DTA
DOCUMENT TECHNIQUE D'APPLICATION

3.2/16-881_V4

Relevant de la Norme

NF EN 14992

Valide du **07 février 2022**

au **30 novembre 2028**

Sur le procédé

BÉTOMUR RTh COFFRÉ

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

Titulaire(s) : **Société SORIBA**
Internet : https://soriba.fr/

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

Groupe Spécialisé n° 3.2 - Murs et accessoires de mur

CCFAT COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER LES AVIS TECHNIQUES

Secrétariat : CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - email : secretariat.at@cstb.fr

www.ccfat.fr

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB ; Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site Internet du CSTB (http://www.cstb.fr)

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V3	Cette version de l'Avis Technique intègre la modification suivante : • Mise à jour de l'appréciation de laboratoire permettant de justifier l'utilisation du procédé dans des bâtiments d'habitation classés 3ème et 4ème famille ou classés Immeuble 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), en cas d'incendie.	Angel JUNES	Roseline BERNARDIN-EZRAN
V4	Cette version annule et remplace le DTA n°3.2/19-1009_V3. Elle intègre les modifications suivantes : - Mise à jour des références normatives	Angel JUNES	Roseline BERNARDIN-EZRAN

Descripteur :

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

Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses, en infrastructure ou superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux, de dimension maximale 3,71x9,85 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 sont rapportées en œuvre. Les huisseries métalliques peuvent être incorporées.

Revêtements

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

La paroi extérieure est d'une épaisseur nominale d'au moins 70 mm. La paroi intérieure est d'une épaisseur nominale d'au moins 70 mm, le noyau est d'une épaisseur minimale de 70 mm et l'ensemble structural (noyau + paroi intérieure) est d'épaisseur minimale de 160 mm, ou de 140 mm dans le cas d'éléments non-porteurs. L'épaisseur d'isolant varie de 100 à 270 mm.

Table des matières

1. Avis du Groupe Spécialisé 5
1.1. Domaine d'emploi accepté 5
1.1.1. Zone géographique 5
1.1.2. Ouvrages visés 5
1.2. Appréciation 5
1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé 5
1.2.2. Durabilité 7
1.2.3. Impacts environnementaux 7
1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 7
2. Dossier Technique 8
2.1. Mode de commercialisation 8
2.1.1. Coordonnées 8
2.1.2. Mise sur le marché 8
2.1.3. Identification 8
2.2. Description 8
2.2.1. Principe 8
2.2.2. Caractéristiques des composants 9
2.3. Disposition de conception 12
2.3.1. Conception de la paroi structurale (paroi intérieure et noyau) 12
2.3.1.5. Principes 14
2.3.2. Conception de la paroi extérieure 17
2.3.3. Dimensionnement du SM2i® 18
2.3.4. Conception de l'isolant 23
2.4. Conditions de stockage et de transport 23
2.4.1. Généralités 23
2.4.2. Prescriptions concernant la manutention des panneaux 23
2.4.3. Prescriptions concernant le transport et stockage des panneaux 23
2.5. Disposition de mise en œuvre 23
2.5.1. Généralités 23
2.5.2. Pose des éléments 24
2.5.3. Stabilité en phase provisoire 24
2.5.4. Tolérance de pose du BETOMUR® RTh Coffré 24
2.5.5. Bétonnage 24
2.6. Traitement des joints 25
2.6.1. Généralités 25
2.6.2. Murs courants en susperstructure 25
2.6.3. Murs courants en infrastructure 25
2.6.4. Durabilité / Entretien 25
2.7. Traitement en fin de vie 25
2.8. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication 25
2.8.1. Conditions de fabrication 25
2.8.2. Contrôle de fabrication 26
2.8.3. Contrôles de fabrication et certifications 26
2.8.4. Caractéristiques dimensionnelles et tolérances 27
2.8.5. Finitions et aspect 27
2.9. Conditions d'exploitation du procédé 28
2.10. Mention des justificatifs 28

2.10.1. Résultats Expérimentaux 28
2.10.2. Références chantiers 29
2.11. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre 30
Annexe 1 : Isolation thermique 30
Annexe 2 : Vérification au cisaillement d'un joint vertical 31
Annexe 3 : Surfaces maximales des panneaux en situation sismique 33
Annexe 4 : Exemple de vérification d'une paroi extérieure – non exhaustif – 36
Annexe 5 : Schémas et détails type du BETOMUR® RTh Coffré 40
Annexe 6 : Processus de justification d'un mur à coffrage et isolant intégrés 87
1. Objet de la note 87
2. Règlementation – Règles de calcul – Documents de référence 87
3. Hypothèses 87
4. Analyse structurale 91
5. Conditions de conception 95
6. Dispositions constructives 108
Annexe 7 : Courbe de température du béton 114

1. Avis du Groupe Spécialisé

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

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine et DROM. Le « BETOMUR® RTh Coffré » est utilisable en zones sismiques 1 à 5 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, bâtiments et équipements agricoles, pouvant comporter une hauteur isolée enterrée de 1 m maximum, en situation non immergée et dont l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi (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 des classes d'expositions XS, XA, XF, XC est possible (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) moyennant le respect des exigences d'enrobages définies au §3.2 Annexe 6 du Dossier Technique.

Le procédé « BETOMUR RTh Coffré » peut être associé à l'utilisation des prédalles suspendues à partir de la mise en place de boite d'attente intégrée ou de la réalisation de réservation dans le mur MC2I (Annexe 5).

L'utilisation des prédalles suspendues en situation normale et en situation sismique relève des 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.

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

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

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

Stabilité

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

Les systèmes associés à ce procédé de mur, 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).

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.

Sécurité au feu

Réaction au feu

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

Résistance au feu

Le procédé BÉTOMUR RTh Coffré fait l'objet d'une Appréciation de laboratoire du CSTB n°AL16-175_V3. Les éléments BÉTOMUR RTh Coffré visés par cette appréciation de laboratoire ont une épaisseur d'isolant comprise entre 10 et 27 cm. L'utilisation des murs BÉTOMUR RTh Coffré avec des épaisseurs inférieures à 16 cm est exclue au regard des exigences de sécurité en cas d'incendie.

Suivant l'Appréciation de laboratoire n°AL16-175_V3, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les tableaux de l'Annexe VIII du Dossier Technique donnent les champs de température dans la partie structural (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé BÉTOMUR RTh Coffré. La résistance au feu de la partie structural est vérifiée suivant les prescriptions de la NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale en considérant la partie structurale des murs BÉTOMUR RTh Coffré comme homogène.

Les éléments « BÉTOMUR® RTh COFFRÉ » visés par cet Avis ont une épaisseur maximale d'isolant de 27 cm et ne comprennent pas les éléments fléchis (hors plan).

L'appréciation de laboratoire n°AL16-175_V3 prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu du voile extérieur librement dilatable en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation du système SM2i® pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurale. Ces dispositions permettent au détenteur du procédé de déterminer le nombre d'ancres porteuses nécessaires en fonction de durée de la stabilité au feu requise et de leur position en hauteur dans le voile

L'appréciation n° AL16-175_V3 prescrit également les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0. Ainsi, les pourtours des ouvertures devront être protégés par une bande de 100 mm minimum, de laine minérale ou verre cellulaire de densité minimale 120 kg/m^3. Elle pourra être réduite à 50 mm lorsqu'elle sera protégée par une bavette en acier.

L'appréciation n°AL16-175_V3 prescrit les dispositions constructives à respecter pour la justification du procédé mis en œuvre dans des bâtiments d'habitation de la 3ème et 4ème 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).

Enfin, conformément à l'appréciation de laboratoire n°AL16-175_V3 :

- Les ancres principales SM2I ne devront pas être installées en-deçà d'une hauteur de 1 mètre au-dessus des linteaux.
- L'espacement entre connecteurs sera inférieur ou égal à 50 cm.

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

Le système permet de l'assurer normalement.

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.

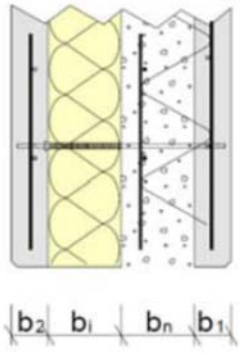
Afin que l'isolant joue convenablement son rôle, la présence en parement extérieur d'une garniture de joint apte à assurer, au droit des joints, sa protection à l'eau est indispensable.

Le calcul du coefficient de transmission thermique du procédé BÉTOMUR RTh Coffré U_{DI} se fait par la formule suivante :

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

Où :

- λ_i : Conductivité thermique de l'isolant, certifiée ACERMI (tel que décrit dans le dossier technique), en W/(m.K)
- n_c : densité surfacique des connecteurs
- $\chi_{connecteurs}$ = Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et déterminé selon le les « Règles Th-Bat », en W/K)
- n_{ancre} : nombre d'ancre par m²
- χ_{ancre} = Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'une ancre (W/K) et déterminé selon les « Règles Th-Bat », en W/K.
- b_i, b_1, b_2, b_n : épaisseurs des différentes couches du BÉTOMUR RTh Coffré, 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 120 kg/m^3 sur le pourtour des baies.

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 structural (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.

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.

Risques de condensation superficielle

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

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.

Finitions-Aspect

Les finitions prévues sont à l'extérieur et à l'intérieur les finitions classiques sur béton. Leur comportement ne devrait pas poser de problème particulier si leurs conditions de mise en œuvre satisfont aux Prescriptions Techniques ci-après.

Il ne peut être cependant totalement exclu que, malgré la présence nécessaire d'aciers de liaison, de fines fissures, sans autre inconvénient que leur aspect, se manifestent au droit de certains joints entre panneaux de coffrage non revêtus. En cas d'absence d'aciers de liaison dans les jonctions intérieures, une fissuration du mur au droit des joints est probable.

Le treillis anti-fissuration est en acier de type B500 et le frettage, placé sur les cylindres de liaison pour éviter la fissuration de peau, est en acier inoxydable et présente une résistance à la corrosion satisfaisante pour l'utilisation qui est en faite dans le procédé visé par cet Avis.

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 les Prescriptions Techniques des panneaux sandwiches à voile extérieur librement dilatable (cf. Cahier du C.S.T.B. n° 2159, livraison 279, référence 2).

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

Elle requiert :

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

1.2.3. Impacts environnementaux

Données environnementales

Le procédé « BETOMUR RTh Coffré » ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 aout 2015.

Pour revendiquer une performance environnementale, le procédé « BETOMUR RTh Coffré » doit faire l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 aout 2015.

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

Aspects sanitaires

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

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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

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

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

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(s) : Société Soriba
Rue Gustave Eiffel
BP 515
FR – 85305 Challans cedex
Tél. : 02 51 92 2301
Internet : www.soriba.fr

2.1.2. Mise sur le marché

En application du règlement (UE) n° 305/2011, le produit « BETOMUR RTh Coffré » 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 DdP sont identifiés par le marquage CE.

2.1.3. Identification

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

- Date de production
- Poids de l'élément
- Repère de l'élément
- Nom du client ou du projet
- Numéro et code du dossier de commande
- Nom de l'usine de production

2.2. Description

2.2.1. Principe

Procédé de mur à coffrage intégré pour façade, isolée par l'extérieur, « BETOMUR® RTh Coffré » est constitué de deux parois en béton armé reliées par des organes de liaison en matériau composite et un système d'ancrage en acier inoxydable.

Un isolant est mis en œuvre en usine sur la paroi extérieure. Cette paroi extérieure, dite aussi de parement, est librement dilatable. Un vide est maintenu entre l'isolant et la paroi intérieure. Ce vide, constituant le noyau central du mur, est complété par un béton armé coulé sur chantier.

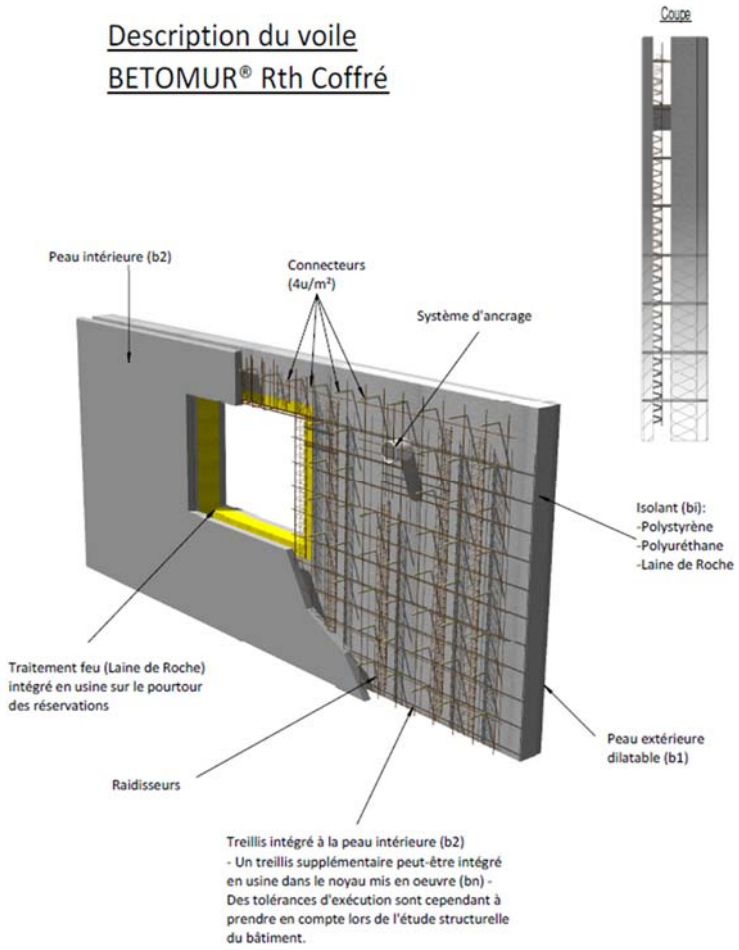
Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses, en infrastructure ou superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux, de dimension maximale 3,71x9,85 m. Ils remplissent deux fonctions :

- Éléments de façade porteurs ou non : ils sont posés à l'avancement du chantier. Dans le cas de mur porteur, la paroi intérieure et le remplissage du noyau participent à la reprise des charges sollicitant l'ouvrage.
- Isolation par l'extérieur du bâtiment par l'interposition d'un isolant continu entre la paroi extérieure et le noyau coulé en sur chantier.

La paroi extérieure est d'une épaisseur nominale d'au moins 70 mm. La paroi intérieure est d'une épaisseur nominale d'au moins 70 mm, le noyau est d'une épaisseur minimale de 70 mm et l'ensemble structural (noyau + paroi intérieure) est d'épaisseur minimale de 160 mm, ou de 140 mm dans le cas d'éléments non-porteurs. L'épaisseur d'isolant varie de 100 à 270 mm.

La face extérieure des éléments est de type béton brut ou tout autre type de parement (béton désactivé, béton acidé, béton matricé, polissage, sablage, négatifs, faux joints…).

Schéma 1 - Schéma de principe du "BETOMUR® RTh Coffré"



Les armatures complémentaires de type poteau, poutre, linteau, rive, etc., peuvent être incorporées aux murs lors de la réalisation en usine ou rapportées lors de la mise en œuvre sur chantier. Il en est de même pour les bâtis de menuiseries, les équipements électriques, les inserts, les réservations, etc.

Les chants tels que les embrasures de menuiserie extérieure, abouts de panneaux, acrotères, etc. doivent faire l'objet d'habillages de protection.

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

Revêtements

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

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Béton parois préfabriquées

Pour la paroi intérieure et la paroi extérieure, réalisées en usine, le béton de classe de résistance équivalente à C40/50, sera conforme aux normes NF EN 206/CN et NF EN 13369.

La nature du ciment et son dosage seront adaptés à la classe d'environnement.

2.2.2.2. Béton de remplissage du noyau

Le béton de remplissage du noyau, coulé sur chantier, est un béton du type prêt à l'emploi (BPE), conforme aux prescriptions de l'opération et à la norme NF EN 206/CN, de résistance caractéristique minimale à 28 jours de 25 MPa (classe de résistance C25/30).

Le diamètre maximal des granulats sera choisi en fonction de l'épaisseur du noyau coulé sur chantier :

- Pour un noyau d'épaisseur inférieure ou égale à 9 cm, utilisation d'un microbéton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulat D_{max} égale à 12,5 mm ;
- Pour un noyau d'épaisseur strictement supérieure à 9 cm, utilisation d'un béton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulat D_{max} égale à 16 mm.

Le béton de remplissage devra afficher une valeur cible pour l'affaissement de 200 mm, portée à 220 mm lorsque les spécificités de bétonnage l'exigent (densité d'armature élevée, faible épaisseur de l'élément…).
La consistance fluide est obtenue par ajout d'un superplastifiant haut réducteur d'eau conforme à la norme NF EN 934-2.

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

Les bétons BCP sont déconseillés pour les zones très ferraillées.

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

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

2.2.2.3. Armatures

2.2.2.3.1. Armatures incorporées aux parois préfabriquées

Tous les aciers et les raidisseurs de type CKT (INTERSIG) ou équivalent sont conformes à la norme européenne EN 10025 et sont certifiés AFCAB.

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

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.

Treillis soudés standard B 500.

2.2.2.3.2. Raidisseurs

Des raidisseurs métalliques standards, certifiés NF, du type INTERSIG ou des cages d'armatures assurent la liaison entre la paroi préfabriquée intérieure et le noyau coulé sur chantier. La section d'armature des raidisseurs pourra être prise en compte dans la section minimale et mécanique des armatures parallèles aux raidisseurs.

Les raidisseurs métalliques ou des cages d'armatures assurent la liaison entre la lame structurelle et le noyau coulé en place. Ils sont espacés au plus de 60 cm et sont au plus situés à 30 cm des bords des panneaux. Ils peuvent être de section triangulaire avec un treillis sinusoïdal ou de section rectangulaire à partir de cages d'armatures incorporant des armatures de contreventement. Les raidisseurs triangulaires font l'objet d'une certification par un organisme extérieur. Les cages d'armatures font l'objet d'un contrôle interne.

Les critères de certification des raidisseurs triangulaires sont les suivants sont indiqués §2.8.3.5.

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

- Epaisseur du BETOMUR RTh COFFRE
- Sollicitations de cisaillement à l'interface

2.2.2.3.3. Armatures complémentaire de chantier

Les armatures complémentaires de type poteau, poutre, linteau, rive, etc. peuvent être incorporées aux murs lors de la réalisation en usine ou rapportées lors de la mise en œuvre sur chantier. Ces armatures sont du type HA où treillis façonnés à la demande.

Les armatures complémentaires à mettre en œuvre sur chantier seront à prévoir par l'entreprise de pose.

2.2.2.4. Système de connexion SM2i®

2.2.2.4.1. Généralités

Le Système pour Mur à Isolation intégrée – SM2i® - est constitué d'organes de connexion entre parois (connecteurs) et d'organes d'ancrage (ancres porteuses).

Les organes de liaison sont prévus :

- Pour la manutention
- Le maintien de la peau extérieure en phase provisoire
- Résister aux actions sismiques dans le plan

2.2.2.4.2. Connecteurs

Le système de connexion entre parois comprend des connecteurs en matériau composite (associant des fibres de verre AR constituant l'armature et de la résine de type vinylester constituant la matrice), constitués de barres de diamètre 15,6 mm.

Tableau 1 - Caractéristiques mécaniques des connecteurs du système SM2i®

Propriété	Valeurs
Diamètre	15,6 mm
Matrice	Vinylester
Renfort	Fibre de verre AR
Modules de flexion et traction longitudinales	≥ 35 000 MPa
Contrainte à la rupture en flexion longitudinale	≥ 690 MPa
Contrainte à la rupture en traction longitudinale	≥ 690 MPa
Contrainte de cisaillement inter laminaire	30 MPa

Ces connecteurs répartis suivant un maillage carré maximal de 50 cm (au minimum 4 connecteurs/m²) ont entre autres pour rôle de :

- Garantir l'écartement des deux parois ;
- Reprendre les efforts de poussée du béton lors de la coulée du noyau sur site ;
- Reprendre, en partie ou en totalité, les efforts sismiques ;
- Reprendre les efforts de pression/dépression dû au vent ;
- Reprendre en partie les efforts de distorsion de la paroi extérieure.
- Pour s'assurer de la tenue des parois lors de la coulée du noyau, la vitesse de coulée ne devra pas excéder 0,85 m/h.

2.2.2.4.3. Ancres porteuses

Le système d'ancrage est constitué d'organes métalliques, appelés ancres porteuse, en acier inoxydable, ancrés à leurs extrémités dans les deux parois en béton.

- APC 76,1 : Ancre porteuse cylindrique (cylindre de Ø 76,1 mm)
- APC 160 : Ancre porteuse cylindrique (cylindre de Ø 160 mm)
- ADP 150 : Ancre de Distorsion Plate (largeur de l'ancre de 150 mm)
- ADP 200 : Ancre de Distorsion Plate (largeur de l'ancre de 200 mm)
- APF : Ancre Porteuse Fendue

Les nuances d'aciers sont selon norme EN 10 088 : 1.4162, 1.4404 ou nuance équivalent (corrosion). Il s'agit de nuances de classe de résistance à la corrosion III au sens de l'Annexe A de la NF EN 1993-1-4. La compatibilité avec les conditions d'exposition doit être vérifiée conformément aux prescriptions de l'Annexe A de la NF EN 1993-1-4 (sévérité de l'environnement, facteur de résistance à la corrosion, …).

Les aciers de frettage placés à travers les ancres porteuses doivent être en acier inoxydable compatible avec les conditions d'exposition de l'ouvrage conformément aux prescriptions du tableau A4 de la NF XP A35-014 et du tableau A1 de l'Annexe A de la NF EN 1993-1-4.

Les ancres porteuses permettent, entre autre, de reprendre le poids propre de la paroi extérieure.

Chaque élément « BETOMUR® RTh Coffré » est équipé d'au moins 2 ancres porteuses. Leurs types et positions seront déterminées par le Bureau d'Études SORIBA.

Pour les éléments « BETOMUR® RTh Coffré » de grande dimension, le nombre d'ancres porteuses pourra être augmenté, en fonction du poids propre de la paroi extérieure.

Pour les éléments de grande hauteur, devant être transporté sur chant, le nombre d'ancres porteuses sera majoré pour répondre aux sollicitations et permettre les manutentions en phase provisoire.

Dans le cadre de chantiers en zones sismiques, des ancres de distorsion plates pourront être disposées pour reprendre les efforts sismiques, suivant calcul.

2.2.2.5. Système de levage

Le système de levage des panneaux « BETOMUR® "RTh Coffré » est réalisé par le système d'ancrage. Les deux fonctions sont remplies par les mêmes organes.

Les nuances d'aciers sont selon norme EN 10 088 : 1.4162, 1.4404 ou nuance équivalent (corrosion).

Il s'agit de nuances de classe de résistance à la corrosion III au sens de l'Annexe A de la NF EN 1993-1-4. La compatibilité avec les conditions d'exposition doit être vérifiée conformément aux prescriptions de l'Annexe A de la NF EN 1993-1-4 (sévérité de l'environnement, facteur de résistance à la corrosion, …).

La manutention, tant pour le décoffrage que le stockage, le transport et la pose des éléments est réalisé à partir d'estropes textiles incorporées à la préfabrication des éléments.

Chaque estrope formant une boucle est fixée aux parois béton par l'intermédiaire des ancres de levage. Un élément « BETOMUR® RTh Coffré » comporte, en partie supérieure, a minima deux boucles.

Dans le cas d'ancres de levage constituées d'un plat métallique, la manutention s'effectuera à l'aide d'un palonnier spécifique (fourniture SORIBA) pour assurer le levage vertical au droit de chaque ancre.

La position des crochets de levage est indiquée sur une étiquette apposée sur le panneau.

Les éléments de hauteur supérieure à 3,71 m, devant être transportés sur chant, comporteront des ancres de levage complémentaire munies d'estropes textiles permettant leur manutention. Le relevage sur chantier se fera alors à l'aide d'un basculeur.

Après pose des éléments « BETOMUR® RTh Coffré », et avant bétonnage du noyau, les estropes devront être sectionnées et évacuées.

2.2.2.6. Isolant

En partie courante, différents matériaux, faisant l'objet d'un certificat ACERMI, peuvent être utilisés, sous forme de panneaux rigides dont le classement ISOL minimum est ($I_1S_1O_2L_3$) :

- Mousse de polyuréthane PUR ou PIR
- Polystyrène expansé ou extrudé

Tout autre matériau présentant les caractéristiques ci-dessous pourra être utilisé :

- Rigidité suffisante pour permettre une mise en œuvre aisée (découpe, perçage, etc.) ;
- Résistance à la compression suffisante, pour éviter sa déformation lors du coulage de la paroi intérieure ;
- Insensibilité à l'eau, notamment pour éviter leur altération durant la phase de coulée de la paroi intérieure.

Pour les dispositifs de protection vis-à-vis de la propagation du feu en façade, l'isolant utilisé présente les caractéristiques suivantes :

- Laine de roche certifiée ACERMI

- Masse volumique ≥ 120 kg/m^3
- Absorption à long terme par immersion partielle : WS selon la norme EN 12087.
- Absorption à court terme par immersion partielle : WL(P) selon la norme EN 12087.
- Les bandes de protection coupe-feu seront situés en tête de panneau de façon à être protégées des infiltrations d'eau par la bavette EPDM situées au droit du joint horizontal adjacent.

2.2.2.7. Vide d'air

Lorsque les variations de températures sont importantes entre le jour et la nuit, les condensations qui en résultent, peuvent être évacuée par la mise en place d'un vide d'air positionné entre la paroi extérieure et l'isolant.

La mise en œuvre d'un coffrage spécial pour vide d'air type SPA-DH, HALFEN-DEHA permet de réaliser un vide ventilé et donne la possibilité à l'humidité pénétrante de s'évacuer vers la paroi extérieure.

2.2.2.8. Douilles d'étaiement

Des douilles métalliques filetées sont scellées en usine dans la paroi intérieure pour assurer la liaison aux étais tire-pousse, barrettes, etc. pendant les phases de montage et de bétonnage du noyau.

Le diamètre de ces douilles et leur position est déterminé par le Bureau d'Études SORIBA, en fonction des efforts à reprendre.

2.2.2.9. Matériaux de traitement de joint

2.2.2.9.1. Paroi extérieure

La largeur des joints entre parois extérieures de panneaux adjacents est dimensionnée pour éviter tout entrechoquement en cas de séisme ou de dilatation thermique. Ce joint nominal est de 15 mm. Ce joint prend en compte les tolérances de fabrication et de pose et la largeur minimum pour l'application d'un joint.

La mise en place d'un joint d'étanchéité est nécessaire tant sur le joint vertical qu'horizontal. Le traitement du joint se fera à l'aide d'un joint souple de type élastomère, hydro-gonflant ou de type JD de chez Couvraneuf.

À l'intersection entre joints horizontaux et verticaux, il sera mis en place un complément d'étanchéité par bande collée formant bavette de rejet d'eau, pour empêcher les infiltrations et la stagnation d'eau au droit de l'isolant. Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.2.2.9.2. Paroi intérieure

Un joint pré-comprimé doit être mis en place au droit de la paroi intérieure pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage du noyau. Ce joint sera mis en place tant sur la partie paroi intérieure que sur la partie isolant.

Le traitement en phase définitive des joints intérieurs est décrit sur les schémas joints en Annexe 5.

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

2.2.2.10.1. Tête de mur

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

2.2.2.10.2. About de mur

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

2.2.2.10.3. Ouvertures

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

2.2.2.11. Inserts divers

D'autres accessoires ou inserts peuvent être mis en œuvre dans le BETOMUR® RTh Coffré dont notamment :

- Inserts inox
- Douilles de fixation
- Rails d'ancrage
- Réservations
- Aciers en attente
- Boitiers électriques
- Gaines électriques
- Etc.

2.3. Disposition de conception

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

2.3.1.1. Généralités

Le dimensionnement de la partie structurelle n'est en aucun cas réalisé par le Bureau d'Études SORIBA.

Le Bureau d'Études Techniques Structure du chantier devra calculer les efforts transmis aux éléments et définir les équarrissage et sections d'armatures nécessaires à leur stabilité, ainsi que les sections d'armatures à mettre en œuvre au droit des joints.

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

Une méthodologie est fournie en Annexe 6 du présent Dossier Technique, « Processus de justification des murs à coffrage et isolation intégrés ».

Le dimensionnement de l'ancrage des armatures dans le noyau est réalisé en considérant un coefficient d'adhérence η_1 égal à 0,7 pour des armatures horizontales de diamètre supérieur à 12 mm. Dans tous les autres cas, le coefficient d'adhérence η_1 est égal à 1.

2.3.1.2. Règles de dimensionnement

Les calculs et justifications sont menés suivant les règlements français en vigueur :

- Les règles Eurocode
- NF EN 14992

2.3.1.3. Armatures minimales

La paroi intérieure comprend au minimum :

- 1,4 cm²/ml d'aciers verticaux (0,2% de la section béton)
- 1,4 cm²/ml d'aciers horizontaux (0,2% de la section béton)
- Un espacement maximum entre barres de 33 cm

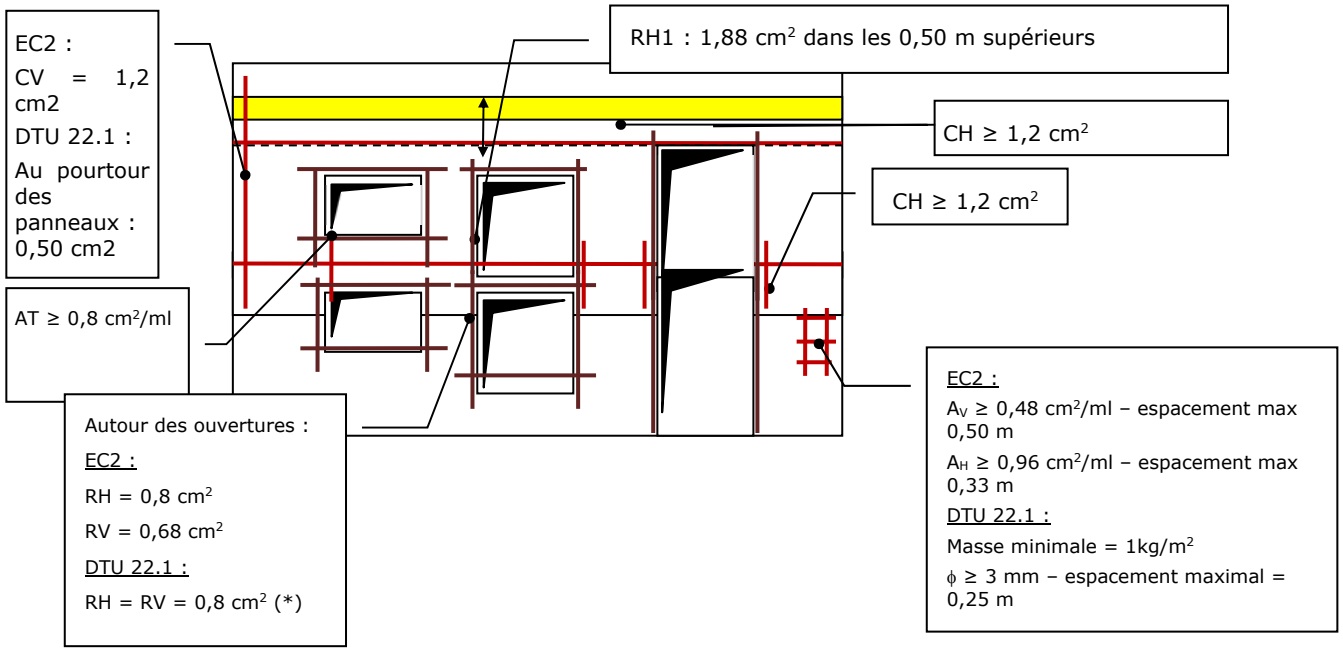
La paroi extérieure comprend, pour des murs de longueur L, au minimum :

- Verticalement :
  - 1,4 cm²/ml pour L < 6 m
  - 1,9 cm²/ml pour L ≥ 6 m
- Horizontalement :
  - 1,4 cm²/ml pour L < 6 m
  - 1,9 cm²/ml pour L ≥ 6 m
- Un espacement maximum entre barres de 33 cm

Ces valeurs sont minimales et majorées en fonction des sollicitations provisoires ou définitives sur l'ouvrage.

L'enrobage des armatures est défini en fonction de la classe d'exposition et sera déterminé en fonction du milieu ambiant où sera mis en œuvre le mur « BETOMUR® RTh Coffré ».

L'enrobage nominal est au moins égal à 20 mm sur la face extérieure de la paroi extérieure.



Des raidisseurs métalliques standards, certifiés NF, du type INTERSIG ou des cages d'armatures assurent la liaison entre la paroi préfabriquée intérieure et le noyau coulé sur chantier. La section d'armature des raidisseurs pourra être prise en compte dans la section minimale et mécanique des armatures parallèles aux raidisseurs

2.3.1.4. Epaisseur de la paroi structurale et enrobage

La paroi intérieure d'un BETOMUR® RTh Coffré possède une épaisseur nominale de 70 mm.

L'épaisseur de la paroi intérieure pourra être réduite localement et ponctuellement en cas de faux joint, décaissé, etc.

L'enrobage des armatures est défini en fonction de la classe d'exposition et sera déterminé en fonction du milieu ambiant où sera mis en œuvre le mur « BETOMUR® RTh Coffré ».

2.3.1.5. Principes constructifs et de la conception des liaisons

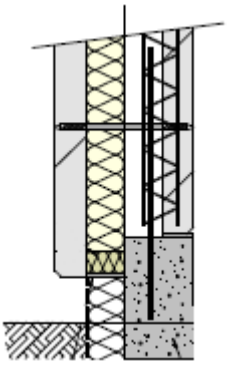
2.3.1.5.1. Généralités

Les principes constructifs décrits ci-dessous sont données à titre informatif. Il conviendra de se reporter à l'Annexe 6 « Processus de justification des murs à coffrage et isolation intégrés » pour le dimensionnement des liaisons.
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.

2.3.1.5.2. Liaison articulée en pied de BETOMUR® RTh coffré

Le BETOMUR® RTh Coffré est mis en œuvre sur fondations de types semelles filantes, longrines, dallage, etc. avec des armatures en attente qui seront reprises dans le noyau coulé en place.

Schéma 2 - Liaison rotulée en pied de BETOMUR(R) RTh Coffré



Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.1.5.3. Encastrement en pied de BETOMUR® RTh Coffré

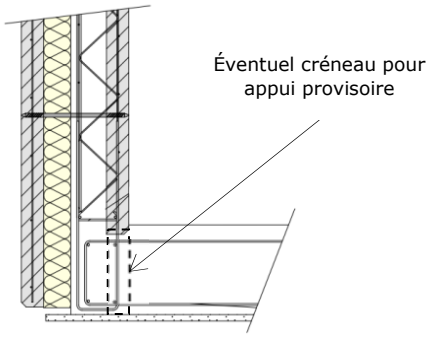
2.3.1.5.3.1. Encastrement avec continuité de bétonnage aux jonctions murs/fondations

Le BETOMUR® RTh Coffré présente des corbeilles intégrées dans la paroi intérieure et dépassantes. Des aciers en U et filants sont intégrées dans l'espace de coulée du plancher après pose du BETOMUR®.

L'ensemble est coulé en même temps, en s'assurant de la bonne étanchéité des joints pour éviter toute fuite de laitance. L'ensemble peut être configuré pour que l'isolant recouvre le nez de plancher.

Les schémas sont donnés en Annexe 5.

Schéma 3 - Liaison encastrée en pied de BETOMUR(R) RTh Coffré



2.3.1.5.3.2. Encastrement avec reprise de bétonnage aux jonctions murs/fondations

Dans le cas d'un ouvrage horizontal (dalle, plancher, etc.) coulé avant pose du BETOMUR® RTh Coffré, des aciers en attente (aciers en U et filants) doivent être mis en place. Un espace minimum de 3 cm doit être respecté entre la paroi intérieure et l'ouvrage déjà coulé. Un soin tout particulier sera porté aux joints de calage pour éviter les fuites de laitance, afin d'assurer le bon encastrement entre ouvrage et paroi.

Rappelons que cette solution est incompatible avec des liaisons verticales encastrement. L'ensemble peut être configuré pour que l'isolant recouvre le nez de plancher.

Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.1.5.4. Liaisons du BETOMUR® RTh Coffré avec dalle

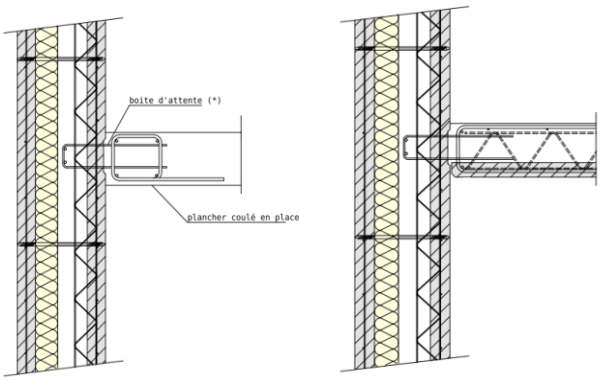
Lors de la réalisation de bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques au sens de la NF EN 1998 – Eurocode 8, les liaisons horizontales de plancher avec prédalles suspendues par boîte d'attente de type Stabox ou équivalent est proscrite.

Le plancher peut être coulé en place, réalisé avec prédalles (suspendues ou non), avec dalles alvéolaires, etc.

Dans le cas de panneaux avec un niveau de plancher intermédiaire, des réservations pourront être effectuées pour passer les aciers.

Les liaisons mécaniques pourront être rotulée ou encastrée.

Schéma 4 - Coupes de principes de liaison paroi / dalle avec prédalle suspendue (non adaptée au sismique) ou dalle coulée en place



Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.1.5.5. Liaisons encastrées entre BETOMUR® RTh Coffré

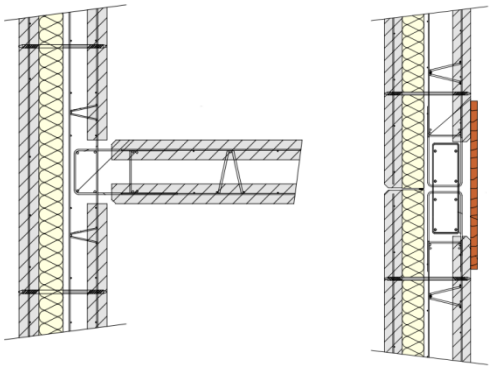
2.3.1.5.5.1. Joint vertical

Dans le cas encastré, des corbeilles sont intégrées aux parois intérieures du BETOMUR® RTh Coffré, dépassant dans le noyau. Des aciers de clavetage sont mis en œuvre sur chantier pour assurer la liaison encastrée entre 2 parois alignées, 2 parois d'angle ou dans une liaison en T avec un refend.

Dans ces cas, les parois doivent être translatées près du sol pour pouvoir emboîter les aciers en attente dans les noyaux des éléments respectifs. Cette solution n'est donc pas compatible avec un plancher coulé avant pose avec aciers en attente.

Une ouverture dans les parois intérieures est également envisageable, pour intégrer sur chantier un cadre et des aciers de clavetage, liées aux corbeilles intégrées en usine dans les parois intérieures. La fermeture de cette ouverture lors de la coulée du béton est alors assurée par un coffrage posé sur chantier.

Schéma 5 - Coupes de principes des joints verticaux encastrés



Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.1.5.5.2. Joint horizontal droit

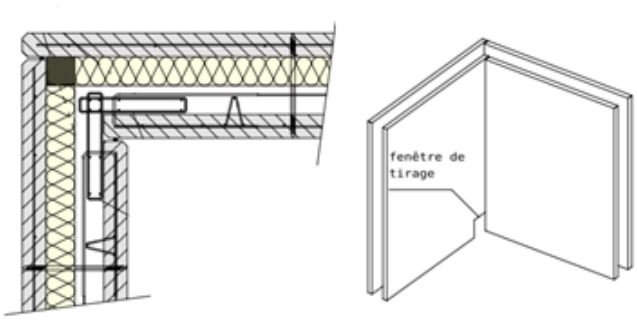
Dans le cas de parois ouvertes pour permettre la mise en œuvre des aciers de liaisons, l'espace ouvert devra être fermé par un coffrage posé sur chantier. Un soin tout particulier sera porté aux joints entre le coffrage et la paroi intérieure pour éviter les fuites de laitance, afin d'assurer le bon encastrement des parois. Des corbeilles intégrées aux parois intérieures et des aciers de liaison assureront la continuité d'armature entre les deux éléments.

Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.1.5.6. Liaisons articulées couturées entre BETOMUR® RTh Coffré

Dans le cadre de joints verticaux couturés, un panneau doit présenter une fenêtre d'ouverture dite de tirage sur la face intérieure pour assurer le bon positionnement du panier d'armature. Dans le cadre de liaison d'angles ou en T, cette solution permet également de réaliser les armatures de poteaux à l'intersection des murs.

Schéma 6 - Coupes de principes des joints verticaux couturés et fenêtre de tirage



Les schémas sont donnés en Annexe 5.

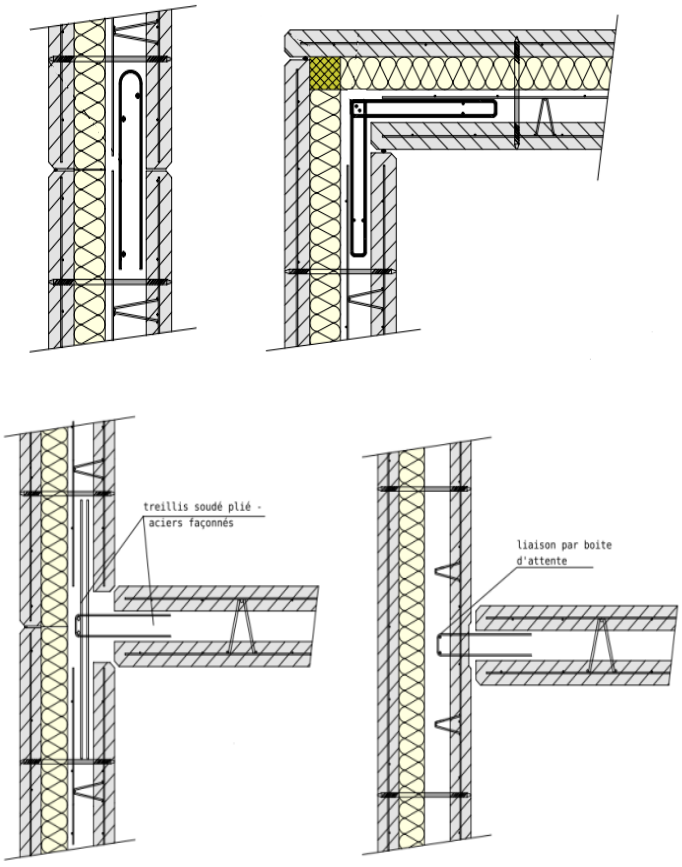
2.3.1.5.7. Liaisons encastrées entre BETOMUR® RTh Coffré

2.3.1.5.7.1. Joint vertical

L'armature disposée dans le noyau permet de transmettre entre autre le cisaillement entre panneaux. Disposée sur chantier, sa section est fonction des armatures horizontales disposées dans la paroi intérieure

L'armature disposée à la jonction du mur de refend et de la structure est liée aux aciers de cette dernière par des tirants verticaux. La structure peut également ne pas être ouverte et la liaison se fait alors par boîte d'attente de type Stabox.

Schéma 7 - Coupes de principes des joints verticaux rotulés



Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.1.5.7.2. Joints horizontaux droit

Les armatures utilisées pour réaliser les joints horizontaux répondent aux mêmes principes de détermination que pour les joints verticaux. La liaison peut également être effectuée au croisement avec une dalle.

Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.1.6. Dispositions parasismiques

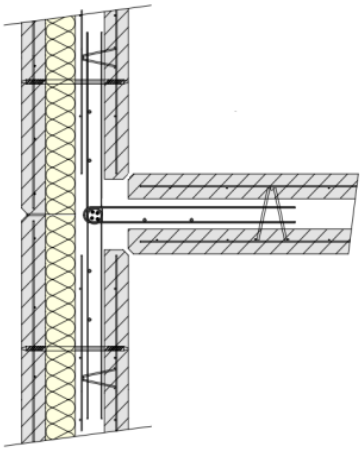
Les solutions sismiques présentent des liaisons d'armatures entre parois adjacentes par clavetage pour assurer la transmission des cisaillements lors d'un séisme.

Les éléments de clavetage seront dimensionnés par le Bureau d'Études Techniques Structure du chantier pour reprendre les cisaillements dus aux efforts sismiques.

Des fenêtres de tirage, voire une ouverte totale pour les liaisons d'angle, devront être mises en place pour assurer le bon positionnement des aciers de clavetage.

Rappelons qu'un joint de 15 mm entre parois extérieures sera assuré lors de la pose des panneaux pour éviter leur entrechoquement lors d'un séisme (y compris tolérance et jeu de pose).

Schéma 8 - Coupe de principe d'une liaison paroi / refend



Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.3.2. Conception de la paroi extérieure

2.3.2.1. Généralités

L'organisation des panneaux doit être conçue de sorte que chacun des voiles extérieurs en béton du « BETOMUR® RTh Coffré » soit librement dilatable, ce qui exclut :

- Tout contact avec un autre voile, une façade perpendiculaire ou un autre corps de bâtiment ;
- L'accrochage de charge lourde ou de support de charge lourde directement sur cette dernière ;
- D'être support de relevé d'étanchéité.

Les charges légères pourront être directement fixées sur la paroi extérieure, sous réserve d'une étude spécifique du Bureau d'Études SORIBA.

Le système d'ancrage est constitué d'ancres porteuses/de levage constituant des points fixes qui s'opposent aux efforts développés dans le plan de la paroi extérieure.

La longueur maximale l_{max}, et le positionnement des ancres sont déterminés par le Bureau d'Études SORIBA en fonction des contraintes maximales admissibles par l'ancre porteuse et le béton au droit de ses ancrages.

2.3.2.2. Epaisseur de paroi extérieure

La paroi extérieure d'un BETOMUR® RTh Coffré possède une épaisseur nominale de 70 mm.

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

$$b_2 \geq c_{nom,ext} + c_{nom,iso} + \emptyset_v + \emptyset_h + \Delta$$

Avec :

- $c_{nom,ext}$: enrobage nominal de la paroi extérieure côté extérieur (fonction de la classe d'environnement côté extérieur)
- $c_{nom,iso}$: enrobage nominal de la paroi extérieure côté isolant (fonction de la classe d'environnement côté isolant)
- $\emptyset_v$ et $\emptyset_h$: diamètre des armatures verticales (v) et horizontales (h) disposées dans la paroi extérieure
- $\Delta = \sqrt{(\Delta e^+)^2 + (\Delta b^-)^2}$ où, les valeurs des tolérances retenues sont les suivantes (classe B au sens de la norme NF EN 14992) :
  - $\Delta e^+ = 5\ mm$: tolérance en plus sur l'enrobage des armatures de la paroi extérieure ;
  - $\Delta b^- = 5\ mm$: tolérance en moins sur l'épaisseur de la paroi extérieure préfabriquée ;

Dans le cas de BETOMUR® RTh Coffré présentant un parement matricé, ou bien support d'une charge légère, il conviendra de prendre en compte pour le dimensionnement du SM2i® :

- Le poids propre de la surépaisseur de béton liée à l'amplitude de la matrice,
- Le poids propre de la charge accrochée.

L'épaisseur de la paroi extérieure pourra être réduite localement et ponctuellement en cas de parement matricé, de faux joint, décaissé, etc.

2.3.2.3. Calepinage

Le calepinage de la façade en BETOMUR® RTh Coffré est réalisé en tenant compte des données suivantes :

- Dimensions maximales de panneaux : 3,71 m x 9,85 m,
- Poids propre d'un panneau (capacité de levage) : 350 kg/m²,

- Largeur nominale de joint vertical de 15 mm minimum,
- Largeur nominale de joint horizontal de 15 mm minimum. Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan vertical, il sera privilégié des joints horizontaux au droit ou à proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées, etc.).
- Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan horizontal, il sera privilégié des joints verticaux au droit ou à proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets, etc.).

2.3.3. Dimensionnement du SM2i®

Chaque « BETOMUR® RTh Coffré » comporte :

- 2 ancres porteuses minimum,
- Des connecteurs d'une densité minimale de 4 connecteurs/m², et répartis selon un maillage carré de 0,50 m x 0,50 m maximal.

Le SM2i® est conçu pour une longueur libre, i.e. une épaisseur d'isolant allant de 100 mm mini à 270 mm maxi.

2.3.3.1. Résistances admissibles des organes du SM2i®

Les résistances admissibles indiquées ci-dessous sont données pour des épaisseurs d'isolant égales à 100, 140, 180, 220 et 270 mm.

Pour toute épaisseur comprise entre 100 mm et 270 mm, les résistances seront obtenues par interpolation linéaire entre les deux valeurs les plus proches.

2.3.3.1.1. Ancres porteuses

La raideur moyenne est exprimée en kN/m. La résistance caractéristique de cisaillement V_{Rk} est exprimée en kN.

Elle est déterminée à partir d'un traitement statistique conforme à l'Annexe D de la norme NF EN 1990.

La résistance au cisaillement à l'ELU statique $\mathrm{V_{Rd,stat}} = \frac{\mathrm{V_{Rk}}}{1{,}2\times 2}$ est exprimée en kN.

La résistance au cisaillement à l'ELU dynamique $\mathrm{V_{Rd,dyn}} = \frac{0{,}4\cdot \mathrm{V_{Rk}}}{1{,}2}$ est exprimée en kN.

Tableau 2 – Résistances admissibles des APC-160

	Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm				
	100	140	180	220	270
Raideur moyenne (en kN/m)	28 931	22 952	18 903	14 381	11 515
Résistance caractéristique V_{Rk} (en kN)	198,69	160,64	128,75	116,47	104,10
Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (en kN)	82,79	66,93	53,65	48,53	43,38
Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (en kN)	66,23	53,55	42,92	38,82	34,70

Tableau 3 – Résistances admissibles des APC-76,1

	Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm				
	100	140	180	220	270
Raideur moyenne (en kN/m)	18 220	16040	10 969	9 328	6 957
Résistance caractéristique V_{Rk} (en kN)	138,80	126,64	105,39	89,23	83,18
Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (en kN)	57,83	52,77	43,91	37,18	34,66
Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (en kN)	46,27	42,21	35,13	29,74	27,73

Tableau 4 – Résistances admissibles des ADP-150

	Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm				
	100	140	180	220	270
Raideur moyenne (en kN/m)	14 594	13 222	10 067	6 991	5 740
Résistance caractéristique V_{Rk} (en kN)	92,56	92,57	88,44	47,41	46,23
Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (en kN)	38,57	38,57	36,85	19,75	19,26

Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (en kN)	30,85	30,86	29,48	15,80	15,41

Tableau 5 – Résistances admissibles des ADP-200

	Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm				
	100	140	180	220	270
Raideur moyenne (en kN/m)	16 057	14 711	10 371	8 958	6 269
Résistance caractéristique V_{Rk} (en kN)	98,84	95,13	73,22	45,11	44,62
Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (en kN)	41,18	39,64	30,51	18,80	18,59
Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (en kN)	32,95	31,71	24,41	15,04	14,87

Tableau 6 – Résistances admissibles des APF-160 (sens Ig,M)

	Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm				
	100	140	180	220	270
Raideur moyenne (en kN/m)	17 558	14 711	10 630	6 475	5 169
Raideur caractéristique V_{Rk} (en kN)	128,04	89,62	73,46	69,24	33,01
Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (en kN)	53,35	37,34	30,61	28,85	13,75
Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (en kN)	42,68	29,87	24,49	23,08	11,00

Tableau 7 – Résistances admissibles des APF-160 (sens Ig,m)

	Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm				
	100	140	180	220	270
Raideur moyenne (en kN/m)	13 613	9 224	7 902	6 318	5 758
Résistance caractéristique V_{Rk} (en kN)	69,65	55,72	58,13	48,3	46,25
Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (en kN)	29,02	23,22	24,22	20,13	19,27
Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (en kN)	23,22	18,57	19,38	16,10	15,42

2.3.3.1.2. Connecteurs

2.3.3.1.2.1. Résistance à l'arrachement des connecteurs

En phase provisoire :

La résistance de calcul à l'ELU statique est calculée avec $N_{Rd,stat} = \sqrt{\frac{f_{ck,jeune\,âge}}{f_{ck,essais}}}\frac{N_{Rk}}{1{,}35\times 2}$

Connecteur	**Résistance de calcul à l'arrachement en phase provisoire**
Connecteur 15,6 mm	$N_{Rd,stat} = \sqrt{\frac{20}{33}}\frac{N_{Rk}}{1{,}35\times 2} = \frac{0{,}78\times 10{,}47}{2{,}7} = 2{,}93\ kN$

Les valeurs de résistance affichées ci-dessus sont valables pour une résistance caractéristique du béton des parois préfabriquées $f_{ck} = 20\ MPa$)

En phase définitive :

Connecteur	**Résistance de calcul statique**	**Résistance de calcul dynamique**

Connecteur 15,6 mm	$N_{Rd,stat} = \frac{N_{Rk}}{1,35 \times 2} = \frac{10,47}{2,7} = 3,88\ kN$	$N_{Rd,dyn} = \frac{0,4 \cdot N_{Rk}}{1,3} = \frac{0,4 \cdot 10,47}{1,3} = 3,22\ kN$

Les valeurs de résistance affichées ci-dessus sont valables pour une résistance caractéristique du béton des parois préfabriquées $f_{ck} = 35\ MPa$

2.3.3.1.2.2. Résistance au cisaillement des connecteurs

La raideur moyenne est exprimée en kN/m.

La résistance caractéristique de cisaillement V_{Rk} est exprimée en kN.

La résistance caractéristique de cisaillement N_{Rk} est exprimée en kN.

Elles sont déterminées à partir d'un traitement statistique conforme à l'Annexe D de la norme NF EN 1990.

La résistance au cisaillement à l'ELU statique $V_{Rd,stat} = \frac{V_{Rk}}{1,2 \times 2}$ est exprimée en kN.

La résistance au cisaillement à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn} = \frac{0,4 \cdot V_{Rk}}{1,2}$ est exprimée en kN.

Tableau 8 – Résistances admissibles des connecteurs

Connecteur 15,6 mm

	Longueur libre (épaisseur d'isolant) en mm				
	100	140	180	220	270
Raideur moyenne (en kN/m)	257,69	157,08	89,11	57,19	48,09
Résistance caractéristique V_{Rk} (en kN)	2,09	1,32	1,05	0,72	0,70
Résistance à l'ELU statique $V_{Rd,stat}$ (en kN)	0,87	0,55	0,44	0,30	0,29
Résistance à l'ELU dynamique $V_{Rd,dyn}$ (en kN)	0,70	0,44	0,35	0,24	0,23

2.3.3.2. Dimensionnement à l'ELU du SM2i®

2.3.3.2.1. Critères de dimensionnement du SM2i®

Critère sous sollicitations de traction

Il convient de vérifier que l'effort sollicitant est inférieur ou égal à l'effort résistant :

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Critère sous sollicitations de cisaillement

Il convient de vérifier que l'effort sollicitant est inférieur ou égal à l'effort résistant :

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Critère sous sollicitations combinées

Il convient de vérifier sous sollicitations de traction et de cisaillement combinées que :

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

2.3.3.2.2. Vérification des ancres porteuses à l'ELU

Compte tenu des raideurs relatives en flexion entre ancres porteuses et connecteurs, ces dernières sont supposées ne reprendre que les efforts sollicitant la paroi extérieure dans son plan :

- G : action de pesanteur, déterminée selon NF EN 1991-1-1
- $E_{d,E}$: action sismique, déterminée selon article 4.3.5 NF EN 1998-1

Situation d'actions durables ou transitoires

$$E_d = 1,35 \cdot \mathrm{G}$$

L'action sollicitante étant de type 'cisaillement', il convient de vérifier l'inéquation suivante :

$$1,35 \cdot V_G \leq V_{Rd,stat}$$

Situation d'actions accidentelles

Incendie

$$E_{d,A} = \mathrm{G}$$

L'action sollicitante étant de type 'cisaillement', il convient de vérifier l'inéquation suivante :

$$V_G \leq V_{Rd,fi}$$

Sismique

En application de la clause de l'art. 4.II.c de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié (valeur de a_{vg}/a_g) et en considérant les cas où a_{vg} est supérieur à $2{,}5\ m \cdot s^2$, la composante sismique verticale n'est à prendre en compte qu'en zone de sismicité 5 pour les bâtiments de catégorie d'importance III et IV.

L'action sollicitante étant de type 'cisaillement', il convient de vérifier l'inéquation suivante :

$E_{d,Eh} = \mathrm{A_{d,Eh}}$ (Direction horizontale)

$E_{d,Ev} = \mathrm{G} + \mathrm{A_{d,Ev}}$ (Direction verticale)

Avec :

- $\mathrm{A_{d,Eh}} = k_{ampli} \cdot G$
- $\mathrm{A_{d,Ev}} = \frac{a_{vg}}{a_g} \cdot k_{ampli} \cdot G$

où :

- k_{ampli} : coefficient d'amplification des forces de pesanteur liée à l'action sismique
- $\frac{a_{vg}}{a_g} = 0{,}9$: rapport de l'accélération verticale à l'accélération horizontale – Arrêté 22/10/2010

k_{ampli}	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	**2**	**3**	**4**	**5**
II	0,7	1,10	1,6	2,35
III	0,9	1,3	2,0	2,83
IV	1,0	1,6	2,3	3,30

Art. 4.3.5 NF EN 1998-1 avec $q_a = 1$

L'action sollicitante étant de type 'cisaillement', il convient de vérifier l'inéquation suivante (issue des combinaisons de Newmark) :

$$E_{d,Ev} + 0{,}3 \cdot E_{d,Eh} \leq V_{Rd,dyn}$$

Soit :

$$(1 + 1{,}2 \cdot k_{ampli}) \cdot V_G \leq V_{Rd,dyn}$$

2.3.3.2.3. Vérification des connecteurs à l'ELU

Compte tenu des raideurs relatives en traction entre ancres porteuses et les connecteurs, ces derniers sont supposés ne reprendre que les efforts sollicitant la paroi extérieure hors de son plan :

- W : action liée au vent, déterminée selon NF EN 1991-1-4
- $\mathrm{N_T}$: action lié au gradient thermique dans l'épaisseur de la paroi extérieure
- $\mathrm{E_{d,E}}$: action sismique, déterminée selon article 4.3.5 NF EN 1998-1

Situation d'actions durables ou transitoires

$$E_{d,W} = 1{,}5 \cdot \mathrm{W}$$

$$E_{d,N_T} = \frac{\alpha_T \cdot \Delta T_{lin}}{\frac{8 \cdot d_v}{E_c \cdot d_h \cdot b_2^2} + \frac{2 \cdot b_2}{K_t \cdot d_v^2}} + \frac{\alpha_T \cdot \Delta T_{lin}}{\frac{8 \cdot d_h}{E_c \cdot d_v \cdot b_2^2} + \frac{2 \cdot b_2}{K_t \cdot d_h^2}}$$

Où :

- $\alpha_T = 1.10^{-5} m/C.m^{-1}$: coefficient de dilatation thermique du béton
- $\Delta T_{lin} = 5\ °C$: gradient de température dans la paroi extérieure
- $d_h = d_v = 0{,}50\ m$ *: écartement horizontal et vertical des connecteurs ;*
- $b_2 = 0{,}07\ m$ *: épaisseur de la paroi extérieure ;*
- $E_c = 35\ GPa$ *: épaisseur de la paroi extérieure ;*
- $K_t = 1 \cdot 10^6\ N \cdot m^{-1}$: raideur en traction des connecteurs.

L'action sollicitante étant de type 'traction', il convient de vérifier les inéquations suivantes :

$$1{,}5 \cdot \mathrm{W} + 0{,}9 \cdot \mathrm{n} \cdot N_T \leq \mathrm{n} \cdot N_{Rd,stat}$$

$$1{,}5 \cdot \mathrm{n} \cdot N_T + 0{,}9 \cdot \mathrm{W} \leq \mathrm{n} \cdot N_{Rd,stat}$$

Situation d'actions accidentelles

Incendie

$$E_{d,A} = 0{,}2 \cdot \mathrm{W}$$

L'action sollicitante étant de type 'traction', il convient de vérifier l'inéquation suivante :

$$0{,}2 \cdot N_w \leq \mathrm{n} \cdot N_{Rd,fi}$$

Sismique

$$E_{d,Eh} = \mathrm{A_{d,Eh}}$$

avec :

$$\mathrm{A_{d,Eh}} = k_{\mathrm{ampli}} \cdot b_2 \cdot S_{aff} \cdot \rho_c \cdot g$$

où :

- k_{ampli} = coefficient d'amplification des forces de pesanteur liée à l'action sismique ;
- b_2 = épaisseur de la paroi extérieure[1] ($b_2 = 7\ cm$) ;
- S_{aff} = surface afférente à un organe de connexion ($S_{aff} = 0{,}25\ m^2$) ;
- ρ_c = masse volumique du béton armé ($\rho_c = 2{,}5t/m^3$) ;
- g = accélération de la pesanteur ($g \approx 10m/s^2$) ;

L'action sollicitante étant de type 'traction', il convient de vérifier l'inéquation suivante :

$$\boldsymbol{E_{d,Eh} \leq N_{Rd,dyn}}$$

2.3.3.2.4. Vérification sous variation dimensionnelle

Capacité résistante des organes de connexion

La paroi extérieure subit des variations dimensionnelles liées à un effet thermique réglementaire défini selon la norme NF 1991-1-5. Il convient alors de vérifier la compatibilité des déplacements des connecteurs.

Le déplacement imposé crée une action sollicitante de type 'cisaillement' au droit des organes de connexion. La vérification se réduit à l'inéquation suivante :

$$E_{d,\Delta T} \leq V_{Rd,stat}$$

Avec :

$$E_{d,\Delta T} = k_i \cdot \Delta l$$

où :

- k : raideur moyenne en flexion caractérisée par essai pour l'épaisseur d'isolant b_i
- Δl : déplacement imposé au droit de l'organe de connexion vérifié :

$$\Delta l = \alpha_T \cdot \Delta T \cdot d_{G,j}$$

  - $\alpha_T = 1.10^{-5} m/C.m^{-1}$: coefficient de dilatation du matériau béton ;
  - $\Delta T = 50°C$: amplitude maximale de variation uniforme de température à considérer selon NF EN 1991-1-5 ;
  - $d_{G,j}$: distance de l'organe de connexion j au centre de gravité de la paroi extérieure ;

Vérification de la paroi extérieure entre deux points fixes sous gradient thermique

Sous l'effet d'une variation uniforme de température de ±50°C, l'effort de membrane sollicitant reste inférieur à l'effort résistant quelle que soit la configuration (épaisseur d'isolant et type d'ancre porteuse) »

Vérification du non-entrechoquement des parois

Sous actions sismiques, lorsque que la tenue de paroi extérieure est assurée uniquement par des organes d'ancrage/de levage de type APP, APF, etc., il convient de vérifier le non-entrechoquement de parois extérieures. La vérification est à effectuer dans la direction mobilisant sa faible inertie de flexion. Dès lors, dans cette direction, la raideur à la flexion des organes de connexion ne sont plus négligeables.

La vérification s'explicite sous l'équation suivante :

$$\frac{E_{d,E}}{k_{E,i}} < \Delta_{adm}$$

où :

- Δ_{adm}=5 mm : déplacement admissible de la paroi extérieure
- $k_{E,i}$: raideur des ancres porteuses en situation d'actions sismiques

NOTA 1:
Pour tenir compte d'un état fissuré sous actions sismiques, il sera tenu compte forfaitairement d'une réduction de 60% : $k_{E,i} = 0{,}4 \cdot k_i$

- $E_{d,E}$: effort afférent à un connecteur en situation d'actions sismiques :

[1] *Lorsqu'il y a lieu de considérer une surépaisseur moyenne de la paroi extérieure liée à l'aspect architectonique du panneau (matrice, faux joints), il convient d'en tenir compte dans les calculs.*

$$E_{d,E} = k_{ampli} \cdot b_2 \cdot S_{aff} \cdot \rho_c \cdot g$$

Avec :

- k_{ampli} *:* coef. d'amplification des forces de pesanteur liée à l'action sismique ;
- b_2 *:* épaisseur de la paroi extérieure ($b_2 = 7\text{cm}$) ;
- S_{aff} *:* surface afférente à un connecteur ($S_{aff} = 0{,}25\ \text{m}^2$) *;*
- ρ_c : masse volumique du béton armé ($\rho_c = 2{,}5\text{t/m}^3$) ;
- g *:* accélération de la pesanteur ($g \approx 10\text{m/s}^2$) ;

De plus, la capacité résistante au cisaillement d'un organe de connexion est assurée lorsque l'inéquation

NOTA 2 : Les tableaux de l'Annexe 3 donnent les surfaces amissibles de panneau, compte-tenu de la situation sismique, du type d'ancres porteuses mises en œuvre, de l'épaisseur d'isolant (pour une paroi extérieure de 7 cm)

2.3.4. Conception de l'isolant

2.3.4.1. Isolation thermique

La résistance thermique du système « BETOMUR® RTh Coffré » est estimée au moyen des règles R-Bat. Cette dernière prend en compte les ponts thermiques ponctuels réalisés par le système de connexion SM2i®.

Le système permet d'obtenir des résistances thermiques comprises entre $3 \leq R \leq 12\ m^2.K.W^{-1}$ en fonction essentiellement de l'épaisseur et de la nature de l'isolant.

Un exemple de calcul est donné en Annexe 1.

2.3.4.2. Isolation acoustique

Sous réserve d'une étude ou d'un résultat expérimental, l'indice d'affaiblissement est obtenu en appliquant la loi masse à la partie structurelle, considérée comme homogène de ce point de vue.

Il est considéré que le « BETOMUR® RTh Coffré » permet d'obtenir la valeur d'affaiblissement minimale de 30 dB exigée par la réglementation.

2.4. Conditions de stockage et de transport

2.4.1. Généralités

D'une manière générale, l'entreprise assurant la pose des panneaux devra se référer au guide de pose du « BETOMUR® RTh Coffré » pour s'assurer des bonnes conditions de réception et de stockage des éléments.

Le guide de pose sera automatiquement fourni à la première livraison, et transmis sur simple demande.

2.4.2. Prescriptions concernant la manutention des panneaux

La manutention des BETOMUR® RTh Coffré se fait uniquement par les ancres porteuses mises en œuvre à la préfabrication.

Dans le cas d'utilisation de système d'ancrage constitué d'ancres plates, ou dans le cas de panneaux avec une géométrie particulière, la manutention devra se faire à l'aide d'un palonnier spécifique, fourni par SORIBA.

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 par les ancres de levage. En aucun cas la manutention ne peut s'effectuer par d'autres armatures.

2.4.3. Prescriptions concernant le transport et stockage des panneaux

Les panneaux BETOMUR® RTh Coffrés sont transportés verticalement à l'aide de remorques porte préfa de type Faymonville ou équivalent.

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

Les panneaux sont chargés sur des palettes spécifiques.

Afin que le déchargement d'un élément ne compromette pas la stabilité du reste du chargement, les panneaux sont arrimés au support de manière indépendante les uns des autres.

Les liaisons individuelles de maintien de chaque panneau sont retirées lorsque le panneau est repris par la grue.

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.

Le transport et le stockage à plat sont limités aux panneaux de surface maximale 7,5 m².

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

2.5. Disposition de mise en œuvre

2.5.1. Généralités

L'entreprise SORIBA n'assure pas le déchargement des panneaux sur chantier, ni la pose des éléments.

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 pour s'assurer des bonnes conditions de mises en œuvre des éléments.

La mise en œuvre du procédé « BETOMUR® RTh Coffré » 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 dans cet Avis Technique ; elles nécessitent en outre de l'entreprise de mise en œuvre des précautions particulières et un entraînement des équipes de montage.

Le titulaire de l'Avis fournira aux entreprises un Cahier des charges de montage et mettra à leur disposition, sur leur demande, des possibilités de formation du personnel.

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

2.5.2. Pose des éléments

Les éléments « BETOMUR® RTh Coffré » sont systématiquement livrés sur chants, et munis d'estrope permettant une mise en œuvre aisée.

2.5.2.1. « BETOMUR® RTh Coffré » de hauteur <3,71 m

Dans le cas de panneaux livrés dans le sens de pose, les éléments repris par les estropes pourront être directement mis en œuvre sans intervention complémentaire, conformément au guide de pose.

2.5.2.2. « BETOMUR® RTh Coffré » de hauteur > 3,71 m

Dans le cas de panneaux dont la hauteur est supérieure à 3,71 m, ceux-ci devront être retournés sur chantier à l'aide d'un basculeur.

Cet équipement pourra être mis à disposition de l'entreprise en charge de la pose par SORIBA.

L'entreprise assurant la pose devra se référer au guide de pose du « BETOMUR® RTh Coffré », et particulièrement au chapitre relatif au retournement des panneaux.

2.5.2.3. Calage des éléments

Le calage des éléments s'effectue sur la paroi intérieure, la paroi extérieure étant suspendue via les ancres porteuses à la paroi intérieure.

Dans le cas d'un calage sur la paroi extérieure, il conviendra de retirer les cales avant traitement des joints afin de garantir la libre dilatation de la paroi extérieure.

2.5.3. Stabilité en phase provisoire

En phase provisoire, la stabilité des panneaux se fera à l'aide d'étais tirant-poussant, à la charge de l'entreprise de pose.

Ces étais tirant-poussant seront fixés au « BETOMUR® RTh Coffré » à l'aide des douilles d'étaiement prévues à la préfabrication.

2.5.4. Tolérance de pose du BETOMUR® RTh Coffré

La tolérance de pose d'un panneau est de +5/-5 mm.

Le joint nominal entre panneau est de 15 mm, et ne devra pas être inférieur à 10 mm.

2.5.5. Bétonnage

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

2.5.5.1. Hauteur de chute de béton

La hauteur maximale H_{max} de chute du béton de remplissage du noyau des « BETOMUR® RTh Coffré » n'excèdera pas 3,00 m quelle que soit l'épaisseur du noyau (cf. NF P 18-504).

Pour les panneaux de grande hauteur ne permettant pas de respecter la hauteur H_{max}, il conviendra alors :

- De faire plonger le tube souple, ou un tube plongeur – si l'épaisseur du noyau le permet – de manière à respecter H_{max}
- De réaliser des trémies de bétonnage (réservations dans la paroi intérieure du « BETOMUR® RTh Coffré ») à une hauteur de 3,00 m et espacées de 3,80 m,
- De couler à l'aide d'une pompe à béton, et d'un tube souple.

2.5.5.2. Vitesse de bétonnage

La vitesse de bétonnage est limitée à 0,85 $m.h^{-1}$, suivant les conditions prévues à l'Annexe B informative de la norme NF EN 14992.

2.6. Traitement des joints

2.6.1. Généralités

D'une manière générale, tout ouvrage ou prestation de corps secondaire – notamment menuiserie extérieure, étanchéité, etc. – devra impérativement s'étancher sur le voile en béton armé.

Les produits de traitement des joints seront mis en œuvre conformément aux prescriptions des cahiers des charges des fournisseurs.

La paroi étant librement dilatable, cette dernière est susceptible de se dilater ou se rétracter en fonction de la température. Les matériaux mis en œuvre devront être capable de supporter les déformations induits par la dilatation/rétractation.

2.6.2. Murs courants en susperstructure

2.6.2.1. Paroi extérieure

La mise en place d'un joint tant horizontalement que verticalement est nécessaire.

Le traitement du joint se fera à l'aide d'un joint souple de type élastomère, hydro-gonflant ou de type JD de chez Couvraneuf.

À l'intersection entre joints horizontaux et verticaux, il sera mis en œuvre un complément d'étanchéité par bande collée formant bavette de rejet d'eau, pour empêcher les infiltrations et la stagnation d'eau au droit de l'isolant. À cette même intersection, un orifice au droit du joint devra être réalisé afin que les eaux présentes à l'intérieure du complexe puissent s'évacuer.

Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.6.2.2. Paroi intérieure

En phase provisoire, un joint pré-comprimé doit être mis en place au droit des de la paroi intérieure tant horizontalement que verticalement, pour éviter les fuites de laitance lors du bétonnage du noyau.

En phase définitive, les joints peuvent être traités ou laissés brut, suivant les exigences.

Les schémas sont donnés en Annexe 5.

2.6.3. Murs courants en infrastructure

2.6.3.1. Paroi extérieure

2.6.3.1.1. Cas des murs enterrés hors locaux nobles

Dans le cas de panneaux enterrés de hauteur inférieure à 1 m, le traitement des joints devra se faire à l'aide d'un joint souple de type élastomère, et la mise en place d'un complexe drainant sur la face verticale enterré, et d'un drain horizontal en pied de mur raccordé à une évacuation.

La paroi extérieure ne sera pas fractionnée au niveau supérieur de la partie enterrée.

2.6.3.2. Paroi intérieure

La paroi intérieure sera traitée de la même manière que les murs en superstructure précédemment décrit.

2.6.4. Durabilité / Entretien

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

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

Moyennant les précautions de fabrication et de mise en œuvre, et les limitations précisées dans le Cahier des Prescriptions Techniques, 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.

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. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.8.1. Conditions de fabrication

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.

2.8.1.1. Fabrication des MCII

Elle s'effectue dans l'usine SORIBA à CHALLANS (85300), sur des tables de préfabrication horizontales, métalliques (dimensions 10 m x 4 m), intégrées dans un process de production type carrousel. Les faces vues des deux parois sont coulées en fond de moule.

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

A. Bétonnage de la paroi extérieure équipée de l'isolant, des connecteurs, des ancres porteuses et du système de levage **(Étape 1)**.
B. Bétonnage de la paroi intérieure et retournement de la paroi extérieure **(Étape 2)**.
C. Décoffrage du mur **(Étape 3)**

Étape 1 :

1. Mise en place de l'agent de démoulage.
2. Après nettoyage des équipements, mise en place des différentes joues de coffrage métalliques, à l'aide d'un robot de coffrage. La fixation des joues se fait par l'intermédiaire d'aimants.
3. Mise en place des encadrements de baies ou portes si nécessaire.
4. Mise en place des accessoires (gaines et boitiers électriques, etc.)
5. Mise en place de l'armature de la paroi, avec interposition de cales distancier pour garantir l'enrobage.
6. Positionnement du système d'ancrage/de levage
7. Mise en œuvre du béton et secouage/vibration de la table.
8. Mise en place de l'isolant pré-percé et des connecteurs. Vibration des connecteurs pour assurer leur bon enrobage dans le béton.
9. Stockage de la table dans une zone de maturation (étuve).

Étape 2 :

10. Renouvellement des points 1 à 5 pour la paroi intérieure.
11. Retournement de la paroi extérieure sur la paroi intérieure à l'aide d'un portique de retournement.
12. Stockage de la table dans la zone de maturation (étuve).

Étape 3 :

13. Décoffrage à l'aide de ponts roulants et table de relevage
14. Traitement éventuel de la face extérieure du mur.
15. Mise sur parc dans des racks.

2.8.1.2. Fabrication des ancres

Les ancres cylindriques métalliques et les plats métalliques sont fabriqués par la société TOLEA à l'usine de Challans (85)

2.8.1.3. Fabrication des connecteurs

Les connecteurs « Profil Pultrudé PUL 962 » sont fabriqués par la société GDP à l'usine de Montendre (17) par pultrusion.

2.8.2. Contrôle de fabrication

2.8.2.1. Contrôle interne

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

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

Chaque panneau est muni d'une fiche suiveuse d'identification qui précise que le contrôle a été réalisé.

Les éléments qui nécessitent des réparations ou des ragréages sont placés dans la zone de réparation et font l'objet d'une fiche de non-conformité.

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

2.8.3. Contrôles de fabrication et certifications

La fabrication du procédé BETOMUR RTH COFFRE fait l'objet d'un autocontrôle de la fabrication, surveillé par le CSTB et reconnu par une certification NF (selon le référentiel NF 548). Les BETOMUR RTH COFFRE bénéficiant d'un certificat valide sont identifiables par la présence du logo NF suivi du numéro de marquage apposé sur eux.

2.8.3.1. Contrôle des bétons

La résistance du béton des parois à la première manutention est de 20 MPa sur cube 10 x 10 x 10 cm.

La résistance minimale du béton des parois à la livraison sur site est $f_{ck,min}$ = 35 MPa obtenue sur éprouvettes cubiques de type 10x10x10 cm.

2.8.3.2. Contrôle des cylindres

Le fournisseur de cylindre procède à un contrôle qualité lors de la production des cylindres portant sur :

- Tôles : Certificat Matière CCPU à chaque livraison de matière première référencé dans l'ERP du sous-traitant (nuance, limite d'élasticité, …)
- Lancement en production avec un numéro de lot (désignation des pièces + identifiant matière)
- Découpe + roulage : contrôle des 5 première pièces (dimensionnel) et contrôle d'une pièce sur 20
- Soudure : personnel qualifiée (cf. attestation de formation du personnel et du mode opératoire de soudage)

2.8.3.3. Contrôle des connecteurs

Lors de la production des connecteurs, la société GDP procède à un contrôle qualité portant sur :

- Quantité de fibre (densité) : vérification au démarrage et une vérification toutes les 4 h
- Résine : vérification à chaque formulation soit toutes les 4 à 6 h (densité, viscosité)

Jonc : contrôle dimensionnel de longueur toutes les 4h ; contrôle dimensionnel de diamètre toutes les 8 h.

2.8.3.4. Contrôle de qualité

La totalité de la production est soumis à chaque stade de la fabrication à un autocontrôle défini pour chaque poste dans le manuel qualité des usines, et avant expédition.

Le contrôle porte sur les dimensions et la rectitude des voiles préfabriqués, les dimensions et la localisation des réservations, la nature et la quantité des armatures sur la base des plans établis par le bureau d'étude de SORIBA, la nature et le positionnement des organes de liaison (ancres porteuses et connecteurs).

2.8.3.5. Contrôle des armatures et raidisseurs

En complément des prescriptions du §2.2.2.3 en cas d'utilisation de coupleurs d'armatures, ces derniers doivent bénéficier d'un certificat délivré par l'AFCAB.

Les raidisseurs font l'objet d'une certification de type NF AFCAB ou reconnue équivalente.

Les critères de certification des raidisseurs sont les suivants :

- Hauteur déclarée avec une tolérance de +1/-3 mm sur cette dimension, conformément à la norme NF A 35-028
- Résistance des soudures : ce contrôle porte sur la résistance des soudures du treillis aux aciers longitudinaux inférieurs et supérieurs et doit être conforme aux prescriptions de l'article 7.3.3 de la norme NF A 35-028. La valeur des résistances au cisaillement à vérifier doit être conforme à la norme NF A 35-028 ou aux Avis Techniques mentionnés dans le certificat du raidisseur. Cette vérification sera faite statistiquement, dans un fractile de 5 % et un niveau de confiance de 90%. De plus, la valeur minimale de chaque force de cisaillement mesurée F_{wi} des points de soudure dans un treillis raidisseur, ne doit pas être inférieure à 0,9 fois la valeur déclarée.

Les résistances de ces soudures doivent être supérieures aux valeurs données, en fonction des diamètres des diagonales, dans le tableau ci-après :

∅ des Diagonales (sinusoïdes)	Résistance de la soudure R [daN]	Force disponible à la limite élastique F_S [daN]
∅ 5 mm	980	982
∅ 6 mm	1180	1414

2.8.3.6. Isolants

Les panneaux d'isolant utilisés pour la fabrication du procédé PRECOFFRE TH font l'objet d'une certification ACERMI.

2.8.4. Caractéristiques dimensionnelles et tolérances

Le « BETOMUR® RTh Coffré » possède les caractéristiques suivantes :

- Poids propre de 350 kg/m² minimal hors noyau (suivant quantité armatures, surépaisseur béton, etc.)
- Dimensions : 3,71 m x 9,85 m
- Épaisseur du complexe total : 50 cm maxi
- Épaisseur d'isolant : de 100 mm à 270 mm

Les tolérances dimensionnelles sont conformes aux prescriptions du référentiel NF 548.

