

Sur le procédé

ISOPRÉ®

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

Titulaire(s) : Société SPURGIN LEONHART

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 |
|---------|-------------|-------------|-----------------------------|
| V6 | | JUNES Angel | BERNARDIN-EZRAN Roseline |

Descripteur :

Procédé de mur à coffrage et isolation intégrés constitué de deux parois minces préfabriquées en béton armé d'une épaisseur de 60 à 100 mm selon le cas, dont l'une comporte un isolant accolé d'une épaisseur variant de 80 à 180 mm, maintenues espacées par des organes de liaison (connecteurs synthétiques et ancrages cylindriques) et servant de coffrage en œuvre à un béton prêt à l'emploi, pour réalisation de murs articulés ou encastrés. La paroi extérieure est librement dilatable. La paroi structurale (noyau et paroi intérieure) est d'épaisseur nominale d'au moins 160 mm pour les murs porteurs et de 120 mm pour les murs non porteurs. Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses, en infrastructure ou superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux, de dimension maximale 3,7x12,36 m. Des aciers de liaison sont insérés en œuvre dans le béton coulé sur place ; les panneaux de coffrage peuvent être associés à des éléments structuraux complémentaires coulés sur place ou préfabriqués. Les menuiseries et les huisseries sont rapportées en œuvre.

Table des matières

| | | |
|---------|---|----|
| 1. | Avis du Groupe Spécialisé..... | 5 |
| 1.1. | Domaine d'emploi accepté | 5 |
| 1.1.1. | Zone géographique | 5 |
| 1.1.2. | Ouvrages visés..... | 5 |
| 1.2. | Appréciation..... | 5 |
| 1.2.1. | Aptitude à l'emploi du procédé | 5 |
| 1.2.2. | Durabilité | 7 |
| 1.2.3. | Impacts environnementaux | 8 |
| 1.3. | Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé | 8 |
| 1.4. | Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé | 9 |
| 2. | Dossier Technique..... | 10 |
| 2.1. | Mode de commercialisation | 10 |
| 2.1.1. | Coordonnées..... | 10 |
| 2.1.2. | Mise sur le marché..... | 10 |
| 2.1.3. | Identification..... | 10 |
| 2.2. | Description..... | 10 |
| 2.2.1. | Principe..... | 10 |
| 2.2.2. | Caractéristiques des composants..... | 11 |
| 2.3. | Dispositions de conception | 15 |
| 2.3.1. | Conception de la paroi structurale (paroi intérieure et noyau)..... | 15 |
| 2.3.2. | Conception de la paroi extérieure | 24 |
| 2.3.3. | Dimensionnement du système de liaison..... | 26 |
| 2.4. | Conditions de stockage et de transport..... | 31 |
| 2.4.1. | Prescriptions concernant la manutention des panneaux | 31 |
| 2.4.2. | Prescriptions concernant le transport et stockage des panneaux..... | 31 |
| 2.5. | Dispositions de mise en œuvre | 31 |
| 2.5.1. | Chronologie de pose pour les ISOPRÉ® | 32 |
| 2.5.2. | Stabilité en phase provisoire..... | 32 |
| 2.5.3. | Bétonnage..... | 32 |
| 2.6. | Traitement des joints | 33 |
| 2.6.1. | Matériaux de jointement et d'étanchéité | 33 |
| 2.6.2. | Etanchéité des liaisons menuiseries/panneaux | 33 |
| 2.6.3. | Etanchéité de la paroi extérieure | 33 |
| 2.6.4. | Etanchéité de la paroi intérieure | 35 |
| 2.7. | Traitement en fin de vie | 35 |
| 2.8. | Assistance technique..... | 35 |
| 2.9. | Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication..... | 35 |
| 2.9.1. | Conditions de fabrication..... | 35 |
| 2.9.2. | Contrôle de fabrication..... | 36 |
| 2.9.3. | Caractéristiques dimensionnelles et tolérances | 36 |
| 2.9.4. | Finitions et aspect..... | 37 |
| 2.10. | Conditions d'exploitation du procédé..... | 37 |
| 2.10.1. | Aide à la mise en œuvre | 38 |
| 2.11. | Mention des justificatifs..... | 38 |
| 2.11.1. | Résultats expérimentaux..... | 38 |
| 2.11.2. | Références chantiers..... | 39 |
| 2.12. | Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre | 40 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.13. | Annexe 1 : Dispositions constructives | 40 |
| 2.14. | Annexe 2 : Renforts d'armatures entre cylindres..... | 68 |
| 2.15. | Annexe 3 : Cas type de poutres voiles en ISOPRÉ® | 69 |
| 2.16. | Annexe 4 : Principes constructifs..... | 72 |
| 2.17. | Annexe 5 : Exemple de calcul de..... | 74 |
| 2.18. | Annexe 6 : Exemple de calcul de..... | 75 |
| 2.19. | Annexe 7 : Principe de calcul des efforts résistant des joints entre ISOPRÉ® | 76 |

1. Avis du Groupe Spécialisé

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

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine. Le procédé « ISOPRÉ® » est utilisable en zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 Octobre 2010 modifié, pour des bâtiments de catégorie d'importance I à IV, moyennant les dispositions spécifiques définies dans cet Avis Technique.

1.1.2. Ouvrages visés

Murs de locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels, pouvant comporter une partie enterrée en situation non immergée sans limite de hauteur enterrée autre que celle dictée par le dimensionnement pour les locaux dont l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi (sous-sol de deuxième catégorie au sens du DTU 20.1 partie 2 §5.2). Les limites de hauteur résultent de l'application des règles de dimensionnement définies et approuvées ci-après. Les murs à coffrages et isolation intégrés peuvent être porteurs ou non porteurs.

L'utilisation dans les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns ou aux brouillards salins (selon la définition de la classe d'exposition XS1 définie dans l'Annexe nationale à l'Eurocode 2 partie 1-1, Notes au Tableau 4.1) ainsi que les ouvrages exposés à des atmosphères très agressives est possible moyennant le respect des exigences d'enrobages définies dans le §3.2 du Dossier Technique.

L'utilisation des prédalles suspendues en situation normale et en situation sismique présentée à la figure 10 du dossier Technique doivent respecter les prescriptions définies dans le NF DTU 23.4.

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

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Aptitude au levage

Ne sont pas visés au titre du présent Avis :

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

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

Vis-à-vis de leur aptitude au levage, seuls les MC2I ISOPRÉ® d'épaisseur totale comprise entre 25 cm et 40 cm et constitués de peaux d'épaisseur nominale supérieure ou égale à 50 mm, sont visés par l'Avis, dans les conditions décrites dans le Dossier Technique.

1.2.1.2. Stabilité

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

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

1.2.1.3. Résistance au séisme

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

1.2.1.4. Sécurité au feu

1.2.1.4.1. Réaction au feu

Le parement en béton bénéficie conventionnellement du classement de réaction au feu A1.

1.2.1.4.2. Résistance au feu

Cylindre de Type 1

Suivant l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL14-130/1, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 1 h avec les connecteurs SPURGIN et de 2h avec les connecteurs COMBAR, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurale (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé ISOPRÉ®, partie structurale considérée comme homogène de ce point de vue.

Ces dispositions permettent au détenteur du procédé de définir les dimensions maximales des parois extérieures en fonction du type de connecteurs (SPURGIN ou COMBAR) et pour une durée de stabilité au feu allant jusqu'à 120 min.

Les éléments ISOPRÉ® visés par cet Avis ont une épaisseur maximale d'isolant de 18 cm.

L'appréciation de laboratoire n°AL14-130/1 prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu du voile extérieur librement dilatable en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation des organes de liaison (cylindres Type 1 + connecteurs SPURGIN ou COMBAR) pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurale.

Cylindre de Type 2

Suivant l'Appréciation de laboratoire du CERIB n° 012746-e, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2 h avec les connecteurs COMBAR, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurale (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé ISOPRÉ®, partie structurale considérée comme homogène de ce point de vue.

L'appréciation de laboratoire n° 012746-e limite l'effort de cisaillement vertical repris par un cylindre de Type en situation accidentelle d'incendie, à 2000 daN et un espacement entre 2 cylindres compris entre 1,5 m et 2,5 m, afin d'assurer une durée de tenue au feu de 2 h.

L'Appréciation de laboratoire du CERIB n° 012746-e ne vise pas l'utilisation des cylindres de Type 2 avec les connecteurs SPURGIN.

1.2.1.4.3. Propagation au feu

Cylindre de Type 1 et 2

Vis-à-vis de la propagation du feu par les façades, l'appréciation de laboratoire n° 026923-b délivrée par le CERIB pour des ISOPRE utilisant les cylindres type 1 et 2 et connecteurs COMBAR ou SPURGIN (selon le cas), prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas incombustible.

Suivant l'Appréciation laboratoire n°026923-B délivrée par le CERIB, la propagation du feu à travers l'isolant est évitée par :

- Mise en place d'une bande de laine de roche d'épaisseur 100 mm minimum et de masse volumique supérieure ou égale à 110 kg/m³ à tous les niveaux ;
- Mise en place d'une bande de laine de roche d'épaisseur 100 mm minimum et de masse volumique supérieure ou égale à 110 kg/m³ en périphérie des ouvertures ;
- Un indice C+D conforme aux prescriptions de la réglementation.

La validation de ces dispositions pour l'ensemble du domaine d'emploi revendiqué (y compris les bâtiments d'habitation classés de la 3^{ème} et 4^{ème} famille et les Immeubles de Moyenne Hauteur IMH – bâtiment à usage d'habitation dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à plus de 28 m sans être considéré immeuble de grande hauteur –) a fait l'objet d'une appréciation de laboratoire n° 026923-b (Annule et remplace l'appréciation laboratoire n°021919) délivrée par le CERIB.

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

Le système permet de l'assurer normalement.

1.2.1.6. Isolation thermique

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

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

Le calcul du coefficient de transmission thermique du procédé ISOPRÉ® Up se fait par la formule suivante :

$$U_P = \frac{1}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{e_1 + e_2 + e_n}{2} + 0,17} + 4 \times \chi_{connecteur} + \eta_{cylindre} \times \chi_{cylindre}$$

Où :

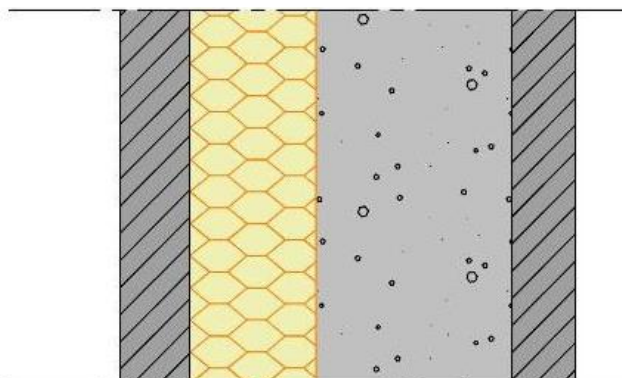
λ_i : Conductivité thermique de l'isolant, certifiée ACERMI, en W/(m.K)

$\chi_{connecteurs}$: Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et déterminé selon les « Règles Th-Bat », en W/K

$\chi_{cylindre}$: Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un cylindre de levage et déterminé selon les « Règles Th-Bat », en W/K

$\eta_{cylindrei}$: Nombre de cylindre de levage par m² de paroi, en m⁻²

e_i, e_1, e_2, e_n : Epaisseurs des différentes couches représentées sur le schéma ci-dessous, en m :



La justification de la conformité à la réglementation thermique doit se faire au cas par cas selon les « Règles Th -Bat ». Elle doit notamment prendre en compte la présence d'isolant type laine de roche ou verre cellulaire de densité minimale 110 kg/m^3 sur le pourtour des baies.

Étant donné le risque d'infiltration d'eau dans l'isolant des éléments enterrés, les performances de l'isolant ne peuvent pas être prises en compte dans les calculs thermiques des éléments enterrés excepté dans les cas où l'étanchéité est assurée.

1.2.1.7. Isolation acoustique

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

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

1.2.1.8. Etanchéité des murs extérieurs

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

1.2.1.9. Risques de condensation superficielle

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

1.2.1.10. Confort d'été

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

1.2.1.11. Finition – Aspect

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

1.2.1.12. Liaisons avec les ouvrages de second œuvre

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

1.2.2. Durabilité

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

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

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

- L'exécution des travaux normaux d'entretien des façades en béton ;

- La réfection des garnitures de mastic extérieures.

1.2.3. Impacts environnementaux

1.2.3.1. Données environnementales

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

Pour revendiquer une performance environnementale, le procédé ISOPRE® doit faire l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 août 2015.

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

1.2.3.2. Aspects sanitaires

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

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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

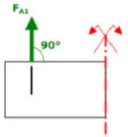
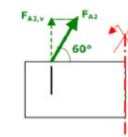
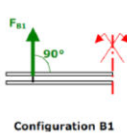
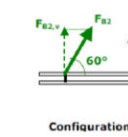
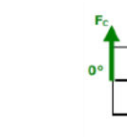
Il est rappelé que la vérification des liaisons et l'intégrité du panneau doit être réalisée par le titulaire, sur la base d'une étude de stabilité de l'ensemble de l'ouvrage réalisée par un bureau d'étude technique tiers.

1.4. Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé

CMU des CYLINDRES de LEVAGE

La présente annexe fait partie de l'Avis Technique : le respect des valeurs indiquées est une condition impérative de la validité du présent Avis.

Sur la base des essais de qualification fournis, les valeurs de la Charge Maximale d'Utilisation (CMU) par cylindre sont données dans le Tableau 1 et Tableau 2 ci-dessous. Ces valeurs correspondent à des charges équivalentes pour un levage droit. Elles peuvent être considérées pour un levage avec l'interposition d'une sangle textile placée autour du cylindre et accroché au crochet de l'élingue.

| Vérification de la résistance des cylindres au levage | | | |
|---|---|--|--|
| Situation de levage | Levage en position verticale ⁽¹⁾ | Levage à plat | Retournement |
| Vérification | $CMU_1 \geq \frac{(p A + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$ | $CMU_2 \geq \frac{(p A + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$ | $CMU_3 \geq \frac{1}{2} \frac{(p A + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$ |
| Schémas cas de levage |  Configuration A1  Configuration A2 |  Configuration B1  Configuration B2 |  Configuration C |

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

Tableau 1 – Vérification de la résistance des cylindres au levage

p = poids surfacique du mur de coffrage intégré [kN/m²]

A = surface du mur de coffrage intégré [m²]

Q = poids des équipements de sécurité éventuels [kN]

n_b = nombre de points de levage effectifs : 2 dans le cas courant, 4 dans le cas de levage avec 4 cylindres et système équilibrant.

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

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

Commentaires :

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

Le coefficient d'effet dynamique de 1,15 est un coefficient dynamique forfaitaire indépendant des vitesses de manutention et valable pour des conditions de levage usuelles : grue à tour et grue mobile à poste fixe.

| Réf. boucle | Diamètre cylindre $\phi 1$ [mm] | Epaisseur nominale paroi h_1 [mm] | Levage en position verticale CMU ₁ [kN] | Levage à plat du MCI CMU ₂ [kN] | Retournement du MCI CMU ₃ [kN] |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|--|--|---|
| 25 cm ≤ épaisseur de mur ≤ 40 cm | | | | | |
| Type 1 | 150 | Paroi int. ≥ 50 mm Paroi ext. ≥ 60 mm | 31,2 | [-] | 30,8 |
| Type 2 | 113 | Paroi int. ≥ 50 mm Paroi ext. ≥ 60 mm | 31,9 | [-] | 33,2 |

Tableau 2 – Charges maximales d'utilisation

2. Dossier Technique

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

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : SPURGIN LEONHART

Route de Strasbourg

BP 20151

F – 67603 SELESTAT CEDEX

2.1.2. Mise sur le marché

En application du règlement (UE) n°305/2011, le produit « ISOPRÉ® » fait l'objet d'une déclaration des performances établie par le fabricant sur la base de la norme NF EN 14992. Les produits conformes à cette déclaration de performance sont identifiés par le marquage CE.

2.1.3. Identification

Chaque ISOPRÉ® est identifié par une étiquette qui mentionne :

- Le nom du fabricant, la date de fabrication, le code d'identification de l'usine ;
- Le nom du chantier, le numéro de client et la référence d'ordre de livraison ;
- La classe de béton, le type d'acier ;
- Le numéro de produit correspondant au plan de pose, le numéro de palettisation.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Ces murs sont constitués de deux parois préfabriquées en béton armé d'une épaisseur de 6 à 10 cm pour la paroi extérieure et d'une épaisseur de 5 à 7 cm pour la paroi intérieure, reliées par des organes de liaison synthétiques (connecteurs ComBAR ou Spurgin et ancrages cylindriques Type 1 ou Type 2 ; Cf. Figure 5 en annexe). Ces dernières font aussi office de panneaux coffrant destinés à être remplis avec du béton coulé sur place. Lorsque le panneau extérieur est matricé, l'épaisseur de la paroi peut aller jusqu'à 10 cm. La paroi extérieure est librement dilatable.

L'ensemble structural (noyau + paroi intérieure) est d'épaisseur minimale de 16 cm pour les murs porteurs et de 12 cm pour les murs non porteurs.

Les épaisseurs des isolants varient entre 8 et 18 cm.

L'épaisseur totale de l'ISOPRÉ® varie entre 25 et 40 cm.

La face extérieure des éléments est de type béton lisse (béton peint, béton lasuré), béton matricé, béton recouvert d'un bardage, béton recouvert de pierre collée (dans la limite du poids spécifié au paragraphe 2.3.2.8).

Les liaisons verticales entre panneaux sont assurées par des armatures rapportées disposées dans la partie coulée en œuvre ou par des armatures spécifiques intégrées à l'ISOPRÉ®.

L'encastrement d'un ISOPRÉ® dans le radier ou la semelle, est réalisé par des armatures en attente dans la fondation ou intégrées à l'ISOPRÉ®.

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

Plus généralement, le procédé ISOPRÉ® peut être utilisé pour :

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

Des armatures de type poteau, longrine, linteau, encadrement d'ouverture peuvent être incorporées aux panneaux ou rapportées en œuvre. De même, les gaines (électriques, alimentation en eau froide ou chaude...), boîtiers, platines, négatifs, goudrons et autres équipements peuvent être incorporés aux panneaux ou rapportés sur chantier dans des réservations prévues à cet effet. Les huisseries et les menuiseries sont rapportées sur chantier.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Béton parois préfabriquées

Le béton réalisé en usine est conforme à la norme NF EN 206/CN concernant les classes d'environnement.

Granulométrie : sable 0/4, gravillons 4/8 et 8/16.

La résistance caractéristique minimale est de 40 MPa sur cylindre à 28 jours.

La résistance à la compression sur cube de 10x10x10 cm est au minimum de 12 MPa à la 1^{ère} manutention et au minimum 20 MPa à la livraison.

2.2.2.2. Béton de remplissage du noyau

Béton Prêt à l'Emploi, conforme au projet et à la norme NF EN 206/CN et de résistance caractéristique minimale de 25 MPa à 28 jours (classe de résistance mini C25/30) :

- Pour des épaisseurs de remplissage inférieures ou égales à 9 cm : D_{max} 12,5 mm ;
- Pour des épaisseurs de remplissage supérieures à 9 cm : D_{max} 16 mm.

Le béton de remplissage devra bénéficier selon les recommandations d'une valeur cible pour l'affaissement de 200 mm, portée à 220 mm lorsque les spécificités de bétonnage l'exigent (densité d'armatures élevée, faible épaisseur de l'élément...). La consistance fluide est obtenue par ajout d'un superplastifiant.

La mise en œuvre de bétons à compositions prescrites (BCP) ou de béton auto plaçant (BAP) dans le noyau des ISOPRÉ® est possible sous réserve de concertation avec SPURGIN et validation par ce dernier.

La mise en œuvre de BCP est réservée à des opérations faisant l'objet d'une concertation entre le pré-fabricant et l'entrepreneur afin de définir le mode d'utilisation : la composition du béton ainsi que le mode de mise en œuvre ne peuvent être généralisés à tous les ouvrages et sont soumis à l'acceptation du pré-fabricant.

Les bétons BCP sont déconseillés pour les zones très ferrillées.

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

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

2.2.2.3. Armatures

2.2.2.3.1. Armatures en acier

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

2.2.2.3.1.1. Armatures incorporées aux parois préfabriquées

Les armatures utilisées pour la fabrication de l'ISOPRÉ® répondent aux exigences suivantes :

- Les armatures en barres filantes ou façonnées intégrées aux murs conformes à la norme NF A 35-080-1 pour l'acier et NF A35-014 pour l'inox : nuance B500A, B500B ou B450B ;
- Les panneaux de treillis soudés intégrés aux murs ou utilisés en acier de liaison conformes à la norme NF A 35-080-2 ; nuance B500A, B500B ou B450B. La classe de ductilité de l'acier (A, B ou C) sera adaptée en fonction de la zone de sismicité et de la destination de l'ouvrage.

(Cf. Figure 1 et paragraphe 2.3.2.4. pour la section d'armature minimale intégrée dans la paroi extérieure)

2.2.2.3.1.2. Raidisseurs

Des raidisseurs métalliques (Cf. Figure 2) espacées au plus de 60 cm assurent la liaison entre la paroi préfabriquée et le béton coulé en place.

Les raidisseurs sont de section triangulaire, un filant en partie supérieure de diamètre 8 mm, deux filants en partie inférieure de 5 ou 6 mm de diamètre et les diagonales de diamètre 5 mm.

La section des armatures hautes et basses des raidisseurs sera prise en compte dans la section mécanique des armatures parallèles aux raidisseurs.

Les treillis raidisseurs font l'objet d'un contrôle par le CSTB dans le cadre de la certification NF 548 sur le procédé « ISOPRÉ® ». Les seuils de résistance des soudures sont ceux définis dans la NF A35 028 et les tolérances dimensionnelles sur la hauteur sont celles définies au § 2.9.3. Les critères de certification sont conformes au cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.2.

2.2.2.3.1.3. Armatures complémentaires

Conformément au DTU 23.1, l'ISOPRÉ® se classe dans les murs type IV.

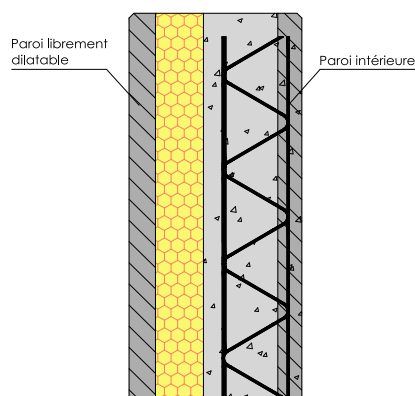


Figure a - Murs type IV

Des armatures complémentaires peuvent être disposées dans le noyau coulé en place en fonction des sollicitations. Elles peuvent être en HA ou en Treillis soudés. Ces dernières correspondent aux aciers mécaniques extérieurs de la partie structurale de l'ISOPRÉ®.

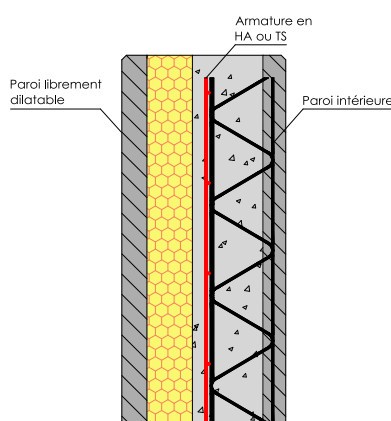


Figure b - Murs type IV avec armatures complémentaires

2.2.2.3.2. Armatures synthétiques

2.2.2.3.2.1. Généralités

Lorsque le fractionnement de la paroi extérieure est nécessaire, des armatures synthétiques de type ComBAR® sont mises en place en liaison entre les 2 parties de parois extérieures au droit du joint de fractionnement. Ces armatures sont coupées lorsque l'ISOPRÉ® est posé et bétonné (fractionnement de la paroi extérieure par sciage sur chantier).

Ces armatures permettent uniquement un maintien de la paroi extérieure en phase provisoire.

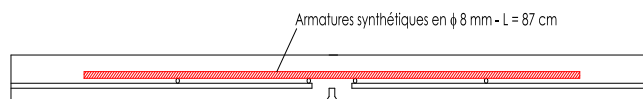


Figure c - Armatures synthétiques

2.2.2.3.2.2. Caractéristiques du matériau

| | |
|---|----------|
| Diamètre des barres | φ 8 |
| Résistance en traction caractéristique | 1000 MPa |
| Résistance en traction de calcul | 435 MPa |
| Contrainte ultime d'adhérence (C 25/30) | 2,7 MPa |

2.2.2.4. Organes de liaison ISOPRE

2.2.2.4.1. Généralités

Deux types d'organes de liaison sont prévus : les connecteurs synthétiques (connecteurs SPURGIN ou connecteurs ComBAR®) et les ancrs porteuses cylindriques (ancre porteuse et ancre de levage).

Les deux parois et l'isolant sont maintenus par des connecteurs ponctuels. Ces connecteurs, réalisés en matériau synthétique sont disposés selon un maillage rectangulaire de façon à obtenir une densité minimale de 4 connecteurs par mètre carré.

Les ancrs porteuses cylindriques sont quant à elles prévues pour suspendre la paroi extérieure à la paroi structurale, pour résister aux actions sismiques dans le plan et pour la manutention du procédé de mur.

2.2.2.4.2. Connecteurs

Les connecteurs ponctuels ont pour rôle d'une part de garantir l'écartement des deux parois (reprise des efforts de poussée du béton lors du coulage du noyau), et d'autre part de résister aux actions du vent et aux actions sismiques hors plan.

Les connecteurs sont ancrés dans les parois préfabriquées sur une profondeur minimale de 55 mm.

2.2.2.4.2.1. Connecteur SPURGIN

Les connecteurs SPURGIN sont composés de fibre de verre, et moulé de thermoplastique.

Le connecteur SPURGIN est utilisable dans tous les types de murs.

En situation d'incendie, avec les connecteurs SPURGIN, la tenue de la paroi extérieure est garantie jusqu'à une heure.

Les tolérances de fabrication sur la longueur des connecteurs SPURGIN sont les suivantes :

- $L \leq 25 \text{ cm (+/- } 0,9 \text{ mm)}$;
- $L > 25 \text{ cm (+/- } 1,3 \text{ mm)}$.

La géométrie du connecteur SPURGIN qui est utilisée est la suivante :

| Diam. moy (mm) | Inertie (cm ⁴) | Section (cm ²) |
|----------------|----------------------------|----------------------------|
| 20 | 0,3044 | 1,627 |

Les connecteurs sont illustrés à la figure 5.

Les caractéristiques du matériau du connecteur SPURGIN sont les suivantes :

| | |
|---------------------------------|------------|
| Résistance à la traction | 240 MPa |
| Module d'élasticité en traction | 21000 MPa |
| Allongement à la rupture | 2 % |
| Conductivité thermique | 0,52 W/m.K |

2.2.2.4.2.2. Connecteur ComBAR®

Les connecteurs ComBAR® sont composés de fibre de verre enrobée de résine vinylester.

Le connecteur ComBAR® est utilisable dans tous les types de murs.

En situation d'incendie, avec les connecteurs ComBAR®, la tenue de la paroi extérieure est garantie jusqu'à deux heures, quelle que soit la valeur de l'épaisseur structurale.

Les tolérances de fabrication sur la longueur des connecteurs ComBAR® sont uniquement négatives (+0/-2 mm).

La géométrie du connecteur ComBAR® qui est utilisée est la suivante :

| Diam. moy (mm) | Inertie (cm ⁴) | Section (cm ²) |
|----------------|----------------------------|----------------------------|
| 12 | 0,1018 | 1,131 |

Les connecteurs sont illustrés à la figure 5.

Les caractéristiques du matériau du connecteur ComBAR® sont les suivantes :

| | |
|---|-----------|
| Résistance à la traction (longue durée) | 580 MPa |
| Limite d'élasticité de calcul f_{yE} | 445 MPa |
| Module d'élasticité E_s | 60000 MPa |
| Conductivité thermique | 0,5 W/mK |

2.2.2.4.3. Ancres porteuses

Les ancrs porteuses cylindriques sont composées de fibres de verre et polyester isophthalique.

Les cylindres sont ancrés dans les parois préfabriquées sur une profondeur minimale de 40 mm (déduction de l'enrobage de 15 mm).

Les cylindres mis en place dans l'ISOPRÉ® peuvent être du type 1 ou du type 2.

2.2.2.4.3.1. Cylindre Type 1

La géométrie du cylindre utilisée est la suivante :

| Diam. moy (mm) | Ep. (mm) | Inertie (cm ⁴) | Section (cm ²) |
|----------------|----------|----------------------------|----------------------------|
| 150 | 7 | 1156 | 43,6 |

Les cylindres sont illustrés à la Figure 5 en Annexe.

La position des cylindres est fonction du centre de gravité de l'ISOPRÉ® (afin de faire coïncider au mieux les axes verticaux du centre de gravité de la paroi extérieure et du centre des raideurs de ces cylindres).

Les caractéristiques du matériau du cylindre type 1 sont les suivantes :

| | |
|--|---|
| Résistance à la traction/flexion sens longitudinal | 450 MPa |
| Module d'élasticité en traction sens longitudinal | 30000 MPa |
| Allongement à la rupture | 1,5 % |
| Module d'élasticité au cisaillement | 3000 MPa |
| Coefficient de dilatation thermique | $11 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ |
| Conductivité thermique | 0,3 W/mK |

2.2.2.4.3.2. Cylindre Type 2

La géométrie du cylindre utilisée est la suivante :

| Diam. moy (mm) | Ep. (mm) | Inertie (cm ⁴) | Section (cm ²) |
|----------------|----------|----------------------------|----------------------------|
| 113 | 11 | 450 | 34,9 |

Les cylindres sont illustrés à la figure 5 en Annexe.

La position des cylindres est fonction du centre de gravité de l'ISOPRÉ® (afin de faire coïncider au mieux les axes verticaux du centre de gravité de la paroi extérieure et du centre des raideurs de ces cylindres).

Les caractéristiques du matériau du cylindre type 2 sont les suivantes :

| | |
|--|--|
| Résistance à la traction/flexion sens longitudinal | 134 MPa |
| Module d'élasticité en traction sens longitudinal | 13900 MPa |
| Allongement à la rupture | 2 % |
| Module d'élasticité au cisaillement | 30,6 MPa |
| Coefficient de dilatation thermique | $115 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{K}$ |
| Conductivité thermique | 0,48 W/mK |

2.2.2.5. Isolant

L'isolant utilisé dans la fabrication de l'ISOPRÉ® se présente sous forme de panneaux rigides. L'épaisseur d'isolant peut varier entre 80 mm et 180 mm. Il fait l'objet d'un classement ACERMI dont les performances sont au moins $\text{I}_2\text{S}_1\text{O}_2\text{L}_3$.

Les dispositions visant le respect de l'IT 249 sont assurées uniquement par l'utilisation de laine minérale de type laine de roche (cf. §1.2.1.4.3).

2.2.2.6. Douilles d'étalement

Des douilles métalliques sont scellées dans la paroi intérieure du panneau (Cf. Figure 4). Elles assurent la liaison de la paroi de l'ISOPRÉ® avec les étais tire-pousse pendant le montage et le bétonnage.

Elles sont utilisées en combinaison avec des vis métalliques adaptées (M16, M20, ...). Elles sont à usage multiples (serrage-desserrage).

