

Sur le procédé

P2P

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

Titulaire(s) : Société CMEG

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		JUNES Angel	BERNARDIN-EZRAN Roseline

Descripteur :

Procédé de mur de façade mettant en œuvre des panneaux de façade en béton armé, de type sandwich constitué de deux voiles dont le voile extérieur est 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 a les épaisseurs suivantes : voile extérieur d'épaisseur minimum 7 cm, conformément aux prescriptions de l'Avis technique en cours de validité du système de liaison MVA de la société HALFEN isolant thermique d'épaisseur 6 cm à 20 cm voile intérieur d'épaisseur 9 cm à 20 cm (épaisseur minimale de 9 cm pour les panneaux non porteurs et de 12 cm pour les panneaux porteurs). Ces panneaux, de dimension maximale 9 m de longueur par 4 m de largeur (sans excéder une surface maximum de 36 m²), peuvent être superposés. La liaison des deux voiles est assurée par le système HALFEN MVA. 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 inoxydable. Les menuiseries extérieures, équipées ou non d'appuis de baie métalliques, sont rapportées en œuvre. Les joints à 1 étage ne peuvent pas être utilisés pour une fonction d'étanchéité à la pluie. Les joints à deux étages peuvent être utilisés pour l'étanchéité des joints horizontaux par système à recouvrement et bavette étanche ou glissière. L'étanchéité des joints verticaux est assurée par joint de mousse imprégnée ou joint mécanique à gouttière ménagé dans le voile extérieur (glissières et languettes). Étanchéité à l'air des joints verticaux et horizontaux, au niveau du voile intérieur.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé.....	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté	5
1.1.1.	Zone géographique	5
1.1.2.	Ouvrages visés.....	5
1.2.	Appréciation.....	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Données environnementales	6
1.2.3.	Durabilité – Entretien	7
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	7
2.	Dossier Technique.....	8
2.1.	Principe et domaine d'emploi.....	8
2.1.1.	Principe.....	8
2.1.2.	Domaine d'emploi.....	8
2.2.	Matériaux	8
2.2.1.	Béton	8
2.2.2.	Aciers d'armature	9
2.2.3.	Accessoires de levage et de fixation	9
2.2.4.	Isolants.....	10
2.2.5.	Joints d'étanchéité entre panneaux	11
2.3.	Description des éléments.....	12
2.3.1.	Panneaux aveugles	12
2.3.2.	Panneaux d'angle	13
2.3.3.	Panneaux formant acrotère :	13
2.3.4.	Panneaux avec ouvertures.....	13
2.3.5.	Types de planchers visés.....	13
2.3.6.	Position des organes d'ancrage MVA HALFEN	13
2.4.	Dimensionnement	14
2.4.1.	Dimensionnement du système de liaison entre les parois	14
2.4.2.	Dimensionnement des parois	14
2.4.3.	Dimensionnement en situation d'incendie.....	16
2.4.4.	Dispositions parasismiques.....	17
2.4.5.	Isolation acoustique intérieure	21
2.5.	Fabrication et assurance qualité.....	21
2.5.1.	Sites de production	21
2.5.2.	Processus de fabrication.....	21
2.5.3.	Contrôle et assurance qualité.....	22
2.5.4.	Marquage.....	22
2.6.	Mise en œuvre sur chantier.....	23
2.6.1.	Transport.....	23
2.6.2.	Mise en œuvre	23
2.6.3.	Levage des panneaux	24
2.7.	Conditions d'exploitation.....	24
2.8.	Autres.....	25
2.8.1.	Valeur thermique.....	25
2.9.	Références.....	25
2.9.1.	Résultats expérimentaux	25
2.9.2.	Références chantiers	26

1. Avis du Groupe Spécialisé

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet Avis est formulé pour les utilisations en France européenne.

Possibilité d'emploi en zones de sismicité 1 à 4 (selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) moyennant les dispositions spécifiques définies dans le Dossier Technique

1.1.2. Ouvrages visés

Mur destiné à des bâtiments tertiaires, ERP, scolaire, de commerce, d'hôpitaux et de logement.

Les panneaux sont généralement aveugles ; ils peuvent être également munis d'ouvertures (cf. Prescriptions Techniques).

En situation enterrée et lorsque l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi au sens du DTU 20.1, chapitre 6 (sous-sol de deuxième catégorie), les panneaux P2P pourront comporter une partie enterrée de 1 m maximum.

Le système de liaison HALFEN MVA est utilisé conformément aux prescriptions de l'Avis Technique en cours de validité dont il relève.

L'aptitude au levage du procédé n'est pas visée par le présent Avis.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

Les éléments 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. Construction 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.

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

1.2.1.3. Sécurité au feu

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 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 stabilités au feu de 60, 90 et 120 minutes) qui ont fait l'objet d'une Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL16-174_V2.

L'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL16-174_V2 comprend également une étude du maintien au feu de la peau extérieure du procédé de mur de façade P2P 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 système MVA de la société HALFEN pour suspendre la peau extérieure à la paroi intérieure. Les organes de suspension doivent être dimensionnés moyennant le respect des prescriptions données au paragraphe 2.2.3.2.

Les ancrs principales MVA 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. Forfaitairement, l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL16-174_V2 retient une hauteur enveloppe de 1 mètre au-dessus des linteaux en deçà de laquelle les ancrs ne devront pas être installées.

Les dispositions permettant le respect de l'IT249, notamment au pourtour des baies, sont décrites dans l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL16-174_V2.

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 agréée 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 et de l'entretien

Elle peut être normalement assurée moyennant les précautions propres à la manutention et à l'éclayage 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-Bât » en vigueur.

Dans le cas de l'utilisation d'isolant sans certification de type ACERMI, 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 paragraphe 2.2.3, le procédé ne devrait pas poser de problèmes d'isolement au bruit aérien, jusqu'aux exigences de $D_{n,T,A,Ty}$ ≤ 35dB. Au-delà, une étude au cas par cas est nécessaire.

1.2.1.8. Étanchéité des murs extérieurs

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 le 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).

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 ;

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

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.

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

1.2.2. Données environnementales

Le procédé « P2P » 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.

1.2.3. Durabilité – Entretien

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.

1.3. 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 de l'Avis Technique du système de fixation 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 (CMEG), pour une bonne coordination.

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

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

2. Dossier Technique

2.1. Principe et domaine d'emploi

2.1.1. Principe

Procédé de mur de façade « P2P » 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 verticalement (côte à côte) ou horizontalement (empilés).

Ils ont une épaisseur minimum de 25,5 cm, une largeur maximale de 4 m et une longueur maximale de 9 m quelle que soit leur position en œuvre.

La liaison des deux voiles est assurée par des ancrs et des épingles (système MVA de la société HALFEN faisant l'objet d'un Avis Technique en cours de validité).

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.

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

- Éléments de façade porteurs : 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.
- Éléments de façade non porteurs : ils sont fixés sur la structure en fin de réalisation du gros œuvre. Ces éléments sont autoporteurs, portés ou d'habillage. Ils ne participent pas au contreventement de la structure.

La face extérieure des éléments est de type béton brut ou tout autre type de parement (gommé, béton poli, béton sablé, béton matricé...)

Afin de respecter les conditions d'ancrage des ancrs définies dans l'Avis Technique en cours de validité du système MVA, les épaisseurs nominales des parois extérieures des panneaux sont les suivantes :

- Panneaux ne faisant pas l'objet d'une certification par un organisme extérieur : épaisseurs minimales préconisées par l'Avis Technique MVA majorées de 5 mm.
- Panneaux faisant l'objet d'une certification par un organisme extérieur : épaisseurs minimales préconisées par l'Avis Technique MVA.

2.1.2. Domaine d'emploi

Etablissement Recevant du Public (ERP), bâtiments tertiaires, bâtiments scolaires, de commerces et de logement, bâtiments industriels.

Les panneaux non porteurs sont visés sur des bâtiments à ossature en béton et métallique.

La pose des panneaux inclinés n'est pas visée.

2.2. Matériaux

2.2.1. Béton

Pour la paroi intérieure, béton réalisé en usine conforme aux normes NF EN 206/CN et NF EN 13369 :

- Classe de consistance : S4,
- Classe de résistance : $\geq C35/45$,
- Granulométrie : $\varnothing \leq 20$ mm.

Pour la paroi extérieure, béton réalisé en usine conforme aux normes NF EN 206/CN et NF EN 13369 :

- Classe de consistance : BAN (étalement au cône d'Abrams inversé ≥ 65 cm),
- Classe de résistance : $\geq C35/45$,
- Granulométrie : $\varnothing \leq 14$ mm (adaptée au traitement du parement)

La nature et dosage du ciment et des additions minérales sont adaptés à la classe d'exposition requise pour chaque projet.

Les granulats utilisés sont d'origine naturel. Selon la norme NF EN 206/CN, Les granulats naturels peuvent être substitués par des granulats recyclés en respectant le taux maximum de substitution qui dépend du type de granulat recyclé et de la classe d'exposition requise pour chaque projet.

D'autres ajouts tels que des pigments et des adjuvants peuvent être ajoutés (Plage de dosage : entre 0,5 et 10 kg/m³).

La résistance minimale à la compression est de 12 MPa au démoulage et de 20 MPa à la livraison du panneau.

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.

Côté extérieur, étant donné qu'il s'agit des éléments de façade, la classe d'exposition minimale à utiliser est la classe XC4.

2.2.2. Aciers d'armature

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

Les différents types d'acier :

- Aciers en bobines et barres, B 500 Ø 6 à 32 mm
- Treillis soudés standard B 500.

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).

2.2.3. Accessoires de levage et de fixation

2.2.3.1. Douilles de levage HALFEN

Nombre et type, déterminé par le bureau d'études CMEG, en fonction du poids des panneaux, indiqué sur les plans de production.

Le béton comprenant les éléments de levage doit présenter au minimum une résistance à la compression de 12 MPa lors du premier levage

Au minimum deux douilles de levage sont implantées 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.

2.2.3.2. 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 (dimensionnement réalisé conformément aux prescriptions du cahier des clauses techniques du fournisseur) et un joint maté au mortier sans retrait.
- Les coupleurs font l'objet d'une certification NF AFCAB.
- Panneaux non porteurs:

Rails et douilles du type HALFEN-DEHA, dimensionnés par le bureau d'études CMEG en fonction des particularités du projet et sur la base des caractéristiques mécaniques résistantes indiquées dans les ETE en cours de validité dont ils relèvent. Le type et la position sont indiqués sur les plans de production.

La boulonnerie et les écrous sont en acier galvanisé. 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.

Les inserts métalliques (rails) destinés à assurer l'ancrage des boulons inoxydables ou des plaques crantées doivent suivre exactement les préconisations des fournisseurs.

Les boulons insérés dans les rails doivent avoir un diamètre minimal de 12 mm.

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

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'une Evaluation Technique Européenne : le dimensionnement des fixations est réalisé sur la base des caractéristiques mécaniques résistantes indiquées dans les Agréments Techniques Européens.

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

- Continue par un joint de mortier sans retrait (épaisseur minimale de 1,5 cm)
- Ponctuelle par des liaisons brochées (au moins 2 broches par panneau, de diamètre minimal de 16 mm) et un joint maté au mortier sans retrait (cf. figure 2et 3)

2.2.3.3. Liaison des deux voiles

Les deux parois en béton constituant le panneau sandwich P2P sont reliées entre-elles à travers l'isolant thermique par des ancrages de liaison.

Le système utilisé comprend des épingles, des ancrages plats et/ou des cylindres en acier inoxydable. L'épaisseur des éléments de liaison est au minimum de 1,5 mm.

Le système utilisé pour la liaison des deux voiles des panneaux sandwich est le système MVA de la société HALFEN (Avis Technique en cours de validité) qui comprend :

- Un cylindre d'ancrage principal ou un plat d'ancrage principal ;
- Des épingles de maintien de l'écartement entre voile ;
- Un dispositif "anticouple" (plat de distorsion).

Le dimensionnement et la disposition des accessoires exposés sont définis dans le cahier des charges HALFEN et conforme à l'Avis Technique correspondant.

2.2.3.4. Autres accessoires

- Anneaux pour garde-corps

Sur demande du chantier, des anneaux en acier peuvent être intégrés à la fabrication dans les panneaux sandwichs P2P au niveau de la paroi intérieure.

Ils sont disposés à une hauteur de 1,10m au niveau des ouvertures dans les panneaux.

Ces anneaux ont pour fonction de recevoir les aciers garde-corps mis en place sur chantier pour éviter les chutes de hauteur.

2.2.4. Isolants

Un système d'isolation est intégré entre les deux parois béton dans le panneau sandwich P2P.

La nature et les dimensions de l'isolant pour chaque projet sont déterminées en fonction des performances thermiques demandées (résistance thermique, conductivité thermique). Les isolants utilisés répondent aux certifications ACERMI.

Les caractéristiques minimales des isolants sont I3-S1-O2-L3-E2 en se référant au guide du référentiel ACERMI.

Les épaisseurs d'isolants varient entre 6 et 20 cm.

- En partie courante, ces isolants peuvent être :
 - Polystyrène expansé ou extrudé
 - Mousse de polyuréthane
 - Mousse de polyisocyanuréthane
 - Liège expansé
- Au niveau des joints horizontaux et au pourtour des baies, conformément à l'IT 249 et à l'appréciation DE LABORATOIRE N°AL16-174_V2 :
 - Laine de roche haute densité (densité minimale de 120 kg/m³) certifiée ACERMI.

2.2.4.1. Polyuréthane

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

2.2.4.2. 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

2.2.4.3. 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.

2.2.4.4. Liège expansé

- Epaisseur comprise entre 60 et 120 mm
- Conductivité thermique $\lambda = 0,040$ W/m.K suivant modèle.
- Densité : 110 à 120 kg/m³.
- Euroclasse E
- Classement ISOLE : I3 S1 O2 L2 E2 jusqu'à 120 mm d'isolant

2.2.4.5. Laine de roche

Panneaux en laine de roche rigide, utilisée en bandes filantes, et au pourtour des baies.

Conductivité thermique $\lambda = 0,034$ à $0,038$ W/m.K suivant modèle

Densité entre 80 et 155 kg/m³.

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 (ou par un cadre bois selon l'appréciation feu du CSTB

N°AL16-174) 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.

2.2.5. Joints d'étanchéité entre panneaux

Lors de la réalisation d'une façade d'un ouvrage par le procédé P2P, il est réalisé un calepinage. Cela signifie que la façade est découpée en plusieurs panneaux afin de répondre aux contraintes géométriques dues à la fabrication et au transport des panneaux préfabriqués. Les dimensions extérieures maximales sont de l'ordre de 4,00 x 9,00m disposés horizontalement ou verticalement.

La largeur nominale d'un joint est au minimum de 15 mm afin de permettre une libre dilatation des parois extérieures sans risque de choc.

Pour effectuer la liaison entre les différents panneaux, des joints sont mis en place notamment pour traiter l'étanchéité.

Dans le cadre de la réalisation des joints d'étanchéité, CMEG propose plusieurs techniques pour répondre aux différentes contraintes.

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

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

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

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.

2.2.5.1. Joint à un étage

Technique pouvant être appliquée quand l'exigence d'étanchéité est assurée par ailleurs, par un élément rapporté.

La barrière d'étanchéité est réalisée en face externe du complexe par un joint de mousse imprégnée ou joint mastic de 1^{ère} catégorie classé « joint à 1 étage » en se référant au paragraphe 8.3.3 du Cahier des charges DTU 22.1.

Les joints horizontaux et verticaux sont posés dans le même plan (nu extérieur de la façade).

Le joint mis en œuvre est une mousse imprégnée ou un mastic élastomère ou un polyuréthane première catégorie utilisés pour les joints à un étage.

Cette barrière d'étanchéité est simple :

- Dans un seul plan (deux dimensions).
- Pas de difficulté de croisement dans la troisième dimension ou avec d'autres joints (menuiserie).
- Le matériau est le même verticalement et horizontalement, cohérence dans les produits et les techniques d'application.
- Les angles rentrants sont traités aussi facilement que les autres joints.

Cette barrière d'étanchéité est facile à mettre en œuvre :

- Se pose à terminaison des façades (dernière tâche).
- Se pose à l'extérieur uniquement.
- Se pose hors cycle de production du gros œuvre (garantie de qualité de mise en œuvre).
- Se pose par temps humide et froid (insensible aux intempéries).

Cette barrière d'étanchéité est visible :

- Nous pouvons vérifier lors de la mise en œuvre la qualité de l'application (adhérence joint, compression, continuité...).
- Nous pouvons la visiter en permanence durant toute la vie du bâtiment.
- Nous pouvons la réparer, l'entretenir, la rénover entièrement.

2.2.5.2. Joint à deux étages

Technique utilisant deux matériaux différents :

- Joint à deux étages : technique 1
 - Pour les joints horizontaux :

Etanchéité à l'air : joint sur mortier en conformité avec le DTU 22.1 « Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions ».

Etanchéité à l'eau : retombée de panneau pour protéger de la pluie et bande d'étanchéité à froid collée au droit du joint vertical pour assurer la continuité de l'étanchéité. Les bandes d'étanchéité à froid sont de type :

- ME111 de la société Tremco Illbruck (membrane épaisse à base de bitume élastomère et de résines, avec armature synthétique et protection par film polyester/aluminium),
- ME402 de la société Tremco Illbruck (membrane composée d'une masse butyle plasto-élastique à grand pouvoir adhésif et d'un film indéchirable, composé d'aluminium et de matières synthétiques).
- Pour les joints verticaux : joint Illmod 600 ou équivalent :
 - Etanche à l'air.
 - Etanche à l'eau.

- Classé « un étage ».
- Posé au nu de la façade extérieure.
- Joint à deux étages : technique 2
 - Pour les joints horizontaux :
 - Etanchéité à l'air : joint mousse côté intérieur en conformité avec le DTU 22.1 « Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions ».
 - Etanchéité à l'eau : même joint mousse que pour l'étanchéité à l'air avec retombée de panneau pour protéger de la pluie et glissière (type Couvraneuf) tout le long du panneau pour évacuer l'eau en conformité avec le DTU 22.1 « Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions ».
 - Pour les joints verticaux :
 - Glissières et languettes de chez Couvraneuf ou équivalent en conformité avec le DTU 22.1 « Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions ».

2.2.5.3. Largeur de joint horizontal

La largeur u_j du joint devra respecter les règles suivantes :

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

avec $\alpha = 1.10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (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 § 2.4.5 du Dossier Technique), Δ_{pose} les tolérances de mise en œuvre prise égale à 10 mm (§ 2.6.3 du dossier technique) et $\Delta_{\text{fabrication}}$ les tolérances de fabrication conformément aux prescriptions de la NF EN 14992 (classe B).

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

2.2.5.4. Largeur de joint vertical

La largeur u_j du joint devra respecter les règles suivantes :

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

avec $\alpha = 1.10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (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 § 2.4.5 du Dossier Technique), Δ_{pose} les tolérances de mise en œuvre prise égale à 5 mm (§ 2.6 du dossier technique) et $\Delta_{\text{fabrication}}$ les tolérances de fabrication conformément aux prescriptions de la NF EN 14992 (classe B).

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

2.2.5.5. Pièces complémentaires

- 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 120 kg/m^3) de 10 cm ou un cadre en bois selon l'appréciation de laboratoire CSTB N°AL16-174_V2 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.

2.3. Description des éléments

La taille des éléments préfabriqués P2P peut varier sans dépasser les dimensions maximales de 4,00 x 9,00 m horizontalement ou verticalement soit environ une surface de 40 m².

