intérieure.

Panneaux porteurs :

Les systèmes de fixation mécanique ou les armatures en attentes sont dimensionnés par le bureau d'études structure en charge du projet.

Les liaisons horizontales en partie basse des panneaux sont assurées de différentes manières :

- Ponctuelles par des liaisons brochées entre panneaux ou sur fondations filantes et un joint maté au mortier sans retrait ;
- Ponctuelles par des liaisons clavetées entre panneaux ou sur fondations filantes (embochements et armatures en attente) ;
- Ponctuelles par des liaisons de type armatube (coupleurs) entre panneaux et un joint maté au mortier sans retrait. Les coupleurs doivent être certifiés AFCAB.

Panneaux non porteurs :

Rails et douilles du type HALFEN-DEHA dimensionnés par le bureau d'études Decomo et adaptés pour chaque projet. Le type et la position sont indiqués sur les plans de production. La boulonnerie et les écrous sont en acier galvanisé. Les boulons insérés dans les rails doivent avoir un diamètre minimal de 12 mm.

Un coefficient de sécurité égal à 2 sera pris pour le calcul des pièces de liaison (boulonnerie, cornières, ...) et un coefficient égal à 3 pour les éléments ancrés dans le panneau (rails, douilles,...) sur la valeur de la charge admissible en statique.

Tous les accessoires servant à la fixation des panneaux sont en acier galvanisé.

La charge verticale des panneaux (poids propre) n'est pas obligatoirement reprise par une longrine au sol : les panneaux peuvent être appuyés sur des poutres intermédiaires ou être suspendus à la structure à l'aide de fixations mécaniques (type cornières métalliques ancrées dans la structure du bâtiment).

Les fixations utilisées (rails et douilles) doivent faire l'objet d'un Agrément Technique Européen : le dimensionnement des fixations est réalisé sur la base des caractéristiques mécaniques résistantes indiquées dans les Agréments Techniques Européens. Dans le cas particulier des rails et des douilles HALFEN, le dimensionnement doit être effectué sur la base des caractéristiques mécaniques résistantes indiquées dans les ATE dont ils relèvent.

Les liaisons horizontales en partie basse des panneaux (cas des panneaux non suspendus par des fixations mécaniques) sont assurées de différentes manières :

Continue par un joint de mortier sans retrait.

Ponctuelle par des liaisons brochées et un joint maté au mortier sans retrait.

2.2.2.1.3.3. Liaison des deux voiles

Les dispositifs d'accrochage utilisés pour la liaison des deux voiles des panneaux sandwich sont :

- Le système « SP-MVA / SP-FA / SP-SPA » de la société HALFEN (faisant l'objet d'un Avis Technique en cours de validité), limité à des épaisseurs d'isolant jusqu'à 200 mm pour les cylindres SP-MVA, 260 mm pour les plats SP-FA et 300 mm pour les étriers SP-SPA ;
- Le système « SP-FIXI DOUBLE PEAU » de la société FIXINOX (faisant l'objet d'un Avis Technique en cours de validité), limité à des épaisseurs d'isolant jusqu'à 200 mm pour les cylindres MA et 240mm pour les plats FA.

Dans les 2 cas de figure, ces dispositifs comprennent :

- Un dispositif porteur ;
- Des épingles de maintien de l'écartement entre voiles ;
- Un dispositif "anticouple" (plat de distorsion) ;
- Des connecteurs (types SPA-1 ou SPA-2).

Le dimensionnement et la disposition de ces accessoires sont réalisés conformément aux Avis Techniques correspondant.

Dans les cas où la condition d'enrobage minimal extérieur de 2,5 cm des barres d'ancrage des dispositifs de liaison ne peut pas être respectée, ces barres doivent être soit en acier inoxydable soit en acier ordinaire muni d'un revêtement assurant sa protection contre la corrosion et évitant aussi le contact galvanique avec l'acier inoxydable des ancrages (résine époxy par exemple).

2.2.2.1.3.4. Autres accessoires

- Reprise d'aciers par coupleurs ;
- Liaisons armatubes pour panneaux porteurs ;
- Bavettes d'étanchéité type EPDM ;
- Gains PVC et réservations utiles aux différents réseaux (Electricité, multimédia, ...) ;
- Les boîtes d'attentes doivent être certifiées AFCAB et respecter les exigences des Recommandations Professionnelles concernant les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes.

2.2.2.1.4. Isolants

Les épaisseurs de l'isolant dépendent de la performance thermique exigée par le projet et varient de 60 à 300 mm.

Tous les isolants font l'objet d'une certification ACERMI

Les caractéristiques minimales des isolants sont I2-S1-O2-L3-E2 en référence au guide du référentiel ACERMI.

Les isolants les plus couramment utilisés sont les suivants :

2.2.2.1.4.1. Polyuréthane

Panneau d'isolation thermique en mousse de polyuréthane rigide.
Conductivité thermique $\lambda = 0,021$ à $0,028$ W/m.K suivant modèle.
Densité +/- 30 kg/m³

2.2.2.1.4.2. Polyisocyanuréthane

Panneau d'isolation thermique en mousse de Polyisocyanuréthane rigide revêtu sur chaque face soit d'une feuille d'aluminium, soit d'un voile de verre surfacé, soit d'un voile de verre bitumé, soit d'un complexe multicouche.
Conductivité thermique $\lambda = 0,021$ à $0,026$ W/m.K suivant modèle.

2.2.2.1.4.3. Polystyrène

Les panneaux sont en mousse de polystyrène expansée ou extrudée.
Conductivité thermique $\lambda = 0,033$ à $0,038$ W/m.K suivant modèle.
Densité entre 30 et 40 kg/m³.

2.2.2.1.4.4. Laine de roche

Panneaux en laine de roche rigide, utilisée en bandes filantes, et au pourtour des baies (cf. Appréciation de laboratoire n° AL15-165_V3).

Conductivité thermique $\lambda = 0,034$ à $0,038$ W/m.K suivant modèle
Densité entre 80 et 155 kg/m³.

Ils seront équipés d'un écran pare-vapeur qui s'interposera entre la paroi intérieure et l'isolant afin d'éviter les risques de condensation.

Pour empêcher la propagation du feu dans la couche d'isolant (effet cheminée), une bande de laine de roche de densité 150 kg/m³ et d'épaisseur 10 cm est placée à la périphérie des ouvertures et des réservations afin d'assurer une barrière coupe-feu. Afin de protéger l'isolant contre la propagation verticale du feu au niveau des joints horizontaux, une barrière coupe-feu horizontale doit être effectuée conformément à l'IT 249.

Pour les isolants non revêtus, une feuille de polyane sera interposée entre l'isolant et le béton de la paroi extérieure afin d'assurer une désolidarisation des deux matériaux.

2.2.2.1.5. Joints d'étanchéité entre panneaux

2.2.2.1.5.1. Joints horizontaux

Emboitement par rejingot :

Joint d'étanchéité à l'air type COMPRIBAND, côté intérieur en partie supérieure du rejingot.

Le rejingot incorporé en tête de voile de béton extérieur doit être en une seule pièce sur toute la longueur du panneau.

La solution JH1A (cf. Figure 2) nécessite la mise en place d'un complément d'étanchéité par bavette collée pour protéger l'isolant.

La largeur u_j du joint devra respecter la règle suivante :

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

Avec $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (coefficient de dilatation thermique du béton), $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ (variation de température), L_{max} la distance entre deux pôles de dilatation de panneaux encadrant un joint, u_{sis} le déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique (éviter les risques d'entrechoquement : voir § 2.3.5 « Dispositions parasismiques »), Δ_{pose} les tolérances de mise en œuvre prise égale à 10 mm (§ 2.4.3 « Pose des panneaux ») et $\Delta_{fabrication}$ les tolérances de fabrication conformément aux prescriptions de la NF EN 14992+A1 (classe A).

La largeur minimale du joint horizontal entre panneaux est de 15 mm.

Au droit de la jonction façade-plancher, les prescriptions du paragraphe 2.2 de l'IT 249 doivent être respectées afin d'assurer l'étanchéité aux flammes et aux gaz chauds et d'éviter la propagation du feu aux niveaux supérieurs.

2.2.2.1.5.2. Joints verticaux

- Joint souple élastomère

Joint d'étanchéité 1ère catégorie, appliqué sur fond de joint au niveau du voile extérieur. Les eaux de condensation doivent être canalisées à l'arrière du joint en façade, soit par la création d'une chambre de décompression intégrée à la paroi, soit par la création d'un deuxième joint d'étanchéité le long de l'isolant.

- Joint mécanique à gouttières type COUVRANEUF
- Joint d'étanchéité à l'eau mis en place au niveau du voile extérieur.
- Joint néoprène type JD COUVRANEUF, sur joint de dilatation.

Dans tous les cas, mise en place d'une bavette de rejet d'eau au droit du joint horizontal entre panneaux.

La largeur u_j du joint devra respecter la règle suivante :

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

Avec $\alpha=1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (coefficient de dilatation thermique du béton), $\Delta T=50^\circ\text{C}$ (variation de température), L_{max} la distance entre deux pôles de dilatation de panneaux encadrant un joint, u_{sis} le déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique (éviter les risques d'entrechoquement : voir § 2.3.5 « Dispositions parasismiques »), Δ_{pose} les tolérances de mise en œuvre prise égale à 5 mm (§2.4.3 « Pose des panneaux ») et $\Delta_{\text{fabrication}}$ les tolérances de fabrication conformément aux prescriptions de la NF EN 14992+A1 (classe A).

La largeur minimale du joint vertical entre panneaux est de 15 mm.

2.2.2.1.5.3. Protection de l'isolant

- Si un degré coupe-feu est requis pour le projet, alors, le joint entre panneaux, au droit du voile intérieur sera coupe-feu, du type LITAFEU ou ILLBRUCK.

Sur la périphérie des ouvertures, pour empêcher la propagation du feu au travers de l'isolant, une bande en laine de roche (de densité de 150 kg/m^3) de 10 cm d'épaisseur viendra protéger l'isolant (bandes placées en usine). Afin de protéger l'isolant contre la propagation verticale du feu au niveau des joints horizontaux, une barrière coupe-feu horizontale est effectuée conformément à l'IT 249.

2.2.2.2. Descriptions des éléments

Les dimensions maximums sont données par le diagramme D1 en annexe. La surface maximum (vide pour plein) du panneau n'excédera pas 40 m^2 .

Les dimensions maximums de la paroi extérieure seront vérifiées en fonction de la capacité du dispositif d'accrochage utilisé. Notamment dans certains cas la paroi extérieure devra être découpée en 2 afin de limiter les efforts liés aux dilatations thermiques, au niveau des ancrages porteuses et des épingles. A partir de 8 m, les panneaux seront systématiquement découpés.

2.2.2.2.1. Panneaux aveugles

L'armature des panneaux est calculée et adaptée aux conditions d'utilisations. D'une façon systématique les panneaux doivent disposer d'une section minimale d'armatures égales à 0,2 % de la section de béton pour les panneaux de longueur maximum de 6 mètres, et 0,25 % au-delà de 6 mètres. Les panneaux sont fixés à la structure avec des éléments galvanisés dans le cas de panneaux d'habillage et liaisonnés avec des armatures en attente dans le cas de panneaux porteurs. Un exemple du principe de ferrailage des panneaux plein est donné Figure 27.

Dans le cas des panneaux porteurs, le joint en pied des panneaux est calfeutré par matage d'un mortier sans retrait afin de transmettre les charges verticales de la structure.

La liaison du plancher en tête des panneaux se fait par clavetage béton armé, soit directement sur le voile intérieur, soit par l'intermédiaire d'une console filante à l'arrière de ce voile (voir plans en annexes).

Les fixations sont invisibles ou apparentes.

Si des faux-joints sont réalisés, ils auront alors une profondeur maximum de 15 mm.

L'enrobage minimum des aciers du côté de la peau extérieure est fixé réglementairement suivant la classe d'exposition du projet.

Épaisseur totale minimum de 230 mm pour les panneaux non porteurs et 250 mm pour les panneaux porteurs comprenant de l'extérieur vers l'intérieur :

- Un voile extérieur de 70 mm d'épaisseur minimum en béton à base de ciment gris ou blanc. La peau extérieure est traitée après durcissement (polissage, sablage, gravillons lavés, ...)
- Un isolant thermique d'une épaisseur courante de 60 à 300 mm (selon le dispositif d'accrochage utilisé).
- Un voile intérieur d'épaisseur minimum 100 mm pour les panneaux non porteurs et 120 mm pour les panneaux ; porteurs. L'épaisseur de cette paroi est adaptée aux conditions de calcul du projet.
- Matériaux de parement :
 - Béton désactivé : Application d'un retardateur de prise en fond de moule, puis lavage à l'eau sous pression après démoulage pour laisser apparaître en parement les granulats du béton ;
 - Béton acidé : Désactivation de la surface à l'aide d'un acide pour laisser apparaître en parement les sables entrant dans la composition du béton ;
 - Béton poli : Après démoulage et maturité du béton, polissage par passes successives, à l'aide de meules adaptées pour laisser apparaître en parement les granulats du béton, tranchés et polis ;
 - Béton sablé : Après démoulage et maturité du béton, projection d'un matériau abrasif sous pression (sable siliceux, corindon, ...) afin de « casser » la peau du béton et laisser apparaître en parement les sables contenus dans le béton ;
 - Béton matricé : Mise en place en fond de moule d'une matrice élastomère permettant de reproduire sur la peau de la paroi extérieure, un motif choisi spécifiquement pour un projet ;
 - Béton brut de décoffrage.

Dans tous les cas, les graviers et les sables seront choisis pour leur couleur, leur granulométrie, leur dureté et adaptés au traitement du parement choisi.

2.2.2.2.2. Position des organes d'ancrage

L'ancrage principal est normalement disposé sur la verticale du centre de gravité du voile de béton extérieur du panneau, à mi-hauteur de celui-ci.

Toutefois, dans les panneaux-baies, lorsque la verticale du centre de gravité traverse une baie, l'ancrage principal est disposé dans l'allège de telle façon que l'axe du cylindre ou du plat soit toujours à une distance des rives haute et basse de l'allège au

moins égale à trois fois son diamètre (cylindre) ou trois fois sa hauteur (plat), la fréquence des épingles de rives de l'allège étant alors renforcée au droit de l'ancrage.

Lorsque la verticale du centre de gravité traverse une porte-fenêtre, ou lorsque les traverses haute et basse délimitant la baie dans le voile extérieur ne sont pas capables de transmettre à l'ancrage principal les sollicitations engendrées par le poids du montant de baie ou du trumeau situé au-delà de la baie, l'ancrage principal est disposé à mi-hauteur du trumeau le plus large, à la distance d'une fois son diamètre de l'axe de gravité du trumeau du côté de la baie (lorsque la largeur du trumeau permet ce décalage), et à une distance des rives verticales du trumeau au moins égale à trois fois son diamètre. On lui associe alors un ancrage complémentaire que l'on dispose dans l'autre trumeau ou montant de baie, sur la même horizontale.

On dispose les épingles au pourtour du panneau et des baies, ainsi que sur une horizontale voisine de la mi-hauteur de panneaux, à un espacement maximal de 1,20 m.

Lorsque le panneau comporte un débord du voile extérieur (formant acrotère, par exemple), la densité d'épingles le long de la rive présentant ce débord est au moins doublée par rapport à la valeur résultant de la règle ci-dessus. Lorsque le débord est de grande amplitude, le nombre d'épingles doit être déterminé par le calcul.

On met en place, sur l'horizontale passant par l'ancrage principal, un dispositif anti-couple d'un seul côté de celui-ci lorsque le panneau a une longueur inférieure à 4 m, et deux dispositifs d'un seul côté également lorsque le panneau a une longueur supérieure.

Ces dispositifs sont placés au voisinage des rives verticales. Lorsque le panneau comporte un ancrage complémentaire, il n'y a pas de dispositif anti-couple.

Dans les panneaux dont la position, lors du transport, est différente de la position en œuvre (panneaux de grande hauteur, par exemple), on met en place des ancrages complémentaires dimensionnés pour assurer, en association avec l'ancrage principal, le maintien du voile extérieur pendant le transport.

Pour renforcer les voiles de béton au voisinage de l'ancrage principal, on ajoute localement aux armatures courantes des voiles des armatures complémentaires.

2.2.2.3. Panneaux avec ouvertures

Seules les conditions de ferrailage sont différentes par rapport aux panneaux aveugles. Un exemple du principe de ferrailage des panneaux avec ouvertures est donné Figure 28.

Pour les panneaux dont les dimensions des ouvertures sont supérieures 2,40 m x 2,10 m ou 2 fois 1,20 m x 1,20 m, alors une étude particulière doit être faite afin de prendre en compte les phénomènes de flambement et de voilement associé en cas d'empilage de panneaux.

Les trumeaux, les linteaux et les allèges bordant les ouvertures doivent avoir une largeur et une hauteur d'un mètre au minimum. Les armatures de renforts à disposer autour de la trémie doivent correspondre en section à celle des armatures sectionnées. La longueur minimale d'ancrage des armatures de renforts doit être égale à 50 Ø.

Les ouvertures peuvent être équipées de précadres sur lesquels viennent se fixer les menuiseries.

2.2.2.4. Panneaux d'angle

- Panneaux avec voile extérieur en retour sur l'épaisseur du panneau. Dans ce cas une bande d'isolant compressible est interposée entre l'isolation du panneau et le retour en béton ;
- Coupe d'angle à 45° sur l'épaisseur totale du panneau ;
- Coupe droite avec un montage en « aile de moulin » pour la paroi extérieure.

2.2.2.5. Panneaux formant acrotère :

Les acrotères en prolongement des panneaux sandwichs sont réalisés conformément aux prescriptions de :

- L'article 7.2.4 du DTU 20.12 (ferrailage minimal, espacement maximal des joints, ...) ;
- L'article 2.4 du DTU 22.1 ;
- L'article 2.9 du Cahier du CSTB 2159.

2.2.2.6. Types de planchers visés

Les planchers visés avec les panneaux DECOMO sont :

- Plancher béton coulé en place ;
- Plancher préfabriqués (dalles alvéolaires, prédalles béton) ;
- Plancher en béton à bac métallique collaborant.

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Dimensionnement du système de liaison entre les parois

Dimensionnement réalisé par HALFEN ou FIXINOX

Le dimensionnement des dispositifs d'accrochage composés de cylindres, plats et épingles en acier inoxydable est réalisé à l'aide des logiciels de calcul fournis par HALFEN et FIXINOX et soumis à leurs bureaux d'études conformément aux prescriptions de l'Avis Technique dont relève le dispositif d'accrochage.

Dans chaque cas d'application (fonction des charges de vent, des dimensions, des petites ouvertures, ...), le choix de la dimension des pièces de liaison (ancres et épingles), leur position dans le panneau et l'organisation des aciers de renfort, doivent être déterminés par le bureau d'études techniques, en fonction des efforts à équilibrer.