2.2.2.7. Matériaux de traitement de tête de mur, d'about, d'ouvertures, etc...

2.2.2.7.1. Tête de mur

Lorsque la partie supérieure de l'élément ISOPRÉ® constitue la tête du mur, elle sera alors protégée par un élément de couverture en béton ou en tôle, formant couverture.

2.2.2.7.2. About de mur

Lorsque l'élément ISOPRÉ® constitue l'about du mur, celui-ci sera alors protégé par un élément en béton ou en tôle, formant protection.

2.2.2.7.3. Ouvertures

Les chants d'ouvertures telles que les menuiseries extérieures (fenêtres, portes, etc...) devront faire l'objet d'un habillage de protection.

2.2.2.8. Inserts divers

D'autres accessoires ou inserts peuvent être mis en œuvre dans l'ISOPRÉ® dont notamment :

- Insert inox ;
- Douilles de fixation ;
- Rails d'ancrage ;
- Réservations ;
- Aciers en attente ;
- Boîtiers électriques ;
- Gains électriques ;
- Etc...

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Conception de la paroi structurale (paroi intérieure et noyau)

2.3.1.1. Généralités

Les murs réalisés suivant le procédé ISOPRÉ® peuvent être considérés comme porteurs lorsque l'épaisseur structurale (épaisseur de la paroi intérieure + épaisseur du noyau coulé en place) est supérieure ou égale à 16 cm.

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

Les liaisons doivent assurer la continuité mécanique entre :

- La fondation et l'ISOPRÉ® ;
- Entre deux ISOPRÉ® ;
- L'ISOPRÉ® et les ouvrages avoisinants.

Les panneaux ISOPRÉ® sont conçus de telle sorte que chacune des parois extérieures 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.

2.3.1.2. Règle de dimensionnement

2.3.1.2.1. Vérification en zone courante

La résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur de la partie structurale du mur correspond à :

$$f_{ck,eq28} = \min \left(f_{ck,p} - 3 \times 10^{-4} \times E_{v,n} \left(1 + \frac{3 \times e_1 \times e_n}{(e_1 + e_n)^2} \right) ; f_{ck,n} \right)$$

Avec :

- $f_{ck,p}$: résistance caractéristique du béton des parois préfabriquées
- $f_{ck,n}$: résistance caractéristique du béton du noyau coulé en œuvre
- $E_{v,n}$: module élastique différé du béton du noyau coulé en œuvre
- e_1 : épaisseur de la paroi préfabriquée intérieure
- e_n : épaisseur du noyau coulé en œuvre

Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments incorporés dans l'ISOPRÉ® (poteau, poutre, poutre voile, etc.).

2.3.1.2.2. Vérification au niveau des joints

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.1 « Règles de dimensionnement » s'appliquent.

Le bras de levier de calcul des armatures est évalué en fonction des dispositions prises pour le remplissage effectif des joints de calage, déduction faite des enrobages et des positions relatives des armatures.

2.3.1.2.3. Prise en compte des effets du second ordre

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

| | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| Ep. de la partie structurale | 16 cm | 20 cm | 25 cm |
| Hauteur limite de l'ISOPRÉ® | 4 m | 5 m | 7 m |

Hors de ces limites, la détermination de la capacité portante de l'ISOPRÉ® doit être effectuée en tenant compte d'une excentricité additionnelle e_{add} égale à :

$$e_{add} = \frac{1,5 \times 10^{-4} E_{vn} e_n \times e_1}{(EI)_{eq}} H^2$$

Avec :

$$(EI)_{eq} = \frac{E_{v,1}}{4} \left(\frac{e_1^3}{3} + e_1 e_n^2 \right) + \frac{E_{v,n}}{4} \left(\frac{e_n^3}{3} + e_n e_1^2 \right)$$

2.3.1.3. Armatures minimales

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.3 « Armatures minimales » s'appliquent.

2.3.1.4. Epaisseur minimales

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.4 « Epaisseur minimales » s'appliquent.

L'épaisseur nominale de la peau de parement extérieure doit être de 6 cm afin de garantir l'ancrage correct des connecteurs et l'enrobage des armatures.

2.3.1.5. Enrobage des armatures

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.5 « Enrobage des armatures » s'appliquent.

L'enrobage des armatures est choisi en fonction de la classe d'exposition de l'ouvrage.

Pour les parois qui sont situées dans des locaux couverts clos et qui ne sont pas exposées aux condensations, l'enrobage minimal est de 1 cm.

Pour les parois qui sont soumises (ou susceptibles de l'être) à des actions agressives, ou à des intempéries, ou des condensations, l'enrobage minimal est de 2 cm.

Pour la paroi extérieure, l'enrobage minimal ci-dessus doit être respecté côté extérieur et côté isolant (cf. Figure 3).

2.3.1.6. Enrobage des raidisseurs

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.6 « Enrobage des treillis raidisseurs » s'appliquent.

L'enrobage des raidisseurs permet de respecter l'exigence vis-à-vis des coutures entre la paroi préfabriquée et le noyau coulé en place : E_{raid} .

L'enrobage minimal des raidisseurs est égal à 10 mm (cf. Figure 3)

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

- Δe_1^+ : la tolérance en plus sur l'enrobage e_1 en face structurale ;
- Δe_1^- : la tolérance en moins sur l'enrobage e_1 en face structurale ;
- Δb_1^- : la tolérance en moins sur l'épaisseur de la face structurale ;

Les valeurs de tolérances ci-dessus sont, par défaut, prises égales à :

- $\Delta e_1^+ = 3 \text{ mm}$;
- $\Delta b_1^- = 3 \text{ mm}$.

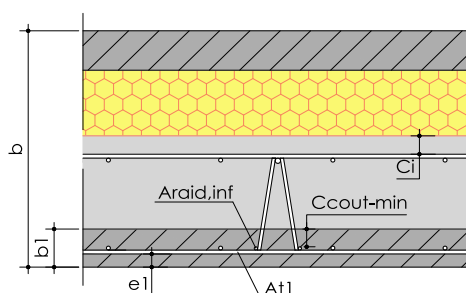


Figure d - Définition des chaînes de côtes

2.3.1.7. Chevillage sur la paroi intérieure

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.9 « Chevillage » s'appliquent.

2.3.1.8. Calepinage

Les justifications de calcul de stabilité et de résistance des murs doivent prendre en compte la présence des joints entre panneaux de coffrage et donc n'être arrêtées qu'après calepinage de l'ouvrage.

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.7 « Calepinage » s'appliquent.

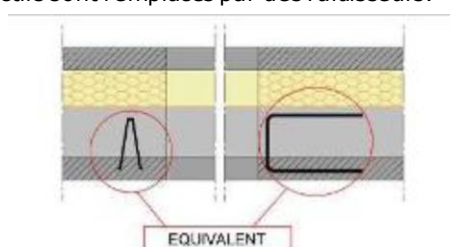
2.3.1.9. Principes constructifs

2.3.1.9.1. Equivalence des raidisseurs

Les renforcements des ouvertures et des bords libres usuellement prévus dans les voiles selon les dispositions du paragraphe 4.2.2.5 du DTU 23.1 pourront être réalisés dans les ISOPRÉ® à l'aide des raidisseurs définis à l'art 2.2.2.3.1.2. (Voir ANNEXE 4). Les barres de chaînages sont intégrées dans la paroi structurale des ISOPRÉ®. Les U de fermeture constructifs sont remplacés par des raidisseurs.

Les ferrailages constructifs constitués de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisés dans les ISOPRÉ® à l'aide des raidisseurs. Les filants sont soit intégrés en renforts dans la paroi intérieure de l'ISOPRÉ®, soient remplacés par les filants des raidisseurs si la section est équivalente.

Les U, cadres, épingles et étriers constructifs sont remplacés par des raidisseurs.



La section d'armature équivalente par mètre linéaire est calculée à partir de l'effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique

Pour les murs et poteaux, les armatures en attente et les armatures de liaison sont disposées de manière à respecter les enrobages définis dans les règles Eurocodes 2 en fonction de l'exposition du mur.

La substitution des sections des coutures est basée sur le tableau de correspondance suivant :

| Largeur de la partie structurale (cm) | Type de raidisseur | Section cm ² /ml | Equivalent espacement armatures classiques en cm | | |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|--|-----|------|
| | | | φ 6 | φ 8 | φ 10 |
| 15 | KT 811 8-5-5 | 2,76 | 11 | 19 | 29 |
| 17 | KT 813 8-5-5 | 3,00 | 10 | 17 | 27 |
| 20 | KT 815 8-5-5 | 3,18 | 9 | 16 | 25 |
| 25 | KT 820 8-5-5 | 3,45 | 8 | 15 | 23 |

Nota : les types de raidisseur en fonction des épaisseurs de murs sont donnés à titre indicatif. Elles sont sujettes à variation en fonction des enrobages des aciers de l'ISOPRÉ®

2.3.1.10. Eclissage possible

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.12 « Eclissage possible » s'appliquent.

Pour les poutres et poutres voiles, les règles d'ancrages d'armatures sur appuis sont celles de l'Eurocode 2 (Art. 9.2.1.4 pour l'appui simple d'about et Art 9.2.1.5 pour l'appui intermédiaire). Les recouvrements d'armatures dans le cas de l'éclissage de la section du tirant seront majorés de 20% afin de prendre en compte les tolérances de positionnement des armatures dans le noyau.

Le dimensionnement de l'ancrage des armatures dans le noyau est réalisé en considérant un coefficient d'adhérence^{η1} égal à 0,7 pour des armatures horizontales de diamètre supérieur à 12mm. Dans tous les autres cas, le coefficient d'adhérence^{η1} est égal à 1.

Tableau des limites des diamètres des éclissages horizontales en mm (linéaire ou ponctuel)

| Epaisseur structurelle (cm) | | | |
|-----------------------------|----|----|----|
| 16 | 25 | 14 | 6 |
| 18 | 25 | 20 | 14 |
| 20 | 32 | 20 | 20 |
| 22 | 32 | 20 | 20 |
| 24 | 32 | 20 | 20 |

Tableau 3 - Sans Treillis soudés (cf. § 2.2.2.3.1.3.)

| Epaisseur structurelle (cm) | | | |
|-----------------------------|----|----|------------|
| 16 | 16 | 8 | Impossible |
| 18 | 20 | 10 | 8 |
| 20 | 25 | 12 | 12 |
| 22 | 32 | 16 | 16 |
| 24 | 32 | 20 | 20 |

Tableau 4 - Avec Treillis soudés (cf. § 2.2.2.3.1.3.)

Tableau des limites des diamètres des éclissages verticales en mm (ponctuel)

| Epaisseur structurelle (cm) | | | |
|-----------------------------|----|----|----|
| 16 | 25 | 14 | 10 |
| 18 | 25 | 20 | 14 |
| 20 | 32 | 20 | 20 |
| 22 | 32 | 20 | 20 |
| 24 | 32 | 20 | 20 |

Tableau 5 - Sans Treillis soudés (cf. § 2.2.2.3.1.3.)

| Epaisseur structurelle (cm) | | | |
|-----------------------------|----|----|------------|
| 16 | 16 | 8 | Impossible |
| 18 | 20 | 10 | 10 |
| 20 | 25 | 12 | 12 |
| 22 | 32 | 16 | 16 |
| 24 | 32 | 20 | 20 |

Tableau 6 - Avec Treillis soudés (cf. § 2.2.2.3.1.3.)

Nota : Une attention particulière sera portée sur la vérification de la bonne mise en place de la section d'éclissage par contrôle visuel dans les fenêtres de tirage avant bétonnage.

2.3.1.11. Type de liaisons

NOTA : Lors de la pose des ISOPRÉ®, l'entreprise devra respecter et contrôler les enrobages minimums des armatures en attentes.

2.3.1.11.1. Rotule entre panneaux

2.3.1.11.1.1. Joint vertical droit, d'angle droit

L'armature de couture disposée dans le noyau permet de transmettre les cisaillements d'un voile à un autre (Cf. Figure 7 et Figure 9). La section d'armature de cette couture est fonction des armatures horizontales disposées dans le panneau.

2.3.1.11.1.2. Joint horizontal droit

Le principe de fonctionnement et de détermination des armatures est identique à la solution précédente (Cf. Figure 8 et Figure 10).

2.3.1.11.2. Rotule couturée entre panneaux

La mise en place des coutures en abouts d'ISOPRÉ® permet de garantir un couturage optimal de la liaison avec le panier d'armature.

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

2.3.1.11.2.1. Joint vertical droit

L'armature de couture disposée dans le noyau permet de transmettre les cisaillements d'un voile à un autre (Cf. Figure 11), les armatures en about de chaque ISOPRÉ® assurent la couture du panier d'armature de liaison.

2.3.1.11.2.2. Joint d'angle droit vertical

La solution d'angle (Cf. Figure 11) est basée sur le même principe que la solution droite. Elle permet en même temps la réalisation des armatures de poteau à disposer à l'intersection de deux murs.

2.3.1.11.2.3. Joint d'angle vertical en T

La solution en intersection (Cf. Figure 11) est basée sur le même principe que la solution droite. Elle permet en même temps la réalisation des armatures de poteau à disposer à l'intersection de trois murs.

2.3.1.11.3. Encastrement entre panneaux

2.3.1.11.3.1. Joint vertical droit

La continuité du moment et du cisaillement entre deux panneaux est assurée par le croisement des paniers d'armatures (Cf. Figure 13).

2.3.1.11.3.2. Joint d'angle droit vertical

Le principe constructif est similaire à la solution pour les joints verticaux droits (Cf. Figure 13). La solution permet de mobiliser un bras de levier optimal.

2.3.1.11.3.3. Joint vertical biais

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

- Pour un angle supérieur à 135° le ferrailage de l'angle peut être intégré dans l'ISOPRÉ® selon la même méthode que la solution pour le joint droit ;
- Pour les angles inférieurs à 135° l'armature sera rapportée dans la partie coulée en place.

Pour de fortes sollicitations, une variante basée sur l'ouverture du joint permet de préserver un bras de levier optimal.

2.3.1.11.3.4. Joint horizontal droit

La solution en liaison droite (Cf. Figure 14) est basée sur le même principe constructif que la solution en pied (Cf. Figure 14).

2.3.1.11.4. Encastrement en pied de panneaux

Sauf à rétablir par armatures rapportées la continuité des raidisseurs, les jonctions horizontales des panneaux sont à considérer comme articulées. Des poteaux verticaux, disposés à un espacement compatible avec un effet de plaque, peuvent utilement être utilisés en renfort, le cas échéant.

2.3.1.11.4.1. Encastrement avec des armatures intégrés à l'ISOPRÉ®

Ces solutions reposent sur l'intégration des armatures d'encastrement dans l'ISOPRÉ® ou avant la pose du panneau afin de pouvoir bétonner le noyau et la fondation sans reprise de bétonnage.

Cette solution d'encastrement est particulièrement adaptée à la réalisation des murs sur fondations avec débords devant être encastres en pied.

Des cadres intégrés à l'ISOPRÉ® dépassent en pied du panneau (Cf. Figure 14).

Des armatures rapportées assurent la continuité de l'encastrement avec la fondation ou le radier.

2.3.1.11.4.2. Encastrement avec des armatures en attentes dans la fondation

Ces solutions se différencient des précédentes par l'existence systématique d'une reprise de bétonnage à l'encastrement. En général elles ne permettent de mobiliser qu'un moment résistant réduit à l'encastrement à cause de la réduction de hauteur utile du mur. Néanmoins des solutions particulières permettent le cas échéant de rétablir le moment résistant optimum du mur en coffrant une partie sur chantier.

La continuité de l'encastrement entre la partie porteuse et la fondation est assurée par des armatures en attentes dans la semelle déjà coulée. Ces armatures viennent en recouvrement avec les aciers placés dans la paroi intérieure de l'ISOPRÉ®.

Le bras de levier de calcul des armatures est évalué en fonction des dispositions prises pour le remplissage effectif des joints de calage, déduction faite des enrobages et des positions relatives des armatures. Le calage des ISOPRÉ® en pied devra se faire sur des cales de 3 cm minimum pour garantir le bon remplissage du joint en pied afin de pouvoir transmettre les efforts

de compression de la zone comprimée du mur vers la fondation ou le radier. Ce joint en pied pourra être coffré à l'aide de bastinges pour éviter les fuites de laitance.

Cette solution peut aussi être retenue pour la réalisation d'une liaison type rotule en pied de panneau.

Dans le cas particulier de la Fig.15, où le moment d'encastrement est repris par des armatures en attente situées dans la fondation et entre la peau intérieure et l'isolant, on limitera la densité et les diamètres des aciers en attentes dans la fondation afin de garantir une mise en œuvre aisée (cf. tableau ci-après).

Ce critère de mise en œuvre est complémentaire avec celui des diamètres maximaux admissible définis au paragraphe 2.3.1.10.

Un soin particulier sera apporté au remplissage des joints de calage en pied de l'ISOPRÉ® et à la mise en place d'un système empêchant les fuites de laitance (bastinges ou bandes pré comprimées ou équivalent), gage du bon fonctionnement de l'encastrement.

Un contrôle systématique du remplissage du joint intérieur sera effectué après remplissage des murs. Les joints qui n'auront pas été remplis au bétonnage seront à bourrer au mortier de réparation sans retrait.

| Eclissage linéaire | SANS TREILLIS SOUDES (cf. 2.2.2.3.1.3) | | AVEC TREILLIS SOUDES (cf. 2.2.2.3.1.3) | |
|----------------------|---|----------------|---|----------------|
| Ep. Structurale (cm) | ϕ maxi (mm) | Esp. Mini (cm) | ϕ maxi (mm) | Esp. Mini (cm) |
| 16 | 14 | 15 | Impossible | |
| 18 | 14 | 15 | 10 | 15 |
| 20 | 16 | 15 | 14 | 15 |
| 22 | 20 | 15 | 16 | 15 |
| 24 | 20 | 15 | 20 | 15 |

Tableau 7 – Armatures en attente situés dans la fondation

2.3.1.11.5. Liaison dalle/voile

2.3.1.11.5.1. Liaison courante

Ce type de liaison correspond à une liaison du type rotule (Cf. Figure 8 et Figure 10).

La dalle peut être posée en tête de panneau ou suspendue à l'aide d'armatures en attente dans la paroi intérieure type STABOX ou équivalent ou à l'aide d'armatures d'édicage mises en œuvre dans une réservation prévue à cet effet.

Note : L'utilisation des planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes en zone sismique n'est pas visée dans le présent Avis Technique. Se référer au fascicule de documentation et règles professionnelles en vigueur.

2.3.1.11.5.2. Liaison encastrée

Pour permettre la mobilisation d'un moment entre la dalle et la partie porteuse, les aciers sont intégrés en tête de panneau pour permettre de retourner le moment d'encastrement.

2.3.1.12. Dispositions parasismiques

2.3.1.12.1. Principe de la méthode

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.14 « Dispositions parasismiques » s'appliquent.

Les armatures transversales des poutres et poteaux doivent respecter les dispositions constructives définies dans l'Eurocode 8. Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des ISOPRÉ® de la réduction de section de béton au droit de ces joints.

La paroi extérieure est considérée comme non structurale au sens de la norme NF EN 1998-1, et sa tenue doit être justifiée en retenant $q_a = 1$, suivant la section 4.3.5 de la norme NF EN 1998-1.

Dans le cas de figure où le voile est libre sur l'un de ses côtés, on pourra se reporter à la vérification de la stabilité de forme effectuée pour les poutres voiles.

Le nombre et la répartition des organes de liaisons (ancres et connecteurs) sont déterminés par le titulaire du procédé. Les cylindres doivent se situer dans une zone de béton fretté.

Les largeurs des joints entre panneaux sont déterminées par le titulaire en fonction de l'accélération sismique et du nombre d'organes de liaisons à partir des raideurs moyennes en cisaillement des organes indiquées dans le Dossier Technique. Ces largeurs, indiquées sur les plans, doivent être respectées.

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

L'étude des murs ISOPRÉ® sous les actions sismiques relève de la norme NF EN 1998-1 et de son annexe nationale. Conformément au décret du 22/10/2010, les bâtiments sont répartis en catégories d'importance (I, II, III et IV) (tableau 4.3 de l'EN 1998-1 et son annexe nationale) auxquels correspondent différents coefficients d'importance (article 2.1 (3) de la NF EN 1998-1 et son annexe nationale) différenciant ainsi la fiabilité de la structure. De plus, la zone sismique du bâtiment doit être prise en compte (article 3.2.1 de la norme NF EN 1998-1 et son annexe nationale).

Les exigences varient en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance du bâtiment.

Les dispositions suivantes ne concernent que les murs considérés comme éléments sismiques primaires, c'est-à-dire les murs faisant partie du système structural résistant aux actions sismiques, modélisés dans l'analyse pour la situation sismique de

calcul et entièrement conçus et étudiés en détail pour assurer la résistance aux séismes conformément aux règles de la NF EN 1998-1 et de son annexe nationale.

Lors d'un séisme, les voiles ont pour rôle, outre leur fonction d'élément porteur vis à vis des charges verticales, de constituer un contreventement vertical du bâtiment en assurant les deux fonctions suivantes :

- De former un diaphragme dans leur plan afin de transmettre les efforts sismiques horizontaux acheminés par les planchers vers les fondations ;
- De maintenir la cohérence et le monolithisme de la structure.

On considère le fonctionnement pour un mur réalisé en ISOPRÉ® comme un comportement monolithique de l'ensemble du voile.

Les dispositions minimales de la NF EN 1998-1 et son annexe nationale française NF EN 1998-1/NA doivent être respectées, notamment l'utilisation d'armatures de types B ou C (article 5.3.2 de la NF EN 1998-1) ou d'armatures de type A (pour les utilisations prévues dans l'annexe nationale NF EN 1998-1/NA telles que les aciers de montage, les aciers de peau ou les treillis de surface). Les aciers de type A ne sont pas pris en compte dans les calculs.

Les dispositions relatives aux chaînages horizontaux et verticaux des murs principaux ou primaires, y compris leurs fondations, sont précisées dans la norme NF EN 1998-1 article 5.4.3.5.3 (4) et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA.

2.3.1.12.2. Domaine d'application

2.3.1.12.2.1. Stabilité d'ensemble

Pour le calcul des raideurs des voiles, la présence du joint entre panneaux est négligeable. La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un voile réalisé en ISOPRÉ® se base sur la section homogène équivalente au voile banché substitué.

2.3.1.12.2.2. Détermination des liaisons entre ISOPRÉ®

2.3.1.12.2.2.1. Cas des joints horizontaux

Sauf justification explicite de la stabilité des panneaux, les joints horizontaux entre panneaux doivent se situer au droit des planchers, et en aucun cas entre deux planchers.

Le joint doit être vérifié au cisaillement. L'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié, suivant la méthode de calcul présentée à l'Annexe 7 du Dossier Technique. Cette vérification est réalisée par le Bureau d'Etudes Interne du titulaire et permet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié.

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

Deux cas sont à distinguer :

- La liaison horizontale au droit d'une dalle.

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.14 « Liaisons entre murs à coffrage intégré au droit d'une dalle » s'appliquent.

- La liaison horizontale en partie courante du mur (ISOPRÉ® superposés).

Le joint doit être vérifié au cisaillement. L'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison et du cas de charge étudié (Cf. ANNEXE 7)

Cette vérification permet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le voile étudié.

2.3.1.12.2.2.2. Cas des joints verticaux

Deux cas sont à distinguer :

- La liaison verticale en zone courante.

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.14 « Liaisons entre murs à coffrage intégré en zone courante » s'appliquent.

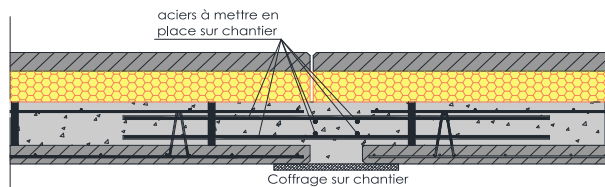


Figure e - Section des armatures horizontales

- La liaison verticale à l'intersection de deux ou plusieurs voiles.

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.14 « Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs murs à coffrage intégré » s'appliquent.

2.3.1.13. Prescriptions particulières aux éléments essentiellement sollicités dans leur plan

2.3.1.13.1. Prescriptions communes

Le dimensionnement de l'ISOPRÉ® se fera sur la base des règles usuelles du béton armé : DTU 23.1. Art 4.3.3 et Eurocodes.

Les joints de calepinage horizontaux et verticaux sont positionnés de façon à ne pas réduire la raideur du voile dans son sens porteur privilégié.

Pour les murs ayant un fonctionnement principal vertical, les joints horizontaux seront disposés en proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées, ...). Les joints verticaux sont sans incidence.

Pour les murs ayant un fonctionnement principal horizontal, les joints verticaux seront disposés en proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets, ...). Les joints horizontaux sont sans incidence.

2.3.1.13.2. Prescriptions particulières aux murs verticaux

2.3.1.13.2.1. Définition

Les ISOPRÉ® sont composés :

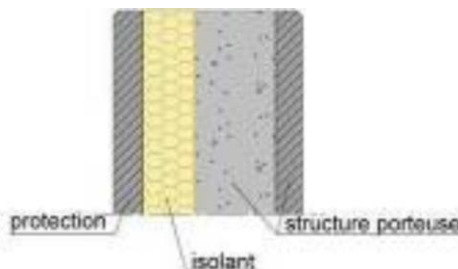


Figure f – Parois ISOPRÉ®

1) d'une structure porteuse (peau intérieure + noyau coulé en place)

2) d'un isolant

3) d'une peau préfabriquée protectrice (extérieure)

L'épaisseur nominale de la paroi structurale sera au moins de 12 cm pour un mur non porteur et de 16 cm pour un mur porteur. L'épaisseur nominale du béton coulé en place sera au moins de 7,5 cm.

Le ferrailage des réservations, des parois et du remplissage est fonction des sollicitations et des conditions aux limites. Il dépend de manière générale de l'étude de structure.

Les ouvertures et baies sont obtenues au moyen de mannequins fixés sur les tables coffrantes. Elles sont renforcées par des armatures périphériques intégrées aux parois.

Ces armatures pourront être réalisées conformément aux prescriptions du paragraphe 2.3.1.9.1., si les conditions du domaine d'emploi sont respectées.

2.3.1.13.2.2. Armatures complémentaires

Le ferrailage complémentaire dans le noyau de l'ISOPRÉ® n'est pas nécessaire lorsqu'il s'agit d'un mur non armé, ou lorsque l'élançement du mur est inférieur ou égal à 50.

2.3.1.13.3. Prescriptions particulières aux poteaux

2.3.1.13.3.1. Définition

La distinction avec le panneau utilisé comme voile se fera en fonction du critère classique à savoir :

- $L \geq 4h$: Analyse de la partie porteuse en voile selon les dispositions de l'art 2.3.1.13.1 ;
- $L < 4h$: Analyse de la partie porteuse comme un poteau ;
- Où L est la longueur de l'élément (grand côté) et h est l'épaisseur de l'élément (petit côté).

2.3.1.13.3.2. Méthode de vérification

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.14 « Prescriptions particulières aux poteaux » s'appliquent.

L'analyse du poteau se fait selon les règles de calcul usuelles du béton armé (cf. Eurocode 2 Art 5.8 et 6.1) avec les caractéristiques du béton le plus faible constituant le panneau préfabriqué et son béton de remplissage.

Si le béton est surabondant et que le poteau ne doit pas être renforcé par des armatures en compression, l'ISOPRÉ® poteau peut être ferrailé comme un panneau classique. (cf. Figure 19)

Si le poteau doit être renforcé par des armatures comprimées, la partie porteuse est ferrailée classiquement comme un poteau (Cf. Figure 19)

L'espacement des lits d'armatures est limité à 15 cm pour permettre un bon remplissage du noyau coulé en place.

La section d'armature mécanique est totalement intégrée dans la partie porteuse lors de sa fabrication en usine. Seules les armatures d'édicage sont à rajouter sur chantier.

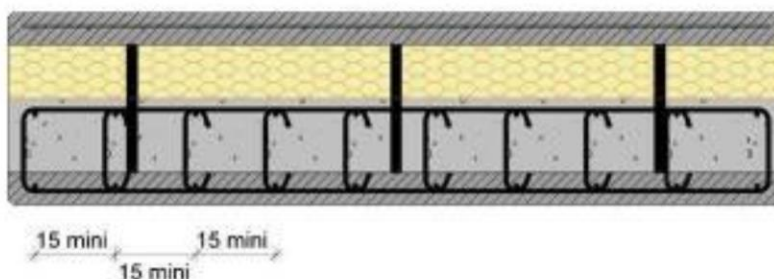


Figure g - Armatures d'éclissage

2.3.1.13.4. Prescriptions particulières aux poutres

2.3.1.13.4.1. Définition

Le calcul d'une poutre à base d'ISOPRÉ® s'effectue selon les principes usuels de calcul du béton armé.

La section mécanique est prise égale à la section coulée en place ajoutée à la section de la paroi intérieure. Les parties coulées en place et préfabriquées étant considérées comme monolithiques.

Deux vérifications complémentaires sont cependant nécessaires :

- Vérification de l'intégrité de la section ;
- Vérification des bielles d'about et ancrage pour les cas où les poutres ne sont pas appuyées sur les meneaux.

2.3.1.13.4.2. Méthode de vérification

2.3.1.13.4.2.1. Intégrité de la section

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.2.3 « Intégrité de la section » s'appliquent.

2.3.1.13.4.2.2. Vérification sur appuis

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.2.3 « Vérifications sur appuis » s'appliquent.

2.3.1.13.4.2.3. Résistance à la torsion

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.8 « Résistance à la torsion » s'appliquent.

2.3.1.13.5. Prescriptions particulières aux poutres voiles

Les poutres voiles réalisées tout ou partie en ISOPRÉ® sont dimensionnées selon la méthode des bielles tirants exposée à l'Art 6.5.2 et 6.5.3 de l'Eurocode 2, auxquelles s'ajoutent les vérifications complémentaires suivantes :

- La vérification de la stabilité d'ensemble de la poutre voile ;
- La vérification aux points singuliers (joints) ;
- La vérification de la faisabilité de mise en œuvre des armatures (tirant).

Les cas de figures usuellement rencontrés sont énumérés en ANNEXE 3.

2.3.1.13.5.1. Vérification au droit des joints

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.8 « Vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint » s'appliquent.

2.3.1.13.6. Prescriptions particulières aux acrotères

2.3.1.13.6.1. Acrotère bas

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.2.5 « Acrotères bas » s'appliquent.

Quel que soit le principe utilisé, l'entreprise devra mettre en place sur le chantier, un isolant en partie intérieure et en partie supérieure de l'acrotère, afin de limiter les ponts thermiques. Le choix de l'isolant devra se faire en fonction de la performance thermique demandée pour le bâtiment. (cf. Figure 17)

2.3.1.13.6.2. Acrotère haut

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.2.5 « Acrotères hauts » s'appliquent.

2.3.1.13.6.3. Faisabilité de montage des armatures

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.2.5 « Faisabilité de montage des armatures » s'appliquent.

2.3.1.13.6.4. Protection de l'étanchéité

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

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

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

2.3.1.14.1. Prescriptions communes

2.3.1.14.1.1. Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface paroi intérieure/noyau

Le dimensionnement suit les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.4.1 « Monolithisme – Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface voile préfabriqué/noyau coulé en place »

2.3.1.15. Sécurité incendie

Les prescriptions de sécurité en cas d'incendie sont données au § 1.2.1.4 de la partie Avis.