Dans certains cas, la paroi extérieure sera découpée pour des raisons esthétiques et pour limiter les efforts provenant de la dilatation thermique. Celle-ci devra impérativement être découpée à partir de 8 m. Différents acronymes nomment les pièces préfabriquées P2P en fonction de leur géométrie et de leur fonction : panneau, allège, acrotère, bandeau, trumeau, linteau, etc.

D'une façon systématique les panneaux non percés d'ouvertures 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.

2.3.1. Panneaux aveugles

Chaque élément peut posséder une ou plusieurs ouvertures.

Un élément préfabriqué P2P comprend de l'extérieur vers l'intérieur les composants suivants :

- Une peau béton de 7 cm à 9 cm d'épaisseur en moyenne armée par un treillis soudé et des aciers périphériques. Il s'agit du béton de façade (parement).

- Une couche d'isolant dont l'épaisseur est définie par l'étude thermique de l'ouvrage (varie entre 6 et 20 cm).
- Un voile de béton de 12,5 cm d'épaisseur minimale, armés d'un treillis soudé et d'aciers périphériques. L'épaisseur maximale est de 25 cm.

Le voile intérieur peut intégrer les gaines PVC refermant les réseaux électriques et multimédias, les réseaux de plomberie et de chauffage, etc.

A noter que la paroi extérieure et l'isolant, latéralement, débordent du voile intérieur pour réaliser le coffrage et le clavetage entre éléments préfabriqués. En partie haute, la paroi extérieure et l'isolant dépassent du voile intérieur d'une hauteur en général égale à l'épaisseur du plancher supérieur.

Enfin, la rive supérieure et la rive inférieure du voile intérieur comporte des aciers de liaison variant en disposition, type et nombre suivant le type de procédé sélectionné sur l'ouvrage

2.3.2. Panneaux d'angle

Pour les panneaux d'angles et refends, différentes solutions sont proposées suivant le choix architectural :

- Angle avec retour et refend
- Angle en bec d'oiseau et refend

2.3.3. 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 (ferraillage minimal, espacement maximal des joints, ...)
- L'article 2.4 du DTU 22.1
- L'article 2.9 du Cahier du CSTB 2159

2.3.4. Panneaux avec ouvertures

Seules les conditions de ferraillage sont différentes par rapport aux panneaux aveugles. Un exemple du principe de ferraillage des panneaux avec ouvertures est donné en Annexe.

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 50Ø.

Les futures menuiseries (bois, PVC, métal) sont fixées sur un précadre bois ou métal disposés à la périphérie de la baie entre la paroi extérieure et intérieure. Le cadre bois est solidaire du voile intérieur afin de permettre une libre dilatation de la paroi extérieure (*figures 29 à 34*).

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.

2.3.5. Types de planchers visés

Les planchers visés avec les panneaux P2P sont :

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

2.3.6. Position des organes d'ancrage MVA HALFEN

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 soit toujours à une distance des rives haute et basse de l'allège au moins égale à trois fois son diamètre, 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.

2.4. Dimensionnement

2.4.1. Dimensionnement du système de liaison entre les parois

Le dimensionnement des organes de liaison HALFEN- MVA composés de cylindres, plats et épingles en acier inoxydable est réalisé partir du logiciel de calcul HALFEN et soumis au bureau d'études HALFEN 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 CMEG transmet au bureau d'études HALFEN :

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

2.4.2. Dimensionnement des parois

Le calcul des armatures des deux voiles pleins constituant les panneaux 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.

2.4.2.1. Dimensionnement de la paroi intérieure

2.4.2.1.1. Panneaux non porteurs

2.4.2.1.1.1. Dimensionnement des panneaux

Dans le cas d'éléments non porteurs, les dimensions des panneaux sont déterminées par le bureau d'études CMEG en fonction de l'épaisseur du voile intérieur, des efforts horizontaux (vent, séisme, etc... : calcul en flexion composée sous l'action simultanée des charges permanentes et des charges horizontales), des conditions d'appuis et de fixation des panneaux sur la structure (appuyés en pied, suspendus, ...) et des capacités de levage en usine et sur site.

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

2.4.2.1.1.2. Dimensionnement des fixations

Le dimensionnement des fixations des panneaux non porteurs est réalisé par le bureau d'études CMEG 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).

2.4.2.1.2. Panneaux porteurs

2.4.2.1.2.1. Dimensionnement réalisé par le BET Structure

Le bureau d'études calcule les efforts transmis aux éléments et définit les équarrissages et les sections d'armatures nécessaires à leur stabilité.

Le bureau d'étude interne de CMEG reprend les plans de coffrages et ferrailage pour le façonnage en usine.

Le bureau d'études CMEG et son sous-traitant reçoivent du bureau d'études structure de son client, les informations suivantes :

- Les plans du projet :
 - Descente des charges par niveau :
 - Charges permanentes :
 - Charges verticales
 - Charges horizontales
 - Moments
 - 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)
 - Nota : La solution rotulée est adoptée systématiquement en zone sismique.
 - 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....
 - 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.
 - Le DTU 22.1
 - Les directives rédigées par l'UEAtc

2.4.2.1.2.2. Position des joints

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.

2.4.2.1.2.3. 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 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 7, 8, 10, 11 et 12). La solution rotulée est privilégiée systématiquement en zone sismique.

2.4.2.1.2.4. 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 EN 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 § 4.5 « 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.

2.4.2.2. Dimensionnement de la paroi extérieure

- 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.
- 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 MVA.
- 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.

2.4.3. Dimensionnement en situation d'incendie

Le dimensionnement en situation d'incendie est réalisé conformément aux prescriptions de l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 16-174_V2.

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.
- Disposition constructive 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° AL 16-174_V2 (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 P2P de type panneau sandwich a également fait l'objet d'une Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL16-174_V2 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 MVA HALFEN pour suspendre la peau extérieure à la paroi intérieure.

- La tenue des organes de suspension (cylindres ou plats) 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 fixations des panneaux non porteurs (équerrés, ...) 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.

2.4.4. Dispositions parasismiques

Les dispositifs d'accrochage MVA doivent être dimensionnés conformément aux prescriptions de l'Avis technique 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 SP-MVA (un cylindre) ou SP-FA (2 plats) seul dont les charges admissibles en situation sismique sont indiquées dans l'Avis Technique du procédé MVA. De plus, l'ancrage principal doit se situer dans une zone de béton fretté.

2.4.4.1. Dispositions parasismiques pour les panneaux porteurs

Les panneaux intérieurs porteurs doivent être conçus conformément à l'article 5.11 « Structures préfabriquées en béton » de la norme NF EN 1998-1.

Les panneaux porteurs peuvent participer au contreventement de la structure.

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 d'épaisseur identique à celle de la paroi intérieure des panneaux.

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 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 et les prédalles de plancher doivent être calepinées en conséquence et comporter une échancrure pour le passage des aciers de continuité.

2.4.4.1.1. 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.

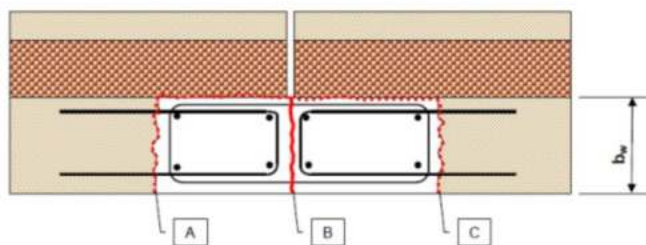
2.4.4.1.2. Vérification du cisaillement de long des surfaces de reprise

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. Afin d'assurer la résistance au cisaillement des surfaces de reprises des joints horizontaux, des armatures complémentaires ancrées dans des zones de clavetage sont mises en place conformément aux prescriptions du dossier technique.

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

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

Où :

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

- Avec A_s la section des armatures cisailées par ml, et b_w la largeur du joint (voir Figure ci-dessus). 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.
- NOTA : les boîtes d'attente doivent faire l'objet d'une certification NF AFCAB et doivent respecter les exigences des Recommandations Professionnelles concernant les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes (novembre 2012).

$$f_{y\Box} = \frac{f_{y\Box}}{\gamma_s}$$

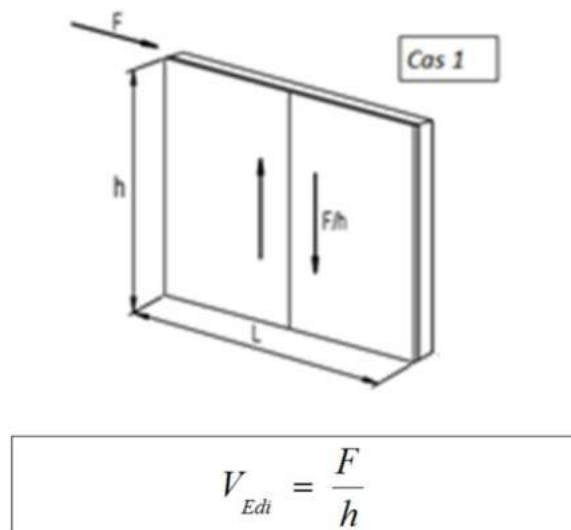
- σ_n la contrainte engendrée par la force normale externe à l'interface, σ_n est positive si compression avec σ_n limitée à $0,6f_{cd}$ et négative en traction. Dans ce dernier cas, retenir $\sigma_n \cdot f_{ctd} = 0$). Dans le cas présent, σ_n est prise égale à 0.
- $\alpha = 0,40$ et $\mu = 0,7$ (surface rugueuse présentant des aspérités d'au moins 3 mm de haut espacées d'environ 40 mm). Pour des charges dynamiques, la valeur de α est divisée par 2. (art. 6.2.5 (5) – EC2)
- $\alpha = 90^\circ$ (armatures perpendiculaires au plan de reprise)
- γ_s = 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.

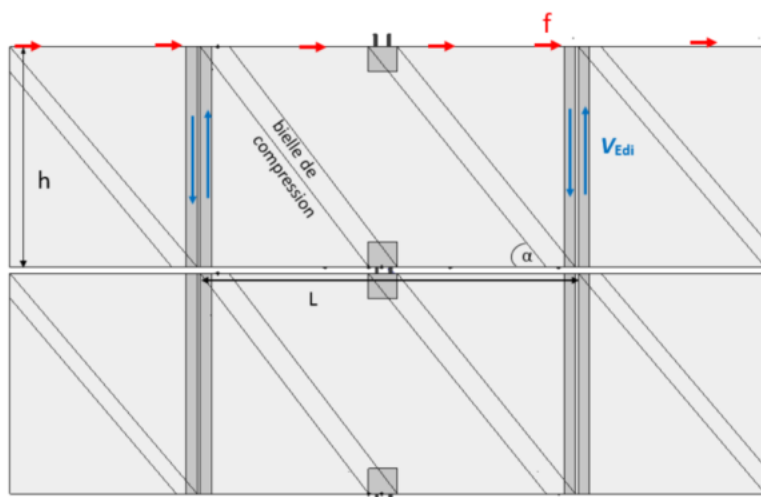
2.4.4.1.2.1. Détermination de l'effort sollicitant

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} :

CAS 1 :



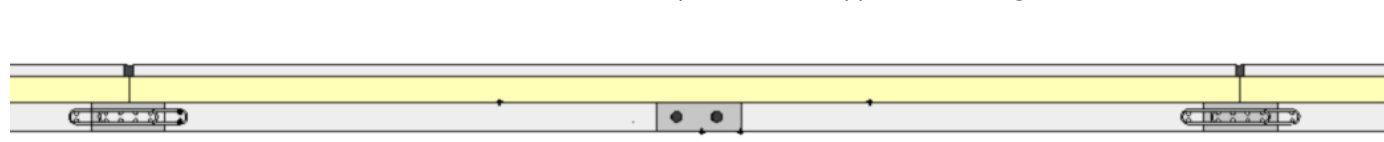
CAS 2 :



Avec $26,5 \leq \alpha \leq 45$, soit $1 \leq L/H \leq 2$

$$V_{Edi} = \frac{f \cdot L}{n \cdot h}$$

n étant le nombre de bielles de compression développées sur la longueur L



Clavetage
vertical ponctuel

Clavetage vertical
continu + tirant
vertical

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 1998-1-1. Les assemblages des éléments préfabriqués devront respecter les dispositions générales indiquées à l'article 5.11.2 – NF EN 1998-1-1.

2.4.4.2. Dispositions parasismiques pour les panneaux non porteurs

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 norme NF EN 1998-1-1, avec $R_{Rd} = R_{Rk} / \gamma_m$, et R_{Rk} valeur de résistance caractéristique issue des essais de caractérisation des connecteurs sous sollicitations dynamiques. 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. Enfin, les systèmes de fixations des panneaux à la structure doivent être conçus de telle sorte que le panneau ne soit pas mis en charge par la déformation de la structure.

Dans le cas particulier des rails et des douilles HALFEN, à défaut d'essais dynamiques sur les systèmes de fixation, le dimensionnement doit être effectué en déduisant la charge résistante de calcul de la charge de calcul statique déterminée selon les ETE dont ils relèvent par application à cette dernière d'un coefficient au moins 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 NF EN 1998-1 et son Annexe nationale.

2.4.4.3. Dispositions parasismiques pour la paroi extérieure

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 de l'Avis Technique dont relève le système MVA de la société HALFEN.
- 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 CMEG.

Les largeurs des joints entre panneaux sont déterminées par le titulaire en fonction de l'accélération sismique à partir des raideurs moyennes en cisaillement des cylindres SP-MVA ou des plats SP-FA indiquées dans l'Avis Technique en cours de validité dont ils relèvent. Ces largeurs, indiquées sur les plans, doivent être respectées.

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 l'Avis Technique du procédé MVA de la société HALFEN
- u_j : largeur des joints (avec prise en compte des tolérances de pose et de fabrication : voir le §2.5 du dossier technique)

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

2.4.5. 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 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 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 éléments non-porteurs, 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.

2.5. Fabrication et assurance qualité

2.5.1. Sites de production

Les panneaux préfabriqués P2P sont produits dans les usines suivantes :

- CMEG S.A.

Rue Compagnie D – ZA de Cardonville

14740 Thue et Mue

- S2G PREFABRICATION

11 rue du bois de Saint Paul

27600 Saint-Aubin sur Gaillon

- DELTRA PREFABRICATION

Chemin des Artisans

BP 333

07003 PRIVAS CEDEX

2.5.2. Processus de fabrication

Les panneaux P2P sont produits sur des tables de préfabrication horizontales et métalliques. La face architectonique du voile extérieur est coulée en fond de moule.

Le cycle de production des panneaux préfabriqués P2P est le même dans chaque usine et se déroule dans l'ordre suivant :

1. Nettoyage des tables métalliques.
2. Mise en place des éléments de coffrage (bois ou métallique) : règles, joues et encadrement de baies ou portes si nécessaire.
3. Réalisation de l'étanchéité du coffrage dans le cas du coulage d'un Béton Auto Nivelant (BAN).
4. Application de l'agent de démoulage ou du retardateur de prise si traitement par désactivation.
5. Mise en œuvre du béton de parement (BAN) correspondant au voile extérieur.
6. Mise en place de l'armature du voile extérieur avec interposition de cales pour assurer l'enrobage désigné. L'armature intègre les ancrs de liaison fixées. L'armature doit être posée dans un délai maximal de 30 minutes après le coulage du béton.
7. Mise en place de l'isolant.
8. Mise en place de l'armature du voile intérieur avec les différents accessoires de levage et de fixation.

9. Mise en œuvre du béton du voile intérieur avec compactage par aiguille vibrante.
10. Finition du parement intérieur par règle ou talochage.
11. Décoffrage le lendemain à l'aide des tables relevables et du pont roulant. Si nécessaire les panneaux sont chauffés pour accélérer la maturation du béton.
12. 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 ou équivalent.
13. Finition et application d'un éventuel traitement sur face architectonique (sablage, béton désactivé, polissage, protection de surface, etc.).
14. L'élément préfabriqué est stocké sur le parc dans des racks de stockage vertical avant chargement.

2.5.3. Contrôle et assurance qualité

2.5.3.1. Contrôle interne

Les manuels qualité des usines décrivent les procédures qualité à suivre par le personnel impliqué dans le processus de production. Des autocontrôles sont effectués en permanence afin d'assurer la qualité des éléments préfabriqués P2P :

- Production des éléments de coffrage bois (contrôle des plans, contrôle de coffrage)
- Production des armatures
- Production du panneau préfabriqué :
 - Contrôle après coffrage
 - La bonne orientation des dispositifs principaux de liaison entre voiles de béton avant bétonnage,
 - Contrôle des armatures et inserts
 - La bonne implantation vis-à-vis des bords du panneau des inserts métalliques assurant l'ancrage des étréquerres 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
- Finition : Contrôle géométrie et planéité – classe B (NF EN 14992)
- Stockage et chargement

La réalisation des autocontrôles mentionnés ci-dessus fait l'objet d'un enregistrement dans des fiches de contrôle datées et signées par le responsable du contrôle, avec identification du chantier, de l'ouvrage contrôlé, de la nature du contrôle réalisé (description et objectif) et du résultat de contrôle (conforme, non-conforme, observations).

Des fiches de non-conformité sont ouvertes en cas des anomalies relevées et du traitement décidé.

2.5.3.2. Contrôle externe

- Marquage CE (CE 2+)

Les usines disposent des certificats de contrôle de production en usine pour des éléments de mur en béton sandwich. Ces certificats attestent que toutes les dispositions concernant l'évaluation et la vérification de la constance des performances décrites dans l'annexe Z.A de la norme NF EN 14992 : 2007/A1 :2012 et dans les Règles d'application CE2+/R 12 (2015) sous système 2+, sont appliquées et que le contrôle de production en usine répond à l'ensemble des exigences prescrites.

- Equipement de production et essai

Contrôle des matériels de dosage et pesage par un organisme extérieur agréé.

- Contrôle de la résistance à la compression du béton

Vérification de la résistance à 28 jours et au décoffrage (40% de la résistance caractéristique à 28 jours ; i.e. 12 MPa pour les bétons C30/37) sur éprouvettes cylindriques 16x32 tous les 5 jours de fabrication.

2.5.4. Marquage

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

- Date de production
- Poids de l'élément
- Repère de l'élément
- Nom du client et du projet
- Nom de l'usine de production
- Numéro CE
- Numéro D.O.P. (Déclaration de performance)

2.6. Mise en œuvre sur chantier

CMEG en tant qu'entreprise générale de bâtiment réalise ses ouvrages de la conception à la pose. Dans le cadre du procédé P2P, CMEG peut se présenter uniquement en tant que fournisseur du procédé P2P et ne pas réaliser la pose. Dans ce cas, il est fourni au poseur :

- Un monitoring établi par CMEG intitulé « Mode opératoire de pose du procédé P2P »
- La délégation d'un représentant de CMEG est possible afin de prodiguer des conseils.

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.

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 du procédé P2P, différentes prescriptions sur les tolérances sont à respecter. 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.

Ces précisions sont définies dans le 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.

- Sur l'ensemble d'un mur : 60mm (pour des bâtiments élevés).
- 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 § 2.5 du Dossier Technique.	Cf. § 2.5

2.6.1. Transport

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 préfabriqués sont transportés vers les chantiers à l'aide de semi-remorques. Ils sont placés verticalement dans les remorques de transport.

Tout transport avant départ des usines est contrôlé (poids, dimensions, marquage des panneaux).