Lorsque les panneaux doivent être manutentionnés dans une position différente de celle qu'ils auront en œuvre, le dimensionnement des ancrages doit être justifié dans l'hypothèse de fonctionnement la plus défavorable.

Le bureau d'études DECOMO transmet au bureau d'études HALFEN ou FIXINOX :

- Le plan de calepinage des panneaux ;
- Les plans de production de chaque panneau (coffrage, ferrailage) ;
- Les sollicitations sur le voile extérieur des panneaux (poids propre, vent, séisme, charges accrochées, actions thermiques, ...) ;
- Les sollicitations en situation accidentelle d'incendie (facteur de réduction applicable suivant la durée d'exposition).

Le BET DECOMO (ou autre BET désigné par le titulaire) reporte les organes de suspension et de liaison sur les plans de ferrailage de la paroi extérieure.

2.3.2. Dimensionnement de la paroi intérieure

2.3.2.1. Panneaux non porteurs

2.3.2.1.1. Dimensionnement des panneaux

Le dimensionnement est systématiquement réalisé par le BET Structure, qui fournit au bureau d'études DECOMO les sections béton et aciers.

Sur cette base, le bureau d'études DECOMO vérifie les dimensions des panneaux, les phases provisoires (décoffrage, stockage, finition, chargement, transport, déchargement) et les capacités de levage en usine et sur site.

Le calcul des armatures des deux voiles pleins constituant les panneaux non porteurs doit s'effectuer de la façon suivante :

- Le voile intérieur est soumis à une flexion composée sous l'action simultanée des charges permanentes et de l'action du vent ;
- L'action du vent est décomposée au prorata des inerties des voiles.

Les plans sont alors soumis pour accord au bureau d'études structure du chantier.

2.3.2.1.2. Dimensionnement des fixations

Dimensionnement réalisé par le BE DECOMO.

Le dimensionnement des fixations des panneaux non porteurs est réalisé par le bureau d'études DECOMO en fonction des particularités du projet.

Les fixations utilisées (rails et douilles) font l'objet d'un Agrément Technique Européen : le dimensionnement des fixations est réalisé sur la base des caractéristiques mécaniques résistantes indiquées dans les Agréments Techniques Européens en fonction des charges appliquées sur le panneau (poids propre, vent, ...).

Les systèmes de fixations des panneaux à la structure sont conçus de telle sorte que le panneau ne soit pas mis en charge par la déformation de la structure (rails de type HALFEN).

2.3.2.1.3. Dimensionnement des fixations sur ossature métallique

Dimensionnement réalisé par le BE DECOMO.

Rails et douilles du type HALFEN-DEHA ou similaires, dimensionnés par le bureau d'études DECOMO, en fonction des particularités du projet, et validées par le bureau d'études structure du chantier.

Le type et la position sont indiqués sur les plans de production.

Un coefficient de sécurité égal à 2 sera pris pour le calcul des pièces de liaison (boulonnerie, cornières, ...) et un coefficient égal à 3 pour les éléments ancrés dans le panneau (rails, douilles, ...) sur la valeur de la charge admissible en statique.

Tous les accessoires servant à la fixation des panneaux sont en acier galvanisé ou inoxydable.

La charge verticale des panneaux peut se faire par l'intermédiaire de fixations mécaniques, type cornières métalliques, ancrées dans la structure du bâtiment.

En zone sismique, les dispositifs d'accrochage doivent être dimensionnés de manière à reprendre les efforts dus à l'action sismique dans les conditions prévues au chapitre 4.3.5 de la norme NF EN 1998-1 avec un coefficient q_a pris égal à 1. A défaut de justification particulière, la composante horizontale de l'effort dû à l'action sismique doit être reprise par l'ancrage principal seul.

Un coefficient forfaitaire de 0,4 sera appliqué sur la valeur de la charge admissible en statique.

2.3.2.2. Panneaux porteurs

2.3.2.2.1. Dimensionnement réalisé par le BE structure.

Le bureau d'études structure du chantier calcul les efforts transmis aux éléments et définit les équarrissages et les sections d'armatures nécessaires à leur stabilité. Dans ce cas le bureau d'étude DECOMO reçoit toutes les informations du bureau d'études structure du chantier.

Le bureau d'études DECOMO reçoit du bureau d'études structure du chantier, les informations suivantes :

- Les plans du projet ;
 - Descente des charges par niveau : charges permanentes (charges verticales, charges horizontales, moments) et charges variables : charges verticales, charges horizontales, moments ;
 - Le principe de transmission des charges : liaisons horizontales, liaison plancher/panneau (rotule ou encastrement), liaison entre deux panneaux superposés (rotule ou encastrement) ;

- Liaisons verticales : avec clavetage dans le joint vertical entre panneaux adjacents, sans clavetage dans le joint vertical entre panneaux adjacents ;
- Principe de contreventement : par exemple utilisation de murs de refend, noyau de contreventement, etc....
- L'épaisseur de la paroi intérieure.
- La section des armatures à positionner dans la paroi intérieure.

Le dimensionnement des parois intérieures des panneaux porteurs est réalisé conformément aux Eurocodes (NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale : sections 5 à 9 et section 12) et selon les principes de fonctionnement des murs préfabriqués décrits dans :

- Les recommandations CEB ;
- Les directives de l'UEAtc (détermination de l'excentricité totale de l'effort normal, ...) ;
- Le DTU 22.1.

2.3.2.2.2. Chainages

Chaînages : Dans le cas où les chaînages sont nécessaires, ceux-ci seront déterminés suivant l'UEAtc ch1, 212 page 9 et 1,213 page 10.

- Les chainages de section rectangulaire auront une largeur au moins égale à 8 cm ;
- Les étriers de montage seront espacés de 50 cm au plus ;
- Au niveau des joints les armatures ne doivent pas être déviées et doivent pouvoir être correctement enrobées.

2.3.2.2.3. Position des joints

Le calepinage est réalisé par le bureau d'étude de DECOMO ou le BET désigné par celui-ci.

Selon le calepinage de la façade, il convient d'assimiler un panneau soit à un voile soit à un poteau selon le rapport des dimensions de section utile (voile si le plus grand côté est supérieur à 4 fois le petit côté).

Les joints entre panneaux doivent être positionnés de façon à ne pas réduire la raideur du mur dans son sens porteur privilégié :

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

Les panneaux recevant ponctuellement des poutres de planchers à leur niveau supérieur (charges concentrées) devront assurer la diffusion de la charge ponctuelle à travers le voile intérieur et seront dimensionnés en prenant en compte la position des joints verticaux dans la détermination de la zone de répartition de la charge.

2.3.2.2.4. Conditions de liaisons entre panneaux

Le dimensionnement des panneaux dépend des hypothèses faites sur les liaisons des panneaux le long de leurs bords horizontaux et verticaux. Les hypothèses faites sur les liaisons le long des bords horizontaux conduisent à adopter l'un des deux schémas d'appui de calculs suivant :

- Articulation du panneau le long de ses bords horizontaux ;
- Encastrement partiel du panneau et des éléments avec lequel il est en contact avec ses bords horizontaux.

Les liaisons horizontales avec broches entre panneaux superposés devront comporter au moins 3 broches avec un diamètre minimal de 16 mm.

Les panneaux porteurs ne participant pas au contreventement transversal sont généralement rotulés en pieds et en tête. Ils sont sollicités à la fois en compression et en flexion transversale par une charge horizontale (vent, séisme, ...). Les calculs sont menés en flexion composée.

Les panneaux porteurs verticaux et horizontaux peuvent participer au contreventement transversal du bâtiment. Dans ce cas, les liaisons en pieds et en tête peuvent être rotulées ou encastrees et il faut assurer la continuité entre panneaux au niveau des joints (cf. Figures 4 à 8). La solution rotulée est privilégiée systématiquement en zone sismique.

Le dimensionnement du procédé ARMATUBE (reconstitution de la continuité d'armature) utilisé pour assurer la liaison entre panneaux porteurs superposés doit être effectué conformément aux prescriptions du cahier des clauses techniques du fournisseur.

2.3.2.2.5. Dispositions particulières pour les panneaux participant au contreventement

Principe : Les murs participant au contreventement de l'ouvrage comportent au droit des jonctions verticales, des tirants dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité avec les armatures en attente des panneaux (coutures de cisaillement), dans ce cas les tirants doivent comporter au moins une face accessible avant bétonnage et visible après décoffrage.

Les planchers seront toujours rigides et contribueront à la transmission des efforts aux différents ouvrages participant au contreventement.

Section minimale des tirants : Les armatures verticales assurant la fonction de chaînage vertical et, placées dans la zone de clavetage, respectent les dispositions constructives des articles 9.6.2 et 9.6.3 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale : soit une section hors zone sismique de 1,2 cm² (mise en place de deux barres HA 10 au minimum dans le volume de béton confiné par les armatures saillantes du panneau et les armatures horizontales de continuité).

Section minimale des armatures horizontales de continuité : Les armatures horizontales de continuité doivent garantir la résistance au cisaillement vertical du joint. Dans le cas où aucune armature théorique n'est nécessaire, il convient de disposer tout de même un ferrailage minimum correspondant à celui défini à l'article 9.6.3 de la norme NF 1992-1-1, soit (par mètre linéaire) :

$$A_{(cout,min)} = \max\left(\frac{A_v}{4}; 0,001 \cdot h_w\right)$$

où h_w est l'épaisseur de la paroi intérieure et A_v la section d'armatures verticales du tirant.

La méthode de dimensionnement des interfaces entre panneaux porteurs adjacents est détaillée au § 2.3.5 « Dispositions parasismiques » ci-dessous.

Les éventuels efforts de cisaillement générés à l'interface horizontale entre panneaux superposés sont négligeables étant donné le blocage par les tirants verticaux. Les broches assurent principalement la reprise des efforts perpendiculaires au plan de la paroi.

2.3.3. Dimensionnement de la paroi extérieure

Le dimensionnement de la paroi extérieure est réalisé le bureau d'étude de DECOMO. 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.

- Les parois extérieures peuvent se dilater librement. La variation de température est déterminée suivant les prescriptions de la NF EN 1991-1-5 et son Annexe Nationale. On retiendra une variation de température $\Delta T = 50$ °C.
- La stabilité de la paroi extérieure est vérifiée suivant les règles usuelles du béton armé (NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale, dispositions constructives du DTU 23.1) en prenant en compte, en fonction des 3 directions de sollicitation, des principes de fonctionnement directement liés à l'implantation et aux rôles des composants du système de liaison « SP-MVA / SP-FA / SP-SPA ».
- Sous sollicitations verticales le fonctionnement mécanique de la paroi est assimilé à celui d'une double console sur appui centré (si un seul point de soutien : cylindre) ou à une poutre-voile appuyée sur les points de soutien (si plusieurs points de soutien : 2 plats ; zone de la paroi en porte à faux assimilée à un fonctionnement en console ou voile-drapeau).
- Sous sollicitations horizontales dans le plan le fonctionnement mécanique de la paroi est assimilé à celui d'une double console sur appui centré (si point de soutien (cylindre) sur une seule ligne horizontale sans plats de distorsion) ou à celui d'une poutre-voile appuyée sur les points de soutien (si points de soutien (cylindre ou plats) et plats de distorsion sur plusieurs lignes horizontales ; zone de la paroi en porte à faux assimilée à un fonctionnement en console ou voile-drapeau).
- Sous sollicitations horizontales perpendiculaires au plan le fonctionnement mécanique de la paroi est assimilé à celui d'une dalle « appuyée » sur les épingles (avec vérification des zones en porte à faux de la dalle = distance aux bords des connecteurs).

Les dispositions minimales d'armature (renforts verticaux et horizontaux dans les angles des ouvertures, armatures de peau, ...) sont conformes aux prescriptions de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale, du DTU 22.1 et du DTU 23.1.

Les enrobages des armatures de la paroi extérieure doivent respecter les prescriptions de la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale en fonction des conditions d'environnement. Sur les faces en contact avec l'isolant des deux parois, il convient de considérer un enrobage minimal des armatures correspondant à celui de la classe d'exposition du parement exposé – 5 mm, sans descendre en dessous de celui de la classe d'exposition XC3.

2.3.4. Dimensionnement en situation d'incendie

Le dimensionnement est réalisé par le BE structure.

La vérification vis-à-vis de l'incendie comprend trois étapes :

- Détermination du champ de température dans la paroi intérieure afin d'en déduire sa résistance ;
- Analyse de la tenue de la paroi extérieure suspendue à la paroi intérieure ;
- Dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0.

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

Les coefficients réducteurs du béton et de l'acier sont calculés en utilisant les tableaux de températures donnés en Annexe (tableaux 1a à 1d) qui ont fait l'objet d'une appréciation de laboratoire du CSTB n° AL15-165_V3 (pour des durées de stabilité au feu de 30, 60, 90 et 120 minutes).

La tenue au feu de la peau extérieure du procédé de mur de façade DECOMO de type panneau sandwich a également fait l'objet d'une Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL15-165_V3 pour 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 du système « SP-MVA / SP-FA / SP-SPA » pour suspendre la peau extérieure à la paroi intérieure.

- La tenue des dispositifs d'ancrage (cylindres ou plats ou connecteurs) est assurée dans tous les cas pour une durée d'exposition au feu de 30 minutes. Pour des durées d'exposition au feu supérieures, la tenue au feu des organes de suspension (cylindres ou plats) est vérifiée en fonction de leur taux de chargement (chargement à chaud/capacité résistante à froid) qui doit rester inférieur au coefficient $k_{fi,t,anc}$ donné en annexe (tableau 2) du Dossier Technique ;
- La tenue des épingles est assurée vis-à-vis des sollicitations dues au vent et vis-à-vis des effets de dilatation de voile dans tous les cas pour une durée d'exposition au feu allant jusqu'à 120 minutes.

Les dispositions permettant le respect de l'IT249, notamment au pourtour des baies, sont décrites dans l'appréciation de laboratoire n° AL15-165_V3. Elle prescrit également les dispositions constructives à respecter pour la justification du procédé mis en œuvre dans des bâtiments d'habitation de la 3^{ème} et 4^{ème} famille et les Immeubles de Moyenne Hauteur IMH (bâtiment à usage d'habitation dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à plus de 28 m sans être considéré immeuble de grande hauteur)

Les fixations des panneaux non porteurs (équerres, ...) à la structure doivent être protégées afin d'éviter leur échauffement. Une étude au cas par cas est nécessaire pour la vérification de la tenue des systèmes de fixation des panneaux non porteurs. Dans le cas de fixations métalliques, ces fixations seront protégées par un flocage ou une peinture intumescente.

2.3.5. Dispositions parasismiques

2.3.5.1. Dispositions parasismiques pour les panneaux porteurs

Le dimensionnement en zone sismique des panneaux est effectué par le BE structure conformément à l'article 5.11 « Structures préfabriquées en béton » de la norme NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale.

Les panneaux porteurs peuvent participer au contreventement de la structure.

Les murs participant au contreventement de l'ouvrage doivent comporter au droit des jonctions verticales, des poteaux dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité avec les armatures en attente des panneaux ; dans ce cas les poteaux doivent comporter au moins une face accessible avant bétonnage et visible après décoffrage, les prédalles de plancher doivent être calepinées en conséquence et comporter une échancrure pour le passage des aciers de continuité.

La détermination des efforts sismiques sur un ensemble de panneaux liaisonnés sur leurs bords verticaux est réalisée sur l'hypothèse d'un voile en béton de section homogène équivalente.

Dans ce cas, le monolithisme au droit des joints verticaux est assuré par la réalisation d'un clavetage en béton armé coulé en place.

Les efforts horizontaux de contreventement transitent directement au travers des chaînages horizontaux (liaison continue avec le plancher par clavetage) et les chaînages verticaux (clavetage vertical entre panneaux : tirants, avec transmission d'une bielle de compression dans les panneaux (fonctionnement de type « poutre treillis » ; modèle « bielles-tirants »).

Les murs comportent au droit des jonctions verticales des tirants dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité avec les armatures en attente des panneaux (coutures de cisaillement).

La vérification du cisaillement à la jonction des panneaux/plancher (joint horizontal entre deux panneaux superposés) doit être réalisée en prenant en compte les aciers d'un tirant vertical sur deux (celui comprimé) conformément aux prescriptions du §6.2.5 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale et du §5.4.3.5.2(4) de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale.

2.3.5.1.1. Sections minimales des chaînages verticaux

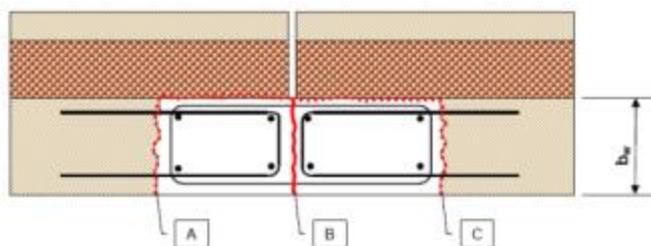
Les armatures verticales assurant la fonction de chaînage vertical (tirants) et placées dans la zone de clavetage sont conformes aux prescriptions du § 5.4.3.5.3(3) de la NF EN 1998-1/NA, soit 3,14 cm² par 4HA10 en zone courante et 4,52 cm² par 4HA12 en zone critique.

2.3.5.1.2. Vérification du cisaillement de long des surfaces de reprise

Les rives latérales des panneaux participant au contreventement de l'ouvrage présentent une surface rugueuse obtenue soit par la présence du boîtier de réservation des armatures en attentes, soit en désactivant le béton lors du coulage de la paroi.

Le cisaillement le long des surfaces de reprises du clavetage entre panneaux est vérifié suivant es prescriptions suivantes.

Les éventuels efforts de cisaillement générés à l'interface horizontale entre panneaux superposés sont négligeables étant donné le blocage par les tirants verticaux. Les broches assurent principalement la reprise des efforts perpendiculaires au plan de la paroi.



A l'interface entre le béton coulé en place et le panneau préfabriqué, il convient de vérifier le cisaillement le long des surfaces de reprise (A & C) :

$$\frac{V_{Edi}}{b_w} \leq v_{Rdi}$$

Avec

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,50 \cdot v \cdot f_{cd}$$

où :

$$\rho = \frac{\sum A_s}{(b_w \times 1,00)}$$

Avec A_s la section des armatures cisailées par ml, et b_w la largeur du joint (voir Figure 1). Dans le cas de la mise en place d'une boîte d'attente crantée le long des surfaces de reprise A et C, la largeur b_w à prendre en compte dans le calcul correspond à la largeur efficace (zone crantée) de la boîte d'attente.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

σ_n la contrainte engendrée par la force normale externe à l'interface, (σ_n est positive si compression avec σ_n limitée à 0,6 f_{cd} et négative en traction. Dans ce dernier cas, retenir $c \cdot f_{ctd} = 0$). Dans le cas présent, σ_n est prise égale à 0.