La tolérance sur les enrobages d'armatures : +5/-5 mm.

2.8.5. Finitions et aspect

2.8.5.1. Planéité

La tolérance sur la planéité est conforme aux prescriptions du référentiel NF 548.

2.8.5.2. Texture

La texture est de type E(3) suivant la NF P 18-503, soit une surface de bulle < à 0,3 cm² et un bullage réparti à < 2%.

2.8.5.3. Teinte

L'homogénéité de la teinte des parois n'est pas un paramètre qui peut faire l'objet d'une garantie.

2.8.5.4. Parement architectonique

Dans certains cas, la face extérieure de la paroi extérieure reçoit un traitement avant ou après durcissement (béton désactivé, béton acidé, béton matricé, polissage, sablage, négatifs, faux joints, etc).

- Béton désactivé : Application d'un retardateur de prise en fond de moule, puis lavage à l'eau sous pression après démoulage pour laisser apparaître en parement les granulats du béton ;
- Béton acidé : Désactivation de la surface à l'aide d'un acide pour laisser apparaître en parement les sables entrant dans la composition du béton ;
- Béton poli : Après démoulage et maturité du béton, polissage par passes successives, à l'aide de meules adaptées pour laisser apparaître en parement les granulats du béton, tranchés et polis ;
- Béton sablé : Après démoulage et maturité du béton, projection d'un matériau abrasif sous pression (sable siliceux, corindon, …) afin de « casser » la paroi du béton et laisser apparaître en parement les sables contenus dans le béton ;
- Béton matricé : La paroi coffrante est constituée d'une matrice en élastomère structurée permettant de reproduire des motifs sur le parement de la paroi extérieure.

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

2.9. Conditions d'exploitation du procédé

La conception et le dimensionnement de la structure est réalisé par le Bureau d'Etude Technique Structure du chantier, sur la base d'un calepinage établi par SORIBA.

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

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

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

Le dimensionnement de la peau extérieure dilatable, des organes de liaison et des raidisseurs est réalisé par SORIBA ou par un bureau d'étude désigné par SORIBA.

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

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.

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 et les organes de liaison ont été dimensionnés.

La fabrication des éléments est réalisée par le titulaire dans son usine de fabrication située à Challans.

La mise en œuvre des éléments « BETOMUR® RTh Coffré » est faite par l'entreprise de Gros Œuvre.

Une assistance technique peut être faite par SORIBA sur demande spécifique de l'entreprise de pose.

2.10. Mention des justificatifs

2.10.1. Résultats Expérimentaux

Les valeurs indiquées dans le dossier technique sont issues d'essais expérimentaux, dont les résultats sont consignés dans les documents suivants :

- Rapport d'essais statiques du SM2i®, indice D du 06 mai 2016.
  - Essais quasi-statique d'arrachement sur connecteurs ;
  - Essais quasi-statique de flexion par cisaillement sur connecteurs ;
  - Essais quasi-statique de flexion par cisaillement sur système d'ancrage en phase définitive.
- Appréciation de laboratoire (CSTB) AL16-175_V3

2.10.2.Références chantiers

Chantier	Ville	Type	Surface (m²)	Bureau de contrôle	Année
Collège de Lacanau	Lacanau (33)	Établissement scolaire	1 796	ALPES CONTRÔLES (Bruges)	2012
IFMTS	Rezé (44)	Établissement scolaire	1 900	DEKRA (St Herblain)	2013
EHPAD	Coron (49)	*Hôpital*	*2 100*	SOCOTEC (Cholet)	2014
Collège	La Mothe Achard (85)	*Établissement scolaire*	*2 300*	APAVE (La Roche/Yon)	2015
Résidence La Quantinière	Trélazé (49)	*Logements collectifs*	*2 300*	APAVE (Beaucouzé)	2015
Bureaux Tonalité 2	Tours (37)	*Bureaux*	*1500*	Qualiconsult	2020
Collège Jacques ELLUL	Bordeaux (33)	*Établissement scolaire*	*2000*	BTP Consultants	2020
Groupe scolaire (RDc)	Vouneuil sous Biard (37)	*Établissement scolaire*	*550*	SOCOTEC	2020
Centre aquatique (RDc)	Challans (85)	*E.R.P*	*2714*	SOCOTEC	2020

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

Annexe 1 : Isolation thermique

Exemple de calcul de résistance thermique

Parois constituées de couches thermiques homogènes

$$U_c = \frac{1}{R_{si}+R+R_{se}} \text{ en } W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Avec $R = \frac{e_i}{\lambda_i}$

$$R = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} = \frac{(b_1 + b_n)}{\lambda_{béton}} + \frac{b_{iso}}{\lambda_{iso}} + \frac{b_2}{\lambda_2}$$

Application numérique :

$$R_{si} = 0{,}13 \ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

$$R = \frac{(0{,}07+0{,}13)}{2{,}0} + \frac{0{,}12}{0{,}023} + \frac{0{,}07}{2{,}0} = 0{,}1 + 5{,}217 + 0{,}035 = 5{,}35 \ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

$$R_{se} = 0{,}04 \ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

soit

$$U_c = \frac{1}{0{,}13 + 5{,}35 + 0{,}04} = 0{,}181 \ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

$$R_T = \frac{1}{U_c} = \frac{1}{0{,}181} = 5{,}52 \ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

Détermination des coefficients ponctuels de pont thermique intégré

L'impact des ponts thermiques dus aux fixations ponctuelles est calculé à partir de la formule suivante [3] :

$$\Delta U_f = 0{,}8 \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_i} \cdot \left(\frac{R_i}{R_T}\right)^2$$

où

- λ_f est la conductivité thermique de la fixation, en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
- n_f est le nombre de fixations par mètre carré
- A_f est l'aire de la section droite de la fixation, en m^2
- d_i est la longueur de la fixation qui traverse la couche isolante, en mètre
- R_i est la résistance thermique de la couche isolante traversée par les fixations, en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
- R_T est la résistance thermique totale de la paroi, en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

$$\Delta U_f = 0{,}8 \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_i} \cdot \left(\frac{R_i}{R_T}\right)^2$$

$$\Delta U_f = 0{,}8 \cdot 0{,}0157 \cdot \left(\frac{5{,}35}{5{,}52}\right)^2 = 0{,}0118 \ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Les pertes thermiques liées aux ponts thermiques intégrés induits par le système d'ancrage et de connexion est de l'ordre de 6,5 %.

Détermination de la résistance de la paroi en partie courante

$$U_p = U_c - \Delta U_f = 0{,}193 \ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

$$R_{paroi} = \frac{1}{U_P} = \frac{1}{0{,}193} = 5{,}18 \ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

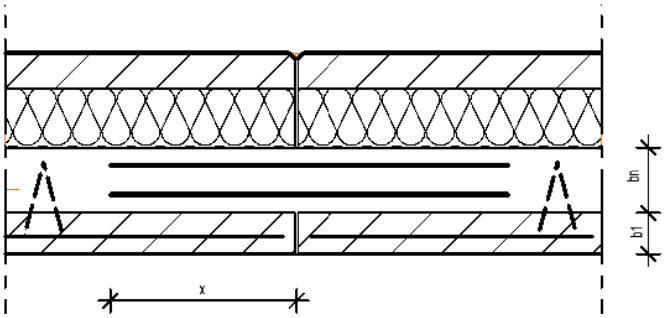
Annexe 2 : Vérification au cisaillement d'un joint vertical

Il est proposé ci-après un cas courant de panneau pour lequel aucune armature en partie courante n'est disposée dans le noyau coulé en place.

Désignations	Paramètres	Valeurs	Unités
Épaisseur de la paroi intérieure	b_1	7	cm
Épaisseur du noyau coulé en place	b_n	13	cm
Épaisseur du complexe isolant	b_i	16	cm
Épaisseur de la paroi extérieure librement dilatable	b_2	7	cm
Résistance à la compression du béton coulé in situ	$f_{ck,n}$	25	MPa

- **Schéma de rupture considéré :**

NOTA : Le schéma de rupture, représenté en rouge ci-après, est à adopter au ferraillage disposé ; se référer au paragraphe 5.1.1.4.2 du document « Processus de justification d'un mur à coffrage et isolant intégrés » - Annexe 5



- **Hypothèses** :
- La section d'armatures d'éclissage disposée respecte le pourcentage minimal de l'article 9.6.3 de la norme NF EN 1992-1-1 (0,1% AC) à savoir ici : U HA8 e=20cm (2,51 cm²/ml) - $f_{yk} = 500\ MPa$ - Classe B
- Le pourcentage d'armature d'éclissage $\rho = 0{,}2\%$ ($\rho = \frac{A_S}{b_n \cdot 100}$)
- La longueur $x = 25\ cm$ correspondant à la longueur d'ancrage $l_{bd} = 0{,}7 \cdot l_{b,rqd}$ (terminé par une boucle)

- **Résultats** :

ELU : situation d'actions durables

Désignation	Paramètre	Valeur	Unités	Formule
Coefficient partiel pris sur le matériau béton	γ_c	1,5	–	
Coefficient partiel pris sur l'acier	γ_s	1,15		
Résistance de calcul à la traction du béton du noyau	$f_{ctd,n}$	1,2	MPa	$\frac{f_{ctk0.05,n}}{\gamma_c}$
Au droit du joint : Coefficient de cohésion Coefficient de frottement	 c μ	 0,5 0,9	 - -	
Effort tranchant résistant du béton seul au droit du joint *(par mètre linéaire)*	$V_{Rd,c}$	152	kN/ml	$0{,}35 \cdot \frac{f_{ck,n}^{\frac{1}{2}}}{\gamma_c} \cdot b_n$
Effort tranchant résistant au droit du joint compte tenu des armatures d'éclissage disposées *(par mètre linéaire)*	$V_{Rd,s}$	180	kN/ml	$(c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot \mu \cdot f_{yd}) \cdot b_n$ $\leq \left(0{,}3 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right) \cdot \frac{f_{ck,n}}{\gamma_c}\right) \cdot b_n$
À l'interface noyau/peau intérieure Coefficient de cohésion	 c	 0,2	 -	
À l'interface cisaillée pleine masse *au-delà de l'ancrage des armatures d'éclissage du joint* Coefficient de cohésion Coefficient de frottement	 c' μ	 0,5 0,6	 - -	

Effort tranchant résistant de l'interface cisaillée *(par mètre linéaire)*, selon le schéma de rupture défini sur le schéma ci-dessus	$V_{Rd,cis}$	138	kN/ml	$c' \cdot f_{ctd,n} \cdot b_n + c \cdot f_{ctd,n} \cdot x$

Effort tranchant résistant retenu *(par mètre linéaire)*	$\boldsymbol{V_{Rd}}$	**138**	$\boldsymbol{kN/ml}$	$\mathbf{min}\ (\boldsymbol{V_{Rd,s}}\ ;\boldsymbol{V_{Rd,cis}})$

ELU : situation d'actions sismiques

Désignation	Paramètre	Valeur	Unités	Formule
Coefficient partiel pris sur le matériau béton	γ_c	1,5	–	
Coefficient partiel pris sur l'acier	γ_s	1,15		
Résistance de calcul à la traction du béton du noyau	$f_{ctd,n}$	1,38	MPa	$\frac{f_{ctk0.05,n}}{\gamma_c}$
Au droit du joint : Coefficient de cohésion Coefficient de frottement	 c μ	 0,25 0,9	 - -	
Effort tranchant résistant du béton seul au droit du joint *(par mètre linéaire)*	$V_{Rd,c}$	175	kN/ml	$0{,}35 \cdot \frac{f_{ck,n}^{\frac{1}{2}}}{\gamma_c} \cdot b_n$
Effort tranchant résistant au droit du joint compte tenu des armatures d'éclissage disposées *(par mètre linéaire)*	$V_{Rd,s}$	162	kN/ml	$(c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot \mu \cdot f_{yd}) \cdot b_n$ $\leq \left(0{,}3 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right) \cdot \frac{f_{ck,n}}{\gamma_c}\right) \cdot b_n$
À l'interface noyau/peau intérieure coefficient de cohésion	 c	 0,1	 -	
À l'interface cisaillée pleine masse *au-delà de l'ancrage des armatures d'éclissage du joint* Coefficient de cohésion Coefficient de frottement	 c' μ	 0,25 0,6	 - -	
Effort tranchant résistant de l'interface cisaillée *(par mètre linéaire)*, selon le schéma de rupture défini sur le schéma ci-dessus	$V_{Rd,cis}$	79	kN/ml	$c' \cdot f_{ctd,n} \cdot b_n + c \cdot f_{ctd,n} \cdot x$

Effort tranchant résistant retenu *(par mètre linéaire)*	$\boldsymbol{V_{Rd}}$	**79**	$\boldsymbol{kN/ml}$	$\mathbf{min}\ (\boldsymbol{V_{Rd,s}}\ ;\boldsymbol{V_{Rd,cis}})$

Annexe 3 : Surfaces maximales des panneaux en situation sismique

Cas de 2xAPC160

2xAPC160 - bi=100mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,47	37,47	27,97
III	37,47	37,47	32,86	23,22
IV	37,47	37,47	28,57	19,92

2xAPC160 - b_i=140mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,47	32,44	23,42
III	37,47	37,31	27,37	19,44
IV	37,47	32,44	23,92	16,67

2xAPC160 - b_i=180mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	33,00	26,00	19,21
III	36,46	29,91	21,94	16,34
IV	34,68	26,00	19,56	14,23

2xAPC160 - b_i=220mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	36,35	29,84	23,51	17,37
III	32,98	27,05	19,84	14,78
IV	31,37	23,51	17,69	12,87

2xAPC160 - b_i=270mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	32,49	26,68	20,22	13,77
III	29,48	24,18	16,17	11,43
IV	28,04	20,22	14,06	9,80

Pour les épaisseurs d'isolant intermédiaires, le tableau à considérer est celui correspondant à l'épaisseur supérieure.

Cas de 3xAPC160

3xAPC160 - b_i=100mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,47	37,47	37,47
III	37,47	37,47	37,47	34,83
IV	37,47	37,47	37,47	29,87

3xAPC160 - b_i=140mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,47	37,47	32,93
III	37,47	37,47	36,72	28,66
IV	37,47	37,47	33,43	25,01

3xAPC160 - b_i=180mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,47	33,55	26,39
III	37,47	37,07	29,43	22,97
IV	37,47	33,55	26,80	20,30

3xAPC160 - b_i=220mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	35,78	30,34	23,87
III	37,47	33,53	26,62	20,78
IV	36,91	30,34	24,24	18,36

3xAPC160 - b_i=270mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	35,94	31,98	27,12	20,65
III	34,01	29,97	23,79	17,15
IV	33,00	27,12	21,10	14,70

Pour les épaisseurs d'isolant intermédiaires, le tableau à considérer est celui correspondant à l'épaisseur supérieure.

Cas de 2xAPC160 + 1xADP150

2xAPC160 + 1xADP150 - b_i=100mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,47	37,47	35,47
III	37,47	37,47	37,47	29,45
IV	37,47	37,47	36,24	25,26

2xAPC160 + 1xADP150 - b_i=140mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,47	37,47	29,98
III	37,47	37,47	33,72	25,67
IV	37,47	37,47	30,47	22,02

2xAPC160 + 1xADP150 - b_i=180mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	37,13	30,56	23,38
III	37,47	34,34	26,36	20,14
IV	37,47	30,56	23,77	17,67

2xAPC160 + 1xADP150 - b_i=220mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	37,47	33,99	28,12	21,62
III	36,58	31,51	24,33	18,65
IV	35,28	28,12	21,98	16,38

2xAPC160 + 1xADP150 - b_i=270mm

S_{tot} (m²)	Zone de sismicité			
Catégorie d'importance	2	3	4	5
II	34,74	30,00	24,68	17,51
III	32,37	27,74	20,58	14,54
IV	31,18	24,68	17,89	12,47

Pour les épaisseurs d'isolant intermédiaires, le tableau à considérer est celui correspondant à l'épaisseur supérieure.

Annexe 4 : Exemple de vérification d'une paroi extérieure – non exhaustif –

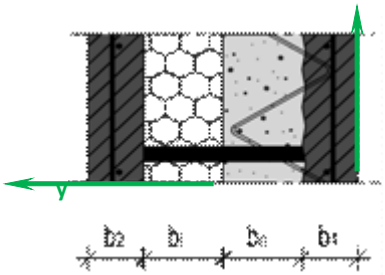
BÉTOMUR RTh Coffré - SORIBA

Chantier : -
Panneau n° **1**

▪ Données

▪ **Dimensions tranversales**

b_1	=	7	cm
b_n	=	13	cm
b_i	=	16	cm
b_2	=	7	cm
b_{tot}	=	43	cm

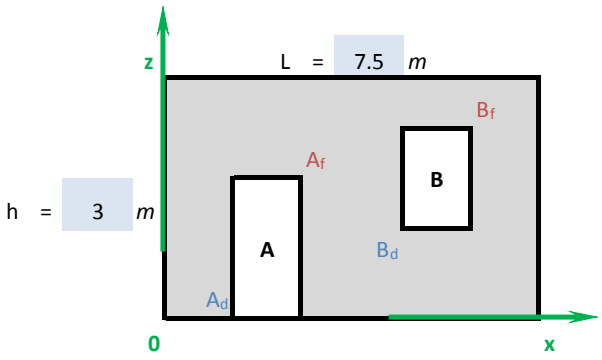


▪ **Caractéristiques des matériaux**

ρ_1	=	25	kN/m^3
ρ_n	=	25	kN/m^3
ρ_i	=	0.45	kN/m^3
ρ_2	=	25	kN/m^3

[1] peau intérieure ; [n] noyau coulé en place ; [i] isolant ; [2] peau extérieure

▪ **Dimensions en plan**



▪ ***Ouvertures***

Ouvertures	points		x	z
A		A_d	2.02	0
		A_f	3.02	2.04
B		B_d	4.43	1.5
		B_f	5.43	2.04

(x;z) en [m]

(x=0 ; y=0) si aucune ouverture

▪ Détails

- ***en plan***

	A	x_{CdG}	z_{CdG}	$S^*_{/0x}$	$S^*_{/0z}$
	$[m^2]$	[m]	[m]	$[m^3]$	$[m^3]$
- Panneau plein (hors ouvertures)	22.50	3.75	1.50	33.75	84.375
- Ouverture A	2.04	2.52	1.02	2.1	5.1
- Ouverture B	0.54	4.93	1.77	1.0	2.7
- Panneau réel (ouvertures comprises)	19.92	3.84	1.54	30.7134	76.572

- ***en profil***

		Poids surfacique	y_{CdG}	$M^*_{/0z}$
		$[kN/m^2]$	[cm]	[kN/m]
- Peau intérieure	[1]	1.750	3.50	0.061
- Noyau béton	[n]	3.250	13.50	0.439
- Isolant	[i]	0.072	28.00	0.020
- Peau extérieure	[2]	1.750	39.50	0.691
- Panneau		6.82	17.7574	1.211

▪ Caractéristiques

>> Poids surfacique panneau entier — avec noyau coulé : 6.82 kN/m^2
sans noyau coulé : 3.57 kN/m^2

>> Position du CdG panneau entier :

x_{CdG} = 3.84 *m*
y_{CdG} = 17.8 *cm*
z_{CdG} = 1.54 *m*

>> Poids surfacique peau extérieure : 1.75 kN/m^2

▪ Valeurs de calcul de résistance au cisaillement des organes d'ancrage

Type	***Référence***	***Nombre d'organes***	
Organe d'ancrage/de levage	APC-160	2	
Organe de connexion		4	/m²

ELU : situation d'actions durables

dans le plan

Cisaillement résistant de calcul $V_{Rd,stat}$ = 60.29 kN

Coefficient d'incertitude liée au poids-propre : γ_G = 1.35
Cisaillement vertical sollicitant un organe V_{Ed} = 23.53 kN ***1.35G***

VERIFICATION : ***1.35G*** **OK**

hors plan

Traction résistante de calcul $N_{Rd,stat}$ = 6.51 kN

Pression de base du vent 1 kN/m²
Coefficient de paroi sous le vent 0.5
Traction sollicitante de calcul V_{Ed} = 0.19 kN

VERIFICATION : ***1.5W*** **OK**

ELU : situation d'actions sismiques

Coefficient d'amplification des forces de pesanteur :	k_{ampli}	=	1.10		Zone 3 / Cat. II

dans le plan

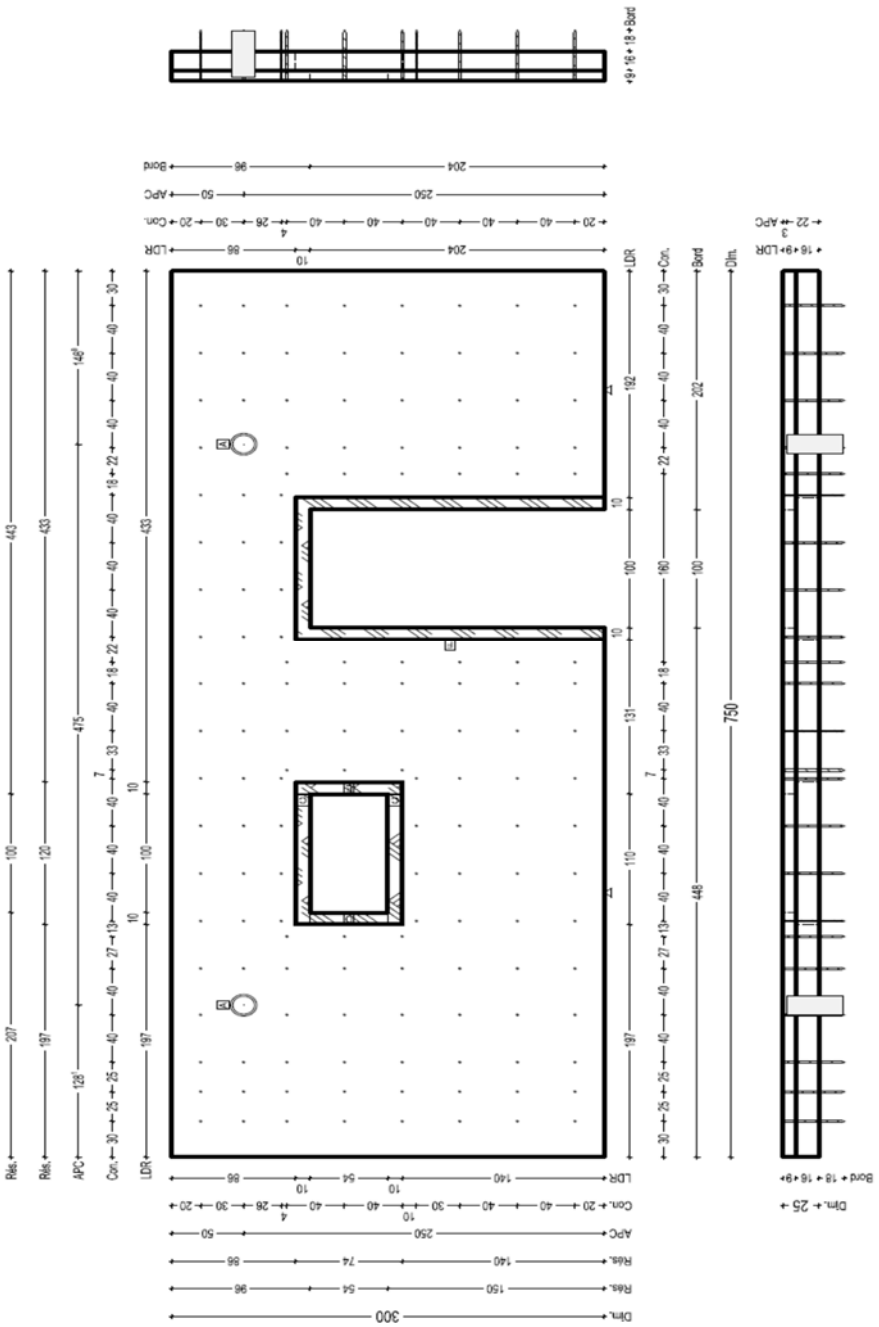
Cisaillement résistant de calcul	$V_{Rd,dyn}$	=	48.24	kN	
Cisaillement vertical sollicitant un organe	$V_{Ed,Ev}$	=	34.69	kN	$(1+0.9k_{ampli})G$
Cisaillement horizontal sollicitant un organe	$V_{Ed,Eh}$	=	19.17	kN	$(k_{ampli})G$
Cisaillement combiné (Newmark)	$V_{Ed,Ev}+0,3V_{Ed,Eh}$	=	40.44	kN	$(1+1.2k_{ampli})G$

VERIFICATION :	$(1+1.2k_{ampli})G$	OK

hors plan

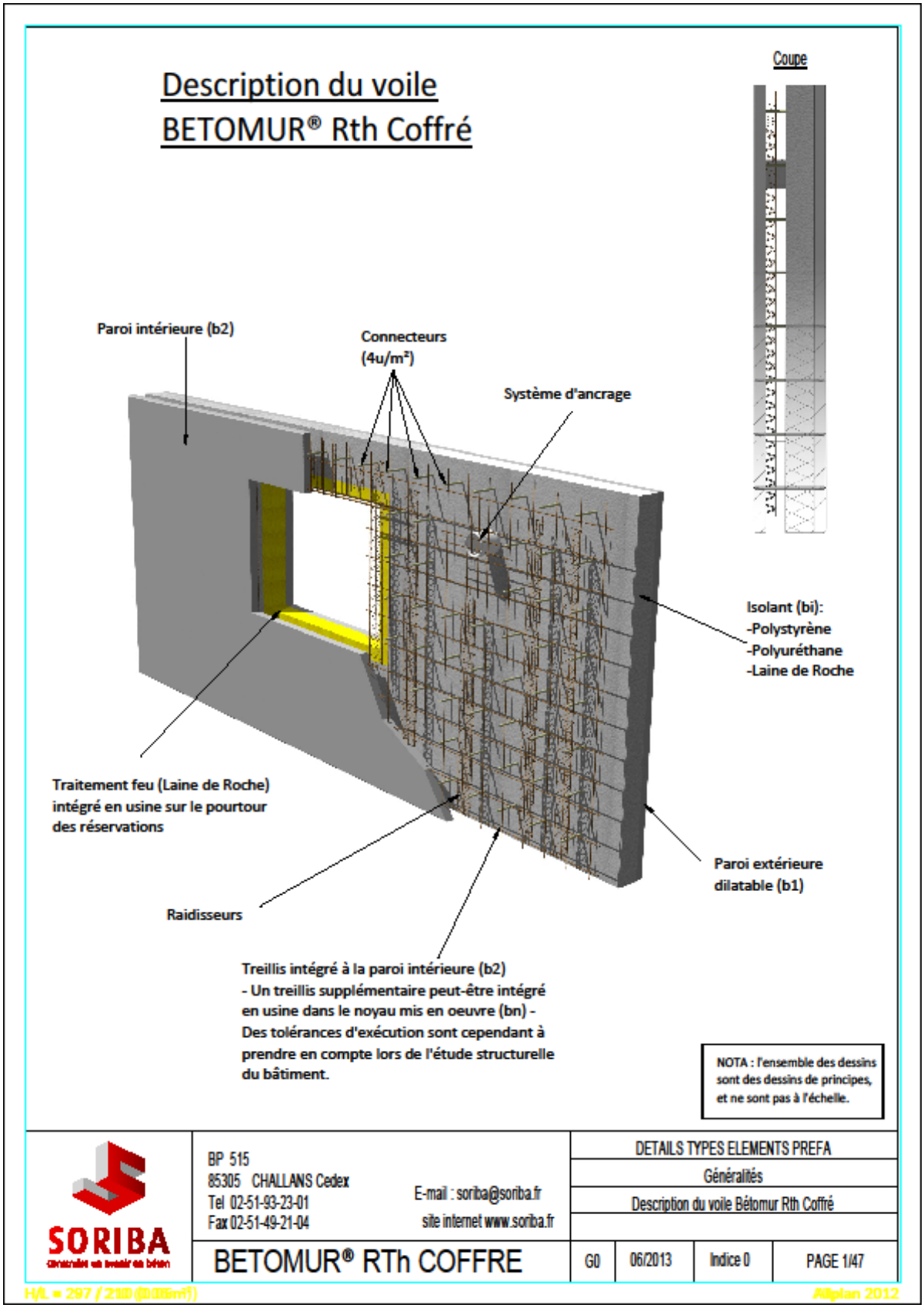
Traction résistante de calcul	$N_{Rd,dyn}$	=	5,50	kN	
Traction sollicitante de calcul	$N_{Ed,Eh}$	=	0.48	kN	$(k_{ampli})G$

VERIFICATION :	$(k_{ampli})G$	OK

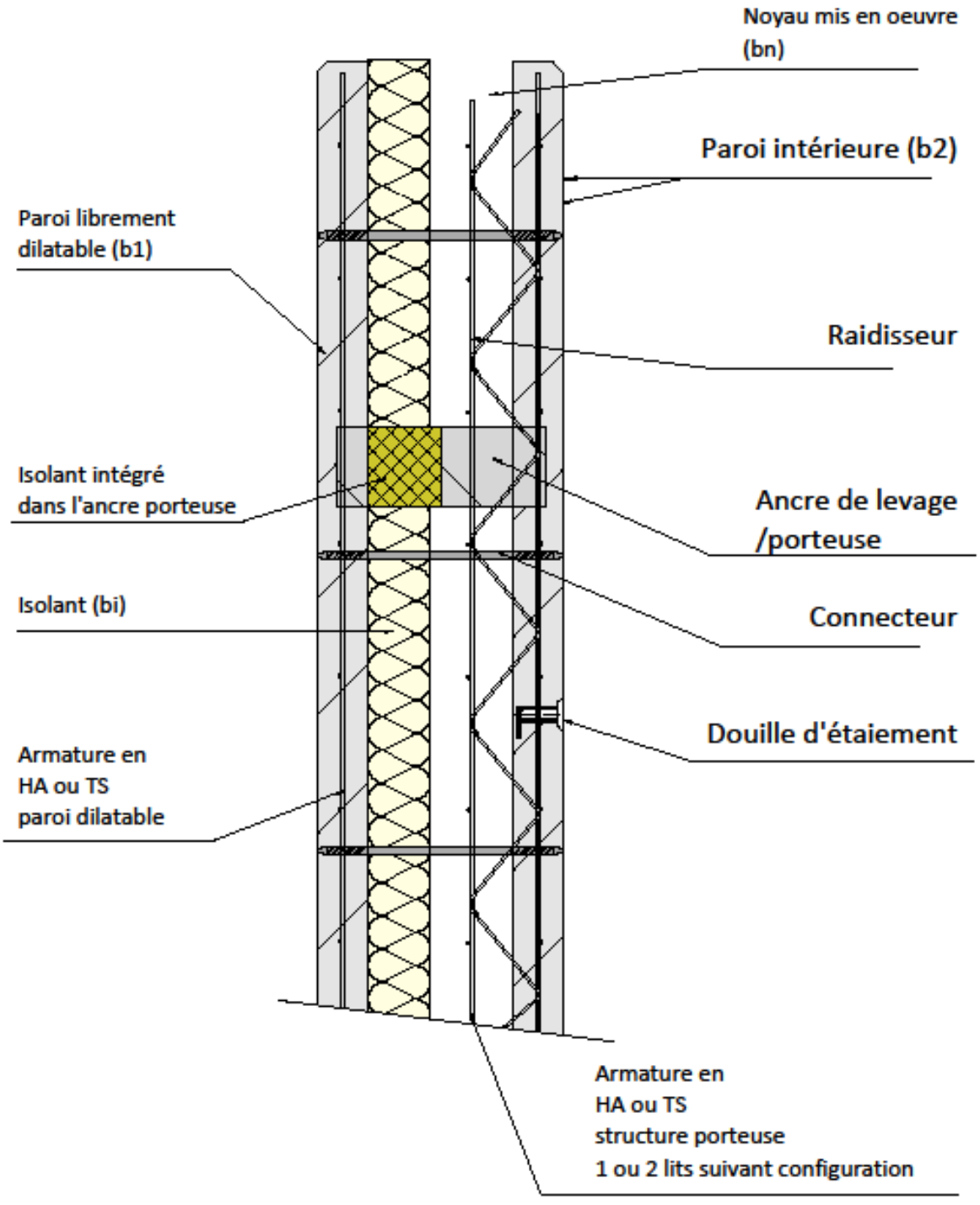


Annexe 5 : Schémas et détails type du BETOMUR® RTh Coffré

Les dessins ci-après sont des dessins de principes, et ne sont pas forcément à l'échelle.



Coupe sur BETOMUR Rth Coffré



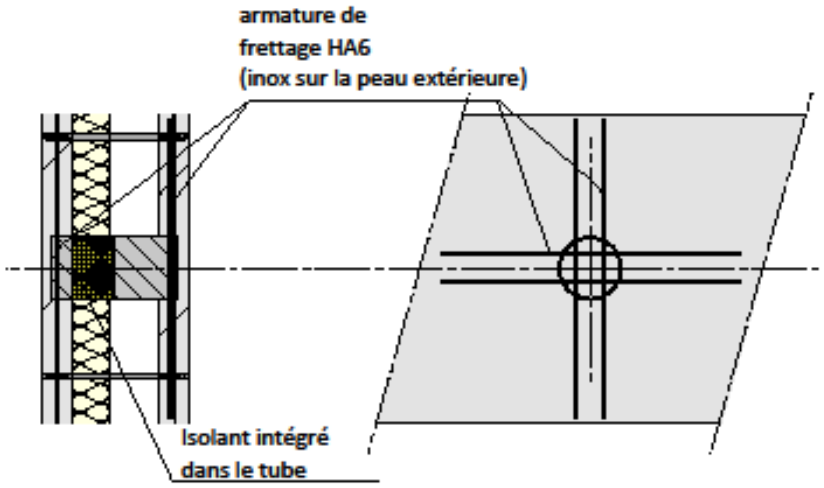
SORIBA
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Généralités
Coupe sur Bétomur Rth Coffré

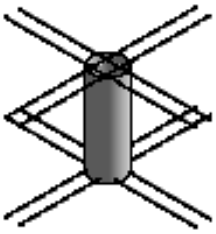
BETOMUR® RTh COFFRE | G1 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 2/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

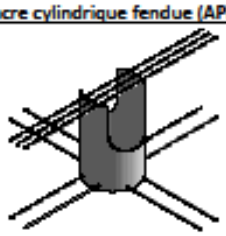
Détail sur Ancre Cylindrique



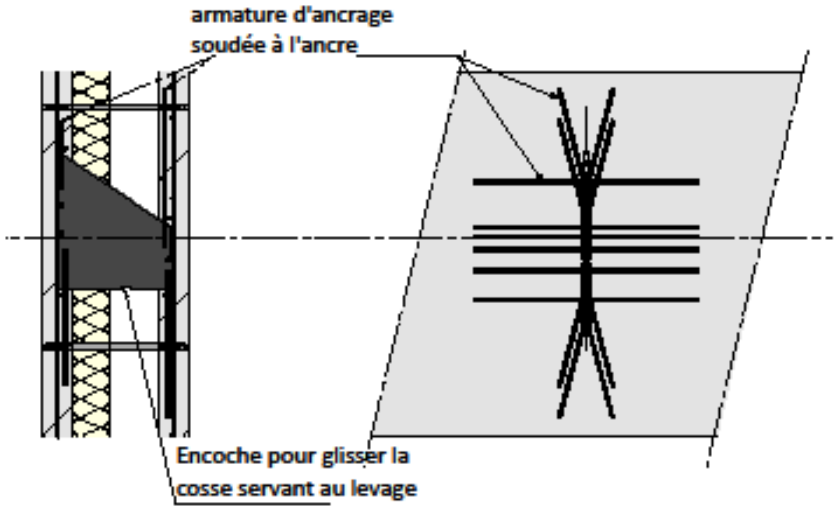
Ancre cylindrique (APC)



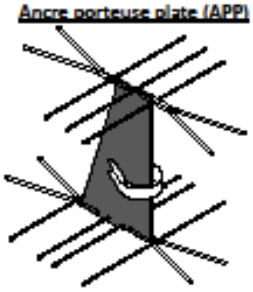
Ancre cylindrique fendue (APF)



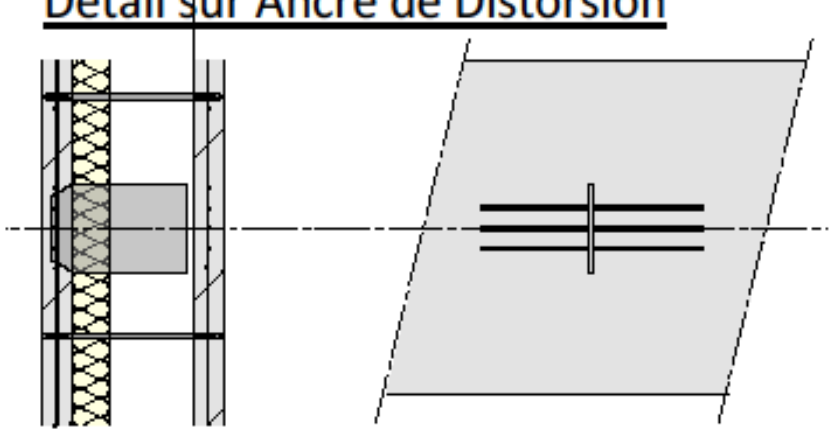
Détail sur Ancre Plate



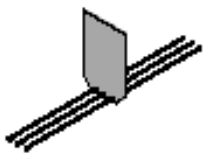
Ancre porteuse plate (APP)



Détail sur Ancre de Distorsion



Ancre de distorsion (ADP)



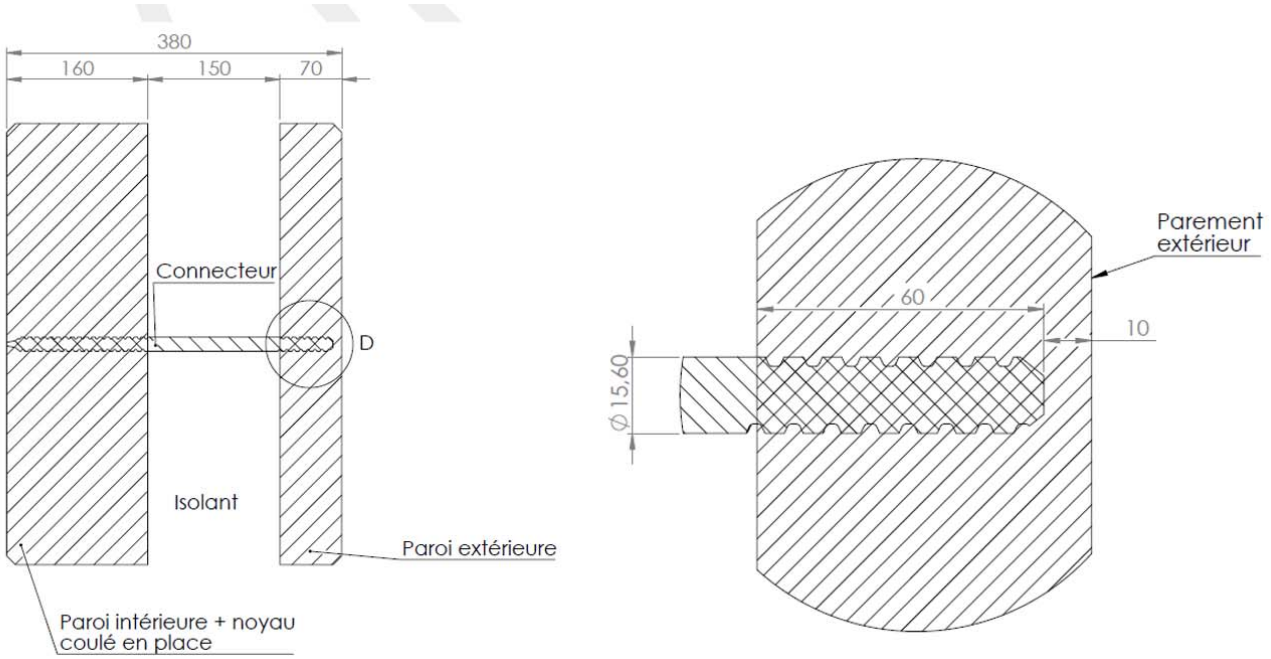
SORIBA
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