2.6.2. Mise en œuvre

La pose des panneaux du procédé P2P est régie par une méthodologie établie par CMEG.

Les principales étapes sont les suivantes :

1. Préparation
 - Outillage adéquate :
 - Individuel (marteau, mètre, etc)
 - De traçage et de niveau (laser, cordon, cales, etc)
 - De pose et stabilisation (boulonneuse, étais tirs-pousses, etc)
 - De levage et stockage (élingues, anneaux de levage, etc)
 - Sécurité :
 - EPI (gants, casques, etc)
 - Garde-corps
 - Nacelle si nécessaire
 - Zone de dégagement pour réception du transport
 - Avant la pose :
 - Implanter la position des panneaux P2P
 - Contrôler les niveaux et placer les cales plastiques pour calage
 - Mettre en place les liaisons thermiques

2. Déchargement

- Réception du transport avec :
 - Positionnement du transport à l'endroit indiqué sur le PIC
 - Vérification de la livraison (bon de livraison)
- Déchargement
 - Enlèvement du panier de maintien pour le transport entre P2P
 - Mise en place de l'élingage avec anneaux de levage sur les deux ancrs de levage
 - Mise en tension des chaînes de levage
 - Enlèvement de la sécurité de maintien des P2P (câble, chaînes)
 - Dégagement du personnel
 - Elévation du panneau par la grue

3. Pose

- Guide de la grue par un compagnon
- Dégagement de la zone de pose
- Présentation du panneau
- Panneau guidé et maintenu par au minimum deux compagnons à l'approche de la zone de pose en corrélation avec le grutier
- Ajustage vertical (cales plastiques) et horizontal
- Fixation mécanique (étais tires-pousses)
- Enlèvement des anneaux de levage
- Réglage du panneau verticalement (étais tires-pousses, cordon, laser) et horizontalement (barre à mines)
- 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.
- 4. Liaisons
 - Verticales : clavetages (coffrage, coulage, décoffrage)
 - Horizontales : matage (mortier)

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. Le retrait des cales est effectué lorsque le mortier est susceptible de porter le poids du panneau et du plancher supérieur.

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

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.

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

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

5. Finitions

- Intérieures (application léger enduit fin)
- Extérieures (nettoyage des parements et réalisation de l'étanchéité)

Dans le cas de parement en gravillons lavés, le fournisseur des panneaux doit 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.

2.6.3. Levage des panneaux

Les panneaux sont levés à l'aide d'une grue, de puissance adaptée au poids des panneaux.

2.7. Conditions d'exploitation

La production du procédé de construction P2P se résume en un cycle de production en partant de la conception jusqu'à la pose.

- Conception et dimensionnement :
 - Jonctions entre panneaux, paroi extérieure, fixation des panneaux non porteurs : dimensionnement et conception réalisés par BET désigné par CMEG
 - Epaisseur de paroi et ferrailage de la paroi intérieure dans le cas des panneaux porteurs déterminés par le BET Structure de l'opération ;
 - Le calepinage est réalisé par le titulaire ou le BET désigné par celui-ci ;
 - Fabrication : La production du procédé P2P est réalisée par 3 usines avec des contrôles internes et externes :

- CMEG à Thue et Mue ;
- S2G PREFABRICATION à Saint-Aubin sur Gaillon ;
- DELTA PREFABRICATION à Privas.

La mise en œuvre est soit réalisée par les équipes CMEG ou par l'entreprise titulaire du chantier par l'intermédiaire d'un Monitoring de pose transmis à la première livraison et à la demande. Dans le cas où la pose n'est pas assurée par l'entreprise CMEG, il est prévu une assistance technique du titulaire de l'Avis à l'entreprise de pose au montage.

2.8. Autres

2.8.1. Valeur thermique

Pour chaque projet, le procédé P2P s'adapte aux valeurs thermiques voulues. Il est possible d'influer sur ces caractéristiques à travers :

- L'isolant : variation en épaisseur (de 6 cm à 15 cm en moyenne) et en nature
- Le béton : mise en œuvre d'un béton léger et isolant

Il est calculé pour chaque projet la résistance thermique du procédé P2P permettant de renseigner l'étude thermique globale.

La performance thermique du panneau P2P est déterminée en négligeant la présence des joints. Elle est assurée par la présence d'un isolant thermique intégré au panneau préfabriqué. L'isolant placé contre la peau extérieure permet d'éviter les ponts thermiques courants.

Au droit des joints extérieurs, une garniture de joint est à prévoir sur chantier afin de protéger l'isolant des agressions extérieures.

Le calcul du coefficient de transmission thermique du panneau P2P U_{DI} se fait de la manière suivante :

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

Avec :

- λ_i : conductivité thermique de l'isolant
- n_c : densité surfacique des connecteurs
- χ connecteurs : coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et calculé selon le fascicule 4/5 des « Règles Th-Bât » en W/K
- b_i, b_1, b_2 : épaisseurs des différentes couches du panneau P2P

Le calcul des coefficients de pont thermique de liaison doit se faire selon les « Règles Th Bât ».

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

2.9. Références

2.9.1. Résultats expérimentaux

- Appréciation de laboratoire CSTB n°16-174_V2
- Rapport d'essai n° 26029036
- Essais mécaniques sur l'ancrage des connecteurs dans le panneau sandwich :
 - Rapport d'essai n°23.108.36.71.1 et n°21.0793.4.74 1&2 pour les essais principaux.
 - Rapport d'essai n°21.0620.075, n°21.0743.6.83, n°21.0164.0.81, n°21.0588.6.80 et n°21.0744.2.83 pour les essais complémentaires.

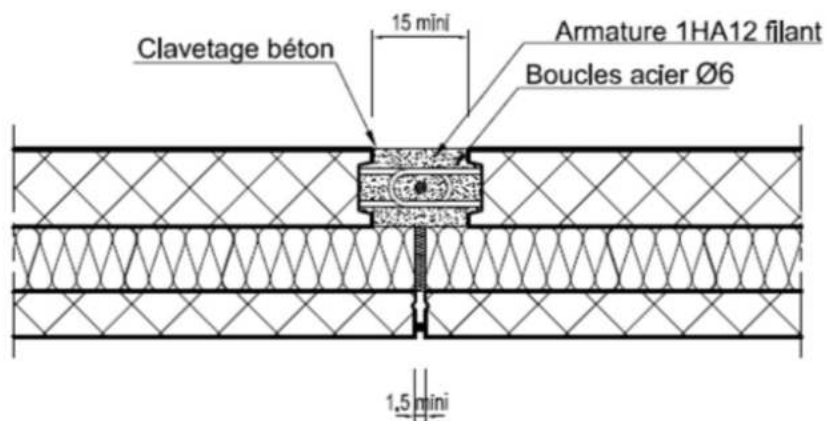
2.9.2. Références chantiers

ANNEE	CHANTIER	LIEU		FACADE (m²)	MAITRE D'OUVRAGE	PORTEUR / NON-PORTEUR
		VILLE	PAYS			
2017 2020	Morsang	Morsang sur Orge	France	1896	Immobilier 3F	P/NP
2018	Hotel de Région Normandie	Caen	France	1851	Région Basse-Normandie	P/NP
2017	MMA Chartres	Chartres	France	1445	MMA IARD IMMOBILIER NUM COMPTA	P/NP
2017	MAPLS	Paris		5604	QUARTIER SANTÉ	P/NP
2020	Musée d'Amiens	Amiens		549	AMIENS METROPOLE	P/NP
2019	Rothschild	Paris		503	FONDATION ROTHSCHILD	P/NP
2019	TRAMCITES	Caen		654	TRAMCITES	P/NP
2020	SANTENY	Santeney		689	SCI SANTENY BOULOGNE	P/NP
2020	Caserne de Reuilly	Paris		4691	Paris Habitat OPH	P/NP
2021	CETCO	Le Havre		2140	Communauté Urbaine Le Havre Seine Metropole - CODAH	P/NP
2020	Bezons	Bezons		1360	REGION ÎLE-DE-FRANCE	P/NP
2019	Agon Coutainville	Agon Coutainville		962	Mairie d'Agon Coutainville	P/NP
2020	Olympus	Colombelles		797	NORMANDIE AMENAGEMENT	P/NP
2020	La Courneuve	La Courneuve		328	Conseil départemental de la Seine-Saint-Denis	P/NP
2020	Jeanne d'Arc	Sainte Adresse		849	ASS LES GADELLES-OGEC JEANNE D'ARC	P/NP
2020	Jean Eudes	Caen		305	Ville de CAEN	P/NP
2020	KOENIG	Bretteville sur Odon		1116	SCI LA BRETTEVILLAISE	P/NP

LISTE DES FIGURES

Numéro référence	Type Panneau	Intitulé
1	P	Liaisons verticales entre panneaux
2	P	Liaison ponctuelle horizontale panneau - plancher (Liaison brochée)
3	P	Liaison ponctuelle horizontale panneau - plancher (liaison brochée)
4	P	Liaison d'angle en bec d'oiseau et refend (isolant coupé à 45°)
5	P	Liaison d'angle en bec d'oiseau et refend (isolant coupé à 90°)
6	P	Liaison d'angle avec retour et liaisons verticales entre panneaux
7	P	Liaison panneau - plancher BA coulé en place (dalles suspendues)
8	P	Liaison panneau - plancher BA coulé en place (dalles non suspendues)
9	P	Liaison panneau - plancher prédalle BA et BP (pour dalles suspendues)
10	P	Liaison panneau - plancher prédalle BA et BP (pour dalles non suspendues)
11	P	Liaison panneau - plancher dalle alvéolaire
12	P	Liaison panneau - acrotère grande hauteur
13	P	Liaison panneau - acrotère grande hauteur (vue d'intérieur)
14	P	Liaison acrotère (avec couvertine)
15	P	Liaison acrotère (sans couvertine)
16	P	Liaison panneau - terrasse intermédiaire

Numéro référence	Type Panneau	Intitulé
17	NP	Détails éléments préfabriqués d'habillage
18	P	Détails étanchéité - joint à 2 étages (coupe verticale)
19	P	Détails étanchéité - joint à 2 étages (coupe horizontale)
20	P	Détails étanchéité - joint à 2 étages (vue en perspective)
21	P	Détails étanchéité - joint à 2 étages -Système Couvraneuf (coupe verticale)
22	P	Détails étanchéité - joint à 2 étages -Système Couvraneuf (coupes horizontales)
23	P	Détails étanchéité - joint à 1 étage - (coupe verticale)
24	P	Détails menuiseries - Cadre bois / Cadre acier galvanisé
25	P	Détails menuiseries - Cadre bois (coupe verticale)
26	P	Détails menuiseries - Cadre bois avec volet roulant (coupe verticale)
27	P	Détails menuiseries - Cadre acier galvanisé (coupe verticale)
28	P	Détails menuiseries - Cadre acier galvanisé avec volet roulant (coupe verticale)
29	P	Détails boîtes de clavetage (vue d'intérieur)
30	P	Principed'implantation des connecteurs
31	P	Principe liaison peau extérieure - menuiserie



Liaisons verticales entre panneaux

Coupes horizontales



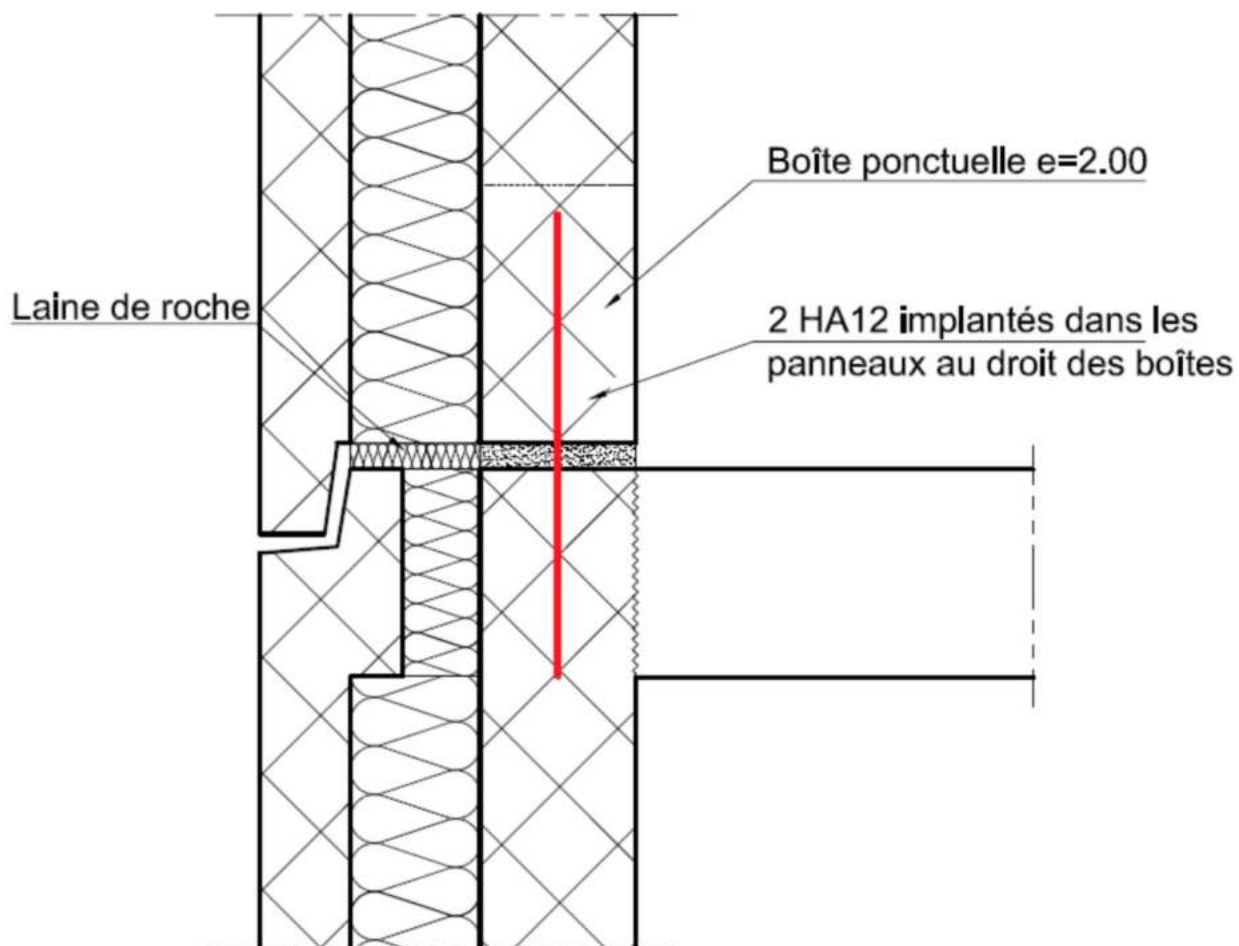
Panneau porteur - Zone sismique

"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC

Légende:

- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant
- Béton de clavetage

Figure N°1



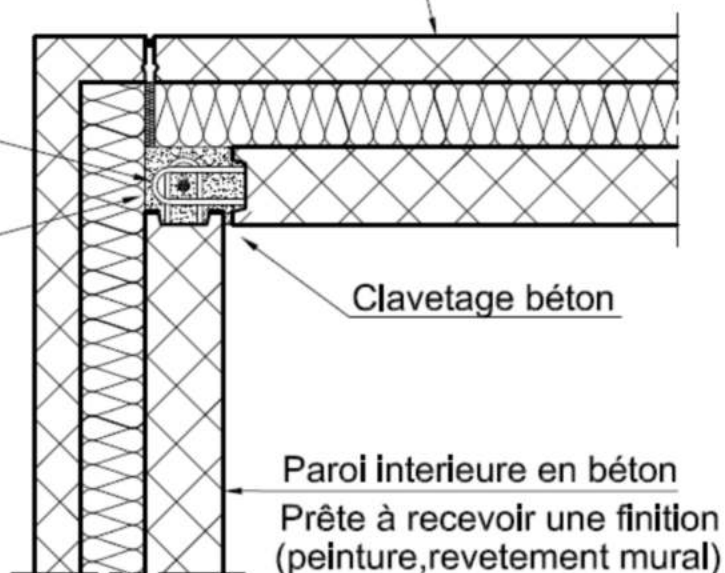
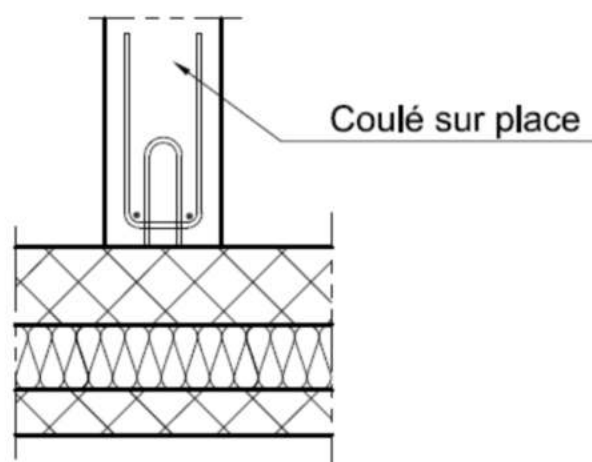
Liaison ponctuelle horizontale panneau - plancher		Légende:
Coupe verticale	Liaison brochée	 Béton coulé en place
	Panneau porteur - Zone sismique	 Béton préfabriqué
	"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC	 Isolant
		Figure N°2

Angle:

Boucles aciers Ø6

1 HA12 filant

Paroi extérieure en béton
Nature selon choix architecte
(couleur, matrice, traitement)