$c = 0,40$ et $\mu = 0,7$ (surface rugueuse présentant des aspérités d'au moins 3 mm de haut espacées d'environ 40 mm). Pour des charges dynamiques, la valeur de c est divisée par 2. (art. 6.2.5 (5) – EC2)

$\alpha = 90^\circ$ (armatures perpendiculaires au plan de reprise)

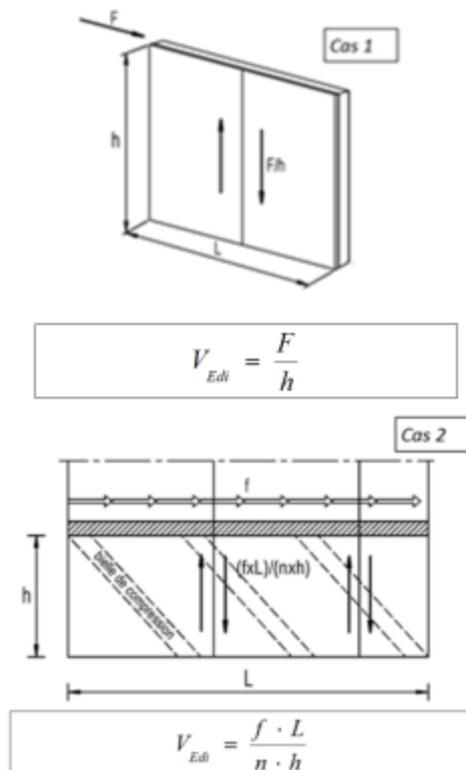
ν = coefficient de réduction de la résistance

f_{ctd} est défini au paragraphe 3.1.6 de la NF EN 1992 1-1 (résistance de calcul à la traction)

Le plan B est ferrailé avec la même section d'acier que le plan A.

Détermination de l'effort sollicitant

Dans le cas d'un mur développant une bielle de compression (cas 1) ou le cas de reprise d'une charge linéaire horizontale sur un mur développant n bielles de compression (cas 2), on peut considérer un effort sollicitant par mètre linéaire V_{Edi} :



Le coefficient de comportement q est calculé selon l'Article 5.11 de la NF EN 1998-1 pour les panneaux porteurs. Le coefficient de réduction k_p dépendant de la capacité de dissipation d'énergie des structures préfabriquées est pris égal à 1,0 – art. 5.11.1.4 – NF EN 1998-1. Les assemblages des éléments préfabriqués devront respecter les dispositions générales indiquées à l'article 5.11.2 de la norme NF EN 1998-1.

2.3.5.2. Dispositions parasismiques pour les panneaux non porteurs

Dimensionnement réalisé par le BE Structure.

Dans le cas de panneaux non porteurs ou ne participant pas à la stabilité d'ensemble du bâtiment, ces éléments sont considérés non structuraux conformément à l'article 4.3.5 de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale. Un coefficient de comportement q_a égal à 1 est retenu. Les fixations à la structure doivent être dimensionnées pour une utilisation en béton fissuré.

Le dimensionnement des fixations des panneaux à la structure (rails et douilles sous Agrément Technique Européen) est effectué en déduisant la charge résistante de calcul de la charge de calcul statique déterminée selon les ATE par application à cette dernière d'un coefficient égal à 2,5.

La structure comportant des panneaux non porteurs doit être dimensionnée à l'état de limitation des dommages suivant le § 4.4.3.2 de la norme NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale.

2.3.5.3. Dispositions parasismiques pour la paroi extérieure

Dimensionnement réalisé par le BE Structure.

Il conviendra de calculer l'effort sismique que génère la peau librement dilatable suivant l'Article 4.3.5 de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale et de vérifier que :

$$F_{a(horizontal)} = \frac{(S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a)}{q_a} \leq V_{rd,sis} \times n$$

Avec :

n : Nombre d'ancres reprenant l'effort sismique F_a (1 cylindre ($n=1$) ou 2 plats ($n=2$))

$V_{rd,sis}$: Charge résistante de calcul en situation sismique par ancre déterminée conformément aux prescriptions des Avis Techniques en cours de validité dont relève le dispositif d'accrochage utilisé.

q_a = coefficient de comportement pris égal à 1.

La vérification de la largeur des joints entre les panneaux est effectuée par le bureau d'études de DECOMO.

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 et de fabrication) afin d'éviter le risque d'entrechoquement entre deux panneaux contigus :

$$u_{sis} = \frac{F_{a,ind}}{K_{dyn}}$$

avec :

u_{sis} : déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique

$$F_{a,ind} = \frac{F_{a,horizontal}}{n}$$

K_{dyn} : raideur moyenne en cisaillement dynamique des ancrs porteuses (cylindres ou plats) donnée dans les Avis Technique en cours de validité dont relève le dispositif d'accrochage utilisé.

u_j : largeur des joints (avec prise en compte des tolérances de pose et de fabrication : voir le §2.2.2.1.5 « Joints d'étanchéité entre panneaux »)

Dans le tableau ci-dessous sont indiquées les valeurs du coefficient « k_{ampli} » par lequel il faut multiplier le poids de l'élément non structural pour obtenir la force sismique horizontale appliquée à un élément de façade (à défaut d'un calcul précis suivant le §4.3.5 de la NF EN 1998-1 tenant compte de la situation de l'ouvrage, de la classe de sol, ...).

Valeurs du coefficient « k_{ampli} » :

Catégorie	Zones sismiques			
	1	2	3	4
I				
II			1,11	1,61
III		0,85	1,33	1,94
IV		0,99	1,55	2,26

2.3.5.4. Dispositions parasismiques pour les systèmes de liaison entre parois

Les dispositifs d'accrochage doivent être dimensionnés conformément aux prescriptions de l'Avis technique en cours de validité dont ils relèvent, de manière à reprendre les efforts dus à l'action sismique dans les conditions prévues au chapitre 4.3.5 de la norme NF EN 1998-1 avec un coefficient q_a pris égal à 1. A défaut de justification particulière, la composante horizontale de l'effort dû à l'action sismique doit être reprise par l'ancrage principal, soit un cylindre ou 2 plats seul dont les charges admissibles en situation sismique sont indiquées dans l'Avis Technique en cours de validité du procédé. De plus, l'ancrage principal doit se situer dans une zone de béton fretté.

2.3.6. Isolation acoustique intérieure

En cas d'exigence acoustique, les joints verticaux doivent être remplis du côté intérieur et extérieur par un mastic souple.

Par ailleurs, les dormant des menuiseries doivent être au moins partiellement en applique sur la paroi intérieure.

A défaut de justification particulière, l'isolement entre deux pièces contiguës d'un même niveau ne peut être atteint qu'avec des parois intérieures de panneaux de bardage d'épaisseur d'au moins 18 cm.

A défaut de justification particulière, l'isolement entre deux pièces superposées ne peut être atteint avec des panneaux de bardage que par interposition de bandes anti-vibratiles au droit des joints horizontaux (au niveau des nez de plancher), le remplissage des joints par un mortier de matage étant proscrit pour éviter une configuration de jonction acoustique « filante » entre deux niveaux.

Dans tous les cas où les murs de façade sont réalisés avec les panneaux de bardage, leurs jonctions avec les nez de refends et de planchers doivent être traités avec des joints souples.

Dans le cas de panneaux porteurs, les indices acoustiques k_{ij} sont assimilables à ceux d'une jonction en T en béton homogène. Les performances acoustiques de l'ouvrage peuvent alors être calculés à l'aide des normes européennes de calcul En 12354-1 à 4. De plus, les épaisseurs des murs de refends et de planchers vis-à-vis de l'isolement acoustique peuvent être surdimensionnées pour tenir compte de la faible épaisseur éventuelle des parois intérieures des panneaux porteurs.

2.4. Dispositions de mise en œuvre

2.4.1. Transport des panneaux

Transport des éléments, verticalement, à l'aide de remorques porte-panneaux.

Les panneaux sont chargés sur remorques, sur des supports appropriés fixés sur la remorque porte-panneau. Afin que le déchargement d'un élément ne compromette pas la stabilité du reste du chargement, les panneaux sont arrimés au support indépendamment les uns des autres. Les liaisons individuelles sont supprimées lorsque le panneau est repris par la grue conformément à la notice de manutention jointe en annexe au 1^{er} Bon de Livraison.

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.

Les panneaux sont vérifiés à la réception du transport et les anomalies éventuelles sont consignées sur le Bon de Livraison.

2.4.2. Levage des panneaux

L'entreprise Decomo n'assure pas le déchargement sur chantier.

Les panneaux sont levés à l'aide d'une grue, de puissance adaptée au poids des panneaux. Il est important de prendre des précautions pour la manutention des panneaux de grande dimension.

L'aptitude au levage n'est pas visée dans cet Avis.

2.4.3. Pose des panneaux

L'entreprise Decomo n'assure pas la pose des éléments.

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

La mise en œuvre des éléments doit être conforme à la partie 1 Titre III du DTU 22.1, notamment en ce qui concerne les matériaux utilisés, la pose des panneaux, la prévention des accidents, le réglage et les tolérances, la réalisation des jonctions des panneaux et la réalisation des dispositifs d'étanchéité des joints.

Les menuiseries doivent être conçues pour permettre la mise en place, dans le joint entre dormant et panneaux en béton, d'une garniture extérieure d'étanchéité à l'eau (mastic sur fond de joint) et d'une garniture intérieure d'étanchéité à l'air. 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.

Le relevé d'étanchéité des planchers haut extérieur (par exemple toiture-terrasse) n'est pas admis sur la peau extérieure des murs.

Le traçage complet de la position des panneaux (épaisseur de la paroi intérieure + isolant + épaisseur de la paroi extérieure) est réalisé sur une façade complète avec les premiers retours de chaque côté. Les épaisseurs de joints sont également tracées. Ce traçage permet d'assurer la précision de la pose de la première levée de panneaux. La compensation des épaisseurs de joints se fait à ce niveau pour rattraper les écarts entre les cotes théoriques du gros œuvre servant d'assise et les cotes réelles.

Durant la mise en œuvre des panneaux, les tolérances de pose à respecter sont conformes au Cahier des charges du DTU 22.1 (mai 1993) paragraphe 6.4. Il peut être défini des précisions plus grandes par les documents particuliers du marché.

L'objet de ces tolérances est d'assurer un bon fonctionnement des joints, des ouvrages et, pour certaines d'entre elles, par le souci de la régularité de l'aspect extérieur des bâtiments

Les tolérances de mise en œuvre à respecter sont :

Désaffleurement maximal entre panneaux superposés ou adjacents	6 mm
Tolérance sur la largeur des joints verticaux extérieurs	5 mm
Différence de largeur de part et d'autre du croisement de joints	10 mm
Tolérance sur l'épaisseur des joints horizontaux extérieurs	10 mm
Ecart maximal de verticalité sur une hauteur d'étage	5 mm
Ecart maximal de verticalité sur l'ensemble d'un mur : 60 mm (pour des bâtiments élevés).	60 mm
La largeur des joints devra respecter les prescriptions du § 2.2.2.1.5 « ».	Cf. §2.2.2.1.5

2.4.3.1. Pose sur cales

Le matériau utilisé pour la confection des cales doit être d'une déformabilité au moins égale à celle du mortier durci.

Dans le cas contraire, les cales doivent être retirées après remplissage du joint horizontal. Le retrait des cales est effectué lorsque le mortier est susceptible de porter le poids du panneau et du plancher supérieur.

Après retrait des cales, un matage complémentaire au mortier sans retrait est fait dans les empreintes.

Les cales sont généralement en plastique. Elles sont positionnées en fonction du traçage préalable des panneaux.

Un dispositif de cordon de mousse est disposé afin d'empêcher la chute du mortier dans la partie extérieure du joint horizontal lors du remplissage ultérieur du joint.

Une précision particulière pour l'interposition des cales en polyéthylène de manière sensiblement centrée par rapport à l'axe du voile porteur, afin de ménager, du côté de l'isolant, un espace suffisant pour faire filer en continuité le cordon d'étanchéité.

Dans le cas des panneaux porteurs, le joint en pied de panneau doit être entièrement rempli avec un mortier sans retrait, sur une hauteur minimale de 1 cm toute tolérance épuisée.

Le mortier de pose ne doit pas être disposé sous la paroi extérieure.

Aucune cale ne doit être disposée au niveau de la peau extérieure.

2.4.3.2. Pose avec bétonnage de clavetages :

Dans l'attente du bétonnage, le panneau doit reposer sur des dispositifs spéciaux (cales) permettant le réglage en hauteur.

Ces dispositifs doivent avoir une déformabilité au moins égale à celle du béton durci. Dans le cas contraire, ils doivent être retirés après durcissement suffisant du béton.

2.4.3.3. Réglage

Le réglage doit comprendre le réglage transversal (perpendiculairement au plan du mur), le réglage longitudinal, le réglage de hauteur et le réglage de verticalité.

Le cas d'une pose sur cales permet une meilleure précision de réglage en 3 dimensions du panneau avec l'aide des étais tire-pousse.

2.5. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.5.1. Fabrication

Elle s'effectue dans l'usine Decomo de Mouscron en Belgique, sur des tables de préfabrication horizontales.

Le voile extérieur est coulé en fond de moule.

Le cycle de production se déroule dans l'ordre suivant :

1. Après nettoyage de la table et des joues de coffrage, mise en place des différents éléments de coffrage ;
2. Mise en place des encadrements de baies ou portes si nécessaire ;
3. Mise en place de l'agent de démoulage ou de retardateur de prise dans le cas de gravillons lavés ;
4. Mise en place de l'armature du voile extérieur avec interposition de cales intercalaires pour garantir l'enrobage. Mise en place des ancrs porteuses et de liaison entre les deux voiles ;
5. Mise en œuvre du béton de parement et vibration de la table ;
6. Mise en place de l'isolant ;
7. Mise en place des armatures et des différents accessoires de levage et fixation du voile intérieur ;
8. Bétonnage du voile intérieur ;
9. Décoffrage, à l'aide de ponts roulants lorsque le béton a atteint une résistance minimum à la compression de 15 MPa ;
10. Traitement éventuel du parement extérieur (béton désactivé, béton acidé, polissage, sablage, ...).

Après maturation du béton, relevage de la table et manutention des éléments à l'aide de ponts roulants.

Après traitement éventuel du voile extérieur stockage des éléments en sortie d'usine, verticalement, dans des racks de stockage.

Afin d'éviter que les épingles de liaison reprennent le poids propre du voile extérieur (majoré éventuellement de l'effort d'adhérence au démoulage), la mise en position verticale du panneau doit obligatoirement être faite par l'intermédiaire d'une table relevante.

2.5.2. Contrôle interne

Durant le processus de production la qualité est assurée par le personnel de production suivant la procédure qualité décrite dans le manuel qualité.

Le système qualité consiste en un contrôle permanent exécuté par les ouvriers de production : il y a un contrôle après mise en place du coffrage (A), après mise en place des armatures (B), après bétonnage (C), après décoffrage (D) et avant chargement (E).

Chaque panneau est muni d'une étiquette d'identification qui précise les contrôles (D) et (E) réalisés.

Les éléments qui nécessitent des réparations ou des ragréages sont placés dans la zone de réparation.

Un contrôle final est réalisé avant chargement pour livraison (E).

Le processus de fabrication des panneaux doit comporter un contrôle sur :

- La bonne orientation des dispositifs principaux de liaison entre voiles de béton avant bétonnage ;
- La bonne implantation vis à vis des bords du panneau des inserts métalliques assurant l'ancrage des équerres galvanisées notamment ;
- Le respect des conditions d'enrobage des armatures non protégées contre la corrosion ;
- Les résistances caractéristiques à la compression du béton constituant les deux voiles ;
- Les dimensions du panneau.

Conforme à la norme NBN EN ISO 9001 et 14.001

Contrôleurs externes : SECO

Contrôle externe réalisé par le CERIB, 2 fois par an, concernant principalement, les essais béton, les cahiers internes de contrôle et les réclamations.

2.5.3. Marquage

Tous les éléments sont identifiés à l'aide d'une étiquette apposée sur chaque élément et contenant les données suivantes :

- Date de production ;
- Poids de l'élément ;
- Numéro de la table de production ;
- Repère de l'élément ;

- Nom du client ou du projet ;
- Numéro et code du dossier de commande ;
- Nom de l'usine de production ;
- Numéro CE ;
- Numéro D.O.P. (Déclaration de performance).

2.6. Mention des justificatifs

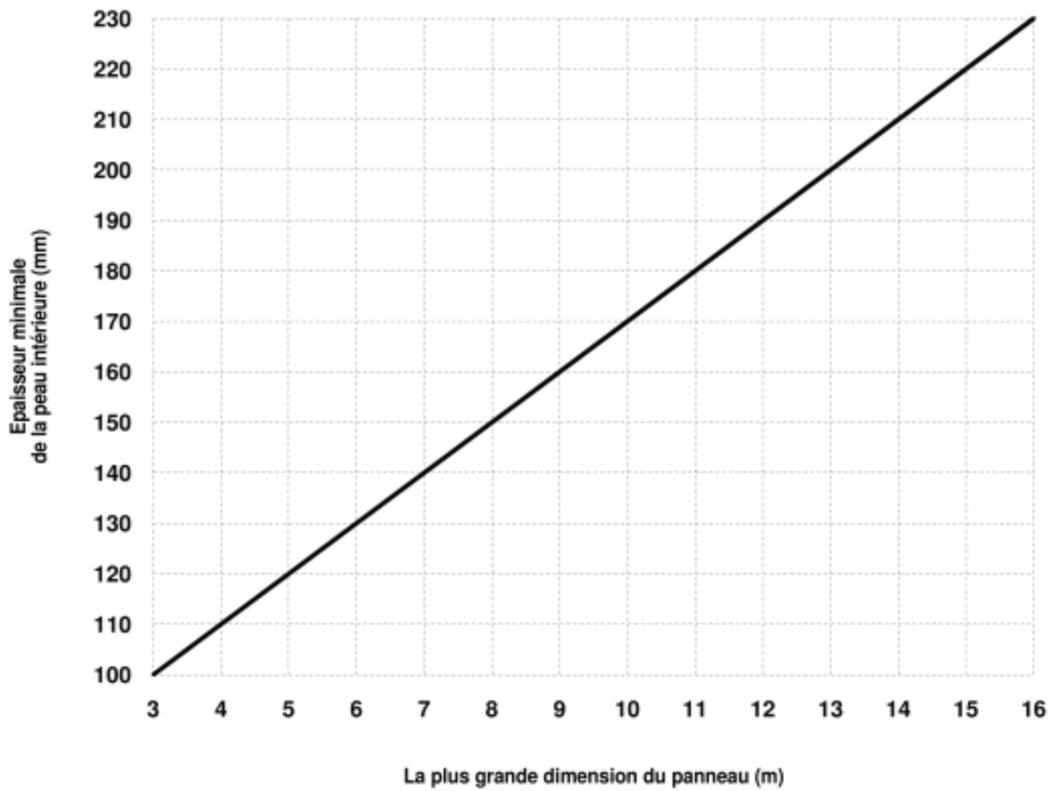
2.6.1. Résultats expérimentaux

- Appréciation de laboratoire N°AL15-165_v3, « Tenue au feu des panneaux sandwichs de façade en béton armé DECOMO ». Septembre 2023
- Essais de cisaillement réalisés sur les ancrages principaux SP-MVA, SP-FA et SP-SPA de la société HALFEN.
- Essais d'arrachement des épingles de la société HALFEN.
- Essais de caractérisation en cisaillement sur les ancrages cylindres MA et plats FA de la société Fixinox.
- Essais d'arrachement sur les épingles NVH et NVB de la société Fixinox.