2.3.2. Conception de la paroi extérieure

2.3.2.1. Généralités

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.

La paroi extérieure de l'ISOPRÉ® est rigidifiée par les cylindres en polymères. Ces cylindres ont pour rôle de permettre :

- La manutention de l'ISOPRÉ® en phase provisoire
- La stabilisation de la paroi extérieure pour reprendre le poids propre et les efforts dynamiques en phase définitive

2.3.2.2. Enrobage des armatures de la paroi extérieure

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.5 « Enrobage des armatures » s'appliquent.

2.3.2.3. Epaisseur de la paroi extérieure

La paroi extérieure de l'ISOPRÉ® possède une épaisseur nominale variant de 60 à 100 mm.

En tout état de cause, l'épaisseur de la paroi extérieure vérifiera l'inéquation suivante :

$$e_2 \geq e_{ext} + e_{int} + \phi_v + \phi_h + \Delta$$

Avec :

- e_{ext} : enrobage nominal de la paroi extérieure côté extérieur (fonction de la classe d'environnement côté extérieur)
- e_{int} : enrobage nominal de la paroi extérieure côté isolant (fonction de la classe d'environnement côté isolant). Cet enrobage correspond à celui de la classe d'exposition du parement exposé – 5mm, sans descendre en dessous de celui de la classe XC3.
- ϕ_v et ϕ_h : diamètre des armatures verticales (v) et horizontales (h) disposées dans la paroi extérieure
- $\Delta = [(\Delta e^+)^2 + (\Delta e_2^-)^2]^{0,5}$ où, les valeurs des tolérances retenues sont les suivantes :
 - $\Delta e^+ = 3$ mm : tolérance en plus sur l'enrobage des armatures de la paroi extérieure
 - $\Delta e_2^- = 3$ mm : tolérance en moins sur l'épaisseur de la paroi extérieure préfabriquée

2.3.2.4. Armatures minimales dans la paroi extérieure

Les prescriptions du cahier du CSTB 3690_V2 § 1.1.1.3 « Armatures minimales » s'appliquent.

Le ferrailage de la paroi extérieure de l'ISOPRÉ® doit être au minimum égale à :

| Longueur ou Hauteur du panneau extérieur | $x \leq 6$ m | $6 \text{ m} < x \leq 8,00$ m | $x > 8,00$ m |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Horizontalement et Verticalement | 0,20 % de la section de béton | 0,25 % de la section de béton | 0,35 % de la section de béton |

Tableau 8 - Armatures minimales dans la paroi extérieure

2.3.2.5. Armatures de renforts

2.3.2.5.1. Entre les points de levage (ancres porteuses)

Les cylindres de levages ont une forte rigidité dans les 3 directions. La présence des cylindres entraîne la mise en place des armatures complémentaires qui est fonction de la présence d'ouverture, de la longueur du panneau, de l'épaisseur d'isolant.

2.3.2.5.2. Autour des ouvertures

Des renforts sont prévus en périphérie d'ouvertures, à l'aide d'armature en acier.

2.3.2.6. Dimensionnement des joints entre panneaux

La largeur u_j du joint devra respecter la règle suivante :

$$u_j \geq \max \{ \alpha \cdot \Delta T \cdot L_{max} + 5 \text{ mm} + \Delta_{fabrication} ; 2 \cdot u_{sis} + 5 \text{ mm} + \Delta_{fabrication} \}$$

Avec $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (coefficient de dilatation thermique du béton), $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ (variation de température), L_{max} la distance entre deux points fixes successifs de panneaux encadrant un joint, u_{sis} le déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique et 5 mm les tolérances de pose.

$\Delta_{fabrication}$ est définie dans le référentiel de certification, et varie suivant les dimensions de l'élément.

La largeur des joints u_j entre les peaux librement dilatables devra être déterminée de façon 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.

Cette vérification est menée en tenant compte des résistances et raideurs des différents éléments de maintien de la paroi extérieure (cylindres, connecteurs), déterminées en fonction de l'épaisseur de l'isolant sur la base des tableaux des paragraphes 2.3.3.1.2. et 2.3.3.1.3.

2.3.2.7. Prescriptions particulières aux murs enterrés

2.3.2.7.1. Méthode de calcul

Le dimensionnement des murs enterrés comprend les vérifications suivantes :

- La vérification de l'entraxe des connecteurs sous les efforts de compression générés par la poussée des terres (résistance à la compression des connecteurs et risque de poinçonnement de la paroi extérieure). Les efforts sollicitants sont déterminés en modélisant une plaque avec un chargement réparti ayant des points d'appuis ponctuels (connecteurs).
- La vérification de la stabilité de la paroi extérieure sous la poussée des terres : paroi assimilée à une dalle appuyée sur les connecteurs (présence de l'isolant négligée)
- Le ferrailage minimum de la paroi extérieure enterrée sera égal à $1,5 \text{ cm}^2/\text{ml}$ dans le sens vertical et horizontal. La partie enterrée de la paroi extérieure n'est pas soumise au gradient thermique.
- La vérification de la stabilité de la partie porteuse sous les sollicitations de poussée des terres (voir § 2.3.2.7.2. et 2.3.1.14.1.1.).

2.3.2.7.2. Sur toute hauteur

Les murs enterrés sont essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan. Le dimensionnement de la partie porteuse est réalisé suivant les prescriptions du paragraphe 2.3.1.14 du Dossier Technique.

Le monolithisme de la partie porteuse est vérifié suivant l'Art 2.3.1.14.1.1.

Les armatures de flexions de la partie courante du mur sont disposées dans la peau intérieure du panneau.

Le cas courant correspond au mur travaillant en flexion verticale entre fondation et planchers ou entre deux planchers. Cependant le mur peut aussi être conçu pour travailler en flexion horizontale entre refend moyennant un calepinage horizontal.

La reprise de sollicitations dans les deux directions peut être envisagée à condition de rétablir au travers des joints horizontaux et verticaux la continuité des sollicitations (Cf. art. 2.3.1.11.3.).

Les armatures de reprise au niveau des planchers sont disposées dans le béton coulé en place ou peuvent être intégrées dans la peau intérieure au moyen de boîtes d'attentes.

Dans le cas des joints classiques, on se reportera aux liaisons de type rotule (Cf. art 2.3.1.11.1.).

2.3.2.7.3. Partiellement

Lorsque l'ISOPRÉ® est enterré partiellement, c'est-à-dire que :

$$20 \% \leq \frac{H_e}{H_t} \leq 80 \%$$

Avec : H_e : Hauteur enterrée

H_t : Hauteur totale

Sauf justification par le calcul et adaptation éventuelle du ferrailage de la plaque extérieure, il faut prévoir un fractionnement de la paroi extérieure au droit de la limite entre la zone enterrée et la zone non enterrée.

La justification consiste à vérifier que, sous un gradient thermique de 50°C appliqué uniquement à la partie non enterrée de la plaque extérieure, le ferrailage mis en place est adapté aux contraintes présentes dans la plaque.

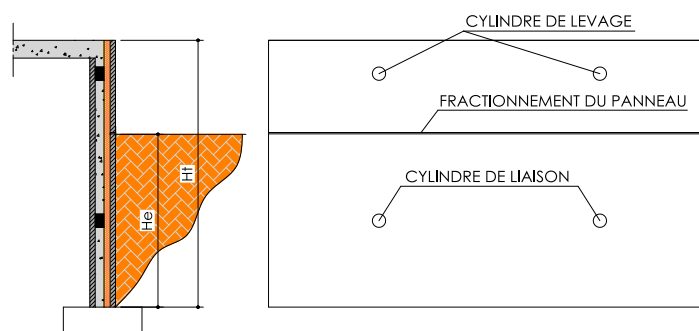


Figure h - Enterré partiellement

2.3.2.7.4. Résistance des connecteurs en infrastructure

La résistance à la compression des connecteurs (avec prise en compte du risque de poinçonnement de la paroi extérieure) a fait l'objet d'une qualification expérimentale. La résistance à la compression N_{Rd} des connecteurs est donnée ci-dessous :

Connecteurs SPURGIN : $N_{Rd} = 13,6 \text{ kN}$

Connecteurs ComBAR® 12 : $N_{Rd} = 13,1 \text{ kN}$

2.3.2.8. Fixations sur la paroi extérieure

Il est possible de fixer des charges (jusqu'à 75 kg/m^2 en surfacique et 100 kg ponctuellement) directement sur la paroi extérieure de l'ISOPRÉ® en utilisant des chevilles adaptées.

Les fixations utilisables sont du type :

- Chevilles plastiques ;
- Chevilles métalliques ;
- Scelllements chimiques.

L'entreprise SPURGIN transmettra aux clients selon le type de produit à fixer, la nature de la cheville à mettre en œuvre.

Au-delà de 75 kg/m^2 ou de 100 kg ponctuellement, la fixation sera réalisée dans la partie structurelle de l'ISOPRÉ®.

Lorsqu'un élément est fixé sur la paroi extérieure de l'ISOPRÉ®, il faut veiller à :

- Adapter la fixation afin de ne pas compromettre la libre dilatation du panneau (trous oblong).

2.3.2.9. Liaison structurelle côté isolant

Lorsque des éléments structuraux tels que les planchers, poutres, consoles, etc... sont assemblés à l'ISOPRÉ® côté isolant, il faut impérativement laisser un joint correspondant au joint minimal entre les éléments structuraux et la paroi librement dilatable et effectuer l'ancrage de ces éléments uniquement dans la partie structurelle de l'ISOPRÉ®. La paroi librement dilatable n'est pas conçue pour reprendre un effort autre que celui induit par le poids propre de la paroi et d'un éventuel revêtement extérieur (cf. article 2.3.2.8).

2.3.3. Dimensionnement du système de liaison

2.3.3.1. Résistances des organes de liaison

2.3.3.1.1. Généralités

Quels que soient les panneaux et notamment pour les panneaux avec ouvertures, il convient d'adapter la densité des organes de liaison de façon à assurer l'équilibre des moments (centre de raideur des organes de liaison aligné avec le centre de gravité de la paroi extérieure) ou bien de déterminer pour chaque connecteur les efforts réels en fonction de la répartition retenue.

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

Les raideurs et les résistances caractéristiques des différents organes de liaison (connecteurs et ancrages porteuses) ont été déterminées à partir d'essais de traction et/ou de cisaillement.

Les résistances à l'ELU statique sont calculées d'après les formules suivantes :

| | |
|--------------|--|
| Cisaillement | $V_{Rd,stat} = \frac{V_{Rk}}{1,2 \times 2}$ |
| Traction | $N_{Rd,stat} = \frac{N_{Rk}}{1,35 \times 2}$ |

Tableau 9 - Résistances à l'ELU statique

A défaut d'essais dynamiques, les résistances à l'ELU dynamique sont calculées d'après les formules suivantes :

| | |
|--------------|--|
| Cisaillement | $V_{Rd,dyn} = \frac{0,4 \times V_{Rk}}{1,2}$ |
| Traction | $N_{Rd,dyn} = \frac{0,4 \times N_{Rk}}{1,3}$ |

Tableau 10 - Résistances à l'ELU dynamique

Les connecteurs COMBAR 12 ont fait l'objet d'essais cycliques. Les résistances en traction à l'ELU dynamique sont calculées d'après la formule suivante :

$$N_{Rd,dyn} = \frac{N_{Rk,stat}}{1,3} = 0,8 \times \frac{N_{Rk,stat}}{1,3}$$

2.3.3.1.2. Résistance des connecteurs

2.3.3.1.2.1. Connecteur SPURGIN

| Ep. isolant (mm) | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cisaillement | | | | | | |
| Raideur statique (kN/mm) | 0,116 | 0,059 | 0,034 | 0,022 | 0,014 | 0,013 |
| Résistance caract. de l'ancrage V_{Rk} (kN) | 1,03 | 0,86 | 0,72 | 0,67 | 0,57 | 0,49 |
| Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (kN) | 0,43 | 0,36 | 0,3 | 0,28 | 0,24 | 0,21 |
| Traction | | | | | | |
| Raideur statique (kN/mm) | 42,7 | 34,2 | 28,5 | 24,4 | 21,3 | 18,9 |
| Résistance caract. de l'ancrage N_{Rk} (kN) | 9,21 | | | | | |
| Résistance à l'ELU statique $N_{Rd,stat}$ (kN) | 3,41 | | | | | |
| Résistance à l'ELU dynamique $N_{Rd,dyn}$ (kN) | 2,83 | | | | | |

Tableau 11 - Connecteur SPURGIN

2.3.3.1.2.2. Connecteur ComBAR®

| Ep. isolant (mm) | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Traction | | | | | | |
| Raideur statique (kN/mm) | 84,7 | 67,8 | 56,5 | 48,4 | 42,4 | 37,7 |
| Epaisseur de la paroi extérieure (mm) | 60 | | | 70 | | |
| Résistance à l'ELU statique $N_{Rd,stat}$ (kN) | 4,3 | | | 5,18 | | |
| Résistance à l'ELU dynamique $N_{Rd,dyn}$ (kN) | 7,14 | | | 8,6 | | |

Tableau 12 - Connecteur ComBAR®

2.3.3.1.3. Résistance des ancrs porteuses

2.3.3.1.3.1. Cylindres type 1

| | Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|
| | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
| | Cisaillement | | | | | |
| Raideur (kN/mm) | 40,2 | 34 | 27,8 | 21,6 | 16,8 | 11,9 |
| Raideur dynamique (kN/mm) | 20,1 | 17 | 13,9 | 10,8 | 8,4 | 5,95 |
| Résistance caract. de l'ancrage V_{Rk} (kN) | 97,9 | 91,7 | 85,4 | 79,2 | 67,5 | 55,8 |
| Résistance A l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (kN) | 40,8 | 38,2 | 35,6 | 33,0 | 28,1 | 23,3 |
| Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (kN) | 33,6 | 30,6 | 28,5 | 26,4 | 22,5 | 18,6 |

Tableau 13 - Cylindres type 1

2.3.3.1.3.2. Cylindres type 2

| | Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|
| | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
| | Cisaillement | | | | | |
| Raideur (kN/mm) | 44,3 | 37 | 30,0 | 22,9 | 18,4 | 13,8 |
| Raideur dynamique (kN/mm) | 22,2 | 18,5 | 14,8 | 11,2 | 8,9 | 6,6 |
| Résistance caract. de l'ancrage V_{Rk} (kN) | 99,5 | 92,4 | 85,4 | 78,3 | 65,9 | 53,4 |
| Résistance A l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (kN) | 41,5 | 38,5 | 35,6 | 32,6 | 27,5 | 22,3 |
| Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (kN) | 33,2 | 30,8 | 28,5 | 26,1 | 22,0 | 17,8 |

Tableau 14 - Cylindres type 2

2.3.3.2. Vérification des organes de liaisons

2.3.3.2.1. Vérification des connecteurs

Les connecteurs sont dimensionnés pour reprendre :

- L'effort de traction dû à la coulée du béton lors du remplissage du noyau. Cette condition est vérifiée pour une vitesse de bétonnage de 70 cm/h maximum et une densité de 4 connecteurs par mètre carré ;
- Les efforts de pression et de dépression dus au vent. Cette condition est vérifiée quelle que soit la zone de vent considérée ;
- L'action du gradient thermique dans l'épaisseur de la paroi extérieure lié à la présence de l'isolant à l'arrière de celle-ci est prise en compte en considérant une variation de température dans l'épaisseur de la paroi égale à 5 °C. L'effort perpendiculaire au plan du panneau engendré par le gradient thermique est déterminé en faisant l'hypothèse d'un système de poutres croisées sur appui élastique (en fonction de la raideur des connecteurs et de la raideur de la paroi extérieure) ;
- L'effort de cisaillement due au gradient thermique ($\Delta T = 50$ °C) ;
- Les connecteurs doivent être vérifiés sous la combinaison des efforts de traction dus au gradient thermique et à l'action du vent ;
- L'effort de traction sous action sismique.

2.3.3.2.1.1. ELU statique

Vérification des connecteurs sous la sollicitation du vent W et la résultante de l'effort perpendiculaire engendré par le gradient thermique dans l'épaisseur de la paroi extérieure N_T :

$$N_{ELU,stat} \leq N_{Rd,stat} \times n$$

Avec :

$$N_{ELU,stat\ 1} = 1,5 \times W + 0,9 \times N_T$$

Lorsque le vent est l'action variable principale

$$N_{ELU,stat\ 2} = 0,9 \times W + 1,5 \times N_T$$

Lorsque la température est l'action variable principale

n : nombre de connecteurs

2.3.3.2.1.2. ELU dynamique : action sismique

Vérification en traction des connecteurs sous la sollicitation sismique hors plan :

$$N_{ELU,dyn} \leq N_{Rd,dyn} \times n$$

Avec :

n : nombre de connecteurs par unité de surface

$$N_{ELU,dyn} = c \times P$$

Avec :

P : poids de la paroi extérieure par unité de surface (y compris surépaisseur béton due à une éventuelle matrice ou le poids supplémentaire du revêtement extérieur)

c : déterminé d'après le tableau ci-dessous

| Catégorie d'importance du bâtiment : II | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|
| Zone sismique | Classe de sol | | | | |
| | A | B | C | D | E |
| 3 | 0,62 | 0,83 | 0,93 | 0,99 | 1,11 |
| 4 | 0,90 | 1,21 | 1,35 | 1,44 | 1,61 |

| Catégorie d'importance du bâtiment : III | | | | | |
|--|---------------|------|------|------|------|
| Zone sismique | Classe de sol | | | | |
| | A | B | C | D | E |
| 2 | 0,47 | 0,64 | 0,71 | 0,75 | 0,85 |
| 3 | 0,74 | 1,00 | 1,11 | 1,18 | 1,33 |
| 4 | 1,08 | 1,45 | 1,61 | 1,72 | 1,94 |

| Catégorie d'importance du bâtiment : IV | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|
| Zone sismique | Classe de sol | | | | |
| | A | B | C | D | E |
| 2 | 0,55 | 0,74 | 0,82 | 0,88 | 0,99 |
| 3 | 0,86 | 1,17 | 1,30 | 1,38 | 1,55 |
| 4 | 1,26 | 1,70 | 1,88 | 2,01 | 2,26 |

Les coefficients sont déterminés en considérant les hypothèses enveloppes suivantes :

Coefficient de comportement de l'élément $q_a = 1$

Coefficient d'importance $\gamma_a = 1$

$$T_a/T_1 = 1$$

2.3.3.2.1.3. ELU thermique

- Vérification des connecteurs SPURGIN sous la sollicitation de dilatation thermique :

$$V_{ELU,th} \leq V_{Rd,stat}$$

Avec :

$$V_{ELU,th} = k_c \times \Delta l$$

- k_c : raideur moyenne en cisaillement-flexion d'un connecteur SPURGIN caractérisée par essai (cf. paragraphe 2.3.3.1.2.1.)
- Δl : déplacement imposée au droit de l'organe de connexion $\Delta l = \lambda \times \Delta T \times d_G$
- λ : coefficient de dilatation du matériau béton (=10-5 °C-1)
- ΔT : dilatation thermique sur la paroi extérieure (= 50°C)
- d_G : distance du connecteur par rapport au pôle de dilatation de la paroi extérieure (cylindre le plus proche)
- Vérification des connecteurs ComBAR® vis-à-vis de la dilatation thermique (par rapport à la déformée maximum) :

La déformation radiale limite de calcul des connecteurs ComBAR® dépend de l'épaisseur d'isolant. Elle est de 3,7 mm pour des épaisseurs d'isolant supérieures ou égales à 100 mm et de 1,2 mm pour des épaisseurs d'isolant inférieures à 100 mm. Celle-ci a été déterminée à partir des essais de cisaillement réalisés sur les connecteurs ComBAR® afin de limiter les contraintes internes dans les connecteurs (avec prise en compte de la concomitance traction-cisaillement).

On doit donc vérifier que, pour le connecteur ComBAR® le plus éloigné du pôle de dilatation du panneau extérieur, la déformation due à la dilatation thermique est limitée de la façon suivante :

$$u_{Combar} = \alpha_t \times \Delta T \times L_{max} \leq 1,2 \text{ ou } 3,7 \text{ mm}$$

2.3.3.2.1.4. Combinaison à l'ELU

Vérification des connecteurs SPURGIN sous la concomitance des sollicitations de traction-cisaillement (vent-gradient thermique + dilatation thermique) :

$$\frac{N_{Ed,ind,1}}{N_{Rd,stat}} + \frac{V_{ELU,th}}{V_{Rd,stat}} \leq 1$$

et

$$\frac{N_{Ed,ind,2}}{N_{Rd,stat}} + \frac{V_{ELU,th}}{V_{Rd,stat}} \leq 1$$

Avec :

- $N_{Ed,ind,1} = \frac{N_{Ed,1}}{n}$; $N_{Ed,1} = 1,5 W + 0,9 N_T$ et n : nombre de connecteurs SPURGIN
- $N_{Ed,ind,2} = \frac{N_{Ed,2}}{n}$; $N_{Ed,2} = 1,5 N_T + 0,9 W$ et n : nombre de connecteurs SPURGIN

Les valeurs de $N_{Rd,stat}$ et $V_{Rd,stat}$ sont données au paragraphe 2.3.3.1.2.1.

2.3.3.2.2. Vérification des ancrs porteuses

Compte tenu des raideurs relatives en cisaillement-flexion entre ancrs porteuses et connecteurs, les ancrs porteuses cylindriques sont dimensionnées pour reprendre les efforts dans le plan du mur :

- G : poids propre de la paroi extérieure (y compris surépaisseur béton due à une éventuelle matrice ou le poids supplémentaire du revêtement extérieur)
- $E_{d,E}$: action sismique

2.3.3.2.2.1. ELU statique

Vérification des ancrs sous la sollicitation du poids propre :

$$V_{ELU,stat} \leq V_{Rd,stat} \times n$$

Avec :

$$V_{ELU,stat} = 1,35 \times G$$

n : nombre d'ancres porteuses

NOTA : Les efforts appliqués sur les ancrs doivent tenir compte de la position du centre des raideurs par rapport au centre de gravité de la paroi extérieure.

En cas d'excentrement, l'effort de cisaillement sollicitant les ancrs s'exprime de la façon suivante :

$$V_{ELU,stat} = \sqrt{(X_{d,G})^2 + (Z_{d,G})^2}$$

$X_{d,G}$: Effort horizontal appliqué sur les ancrs sous le poids propre

$Z_{d,G}$: Effort vertical appliqué sur les ancrs sous le poids propre

2.3.3.2.2.2. ELU dynamique : action sismique

Vérification des ancrs sous la sollicitation sismique :

$$V_{ELU,dyn} \leq V_{Rd,dyn} \times n$$

Avec :

- n : nombre d'ancres porteuses

NOTA : Les efforts appliqués sur les ancrs doivent tenir compte de la position du centre des raideurs par rapport au centre de gravité de la paroi extérieure.

En cas d'excentrement, l'effort de cisaillement sollicitant les ancrs s'exprime de la façon suivante :

$$V_{ELU,dyn} = \sqrt{(E_{d,Ev})^2 + (E_{d,Eh})^2}$$

Avec :

- $E_{d,Ev} = G + Z_{d,Eh}$
- $E_{d,Eh} = X_{d,Eh} = c \times G$

Où c , est déterminé dans le tableau du §2.3.3.2.1.2.

Avec :

- $X_{d, Eh}$: Effort horizontal appliqué sur les ancrs sous l'effort sismique horizontal
- $Z_{d, Eh}$: Effort vertical appliqué sur les ancrs sous l'effort sismique horizontal

NOTA : En application de la clause de l'art. 4. II.c de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié (valeurs de avg/ag) et en considérant les cas où avg est supérieure à $2,5 \text{ m/s}^2$, la composante sismique verticale n'est à prendre en compte qu'en zone de sismicité 5 pour des bâtiments de catégorie d'importance III et IV.

2.4. Conditions de stockage et de transport

2.4.1. Prescriptions concernant la manutention des panneaux

La manutention des ISOPRÉ® se fait uniquement par les ancrs porteuses mises en œuvre à la préfabrication.

En phase de manutention, le nombre et la position des points de levage sont déterminés en fonction des dimensions et du poids des panneaux.

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

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

2.4.2. Prescriptions concernant le transport et stockage des panneaux

Les ISOPRÉ® sont stockés verticalement en box ou en rack.

Prescriptions concernant le transport et stockage des panneaux

Le transport et le stockage à plat sont limités aux panneaux de surface maximale $7,5 \text{ m}^2$.

Lors du transport vertical des panneaux, on doit prévoir des cales prenant simultanément l'appui des deux voiles.

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

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

2.5. Dispositions de mise en œuvre

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

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

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

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

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

Les prescriptions particulières de la stabilité en phase provisoire sont définies dans le cahier du CSTB 3690_V2 § 4.2.

Dans le cadre des murs enterrés, un talutage stabilisé doit être réalisé, dans le cas où la cohésion du sol n'est pas suffisante, afin que le mur ne soit pas soumis à la pression des terres en phase provisoire et afin de permettre une intervention pour le traitement des joints extérieurs.

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

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

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

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

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.

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

Le relevé d'étanchéité des planchers hauts extérieurs (par exemple toiture-terrasse) n'est pas admis sur la peau extérieure des panneaux.

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

2.5.1. Chronologie de pose pour les ISOPRÉ®

1. Réalisation des fondations, l'entreprise de pose devra respecter et contrôler les enrobages minimums des armatures en attentes.
2. Implantation et traçage des murs avec repérage des joints.
3. Déchargement de l'ISOPRÉ® à l'aide d'une grue, automotrice, à tour, ou de tout autre moyen de levage compatible avec le poids de l'ISOPRÉ®.
4. Pose de l'ISOPRÉ® sur des cales d'épaisseur 1 à 3 cm. Le calage s'effectue sur la paroi intérieure.
5. Dans le cas d'une pose à l'avancement, on peut se prémunir de la tolérance de fabrication pour la détermination de la largeur des joints, sous réserve que la fabrication de la dernière pièce soit effectuée après le relevé effectif sur chantier.
6. Au niveau de chaque joint d'ISOPRÉ®, mise en place des systèmes évitant les fuites de laitances (laine de roche souple (densité < 60kg/m³), bande pré comprimée et mousse PU).
7. Stabilisation des panneaux par deux étais tire poussettes ou par un système d'équerrage. Les étais tirant-poussant seront fixés à l'ISOPRÉ®, à l'aide des douilles d'étalement prévues à la préfabrication.
8. La tolérance de pose d'un panneau est de +/- 5 mm.
9. Mise en place des aciers de continuité et chaînages éventuels.
10. Pose des prédalles, dalles alvéolées ou coffrage, sur étalement adapté.
11. Lors du coulage, veillez à protéger la tête de l'ISOPRÉ® par un nylon ou une bâche, afin que le béton ne s'infilte pas entre l'isolant et la paroi extérieure. Le coulage du béton est réalisé par banchées successives conformément au paragraphe 2.5.3.2. à partir du niveau de la dalle. Le béton est conforme au paragraphe 2.2.2.2. Les hauteurs de chute du béton frais seront limitées suivant les prescriptions du § 2.5.3.1.
12. Le coulage de la dalle peut être effectué en même temps que la dernière banchée des murs.
13. Finition des joints en fonction de la destination de l'ouvrage (Cf. Art 2.6.).

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

2.5.2. Stabilité en phase provisoire

Après la pose de l'ISOPRÉ®, ce dernier est maintenu en position par des étais tire-poussettes fixés aux murs par l'intermédiaire de vis et de douille métallique pour les ouvrages exposés au vent dimensionnée par SPURGIN sur la base des DPM (les douilles étant mise en place lors de la fabrication des ISOPRÉ®).

Le titulaire de l'avis technique peut proposer des recommandations de mise en sécurité à la pose basées sur l'incorporation de douilles ou d'un système plus élaboré à base d'équerres embase de garde-corps ou de passerelles.

Il diffuse systématiquement auprès des utilisateurs un guide de pose.

2.5.3. Bétonnage

2.5.3.1. Hauteur de chute de béton

La hauteur maximale H_{max} de chute de béton des murs n'excèdera pas 3 m quel que soit l'épaisseur de béton coffré.

Lorsque les hauteurs de panneaux sont supérieures à cette hauteur maximale et ne permettent donc pas le bétonnage par trémie disposée en tête de panneau, le bétonnage doit être réalisé par introduction d'un tube souple dans le noyau vide (lorsque l'épaisseur du noyau le permet) ou par une lumière pour trémie latérale respectant cette même hauteur limite.

Dans ce cas on doit s'assurer du bon remplissage des panneaux par l'examen des joints verticaux entre panneaux, par le contrôle du volume du béton déversé ainsi que par une observation directe par les ouvertures éventuelles dans les panneaux.

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

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

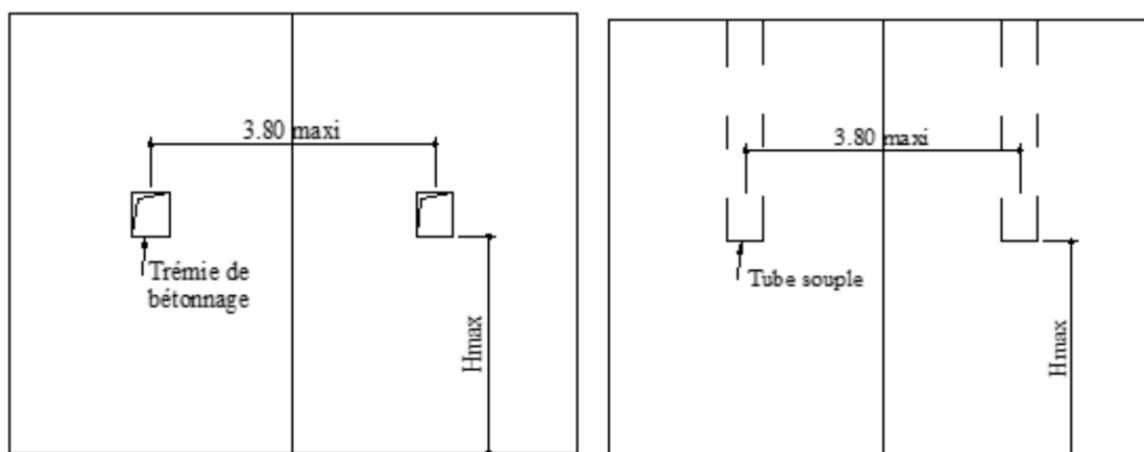


Figure i – Hauteur de bétonnage à hauteur sous trémie (à gauche) et hauteur sous tube souple (à droite)

2.5.3.2. Vitesse de bétonnage

La vitesse de bétonnage est limitée suivant les conditions prévues à l'annexe B informative de la norme NF EN 14992.

La vitesse de bétonnage préconisée dans le cas de l'ISOPRÉ® est de :

- 75 cm/h pour des températures supérieures à 15 °C ;
- 60 cm/h pour des températures égales à 10 °C ;
- 50 cm/h pour des températures égales à 5 °C.

2.6. Traitement des joints

Nota : Les produits de traitement des reprises de bétonnage et de traitement des joints seront mis en œuvre conformément aux prescriptions des cahiers de charges des fournisseurs, tant pour la préparation des supports que pour les dispositions propres de mise en œuvre. En particulier, les supports seront préparés de manière à être plans, exempts de laitance et secs.