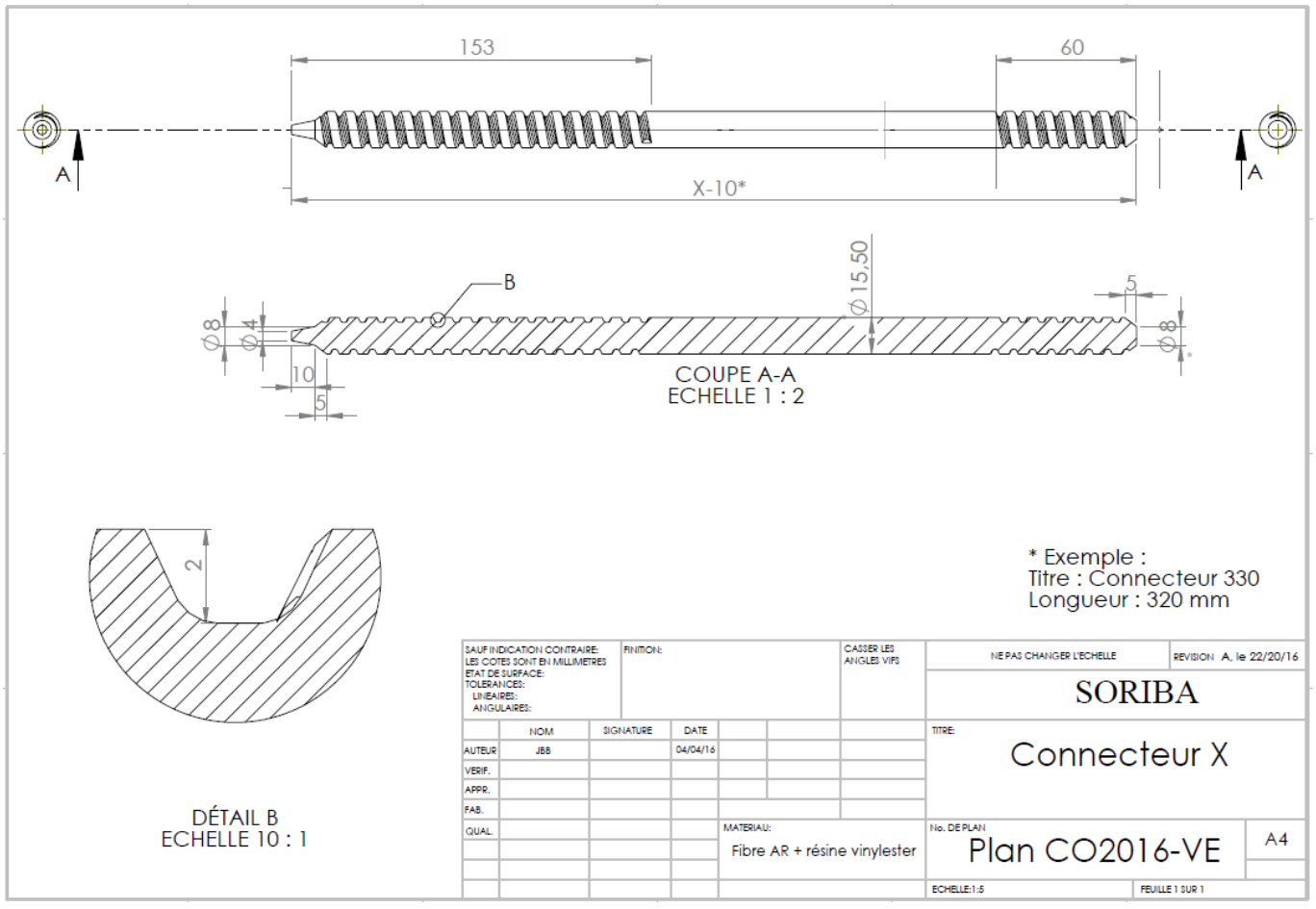
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Généralités
Ancres de Levage / Porteuses

BETOMUR® RTh COFFRE | AP_Rth | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 3/47

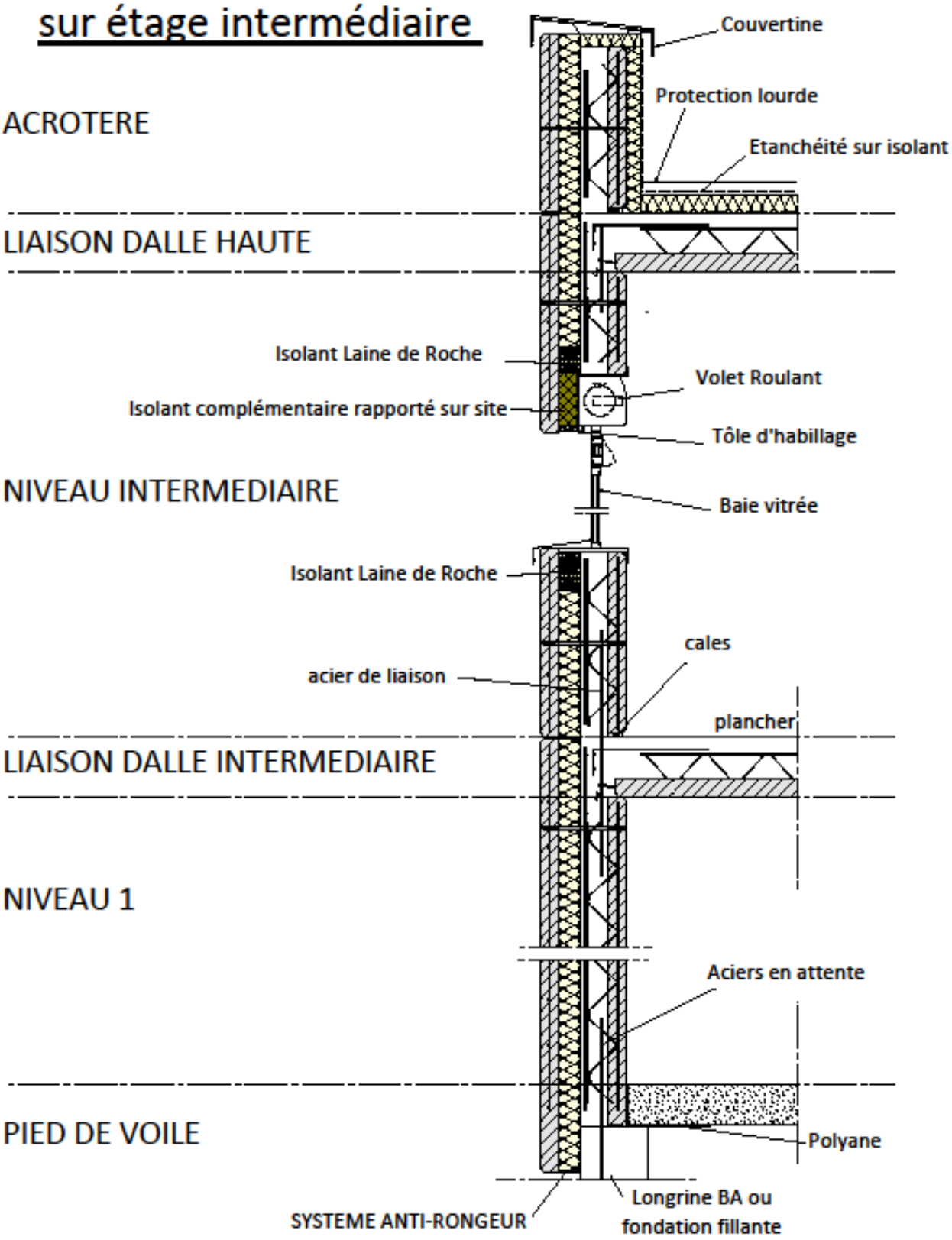
H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Figure 4 : Vue en coupe du connecteur composite en fibres de verre AR





Coupe Courante sur étage intermédiaire



SORIBA
Constructeur en travaux de béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Généralités
Coupe courante

BETOMUR® RTh COFFRE | G2 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 5/47

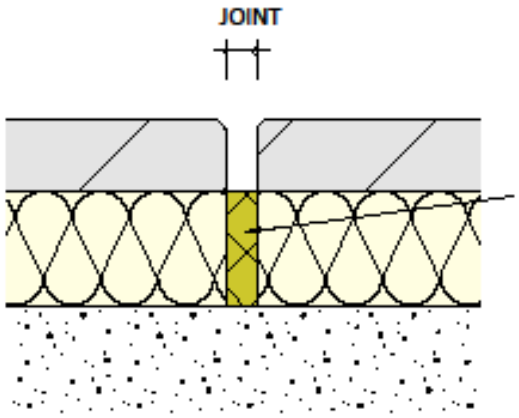
H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

CONTINUITE DE L'ISOLANT AU DROIT DU JOINT

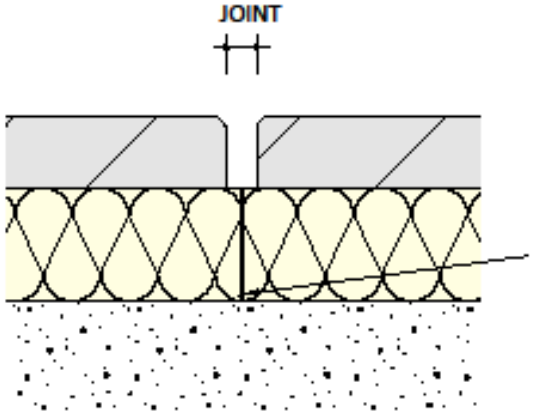
Joint vertical :

Solution J1



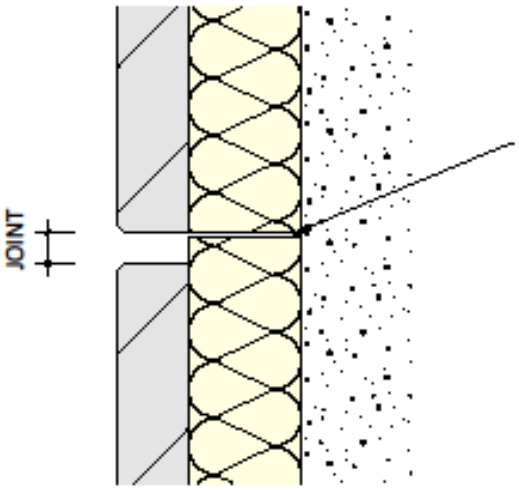
Isolant compressible rapporté à l'avancement de la pose sur chantier

Solution J2



Joint compressible posé sur chantier pour éviter les fuites de laitance

Joint horizontal :



Joint compressible posé sur chantier pour éviter les fuites de laitance

Traitement du joint :
voir la planche de détail correspondante

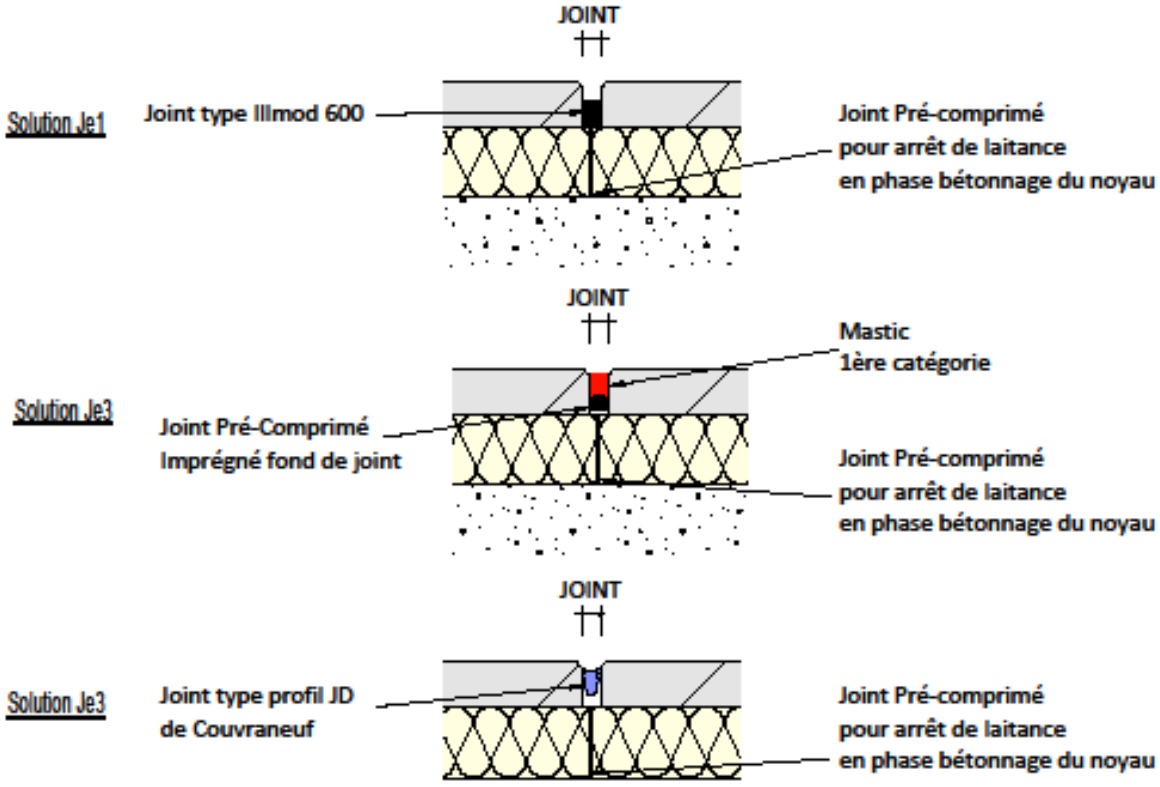
SORIBA
Construire en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Continuité de l'isolant au droit du joint

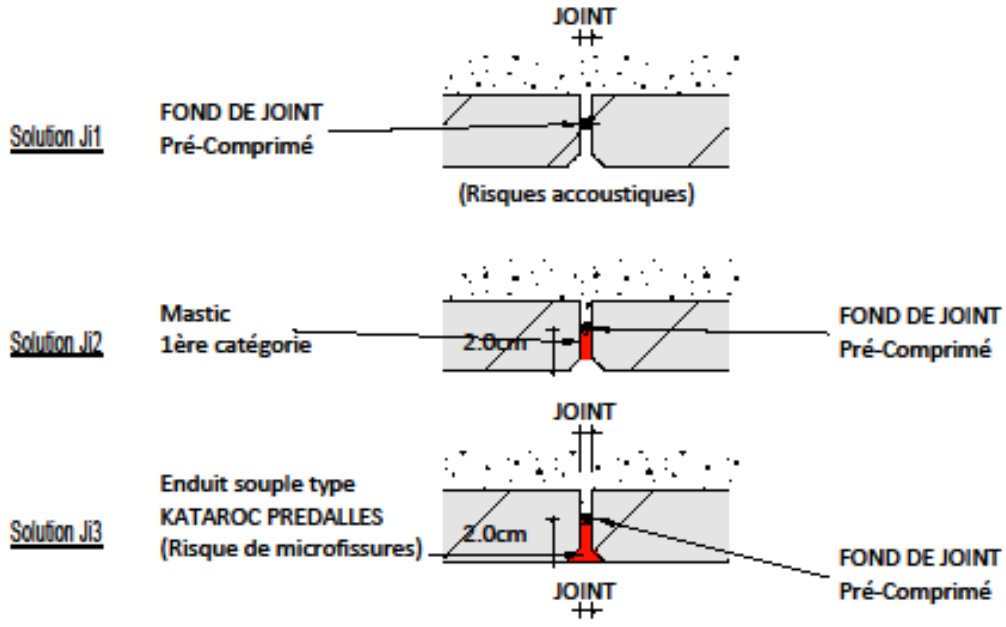
BETOMUR® RTh COFFRE | J0 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 6/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Traitement des joints face extérieure



Traitement des joints face intérieure



SORIBA
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

Traitement des joints verticaux

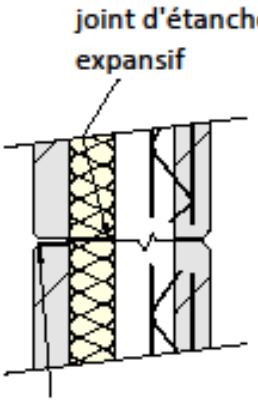
BETOMUR® RTh COFFRE | J1 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 7/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

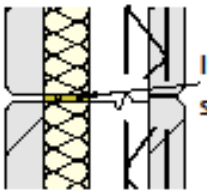
Allplan 2012

PRINCIPE ETANCHEITE HORIZONTALE SUR JOINT ENTRE PREFA - JOINTS REMPLIS -

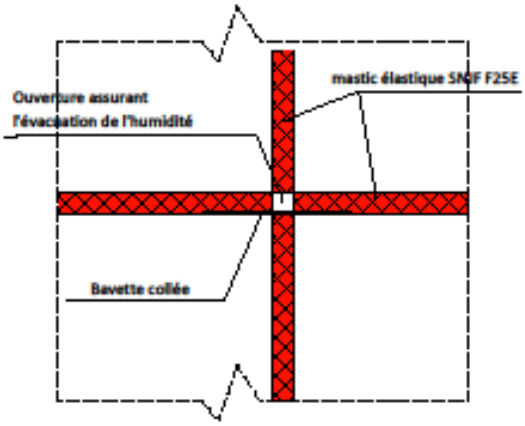
Coupe sur joint vertical



Coupe courante



Croisement de joint vertical - horizontal (élévation)



Chronologie de pose :

1) Pose du voile préfa
2) contrôle des dimensions de joints
3) Remplissage du mur
4) Pose de la bavette collée étanche type "Trembande"
5) Pose du voile supérieur
6) Remplissage des joints au mastic
7) vérification de la lumière d'évacuation au droit des croisements de joints H/V

SORIBA
Construire un avenir en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Traitement des joints horizontaux

BETOMUR® RTh COFFRE | Eh | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 8/47

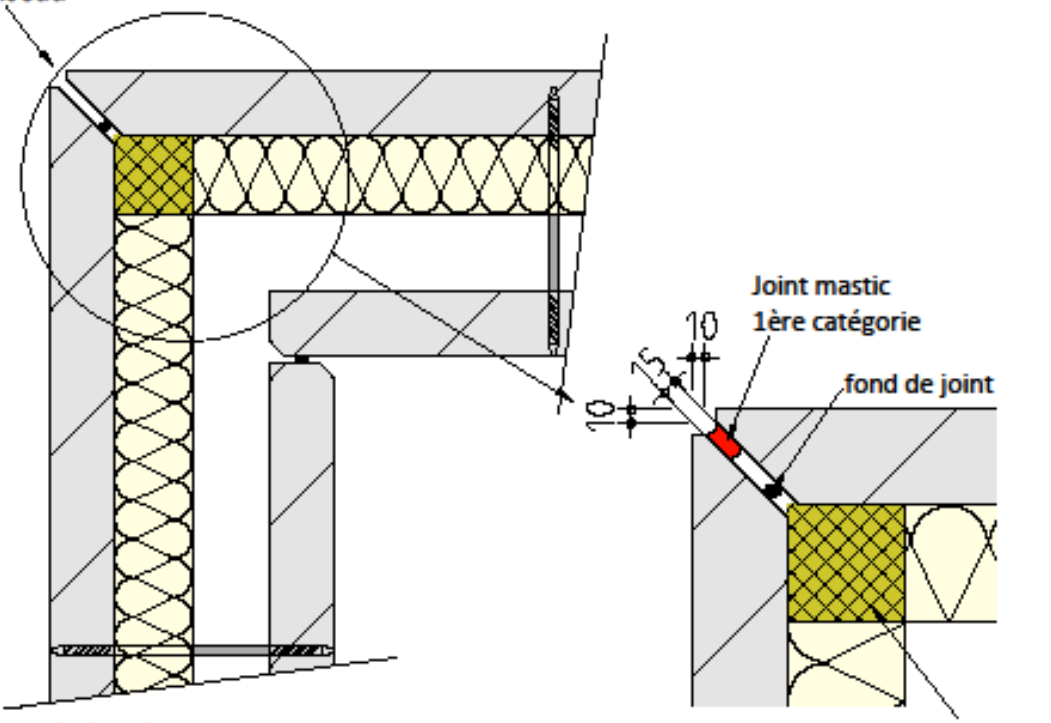
H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

Traitement des joints d'angle

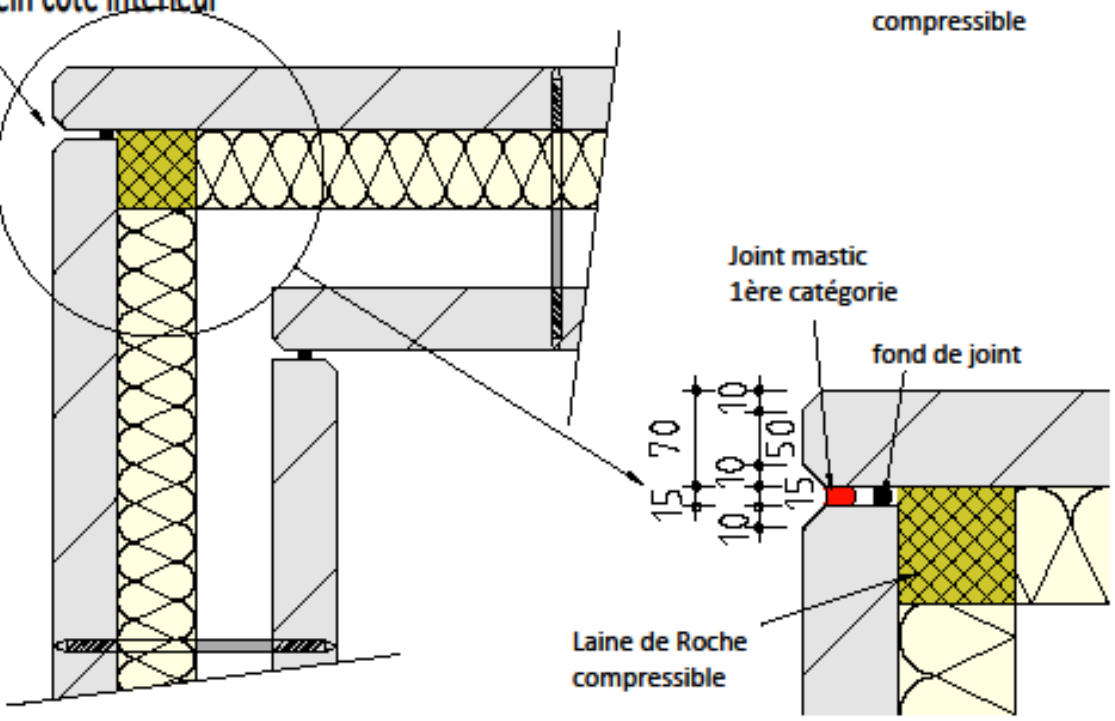
Bec d'oiseau

Solution A1



Chanfrein côté intérieur

Solution A2



SORIBA
Construire en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

Traitement des joints d'angle

BETOMUR® RTh COFFRE

A	06/2013	Indice 0	PAGE 9/47

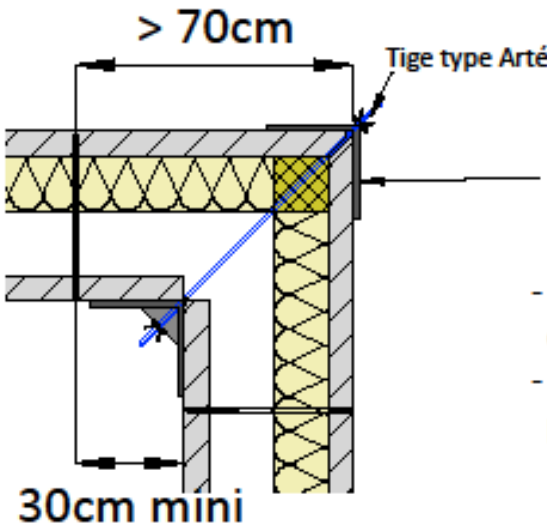
H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

Maintien des parois lors de la phase de bétonnage du noyau

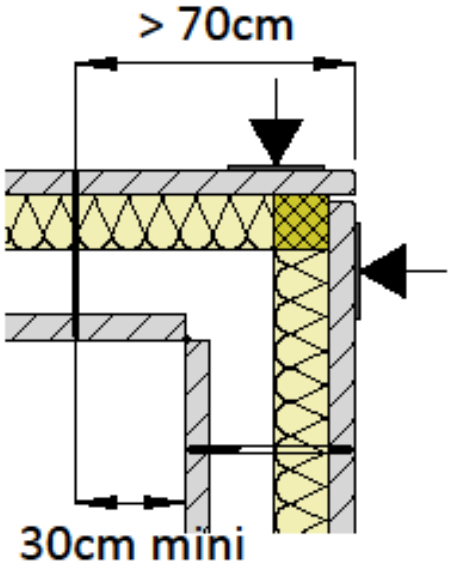
La peau extérieure est calculée pour reprendre une tenue en phase définitive sans accroche (connecteur) sur une longueur de 70cm max.
Afin de compenser les efforts lors du coulage du noyau, il est cependant nécessaire de maintenir la peau dilatable à l'aide d'une fixation provisoire.

Maintien de la peau par l'intérieur



- les peaux extérieures sont maintenues par une équerre à l'aide d'une tige type Artéon traversante.
- La tige métallique est placée dans le joint entre panneau.

Maintien de la peau par l'extérieur



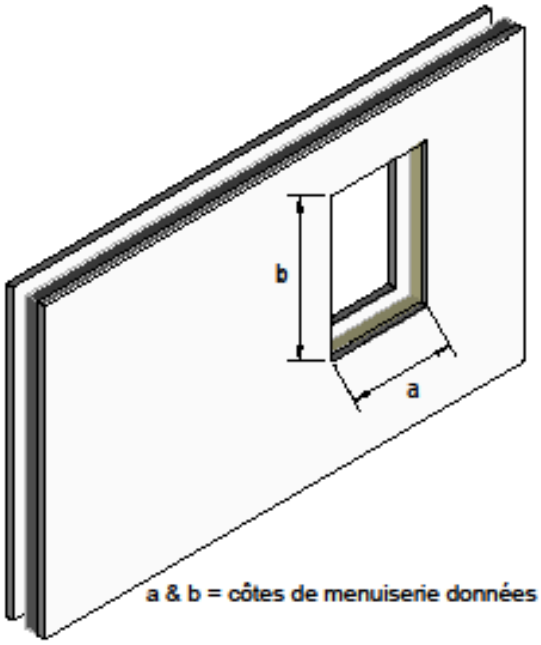
- les peaux extérieures sont maintenues par une fixation disposée à l'extérieur.
- Une cale en bois est disposée contre la peau afin de diffuser les efforts lors de la poussée du béton.

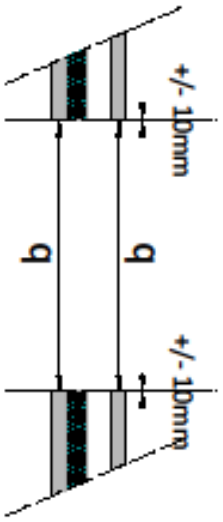
SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Principe de mise en oeuvre
Bétonnage des angles

Tolérance de placement des ouvertures entre paroi extérieure & intérieure (*)

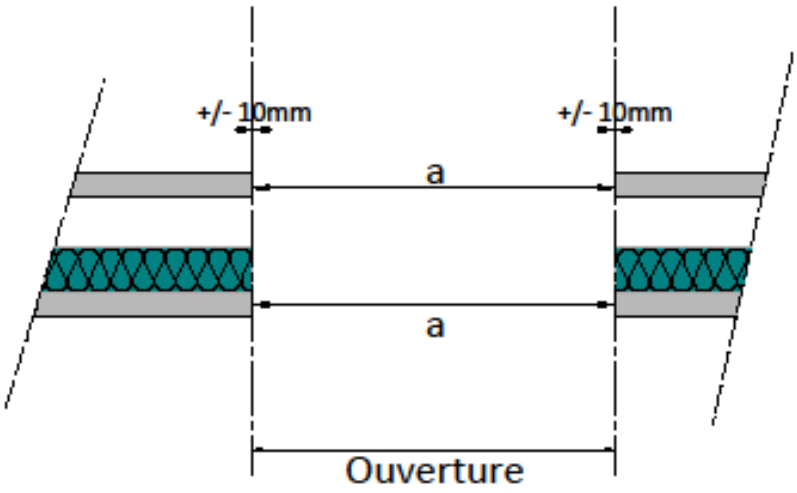
Coupe Verticale





a & b = côtes de menuiserie données par le menuisier

Coupe Horizontale



(*) Exemple donné dans le cas d'un alignement des peaux intérieures & extérieures

SORIBA
Constructeur en travaux de béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

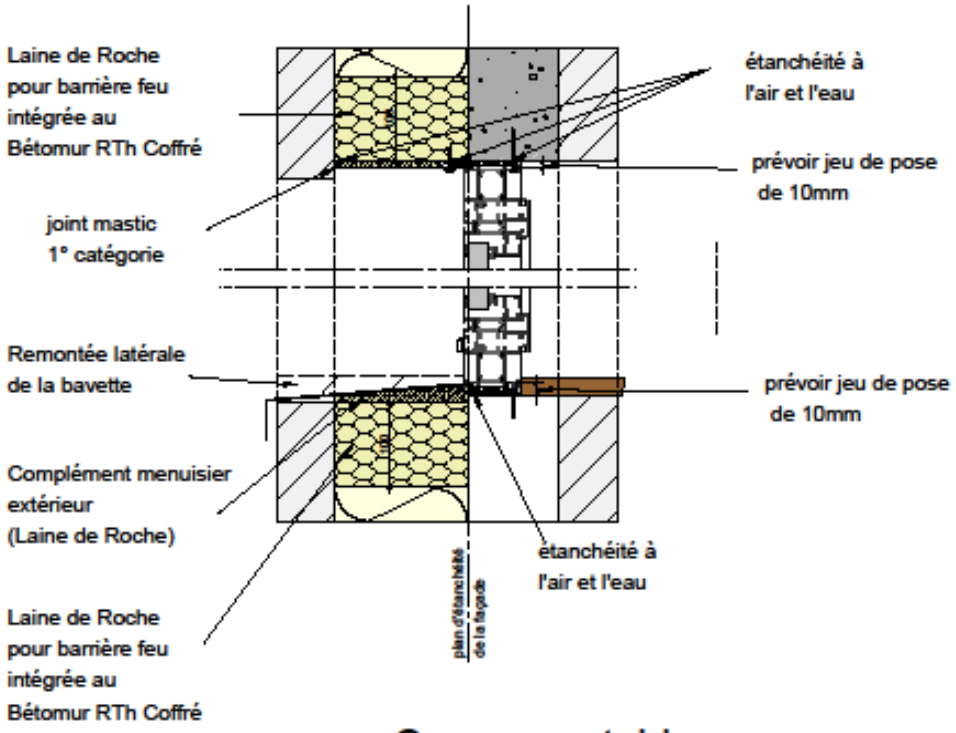
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Menuiserie
Tolérance d'éxécution

BETOMUR® RTh COFFRE | M0 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 11/47

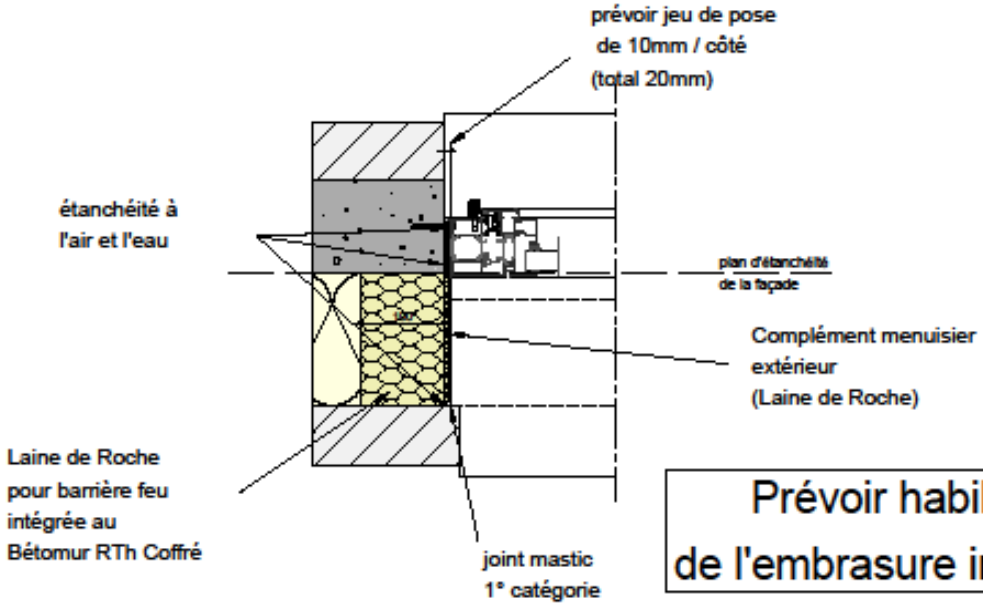
H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Pose en Tunnel sans pré-cadre

Coupe verticale



Coupe sur tableau



Prévoir habillage de l'embrasure intérieure

SORIBA
Construire en béton en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

Menuiserie

Pose en tunnel sans précadre

BETOMUR® RTh COFFRE

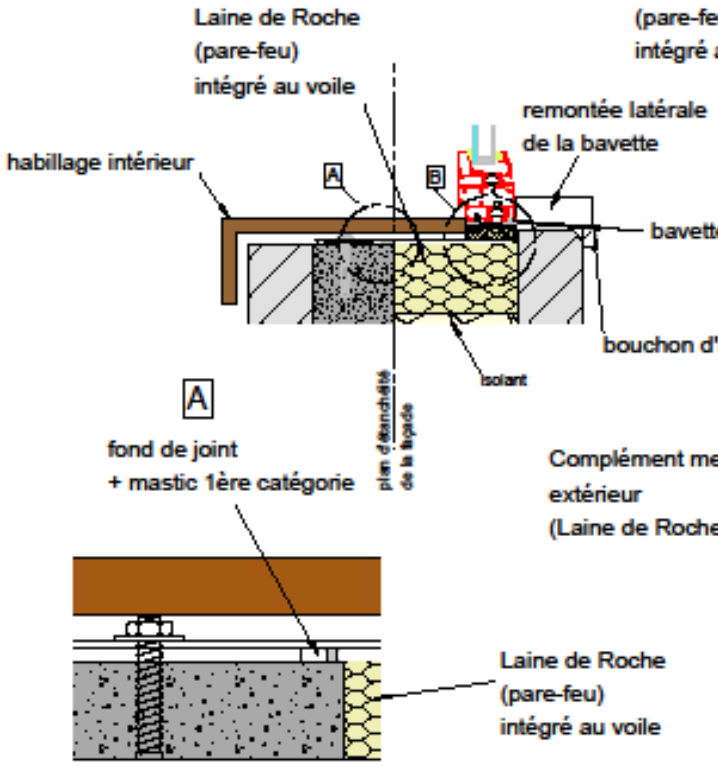
M1	06/2013	Indice 0	PAGE 12/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

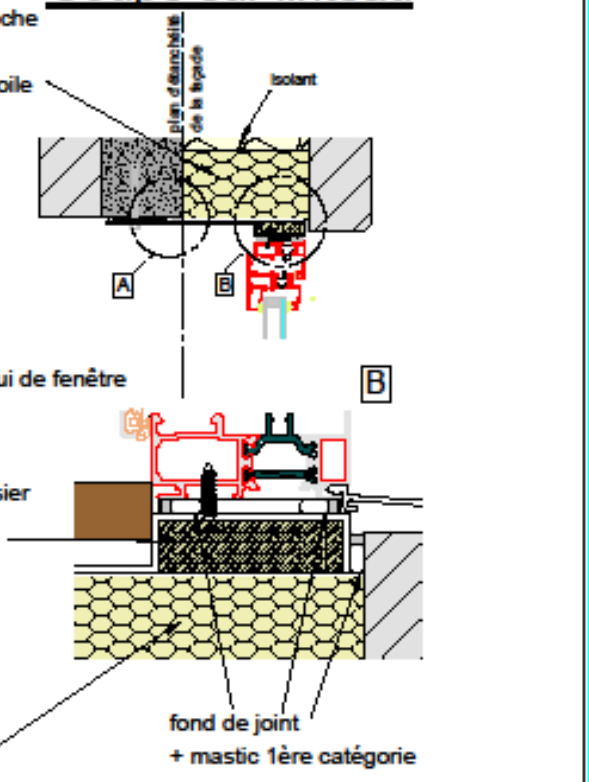
Allplan 2012

Pose en Tunel avec pré-cadre

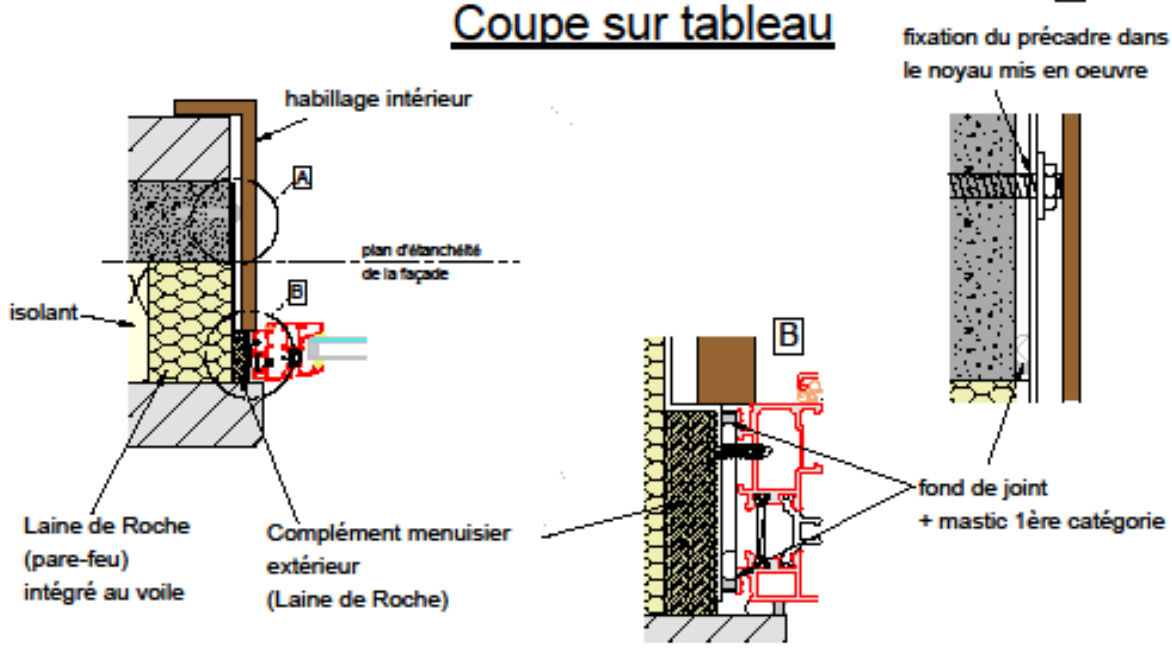
Coupe sur appui



Coupe sur linteau



Coupe sur tableau

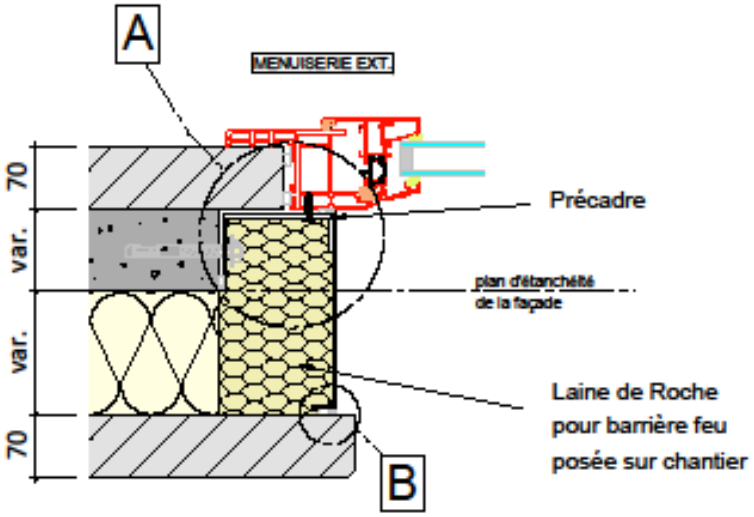


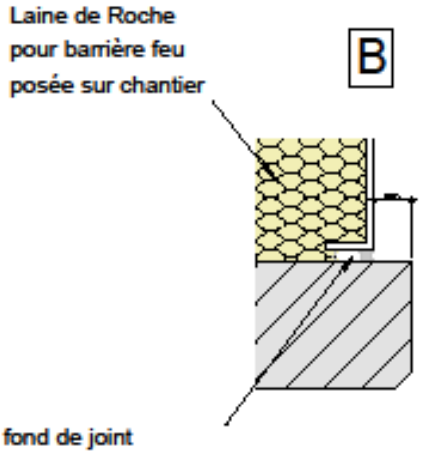
SORIBA	BP 515 85305 CHALLANS Cedex Tel 02-51-93-23-01 Fax 02-51-49-21-04 E-mail : soriba@soriba.fr site internet www.soriba.fr	DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA Menuiserie Pose en tunnel avec précadre			
	BETOMUR® RTh COFFRE	M2	06/2013	Indice 0	PAGE 13/47