2.6.2. Références chantiers

Année	Chantier	Ville	Pays	Façade m ²	Porteur/ Non porteur
2012	Le CREUSET	Fresnoy	F	800	NP
2012	ILOT THOREL	Louviers	F	2300	P
2013	EFIDIS BELLIARD	Paris	F	580	P
2014	PÔLE JUDICIAIRE	Pontoise	F	2875	NP
2014	ZAC SAUSSURE	Paris	F	1400	P
2017	CHAPELLE INTERNATIONAL LOT F	Paris 10 ^{ème}	F	6000	P
2017	DENFERT-ROCHEREAU	Paris 14 ^{ème}	F	2500	P
2018	RESIDENCE SOLEIL 241 logements	Noisiel	F	4000	P

2.7. Tableaux et figures du Dossier Technique



LIMITE POIDS = 24T

Figure 1: Epaisseur minimale de la paroi intérieure en fonction de la plus grande dimension du panneau

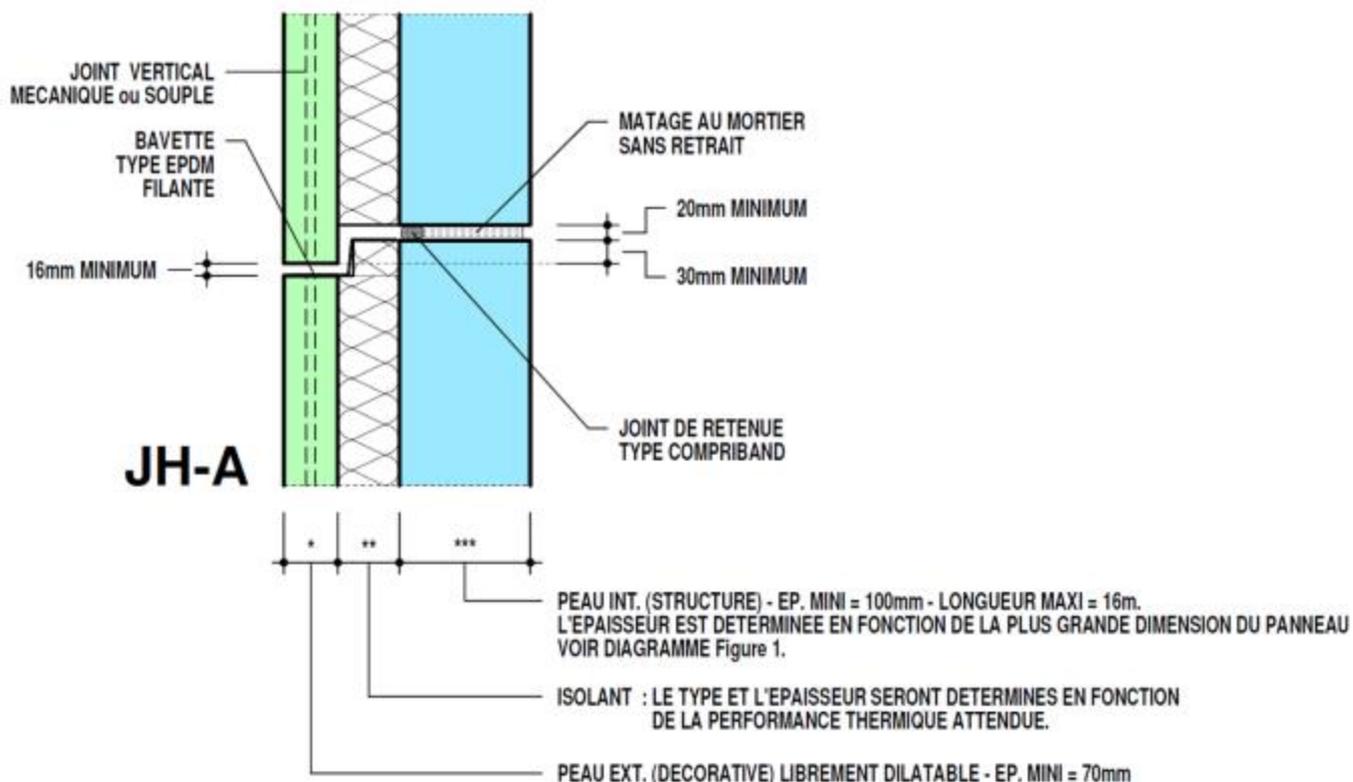


Figure 2 : Joint horizontal – solution 1

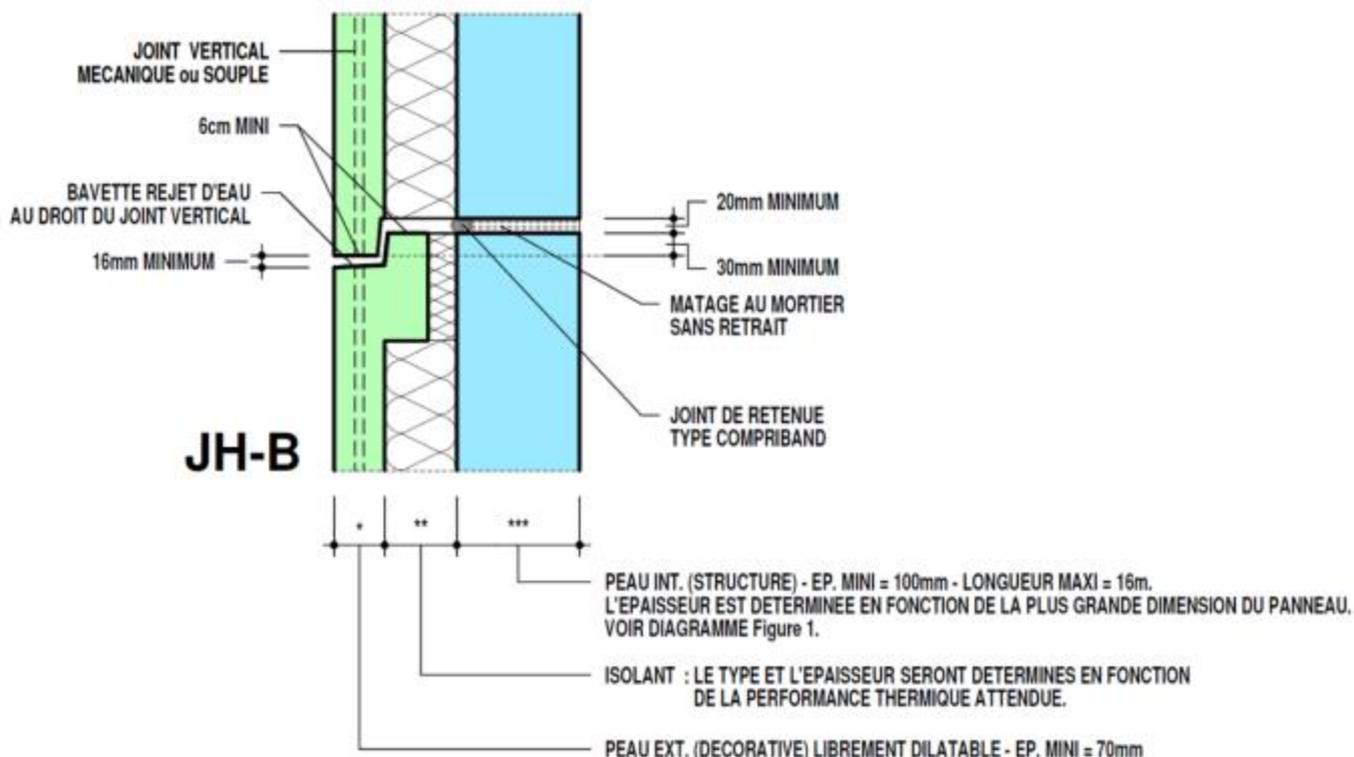
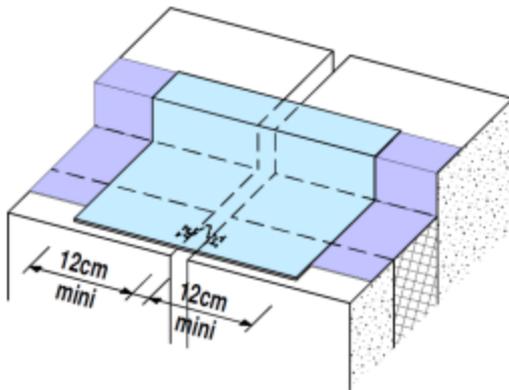
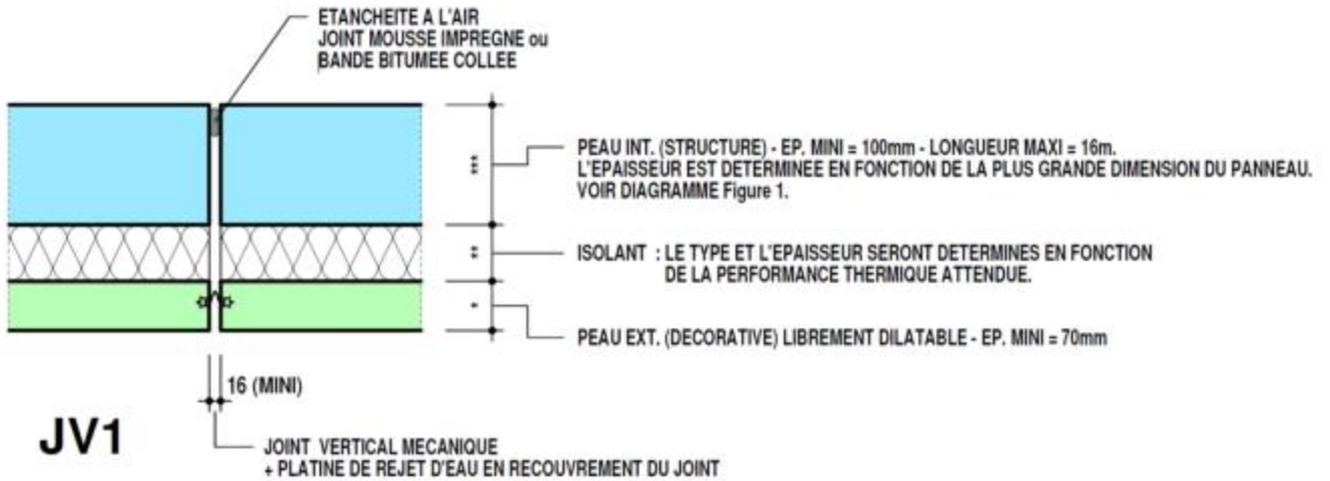
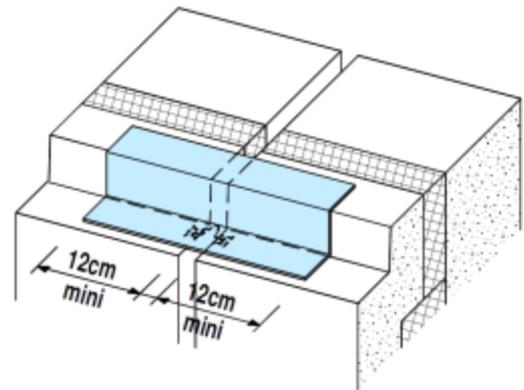


Figure 3: Joint horizontal - Solution 2

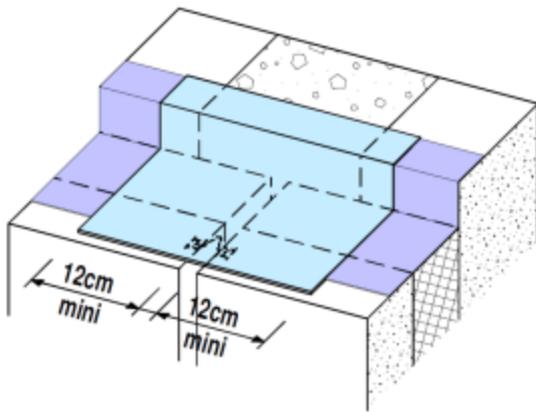
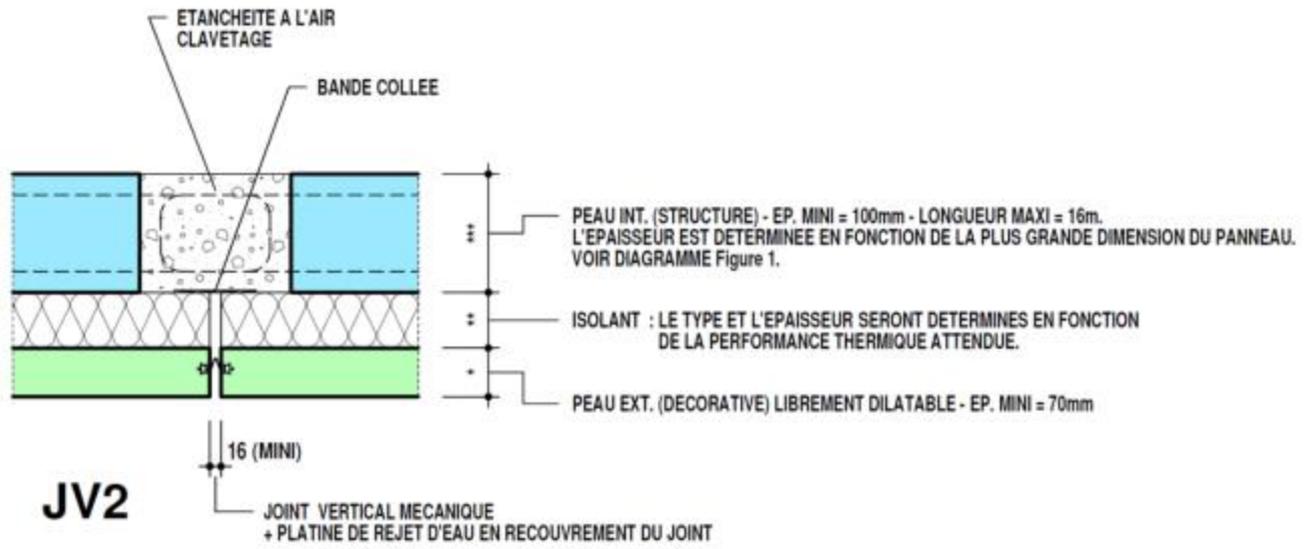


RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL

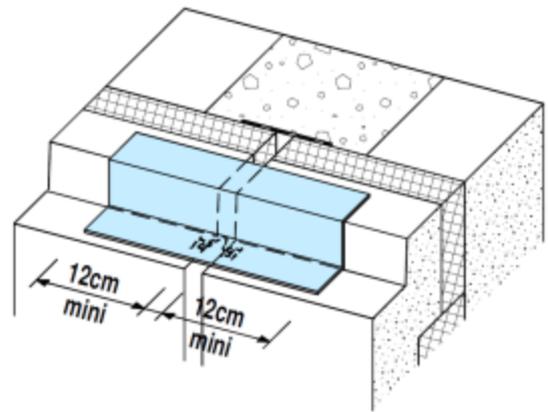


RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL

Figure 4 : Joint vertical - solution 1

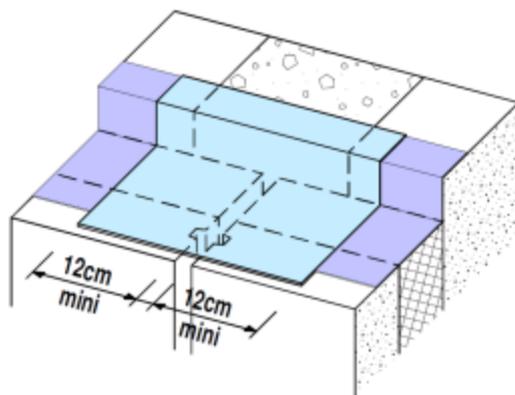
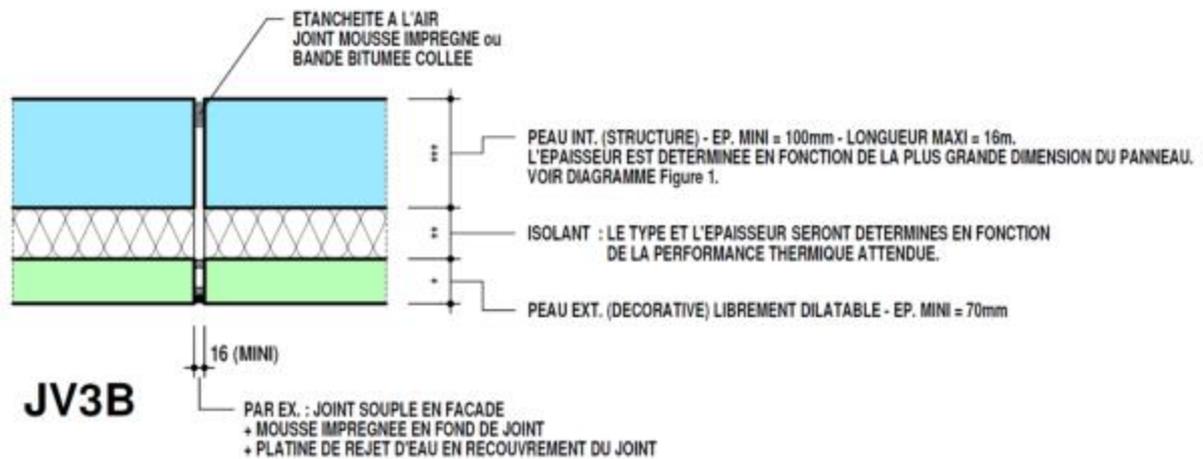
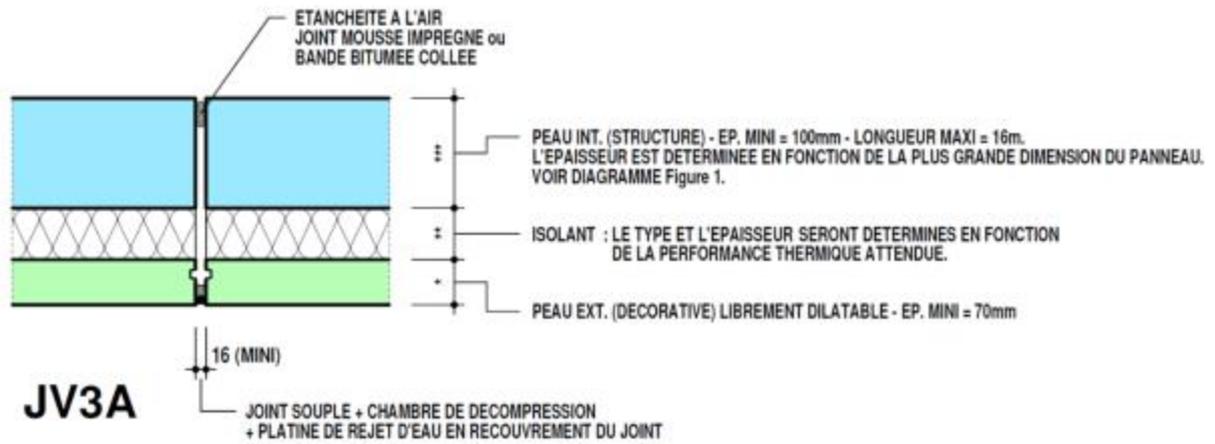


RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL

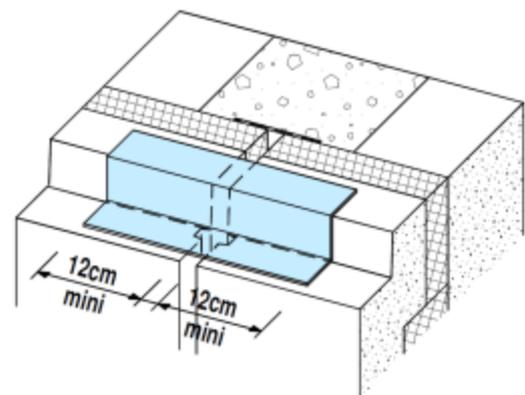


RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL

Figure 5: Joint vertical- solution 2

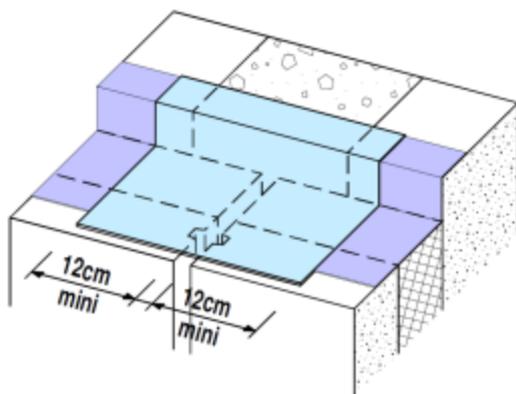
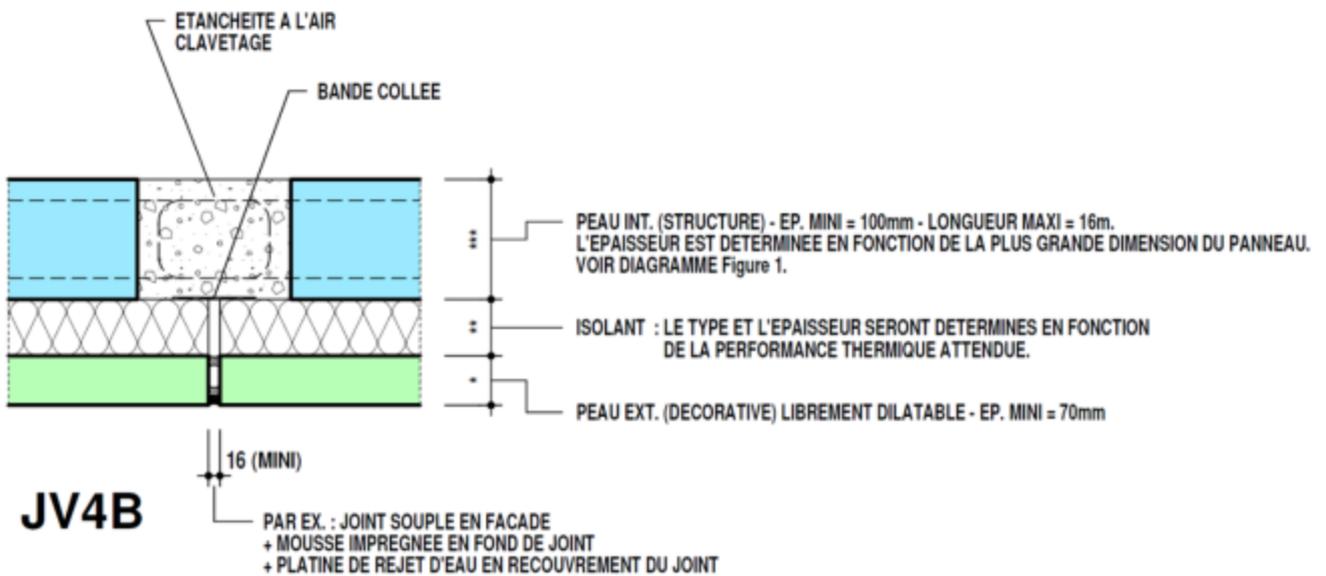
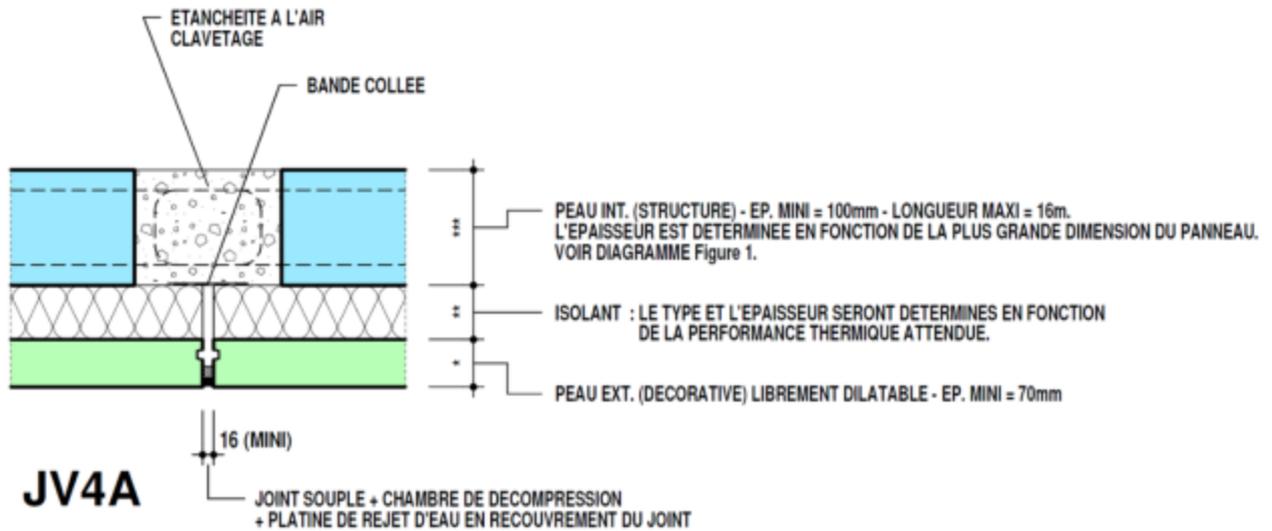


RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL

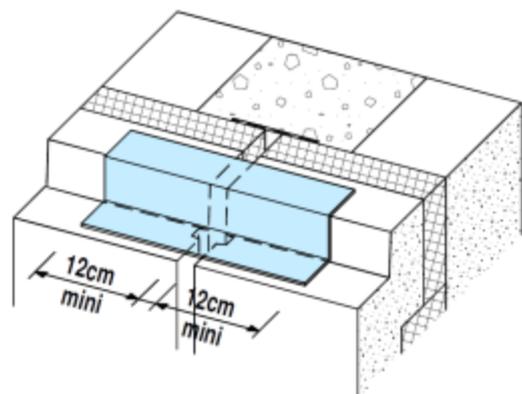


RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL

Figure 6: Joint vertical- solution 3



RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL



RECOUVREMENT DU JOINT VERTICAL

Figure 7 : Joint vertical- solution 4

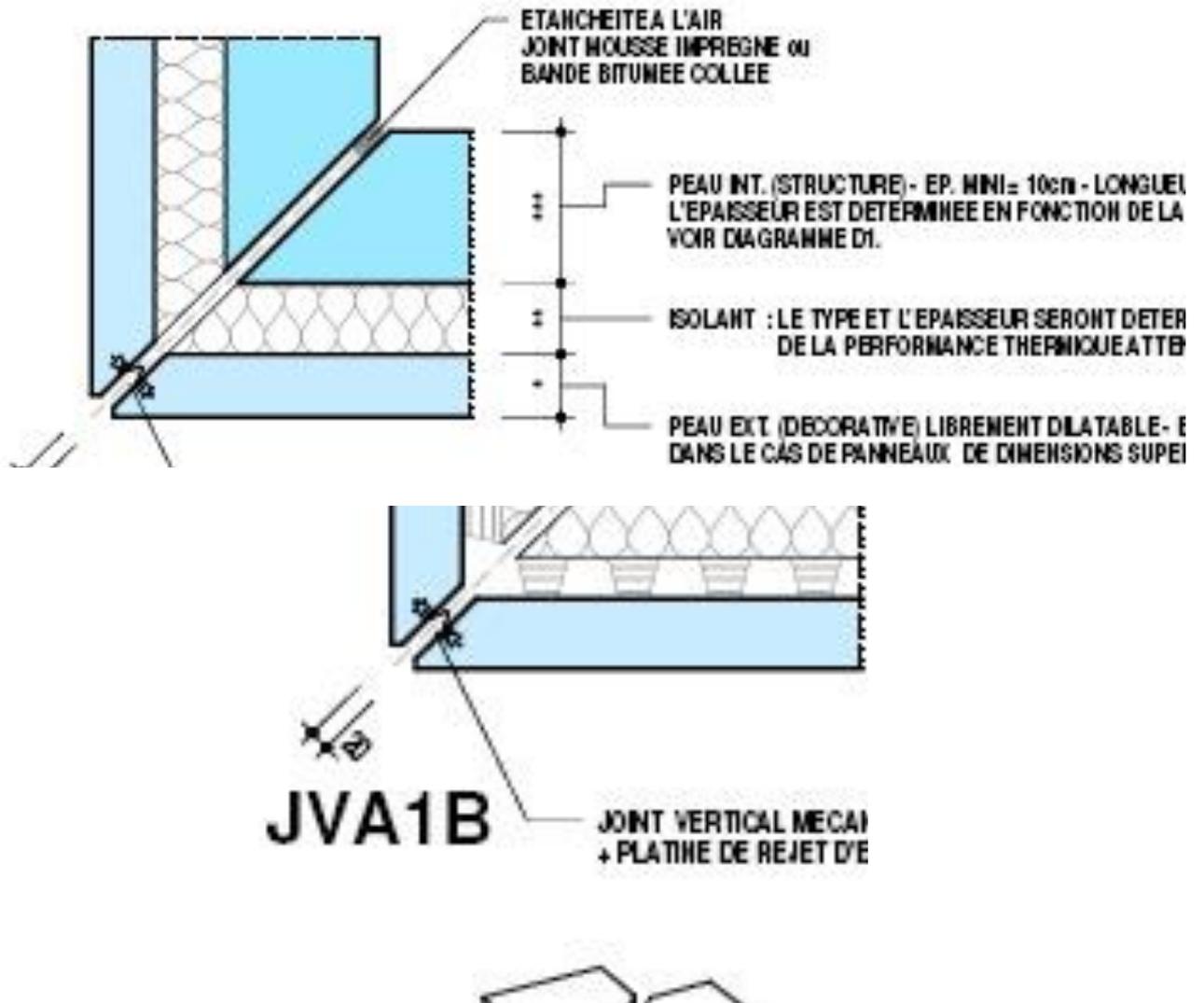


Figure 8 : Joint vertical – Coupe d'onglet avec joint mécanique

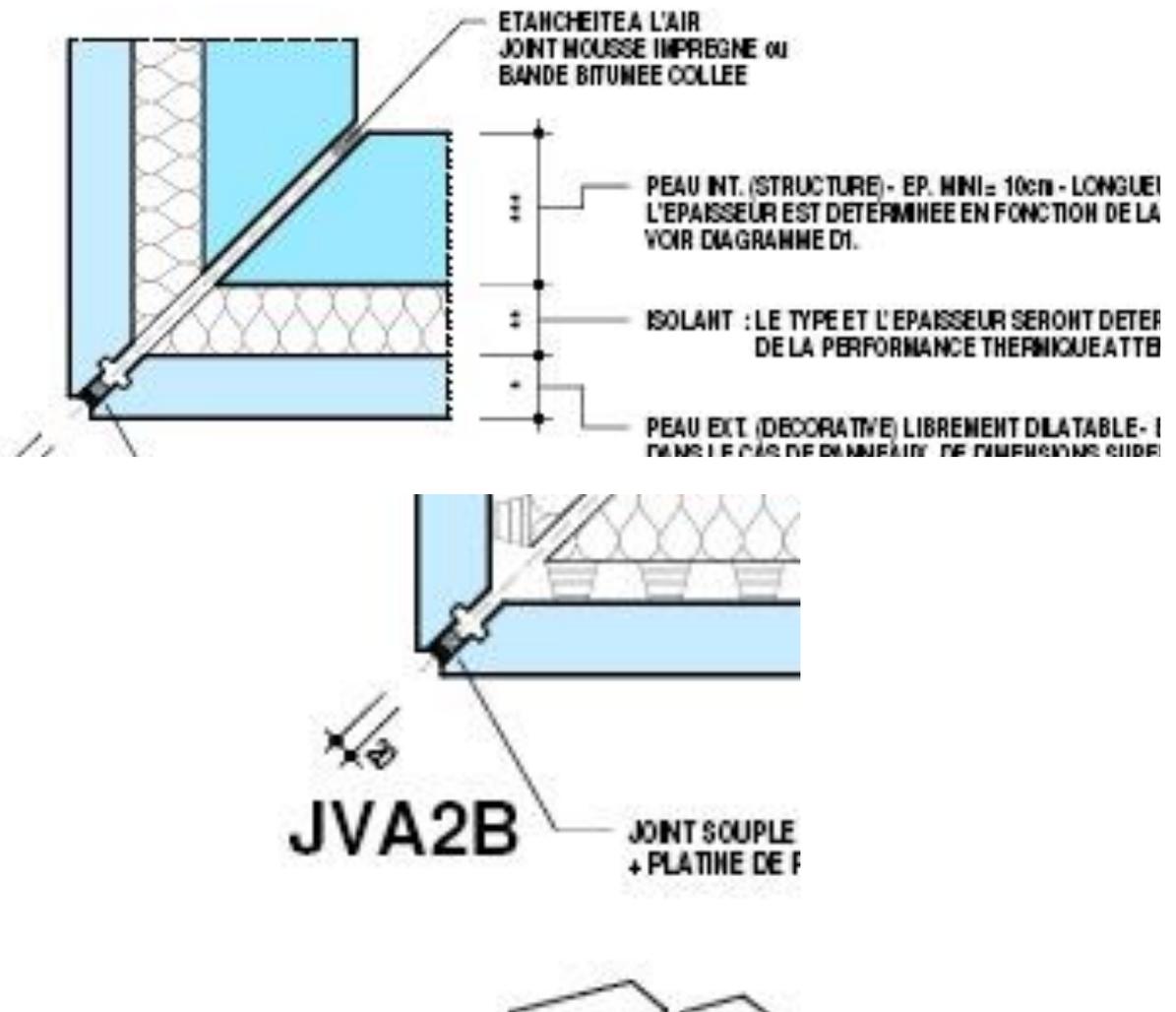


Figure 9: Joint vertical – Coupe d'onglet avec joint souple



= Laine de Roche Périphérique (Protection IT 249) - Largeur 10cm min.

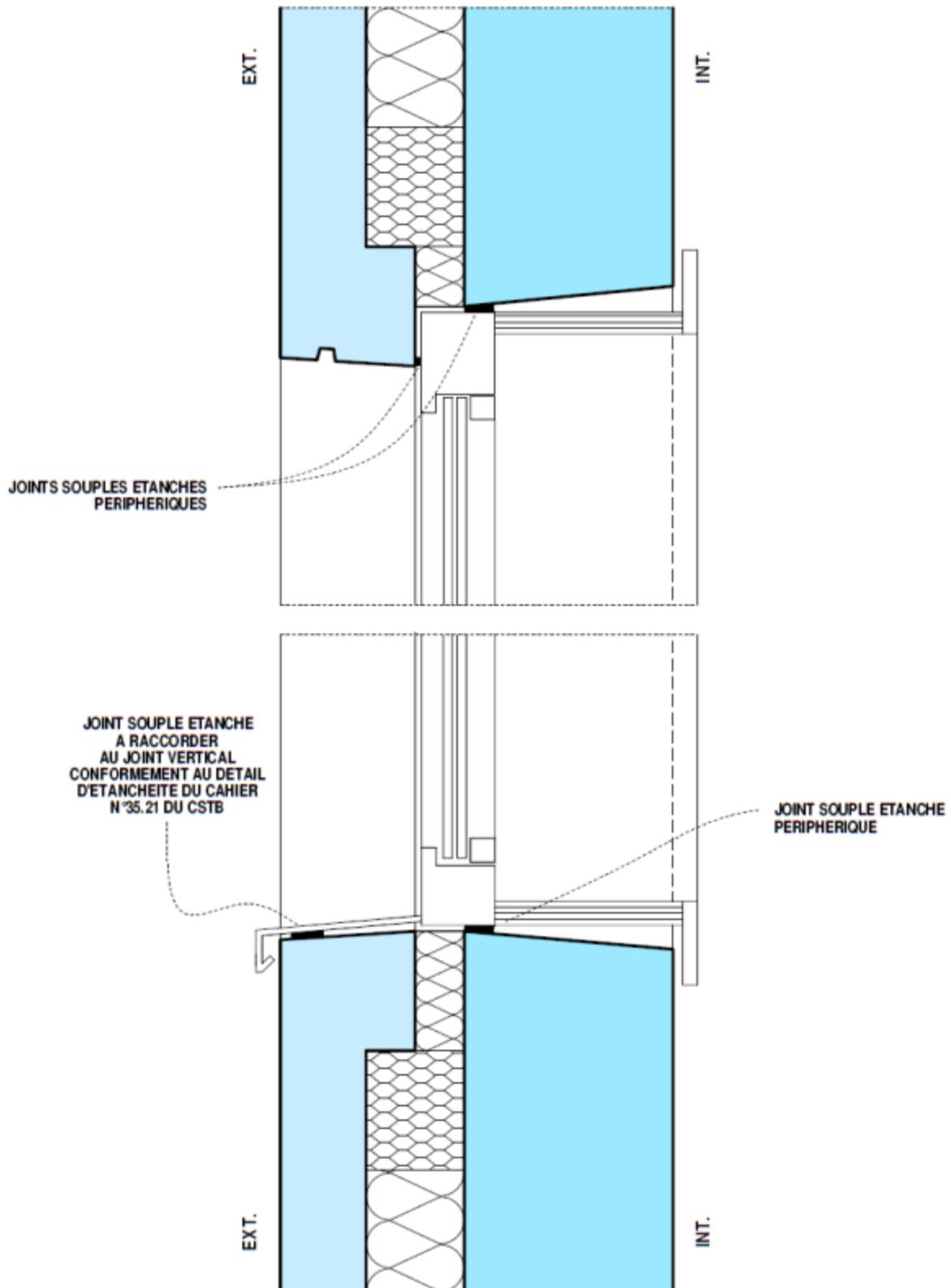


Figure 10 : traitement des menuiseries – solution 1

 = Laine de Roche Périphérique (Protection IT 249) - Largeur 10cm min.