2.6.1. Matériaux de jointement et d'étanchéité

- Mortier riche de réparation sans retrait (dans le cas des murs en infrastructure) : coté intérieur uniquement ;
- Mastic pour joints SNJF F 25 E ;
- Bande autocollante bitumineuse ;
- Fond de joint type bande pré comprimée, mousse polyuréthane ou cordon néoprène pour blocage de la laitance en phase de bétonnage ;
- Profil JD de Couvraneuf ;
- Joint de classe 1 selon la norme NF P 85-570 (type Illmod 600 de chez Illbruck ou équivalent).

La mise en œuvre de ces produits est réalisée conformément aux recommandations et cahiers techniques dont ils font l'objet.

Le fournisseur des produits employés justifiera leur compatibilité avec les environnements auxquels ils seront exposés.

Les schémas du traitement de l'étanchéité des joints sont donnés aux Figures 22 et 23.

2.6.2. Etanchéité des liaisons menuiseries/panneaux

Le traitement des jonctions menuiseries/panneaux doit être réalisé conformément au DTU 36.5, Avis Techniques ou Document Technique d'Application dont elles relèvent.

Afin de garantir l'étanchéité de la liaison menuiserie/support béton, il est primordial que les joints d'étanchéité soient mis en place entre deux supports continus. (Cf. Figures 21).

2.6.3. Etanchéité de la paroi extérieure

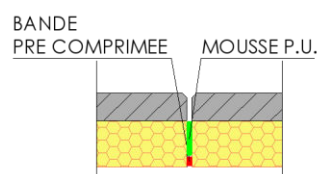
L'espacement du joint a été dimensionné pour éviter tout entrechoquement en tenant compte des effets de la dilatation thermique et en cas de séisme. Ce joint nominal est de 15 mm.

Avant d'effectuer le bétonnage de l'ISOPRÉ®, il faut veiller à protéger la paroi extérieure de la partie coulée en place, afin de garantir sa libre dilatation et d'éviter les ponts thermiques.

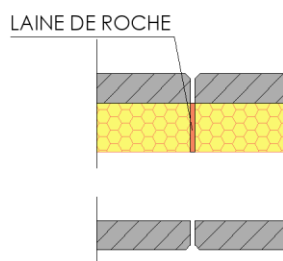
Les différentes solutions pour garantir l'étanchéité au bétonnage sont :

CAS 1 :

Mise en place à l'avancement de bande pré-comprimée ajouté à l'injection d'une mousse polyuréthane.

**CAS 2 :**

Mise en place à l'avancement de bande de laine minérale de faible densité.



2.6.3.1. Face extérieure de l'ISOPRÉ® en superstructure (fig.22)

Pour les ISOPRÉ® en superstructure on distinguera la paroi extérieure (de protection) soumise aux intempéries, de la paroi intérieure (de structure). L'enrobage de l'armature de liaison est de 1.5 cm.

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

2.6.3.1.1. Paroi extérieure non accessible

Les joints des murs laissés brut de fabrication et non accessible en phase chantier seront protégés de la pluie. A défaut les joints devront être traités par un joint de mousse imprégnée (joint de classe 1 selon la norme NF P 85-570 – type Illmod 600 de chez Illbruck ou équivalent).

2.6.3.1.2. Paroi extérieure peints, lasurés ou avec enduits

Les murs lasurés nécessitent le traitement du fond de joint à l'aide d'un élastomère de première catégorie type SIKARLEX CONSTRUCTION ou tout autre mastic élastique de classement SNJF F 25 E, mono composant à base de polyuréthane qui polymérise sous l'action de l'humidité de l'air et prévu pour le traitement des joints de façades préfabriquées exposées. L'épaisseur du mastic (mesurée dans le sens de la profondeur du joint) doit être au moins de 15 mm.

Le joint (chanfrein) doit rester marqué.

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

Nota : Dans le cas des maisons individuelles, en limitant la longueur du panneau à 5 m, et en utilisant une teinte ayant une référence de clarté > 35 % (noir = 0, blanc = 100 %), il est possible de fermer les joints à l'aide d'un revêtement souple de classe i4.

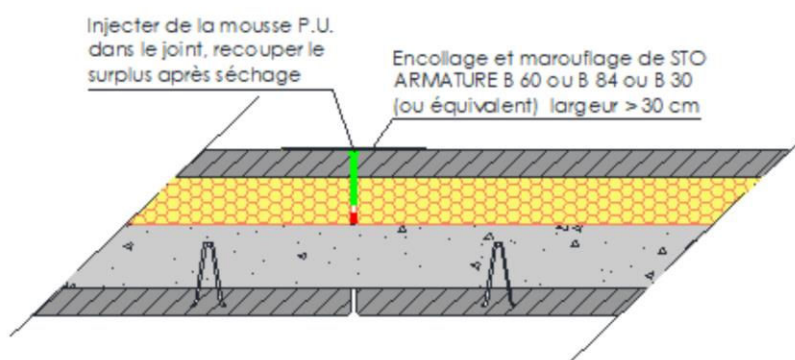


Figure j - Solution A

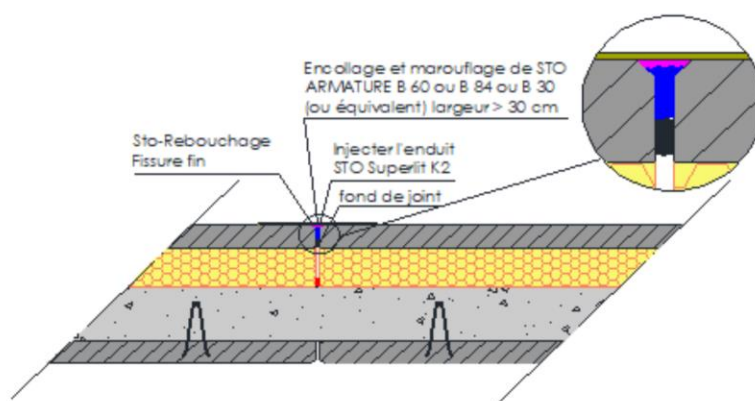


Figure k - Solution B

2.6.3.2. Face extérieure de l'ISOPRÉ® en infrastructure (fig.23)

Nota : Dans le cas où le joint de la paroi structurelle est accessible en phase chantier et inaccessible en phase d'exploitation pour l'entretien, la dérogation de l'enrobage a_e de 3 cm est possible (1.5 cm au minimum), moyennant le traitement du joint avec une bande bitumineuse, et que le mur ne soit pas soumis à une pression hydrostatique.

Pour parer aux infiltrations provoquées par les eaux de ruissellements, les joints verticaux et horizontaux en contact avec le remblai sont traités avec un mortier type SIKA MONOTOP 612 F ou un mortier de réparation mono- (ou bi-) composant à base de ciment (et de résine) et complétés d'une bande bitumineuse auto-adhésive type SIKAMULTISEAL ou une bande bitumineuse auto-adhésive à froid, résistante à la déchirure et à l'eau, et apte à protéger le joint du contact direct des terres et des eaux de ruissellement.

De plus, un système de drainage sera obligatoirement mis en place.

Sauf justification spécifique, la paroi extérieure devra être fractionnée horizontalement à la limite entre la zone enterrée et la zone non enterrée.

2.6.4. Etanchéité de la paroi intérieure

Le joint peut rester non traité si ce dernier vient à être masqué par un bardage ou un doublage ou si les contraintes architecturales ne nécessitent pas sa fermeture. Un système d'obturation de type cordon de mousse pourra être mise en place comme fond de joint à la pose des murs, pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage.

Pour les autres locaux, le traitement du joint est réalisé à l'aide d'un mortier hydraulique à retrait compensé. L'apparition de fines fissures au niveau de ces joints est toutefois possible mais sans autre inconvénient que leur aspect.

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

2.7. Traitement en fin de vie

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

2.8. Assistance technique

La société SPURGIN LEONHART fournira systématiquement au client une documentation sur les spécificités de mise en œuvre des ISOPRÉ®.

De plus l'ensemble des nouveaux clients ou des clients utilisant pour la première fois l'ISOPRÉ® seront assistés par un expert de la société SPURGIN LEONHART lors de la préparation et de la mise en place des premiers ISOPRÉ®.

2.9. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.9.1. Conditions de fabrication

Compte tenu de la minceur des parois de coffrage, les raidisseurs métalliques doivent être fabriqués avec une grande précision pour respecter les exigences d'enrobage minimal et assurer la couture de la paroi intérieure et du béton coulé en place.

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

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

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

2.9.1.1. Fabrication des ISOPRÉ®

Le panneau est réalisé en usine à l'aide d'un outil automatisé sur des tables métalliques disposées à plat. Les opérations se déroulent dans l'ordre suivant :

1. Projection automatique d'un décoffrant
2. Traçage automatique de la première face à fabriquer (position des inserts, organes de liaisons, réservations et ouvertures)
3. Mise en place automatique des joues de coffrage de la première plaque ainsi que des inserts, réservations et ouvertures.
4. Mise en place des cales d'enrobage des armatures. Disposition des armatures (nappes d'armatures et renforts de ferrillage)
5. Fabrication du béton dans la centrale située sur le site.
6. Acheminement du béton.
7. Coulage du béton à l'aide d'un répartiteur automatique qui garantit la constance de l'épaisseur mise en place.
8. Vibration automatique, programmée et adaptée pour ce type de fabrication.
9. Pré découpage et pré perçage de l'isolant pour le passage des organes de liaison.
10. Mise en place des plaques d'isolants prédécoupées et pré percées sur la première face selon le plan de fabrication du mur.
11. Mise en place des cylindres de levage calés au travers de l'isolant, dans le béton frais.
12. Mise en place des sangles de levage autour des cylindres prévus à cet effet et attache de ces sangles sur l'isolant en prévision du retournement
13. Mise en place des connecteurs
14. Vibration de la table
15. Etuvage
16. Opérations 1 à 8 identiques pour la deuxième face de l'ISOPRÉ® mais avec mise en place des raidisseurs, inserts électriques... et tous éléments incorporés à la face intérieure.
17. Retournement de la première face sur la seconde avec centrage et mise en appui sur des cales extérieures pré réglées suivant l'épaisseur du mur.
18. Vibration automatique.
19. Enlèvement du moule supérieur.
20. Etuvage de l'ensemble.
21. Démoulage et stockage sur un conteneur métallique.

2.9.2. Contrôle de fabrication

Les murs à coffrage et isolation intégrés ISOPRÉ® bénéficient d'un certificat NF selon le référentiel NF 548.

2.9.2.1. Contrôles des organes de liaison

Les organes de liaisons sont contrôlés par les fabricants lors de leurs productions. Les points de contrôles sont :

- Vérification de la longueur nominale et contrôle visuel de la bonne injection pour les connecteurs ;
- Contrôle mécanique et contrôle visuel de la matière pour les cylindres.

2.9.2.2. Contrôles des bétons

Les bétons utilisés pour la réalisation des parois du coffrage sont réalisés dans la centrale SPURGIN, installée dans l'usine de préfabrication.

Les résistances des bétons sont contrôlées à l'usine conformément à la norme NF EN 13369 et à la certification NF.

2.9.2.3. Contrôles de qualité

La nature et la fréquence des contrôles minimaux sont définis dans le référentiel de certification NF 548.

Les contrôles doivent permettre de garantir les caractéristiques certifiées suivantes :

- La résistance caractéristique à la compression à 28 jours du béton des parois préfabriquées, $f_{ck,p}$;
- Épaisseur des parois, e_1 et e_2 ;
- Enrobages des armatures : 0/+3 mm ;
- Ancrage des connecteurs (épaisseur nominale = 6 cm, épaisseur minimale = 5,5 cm) ;
- Ancrage des cylindres (épaisseur nominale = 4,5 cm, épaisseur minimale = 4 cm y compris ép. enrobage = 1,5 cm).

2.9.3. Caractéristiques dimensionnelles et tolérances

Poids propre de l'ISOPRÉ® au m²: de 275 à 330 kg/m² en fonction de l'épaisseur des parois et du ferrillage, et en l'absence de matrice.

Dimensions maximales, hauteur x largeur ou largeur x hauteur :

| | |
|-------------------|-----------------|
| SPURGIN EST | 3 m x 11,86 m |
| Les autres usines | 3.7 m x 12,36 m |

Epaisseurs courantes de 25 à 40 cm.

Tolérances dimensionnelles conformes à la norme EN 14992 et au référentiel NF 548

- Tolérance sur la hauteur des raidisseurs : $-2/+1$ mm
- Tolérance sur l'épaisseur globale de l'ISOPRÉ® : moyenne des mesures $-2/+3$ mm (chaque valeur individuelle : ± 6 mm)
- Enrobage des cylindres de levage : $-1/+2$ mm
- Verticalité des connecteurs : $\pm 10^\circ$

2.9.4. Finitions et aspect

Tous les panneaux présentent une surface brute de décoffrage.

2.9.4.1. Etat de surface

L'état de surface courant correspond à une surface brute de décoffrage contre moule. Dénomination E (3-3-0) d'après la norme NFP 18-503.

La face extérieure de l'ISOPRÉ® peut présenter un aspect structuré grâce à l'utilisation de matrice caoutchouc type RECKLI ou équivalent.

Cependant la matrice doit être de forme régulière afin de permettre le raboutage de celle-ci sur les tables de coffrages et permettre le calepinage de ces zones.

L'empreinte doit néanmoins permettre de respecter les enrobages minimums du paragraphe 2.3.1.5.

2.9.4.2. Teinte

La teinte du parement de l'ISOPRÉ® peut varier sur un même panneau ou d'un mur à l'autre. L'homogénéité de la teinte des parois n'est pas un paramètre qui peut faire l'objet d'une garantie. Lorsque la finition de l'ISOPRÉ® demandée est une lasure, il est impératif de préparer le support à l'aide d'un opacifiant appliqué au préalable, de manière à garantir l'aspect final de la lasure.

2.9.4.3. Préparation du support

La forte compacité du béton des parois doit être prise en compte lors du choix du type de revêtement qui sera appliqué sur le support. (Lasures, peinture, imprégnation, plot de colle pour fixation des plaques de plâtres...).

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

2.9.4.4. Revêtement extérieur – finition

L'ajout d'un revêtement sur la paroi extérieure de l'ISOPRÉ®, ou un épaissement de cette même paroi extérieure est possible sous réserve que le poids rapporté à la structure de base ne soit pas supérieur au maximum de 75 kg/m^2 . Le B.E. SPURGIN limitera la taille des panneaux ISOPRÉ®, lors de la présence de matrice ou de bardage sur la paroi extérieure, afin de ne pas dépasser la limite d'utilisation des éléments de levages.

Le revêtement extérieur peut se présenter de différentes manières :

- Soit par un revêtement collé ou chevillé :

Exemple : carrelage de parement ou pierre collées

Nota : Lorsqu'un bardage est rapporté sur la paroi extérieure, il faut veiller à calepiner les éléments composant le bardage conformément au joint d'ISOPRÉ®. Il faut également prévoir un degré de liberté au niveau des fixations sur la paroi en mettant en place des trous oblong au niveau du bardage.

- Soit par une paroi matricée béton.
- Soit par un traitement en surface :

Exemple : Lasure avec application préalable d'un homogénéisateur de teinte, peinture, RPE, Enduit hydrauliques.

2.10. Conditions d'exploitation du procédé

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

L'épaisseur de la paroi structurale est soumise à l'approbation du bureau d'études de structures.

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

Le dimensionnement de la peau extérieure dilatable, des organes de liaison et des raidisseurs est réalisé par le titulaire du procédé.

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

Le calcul de l'ensemble de la structure sera effectué par le Bureau d'Etudes Techniques de l'opération. Il transmettra au bureau d'études du Titulaire l'ensemble des torseurs appliqués aux murs considérés. A partir de ces informations, le Bureau d'Etudes

du Titulaire sera en charge des vérifications des points spécifiques (liaisons entre murs, monolithisme, ...) conformément aux prescriptions du CPT MCI (Cahier du CSTB 3690_V2).

La société SPURGIN LEONHART devra en collaboration avec le B.E.T. effectuer les vérifications des panneaux.

Le calepinage est effectué par SPURGIN LEONHART et approuvé par le B.E.T.

| SIEGE | | | | |
|--|---|---|--|---|
| SPURGIN LEONHART Route de Strasbourg BP 20151 67603 SELESTAT CEDEX | | | | |
| Fabrication et Commercialisation | | | | |
| SPURGIN LEONHART EST | SPURGIN LEONHART RHÔNE-ALPES | SPURGIN LEONHART ILE DE FRANCE OUEST | SPURGIN LEONHART NORD | SPURGIN LEONHART SUD |
| Z.I. rue Louis Renault 68127 STE CROIX EN PLAINE | Allée des Noisetiers – Parc Industriel de la Plaine de l'Ain 01150 BLYES | Z.A. du Bois Gueslin Lieu-dit « Le petit Courtin » 28630 MIGNIERES | Zone d'activité 2 7 route de Ham 80190 NESLE | ZAC du Grand Pont Rue de l'Ouest 13640 LA ROQUE D'ANTHERON |

2.10.1. Aide à la mise en œuvre

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

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

La mise en œuvre est réalisée par l'entreprise titulaire du marché.

Le BET Structure doit fournir les plans de coffrage et de ferraillage de l'ouvrage.

Le titulaire concevra les ISOPRÉ® avec l'entreprise et le bureau d'études structure sur la base des études de structure de l'ouvrage, en réalisant les études complémentaires liées à l'utilisation des ISOPRÉ® et des contraintes de chantier. Les documents à fournir par le titulaire sont :

- Les plans de calepinage et de préconisation de pose ;
- La notice de pose.

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

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

Ces données devront respecter les valeurs de CMU données dans le tableau en annexe du présent Avis Technique. Cette démarche pourra aussi être mise en place au cas par cas pour l'ensemble des clients utilisateurs de l'« ISOPRÉ® ».

2.11. Mention des justificatifs

2.11.1. Résultats expérimentaux

Les valeurs indiquées dans le dossier technique sont issues d'essais expérimentaux :

- Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL14-130/1
- Appréciation de laboratoire du CERIB n° AL 021919
- Appréciation de laboratoire du CERIB n° AL 012746

Organes de liaison SPURGIN :

- Essais de traction sur les connecteurs SPURGIN le 28 février et le 16 juin 2007 réalisés à l'INSA de STRASBOURG.
- Essais de cisaillement sur les cylindres de Type 1 le 13 décembre 2007 réalisés à l'INSA de STRASBOURG.
- Essais de cisaillement d'une plaque par rapport à l'autre réalisés le 27 mars 2007 à l'INSA de STRASBOURG.
- Essais de traction des cylindres de Type 1 en avril et octobre 2012 réalisés à l'INSA de STRASBOURG.
- Essais de fatigue sur connecteur SPURGIN en mai 2012 réalisés à l'INSA de LYON.
- Essais de raideur des cylindres de Type 1 en décembre 2012 réalisés à l'INSA de LYON.
- Essais de résistances et de raideur des cylindres de Type 1 en juin 2014 et en janvier 2017 réalisés à l'INSA de STRASBOURG
- Essais de résistance et de raideur des cylindres de Type 2 en juin 2016 réalisés à l'INSA de STRASBOURG
- Essais de levage des cylindres de type 1 en configuration C en juin 2014.
- Essais de levage des cylindres de type 1 en configuration A avec préchargement en février 2022.
- Essais de levage des cylindres de type 2 en configuration C en novembre 2016.

- Essais de levage des cylindres de type 2 en configuration A avec préchargement en février 2022.

ComBAR® 12 mm :

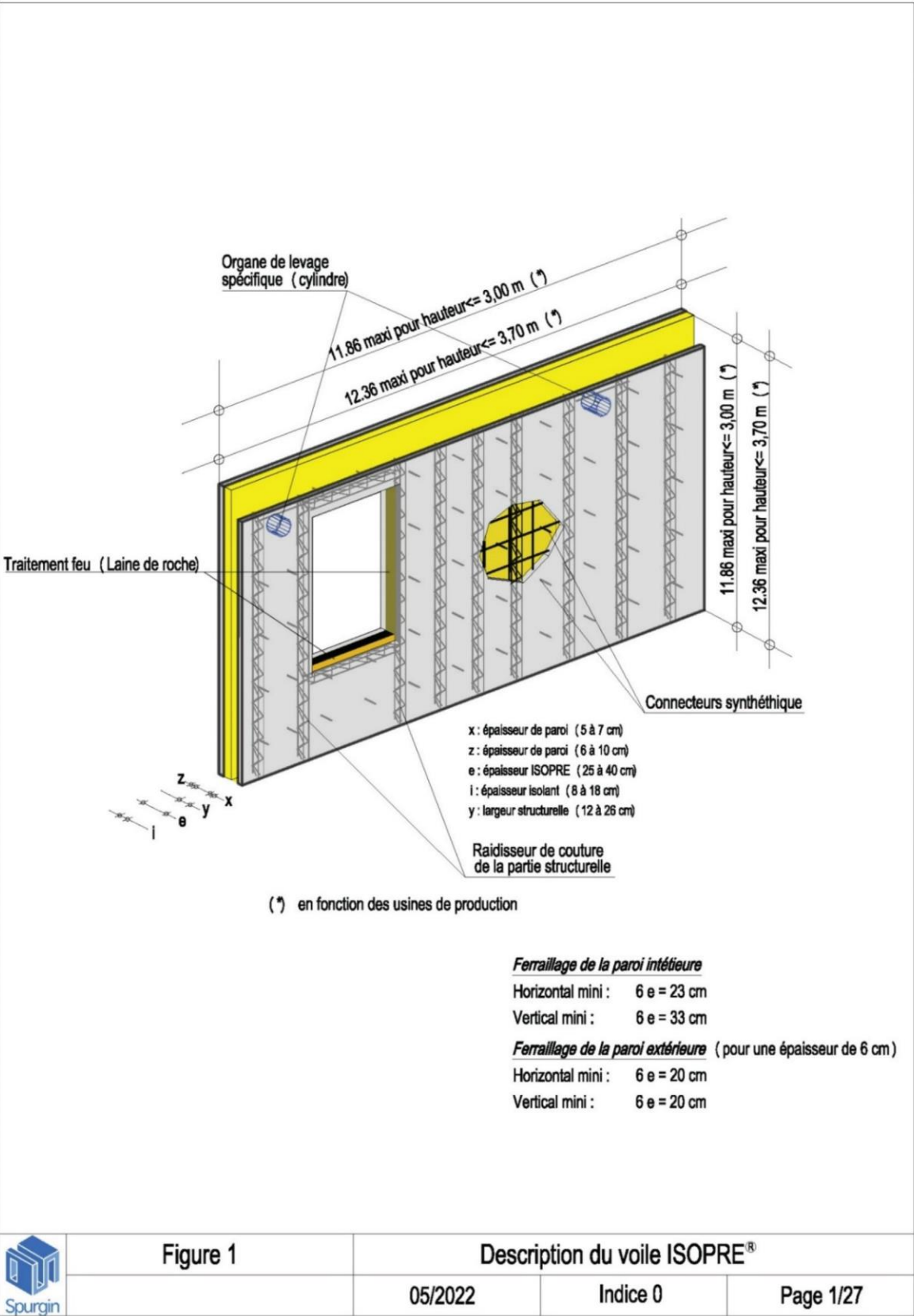
- Essais d'arrachement statiques sur 15 connecteurs réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport n° TUK 06034/1/Pa/528)
- Essais d'arrachement statiques sur 5 connecteurs réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport n° TUK 07030/2/Pa/528)
- Essais d'arrachement statiques sur 10 connecteurs réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport n° TUK 11016/HA/515)
- Essais de traction statiques et cycliques (7 essais par configuration ; pour des parois béton de 60 et 100 mm) réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528)
- Essais de compression statiques sur 2x3 connecteurs isolés avec une longueur libre de 140 mm et 200 mm réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport n° TUK 10015Pa/528-3)
- Essais de résistance au poinçonnement sur 6 éprouvettes (compression sur connecteur ancré dans une paroi de 6 cm) réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528)
- Essais de cisaillement statiques et cycliques (5 essais par configuration ; corps d'épreuve constitué de deux parois béton reliées par des connecteurs droits, épaisseur d'isolant de 60, 100 et 140 mm) réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528)
- Essais de cisaillement statique et cyclique (corps d'épreuve constitué de deux parois béton reliées par des connecteurs droits, épaisseur d'isolant de 60 mm) avec application d'une charge de traction constante de 2 kN et de 8 kN réalisés par le laboratoire Technische Universitat Kaiserslautern (Rapport HWA FINAL n° 06046Pa528).

2.11.2. Références chantiers

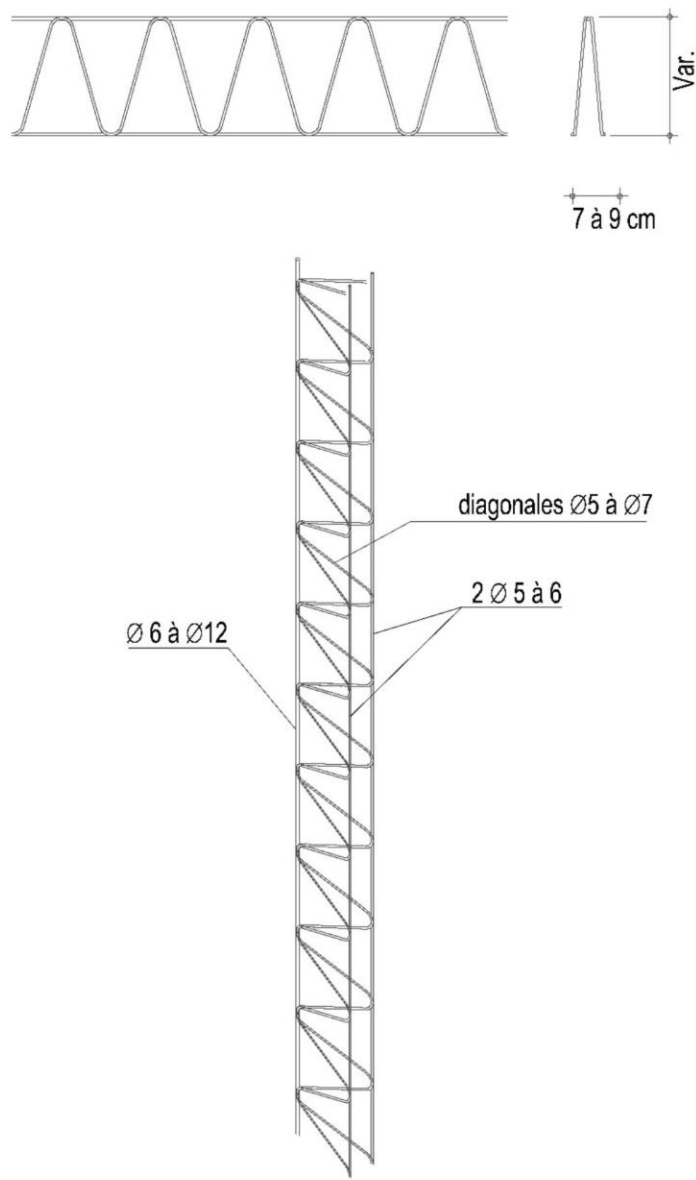
| Maitre d'ouvrage | Ville | Surface (m²) | Année |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------|
| Octopharma | LINGOLSHEIM | 1360 | 2019 |
| Résidence intergénérationnelle | STRASBOURG | 930 | 2019 |
| Ecole élémentaire | GONESSE | 1336 | 2020 |
| Bâtiment culturel sportif | LUDRES | 1004 | 2020 |
| 41 logements Neuchâtel/INLI | STRASBOURG | 181 | 2021 |


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

2.13. Annexe 1 : Dispositions constructives



Raidisseurs standards Spurgin



| | | | | |
|---|----------|------------------------|----------|-----------|
|  | Figure 2 | Poutrelles Raidisseurs | | |
| | | 05/2022 | Indice 0 | Page 2/26 |