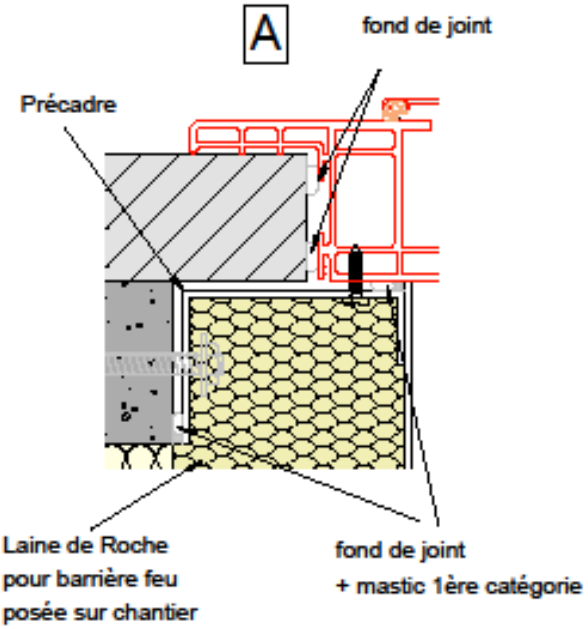
H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Pose en Applique - nu intérieur

Coupe sur tableau







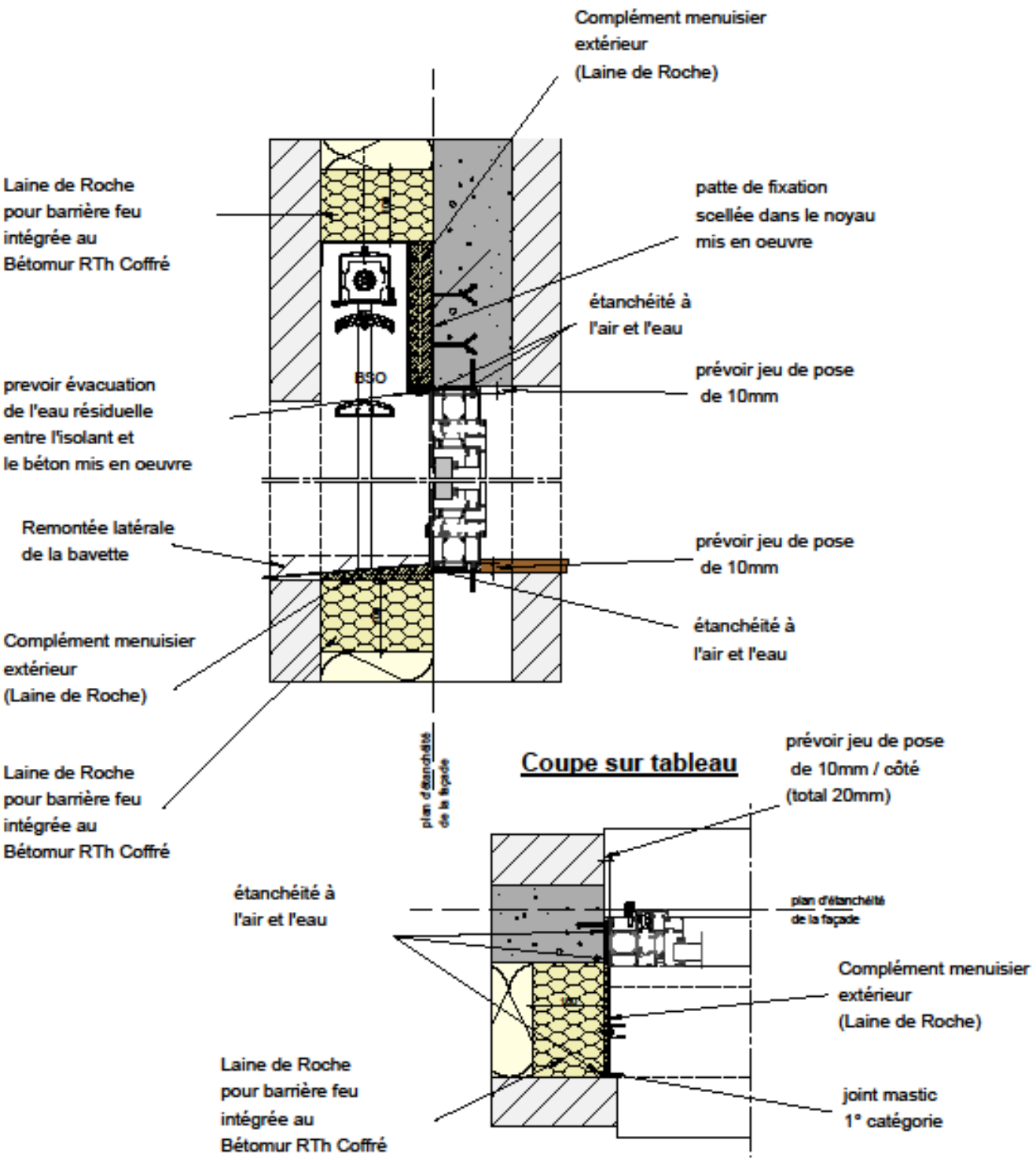
SORIBA
Entreprise de travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Menuiserie
Pose en applique - nu intérieur

BETOMUR® RTh COFFRE | M3 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 14/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Menuiserie avec Brise Soleil
Scellement -Pose en Tunnel



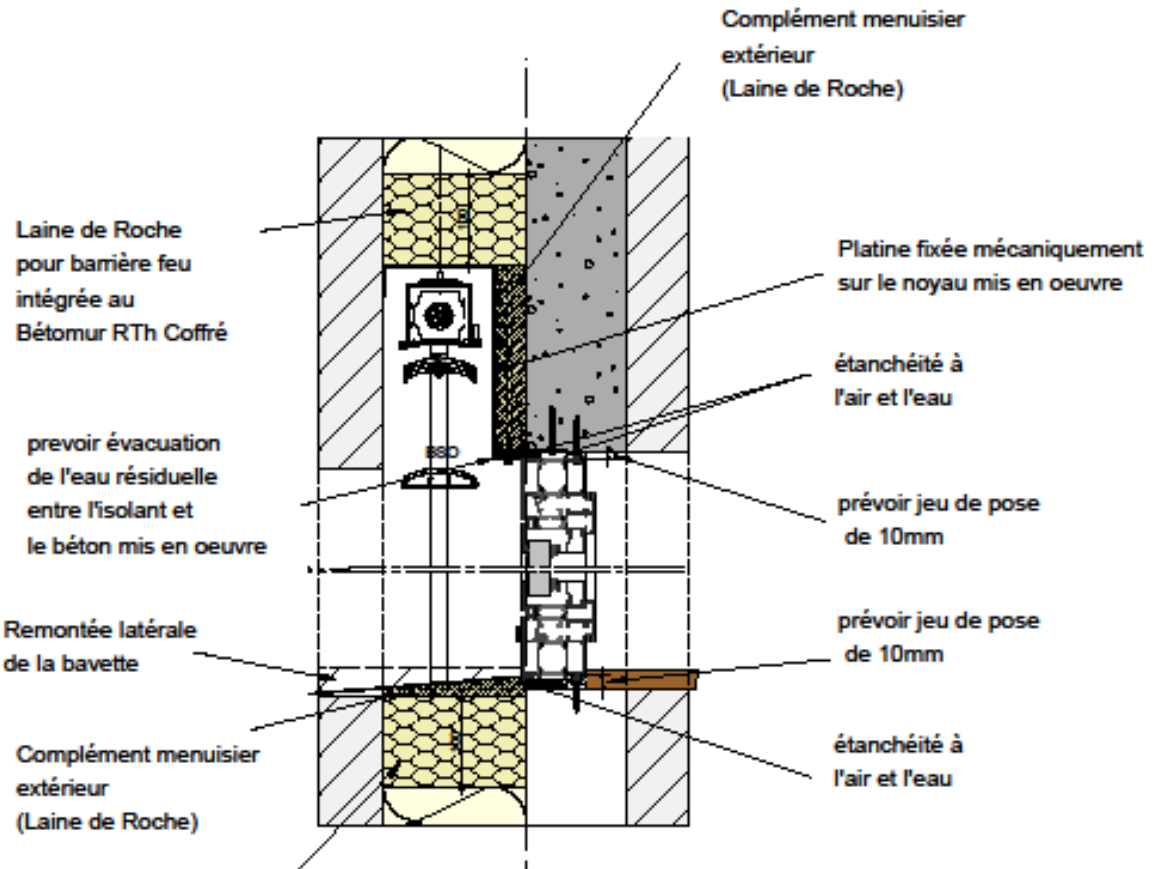
SORIBA
Constructeur en travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Menuiserie
Brise Soleil- Pose en Tunnel
Fixation par scellement

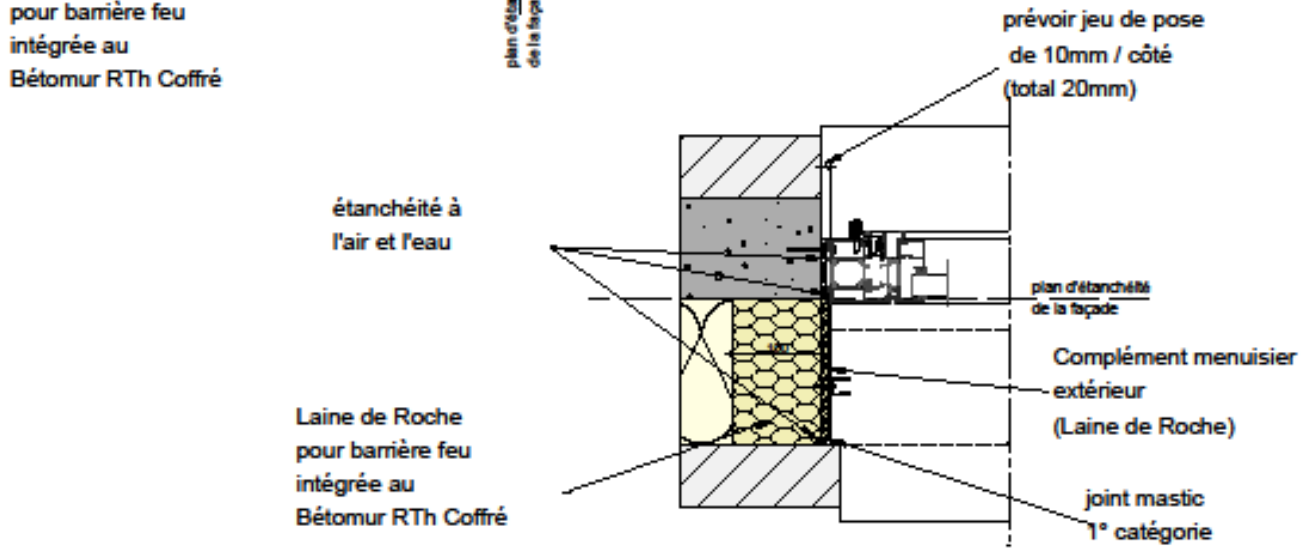
BETOMUR® RTh COFFRE | M4 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 15/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Menuiserie avec Brise Soleil
Fixation mécanique -Pose en Tunnel



Coupe sur tableau



SORIBA
Constructeur en travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

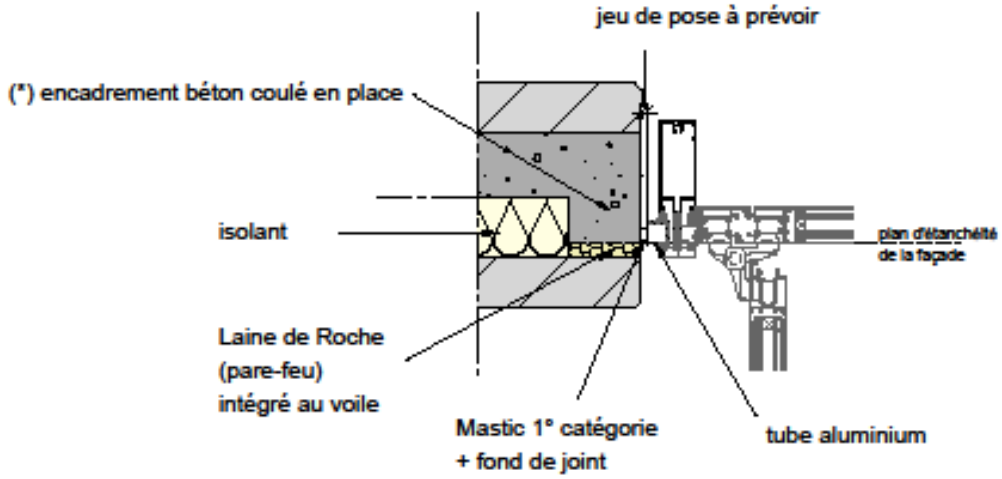
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Menuiserie
Brise Soleil- Pose en Tunnel
Fixation mécanique

BETOMUR® RTh COFFRE | M5 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 16/47

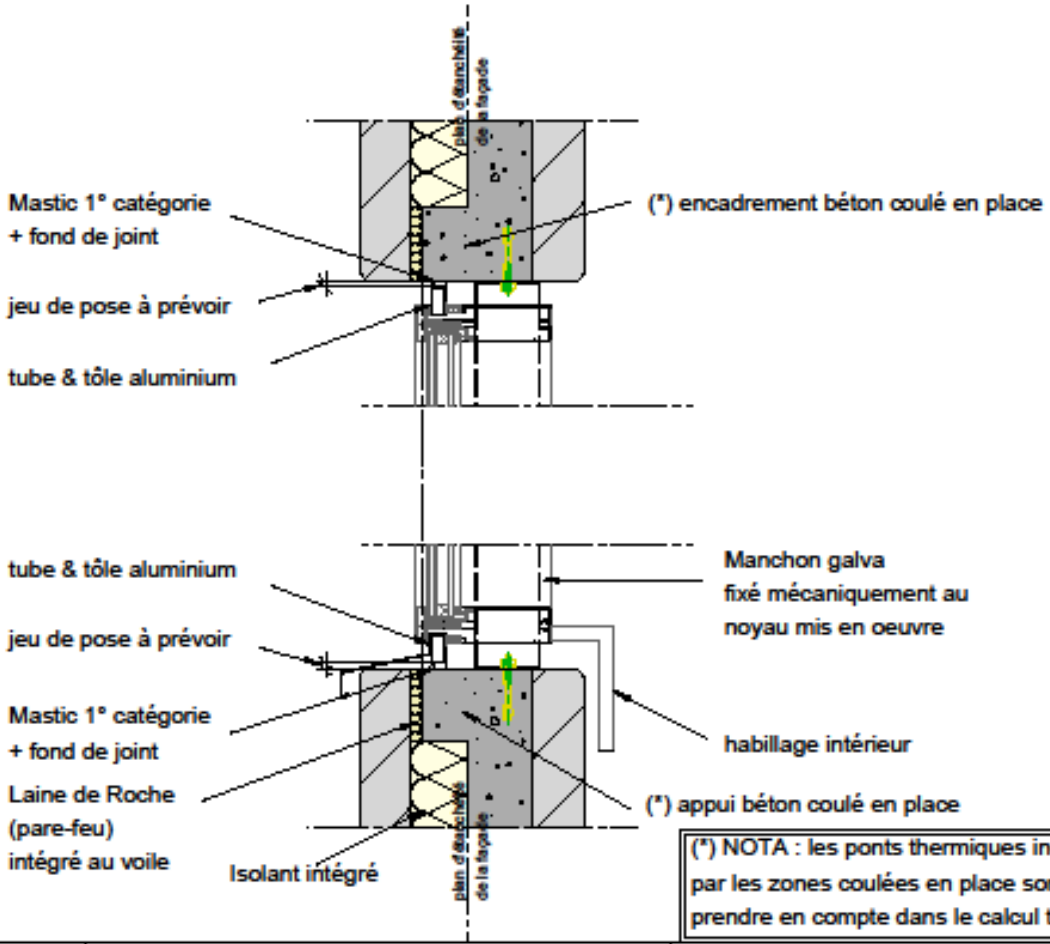
H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Menuiserie de bardage -Pose en Tunnel sans pré-cadre

Coupe sur tableau



Coupe sur appui/linteau



(*) NOTA : les ponts thermiques induits par les zones coulées en place sont à prendre en compte dans le calcul thermique

SORIBA
construire un avenir en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

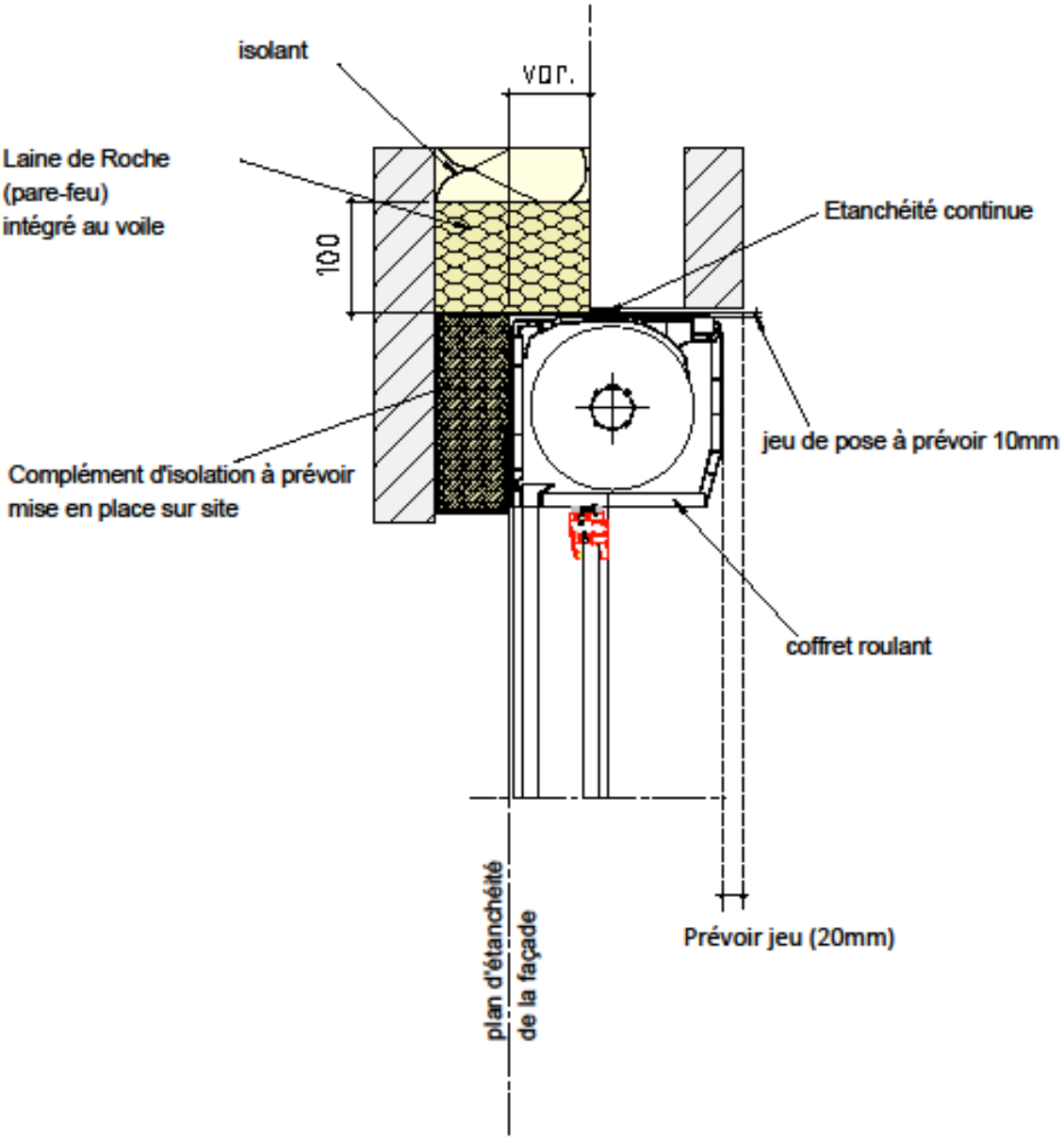
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA			
Menuiserie			
Menuiserie de bardage			
BETOMUR® RTh COFFRE	M6	06/2013	Indice 0	PAGE 17/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

Coupe sur coffre roulant



SORIBA
Entreprise en travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Menuiserie
Coffre volet roulant

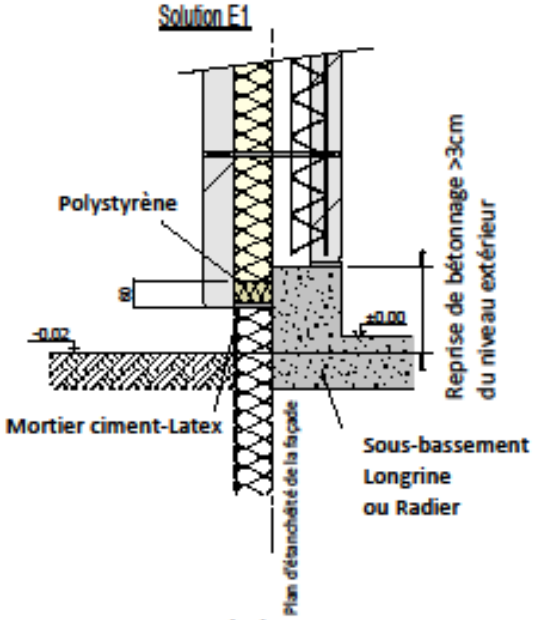
BETOMUR® RTh COFFRE | M7 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 18/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Etanchéité en pied de panneau

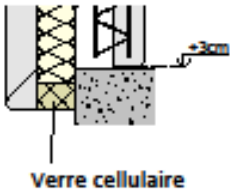
Parties non entérrées

Solution E1



Variante 1

Solution E2

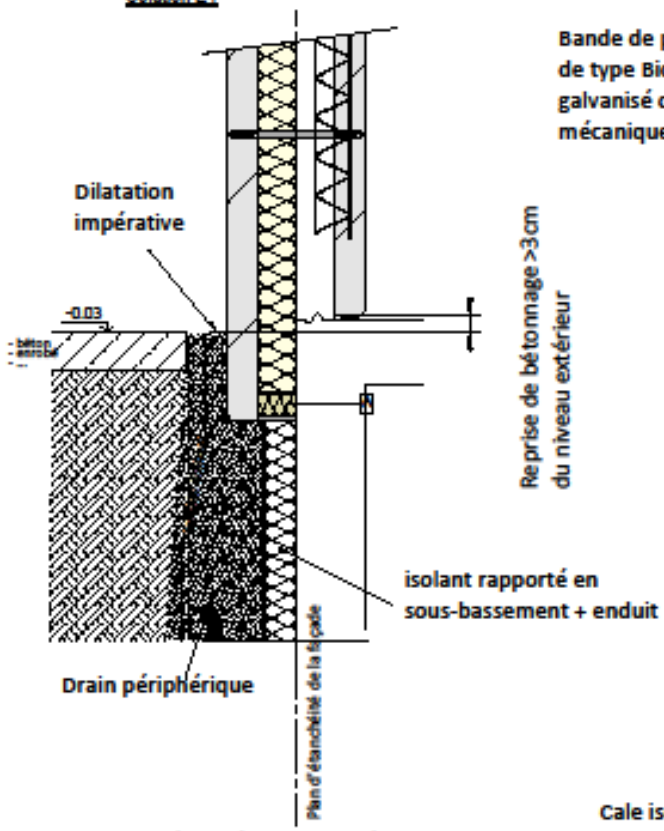


Variante 2

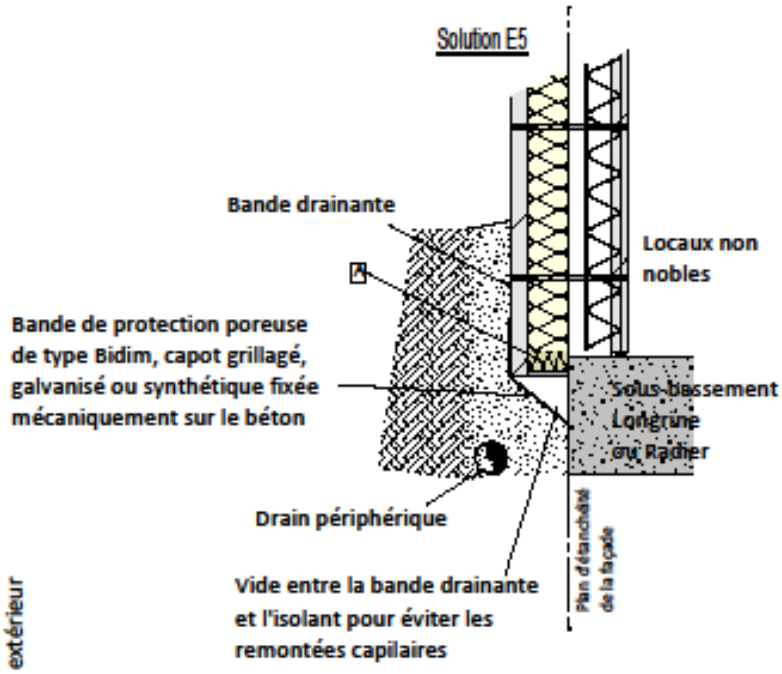
Solution E3

Parties entérées

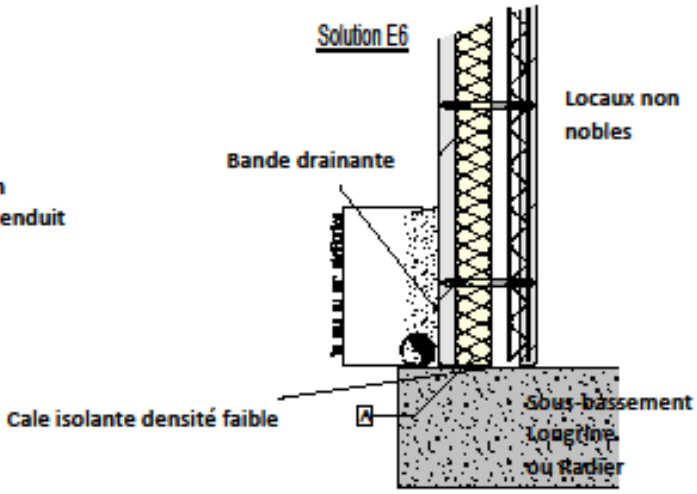
Solution E4



Solution E5



Solution E6



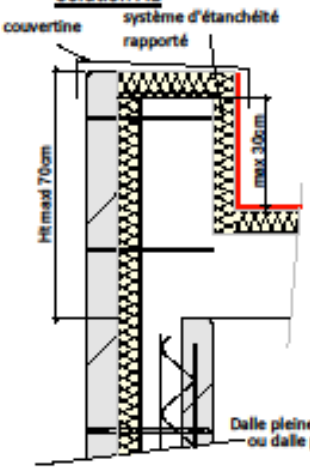
A Possibilité d'intégrer un matériaux isolant imputrécible de type verre cellulaire sur la hauteur de voile en contact avec de l'eau

SORIBA construire un avenir en béton	BP 515 85305 CHALLANS Cedex Tel 02-51-93-23-01 Fax 02-51-49-21-04 E-mail : soriba@soriba.fr site internet www.soriba.fr	DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA Etanchéité en pied de panneau			
	BETOMUR® RTh COFFRE	E	06/2013	Indice 0	PAGE 19/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

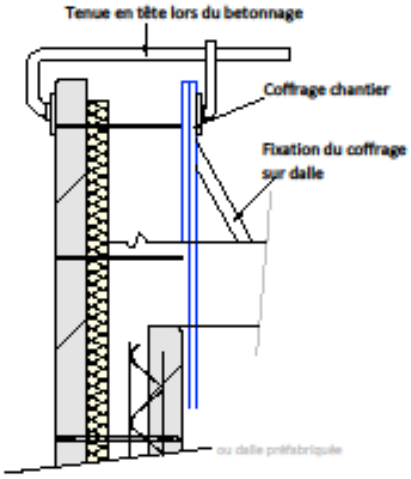
ACROTERES

Solution A1

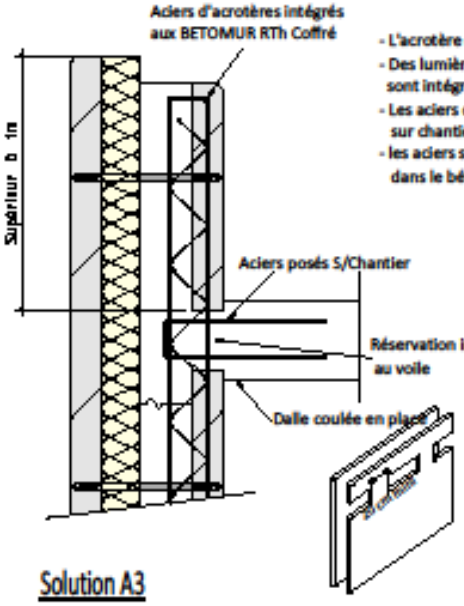


- La peau extérieure du Bétomur Rth Coffré est arasée au niveau fini
- L'isolant est arasé au niveau du retour d'isolant supérieur
- La partie poteuse de l'acrotère est coulé sur chantier
- Les aciers structuraux sont mis en place sur chantier (non fournis par SORIBA)

Mise en oeuvre sur chantier

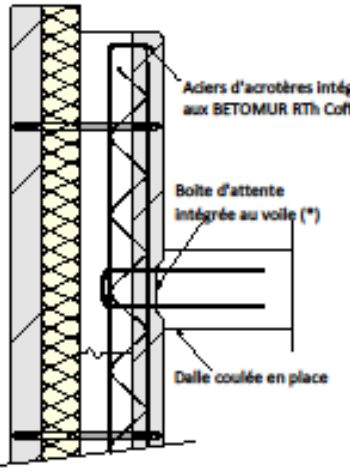


Solution A2



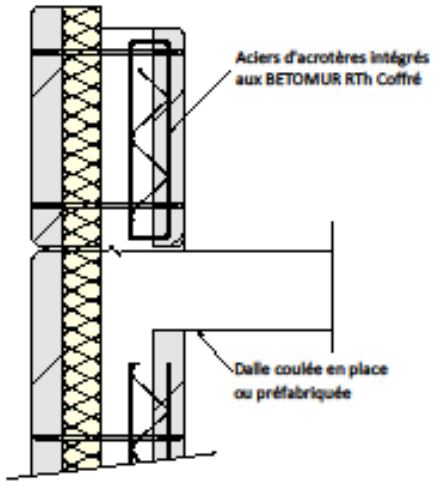
- L'acrotère est intégré au voile du niveau inférieur
- Des lumières (ou stabox - attention à la sismicité) sont intégrées dans le voile
- Les aciers de liaison de dalle sont intégrés sur chantier
- les aciers structuraux de l'acrotère sont intégrés dans le bétomur RTh Coffré

VARIANTE Solution A2'



(*) Suivant dispositions sismiques & classes de bâtiment

Solution A3



- L'acrotère est constitué d'un Bétomur Rth Coffré indépendant
- Il est mis en oeuvre après coulage de la dalle
- les aciers structuraux de l'acrotère sont intégrés au Bétomur RTh Coffré

SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

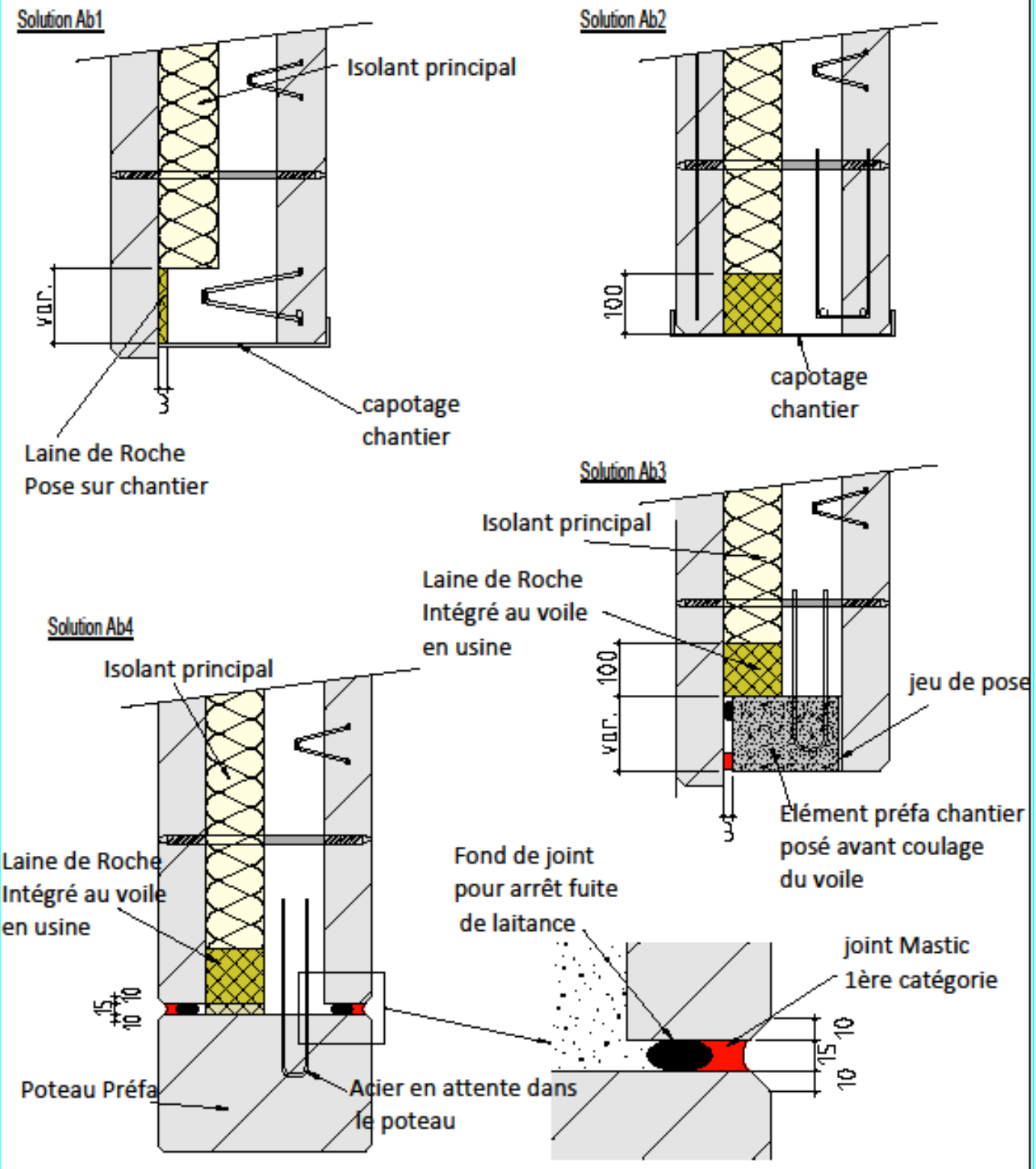
Traitement des acrotères

BETOMUR® RTh COFFRE | A | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 20/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

Traitement des abouts de voile



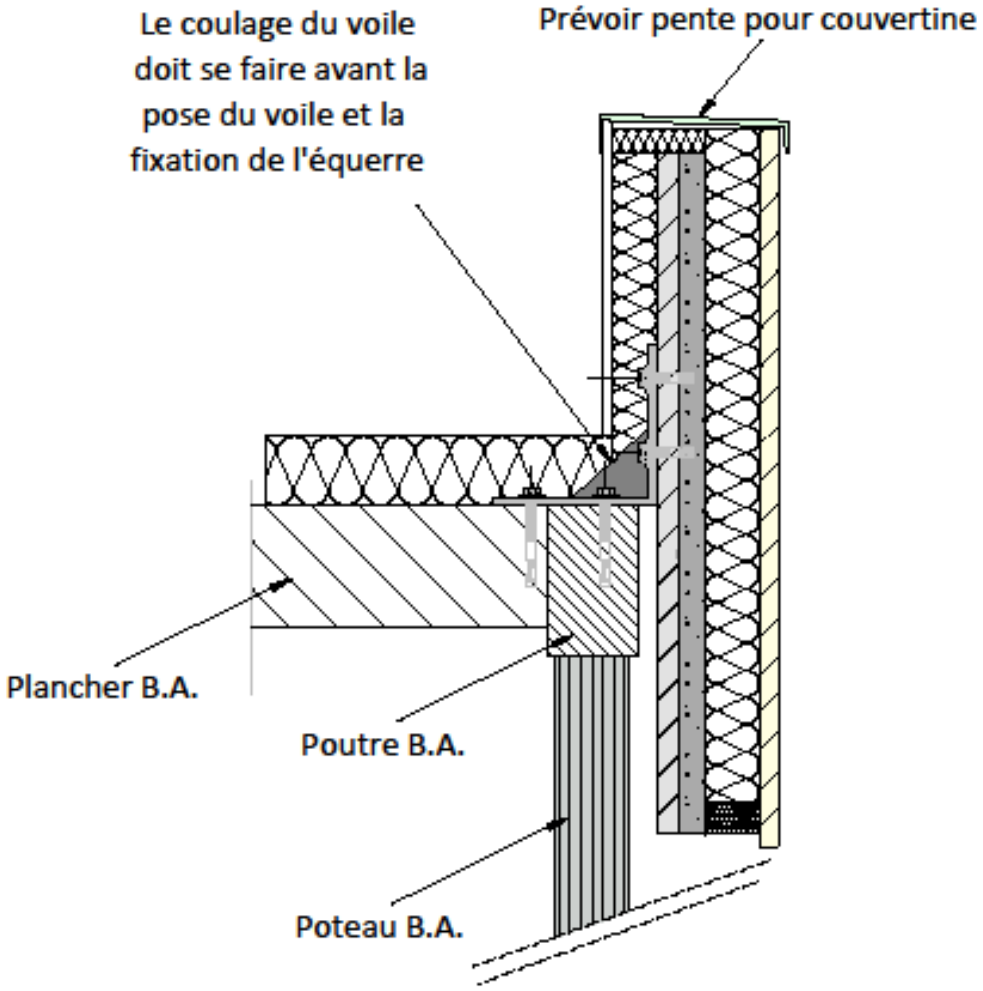
SORIBA	BP 515 85305 CHALLANS Cedex Tel 02-51-93-23-01 Fax 02-51-49-21-04	E-mail : soriba@soriba.fr site internet www.soriba.fr	DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA Traitement des abouts de voile		
	BETOMUR® RTh COFFRE		Ab	06/2013	Indice 0	PAGE 21/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Fixation par équerre

Equerre de fixation(*)

Le coulage du voile doit se faire avant la pose du voile et la fixation de l'équerre



(*)Chaque fixation par equerre doit être calculée en fonction du voile à reprendre afin de déterminer les caractéristiques de l'equerre ainsi que le nombre et le type de fixation à intégrer

SORIBA
Entreprise de travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

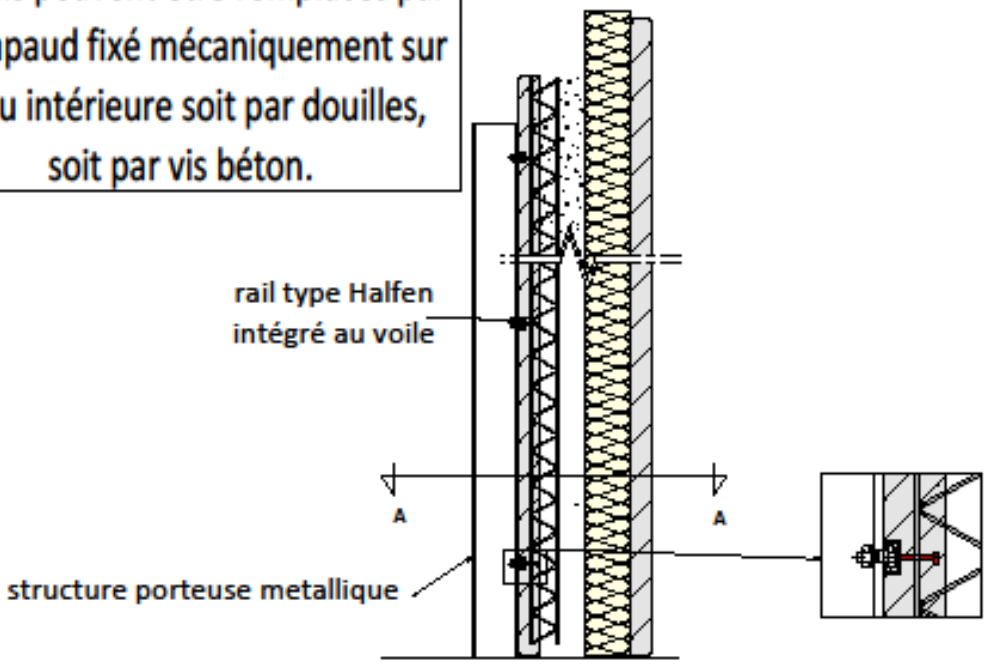
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Non porteur
Fixation par équerre

BETOMUR® RTh COFFRE | NP2 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 22/47

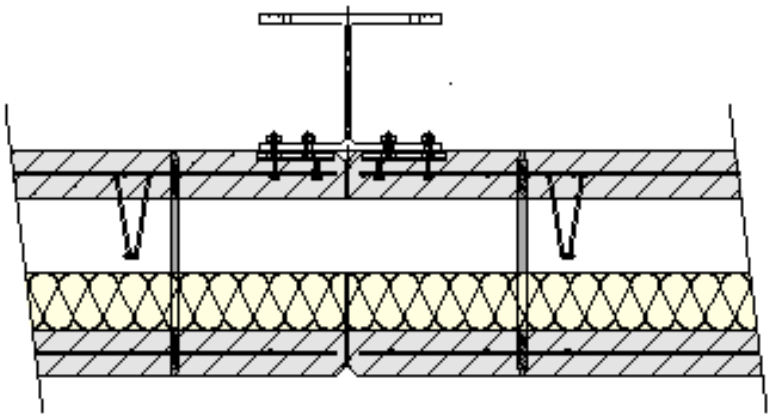
H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Fixation par rail / Douille

Les rails peuvent être remplacés par des crapaud fixé mécaniquement sur la peu intérieure soit par douilles, soit par vis béton.