**Refend:****Liaisons d'angle avec retour et refend**

Coupes horizontales

Panneau porteur

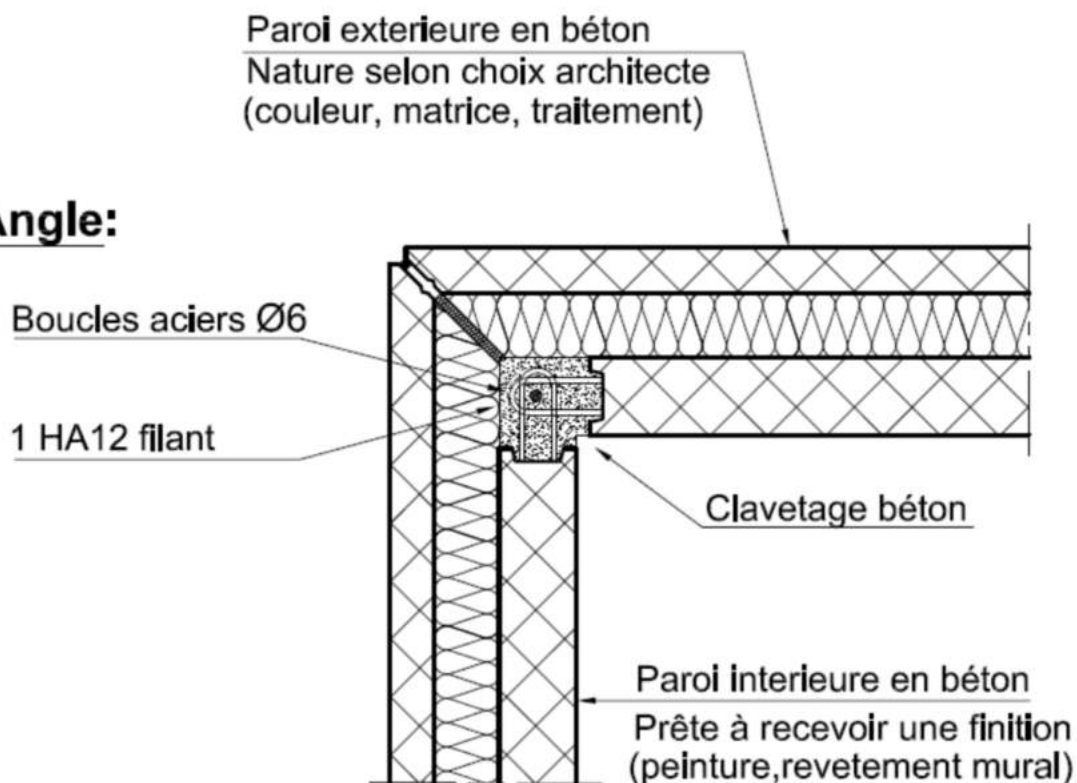
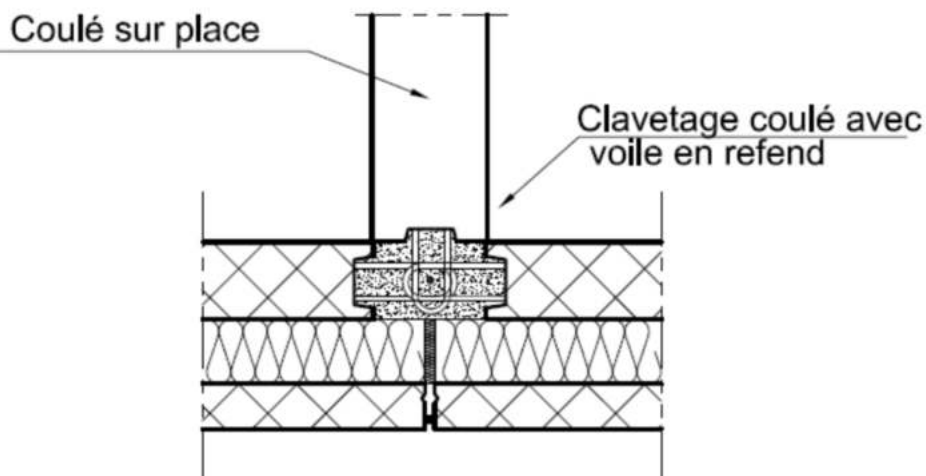


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant
- Béton de clavetage

Figure N°3

Angle:**Refend:****Liaisons d'angle avec bec d'oiseau et refend**

Coupes horizontales

Isolant coupé à 45°

Panneau porteur

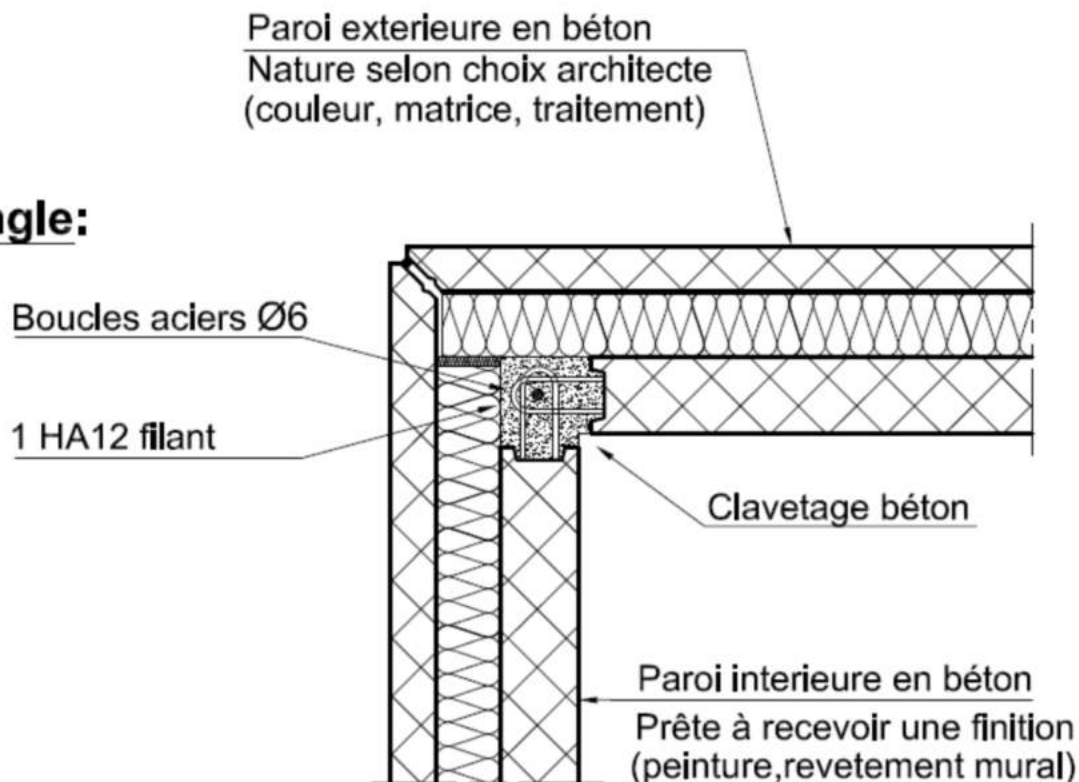
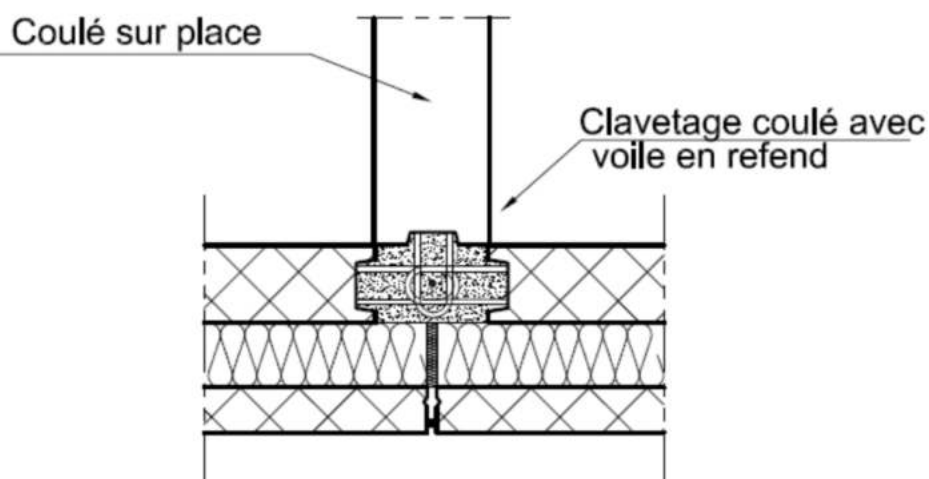


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC

Légende:

- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant
- Béton de clavetage

Figure N°4

Angle:**Refend:****Liaisons d'angle avec bec d'oiseau et refend**

Coupes horizontales

Isolant coupé à 90°

Panneau porteur

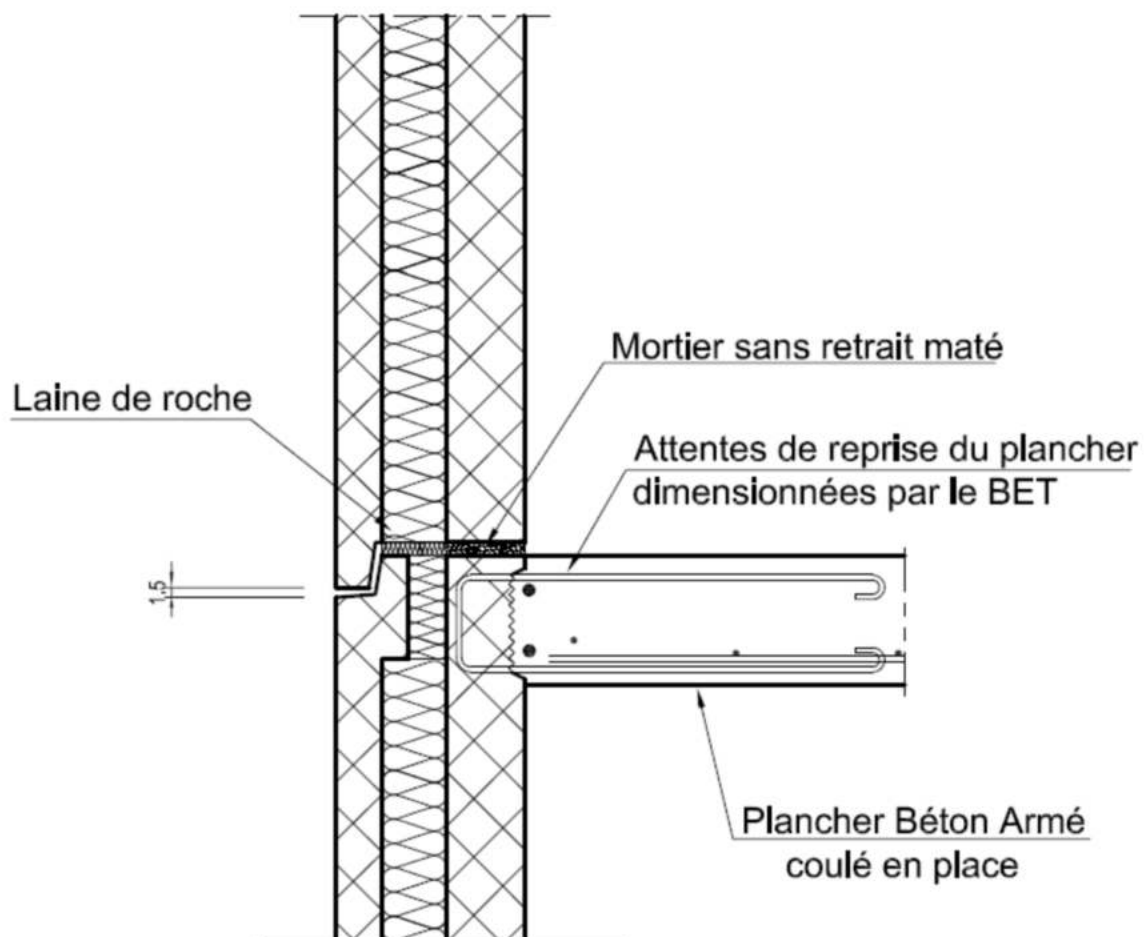


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant
- Béton de clavetage

Figure N°5



Liaison Panneau - plancher BA coulé en place

Coupe verticale

Pour dalles suspendues

Panneau porteur

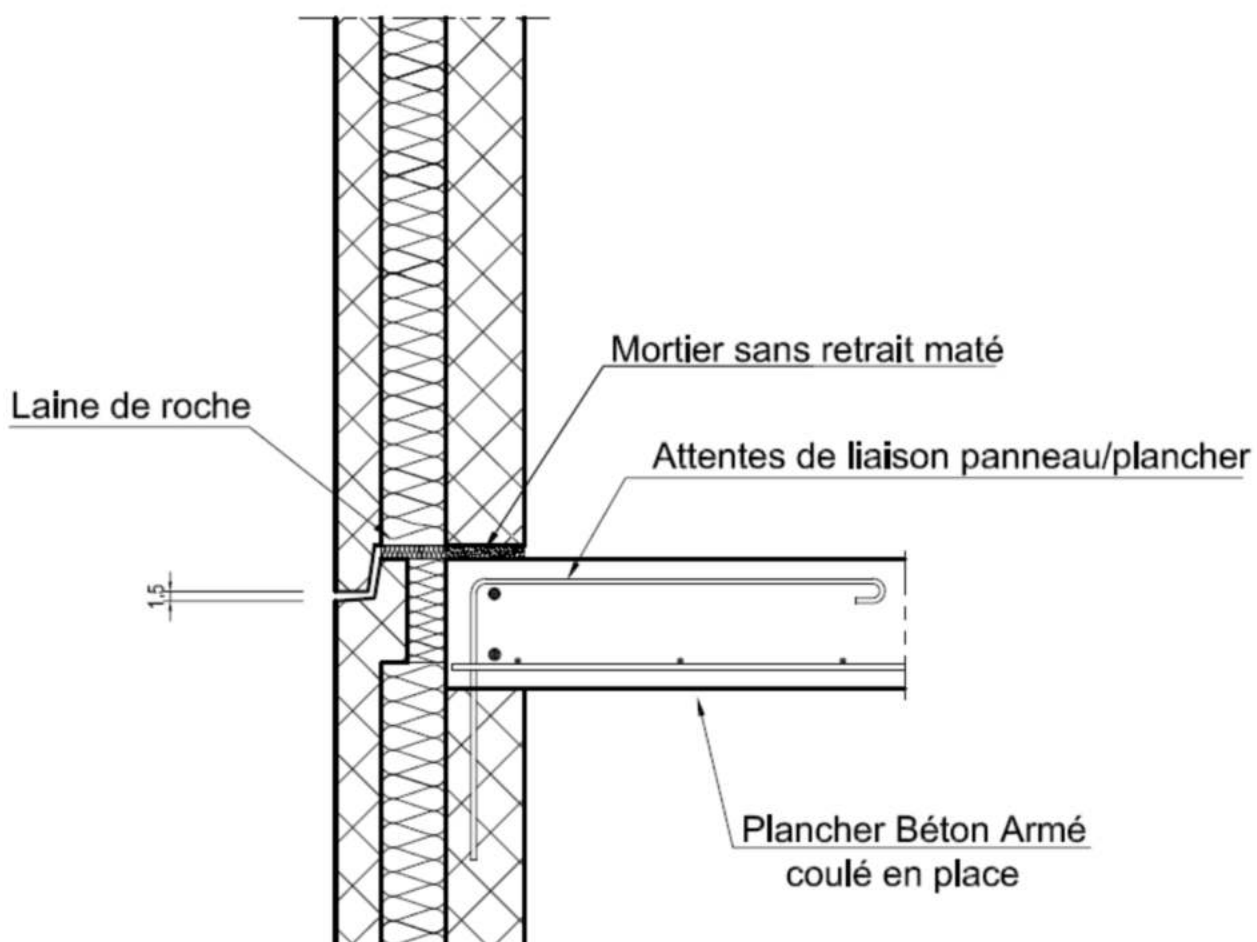


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

-  Béton coulé en place
-  Béton préfabriqué
-  Isolant

Figure N°7



Liaison Panneau - plancher BA coulé en place

Coupe verticale

Pour dalles non suspendues

Panneau porteur

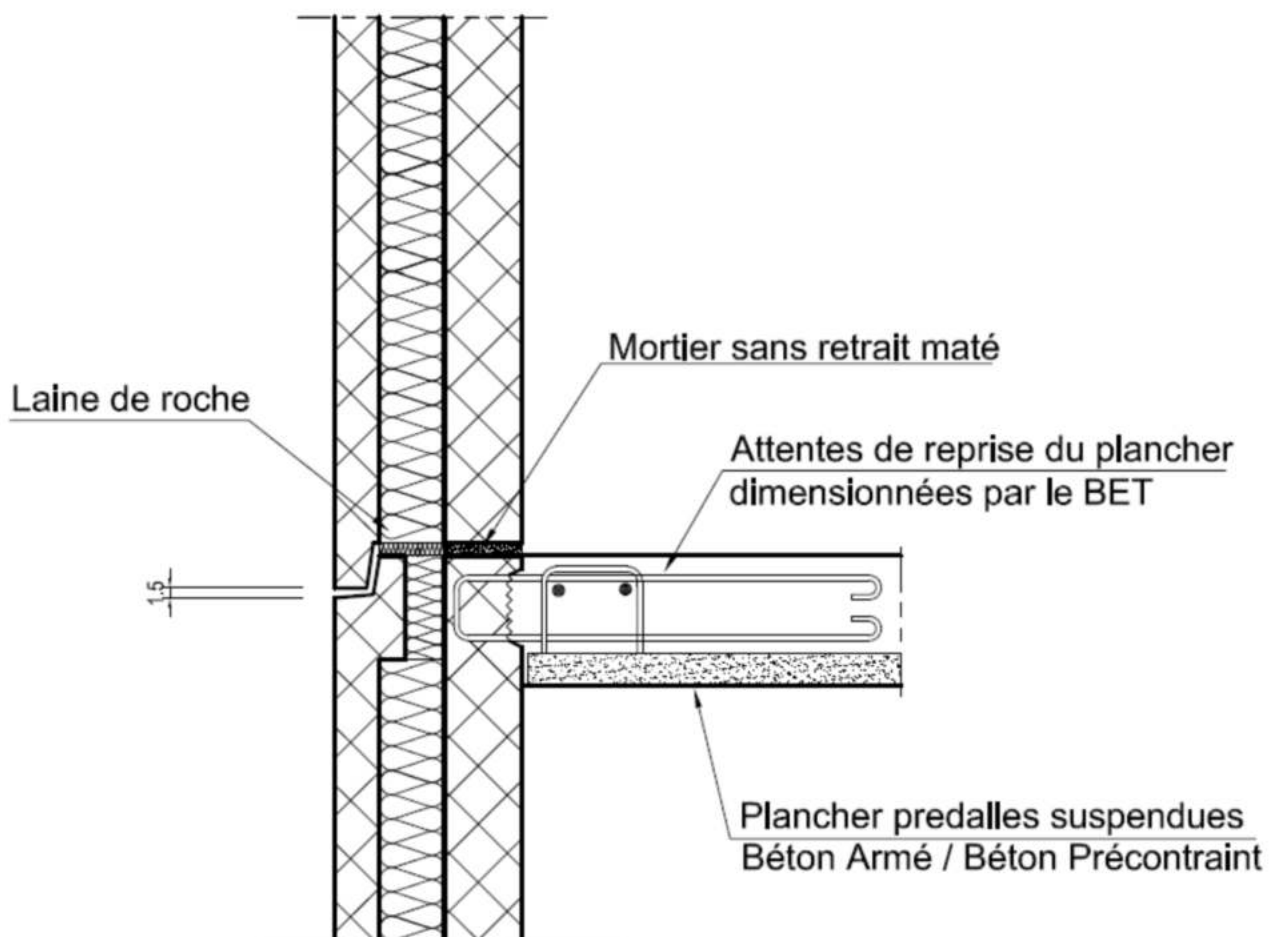


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC

Légende:

-  Béton coulé en place
-  Béton préfabriqué
-  Isolant

Figure N°8



Liaison Panneau - plancher prédalle BA et BP

Coupe verticale

Pour dalles suspendues

Panneau porteur - Hors zone sismique

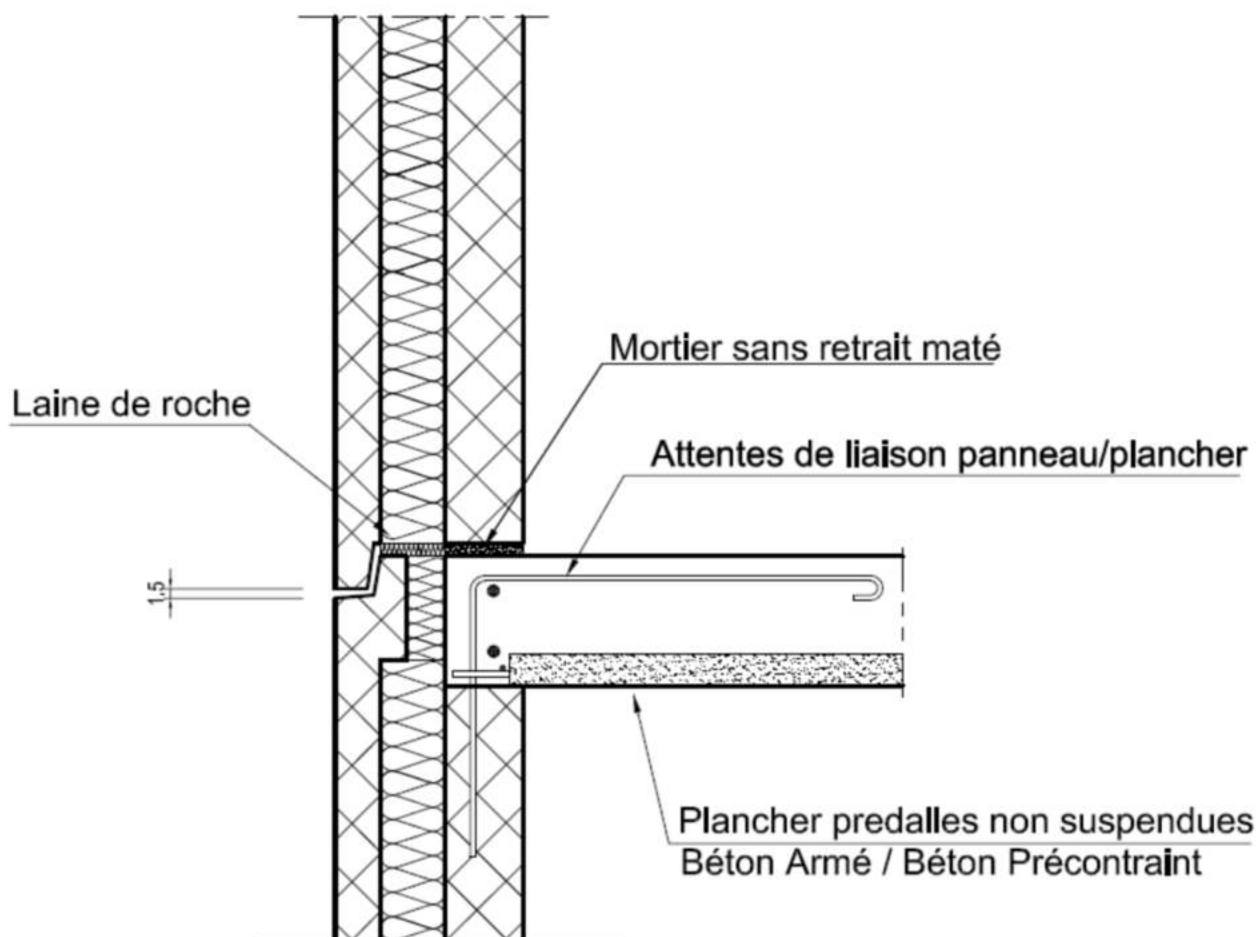
Légende:

-  Béton coulé en place
-  Béton préfabriqué
-  Isolant



"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Figure N°9



Liaison Panneau - plancher prédalle BA et BP

Coupe verticale

Pour dalles non suspendues

Panneau porteur

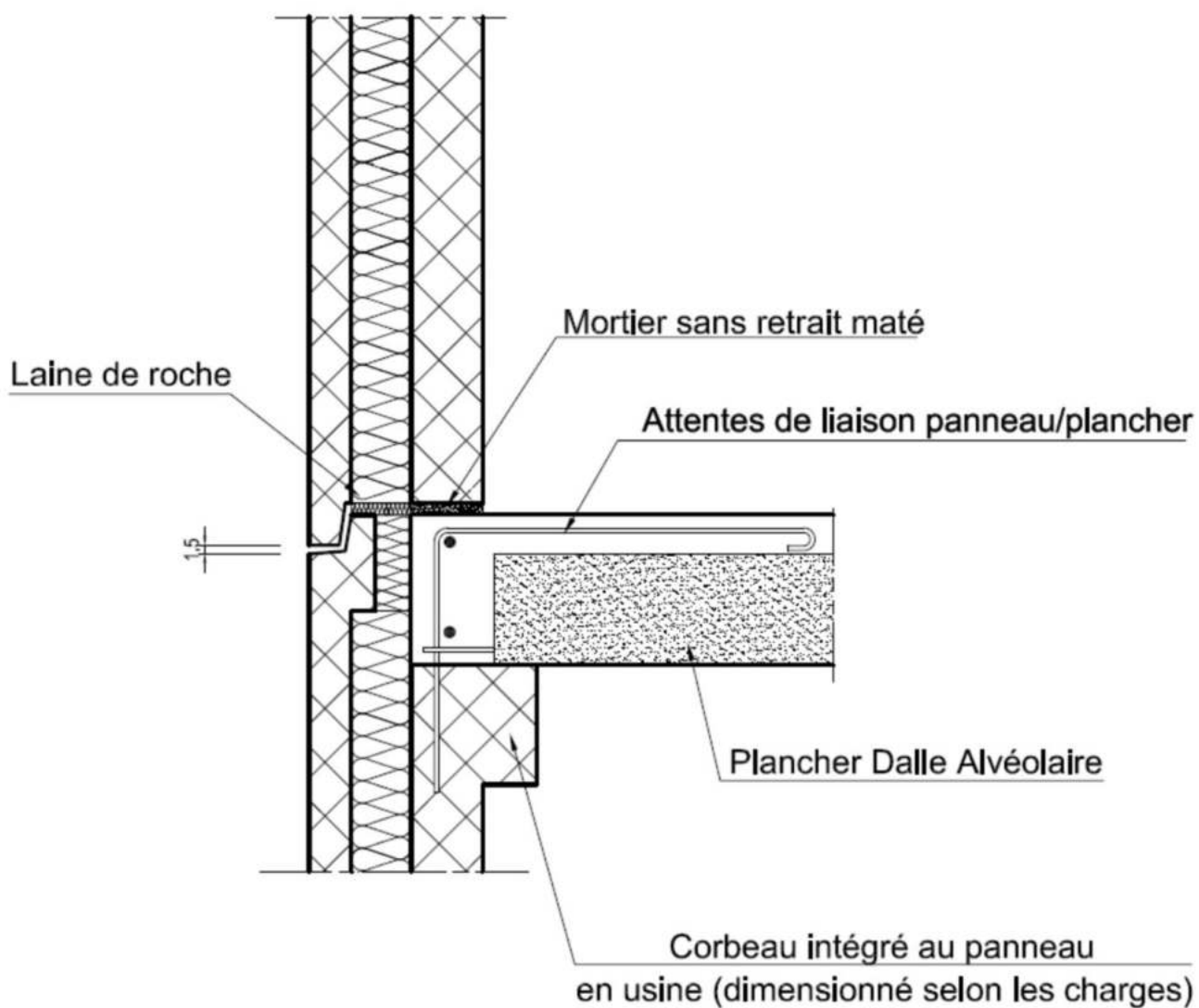


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant

Figure N°10



Liaison Panneau - plancher dalle alvéolaire

Coupe verticale



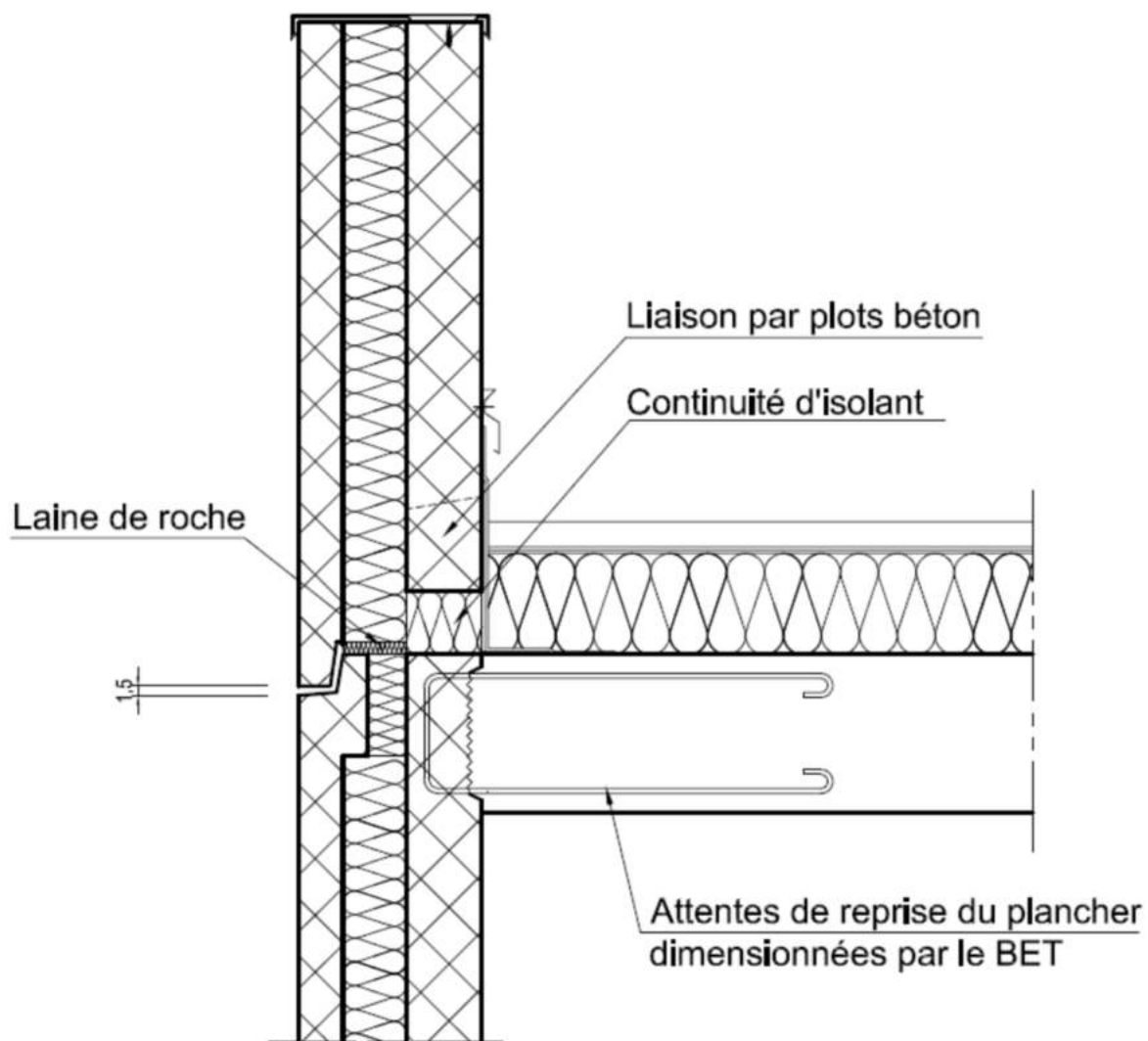
Panneau porteur

"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant

Figure N°11



voir vue de face figure suivante

Liaison Panneau - Acrotère grande hauteur

Coupe verticale

Panneau porteur

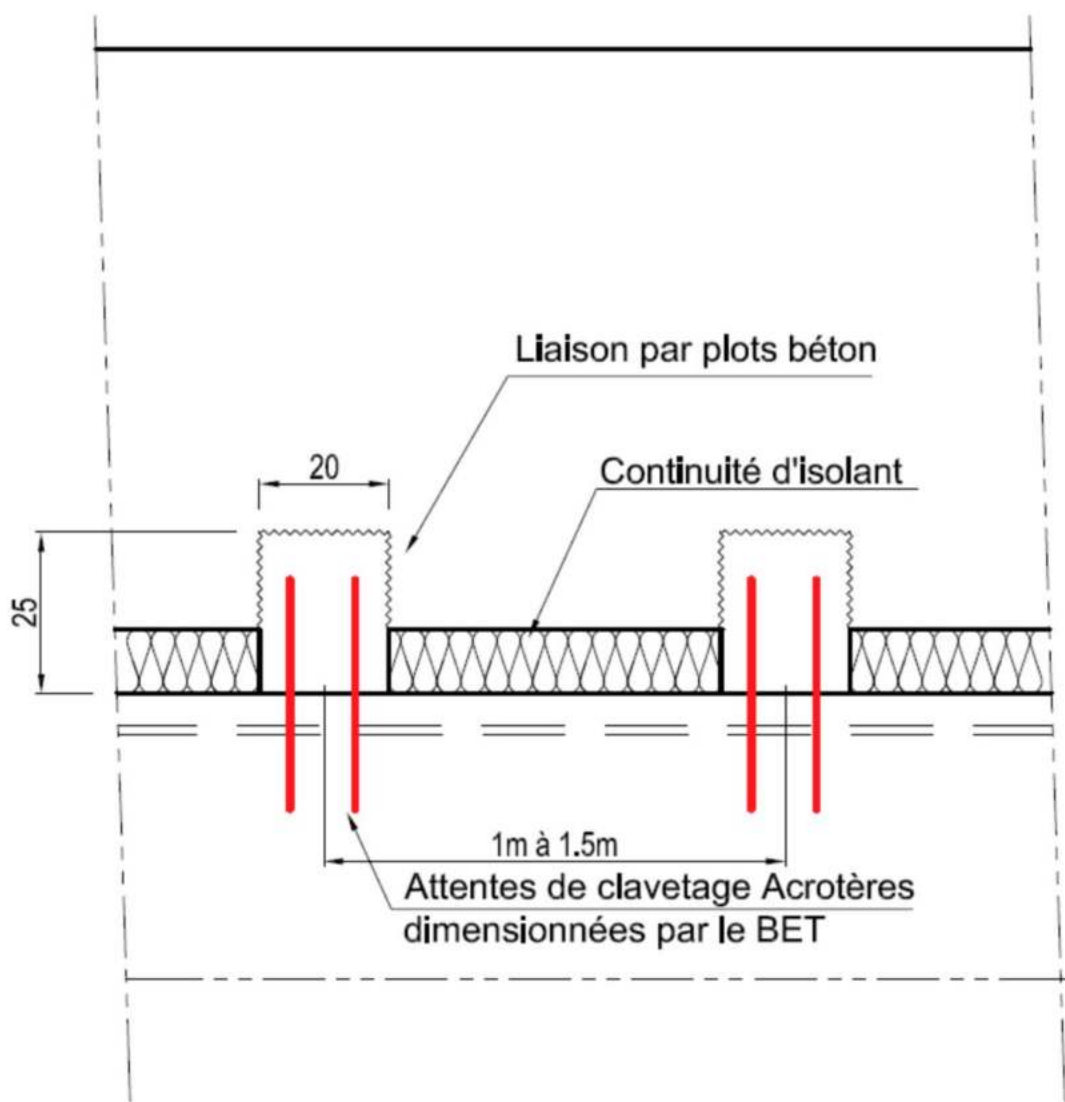


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

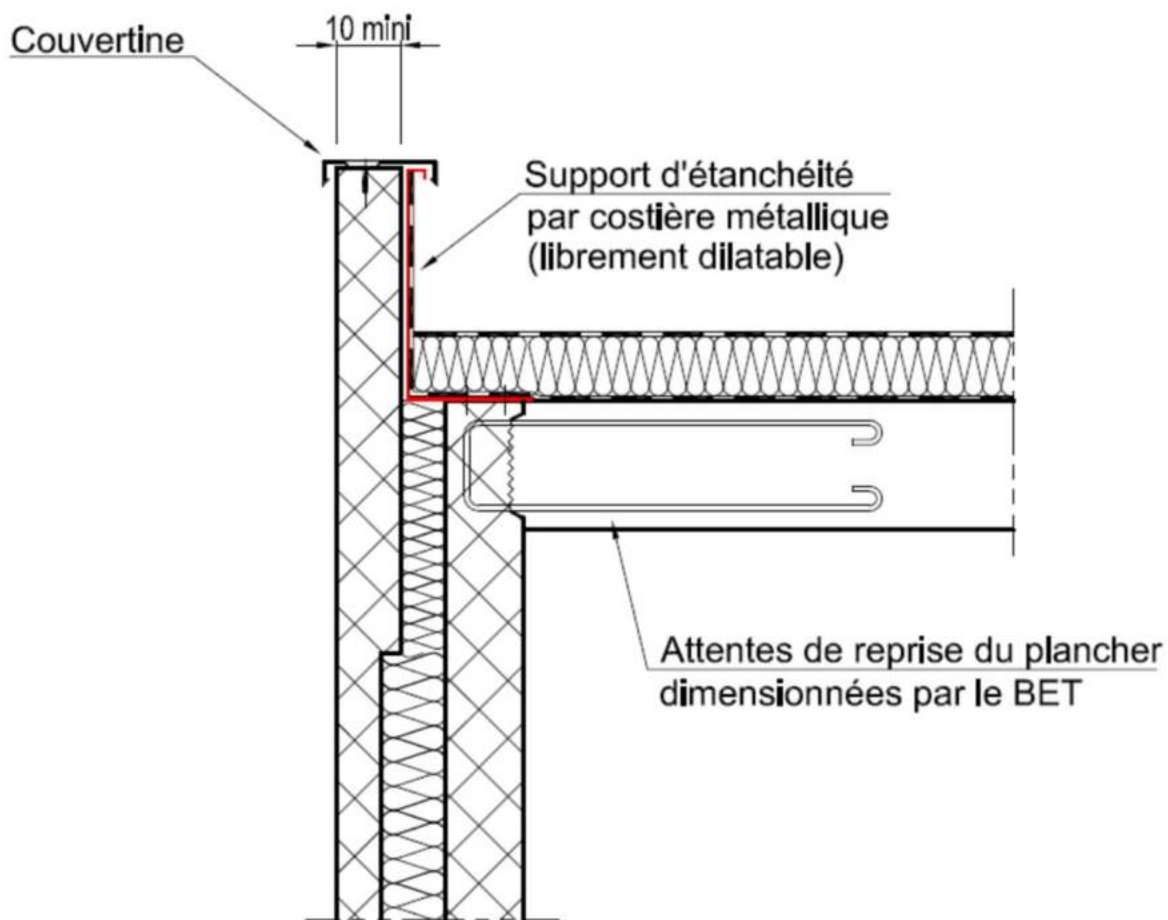
- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant

Figure N°12



vue de face

Liaison Panneau - Acrotère grande hauteur		Légende:
Vue d'Intérieur		Béton coulé en place Béton préfabriqué Isolant
CMEG Panneau porteur		
"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG		Figure N°13