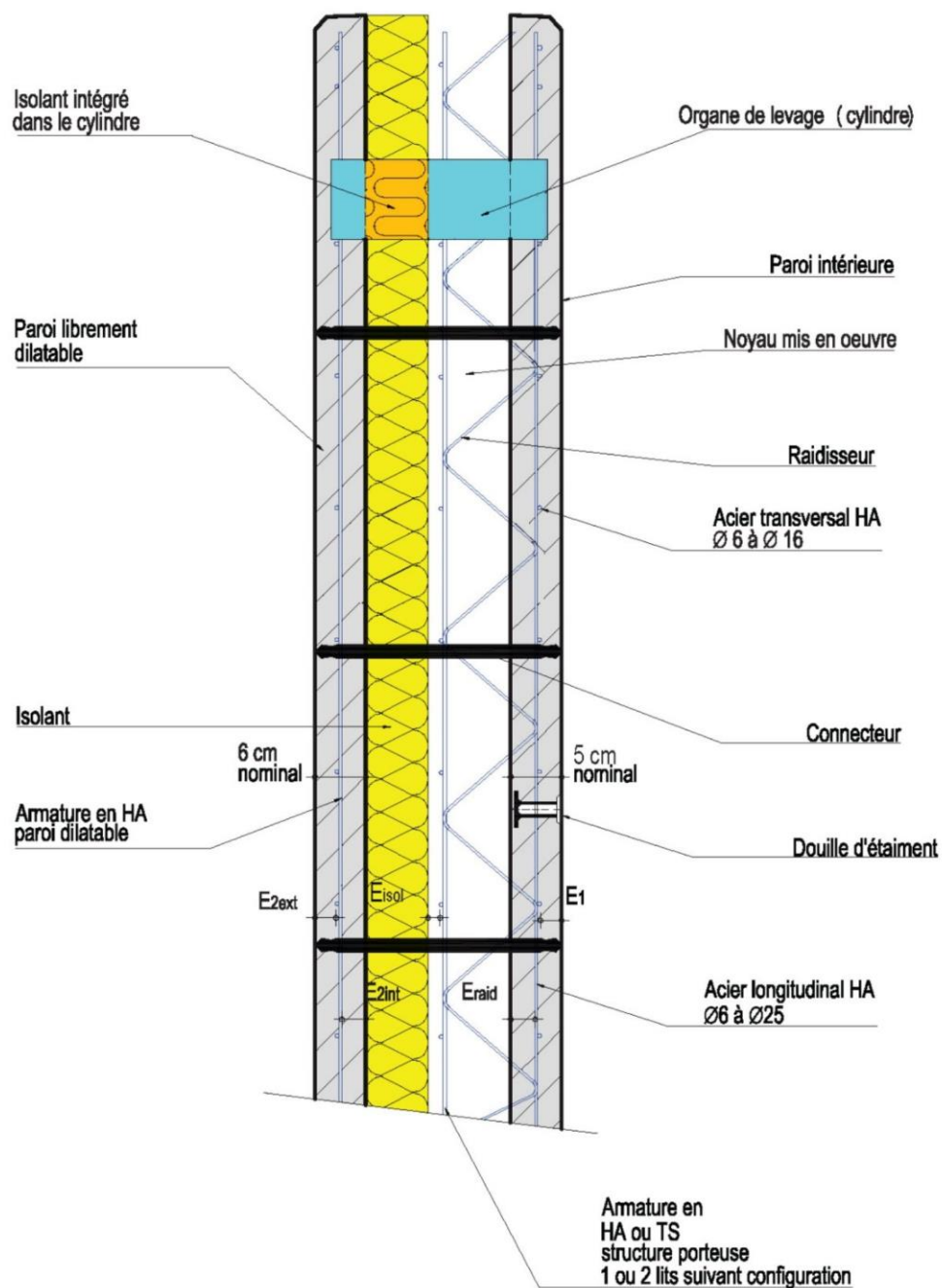


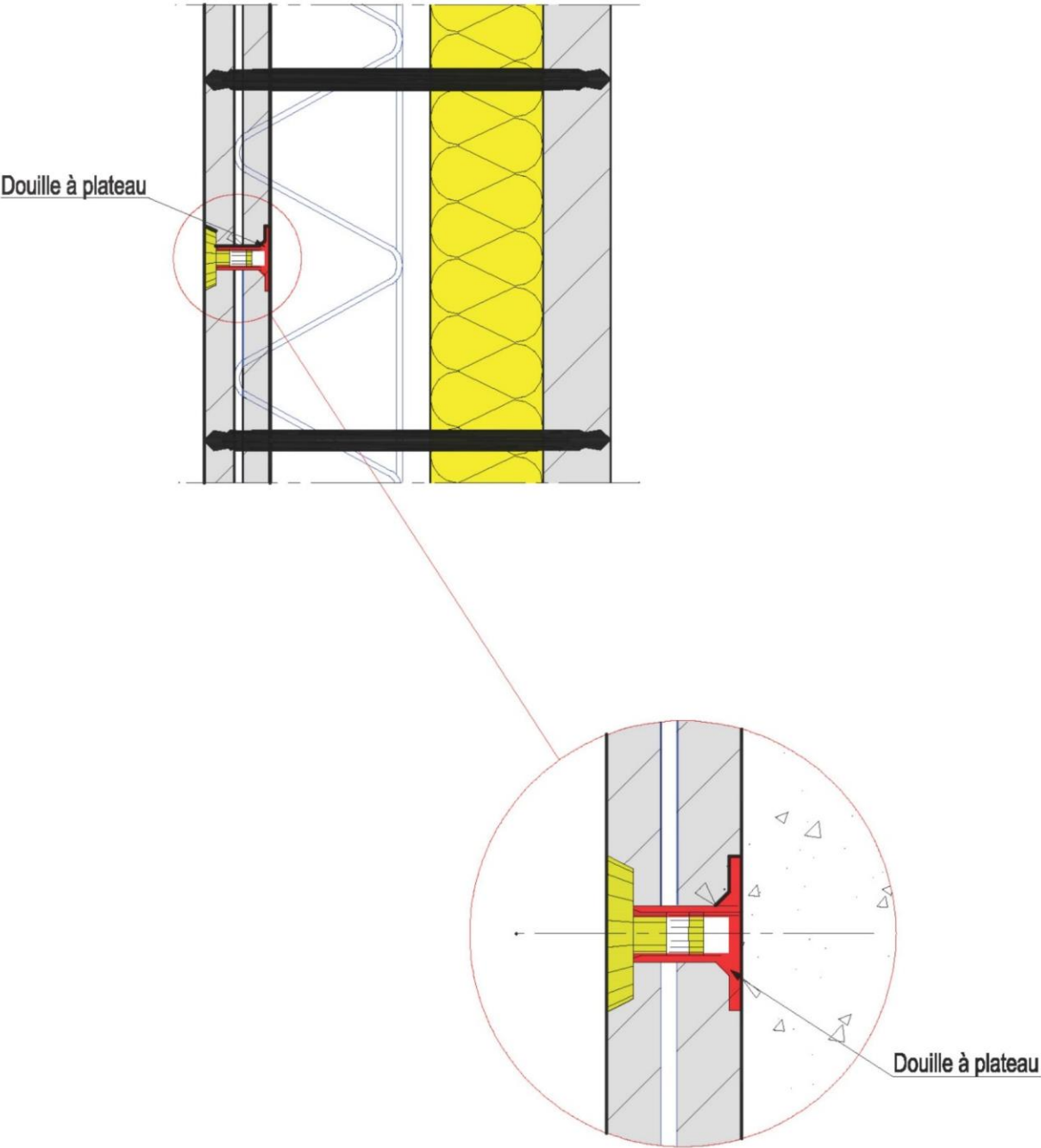
Figure 3


Coupe sur Isopre®/Position des aciers

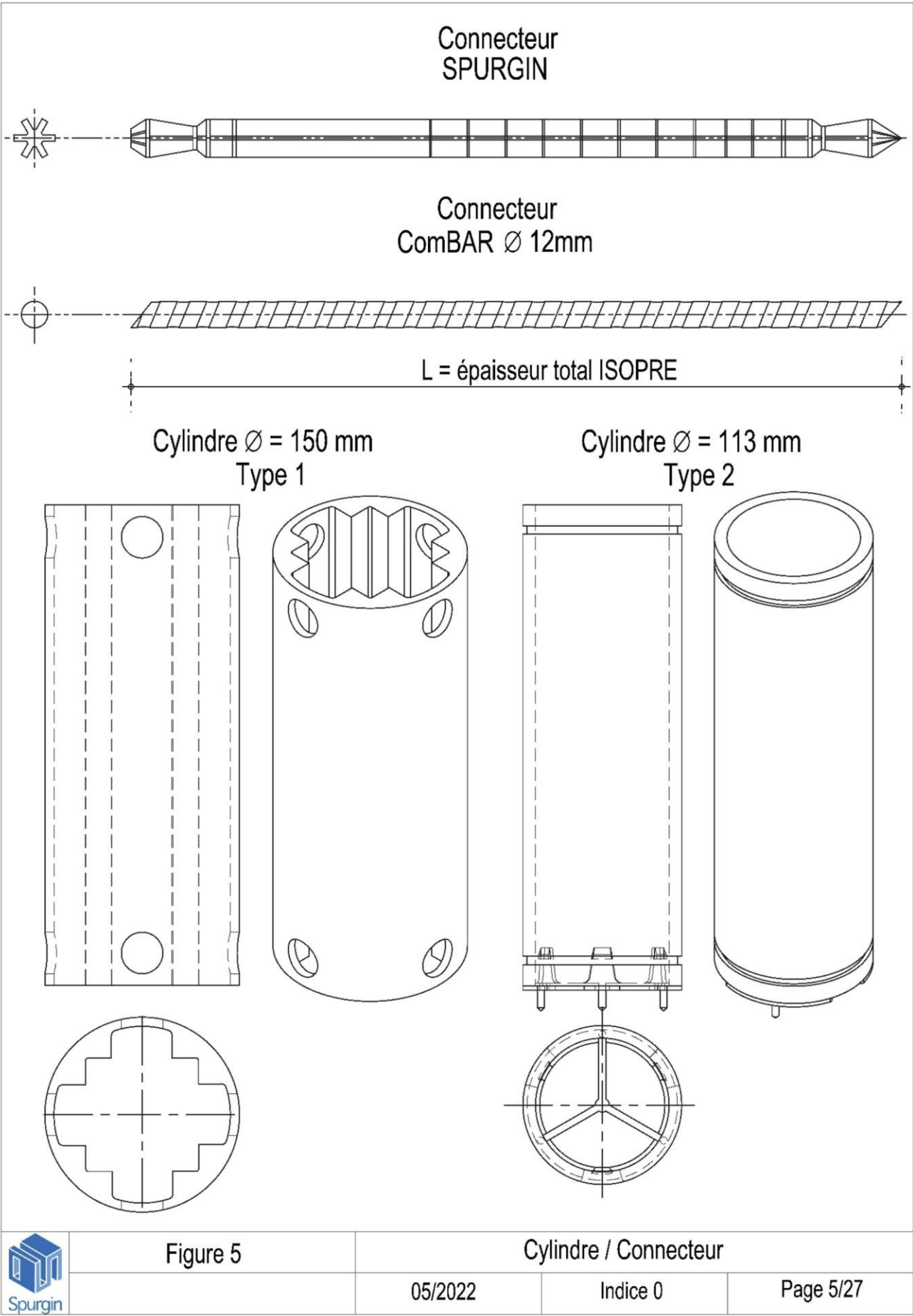
05/2022

Indice 0

Page 3/27



| | | | | |
|---|----------|---------------------|----------|-----------|
|  | Figure 4 | Douilles métallique | | |
| | | 05/2022 | Indice 0 | Page 4/27 |



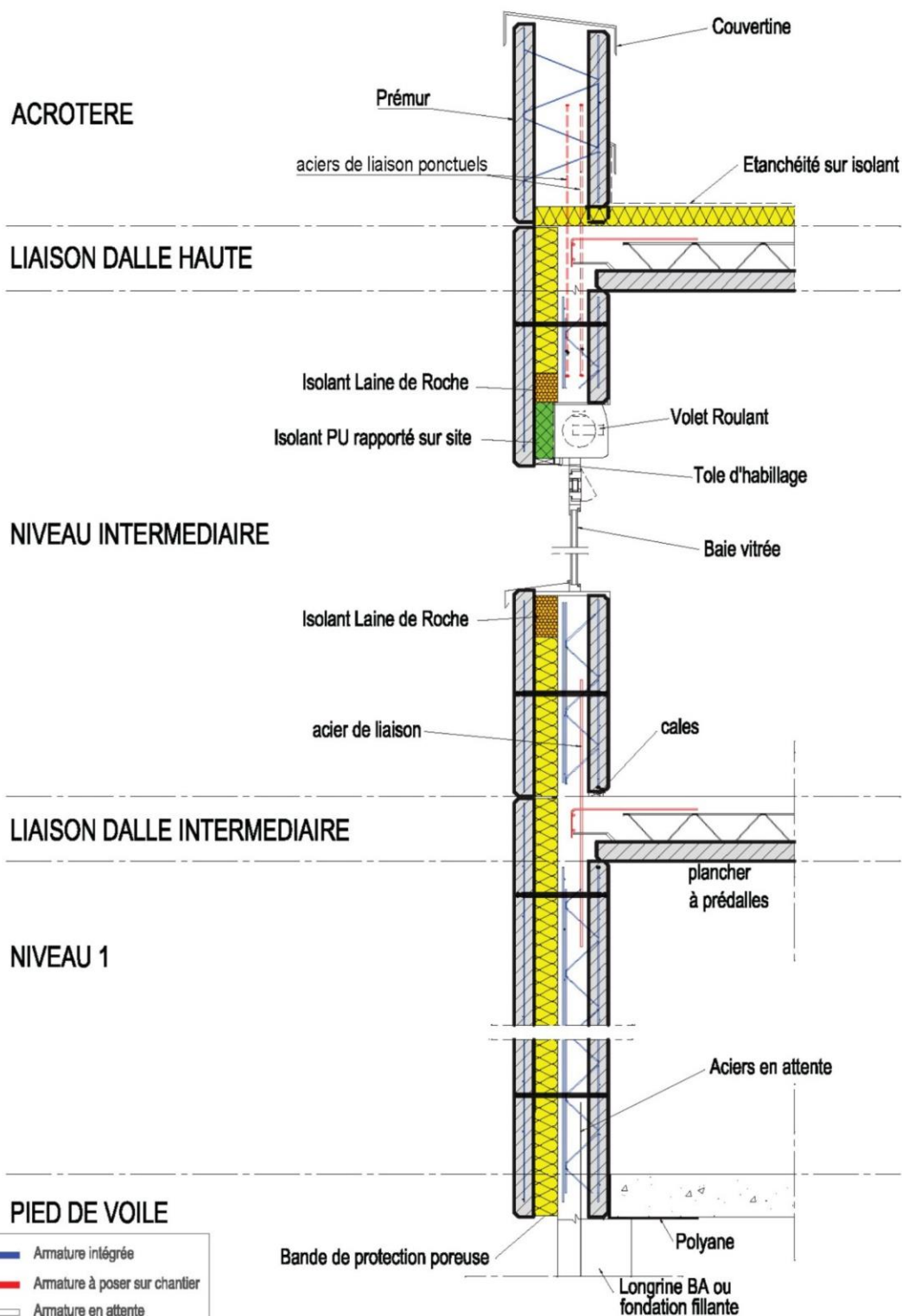


Figure 6

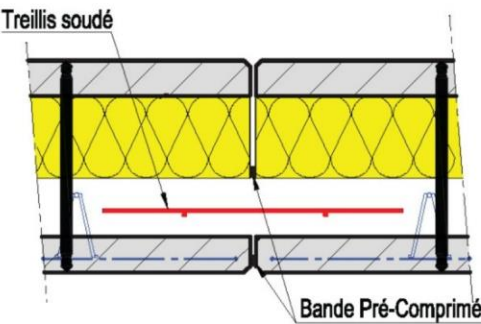
Coupe type sur ISOPRE® en superstructure

05/2022

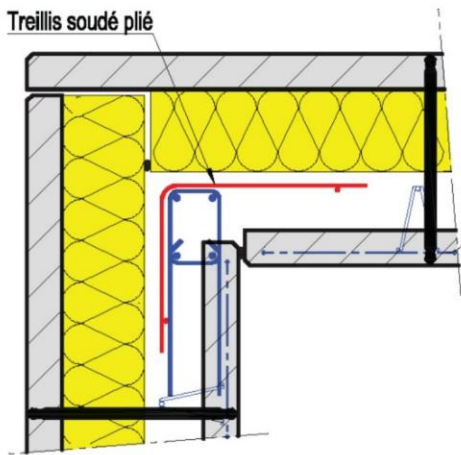
Indice 0

Page 6/27

Liaison Joint vertical "droit"



Liaison Joint vertical "angle"



Liaison Joint vertical "intersection"

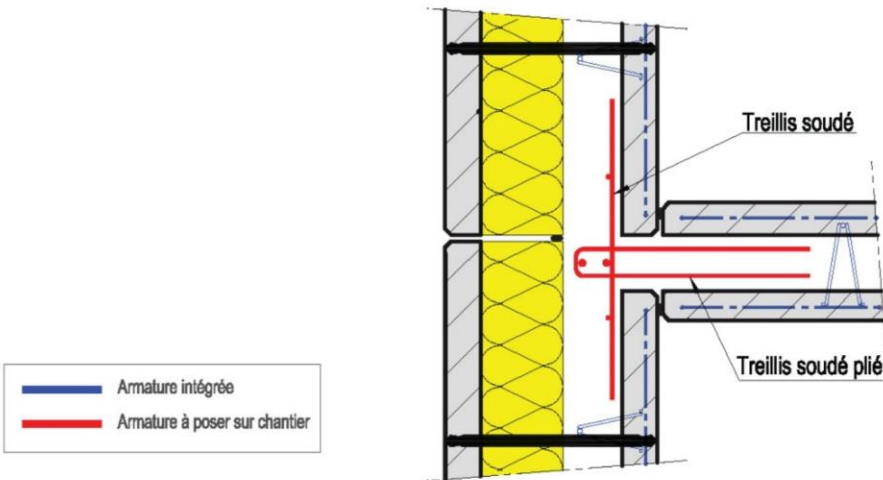


Figure 7

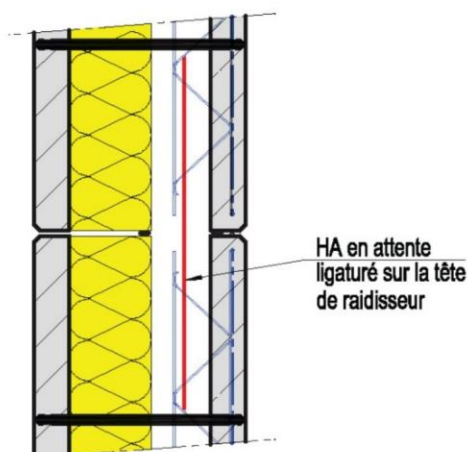
Solution liaison verticale rotulée sans TS dans le noyau

05/2022

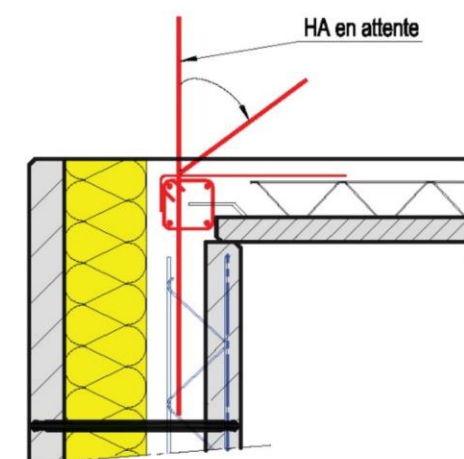
Indice 0

Page 7/27

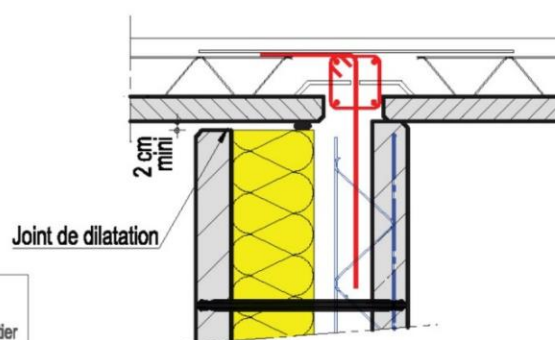
Liaison Joint horizontal "droit"



Liaison horizontale en rive de dalle



Liaison horizontale mur intermédiaire avec dalle



— Armature intégrée
— Armature à poser sur chantier



Figure 8

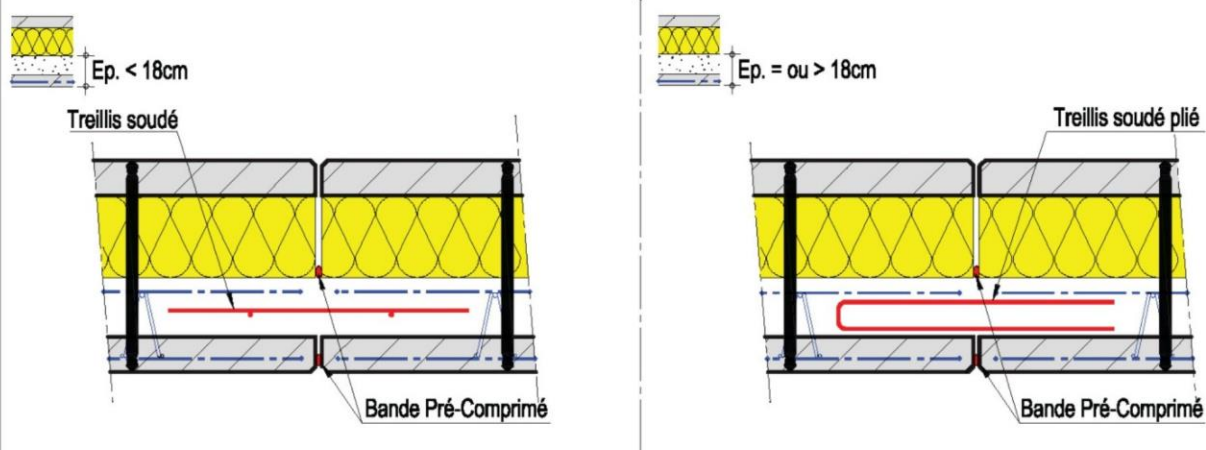
Solution liaison horizontale sans TS dans le noyau

05/2022

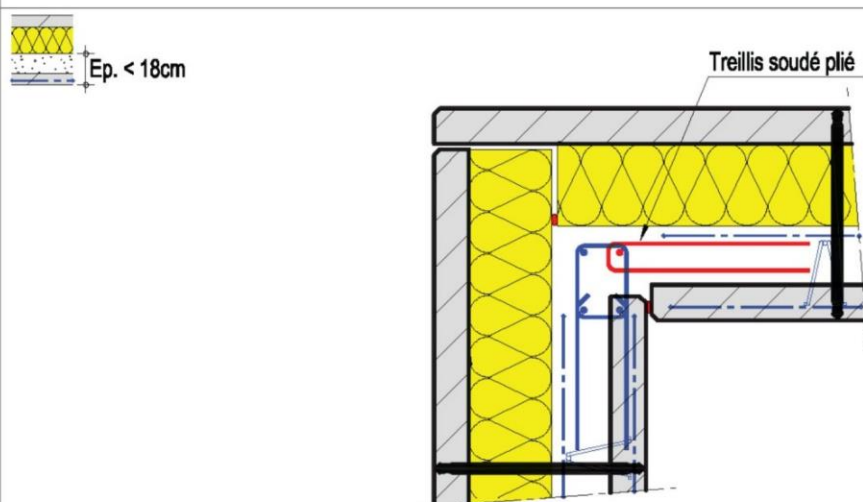
Indice 0

Page 8/27

Liaison Joint vertical "droit"



Liaison Joint vertical "angle"



Liaison Joint vertical "intersection"

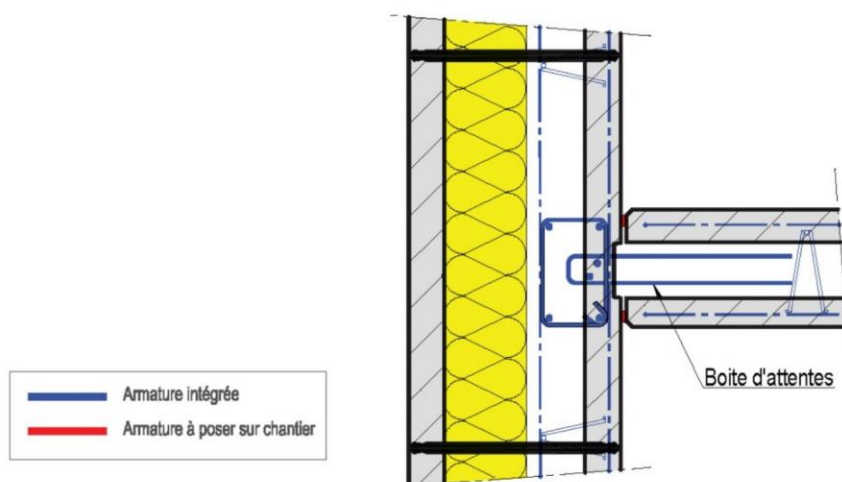


Figure 9

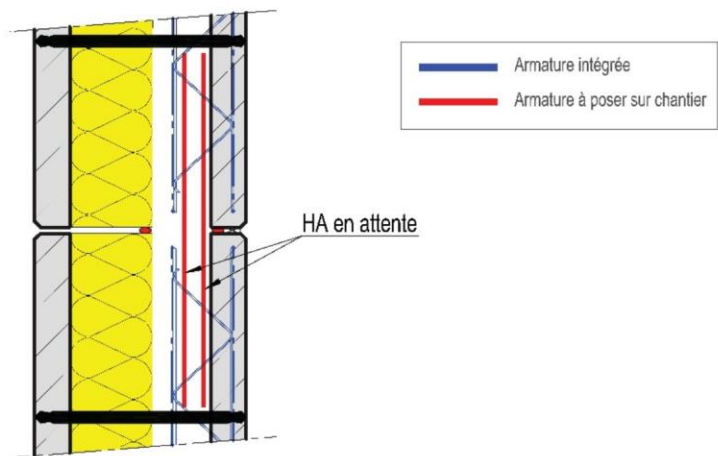
Solution liaison verticale rotulée avec TS dans le noyau

05/2022

Indice 0

Page 9/27

Liaison Joint horizontal "droit"



Liaison horizontale avec dalle

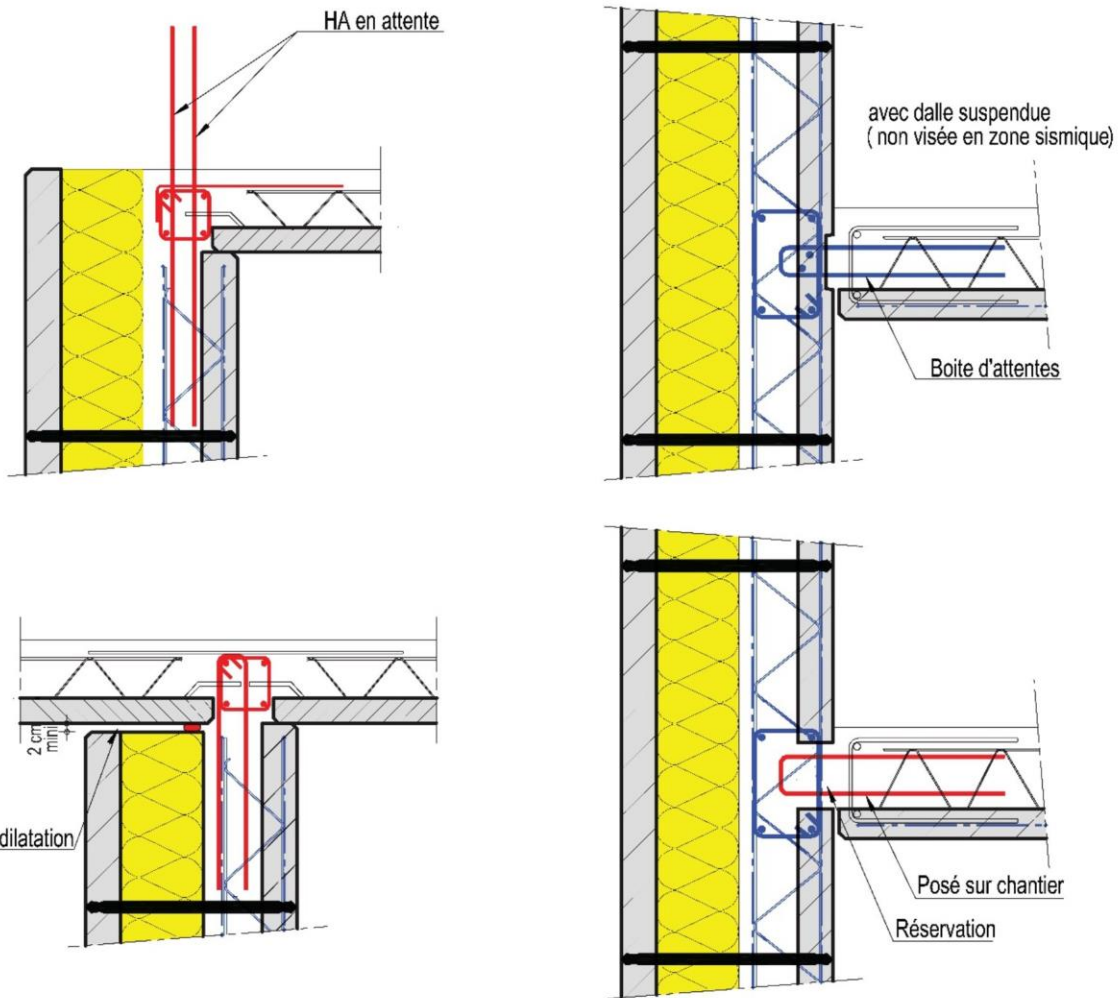


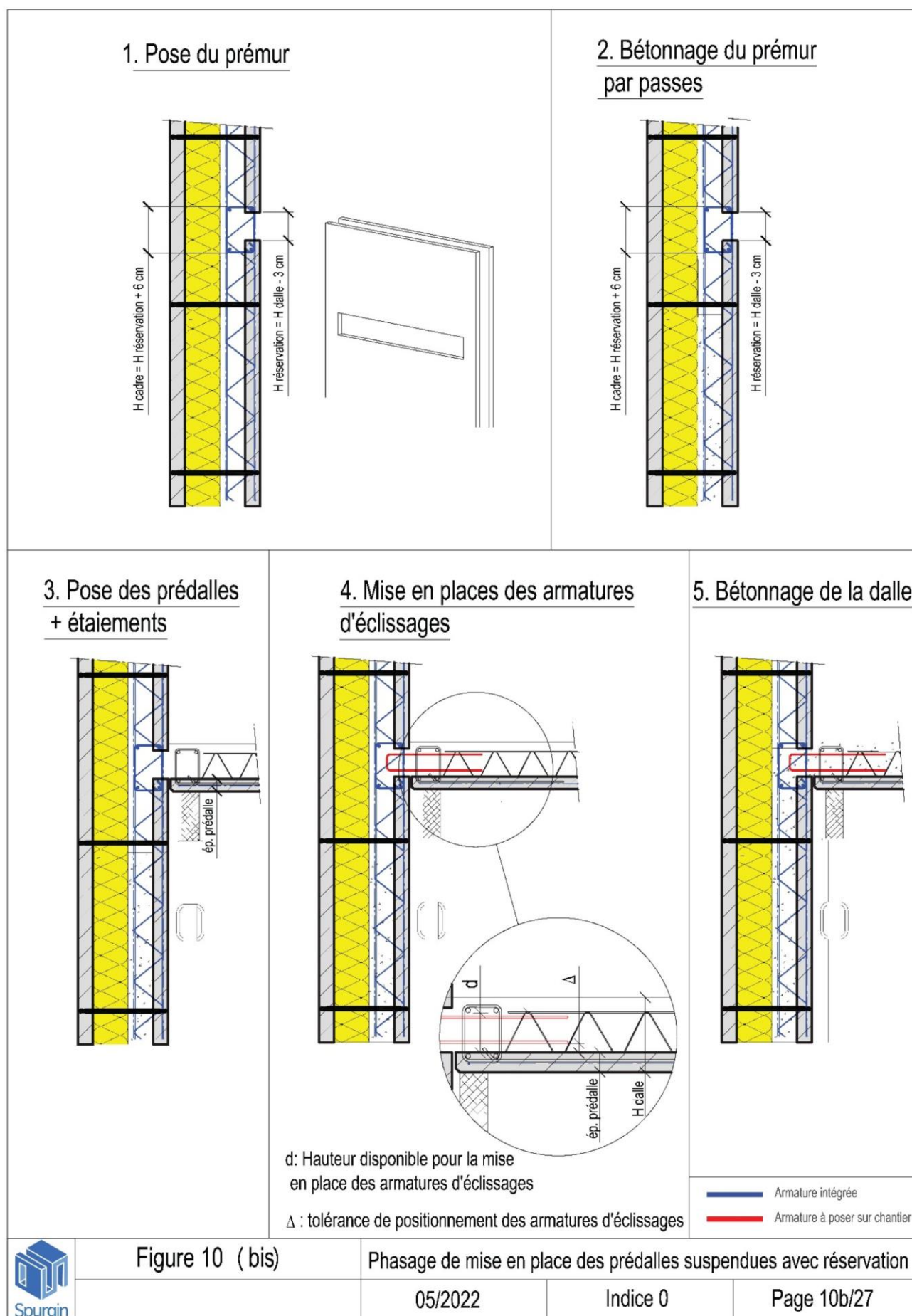
Figure 10

Solution liaison horizontale avec TS dans le noyau

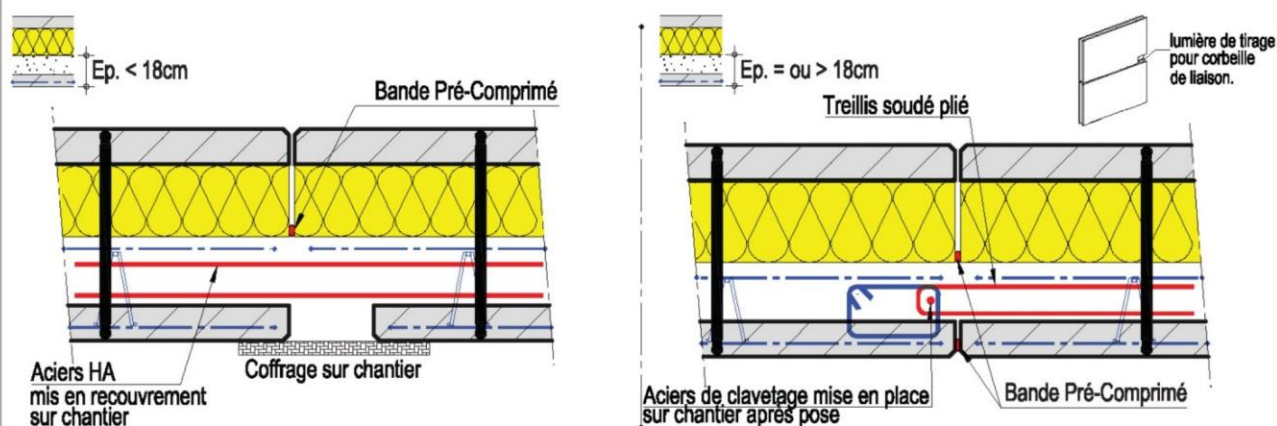
05/2022

Indice 0

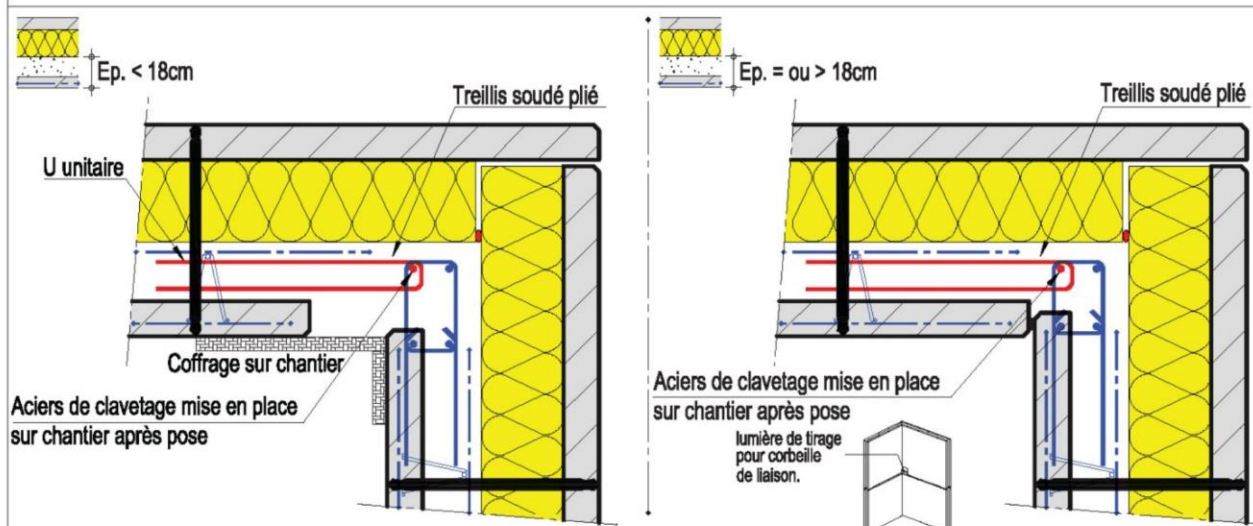
Page 10/27



Liaison Joint vertical "droit"