COUPE A-A



* Le choix du type d'ancrage sera fait en fonction du calepinage des BETOMUR RTh Coffré

SORIBA
Constructeur en travaux en béton

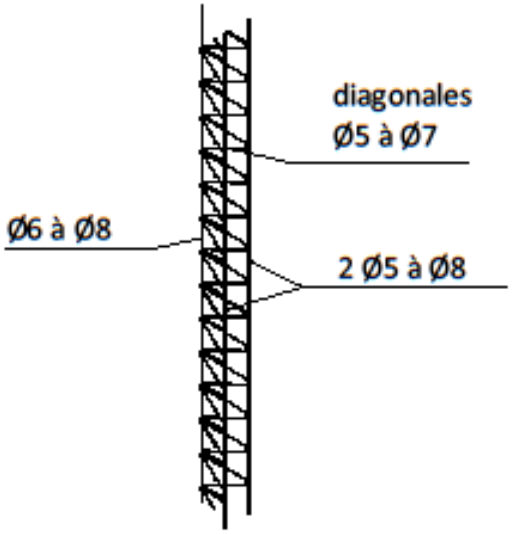
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

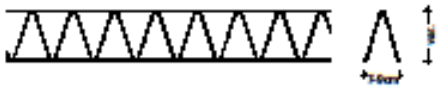
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Non porteur
Fixation par rail ou crapaud

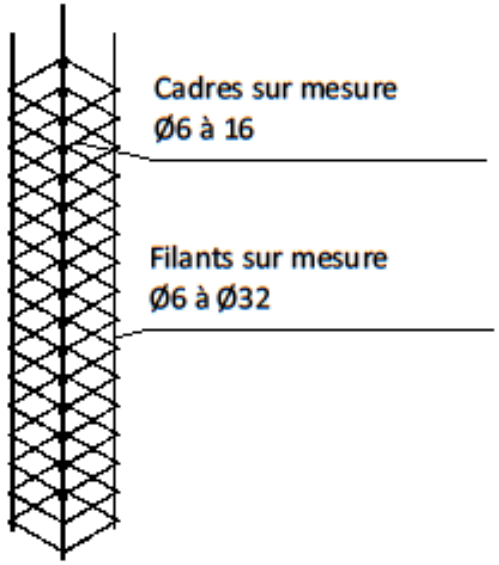
BETOMUR® RTh COFFRE

RAIDISSEURS

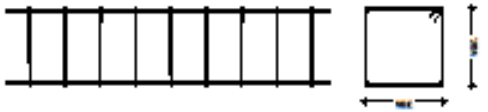


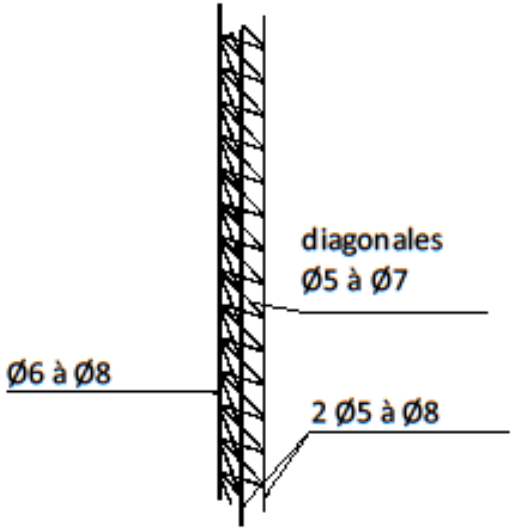
Raidisseur Standard
Type CKT d'Intersig
ou équivalent



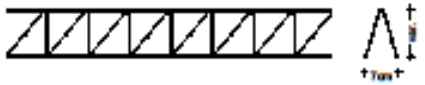


Raidisseur sur
mesure





Raidisseur de couture
type KTS
ou équivalent



SORIBA
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
RAIDISSEURS

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 24/47

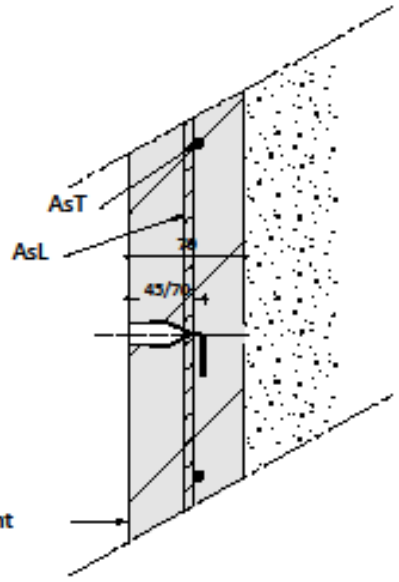
H/L = 210 / 297 (0.06m²)

Allplan 2012

Document Technique d'Application n° 3.2/16-881_V4

Coupe sur douille d'étaiement

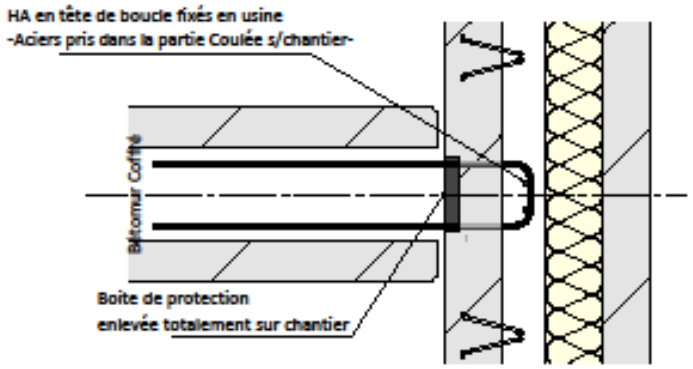
Douille M16 x 70 type Halfen AH-Q

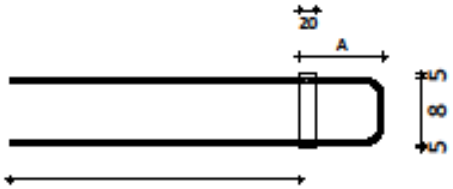


Utiliser boulon M16
longueur de vissage = 25mm

Coupe sur boite d'attente intégrée (*)

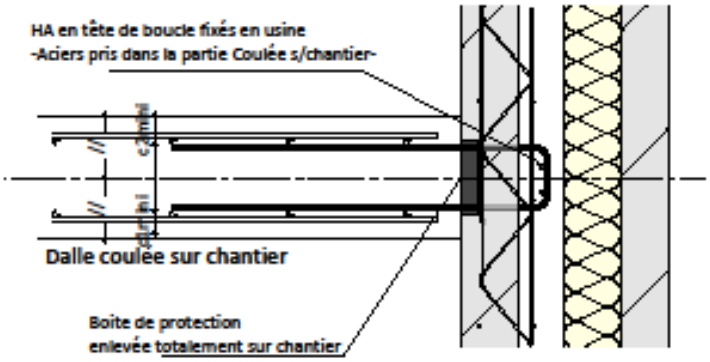
Liaison avec voile de refend





aciers à déplier s/chantier 40xØ
61xØ en zone sismique

Liaison avec dalle coulée en place



(*) L'utilisation de boites d'attentes est restrictive suivant les dispositions sismiques & classes de bâtiment

SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Généralités
Douilles & Boîtes d'attente

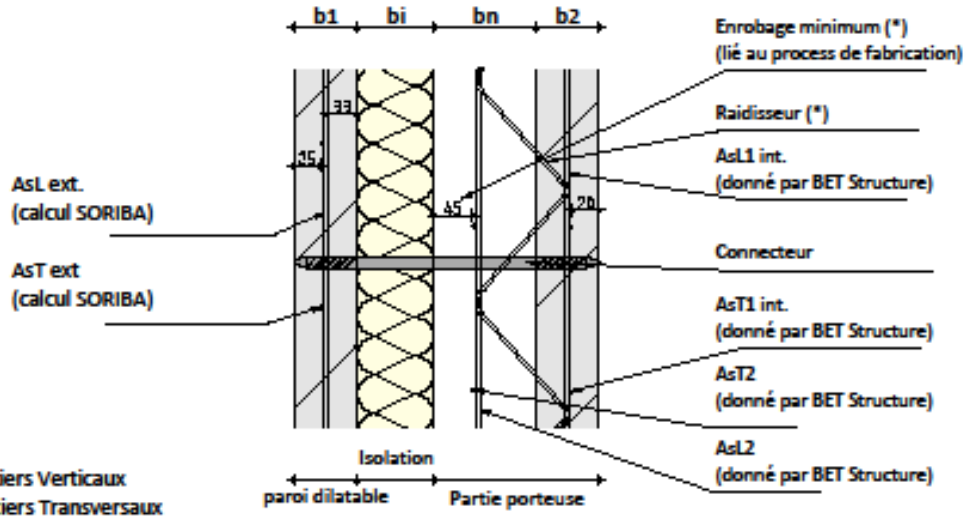
BETOMUR® RTh COFFRE | G2 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 25/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

(*) NOTA : Le BET Structure devra impérativement intégrer l'enrobage de **45 mm** pour le dimensionnement des armatures de flexion.

Définition du ferraillage

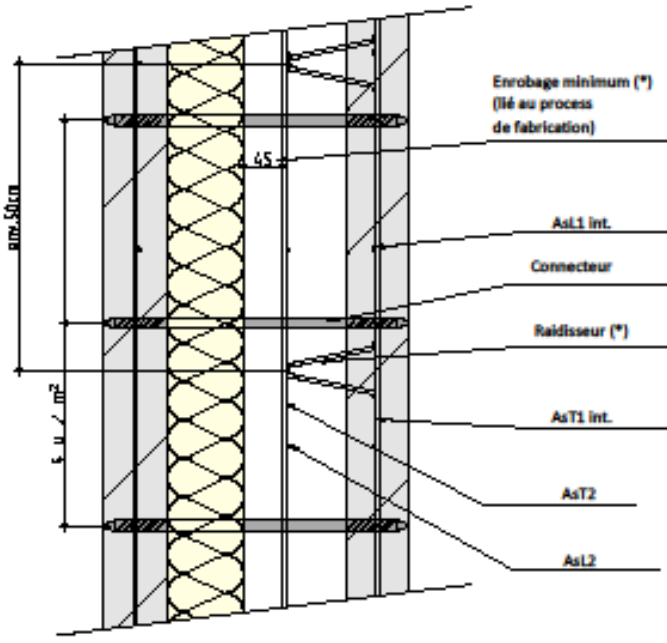
Coupe Verticale



AsL= Aciers Verticaux
AsT= Aciers Transversaux

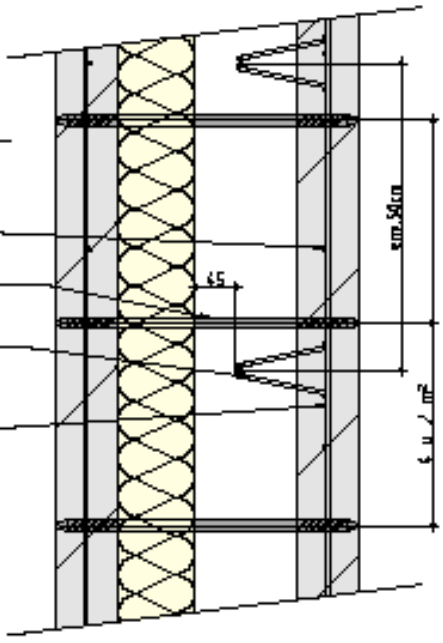
Coupe Horizontale

Treillis intégré dans le noyau mis en oeuvre



(*) La section d'acier du raidisseur n'est pas prise en compte dans le calcul de la section du noyau coulé sur chantier.
section raidisseur : 1 Ø8/50 rond lise dans le noyau
et 2HA5/50 B500 dans la peau intérieure

Treillis remplacé par les filants des raidisseurs (**)



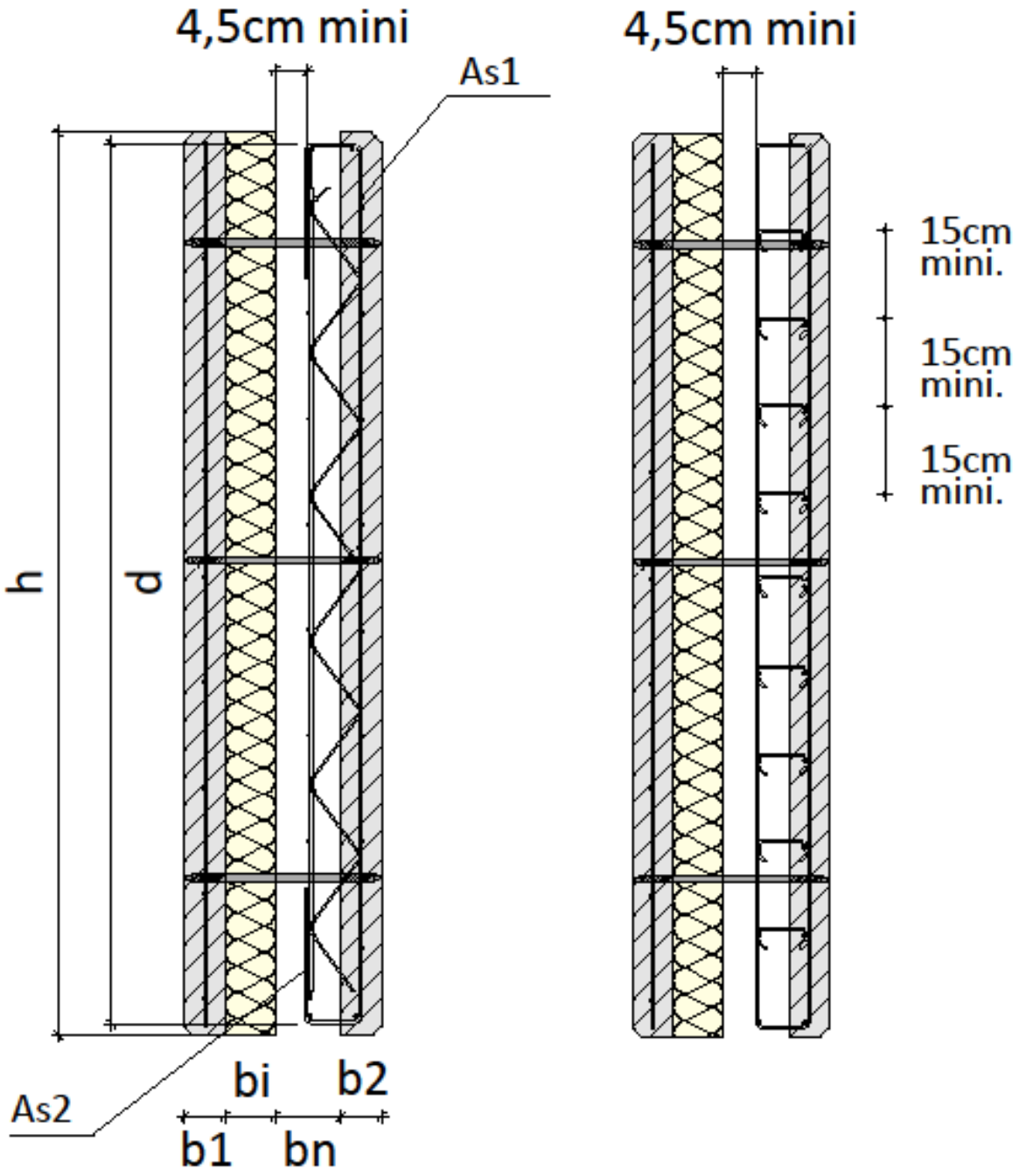
(**) L'espacement des raidisseurs peut être réduit à 40cm si besoin.
La section d'acier dans le noyau est alors égal au filant supérieur du raidisseur (HA8). Dans ce cas, aucun acier horizontal n'est présent.
Cette solution est privilégiée dans le cas d'un noyau de faible dimension (facilité de pose des aciers de liaisons)

SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Généralités
Définition du ferraillage

Poutre intégrée au BETOMUR Rth Coffré

Coupe verticale



SORIBA
Constructeur en travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

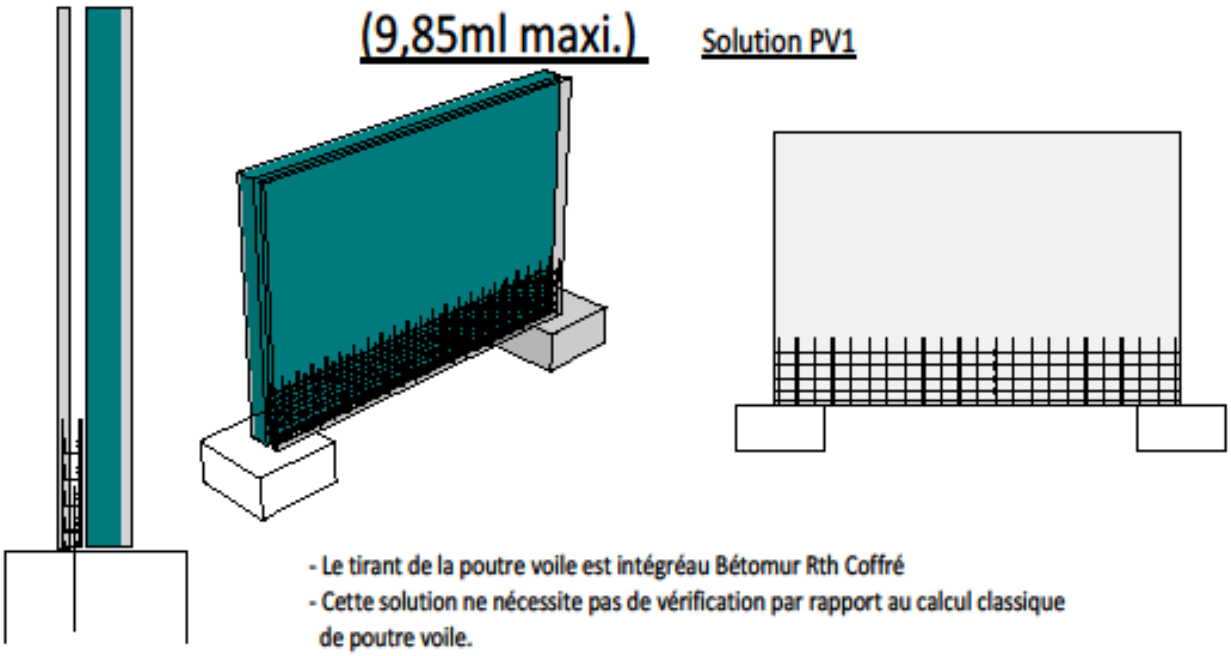
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Ferraillage de principe
Poutres intégrées

BETOMUR® RTh COFFRE | P0 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 27/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Poutre Voile réalisée d'un seul tenant (9,85ml maxi.)

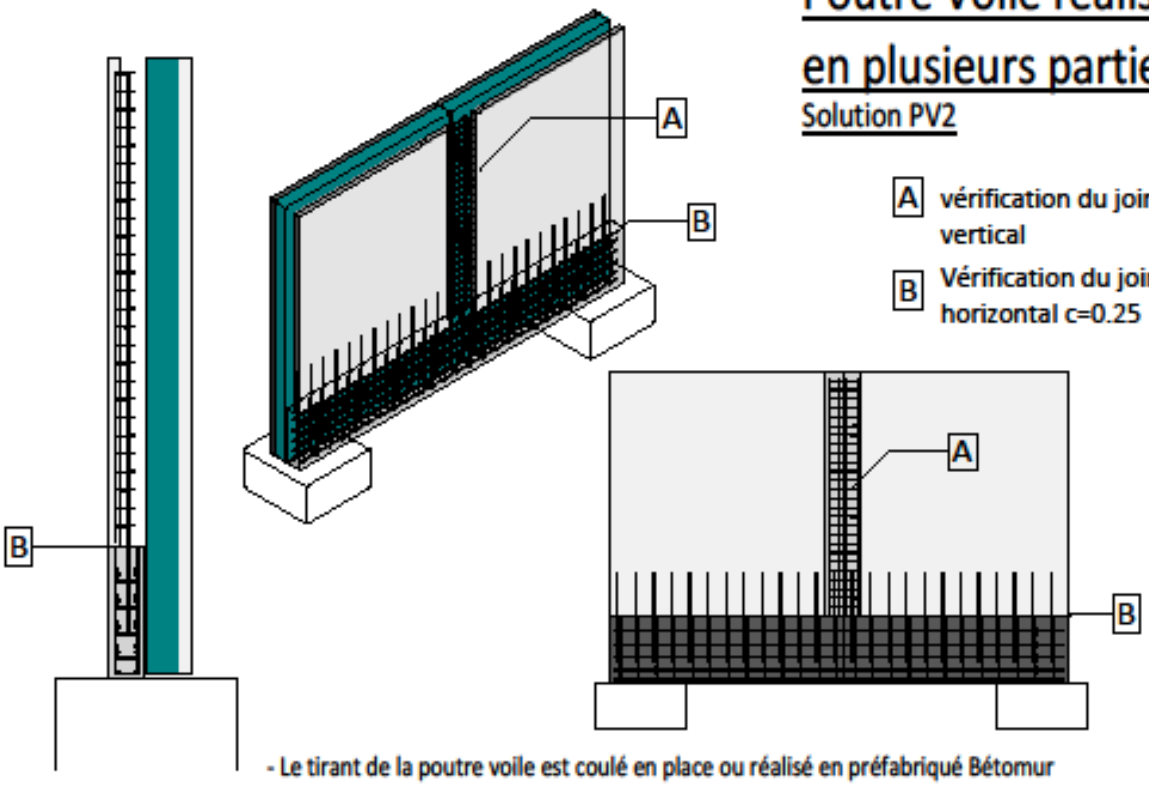
Solution PV1



- Le tirant de la poutre voile est intégréau Bétomur Rth Coffré
- Cette solution ne nécessite pas de vérification par rapport au calcul classique de poutre voile.

Poutre Voile réalisée en plusieurs parties

Solution PV2



A vérification du joint vertical

B Vérification du joint horizontal c=0.25

- Le tirant de la poutre voile est coulé en place ou réalisé en préfabriqué Bétomur
- Le tirant de la poutre voile peut-être disposé dans l'épaisseur d'une dalle.
- Cette solution nécessite la vérification de la résistance des joints horizontaux et veticaux à l'effort tranchant

SORIBA
Entreprise de travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

Poutre Voile 1

BETOMUR® RTh COFFRE | PV | 04/2013 | Indice 0 | PAGE 28/47

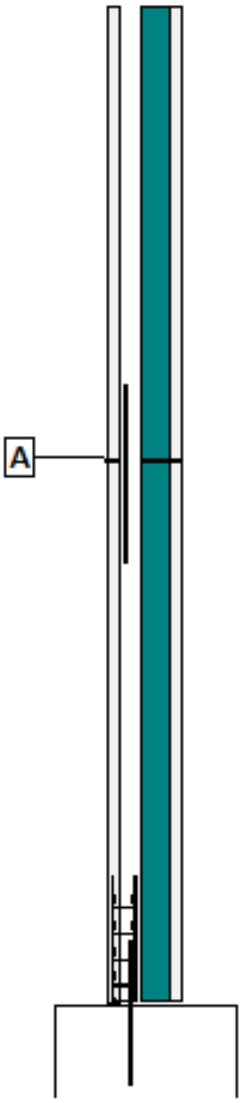
H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

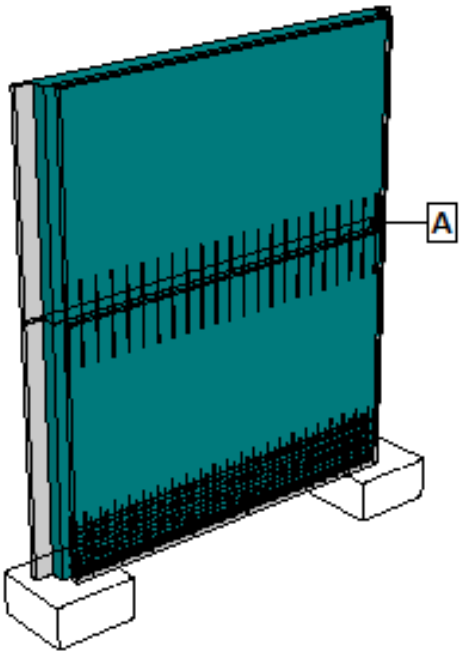
Poutre Voile réalisée en plusieurs parties superposées

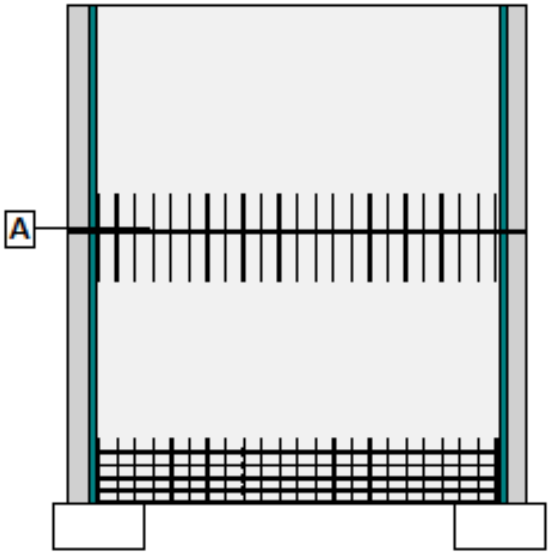
(9,85ml maxi.)

Solution PV3



A Vérification du joint horizontal





- Cette solution nécessite la vérification de la résistance du joint horizontal à l'effort tranchant.
- Ce type de configuration nécessite la présence de refends fin de raidir la poutre voile.

SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

Poutre voile 2

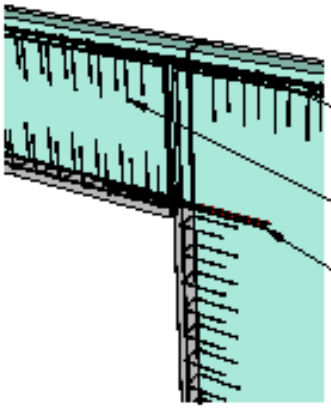
BETOMUR® RTh COFFRE | PV | 04/2013 | Indice 0 | PAGE 29/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

PRINCIPE D'APPUI DE POUTRE

Solution P1



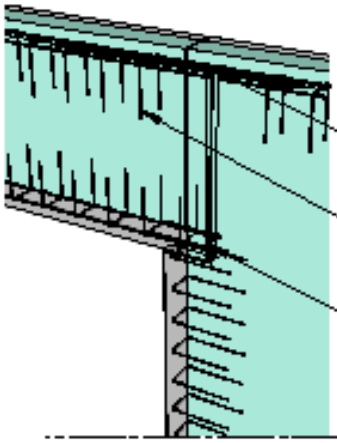
ARRET DE LA POUTRE AVANT L'APPUI AVEC JOINT DE 1.5cm

Eclisses à mettre en place dans le noyau pour la continuité du chaînage supérieur

Arrêt des cadres du chaînage supérieur pour permettre la mise en place des aciers de liaison

Eclisses à mettre en place dans le noyau pour la continuité des aciers de flexion (chaînage inférieur)

Solution P2



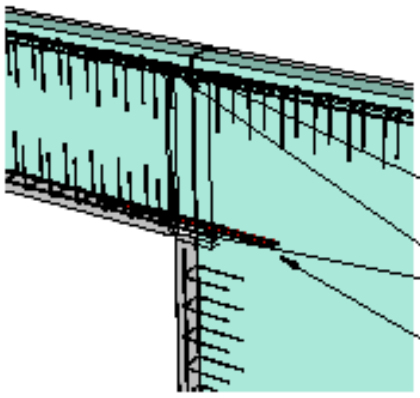
APPUI COMPLET DE TOUTE L'EPAISSEUR DE LA POUTRE SUR LA FACE INTERIEURE

Eclisses à mettre en place dans le noyau pour la continuité du chaînage supérieur

Arrêt des cadres du chaînage supérieur pour permettre la mise en place des aciers de liaison

Aciers d'ancrage d'effort tranchant intégré au Bétomur Rth Coffré (soit par des U à plat, soit par des crosses au niveau des filants des aciers de flexion).

Solution P3



OUVERTURE D'UNE FACE DE LA POUTRE SUR APPUI

Eclisses à mettre en place dans le noyau pour la continuité du chaînage supérieur

Aciers horizontaux dépassants côté peau ouverte.

Eclisses basses, mises en place sur chantier dans la partie coulée en place.

SORIBA
Constructeur de l'avenir en béton

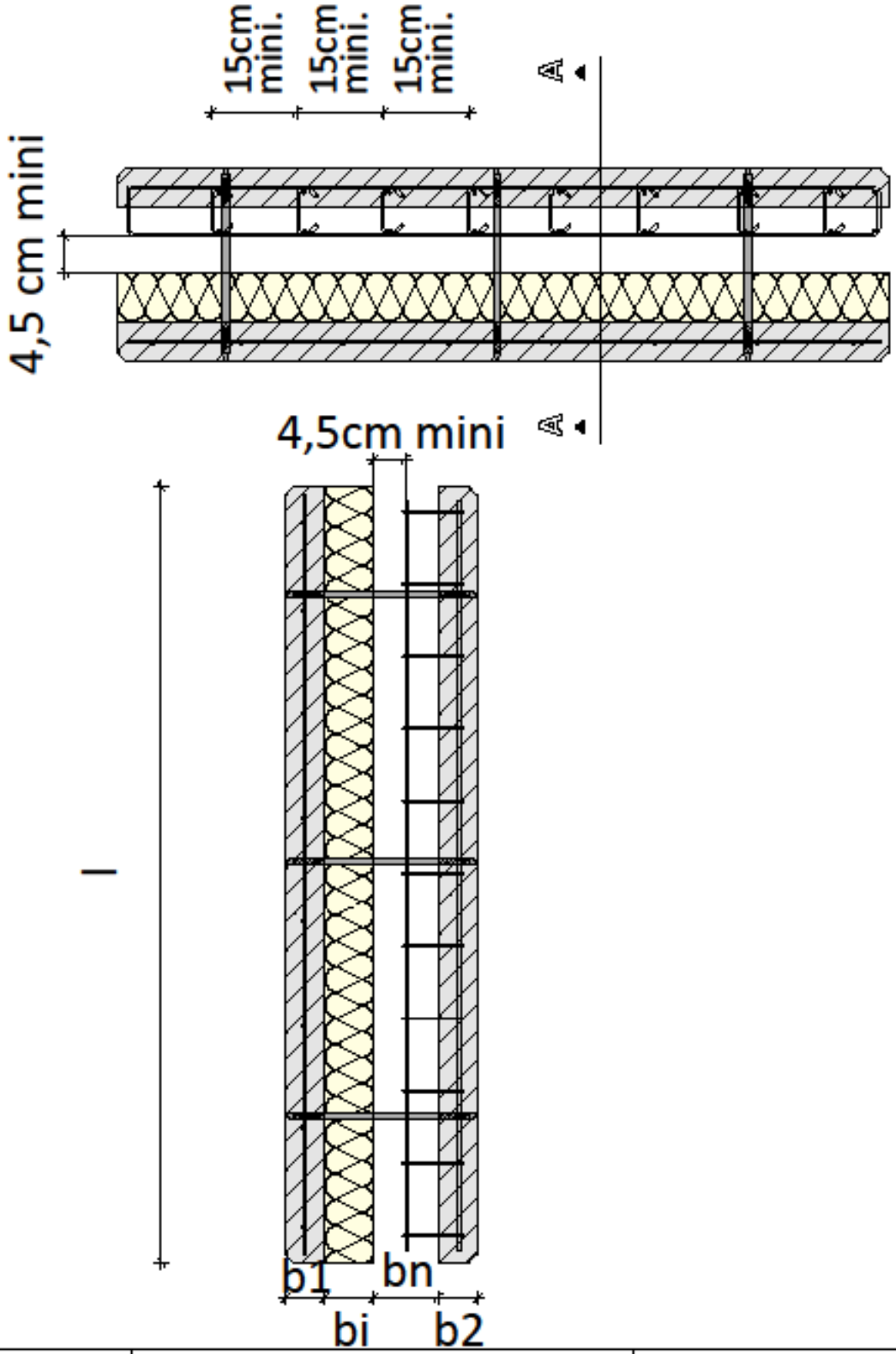
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Principe d'Appui de poutre

BETOMUR® RTh COFFRE | P4 | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 30/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Poteau intégrée au BETOMUR Rth Coffré



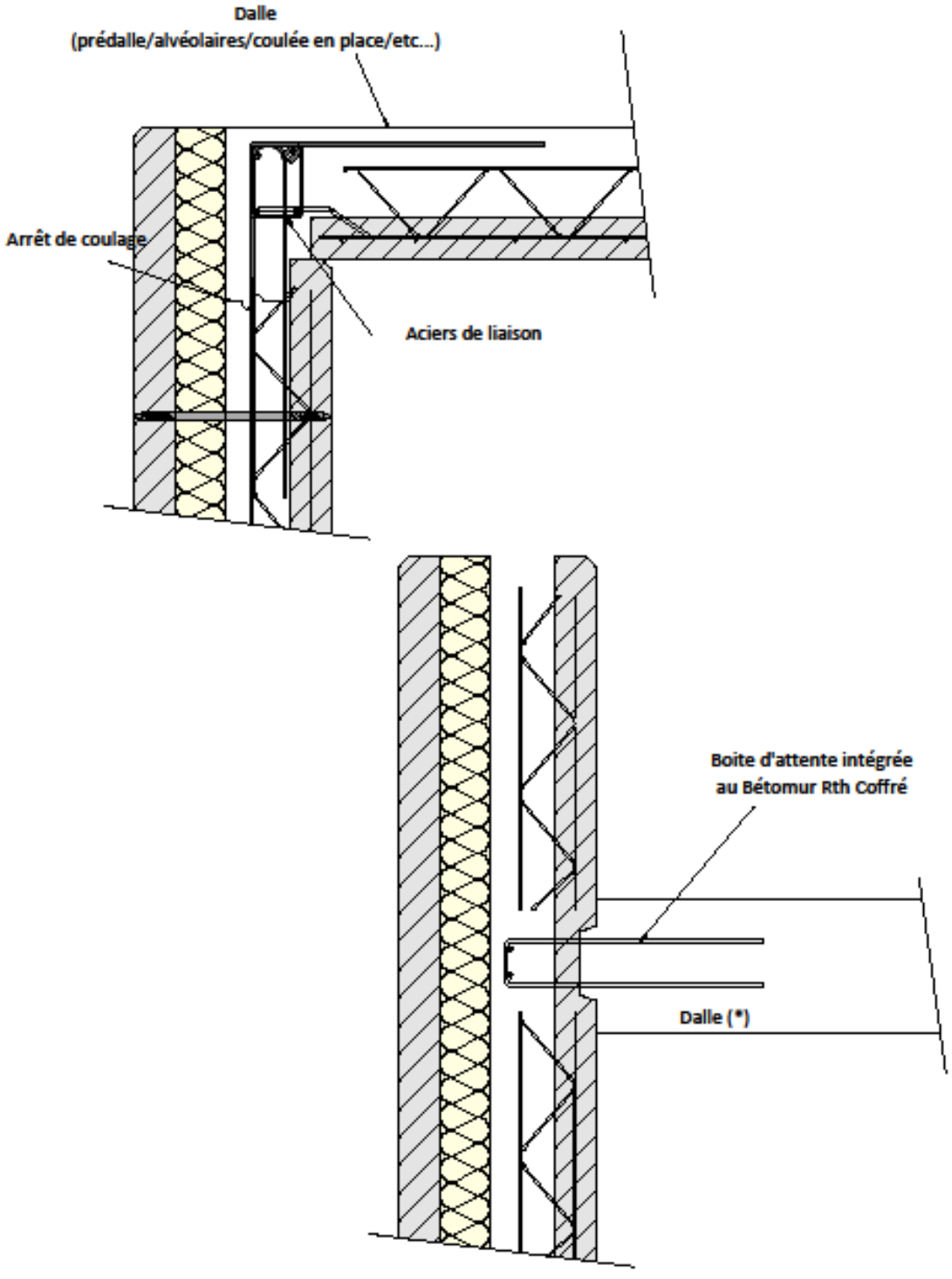
SORIBA
Construire en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Ferraillage de principe
Poteaux intégrés

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 31/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Ex.Liaison dalle courante - Solutions D



(*) L'utilisation de boites d'attentes est restrictive suivant les dispositions sismiques & les classes de bâtiment.