Liaison Acrotère

Coupe verticale

Avec couvertine

Panneau porteur

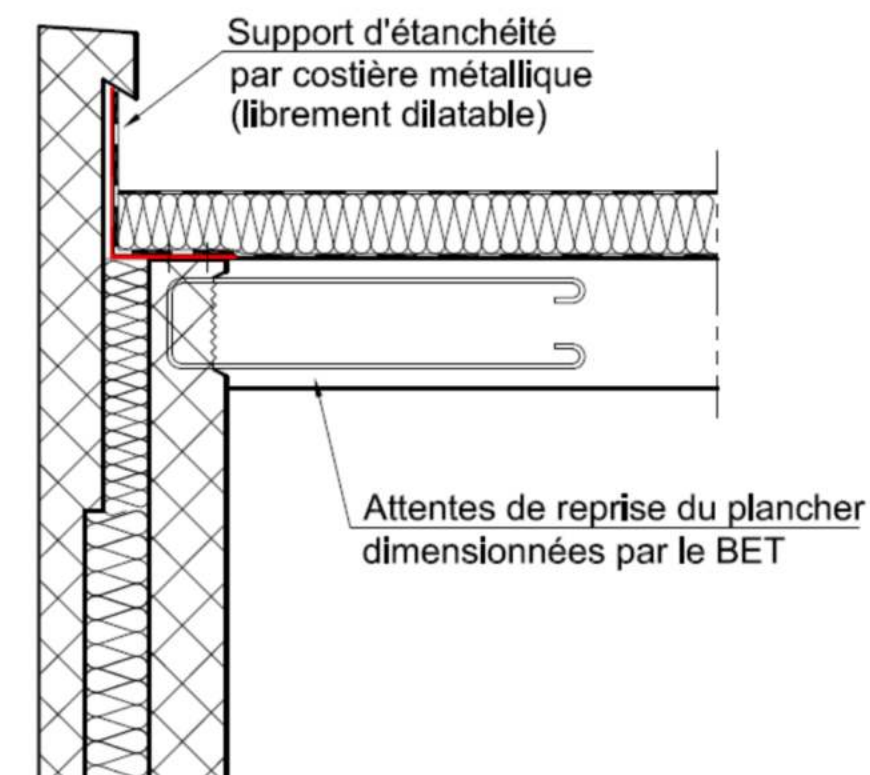


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

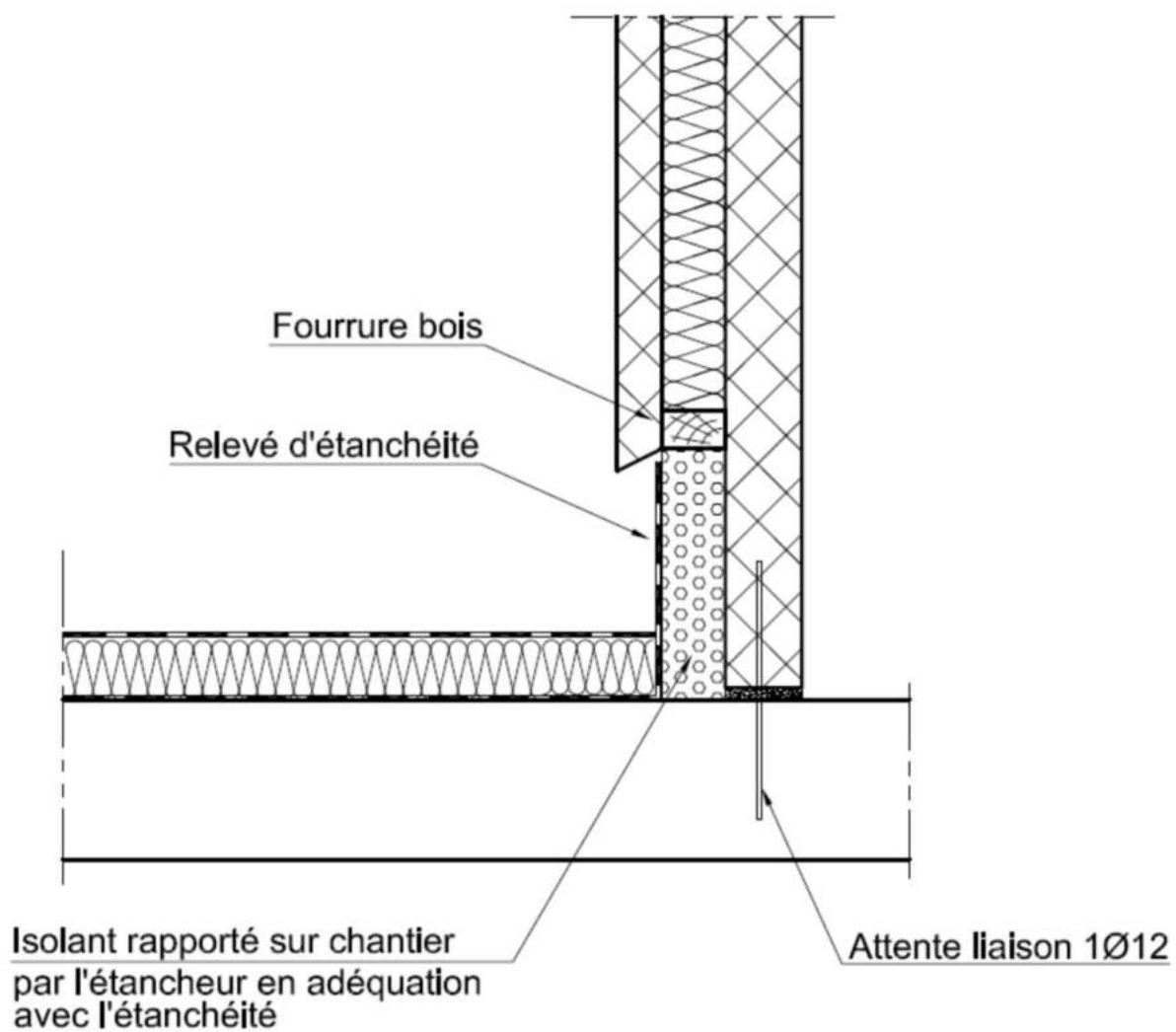
Légende:

-  Béton coulé en place
-  Béton préfabriqué
-  Isolant

Figure N°14



Liaison Acrotère		Légende: Béton coulé en place  Béton préfabriqué  Isolant
Coupe verticale	Sans couverture	
	Panneau porteur	
"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG		Figure N°15



Liaison Panneau - Terrasse intermédiaire

Coupe verticale

Panneau porteur

Légende:

-  Béton coulé en place
-  Béton préfabriqué
-  Isolant

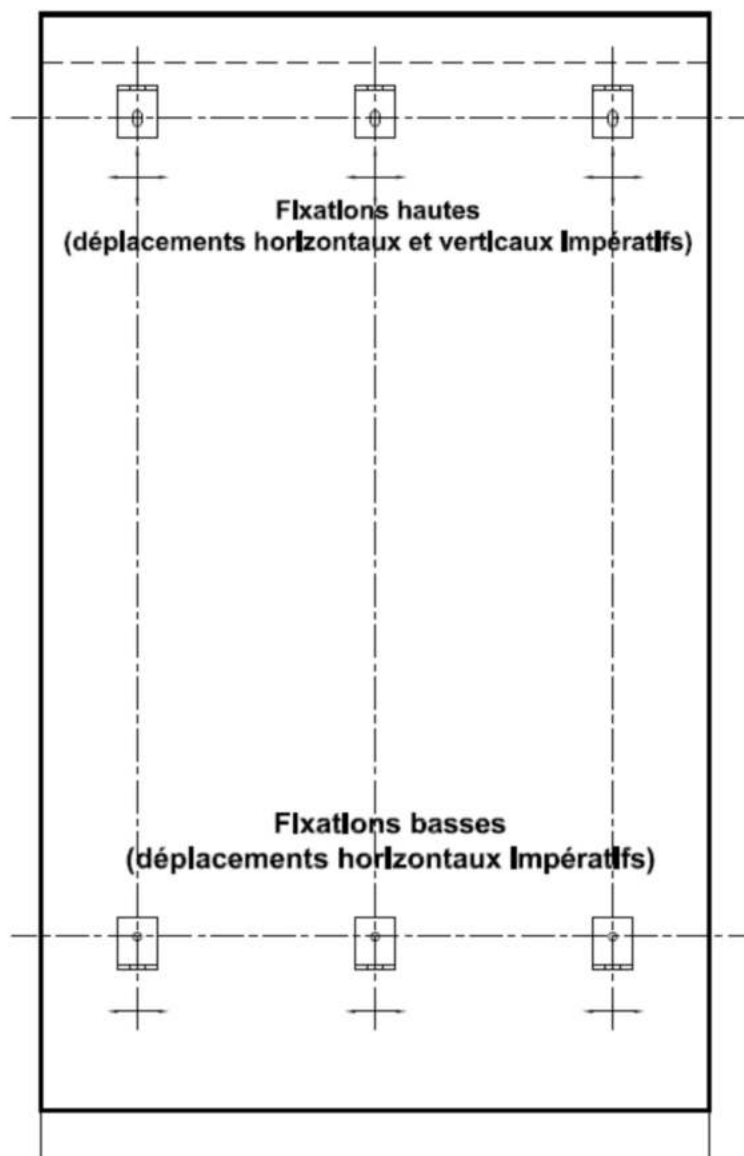
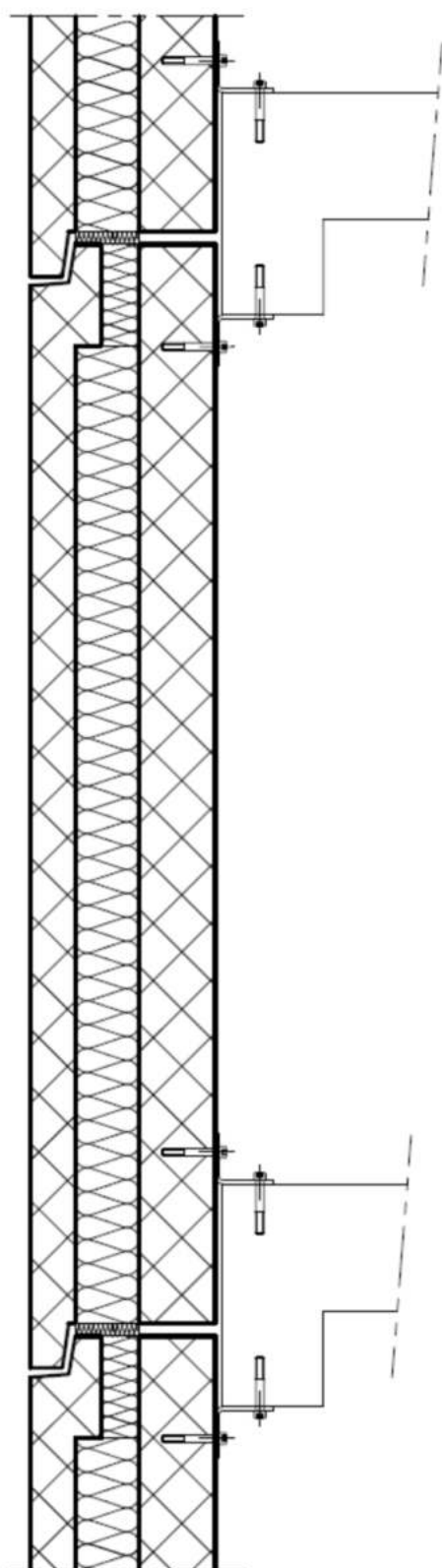


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Figure N°16

Principe de fixation déterminé en fonction des efforts à reprendre

les fixations ne doivent pas mettre en charge les panneaux
les déplacements horizontaux et/ou verticaux seront réalisés par
l'emploi de trous oblongs sur les équerres, ou l'emploi
d'entretoises de type Halfen par exemple. Les fixations sont galvanisées.



Détails éléments préfabriqués d'habillage

Exemple de fixation



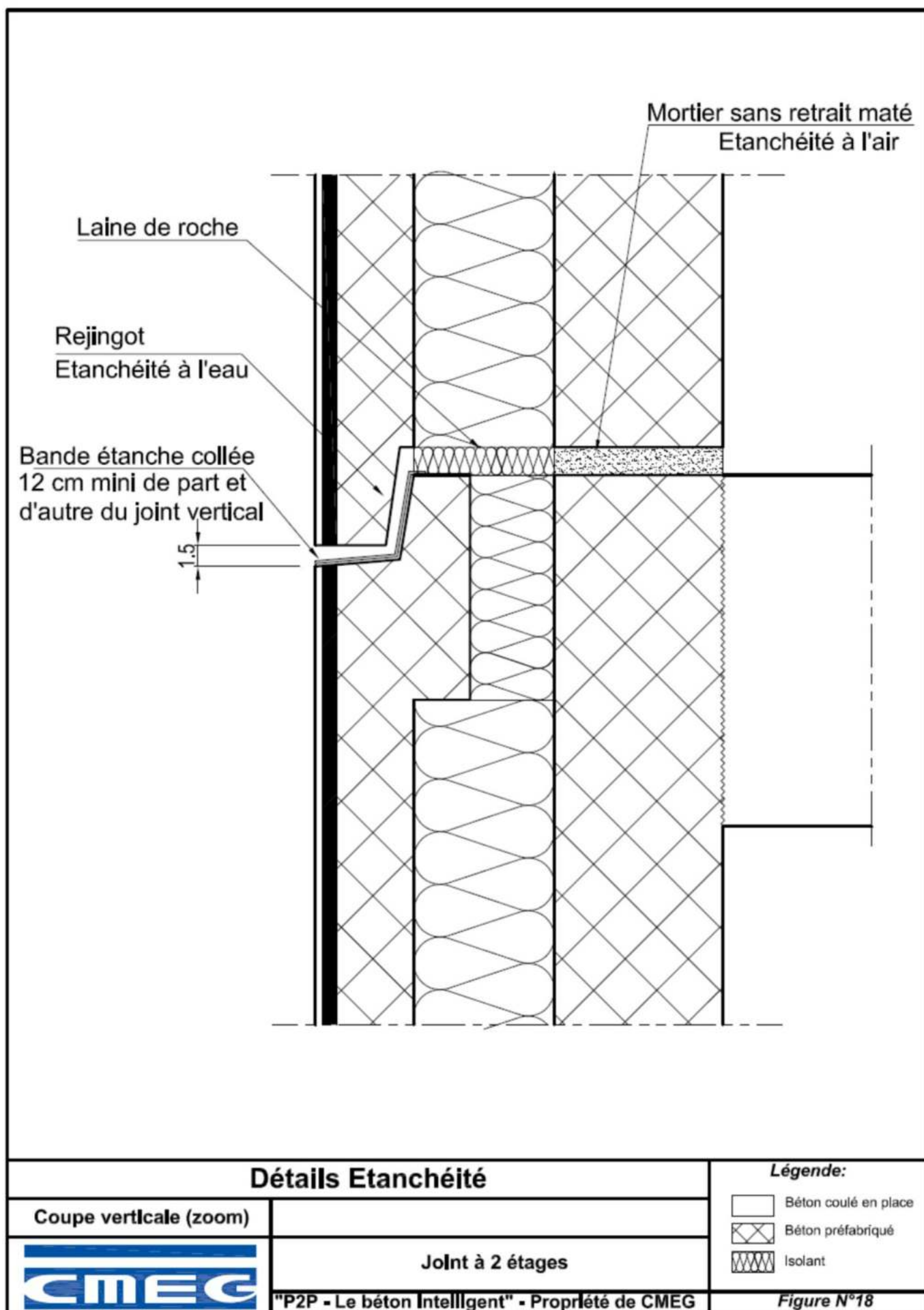
Panneau non porteur

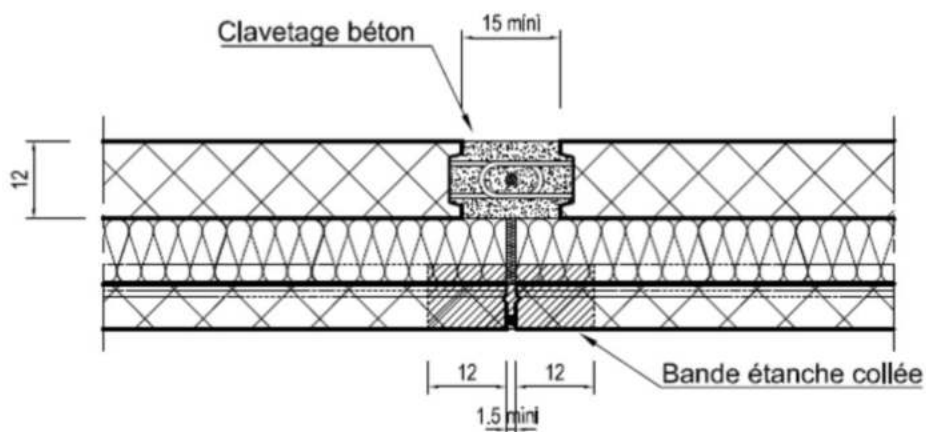
"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