Liaison Joint vertical "angle"



Liaison Joint vertical "intersection"

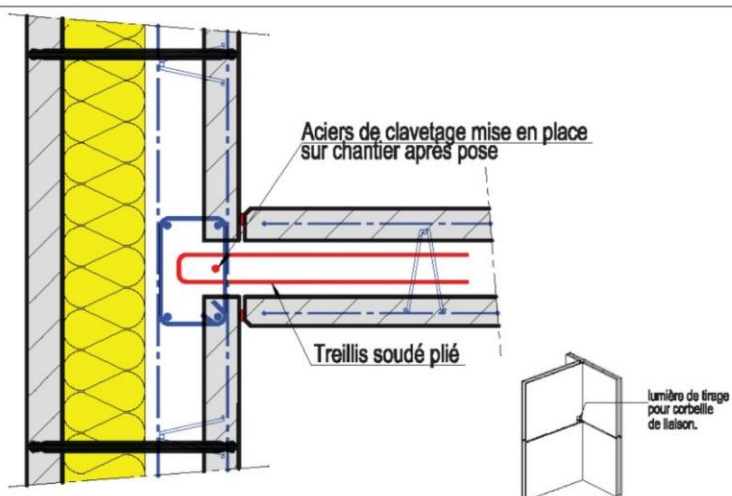


Figure 11

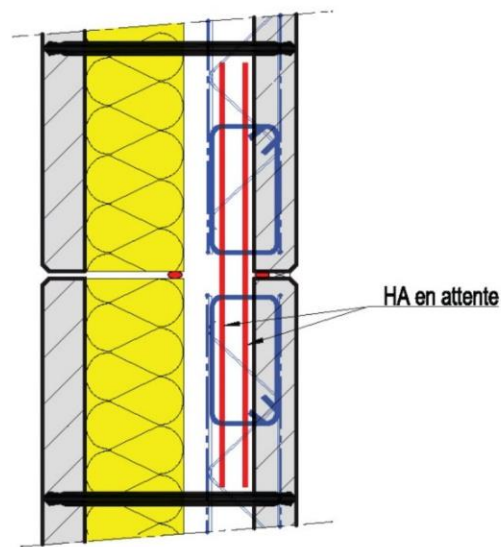
Solution liaison verticale couturée

05/2022

Indice 0

Page 11/27

Liaison Joint horizontal "droit"



- Armature intégrée
- Armature à poser sur chantier



Figure 12

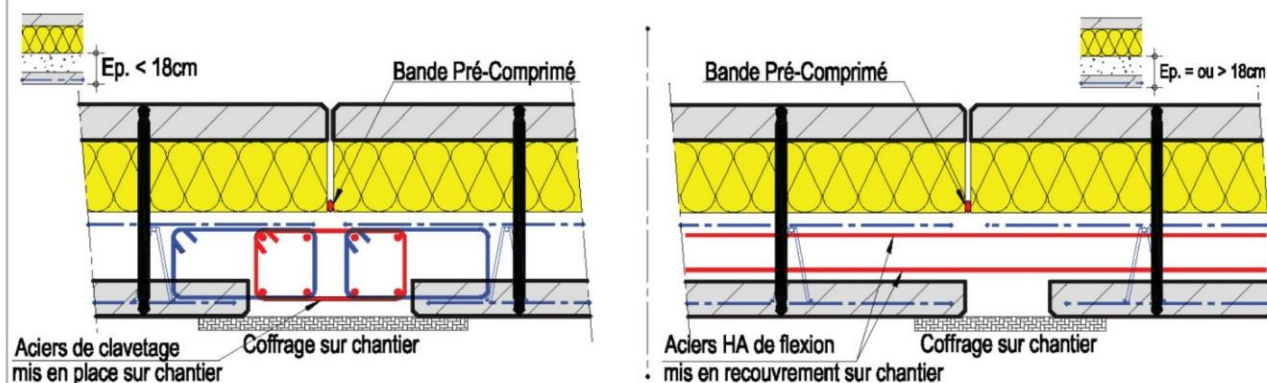
Solution liaison horizontale couturée

05/2022

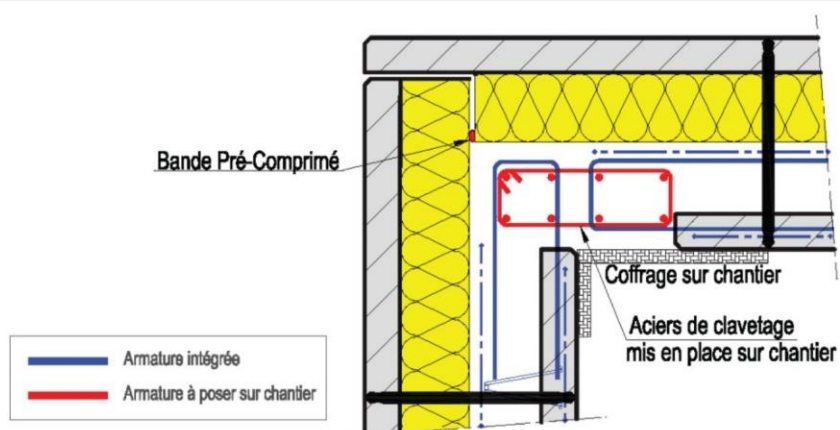
Indice 0

Page 12/27

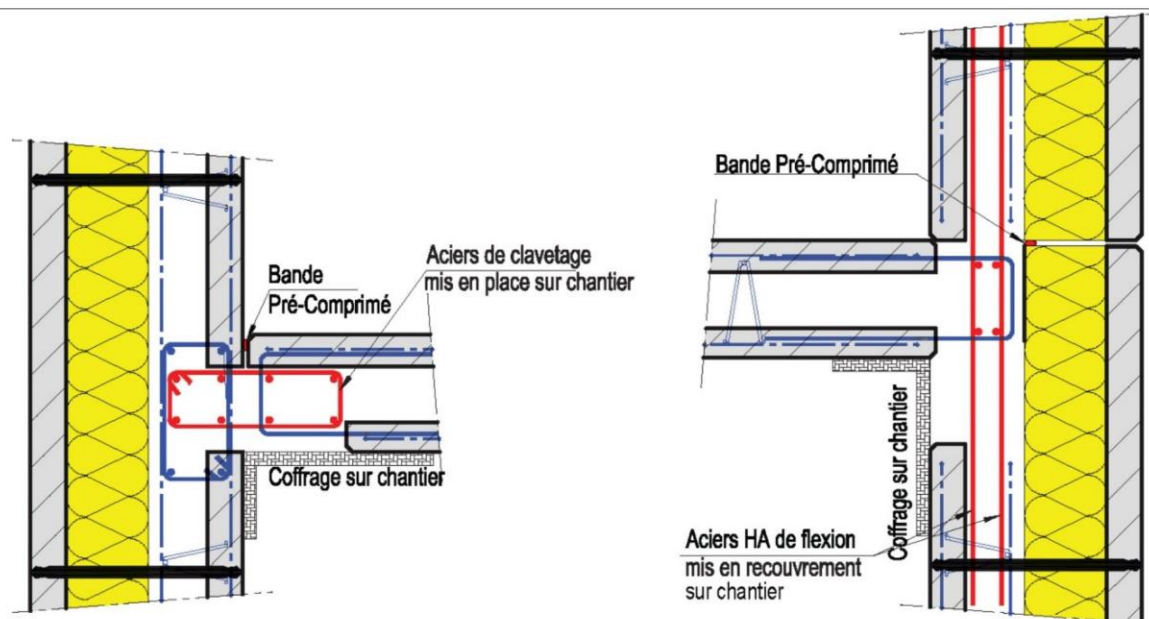
Liaison Joint vertical "droit"



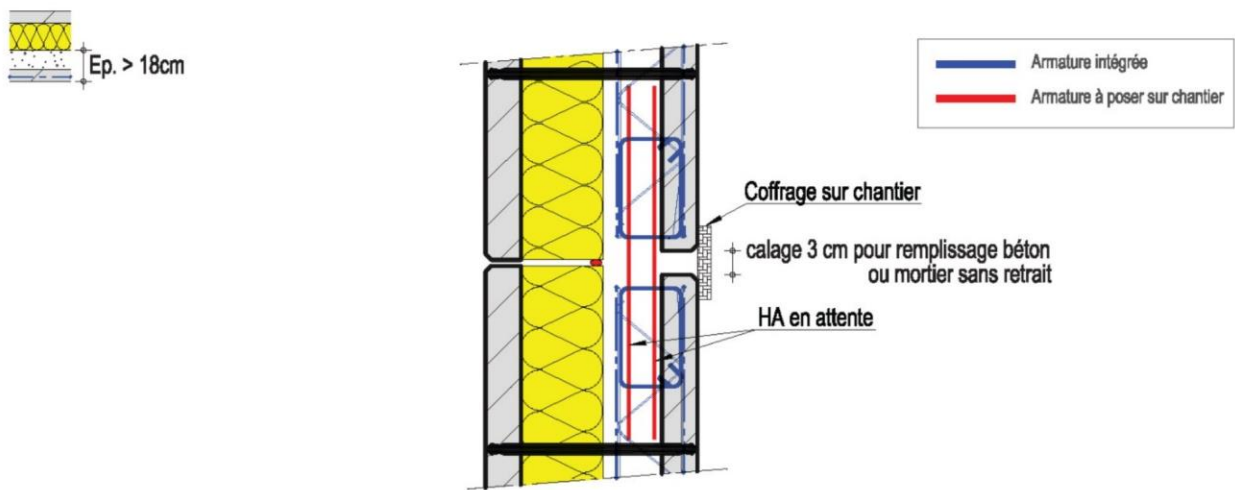
Liaison Joint vertical "angle"



Liaison Joint vertical "intersection"



Liaison Joint horizontal "droit"



Liaison Joint horizontal "en pied" armatures intégrées

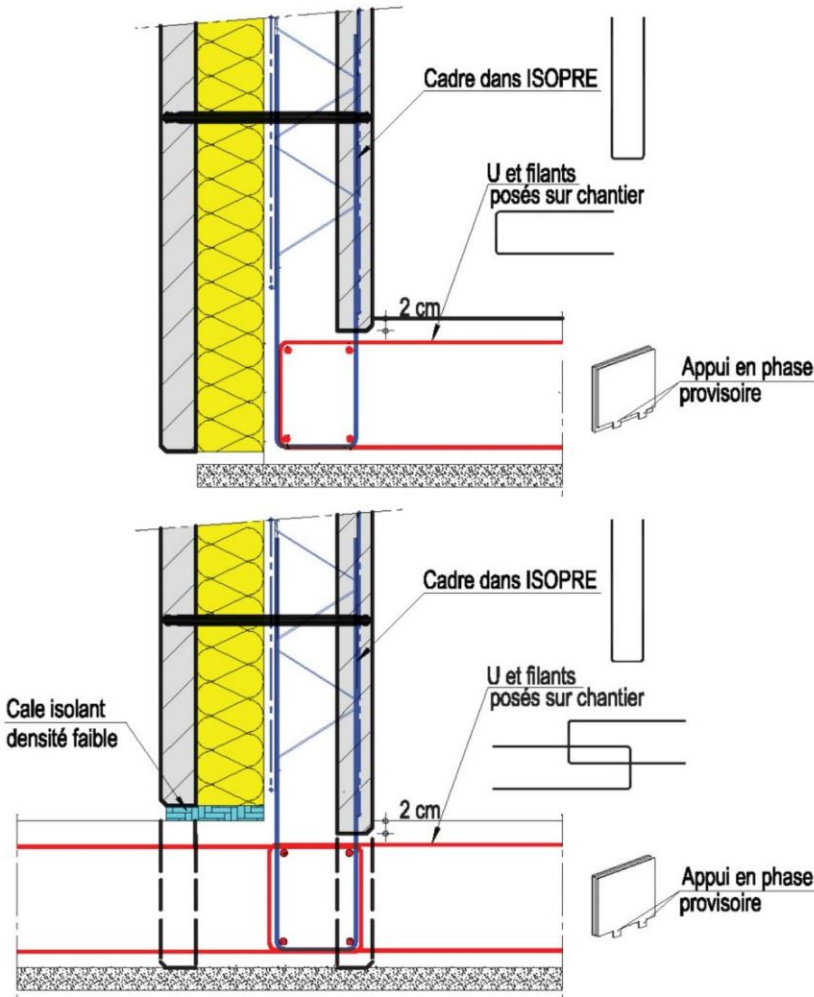


Figure 14

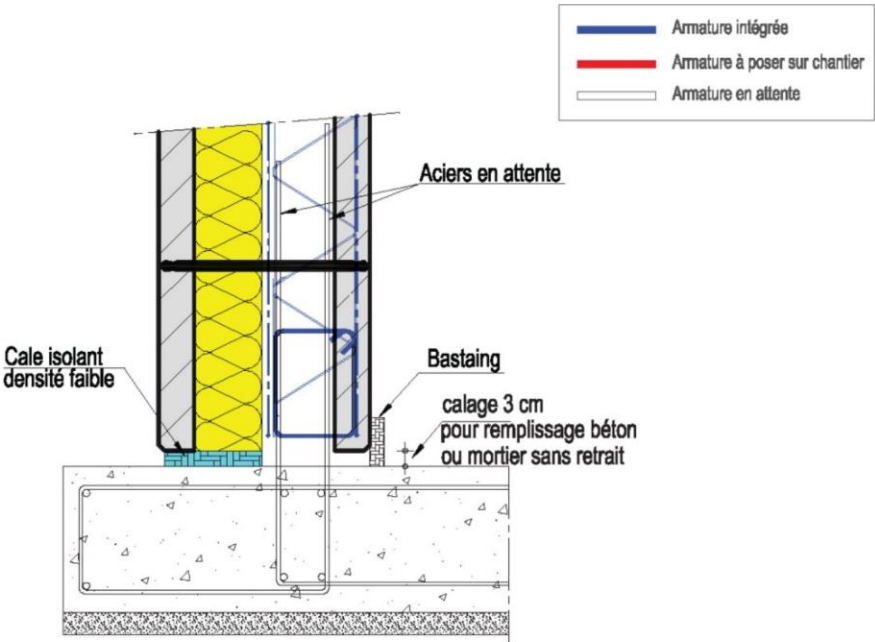
Solution liaison horizontale encastrée

05/2022

Indice 0

Page 14/27

Liaison Joint horizontal "en pied" armatures en attente avec TS



Liaison Joint horizontal "en pied" armatures en attente sans TS

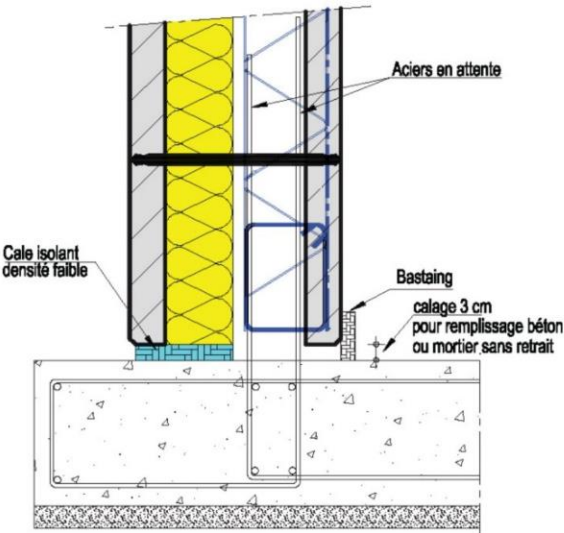


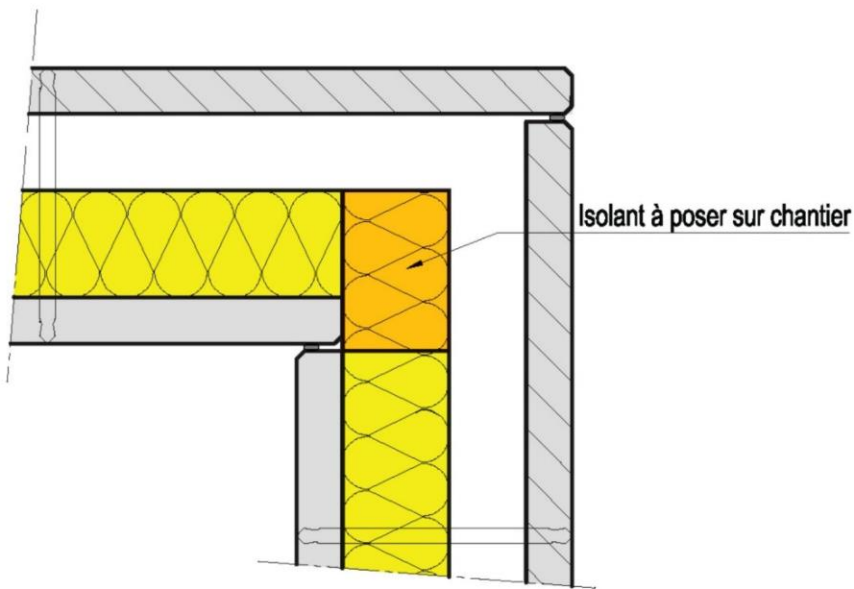
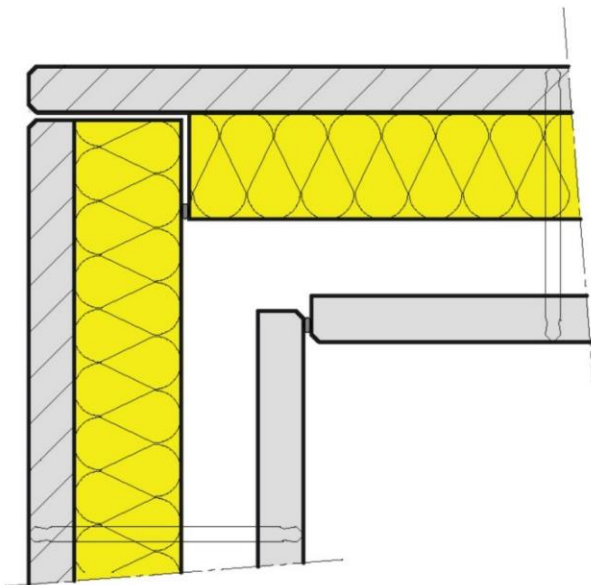
Figure 15


Solution liaison horizontale encastrée

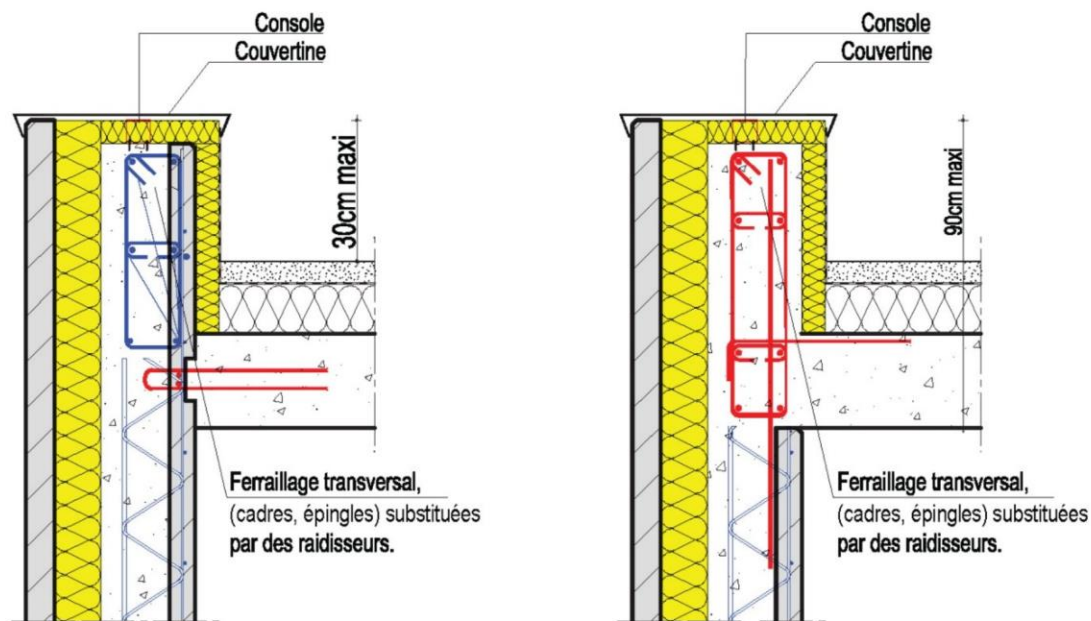
05/2022

Indice 0

Page 15/27



| | | | | |
|---|-----------|-----------------------|----------|------------|
|  | Figure 16 | Traitement des angles | | |
| | | 05/2022 | Indice 0 | Page 16/27 |



Détail au joint

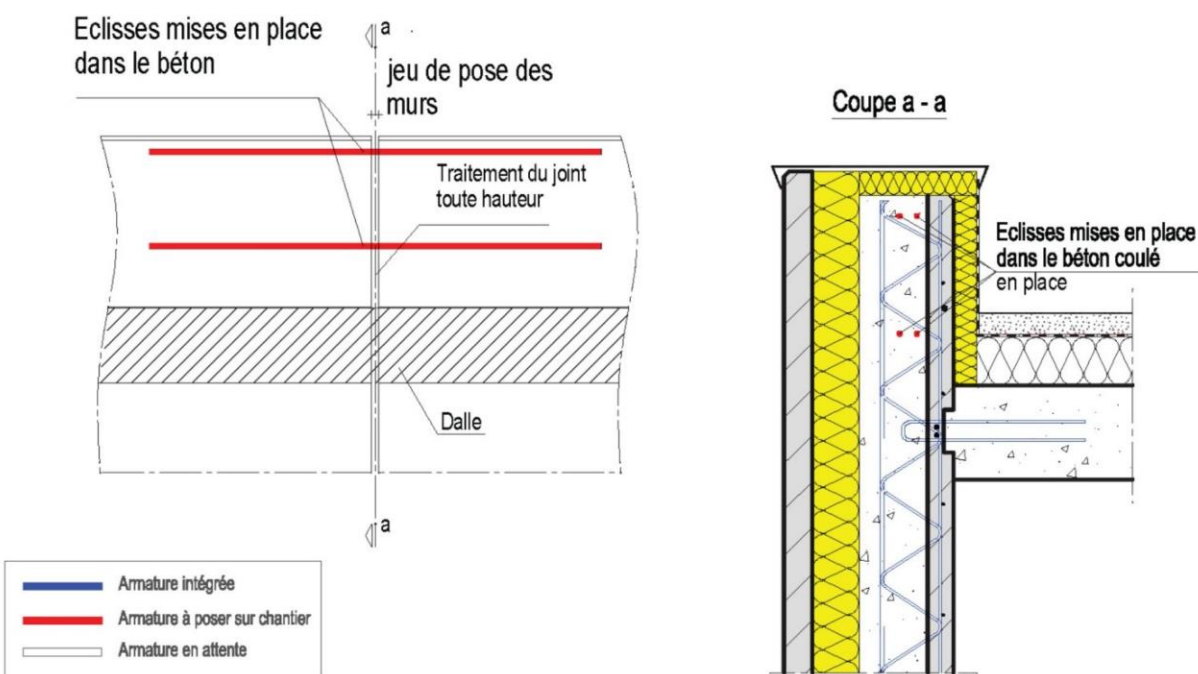


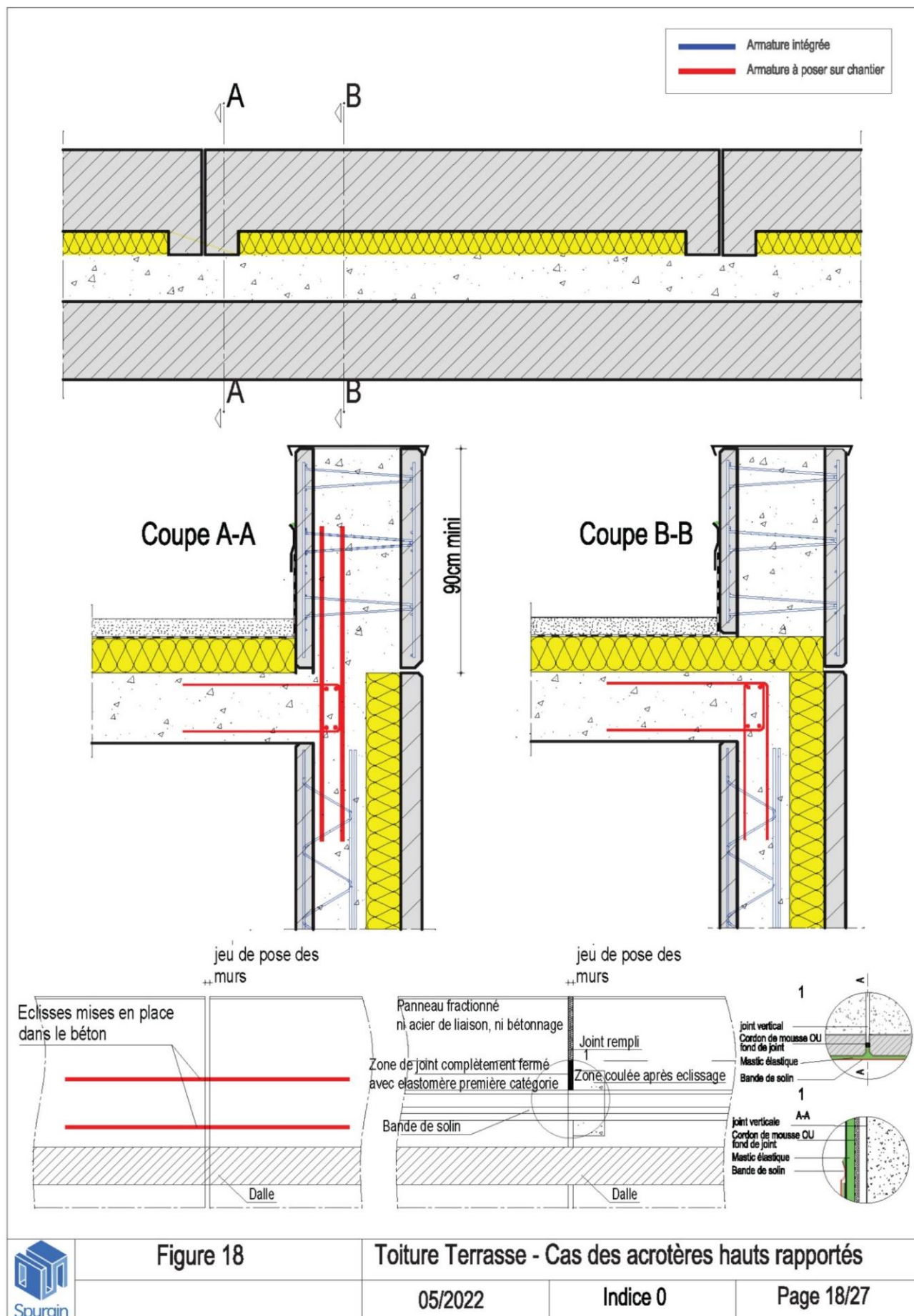
Figure 17

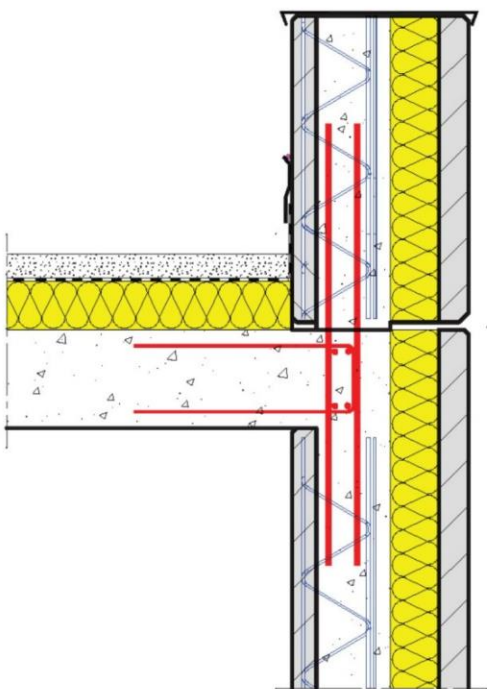
Toiture Terrasse - Cas des acrotères bas Intégrés