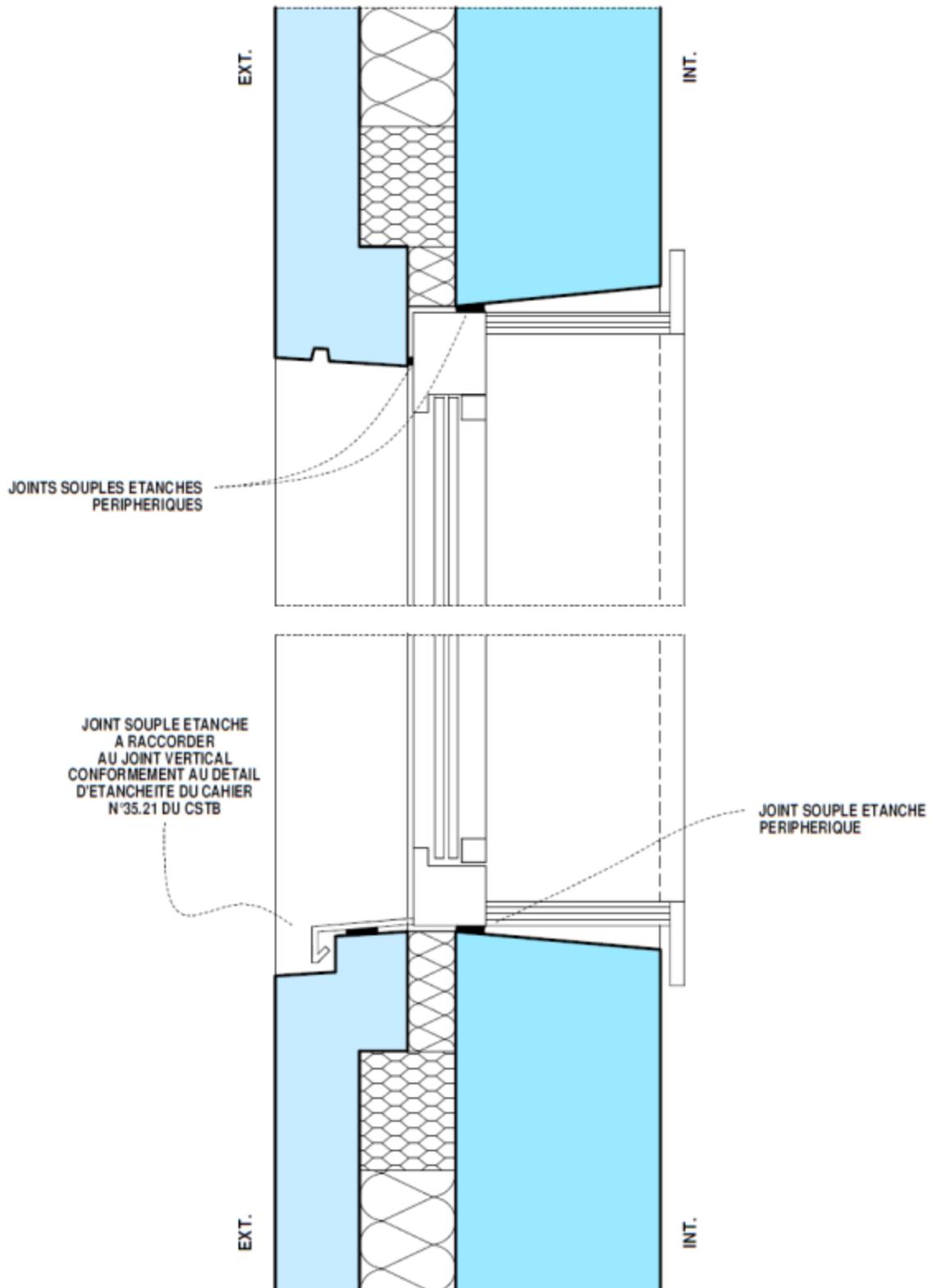


Figure 11 : traitement des menuiseries – solution 2

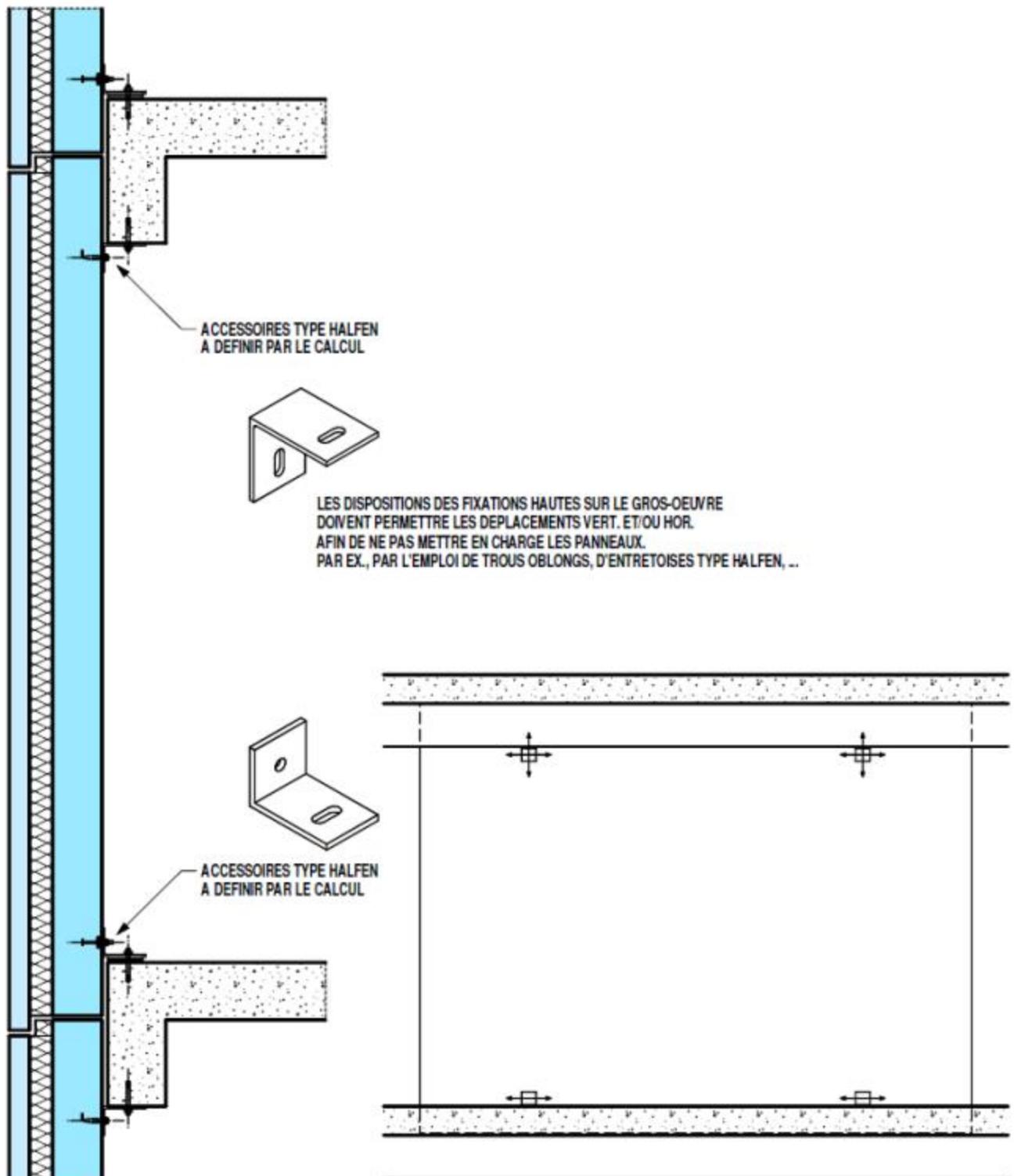


Figure 12 : Exemple de fixation des panneaux d'habillage

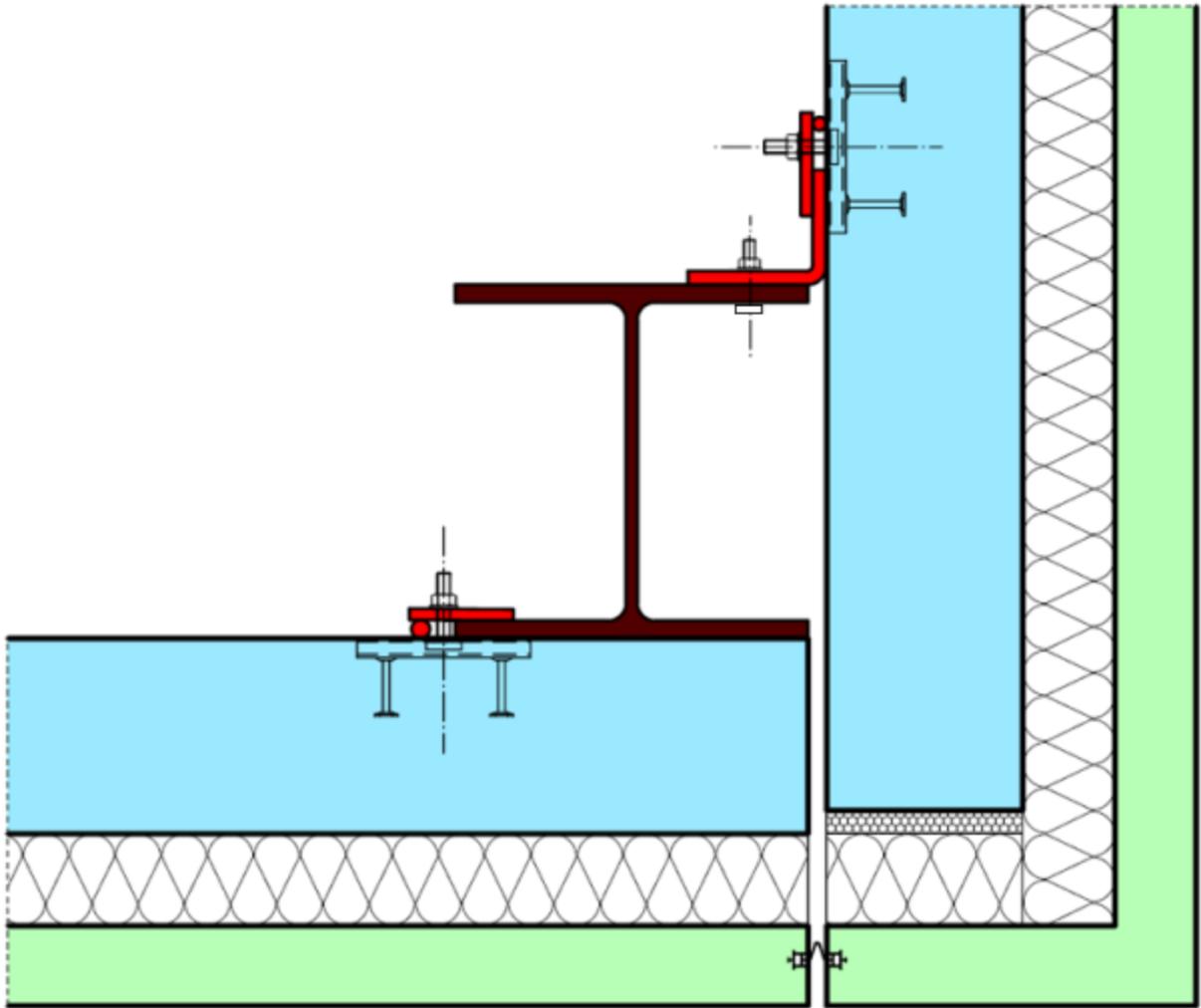


Figure 13 : Fixation sur ossature métallique – hors zone sismique

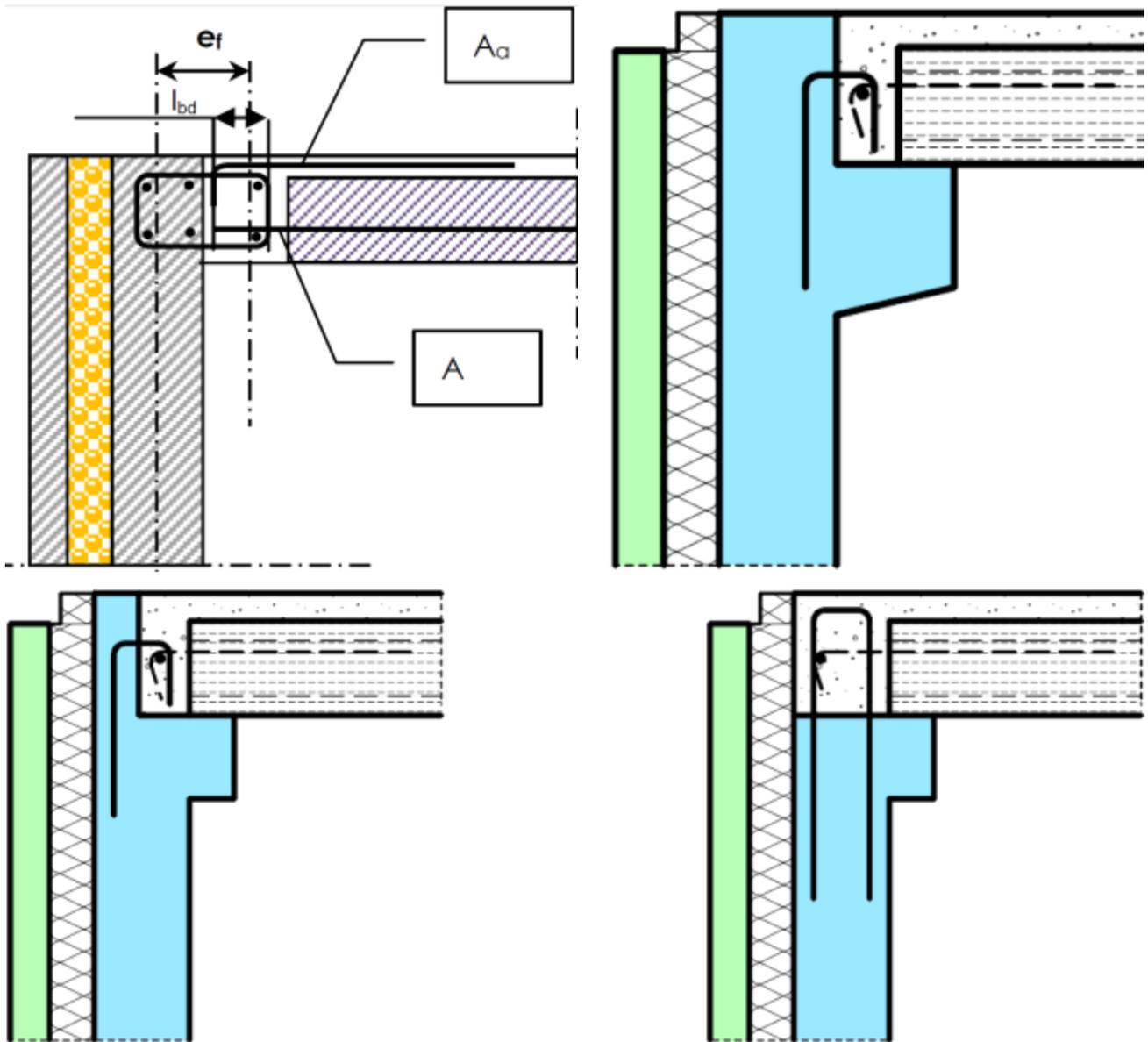


Figure 14 : liaison avec plancher en béton à dalles alvéolaires

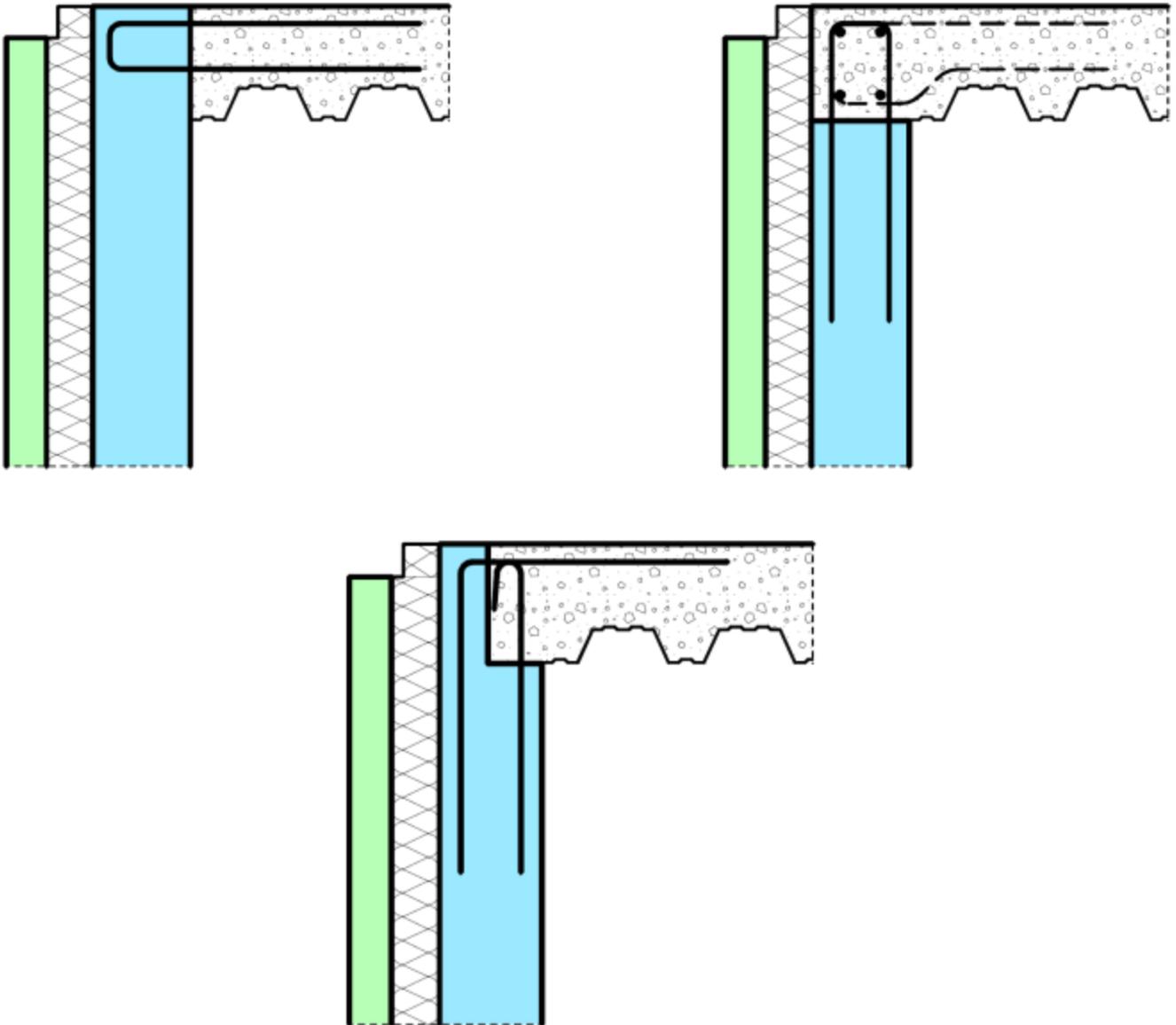


Figure 15 : liaison avec plancher en béton à bac métallique collaborant dans le sens perpendiculaire aux bacs