-  Béton coulé en place
-  Béton préfabriqué
-  Isolant

Figure N°17

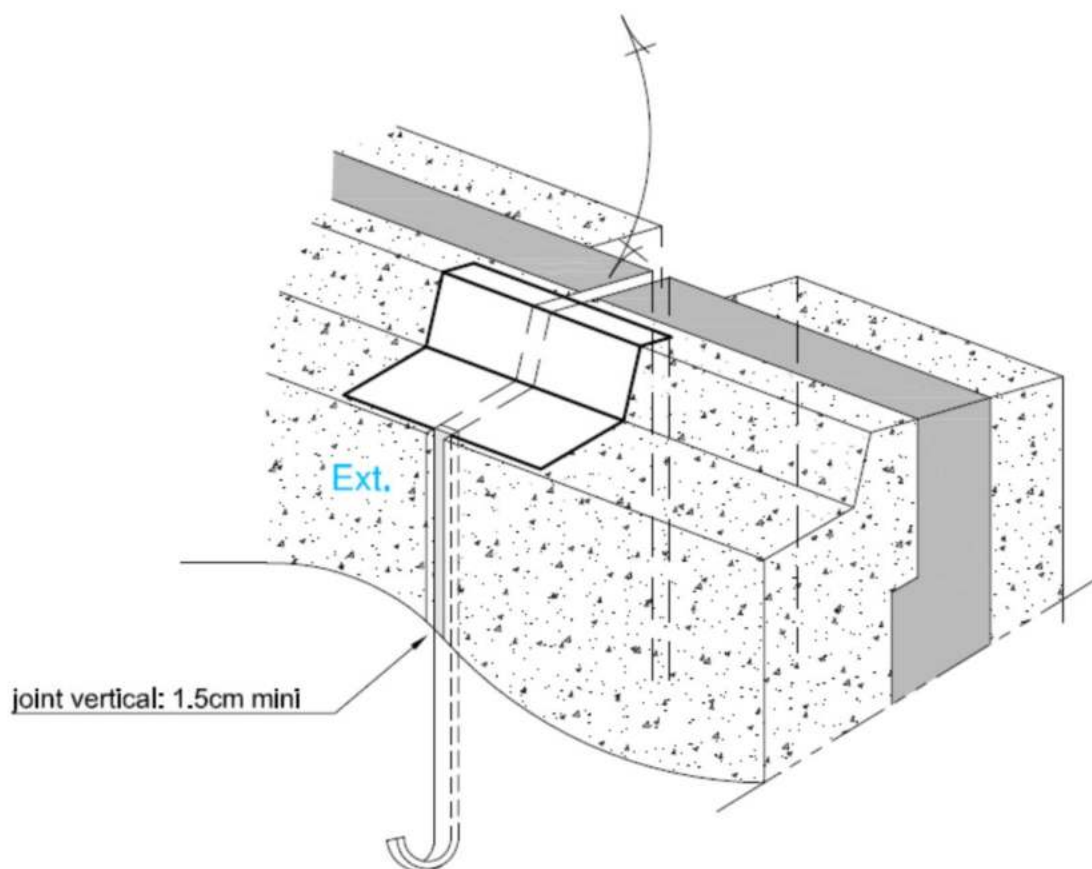




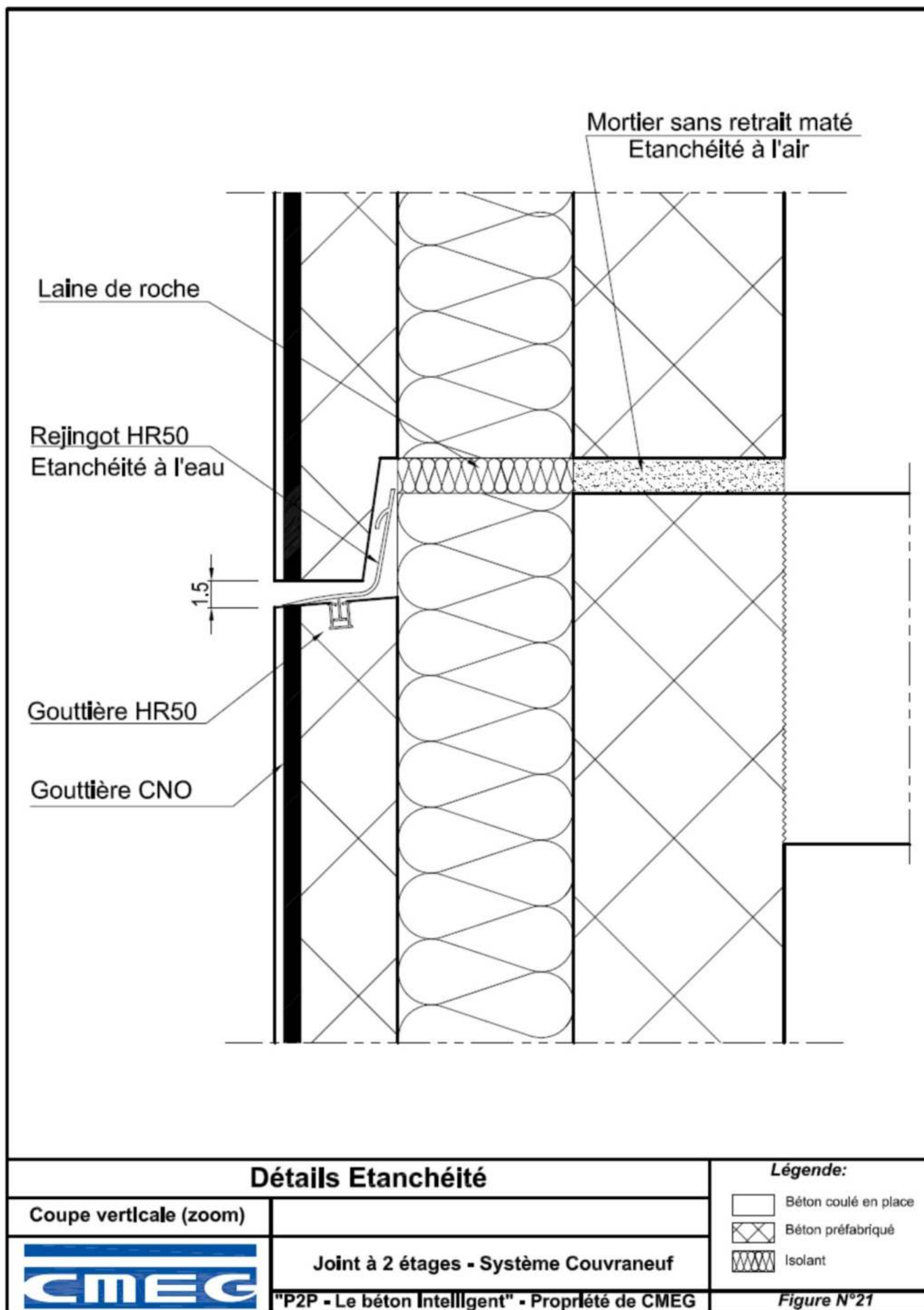
Détails Etanchéité		Légende:  Bande étanche collée  Béton préfabriqué  Isolant  Béton de clavetage
Coupes horizontales		
	Joint à 2 étages "P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG	
		Figure N°19

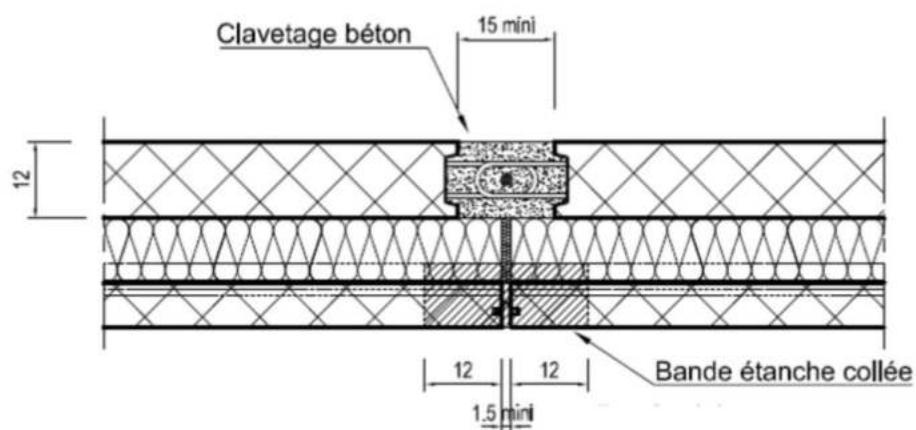
NOTA:

PREVOIR HORIZONTALEMENT A LA JONCTION ENTRE PANNEAUX PREFABRIQUES UNE BANDE ETANCHE OU UNE BOITE DE REJET D'EAU.



Détails Etanchéité		Légende:
Vue en perspective		Béton coulé en place Béton préfabriqué Isolant
		
Joint à 2 étages		
"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC		Figure N°20





Détails Etanchéité

Coupes horizontales



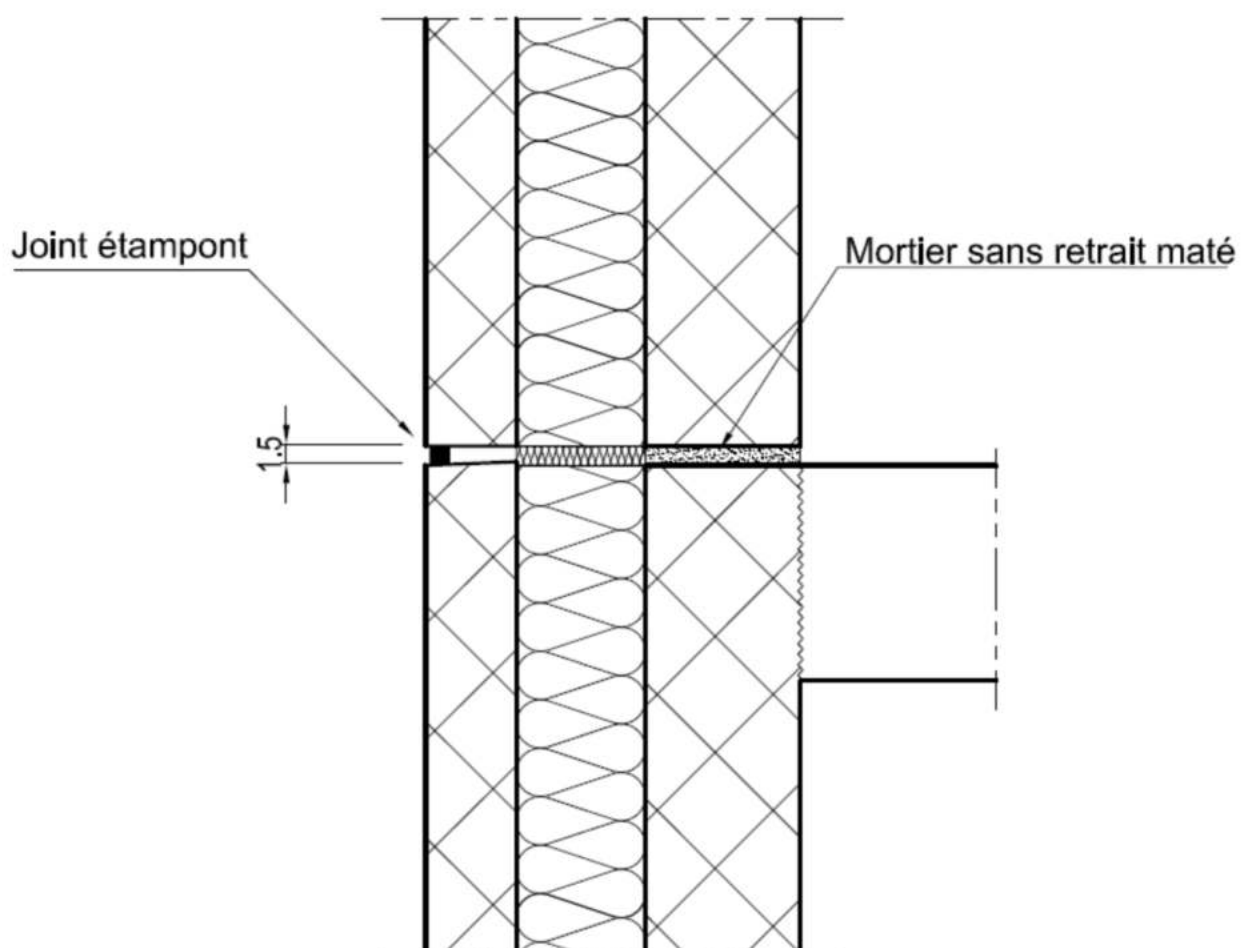
Joint à 2 étages - Système Couvraneuf

"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC

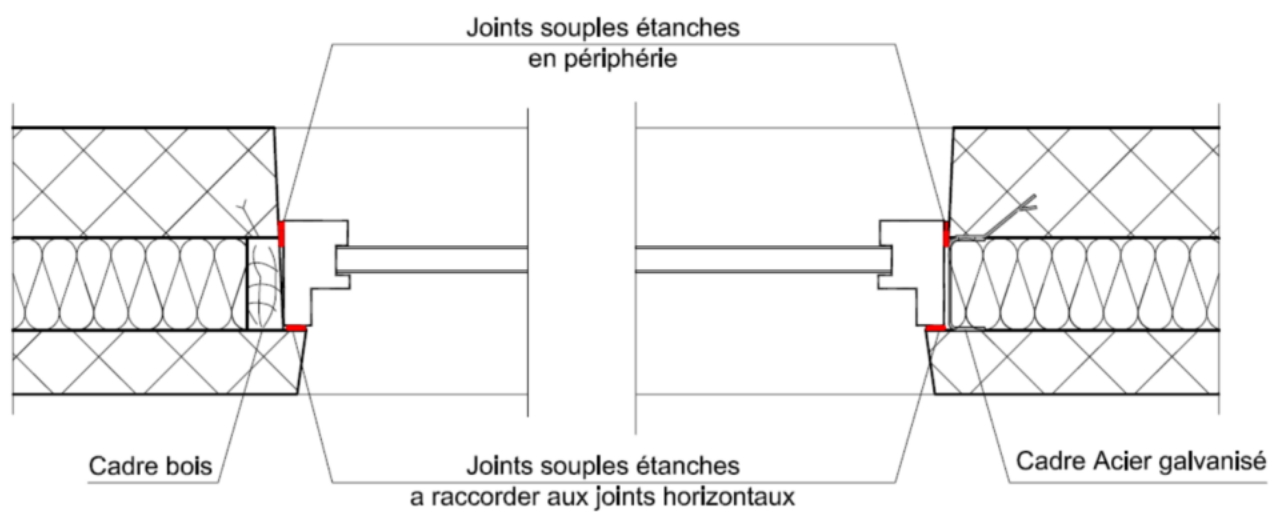
Légende:

-  Bande étanche collée
-  Béton préfabriqué
-  Isolant
-  Béton de clavetage

Figure N°22

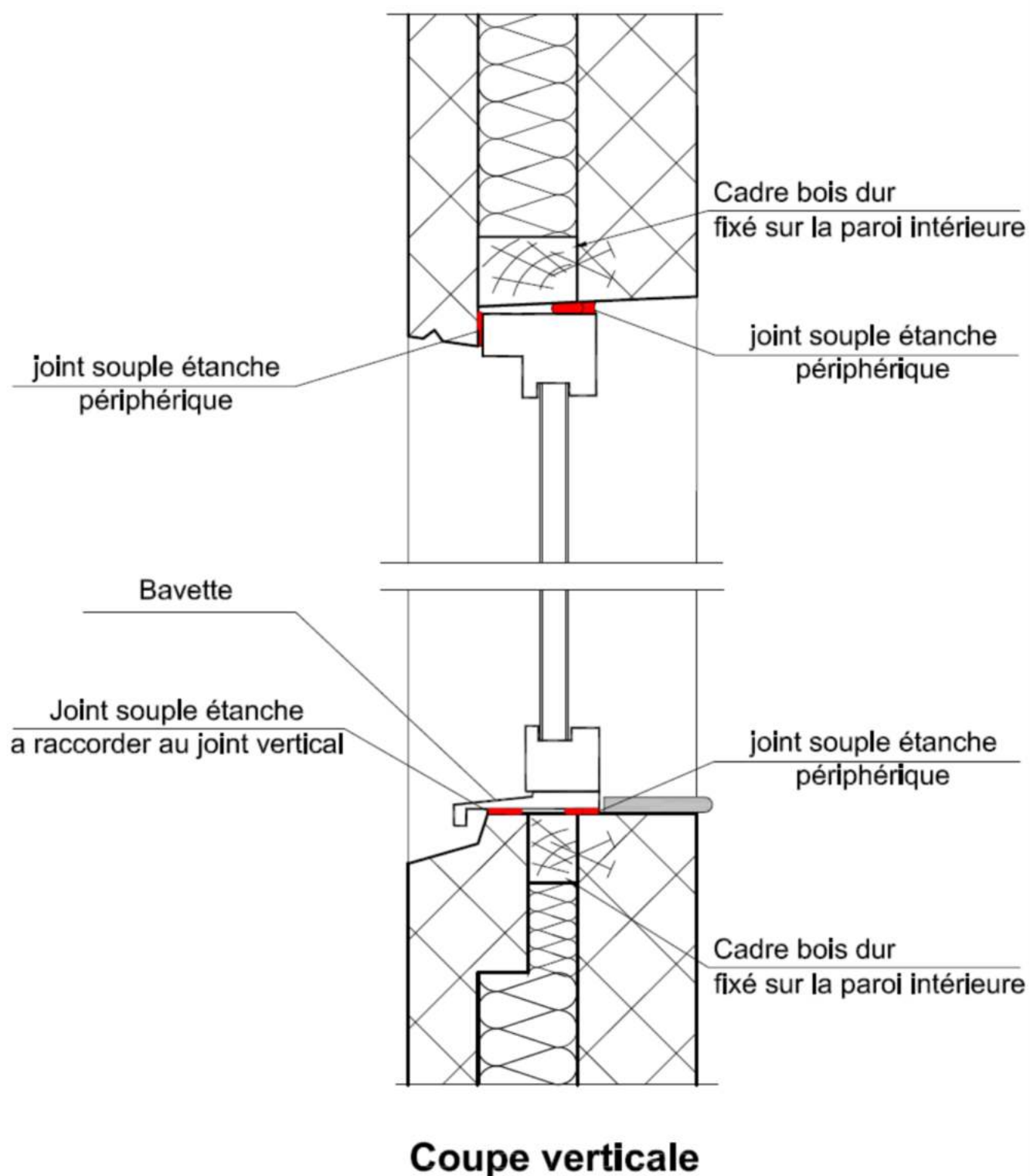


Détails Etanchéité		Légende:
Coupe verticale	NB: ne répond pas aux exigences d'étanchéité à la pluie	
	Joint à 1 étage	Béton coulé en place Béton préfabriqué Isolant
	"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC	Figure N°23