05/2022

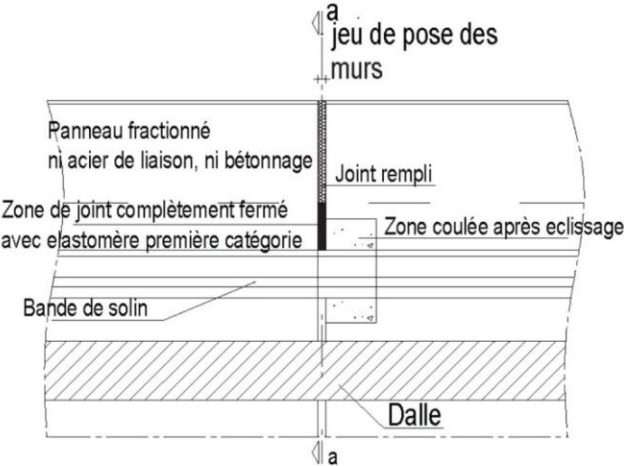
Indice 0

Page 17/27





Détail au joint



Coupe A-A

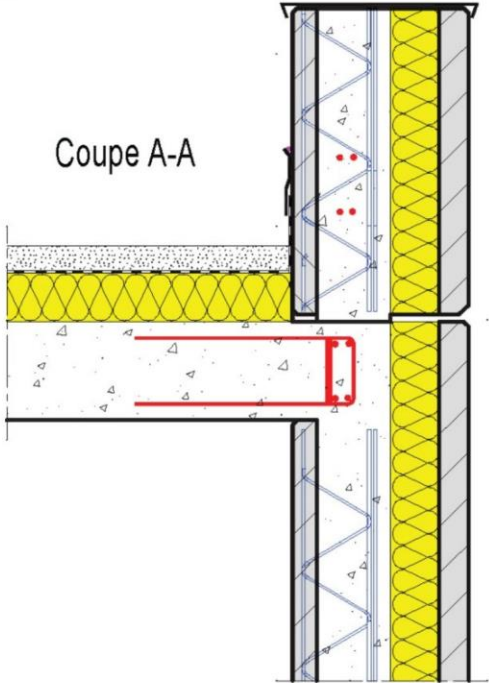


Figure 18 (bis)

Toiture Terrasse - Cas des acrotères hauts rapportés

05/2022

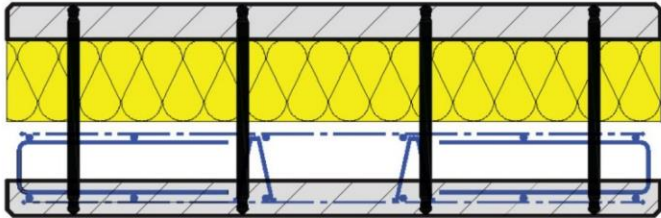
Indice 0

Page 19/27

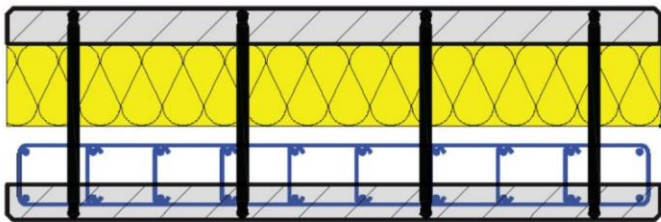
Cas des Poteaux (coupe horizontale)

Armature intégrée

Poteau traditionnel

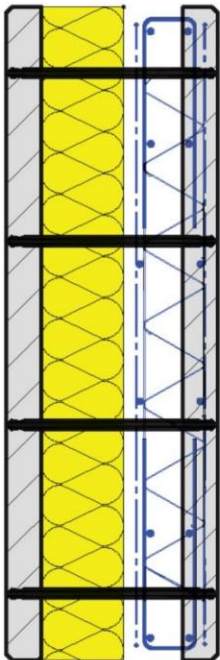


Poteau nécessitant un ferrailage complémentaire



Cas des Poutres (coupe verticale)

Poutre traditionnel



Poutre nécessitant un ferrailage complémentaire

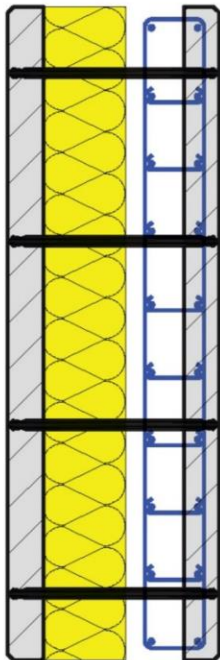


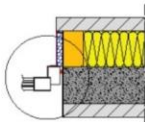
Figure 19

Poteaux et Poutres à base d'ISOPRE®

05/2022

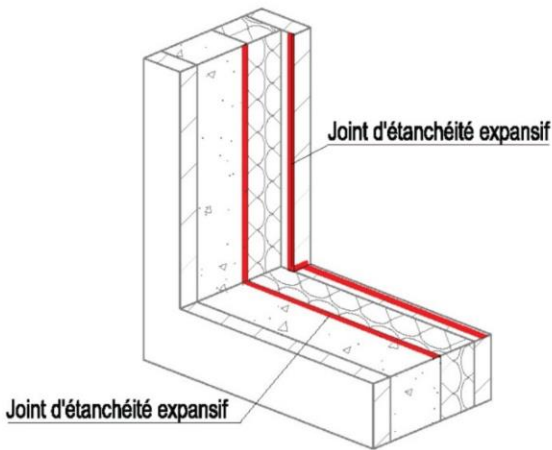
Indice 0

Page 20/27



Détail de l'étanchéité sur la menuiserie

En pied de Menuiserie



En tête de Menuiserie

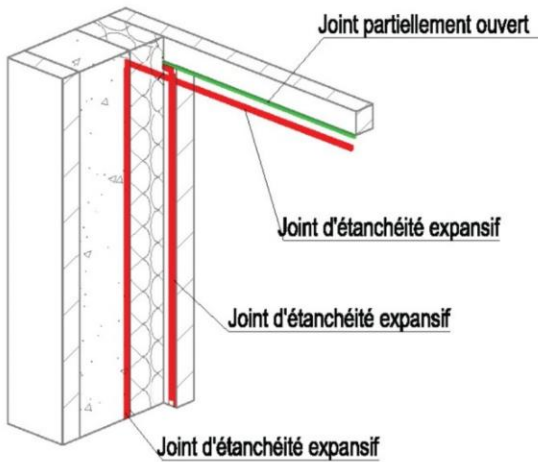


Figure 21

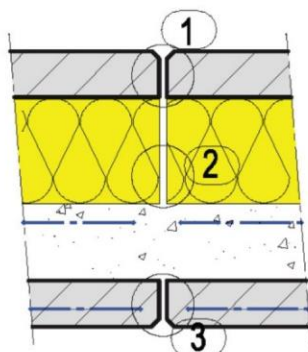
Traitement des ouvrants

05/2022

Indice 0

Page 22/27

Coupe sur joint vertical et horizontal (partie courante)

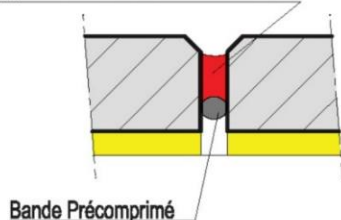


1 Traitement des joints en face extérieure

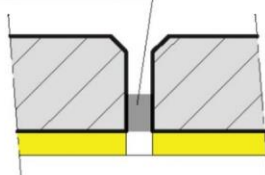
Mastic 1ère catégorie
type SIKAFLEX Construction

Joint type Illmod 600

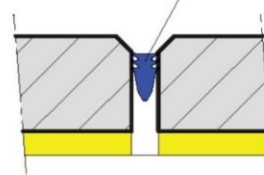
Joint type profil JD
de Couvraneuf



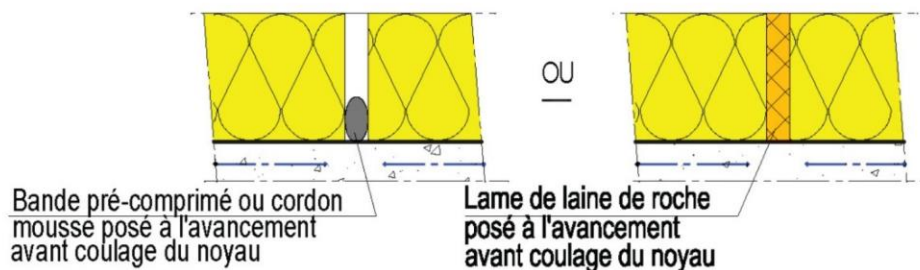
OU



OU



2 Continuité au droit de l'isolant - arrêt de la laitance en phase bétonnage



3 Traitement des joints en face intérieure

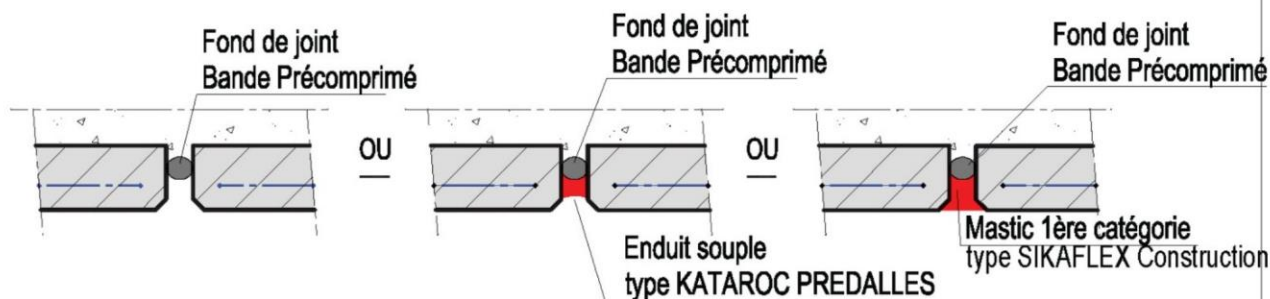


Figure 22

Traitement des joints : en superstructure

05/2022

Indice 0

Page 23/27

Coupe sur joint horizontal (intersection joint vertical)

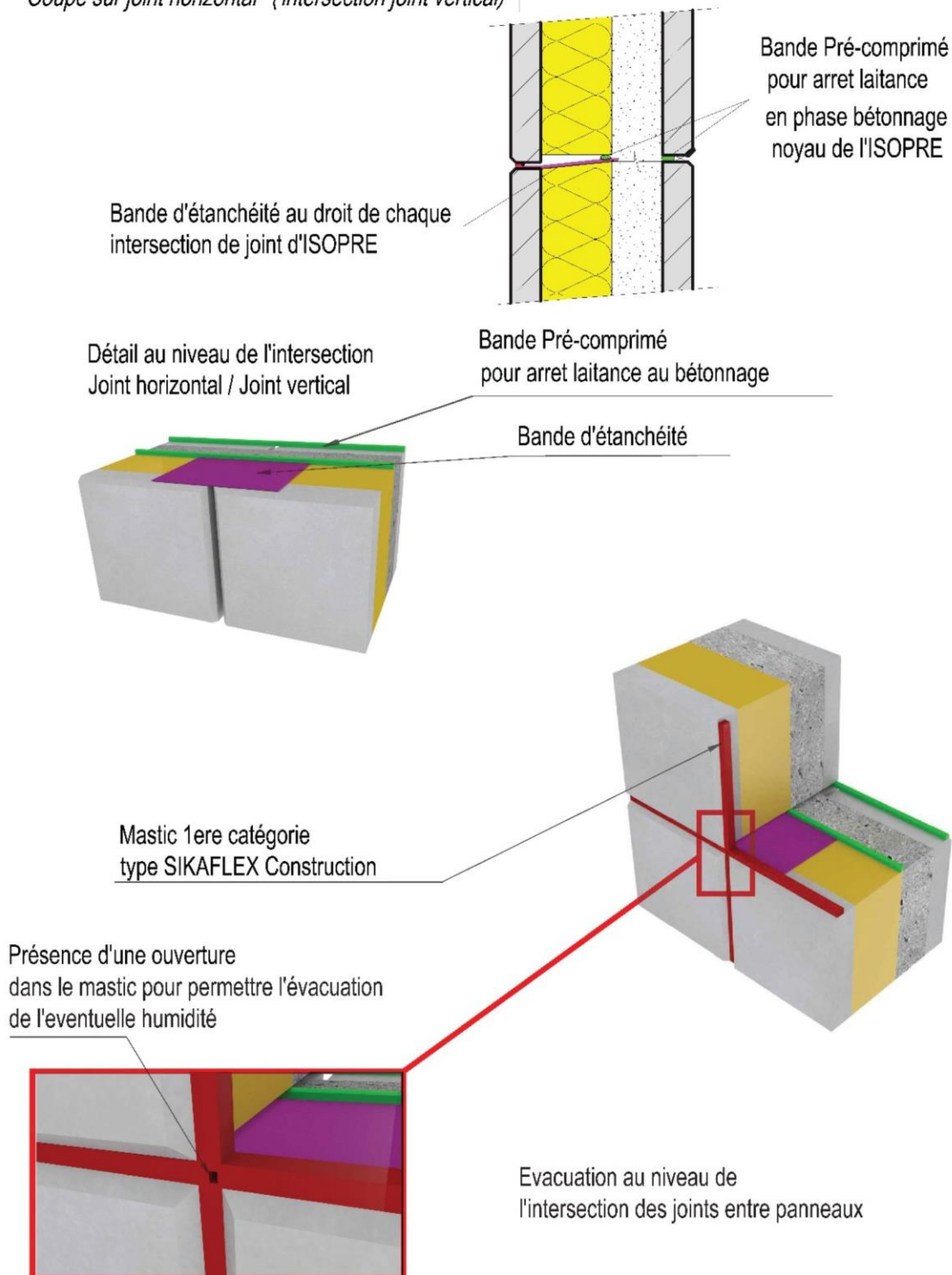


Figure 22 (bis)

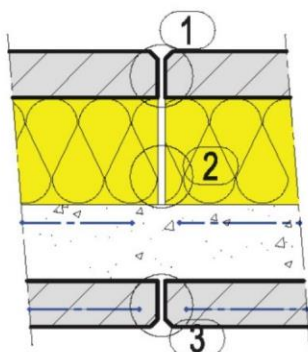
Traitement des joints : en superstructure

05/2022

Indice 0

Page 24/27

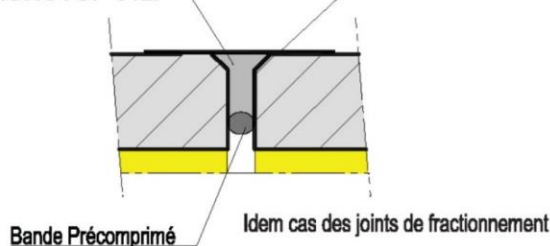
Coupe sur joint vertical et horizontal (partie courante)



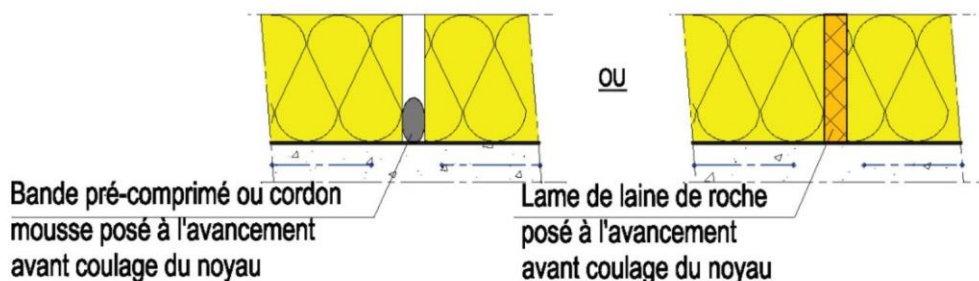
1 Traitement des joints en face extérieure

Bourage au mortier
type SIKAMONOTOP 612F

Bande auto-adhésive
type SIKAMULTISEAL



2 Continuité au droit de l'isolant - arrêt de la laitance en phase bétonnage



3 Traitement des joints en face intérieure

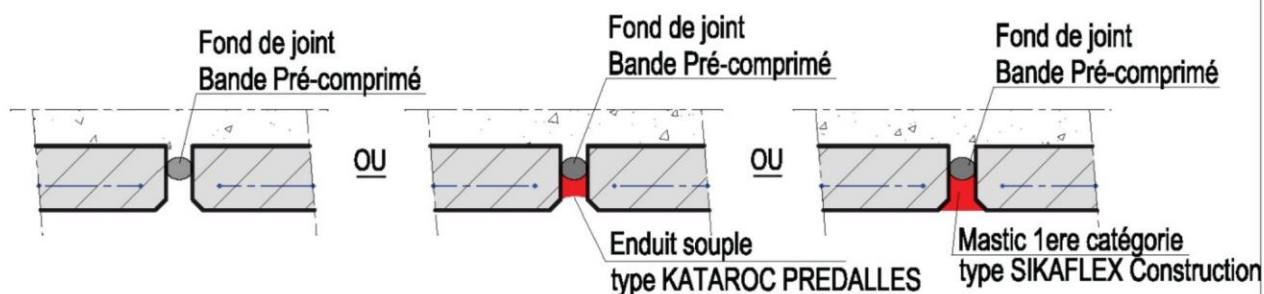


Figure 23

Traitement des joints : en infrastructure

05/2022

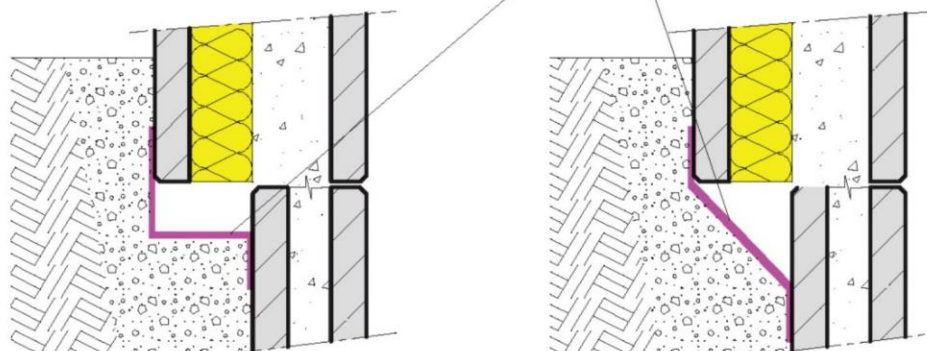
Indice 0

Page 25/27

Coupe sur joint horizontal (en pied)

Cas des superpositions de panneaux :

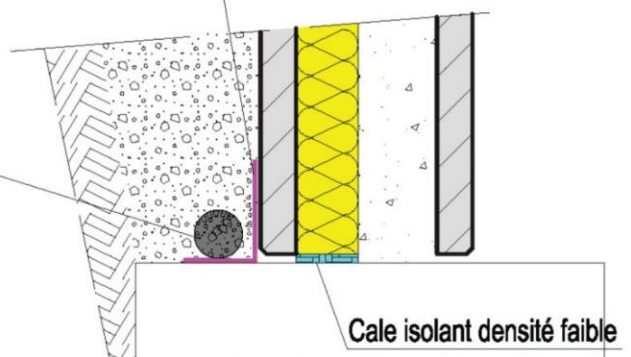
Bande de protection poreuse de type capot grillagé, galvanisé ou synthétique fixée mécaniquement sur le béton servant également de dispositif anti rongeur.



Cas des panneaux sur semelles :

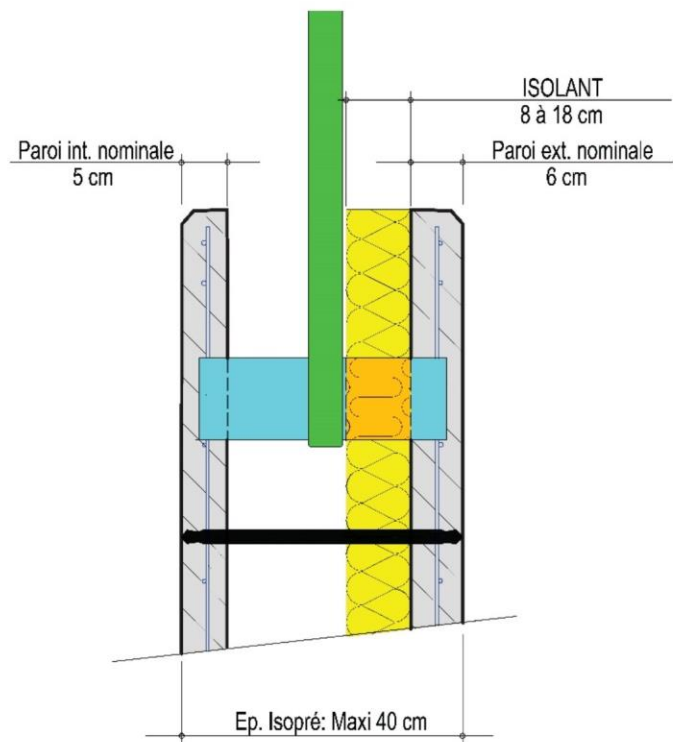
Bande de protection poreuse type Bidim.

Drain
à cunette



Cale isolant densité faible

Isopré sans TS supplémentaire



Isopré avec TS supplémentaire

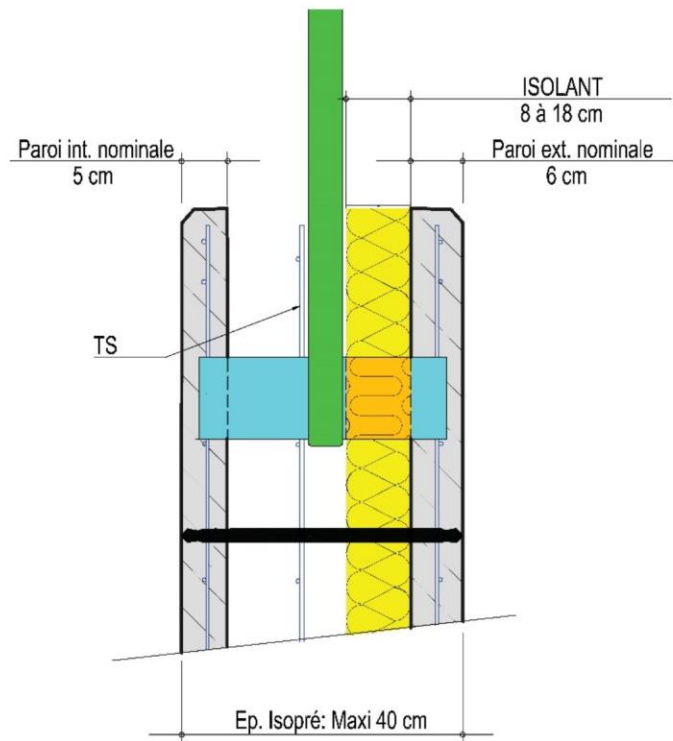


Figure 25

Dispositions constructives des organes de levage

05/2022

Indice 0

Page 27/27

2.14. Annexe 2 : Renforts d'armatures entre cylindres

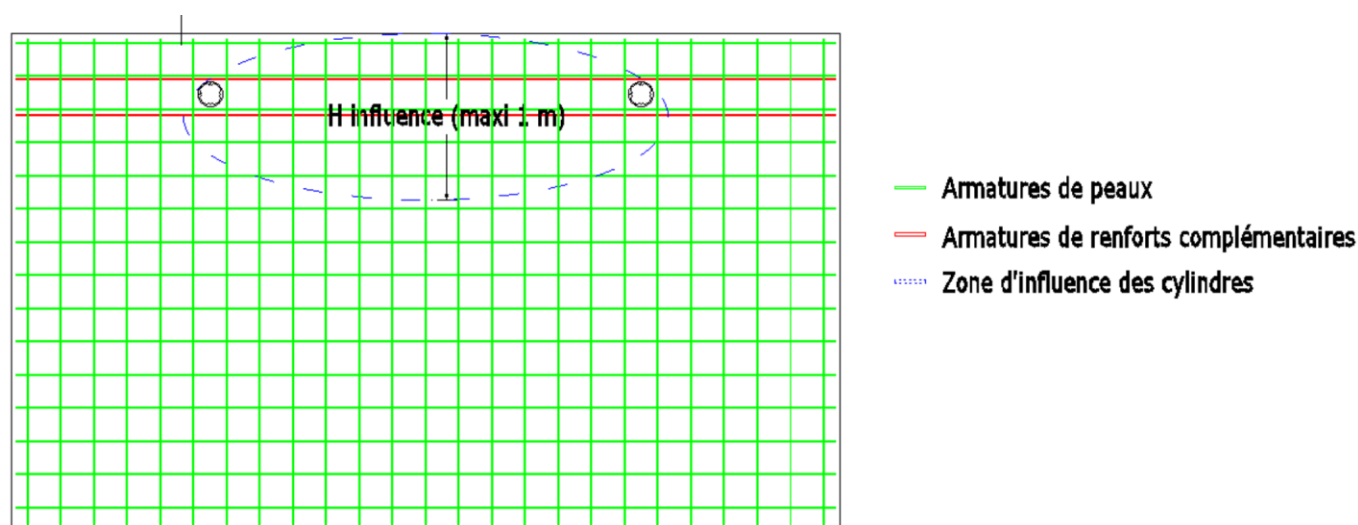


Figure I - Cas d'un panneau sans ouverture

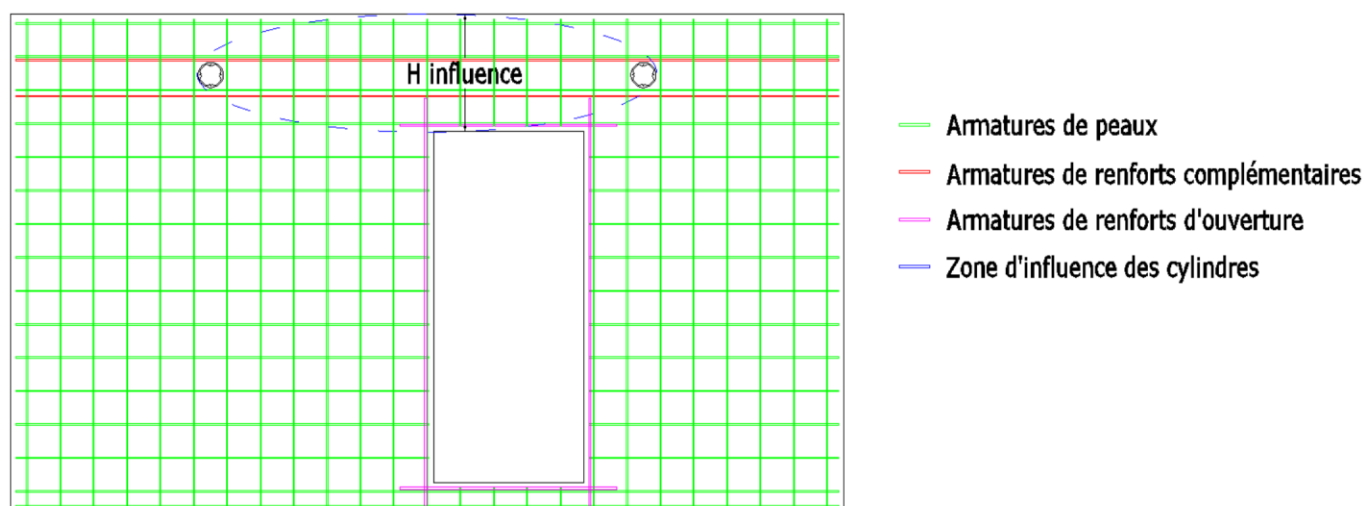


Figure m - Cas d'un panneau avec ouverture

NOTA : La section des renforts entre cylindres est fonction de la typologie du mur (dimensions et épaisseur de la paroi extérieure, distance entre cylindres, épaisseur de l'isolant, ...) et est déterminée en tenant compte de l'ensemble des armatures présentes dans la zone d'influence (armatures de peaux, armatures de renforts complémentaires et armatures de renforts d'ouverture). La détermination des armatures de renfort complémentaire est réalisée à partir d'une modélisation de la paroi extérieure avec intégration des raideurs réelles en cisaillement des organes de liaison et en considérant une variation de température de 50 °C pour les phénomènes de dilatation thermique (détermination des contraintes de traction dans la paroi => détermination du ferrailage nécessaire).