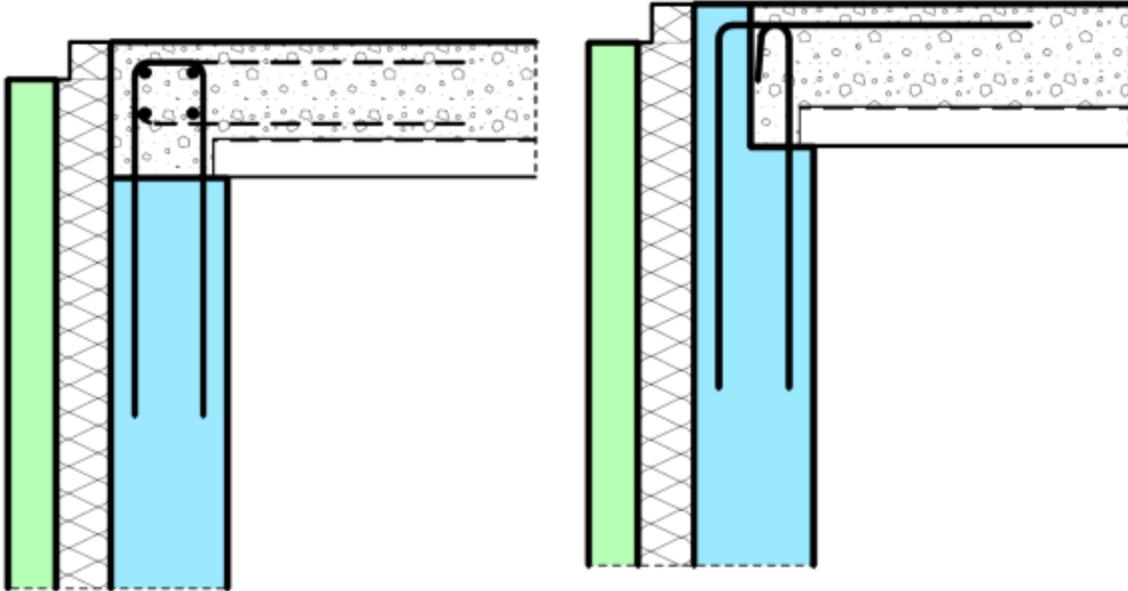


Figure 16 : liaison avec plancher en béton à bac métallique collaborant dans le sens porteur de bac

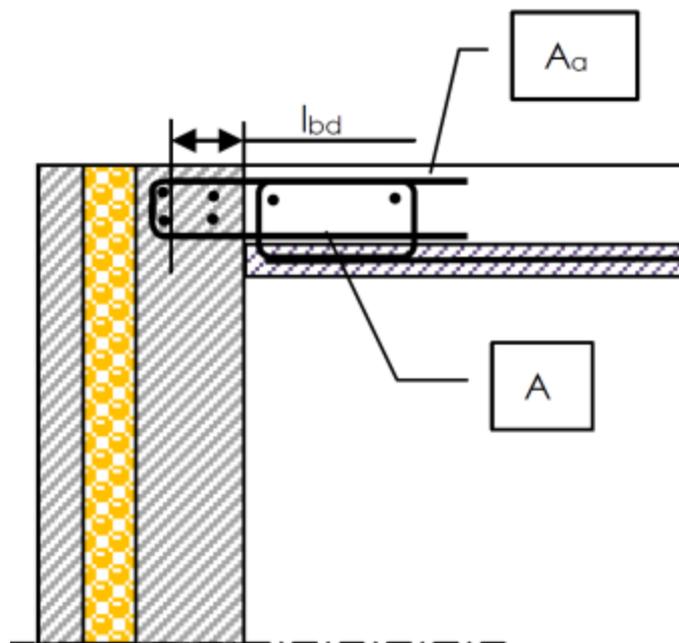


Figure 17 : liaison avec plancher en béton à prédalle suspendue – hors zone sismique

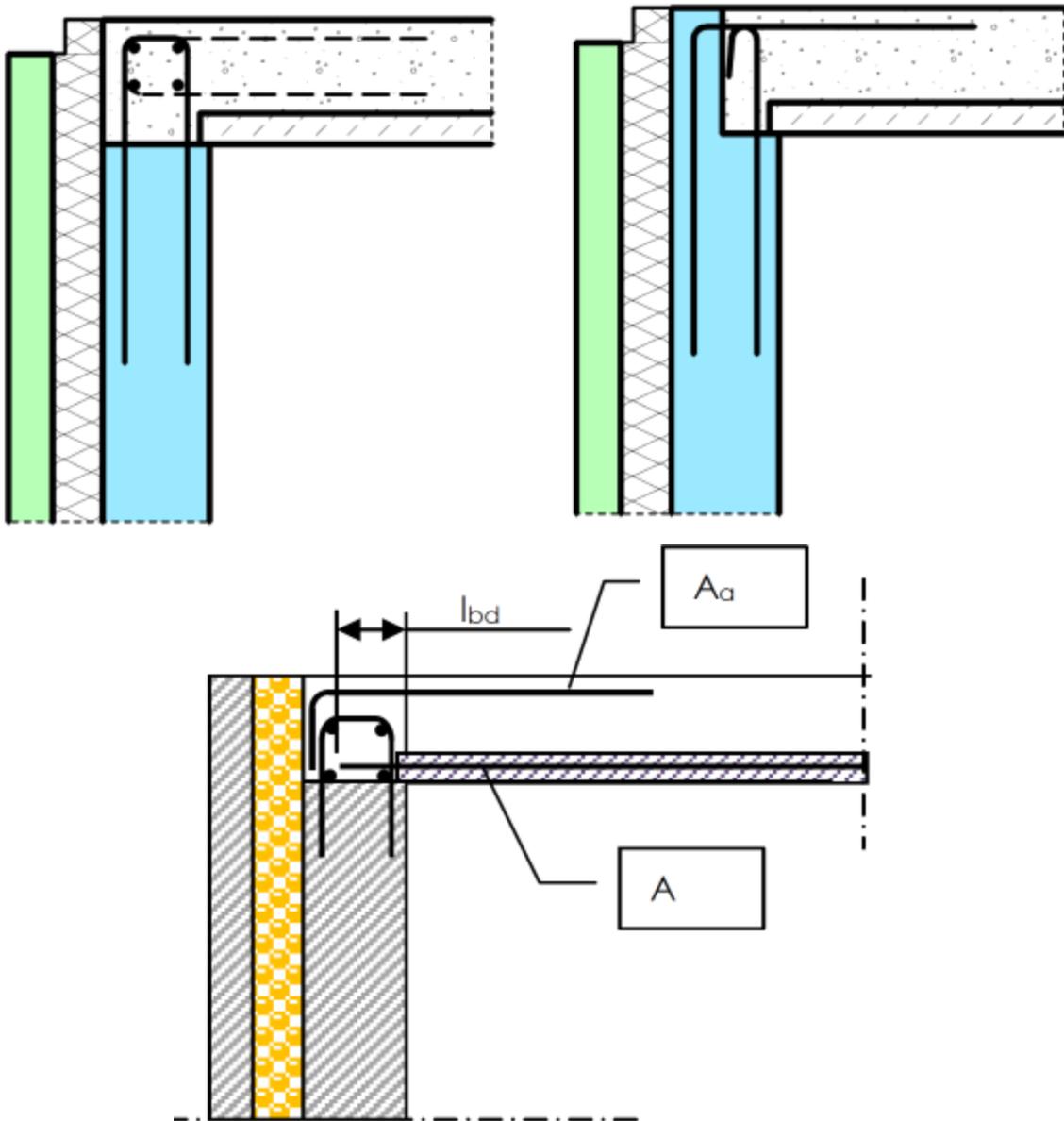


Figure 18 : liaison avec plancher en béton à prédalle

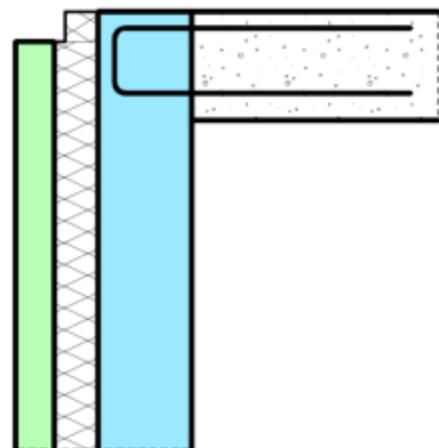
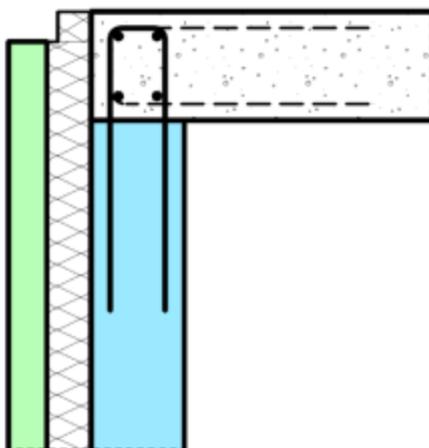
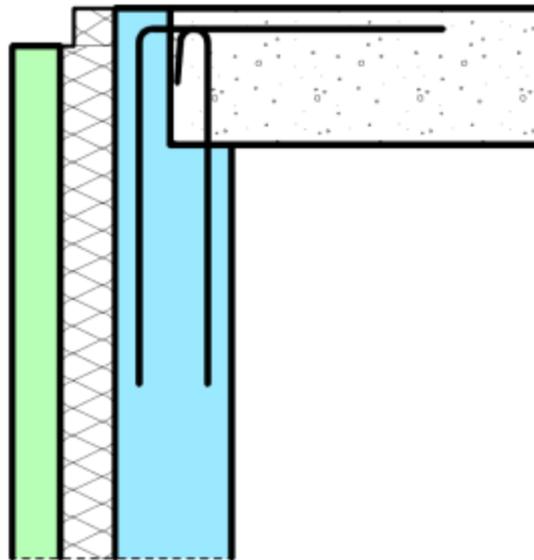
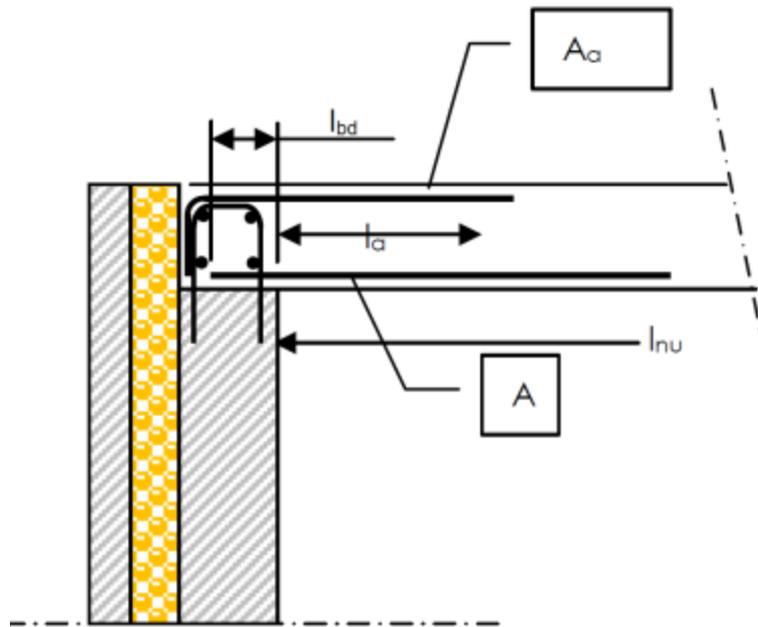
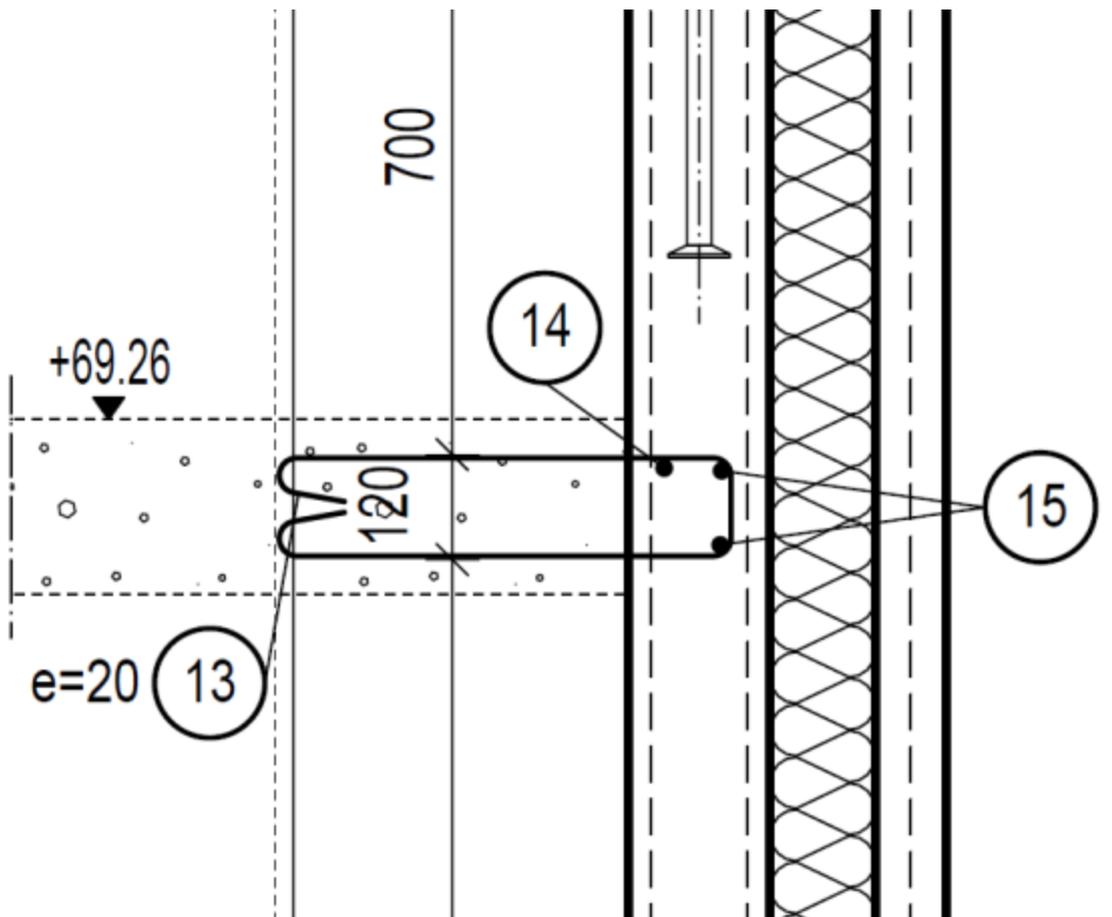


Figure 19 : liaison avec plancher en béton coulé en place



13	34	8	HA	1.360		46.24	18.26
14	3	10	HA	3.260		9.78	6.03
15	6	10	HA	3.370		20.22	12.48

Figure 20 : Exemple de ferrailage au droit d'une jonction panneaux - dalle coulée en place