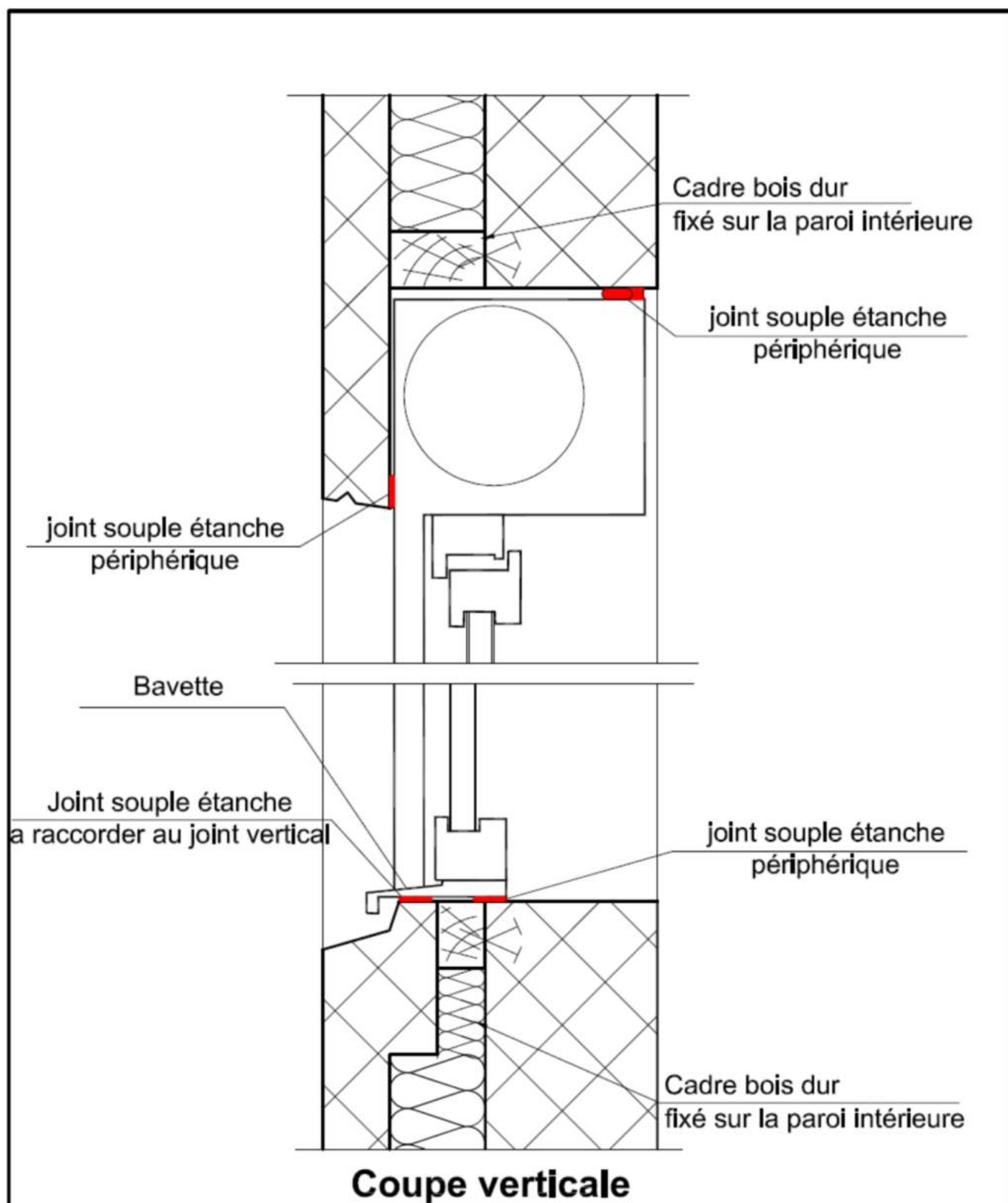


Coupe horizontale

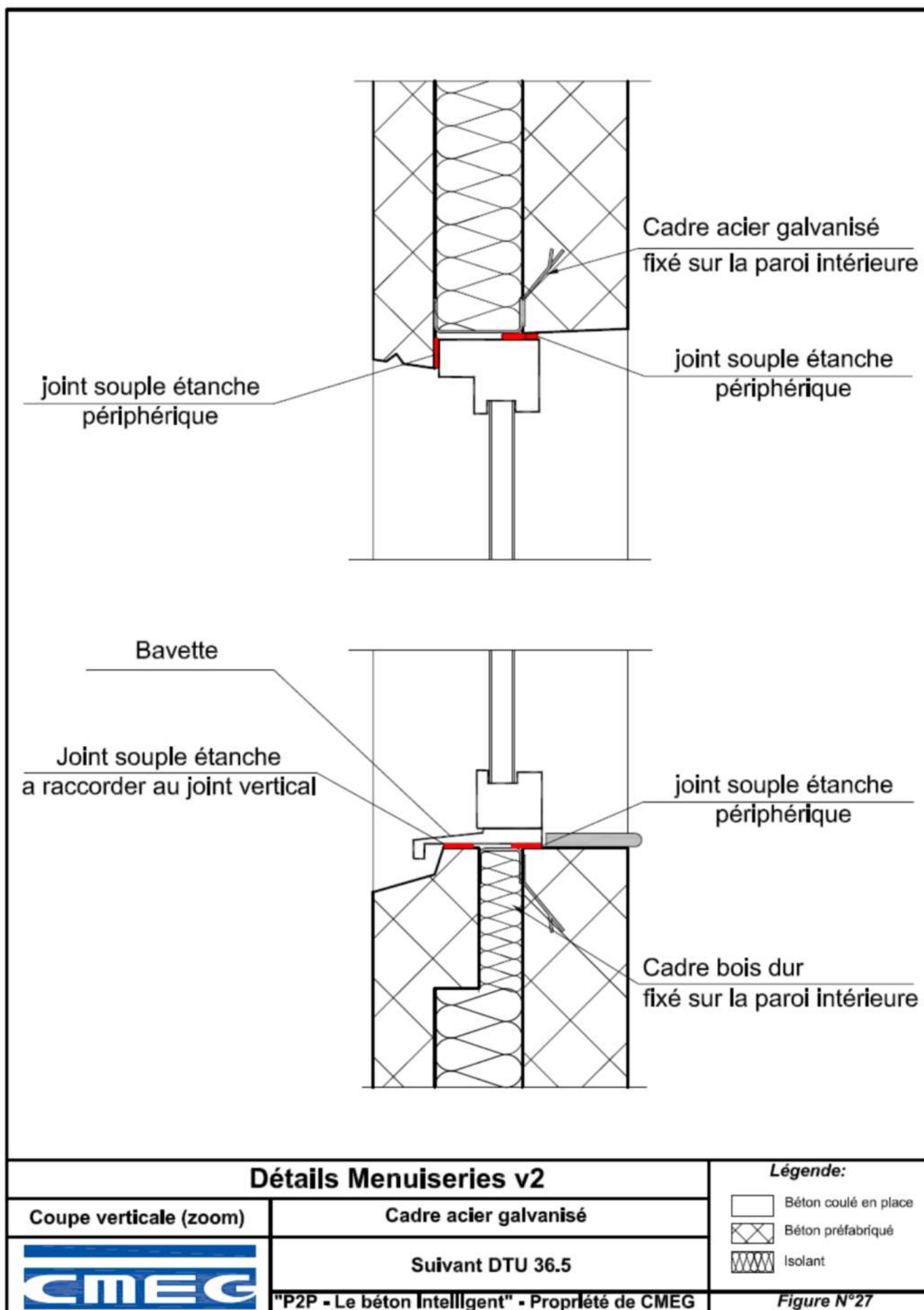
Détails Menuiseries		Légende:
Coupe horizontale (zoom)	Cadre bois / Cadre acier galvanisé	
	Sulvant DTU 36.5	Béton coulé en place Béton préfabriqué Isolant
	"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG	Figure N°24

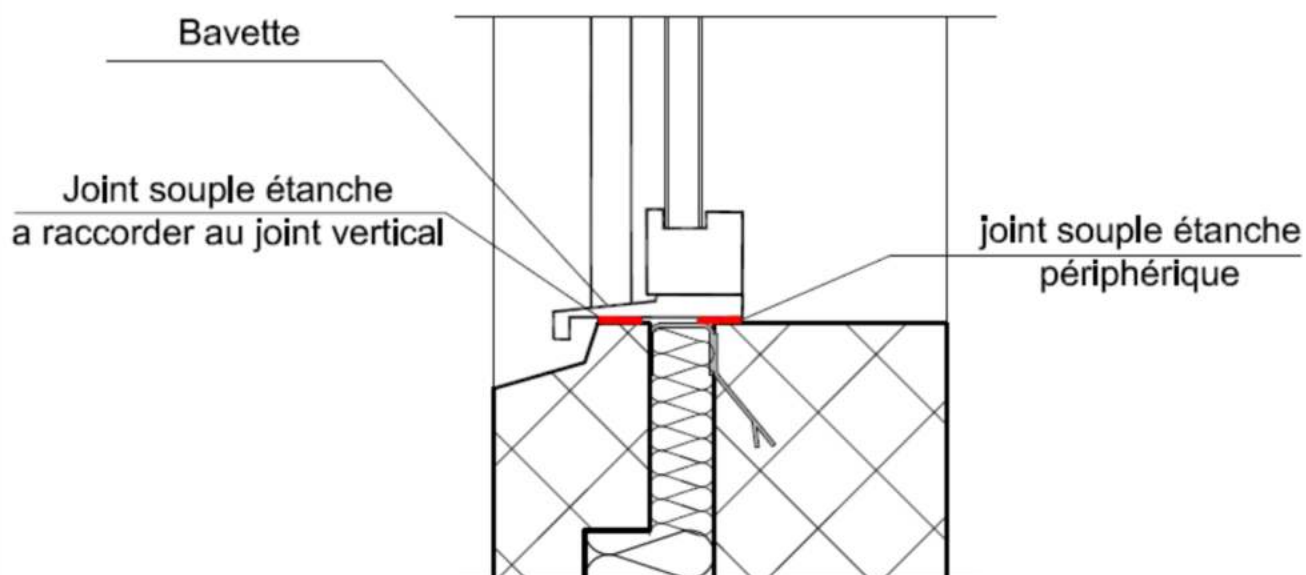
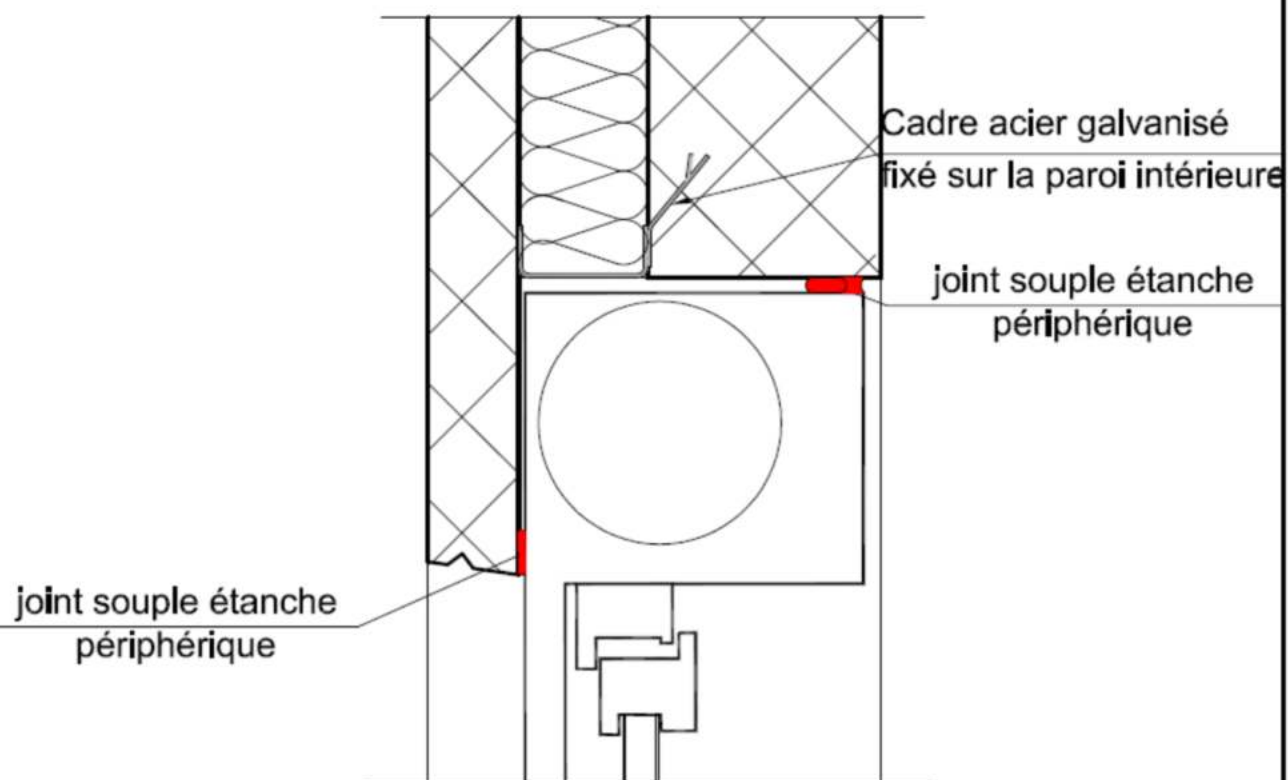


Détails Menuiseries		Légende:
Coupe verticale (zoom)	Cadre bois	Béton coulé en place
	Suivant DTU 36.5	Béton préfabriqué
	"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG	Isolant
		Figure N°25



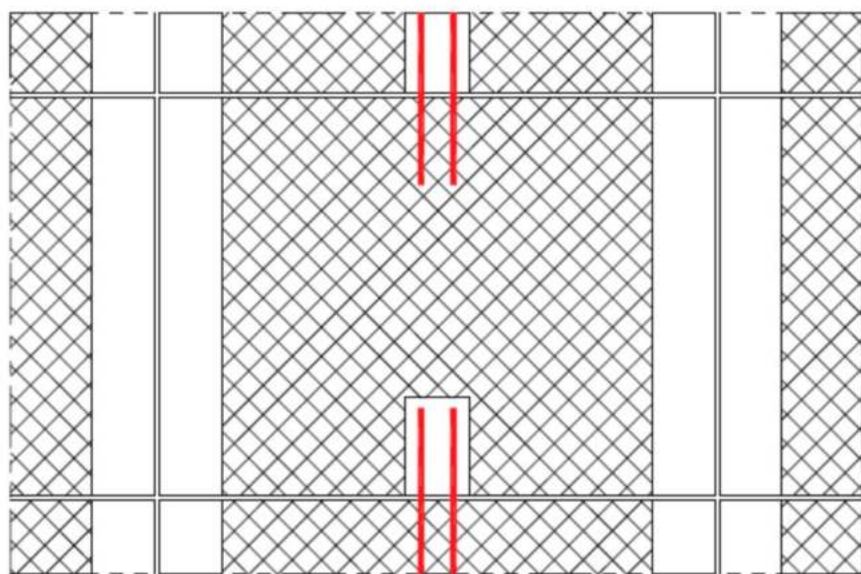
Détails Menuiseries			Légende:
Coupe verticale (zoom)	Cadre bols	Avec volet roulant	
	Suivant DTU 36.5		Béton coulé en place Béton préfabriqué Isolant
	"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG		Figure N°26





Détails Menuiseries v2		Légende:
Coupe verticale (zoom)	Cadre acier galvanisé Avec volet roulant	Béton coulé en place Béton préfabriqué Isolant
		
Suivant DTU 36.5		
"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG		Figure N°28

ELEVATION



Attentes vers clavierage

VUE EN PLAN

Clavierage entre voiles
toute hauteur

Clavierage en pied

Clavierage entre voiles
toute hauteur

ARMATURES ET NOMBRE DE CLAVETAGE
A DEFINIR PAR LE BET STRUCTURE

Détails boîtes de clavierage

Vue intérieur

En zone sismique



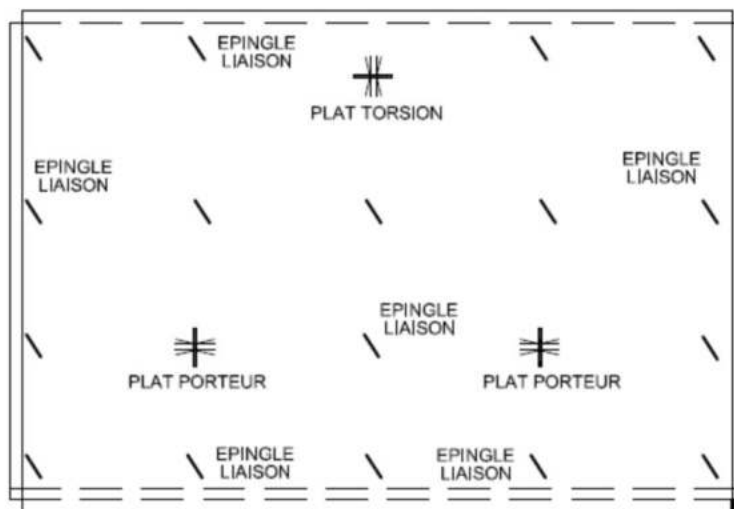
"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

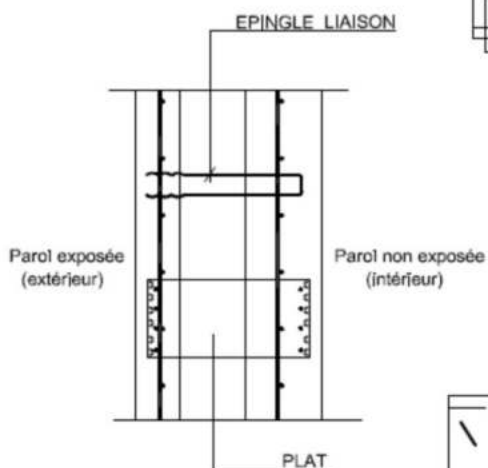
- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant

Figure N°29

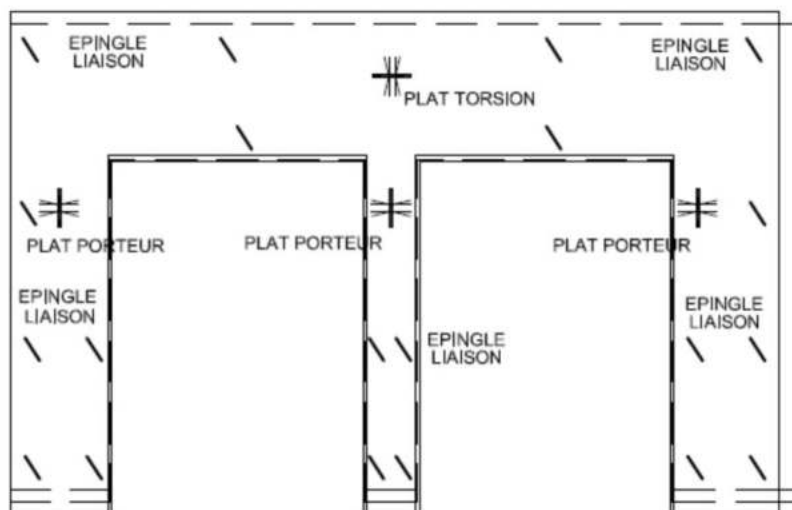
Panneau plein



COUPE



Panneau avec ouvertures



Principe d'implantation des connecteurs

Coupe et Vues Intérieures

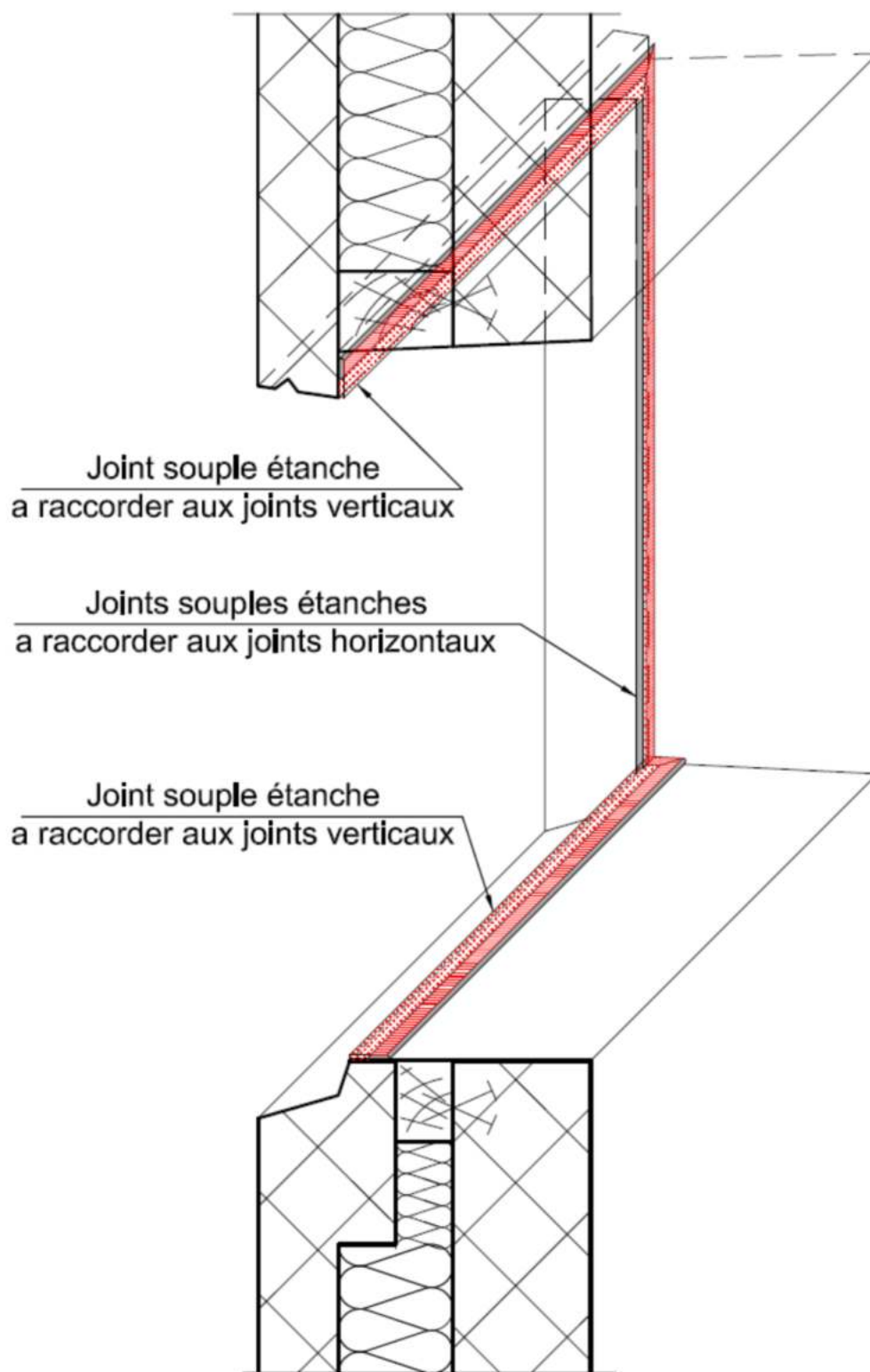


"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEG

Légende:

- Béton coulé en place
- Béton préfabriqué
- Isolant

Figure N°30



Principe liaison peau extérieure - menuiserie

Coupe et Vues Intérieures

Détail du calfeutrement

Suivant DTU 36.5

Légende:

-  Béton coulé en place
-  Béton préfabriqué
-  Isolant



"P2P - Le béton Intelligent" - Propriété de CMEC

Figure N°31