2.15. Annexe 3 : Cas type de poutres voiles en ISOPRÉ®

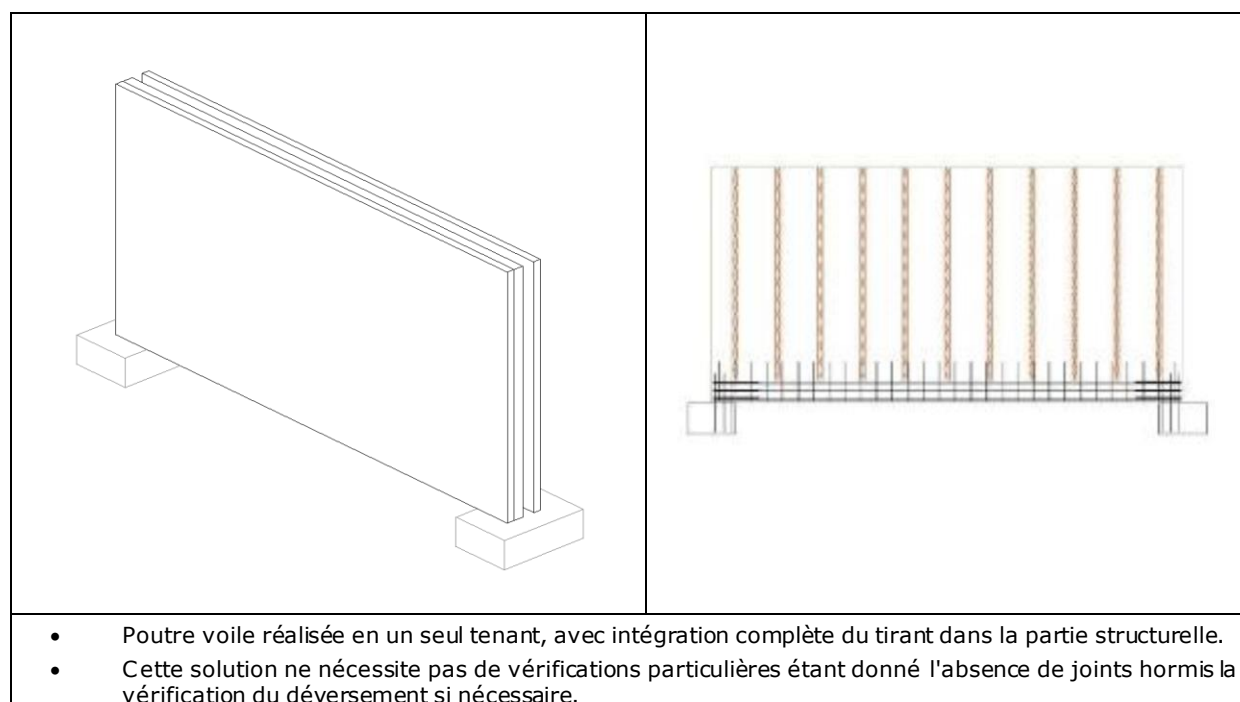


Figure n - Cas 1

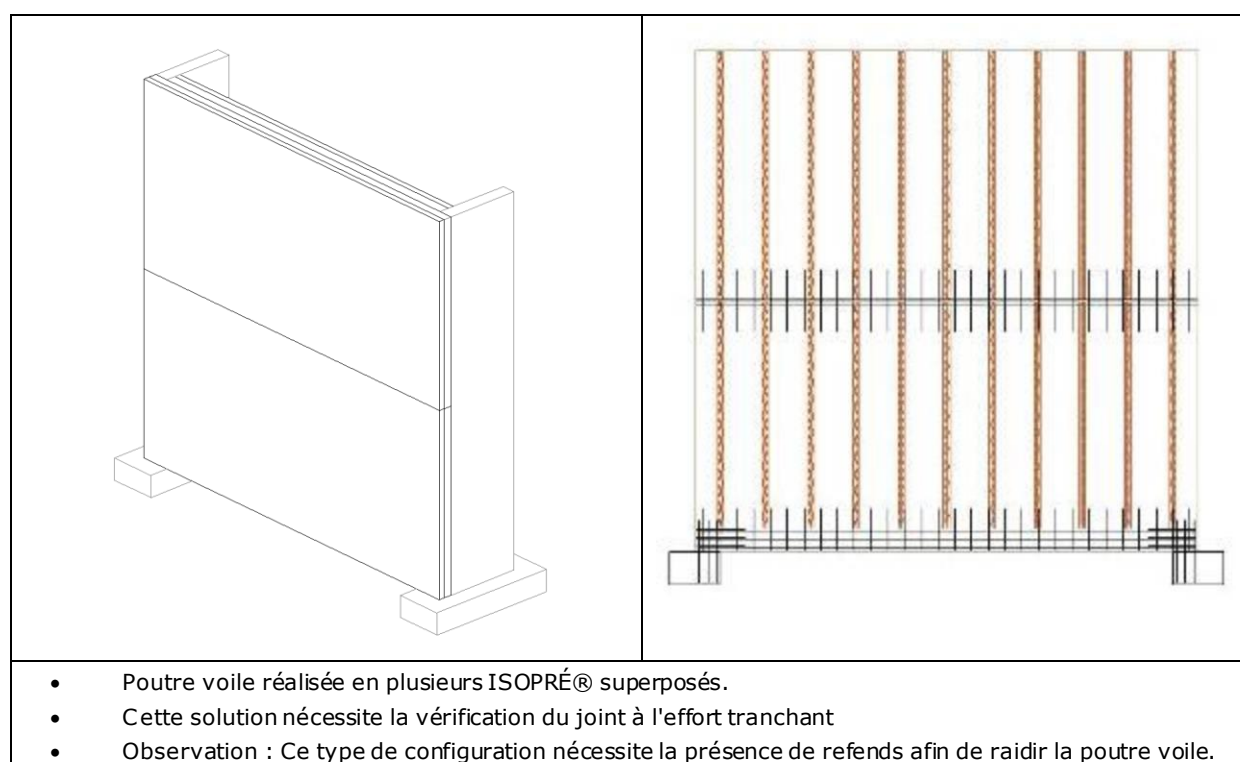


Figure o - Cas 2

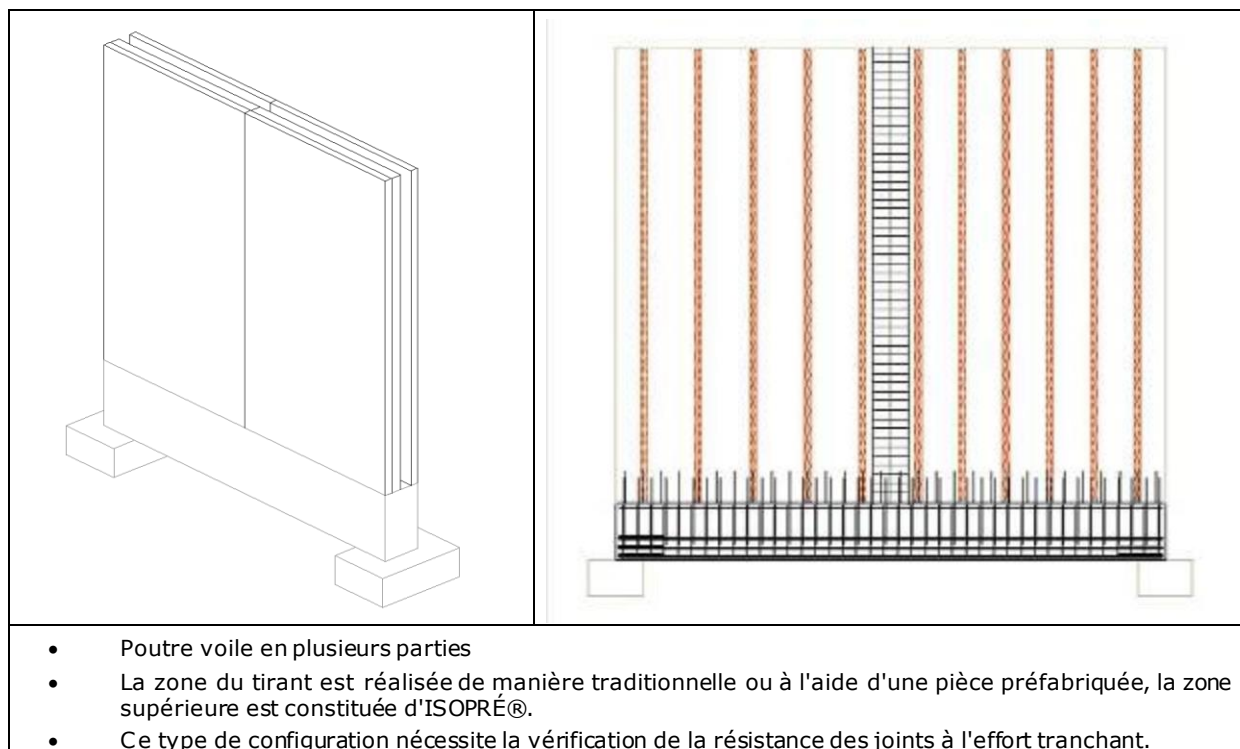


Figure p - Cas 3

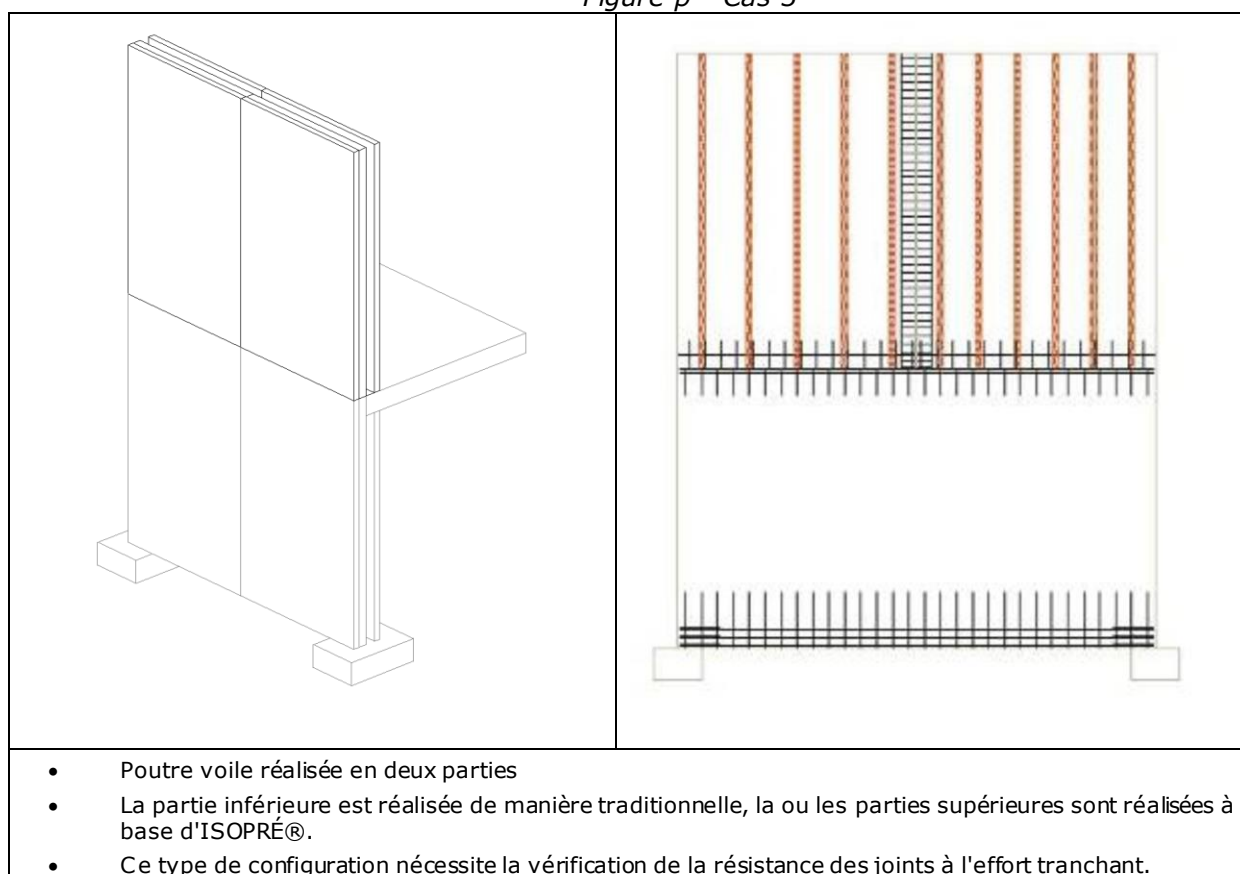
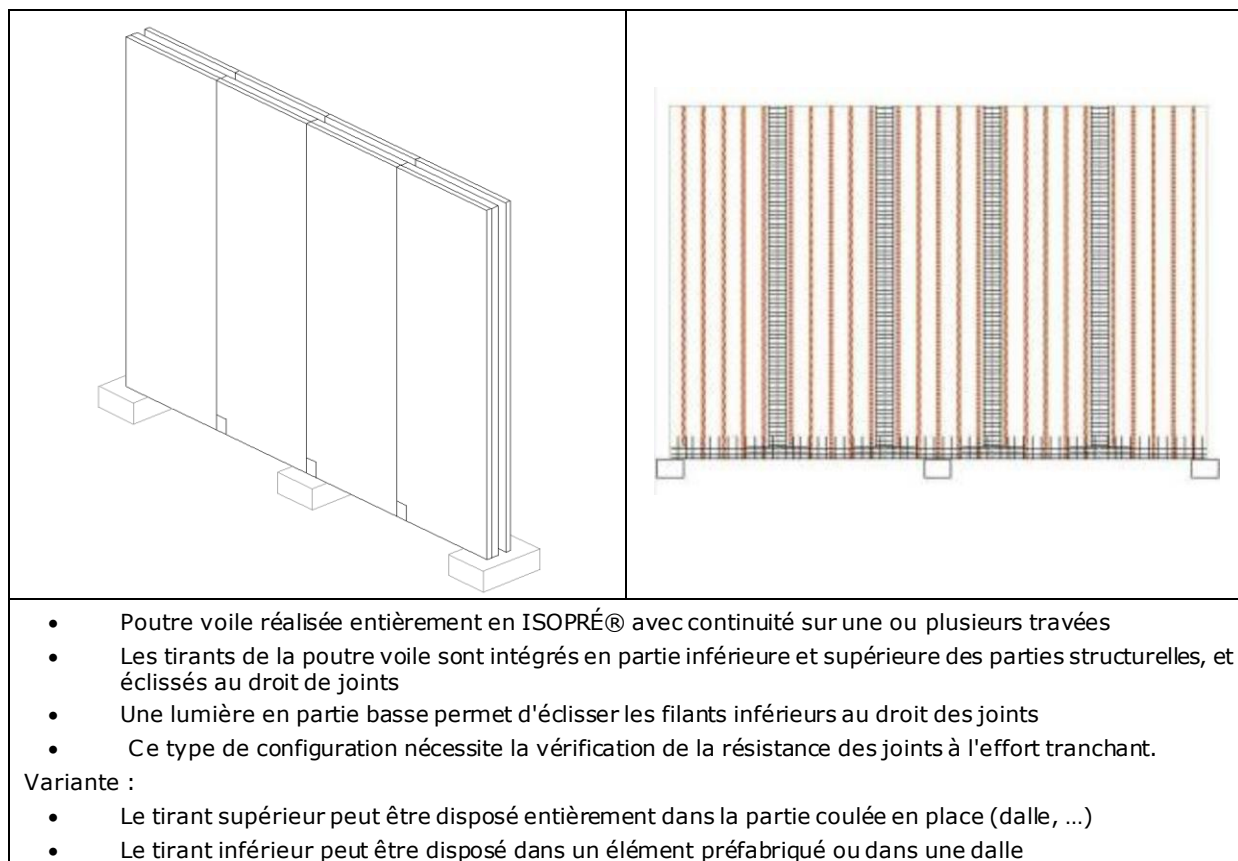


Figure q - Cas 4

**Figure r - Cas 5**

2.16. Annexe 4 : Principes constructifs

Les règles de dimensionnement sont conformes au cahier CSTB 3690_V2 § 1.1.1.11.

Equivalence entre raidisseurs et armatures en U ou épingles :

Le tableau d'équivalence proposé à l'art 2.3.1.9.1 est basé sur les critères suivants :

La section d'armature équivalente définie dans le tableau est issue du calcul de l'effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique.

$$A_s = 4 \times F_s \cdot \left(\frac{\sin \alpha \times \sin \beta}{s_t} \right) / f_{y\Box}$$

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

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

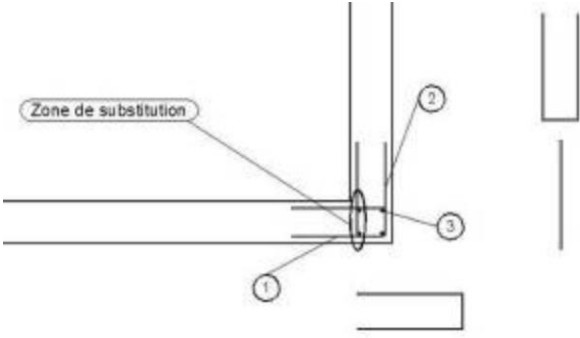
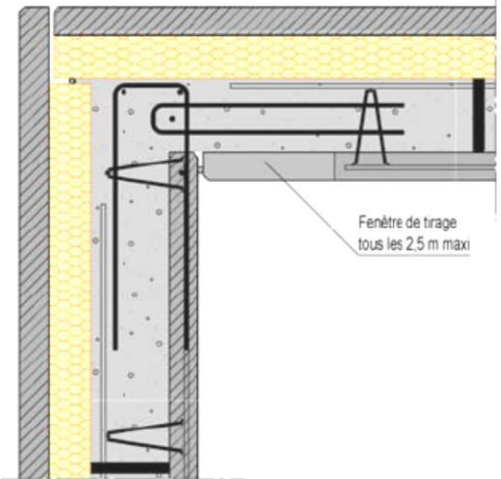
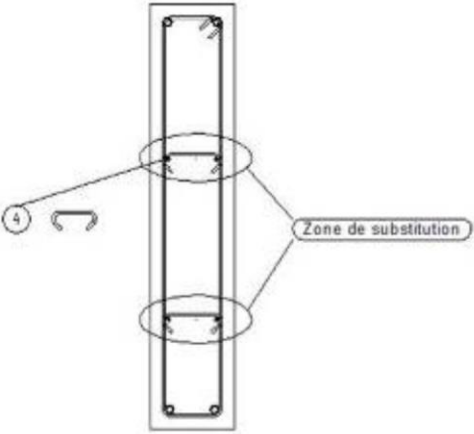
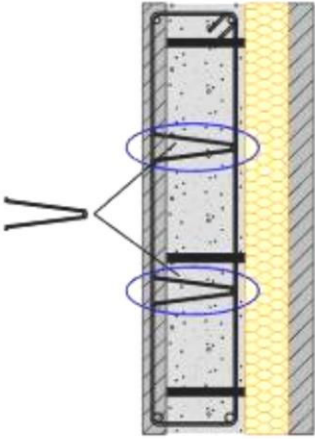
- $f_{y\Box}$: limite caractéristique d'élasticité de l'acier des épingles ;
- $R_{e,Di}$: limite apparente d'élasticité de la diagonale du treillis raidisseur ;
- $A_{raid,Di}$: section de la diagonale du treillis raidisseur ;
- F_w : résistance garantie de la soudure des sinusoides sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur ;
- β : angle d'inclinaison des diagonales dans le plan transversal

| Largeur de la partie structurelle | Type de raidisseur | Section cm ² /ml | Equivalent espacement armatures classiques en cm | | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|--|-----|------|
| | | | φ 6 | φ 8 | φ 10 |
| 15 | KT 811 8-5-5 | 2,76 | 11 | 19 | 29 |
| 17 | KT 813 8-5-5 | 3,00 | 10 | 17 | 27 |
| 20 | KT 815 8-5-5 | 3,18 | 9 | 16 | 25 |
| 25 | KT 820 8-5-5 | 3,45 | 8 | 15 | 23 |

Tableau 15 – Sections d'armature équivalente

Ferraillages constructifs à l'aide d'épingles, de cadres ou d'étriers substitués par des raidisseurs

Les ferraillages constructifs constitués de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront être réalisés dans les ISOPRÉ® à l'aide des raidisseurs définis à l'article 2.2.2.3.1.2.

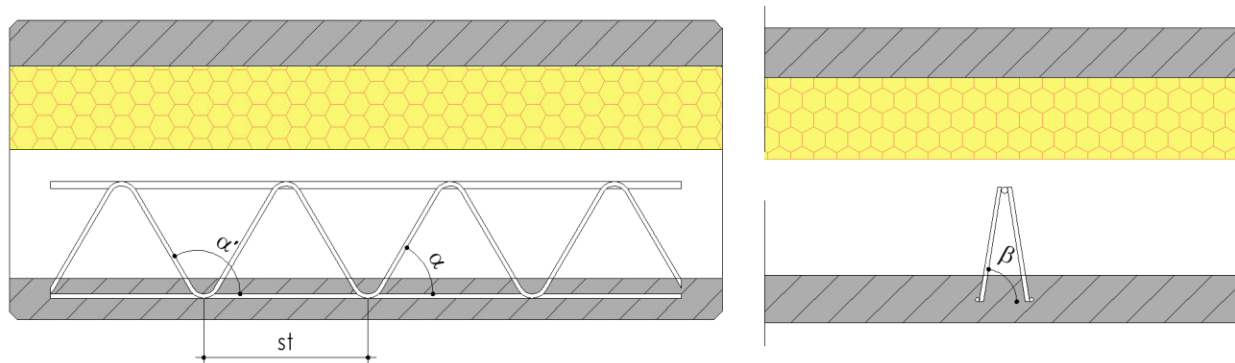
| SOLUTION TRADITIONNELLE | SOLUTION ISOPRÉ® |
|--|---|
|  |  |
|  |  |

Les filants sont soit intégrés en renforts dans la paroi intérieure des ISOPRÉ®, soit remplacés par les filants des raidisseurs si la section est équivalente.

Les U, cadres, épingles et étriers **constructifs** sont remplacés par des raidisseurs.

2.17. Annexe 5 : Exemple de calcul de

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire, type Treillis Warren



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

Avec :

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

Par exemple pour :

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

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

2.18. Annexe 6 : Exemple de calcul de

Le cisaillement admissible τ_{ulim} à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place est donné par l'expression :

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

et

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

Avec :

- f_{cd} : valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage ($\alpha_{cc} \times f_{ck,n} / \gamma_c$)
- f_{ctd} : valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage ($\alpha_{ct} \times f_{t,n} / \gamma_c$)

$$f_t = \min(f_{y\Box} / \gamma_s ; R / (A_d \times \gamma_s))$$

- $f_{y\Box}$ = limite caractéristique d'élasticité des aciers
- R : résistance des soudures
- A_d = section d'une diagonale du raidisseur treillis
- $v = 0,6 \times (1 - f_{ck,n} / 250)$
- c tel que :
 - Cas des charges à caractère principalement statiques : $c = 0,20$
 - Cas des charges dynamiques ou de fatigue : $c = 0,10$
- $\mu = 0,6$
- α et α' : inclinaisons des diagonales dans le plan longitudinal
- ρ_{α} et $\rho_{\alpha'}$: pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' , calculés comme présenté à l'Annexe 3.

Ainsi par exemple

- Pour un béton de remplissage tel que $f_{ck,n} = 25$ MPa, $f_{cd,n} = 16,7$ MPa et $f_{ctd,n} = 1,20$ MPa
- Pour des raidisseurs de section triangulaire, type treillis Warren, espacés de 60 cm, avec $f_{yk} = 500$ Mpa, $R = 980$ daN dont les caractéristiques géométriques sont les suivantes : ϕ diagonales = 5 mm, pas de la sinusoïde = 20 cm, $\alpha = 56^\circ$, $\alpha' = 180 - 56 = 124^\circ$ et $\beta = 86^\circ$

Le pourcentage d'armatures transversales est calculé comme présenté dans l'Annexe 4 et on obtient $\rho_{\alpha} = \rho_{\alpha'} = 0,0326$ %.

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

On en déduit la valeur de v_{Rdi} :

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

$$v_{Rdi} = 0,38 \text{ MPa}$$

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

On a donc :

$$\tau_{ulim} = 0,38 \text{ Mpa}$$

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

$$\tau_{ulim} = 0,41 \text{ Mpa}$$

2.19. Annexe 7 : Principe de calcul des efforts résistant des joints entre ISOPRÉ®

Les liaisons entre murs ISOPRÉ® doivent être conçues afin que le monolithisme de la section soit assuré. Cette hypothèse est considérée comme vérifiée si l'inégalité suivante est réalisée :

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

Avec : V_{Edi} , l'effort tranchant sollicitant maximal à l'ELU (cf. 1 ci-après),

V_{Rdi} , l'effort tranchant résistant au droit du joint (cf. 2 ci-après).

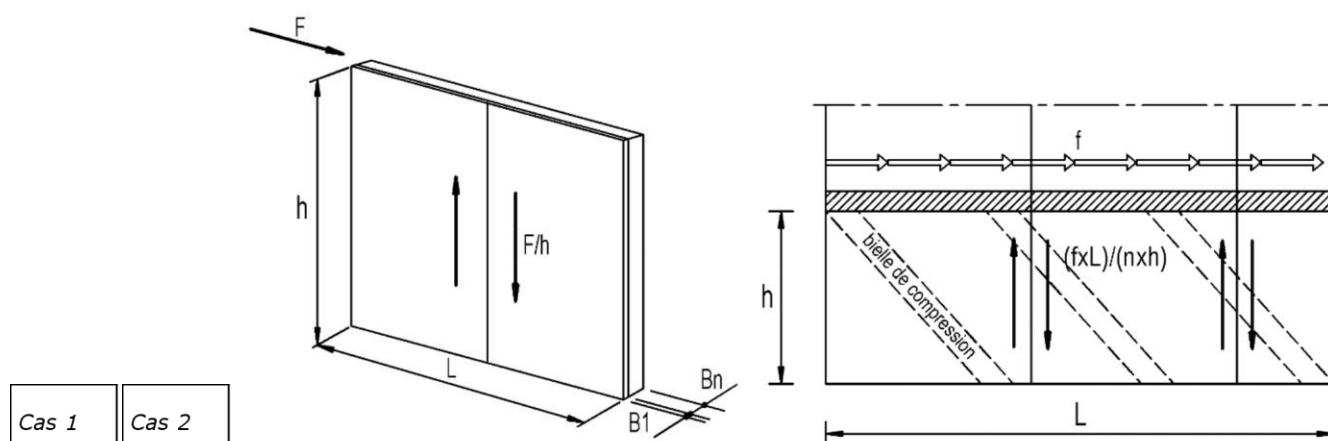
La vérification du monolithisme décrite dans cette annexe ne dispense pas de la vérification au cisaillement du mur continu équivalent (mur banché sans joint lié à la préfabrication).

De même, la section des armatures de liaison doit être au moins égale à la section minimale prescrite pour les éléments continus équivalents et leurs longueurs doivent être suffisantes pour assurer le recouvrement avec les armatures intégrées dans les peaux coffrantes.

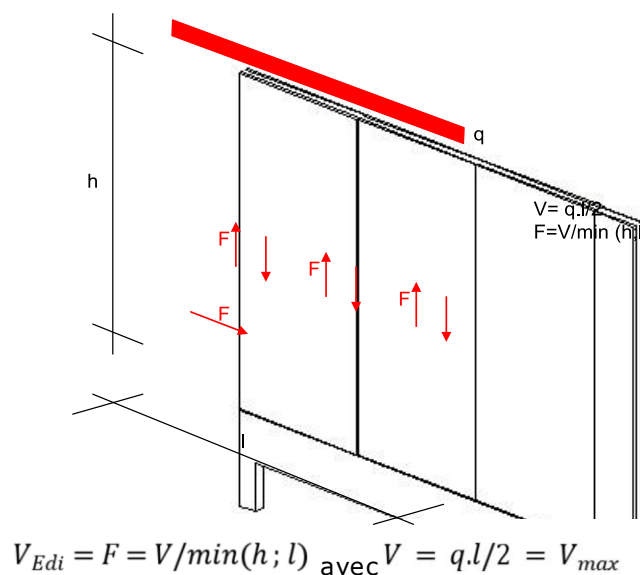
1. DETERMINATION DES EFFORTS SOLLICITANTS

1. CONTREVENTEMENT

Dans le cas d'un mur développant une bielle de compression (cas 1) ou de la 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 :



1.2 POUTRE VOILE



2. DETERMINATION DES EFFORTS RESISTANTS

Principe général :

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

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

Les valeurs de c et μ considérées correspondent au cas d'une surface de reprise de type « lisse » au sens de la norme NF EN 1992-1-1 Art 6.2.5: $c = 0,2$ et $\mu = 0,6$

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

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

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

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

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

$$\rho = \frac{A_c}{x}$$

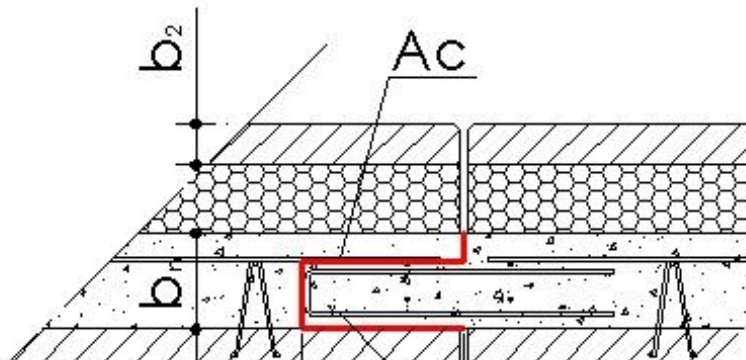
- σ_n : contrainte normale à l'interface qui résulte d'un effort extérieur s'équilibrant extérieurement au voile dont on vérifie le cisaillement ;
- x : la distance de l'about d'armature à l'axe du joint ;
- $f_{t,n}$ la valeur de résistance caractéristique en traction du béton du noyau coulé en place, définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA ;
- $\gamma_c = 1,2$ pour les situations accidentelles et $= 1,3$ en situation sismique
 $= 1,5$ dans les autres cas
- Les coefficients c et μ tels que présentés dans le Tableau 1.

| ELU | Fondamentale | Sismique |
|-------|--------------|----------|
| c | 0,20 | 0,10 |
| μ | 0,6 | 0,6 |

Tableau 1 : Valeurs des coefficients c , μ

Exemples de liaison :

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



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

Par exemple pour :

$$f_{ck,n} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{t,n} = 0.7 \times 0.3 \times f_{ck,n}^{(2/3)} = 1,795 \text{ MPa}$$

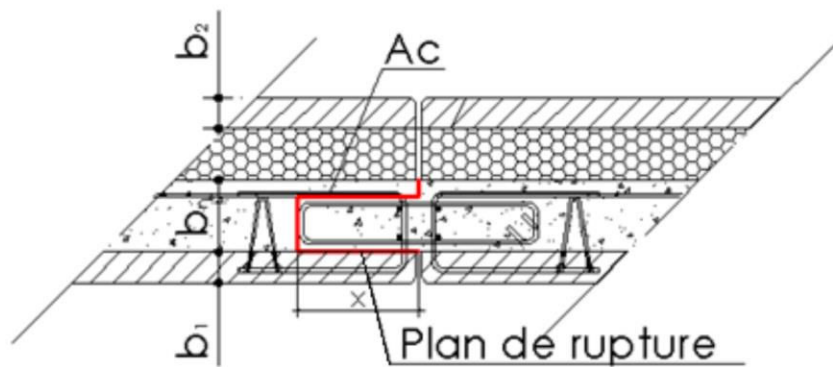
$$x = 25 \text{ cm}$$

$$\sigma_n = 0$$

On obtient : ELU fondamentale $V_{Rdi} = 119 \text{ kN/ml}$

Situation sismique $V_{Rdi} = 75 \text{ kN/ml}$

2) Cas de la liaison avec couture aux abouts



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

Par exemple pour :

$$f_{ck,n} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{t,n} = 0.7 \times 0.3 \times f_{ck,n}^{(2/3)} = 1,795 \text{ MPa}$$

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

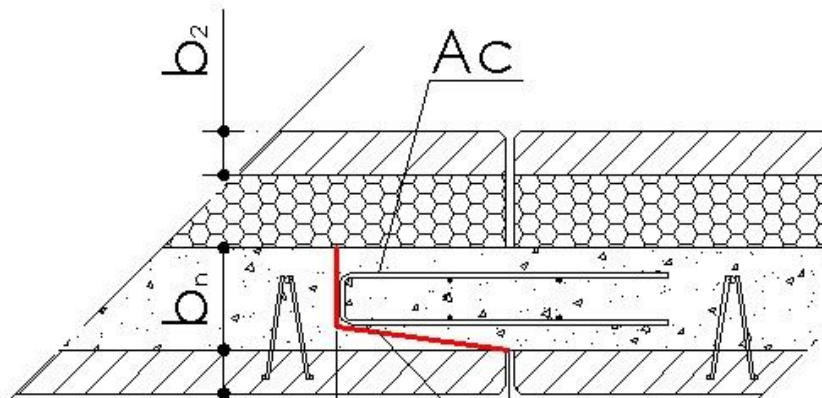
$$\rho = 0.1 \% (\phi 8 \text{ e } = 20 \text{ cm})$$

$$\sigma_n = 0$$

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

Situation sismique $V_{Rdi} = 225 \text{ kN/ml}$

3) Cas de la liaison sans couture aux abouts (cas incompatible avec une utilisation en poutre voile) – avec noyau non armé côté extérieur :



$$V_{Rdi} = \left[c \cdot \frac{f_{t,n}}{\gamma_c} \cdot (x + b_n) + \mu \cdot \sigma_n \cdot b_n \right] \cdot 1$$

Par exemple pour :

$$f_{ck,n} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,n} = 0,7 \times 0,3 \times f_{ck,n}^{(2/3)} = 1,795 \text{ Mpa}$$

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

$$b_n = 8 \text{ cm}$$

$$\sigma_n = 0$$

On obtient : ELU fondamentale $V_{Rdi} = 79 \text{ kN/ml}$

Situation sismique $V_{Rdi} = 50 \text{ kN/ml}$