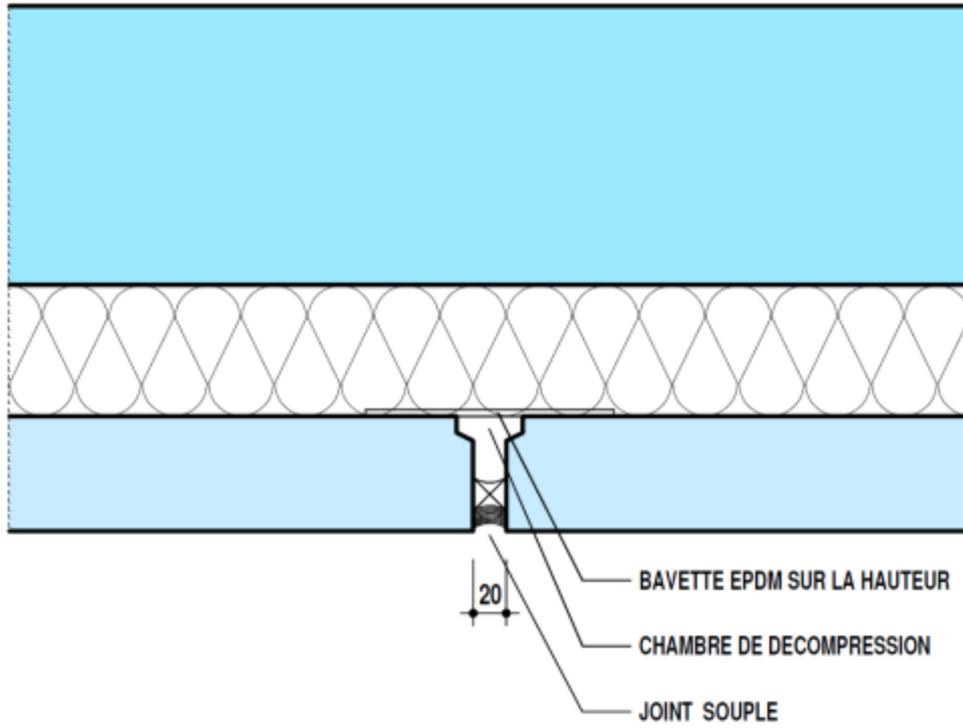


Figure 21 : joint de fractionnement

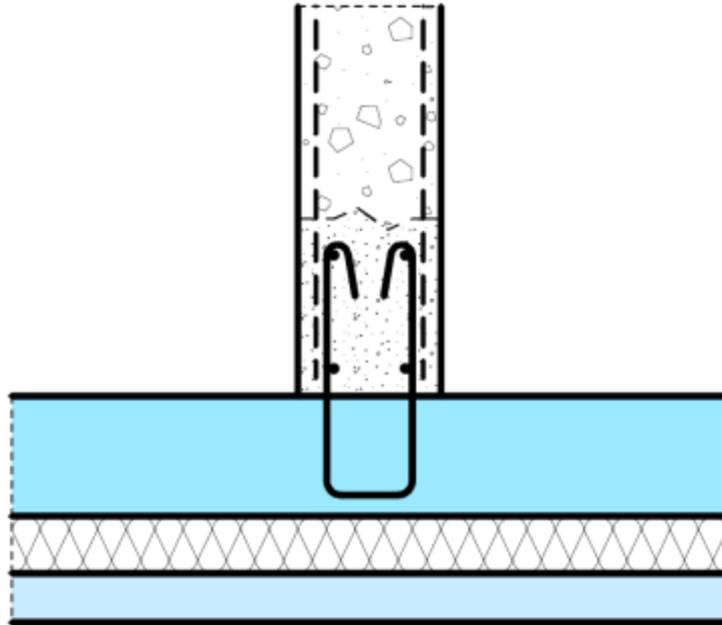


Figure 22 : liaison panneau-refend

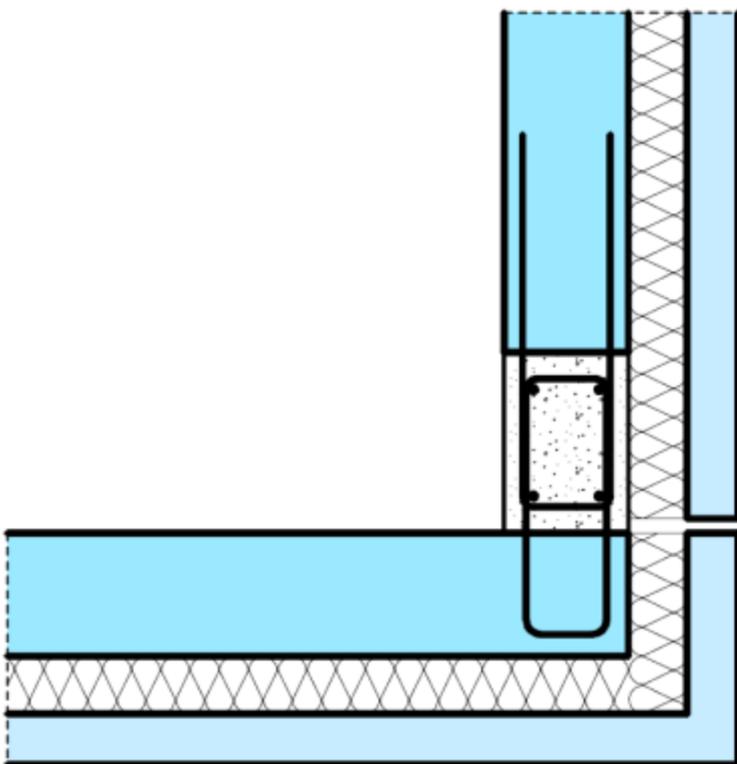


Figure 23 : liaison panneau-refend

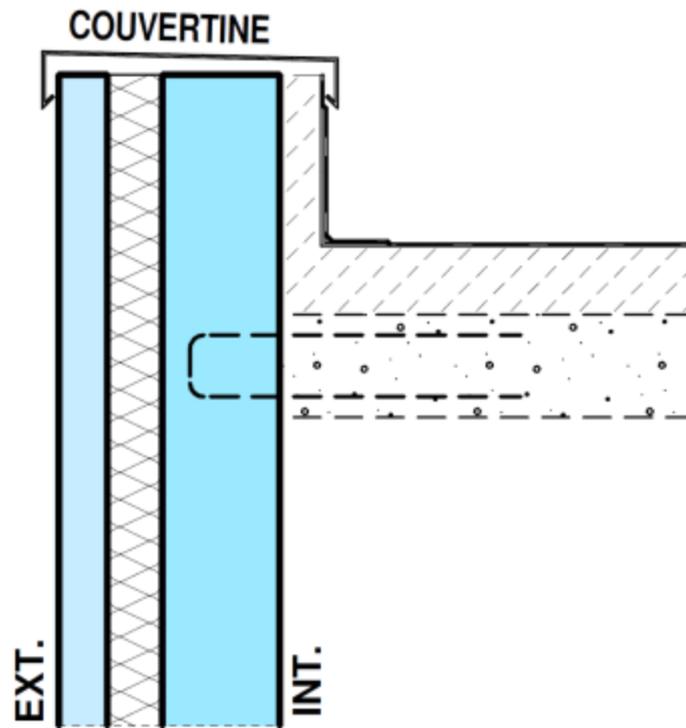


Figure 24: coupe sur acrotère

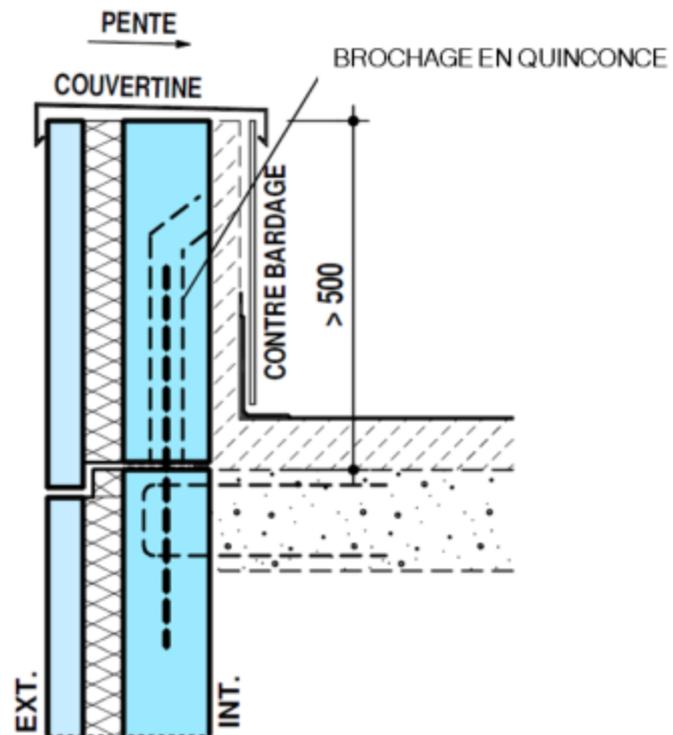


Figure 25 : coupe sur acrotère

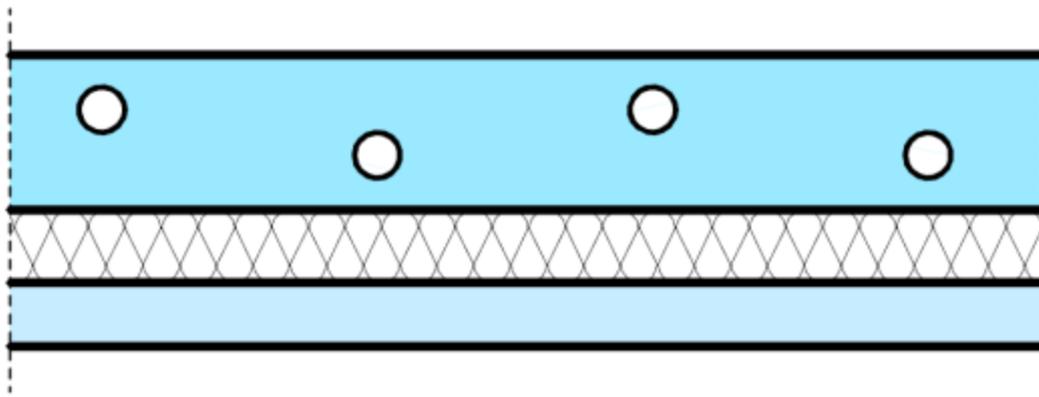


Figure 26 : brochage en quinconce

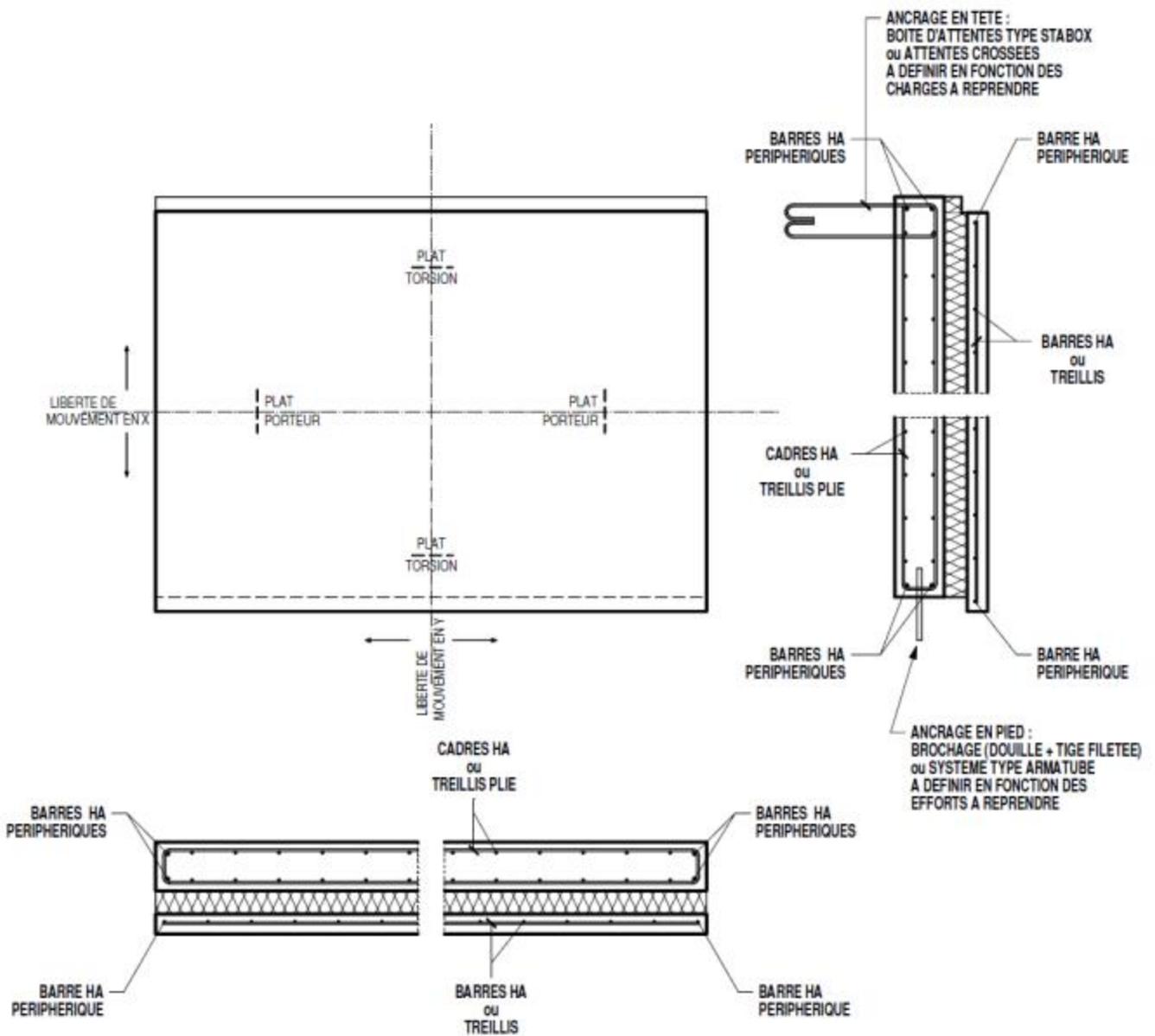
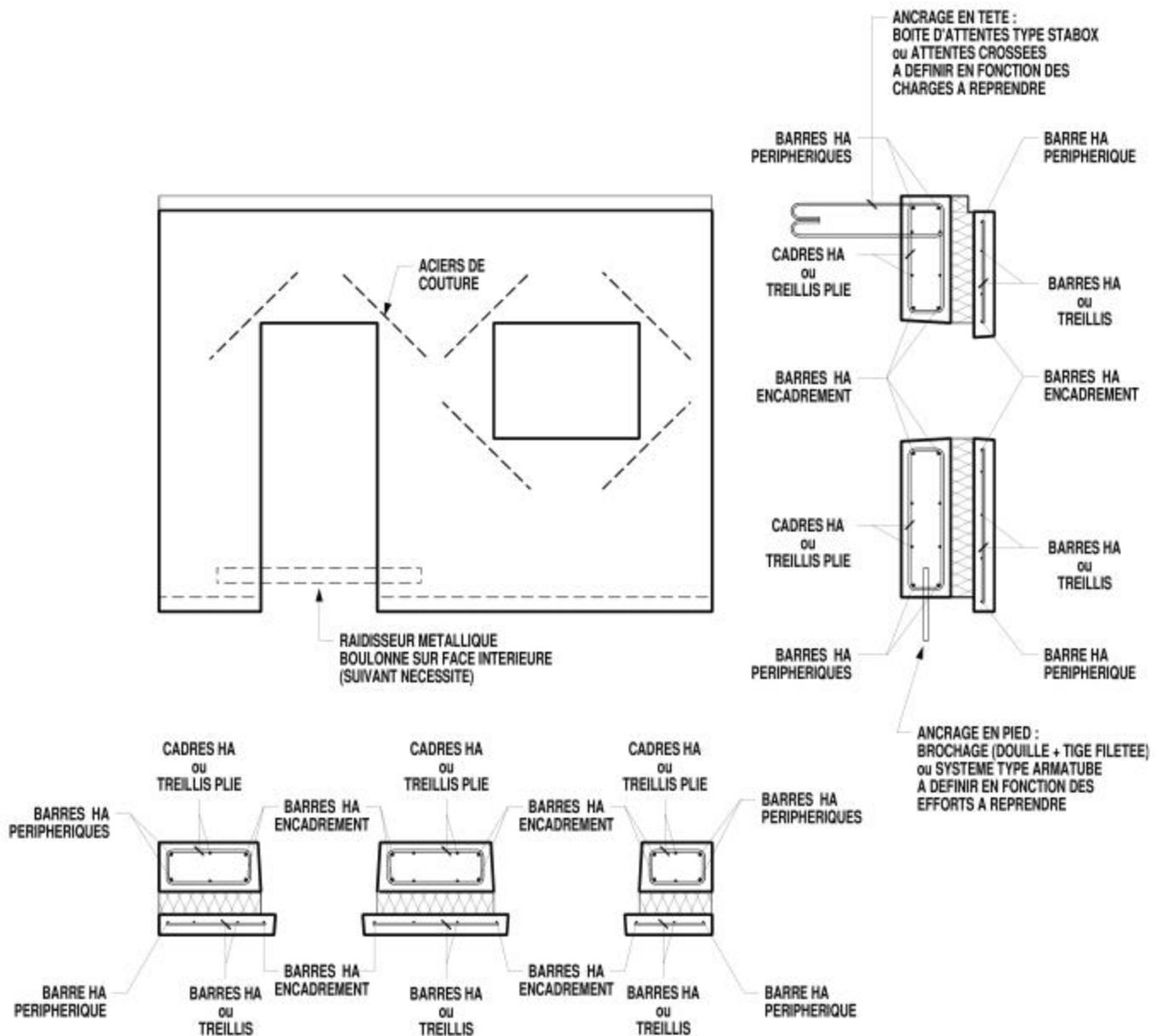


Figure 27 : Principe d'armature des panneaux sans ouverture



LES ARMATURES SONT DEFINIES PAR LE CALCUL

Figure 28 : Principe d'armature des panneaux avec ouverture

Tableaux de détermination de la température dans les panneaux DECOMO (conformément à l'appréciation de laboratoire n° AL15-165_V3)

Températures [°C] dans le voile exposé du procédé DECOMO après 30 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834																
Distance à la face exposée [cm]	Distance à la face exposée [cm]															
	0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	23
Épaisseur du voile intérieur [cm]	10	750	622	518	365	261	188	100	59	47						
	12	750	622	518	365	261	187	99	55	35	30					
	14	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	23				
	16	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	21			
	18	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20		
	20	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20	20	
	22	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20	20	20
	23	750	622	518	365	261	187	99	54	34	25	22	20	20	20	20

Températures [°C] dans le voile exposé du procédé DECOMO après 60 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834																
Distance à la face exposée [cm]	Distance à la face exposée [cm]															
	0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	23
Épaisseur du voile intérieur [cm]	10	895	785	690	536	422	337	224	166	148						
	12	895	784	688	534	418	330	211	140	103	92					
	14	895	784	688	533	417	329	207	133	89	65	58				
	16	895	784	688	533	417	328	207	132	85	58	43	39			
	18	895	784	688	533	417	328	206	131	85	56	40	31	29		
	20	895	784	688	533	417	328	206	131	84	56	39	30	25	24	
	22	895	784	688	533	417	328	206	131	84	56	39	29	25	22	22
	23	895	784	688	533	417	328	206	131	84	56	39	29	25	22	21

Températures [°C] dans le voile exposé du procédé DECOMO après 90 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834																
Distance à la face exposée [cm]	Distance à la face exposée [cm]															
	0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	23
Épaisseur du voile intérieur [cm]	10	971	875	789	644	533	446	330	268	248						
	12	970	872	783	635	520	429	302	224	181	168					
	14	970	871	782	633	516	423	291	206	153	123	114				
	16	970	871	781	632	515	422	288	199	141	104	84	77			
	18	970	870	781	632	514	421	287	197	137	98	72	58	54		
	20	970	870	781	632	514	421	286	197	136	96	68	51	42	39	
	22	970	870	781	632	514	421	286	197	136	95	67	49	38	32	30
	23	970	870	781	632	514	421	286	197	136	95	67	49	37	31	28

Températures [°C] dans le voile exposé du procédé DECOMO après 120 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834																
Distance à la face exposée [cm]	Distance à la face exposée [cm]															
	0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	23
Épaisseur du voile intérieur [cm]	10	1022	938	860	727	620	536	420	357	338						
	12	1021	933	851	711	599	509	379	299	255	241					
	14	1020	930	848	705	590	497	361	271	214	182	172				
	16	1020	930	846	703	587	493	353	259	195	153	130	123			
	18	1020	929	846	702	585	491	350	253	186	140	110	93	88		
	20	1020	929	846	702	585	490	349	252	183	135	102	80	67	63	
	22	1020	929	846	702	585	490	349	251	182	133	98	74	59	50	47
	23	1020	929	846	702	585	490	349	251	182	133	98	73	56	46	42