Coupe verticale

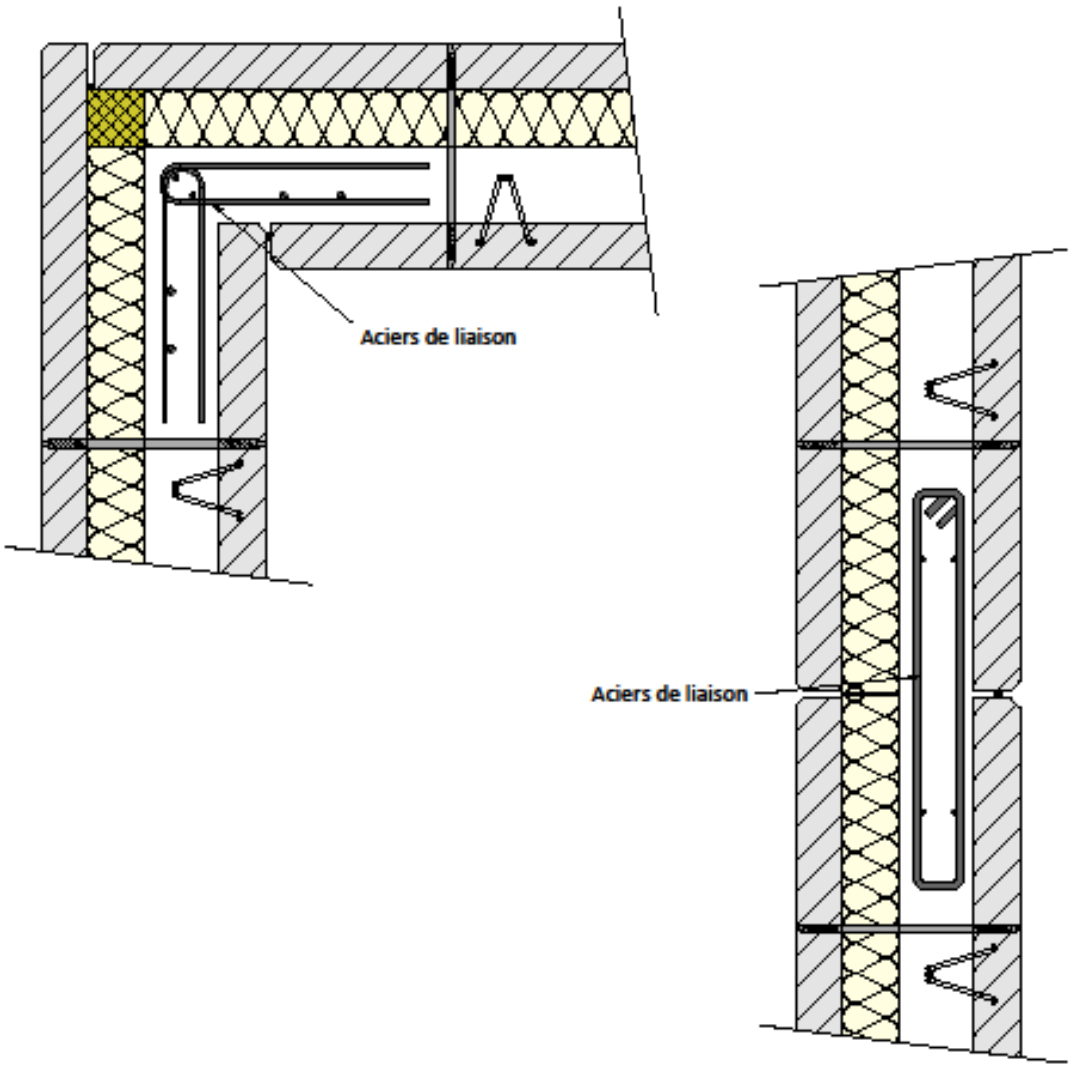
SORIBA
Constructeur en travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
principe de ferraillage
Liaison dalle

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 32/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Ex. Joints rotulés - Solutions R



(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire
(**) Se référer aux planches correspondantes pour le choix du principe des aciers de liaison

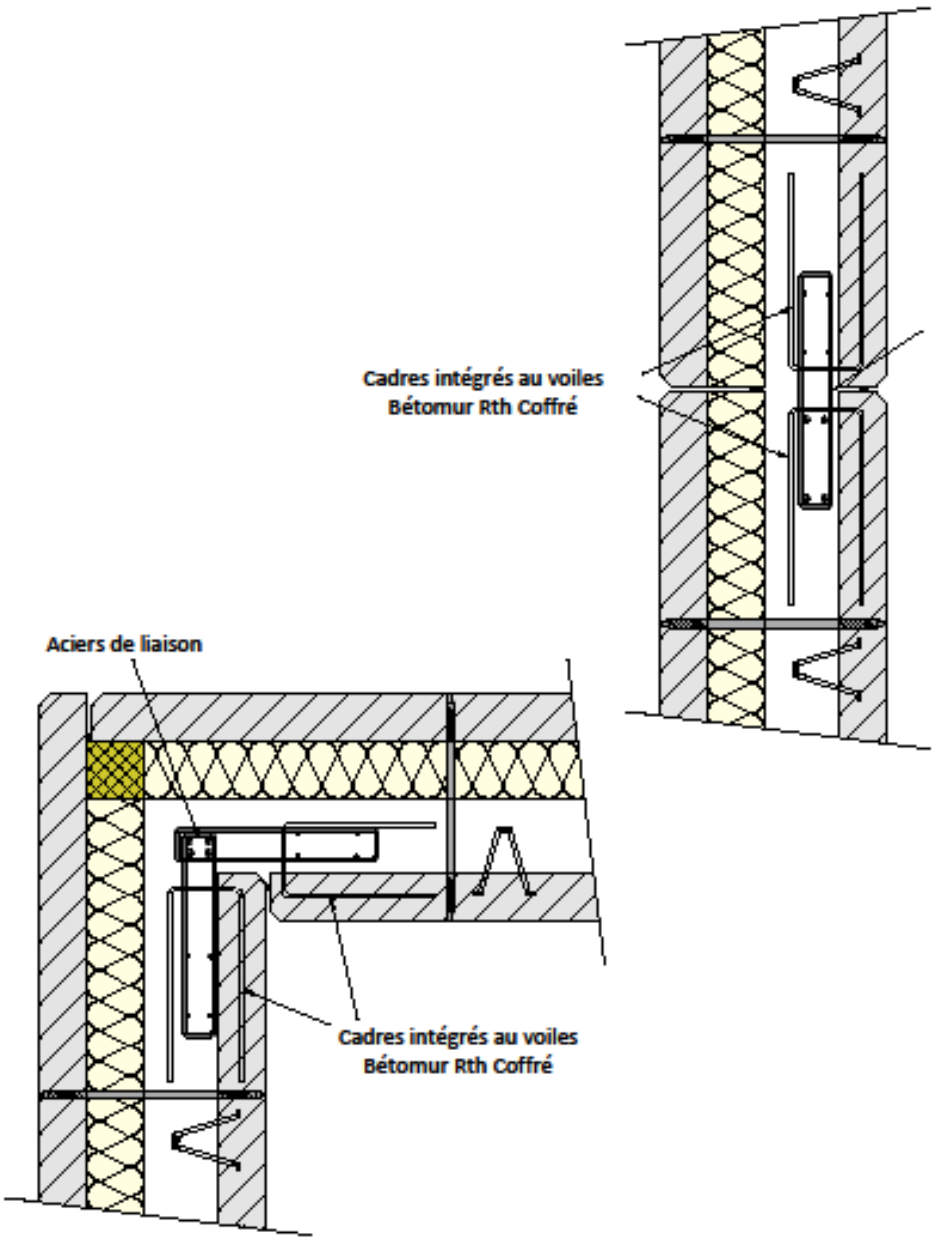
SORIBA
construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
principe de ferraillage
Joints Rotulés

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 33/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Ex. Joints couturés - Solutions C



(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire
(**) Se référer aux planches correspondantes pour le choix du principe des aciers de liaison

SORIBA
Construire en beauté en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

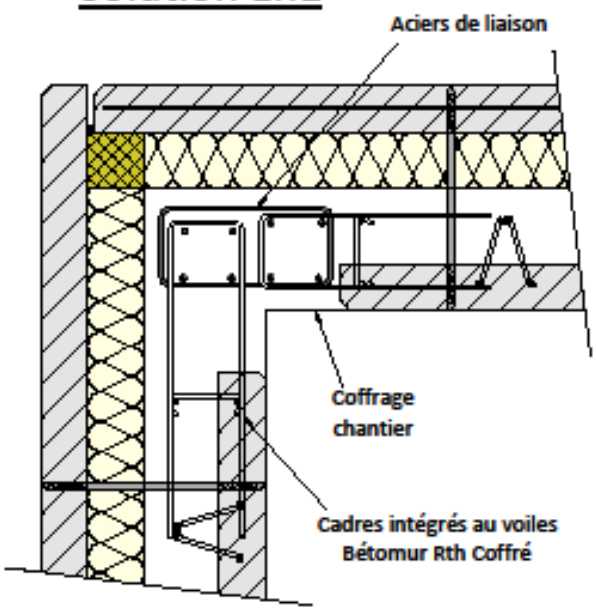
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
principe de ferraillage
Joints Couturés

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 34/47

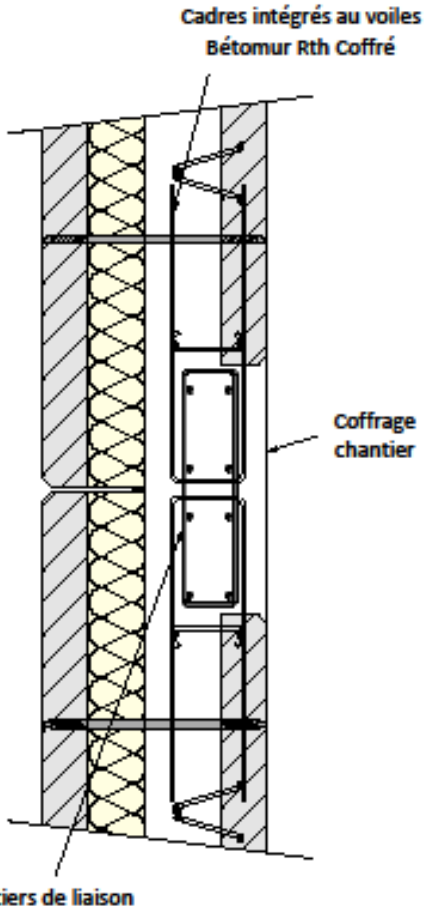
H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Ex. Joints verticaux encastrés - Solutions En1 & En2

Solution En1

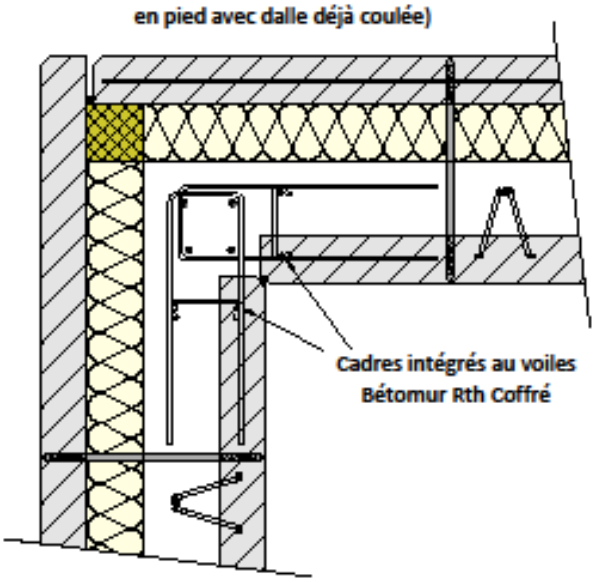


Solution En1



Solution En2

(cas incompatible avec une solution encastrée en pied avec dalle déjà coulée)



(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire
(**) Se référer aux planches correspondantes pour le choix du principe des aciers de liaison

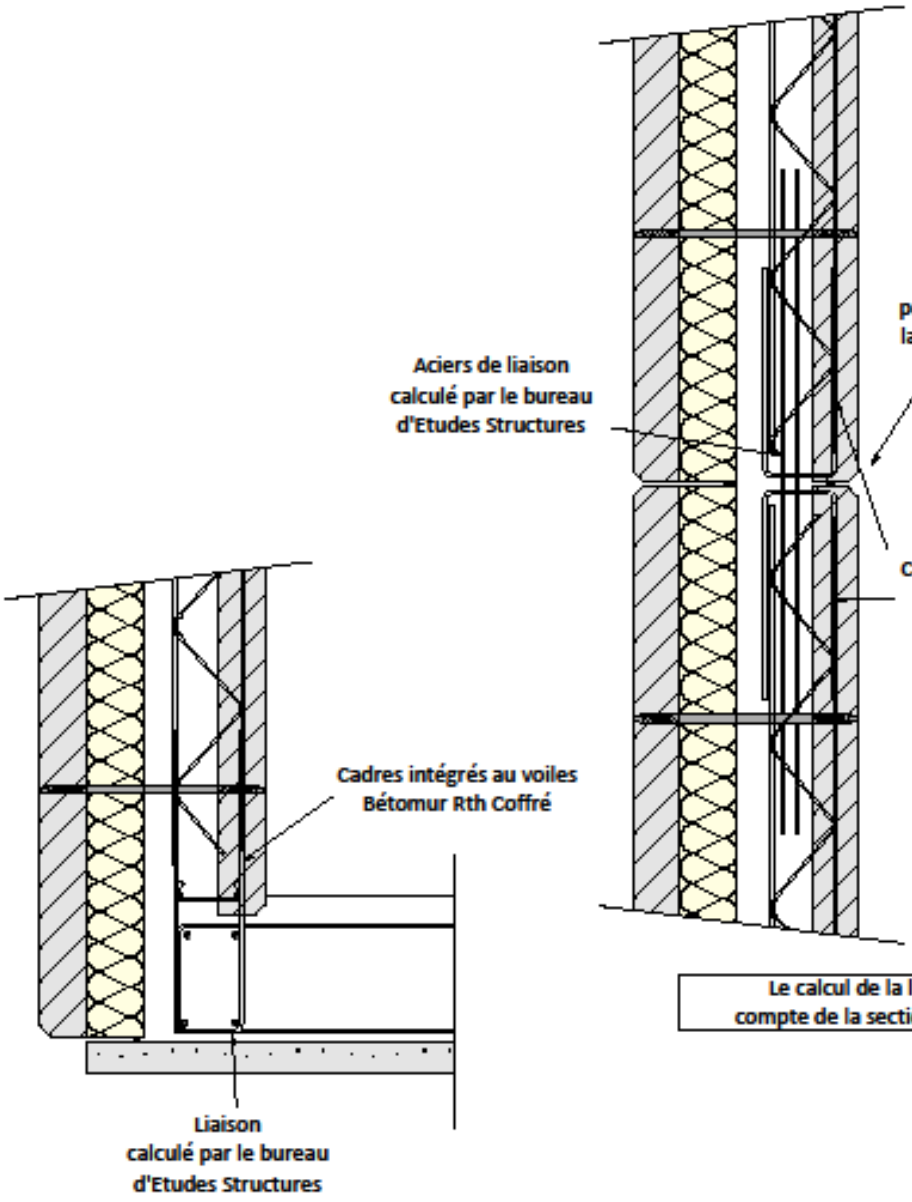
SORIBA
Structures en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
principe de ferraillage
Joints verticaux encastrés

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 35/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Ex. Joints Encastré Horizontal - Solutions En



Le calcul de la liaison doit tenir compte de la section réduite de béton

(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire
(**) Se référer aux planches correspondantes pour le choix du principe des aciers de liaison

Coupe verticale

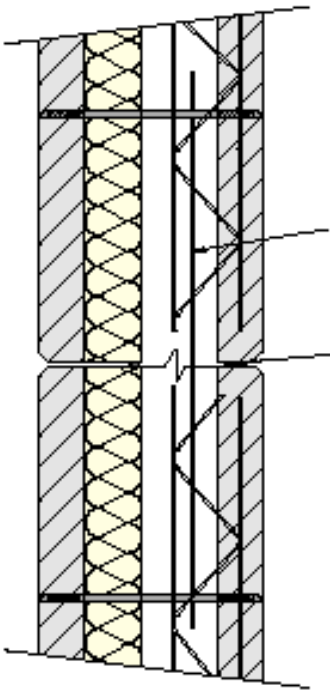
SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
principe de ferraillage
Joints horizontaux encastrés

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 36/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Liaison sans plancher - Solution D



(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire
(**) Se référer aux planches correspondantes pour le choix du principe des aciers de liaison

Coupe verticale

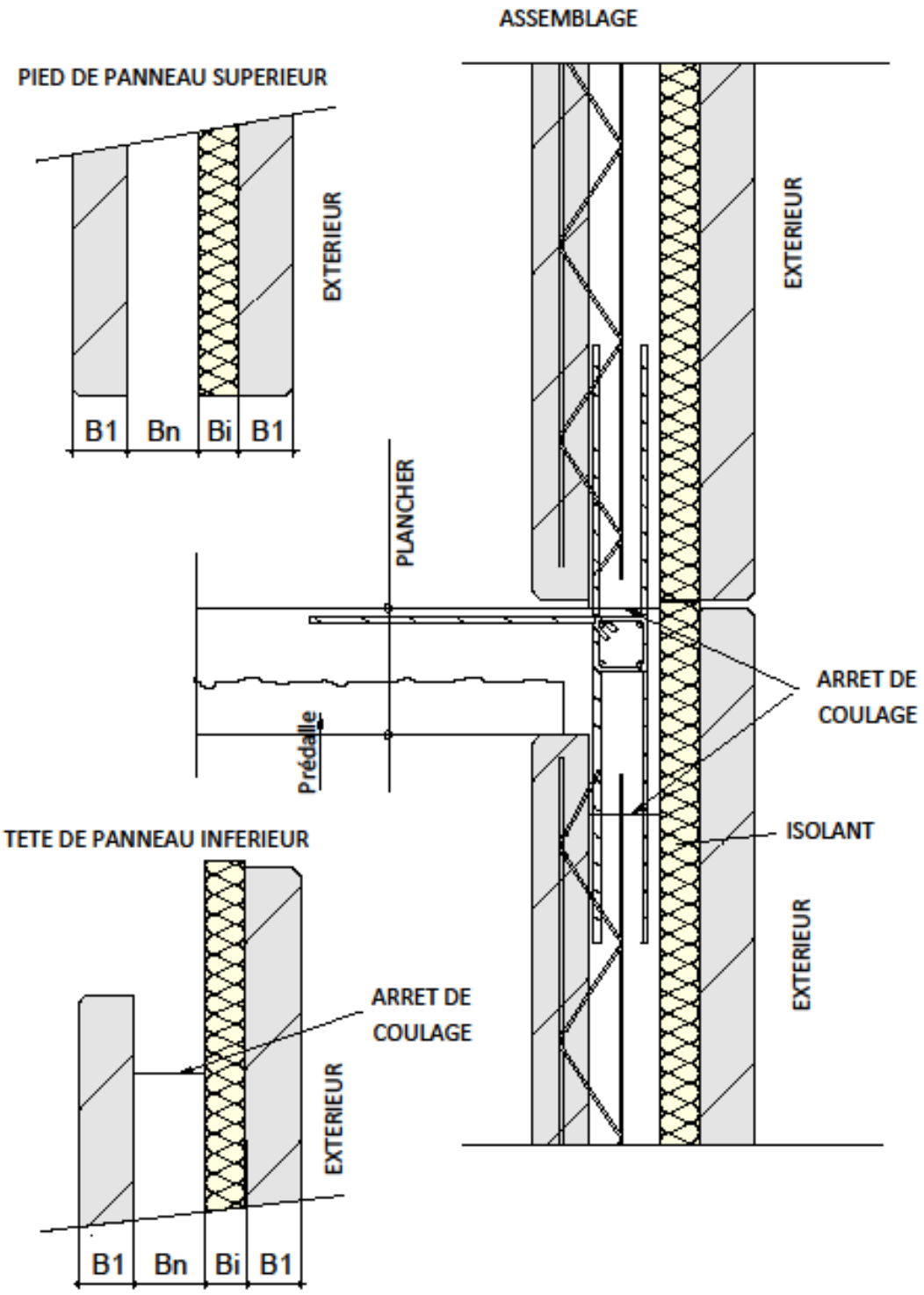
SORIBA
Structures en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
principe de ferraillage
Liaison sans plancher

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 37/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

PREDALLE SUR APPUI



SORIBA
construire un avenir en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

Prédalle Posée

BETOMUR® RTh COFFRE

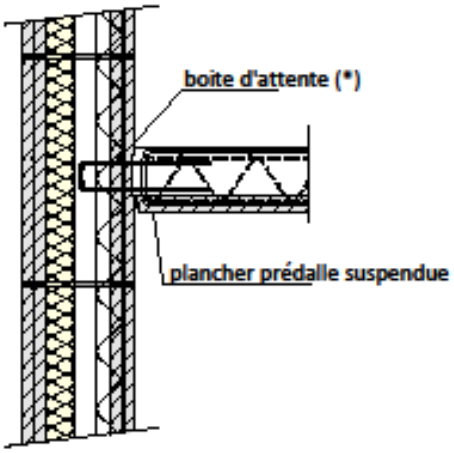
D1	06/2013	Indice 0	PAGE 38/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

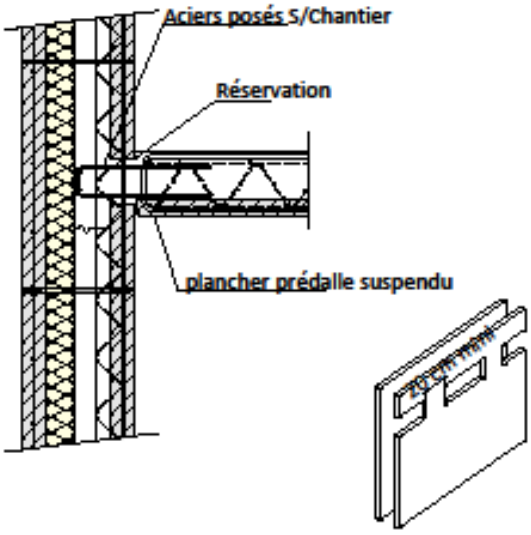
Allplan 2012

Liaison dalle préfabriqué
Hors dispositions parasismiques

Liaison de prédalles suspendues par boite d'attente
Solution D1



Liaison prédalles suspendues par aciers mis en oeuvre sur chantier
Solution D2



(*) restriction sismique

SORIBA
Constructeur en travaux en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

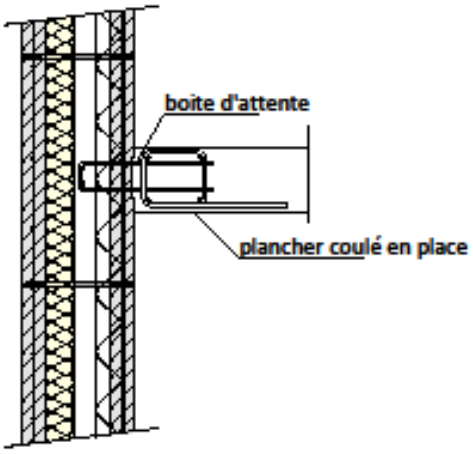
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 39/47

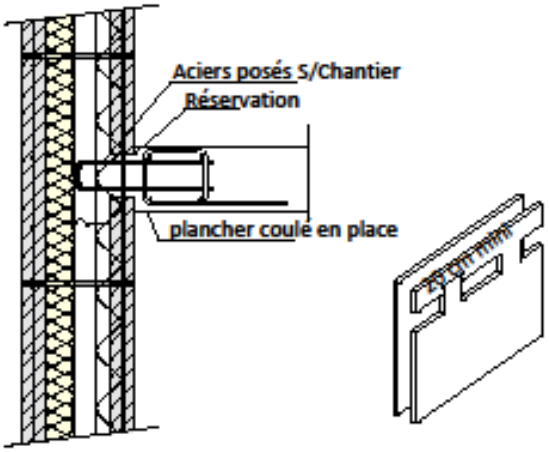
H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

Liaison dalles
Dispositions parasismiques

Liaison de dalle coulée en place par boite d'attente
Solution Ds1



Liaison dalle coulée en place par aciers mis en oeuvre sur chantier
Solution Ds2



SORIBA
Constructeur en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

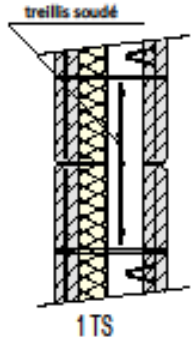
BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 40/47

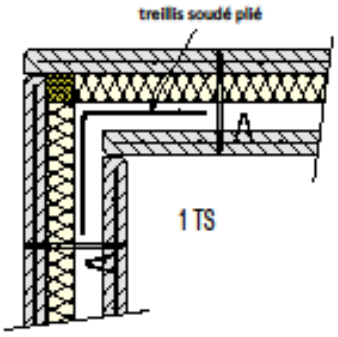
H/L = 297 / 210 (0.06m²) Allplan 2012

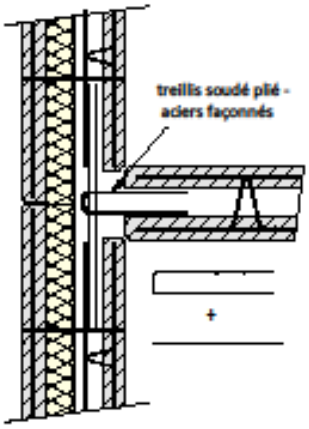
SOLUTION ROTULEE - COUPE SUR JOINT VERTICAL

(*)les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonction des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire

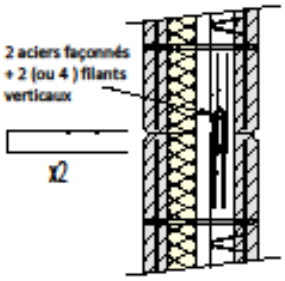
Solution R1

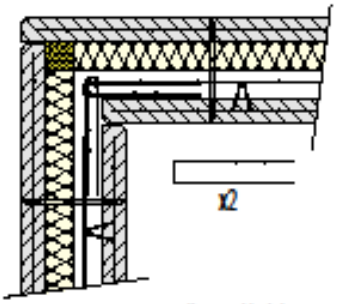


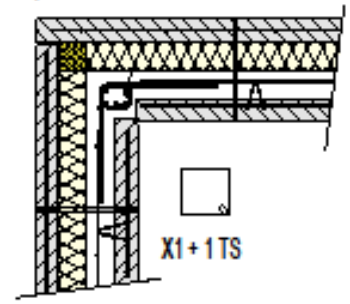


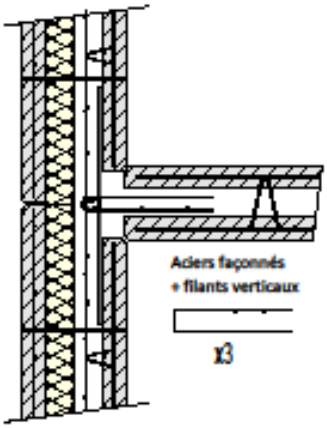


Solution R2
Noyau > 9cm

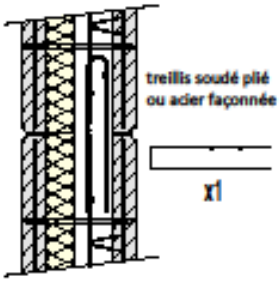


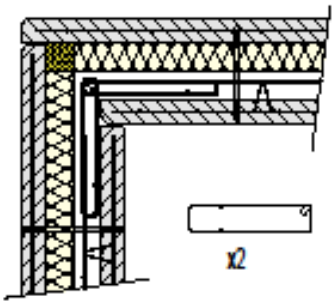


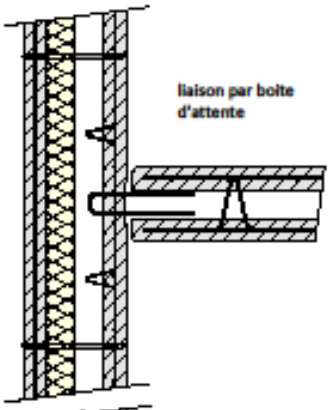


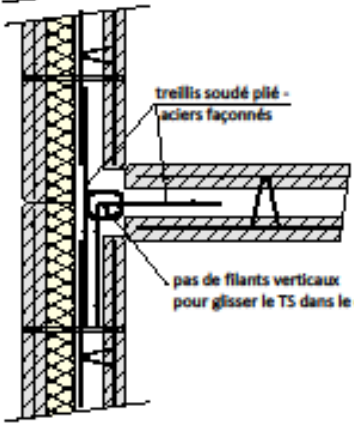


Solution R3
Noyau > 9cm









SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

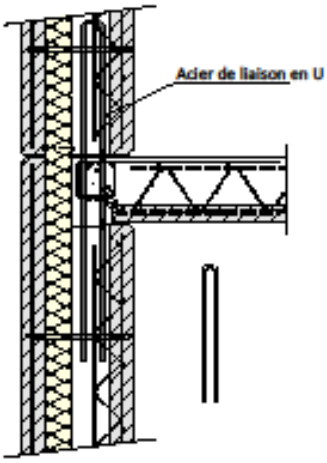
DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Solution Rotulée
Joints verticaux

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 41/47

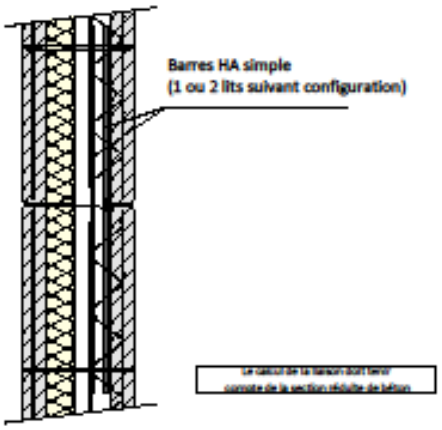
H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

SOLUTION ROTULEE - COUPE SUR JOINT VERTICAL

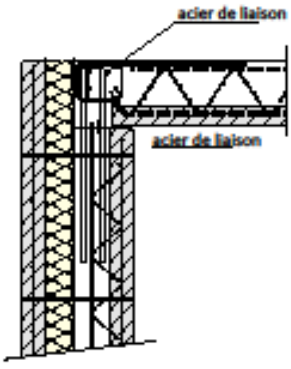
Liaison horizontale avec dalle intermédiaire

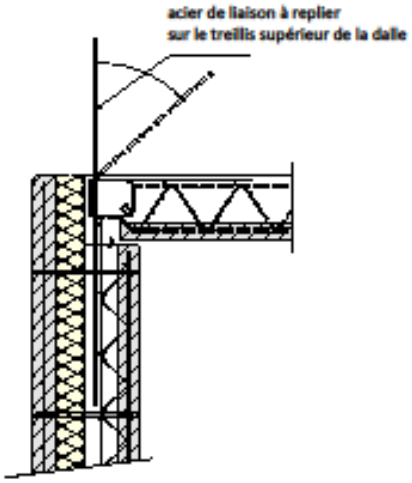


Liaison horizontale sans dalle



Liaison avec rive de dalle





SORIBA
Construire un avenir en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Solution Rotulée
Joints horizontaux

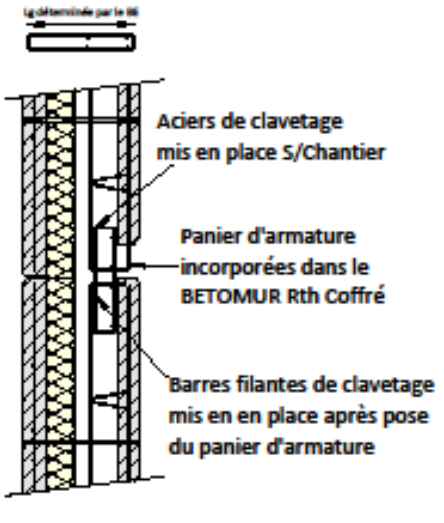
BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 42/47

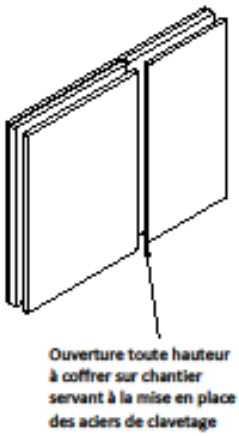
H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

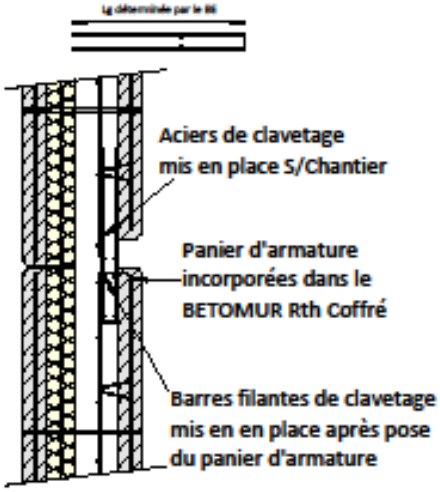
Liaisons verticales Couturées

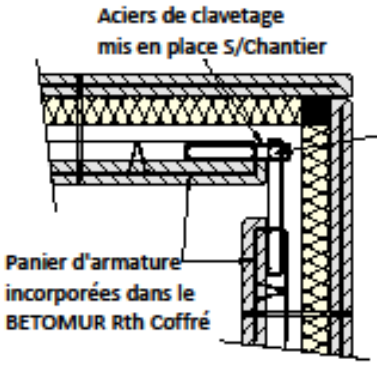
Solution C1

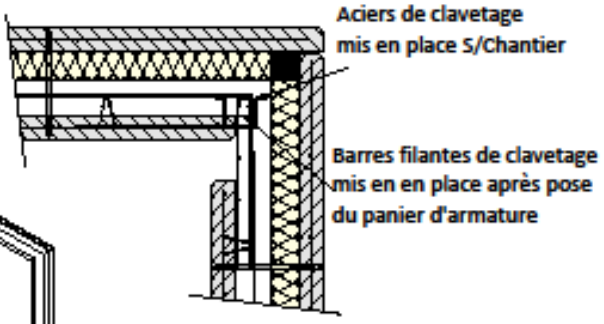


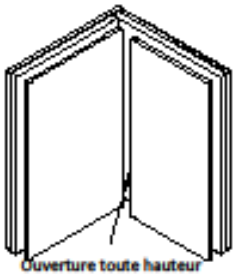


Solution C2

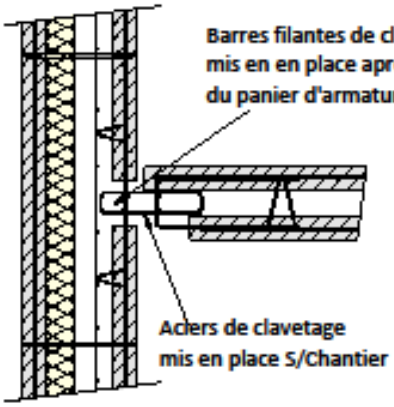


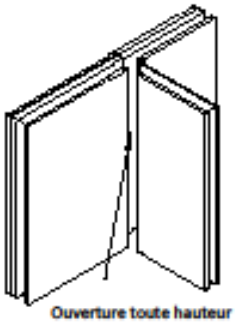


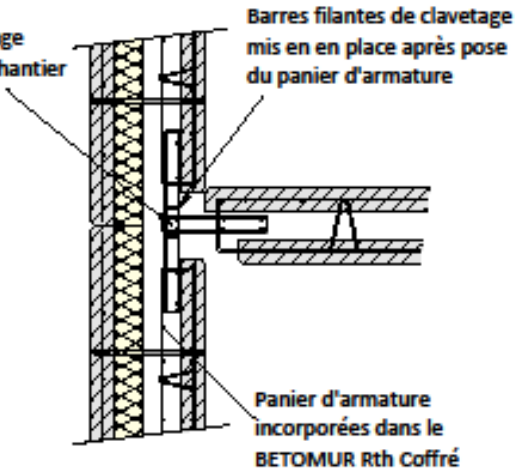




Panier d'armature
incorporées dans le
BETOMUR Rth Coffré







(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire
(**) Le calcul de la liaison doit tenir compte de la section réduite de béton

SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 43/47

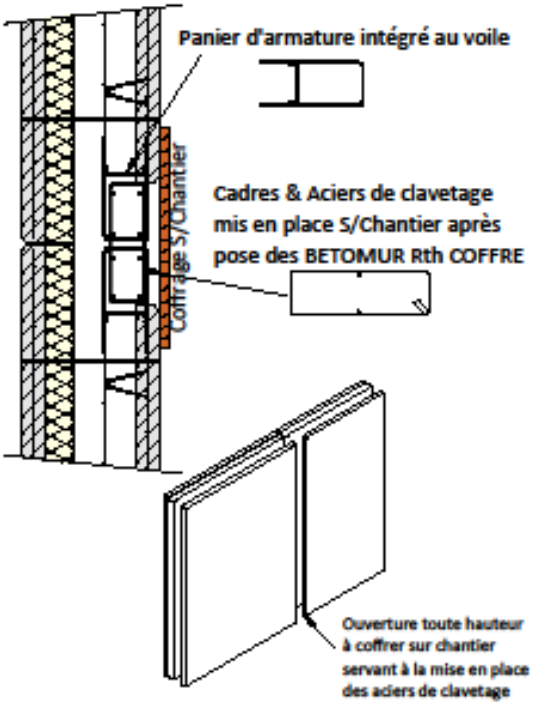
H/L = 297 / 210 (0.06m²)

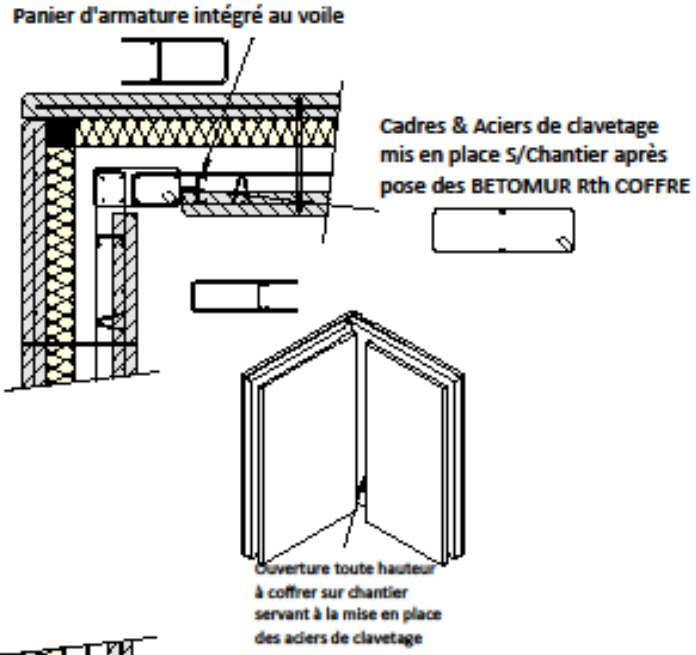
Allplan 2012

Liaisons encastrées avec aciers en attente - Solution En1

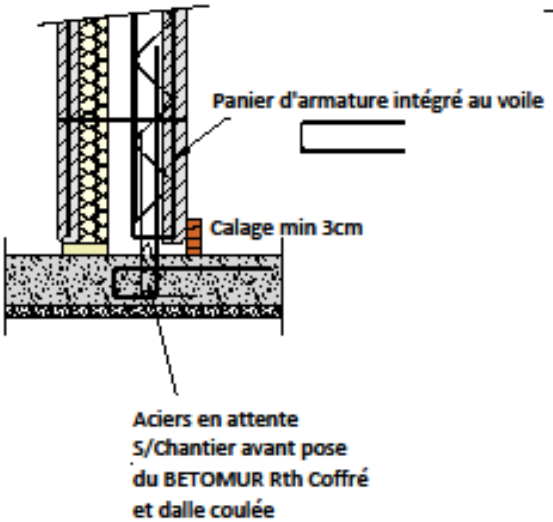
(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques

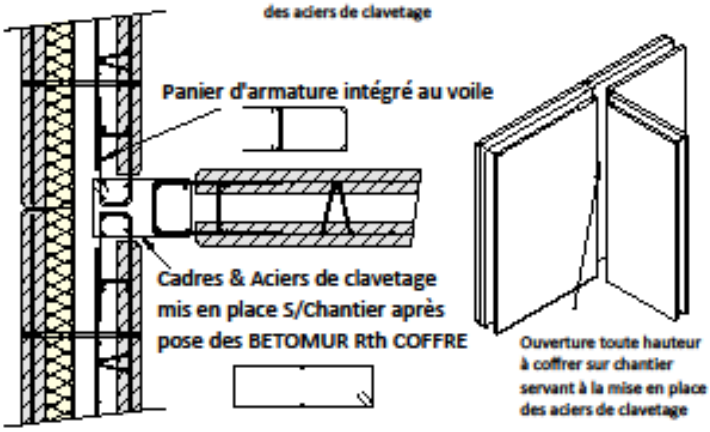
Liaison verticale



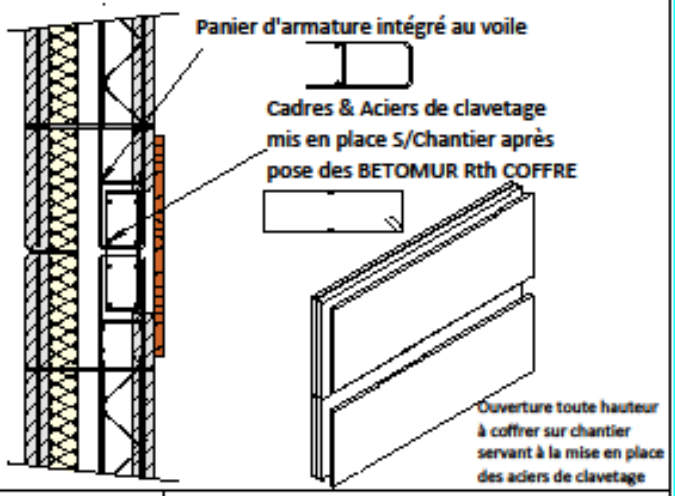


Encastrement en pied avec dalle déjà coulée





Liaison encastrée horizontale



SORIBA
Construire un avenir en béton
BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04
E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Solution Encastrée
Liaisons verticales avec attentes

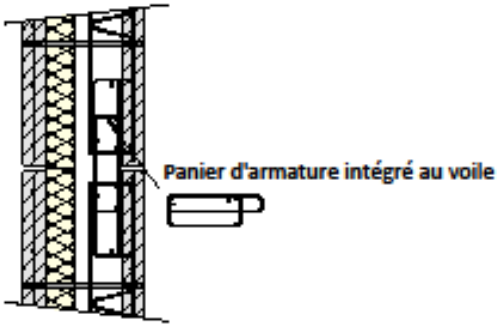
BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 44/47

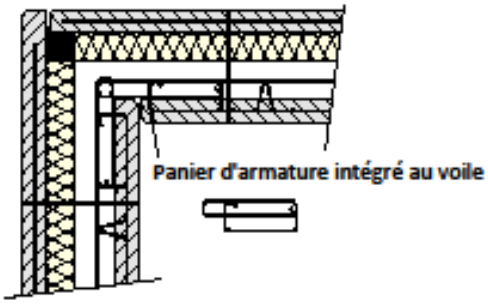
H/L = 297 / 210 (0.06m²)
Allplan 2012

Liaisons encastrées verticales - Solution En2

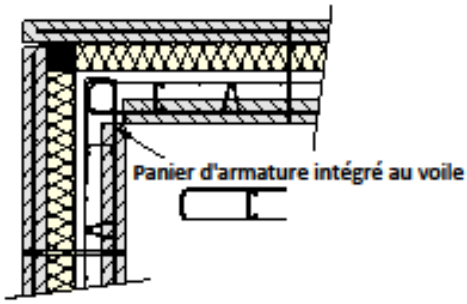
Ces disposition ne peuvent être mises en oeuvre avec des attentes
Nécessité de couler la dalle basse en même temps que les voiles

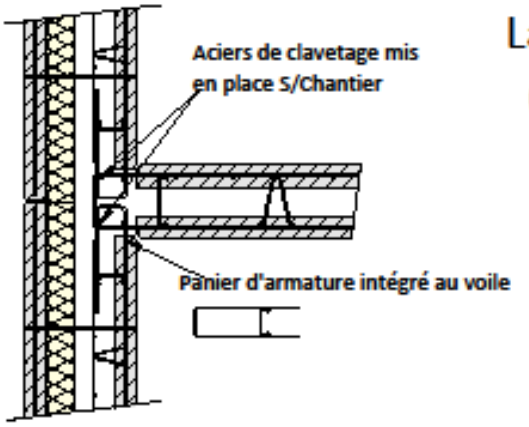
Liaison verticale encastrée



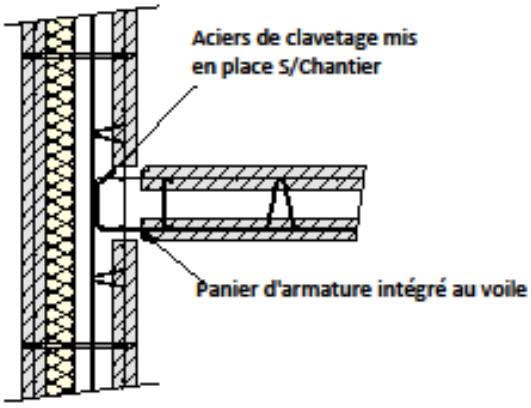


Laison verticale avec refend
(au droit d'un joint entre 2 bétomur Rth Coffré)





Laison vertical encastrée avec refend
(voile Bétomur Rth Coffré continu)



(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire

SORIBA
Construire un avenir en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Solution Encastrée
Liaisons verticales sans attentes

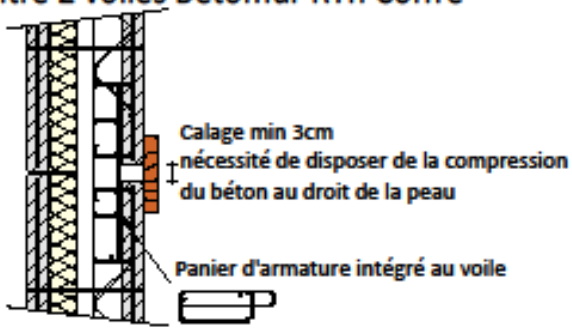
BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 45/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

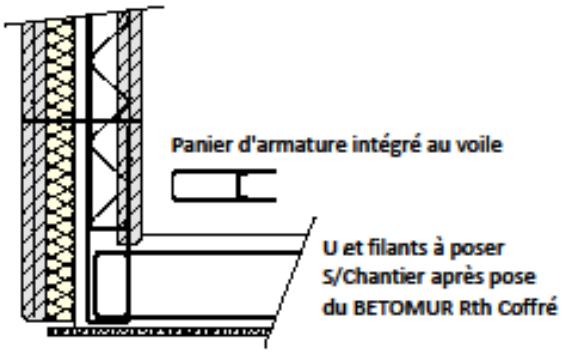
Allplan 2012

Liaisons encastrées horizontales - Solution En2

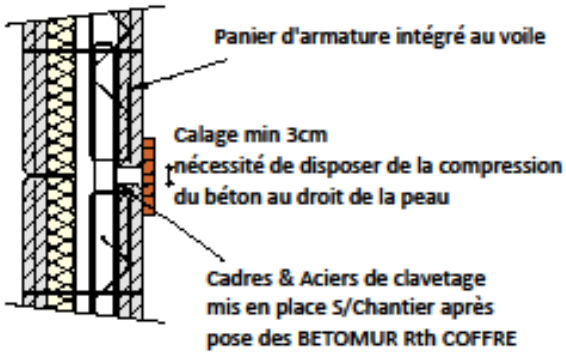
Liaison encastrée horizontale entre 2 voiles Bétomur RTh Coffré



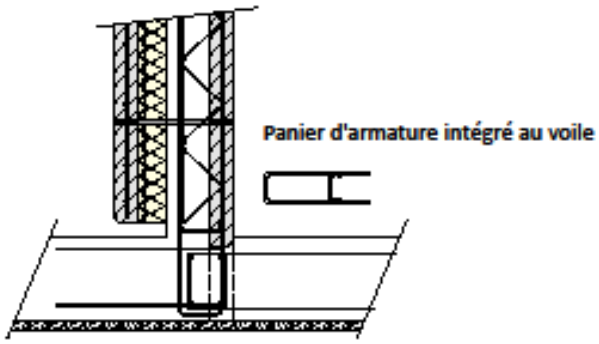
Liaison encastrée en pied



Liaison encastrée horizontale entre 2 voiles Bétomur RTh Coffré (variante)



Liaison encastrée en pied avec dalle continue



Liaison encastrée horizontale avec dalle (disposition utilisable avec une dalle coulée)

(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire

SORIBA
Construisons un avenir en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA
Solution Encastrée
Liaisons horizontales

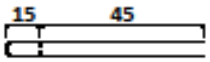
BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 46/47

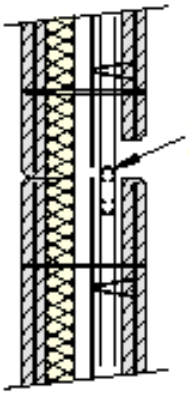
H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

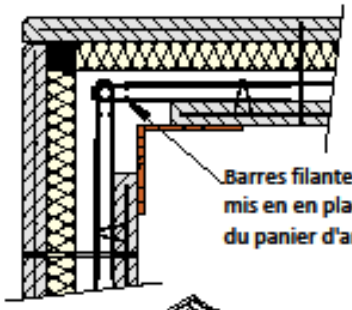
Liaisons verticales Sismique - Solution Sis

Liaison verticale

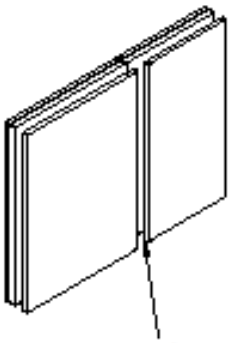




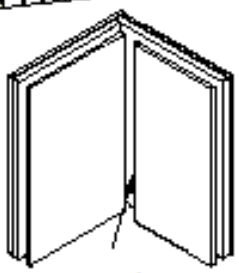
Barres filantes de clavetage mis en en place après pose du panier d'armature



Barres filantes de clavetage mis en en place après pose du panier d'armature

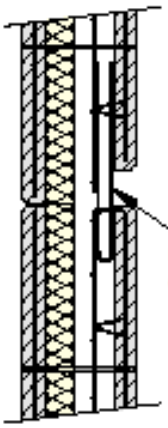


Ouverture toute hauteur à coffrer sur chantier servant à la mise en place des aciers de clavetage



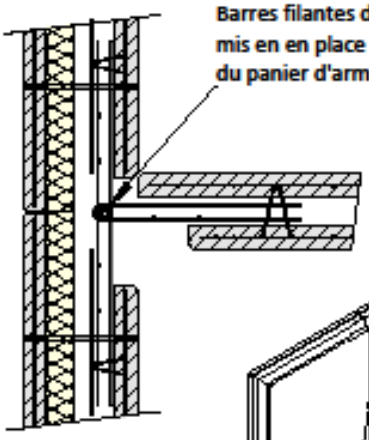
Ouverture toute hauteur à coffrer sur chantier servant à la mise en place des aciers de clavetage

Liaison verticale (variante)

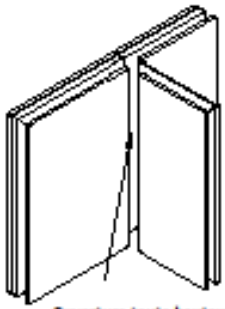


Barres filantes de clavetage mis en en place après pose du panier d'armature

Liaison verticale avec refends



Barres filantes de clavetage mis en en place après pose du panier d'armature



Ouverture toute hauteur à coffrer sur chantier servant à la mise en place des aciers de clavetage

(*)La longueur des aciers de liaison peut-être réduite et permettre l'absence d'ouverture des peaux en compensant la longueur d'ancrage par une diminution des espacements et augmentation du diamètre des aciers de liaison

(*)Les sections d'aciers nécessaires au droit des liaisons sont à définir par le Bureau d'Etudes Structures en fonctions des efforts statiques & dynamiques, le plan d'exécution est à la charge du titulaire

SORIBA
Construire un avenir en béton

BP 515
85305 CHALLANS Cedex
Tel 02-51-93-23-01
Fax 02-51-49-21-04

E-mail : soriba@soriba.fr
site internet www.soriba.fr

DETAILS TYPES ELEMENTS PREFA

Solution Sismique

BETOMUR® RTh COFFRE | 06/2013 | Indice 0 | PAGE 47/47

H/L = 297 / 210 (0.06m²)

Allplan 2012

Annexe 6 : Processus de justification d'un mur à coffrage et isolant intégrés

1. Objet de la note

La présente note technique a pour objet de décrire le processus de justification d'un mur porteur à coffrage et isolation intégrés (MC2I).

Cet ouvrage est formé d'une peau extérieure librement dilatable en béton préfabriqué, d'un matériau isolant continu, d'un noyau en béton coulé in-situ et d'une peau intérieure en béton préfabriqué.

Les calculs sont conformes aux règles en vigueur énumérées à la section 2 de cette Annexe. Le processus décrit ci-après est basé essentiellement sur l'application :

- Des normes Eurocodes et plus particulièrement de l'Eurocode 2 – Partie 1-1,
- Du cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégré (cahier 3690_V2 de juillet2014).

2. Règlementation – Règles de calcul – Documents de référence

[1] NF EN 206/CN – Béton – Partie 1 : Spécifications, performances, production et conformité

[2] NF EN 1990 – Eurocode 0 : Bases de calcul des structures

[3] NF EN 1991 – Eurocode 1 : Actions sur les structures
Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments
Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent
Partie 1-5 : Actions générales – Actions thermiques

[4] NF EN 1992 – Eurocode 2 : Calcul des structures en béton
Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu

[5] NF EN 1998 – Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes

[6] C.E.B. IV – Recommandation CEB – CIB – UEAtc « Recommandations Internationales Unifiées pour le Calcul et l'Exécution des Structures en Panneaux de Grand Format » édité par Associazionne Italiana Technico Economica del Cemento – Rome 1969

[7] Directives Communes pour l'Agrément des Procédés de Construction par Grands Panneaux Lourds Préfabriqués – Livraison 80 – Cahier 696 rédigé par l'UEAtc – juin 1966

[8] DTU 23.1 – Murs en béton banché

[9] DTU 22.1 – Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire

[10] DTU 20.12 – Maçonnerie des toitures et d'étanchéité – Gros œuvre en maçonnerie des toitures destinées à recevoir un revêtement d'étanchéité – Partie 1 : cahier des clauses techniques

[11] Cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégré – Cahier du CSTB n° 3690 –V2 2014

3. Hypothèses

3.1 Matériaux

3.1.1 Béton des parois préfabriquées

Classe de béton C35/45 – Conforme à la norme NF EN 206/CN réf. [1]

Densité du béton : 2,50

Résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours : $f_{ck} = 35\ MPa$

Résistance de calcul à la compression

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \times f_{ck}}{\gamma_c} \qquad (1)$$ formule (3.15) réf. [4]

Avec :

- $\alpha_{cc} = 1{,}0$
- $\gamma_c = 1{,}50$(une valeur γ_c de 1,3 peut être retenue pour des éléments préfabriqués sous réserve de tolérances réduites et d'un contrôle de qualité) ; en situation accidentelle $\gamma_c = 1{,}20$

Résistance à la traction moyenne

$$f_{ctm} = 0{,}3\ {f_{ck}}^{2/3} \qquad (2)$$ tableau (3.1) réf. [4]

Résistance de calcul à la traction

$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk} / \gamma_c = 0{,}47 f_{ctm} \quad avec \quad \alpha_{ct} = 1$ (3) tableau 3.1 & formule (3.16) réf. [4]

Module de déformation sous charges de courte durée

$$E_{cm} = 22000\ \left[{(f_{ck} + 8)}/{10}\right]^{0.3} \qquad (4)$$ tableau 3.1 réf. [4]

Prise en compte de l'âge du béton

Résistance à la compression

Cas des bétons normaux à base de ciment CEM 32,5 R – CEM 42,5 N : s= 0,25

$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t)\ f_{cm}$ avec $f_{cm} = f_{ck} + 8\ MPa$ (5) tableau 3.1 & formules (3.1 / 3.2) réf. [4]

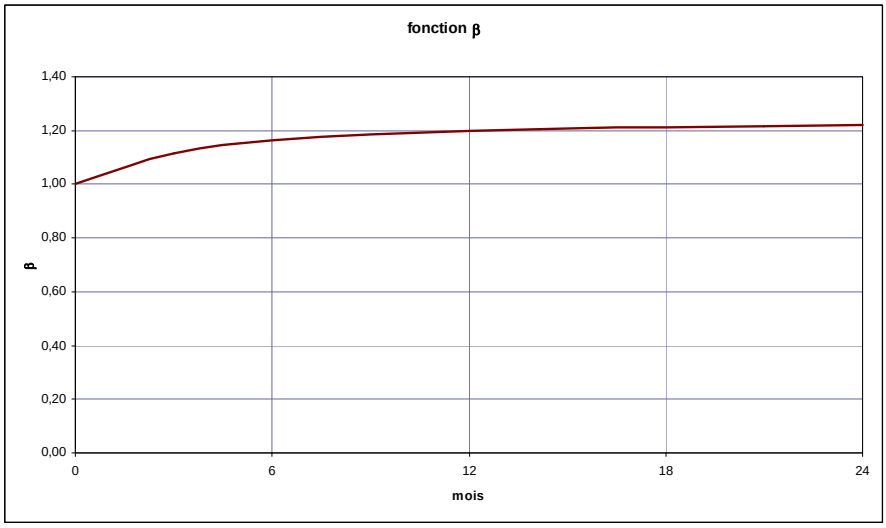


Figure 1

3.1.2 Béton de remplissage

Classe de béton **minimale** C25/30 – Conforme à la norme NF EN 206/CN réf. [1]

Densité du béton : 2,50

Résistance caractéristique **minimale** du béton à la compression à 28 jours : $f_{ck} = 25\ MPa$

Valeurs caractéristiques par application des formules (1) à (5) du paragraphe 3.1.1 de cette Annexe.

3.1.3 Armatures

Armatures conformes à la norme européenne EN 10080 et certification AFCAB

- Aciers HA (B500B) ⇨ Limite d'élasticité $f_{yk} = 500\ MPa$
- Treillis soudés (B500A) ⇨ Limite d'élasticité $f_{yk} = 500\ MPa$

Résistance de calcul :

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s \quad (6)$$ figure 3.8 réf. [4]

Avec :

$\gamma_s = 1{,}15$ (sauf cas accidentel où il est pris égal à 1,0)

Module d'élasticité :

$$E_s = 200\ 000\ MPa$$

3.2 Durabilité et enrobage des armatures

3.2.1 Conditions d'environnement

Par application de la norme NF EN 206/CN, il existe 18 classes d'environnement. On peut rencontrer les classes d'environnements suivants dans cas d'un panneau de façade extérieure :

Classe d'environnement	Description de l'environnement	Exemples informatifs illustrant le choix de la classe d'exposition
Corrosion induite par carbonatation		
XC1	Sec ou humide en permanence	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité à l'air ambiant est faible Les parties de bâtiments à l'abri de la pluie, clos ou non, sans condensation
XC3	Modérément humide	Béton de structures couvertes, closes ou non, à l'abri de la pluie avec condensation Béton extérieur abrité de la pluie
XC4	Alternativement humide et sec	Façades extérieures non protégées de la pluie
Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer		
XS1	Exposé à l'air véhiculant du sel marin mais pas en contact direct avec l'eau de mer	Façades sur ou à côté d'une côte, situées à moins de 1000 m de la côte, et jusqu'à 5 km si topologie particulière
XS3	Zones soumise à des projections ou à des embruns	Façades exposées aux embruns marins situées de 0 à 100 m de la côte, voire à 500 m si topographie particulière
Attaque gel/dégel		
XF1	Saturation modérée en eau, sans agent de déverglaçage	Surfaces verticales de béton exposées à la pluie et au gel

3.2.2 Exigences de durabilité

Sauf spécifications contraires des Documents Particuliers du Marché (DPM), les ouvrages sont justifiés pour une classe structurale S4 correspondant à une durabilité de 50 ans (cas usuel des bâtiments ou autres structures courantes). réf. [2]

3.2.3 Enrobage des armatures

3.2.3.1 Généralités

L'enrobage des armatures est choisi en fonction du diamètre des armatures et de la nature agressive ou non du milieu ambiant dans lequel sera placé l'ouvrage. Il est défini comme étant la distance entre la surface de l'armature (épingles, étriers et cadres compris, ainsi que les armatures de peau, le cas échéant) la plus proche de la surface du béton et cette dernière.

L'enrobage nominal est défini comme l'enrobage minimal c_{min} plus une marge de calcul pour tolérances d'exécution Δc_{dev}.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (7)$$ formule (4.1) réf. [4]

Dans le cas d'éléments préfabriqués en usine pour lesquels le processus bénéficie d'un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) on peut adopter $\Delta c_{dev} = 5\ mm$. article 4.4.1.3 réf. [4]

3.2.3.2 Enrobage minimal

$$c_{min} = max\ \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm \} \quad (8)$$ formule (4.2) réf. [4]

Avec :

$c_{min,b}$: enrobage minimal vis-à-vis des exigences d'adhérence : $c_{min,b} \geq \varphi\ ou\ \varphi_n$(ϕ = diamètre de la barre ou ϕ_n diamètre équivalent du groupe de barres) tableau 4.2 réf. [4]

Enrobage minimal requis vis-à-vis de la durabilité : $c_{min,dur}$ tableau 4.4N réf. [4]

Exigence environnementale pour $C_{min,dur}$ (mm)							
Classe structurale	**Classe d'exposition selon Tableau 4.1 réf. [4]**						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S4	10	15	25	30	35	40	45

Nota : Pour les classes d'exposition XF, l'enrobage sera déterminé par référence à une classe d'exposition XC ou XD.

3.2.3.3 Enrobage des armatures de la peau extérieure

Il s'agit de l'enrobage minimal à respecter pour la peau extérieure, côté parement extérieur **et** côté isolant.

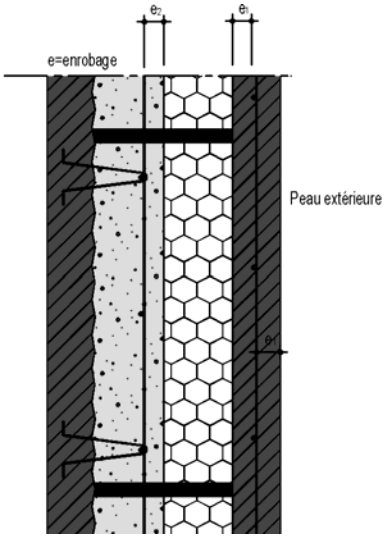


Figure 2

La classe de résistance retenue pour le béton de la peau extérieure est la classe C40/50 ; une minoration d'une classe structurale, pour les classes d'environnement X0 à XC4, conformément à l'application de l'annexe nationale, peut être envisagée.

De plus, compte tenu qu'une bonne compacité des enrobages peut être garantie pour des éléments préfabriqués industriellement (PAQ de l'entreprise), nous retiendrons une nouvelle minoration d'une classe structurale et ce pour l'ensemble des classes d'exposition.

Les enrobages à satisfaire sont donc les valeurs exigées pour une classe S2 soit :

Exigence environnementale pour $C_{min,dur}$ (mm) – Béton C40/50 préfabriqué en usine							
Classe structurale	**Classe d'exposition selon Tableau 4.3N réf. [4]**						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S2	10	10	15	20	30	35	40

Pour un béton de façade classé XC4, on obtient : $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 5 = 25\ mm$

Le plan d'étanchéité se situe côté extérieur du noyau coulé en place. De ce fait, le côté intérieur de la peau extérieure est exposé conditionnant ainsi son épaisseur minimale :

$$b_2 \geq 2 \cdot c_{nom} + \emptyset_v + \emptyset_h + \Delta$$

Avec :

- $\emptyset_v$: diamètre des armatures verticales présentent dans la paroi extérieure ;
- $\emptyset_h$: diamètre des armatures horizontales présentent dans la paroi extérieure ;
- $\Delta = \sqrt{(\Delta e^+)^2 + (\Delta b^-)^2}$

Où, les valeurs des tolérances retenues sont les suivantes (classe B au sens de la norme NF EN 14992) :

- $\Delta e^+ = 5\ mm$: tolérance en plus sur l'enrobage des armatures de la paroi extérieure ;
- $\Delta b^- = 5\ mm$: tolérance en moins sur l'épaisseur de la paroi extérieure préfabriquée ;

3.2.3.4 Enrobage des armatures du noyau côté isolant

Suivant la classe de résistance retenue pour le noyau coulé en œuvre, on applique les prescriptions des paragraphes 3.2.3.2 et éventuellement 3.3.3.3 de cette annexe si une minoration de classe structurale peut être appliquée.

Dans le cadre d'une façade ne recevant pas de protection particulière, la paroi du noyau côté isolant est classée XC3, environnement à « humidité modérée », la peau extérieure protégeant le noyau de la pluie.

3.2.3.5 Enrobage des armatures de la peau intérieure côté intérieur

La classe de résistance retenue pour le béton de la peau intérieure étant la classe C40/50, on applique les prescriptions des paragraphes 3.2.3.2 et 3.2.3.3 de cette Annexe

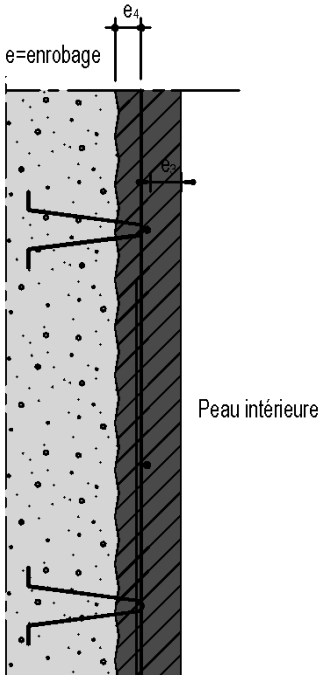


Figure 3

Dans le cadre d'un bâtiment courant, la paroi, côté intérieur de la peau intérieure, est classée XC1, environnement « sec ou humide en permanence ».

3.2.3.6 Enrobage des armatures de la peau intérieure côté noyau coulé en place

L'enrobage des raidisseurs métalliques doit permettre de respecter les exigences vis-à-vis de la résistance au bétonnage et celles vis-à-vis des coutures entre le voile préfabriqué et le béton coulé en place.

$$c_{1min} = max(c_{bét\_1min}; c_{cout\_1min}) \quad (9)$$ article A.1.1.f réf. [11]

Avec :

- $c_{bét\_1min}$ enrobage minimal pour une vitesse de bétonnage et un espacement entre raidisseurs donnés.
- Vis-à-vis des coutures de l'interface peau/noyau, l'enrobage minimal des armatures longitudinales d'un treillis raidisseur est égal à :
  - c_{cout_1min} = 10 mm pour l'armature soudée à une nappe de treillis,
  - c_{cout_2min} = 15 mm pour l'armature soudée à deux nappes de treillis.

Comme la résistance caractéristique de la peau préfabriquée intérieure $f_{ck} = 40\ MPa > 25\ MPa$, la valeur de 15 mm peut être réduite. L'enrobage minimal c_{cout_2min} sera dans ce cas égal à :

$$c_{cout\_2min} = max\left\{\sqrt{\frac{2,56}{f_{ctm}}} \times 15\ mm; 10\ mm\right\} \quad (10)$$ article A.1.1.f réf. [11]

Avec f_{ctm} la résistance caractéristique à la traction du béton préfabriqué.

3.3 Calepinage des façades

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

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

Les 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 arrêtés qu'après calepinage de l'ouvrage.

4. Analyse structurale

4.1 Généralités

L'analyse structurale a pour objet de déterminer la distribution soit des sollicitations, soit des contraintes, déformations et déplacements de l'ensemble ou d'une partie de la structure. Si nécessaire, une analyse locale complémentaire doit être effectuée.

L'analyse structurale est effectuée à partir d'hypothèses simplificatrices concernant la géométrie de la structure et son comportement. Elle peut être basée sur 4 modèles de comportement : section 5 réf. [4]

- Comportement élastique : analyse linéaire utilisable à l'ELS et à l'ELU,
- Comportement élastique avec redistribution limitée : utilisable exclusivement à l'ELU,
- Comportement plastique : utilisable exclusivement à l'ELU,
- Comportement non linéaire : analyse utilisable à l'ELS et à l'ELU.

Pour chaque combinaison d'actions, il y a lieu de considérer les cas de charges dimensionnants, soit à l'ELS, soit à l'ELU.

4.2 Combinaisons d'actions

4.2.1 Définition des actions suivant les Eurocodes

Les différentes actions envisagées pour le calcul des sollicitations sont les suivantes :

- G_k : ensemble des actions permanentes (avec $G_{k,inf}$ et $G_{k,sup}$)
- Q_k : ensemble des actions variables
- P_k : précontrainte
- A_d : *ensemble des actions accidentelles*
- A_{Ed} : *ensemble des actions sismiques*
- T : *action thermique*
- Q_S : *neige normale*
- F_W : vent normal

Modulation des actions variables :

- Q_{ki} : valeur caractéristique
- $\Psi_0 Q_{ki}$: valeur de combinaison
- $\Psi_1 Q_{ki}$: valeur fréquente
- $\Psi_2 Q_{ki}$: *valeur quasi-permanente*

4.2.2 Combinaisons d'actions – Méthode des coefficients partiels

Il convient de considérer comme format général des effets des actions :

$$E_d = \gamma_{Sd} E\{\gamma_{g,j} G_{k,j} \; ; \; \gamma_p P \; ; \; \gamma_{q,1} Q_{k,1} \; ; \; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1 \; ; \; i > 1 \quad (11)$$

article 6.4.3.2 réf. [2]

4.2.3 Combinaisons d'actions à l'état limite ultime de résistance – ELU

Combinaisons fondamentales :

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \; " + " \; \gamma_p P \; " + " \; \gamma_{Q,1} Q_{K,1} \; " + " \; \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (12)$$

article 6.4.3.2 réf. [2]

Avec :

"+" signifie doit être combiné à et $\gamma_G = 1.35 \; ou \; 1.00 \quad et \; \gamma_Q = 1.50 \; ou \; 0$

Combinaisons accidentelles :

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \; " + " \; P \; " + " \; A_d \; " + " \; (\psi_{1,1} \; ou \; \psi_{2,1}) Q_{K,1} \; " + " \; \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (13)$$

article 6.4.3.3 réf. [2]

Combinaisons sismiques :

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \; " + " \; P \; " + " \; A_{Ed} \; " + " \; \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (14)$$

article 6.4.3.4 réf. [2]

4.2.4 Combinaisons d'actions à l'état limite de service – ELS

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \; " + " \; P \; " + " \; Q_{K,1} \; " + " \; \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (15)$$

article 6.5.3 réf. [2]

Combinaisons d'actions fréquentes :

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \; " + " \; P \; " + " \; \psi_{1,1} Q_{K,1} \; " + " \; \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (16)$$

article 6.5.3 réf. [2]

Combinaisons d'actions quasi-permanentes :

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \; " + " \; P \; " + " \; \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (17)$$

article 6.5.3 réf. [2]

4.3 Actions

Les actions appliquées sur un panneau porteur devront être précisées suivant les directives de la présente annexe 2.

Ces actions doivent être conformes aux prescriptions des règles en vigueur et plus précisément suivant les valeurs caractéristiques indiquées dans les différents tableaux de la norme NF EN 1991-1-1 – réf. [3].

Concernant les actions sismiques, elles seront évaluées selon les méthodes d'analyse indiquées dans la norme NF EN 1998-1 – réf. [5].

Le coefficient de comportement pour les actions sismiques horizontales, *q,* qui tient compte de la capacité de dissipation d'énergie de la structure, doit être calculé conformément à l'article 5.2.2.2 de l'Eurocode 8.

D'autre part, k_p, coefficient de réduction dépendant de la capacité de dissipation d'énergie des structures préfabriquées, est déterminé suivant l'article 5.11.1.4 de l'Eurocode 8.

Les assemblages des éléments préfabriqués devront respecter les dispositions générales indiquées à l'article 5.11.2.

Dans le cas de panneaux non porteurs ou ne participant pas à la stabilité d'ensemble du bâtiment, ces éléments seront considérés non structuraux. Dans ce cas, le coefficient de comportement q_a aura une valeur maximale égale à 2,0. (Article 4.3.5 & tableau 4.4 réf.[5])

4.4 Détermination des sollicitations caractéristiques d'un mur

4.4.1 Charges verticales

A un niveau donné, les charges verticales agissant sur un mur sont calculées suivant les méthodes habituelles relatives aux descentes de charges. Elles peuvent être évaluées en appliquant un coefficient de réduction α_n à la charge d'exploitation totale apportée par les planchers. (Article 6.3.1.2 & Annexe Nationale réf. [3])

Lorsque les planchers reposent sur les murs par leurs quatre côtés, la répartition des charges entre les quatre murs porteurs correspond au découpage de la surface du plancher en trapèzes et triangles. Pour le calcul du mur, il est d'usage d'appliquer une charge uniformément répartie calculée de la façon suivante :

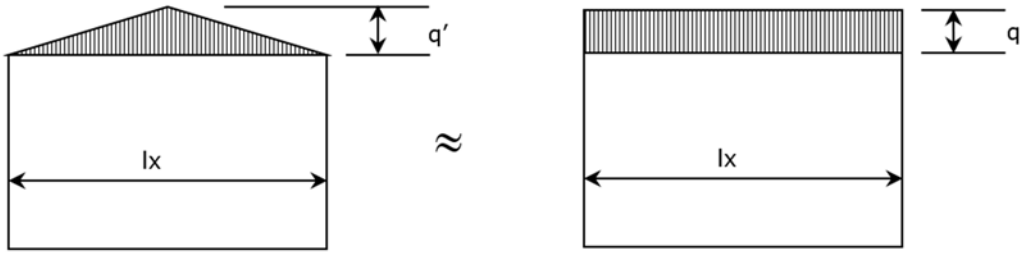


Figure 4

Avec $q = 0{,}70 \times q'$ (18)

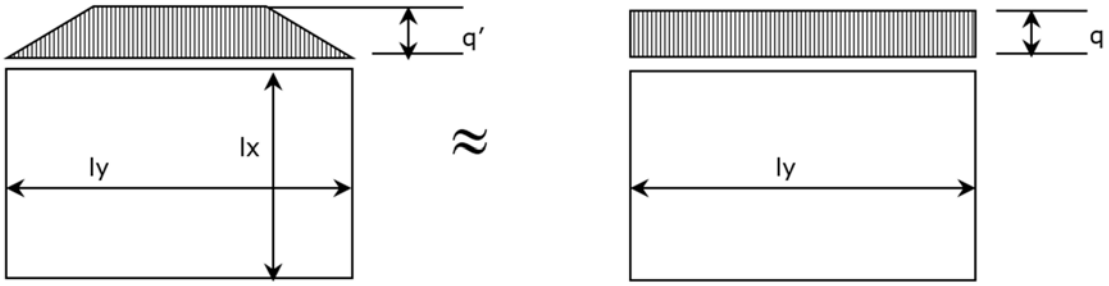


Figure 5

Avec $q = min\ \left[0{,}70\ q'\ \sqrt{\frac{ly}{lx}}\ ;\ q'\right]$ (19)

Les charges concentrées s'exerçant au niveau supérieur d'un panneau, appui de poutre par exemple, sont supposées se répartir uniformément à l'intérieur de la zone délimitée par les deux droites partant du point d'application de la charge et inclinées de :

- 1/3 s'il s'agit d'éléments en béton non armé,
- 2/3 s'il s'agit d'éléments en béton armé.

Cette règle de répartition est valable pour les panneaux et les joints horizontaux mais ne s'applique en principe pas à travers les joints verticaux sauf justification particulière.

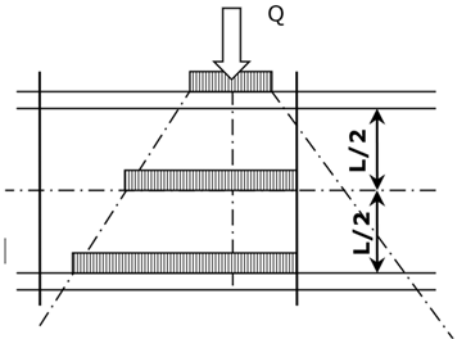


Figure 6

Dans le cas où un panneau présente une ouverture, on pourra évaluer les charges sur les trumeaux comme indiqué sur la figure suivante :

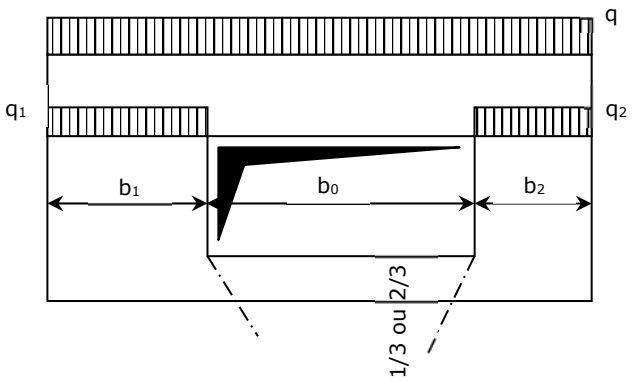


Figure 7

Avec :

$$q_1 = q\ \left[1 + 0{,}50\ \frac{b_0}{b_1}\right] \qquad q_2 = q\ \left[1 + 0{,}50\ \frac{b_0}{b_2}\right] \quad (20)\ \&\ (20^{bis})$$

4.4.2 Efforts horizontaux

Les différents efforts horizontaux à envisager sont dus :

- À l'action du vent,
- À l'action des séismes.

Les calculs des efforts d'ensemble dus au vent et aux séismes sont conduits suivante les normes en vigueur. La répartition des efforts horizontaux entre les différents refends susceptibles de participer au contreventement peut être effectuée suivant les méthodes habituelles. (Annexe I.2 réf. [4])

4.4.3 Constitution des consoles de contreventement complexes

On appelle « console élémentaire ou simple » tout ensemble composé d'une file de panneaux superposés assemblée par des joints horizontaux convenables.

Figure 8

On appelle « console complexe » un ensemble de consoles élémentaires associées par leurs bords verticaux pour constituer des unités de contreventement.

L'association de ces consoles élémentaires peut se faire de différentes manières :

- Association par joints verticaux de simple clavetage : aucune disposition particulière n'est prise en ce qui concerne le relief des bords verticaux mais des armatures de couture en quantité suffisante sont prévues,
- Association par joints verticaux organisés : les bords des panneaux sont traités spécialement en vue de la transmission effective d'efforts tangents d'un bord à l'autre (crantage),
- Association par verrous élastiques : ils sont constitués par des joints horizontaux, par des chaînages convenablement organisés ou par des dalles continues à travers les joints.

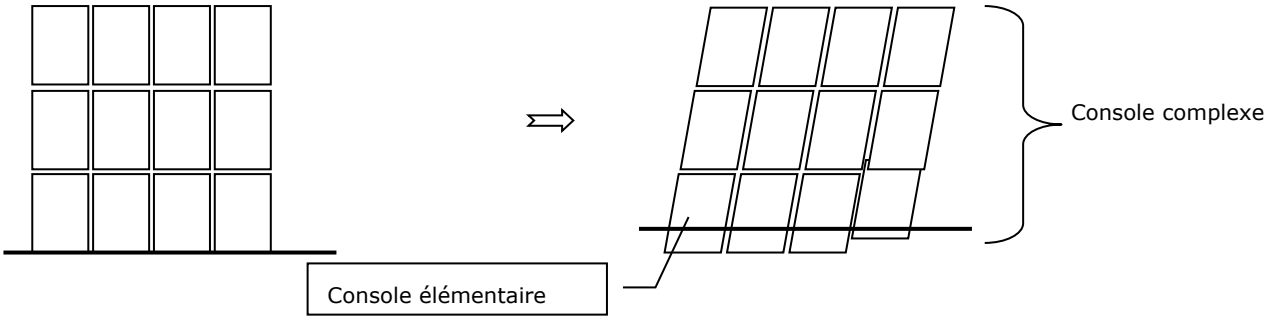


Figure 9

5. Conditions de conception

5.1 Prescriptions communes aux différents éléments

5.1.1 Valeurs caractéristiques de calcul

5.1.1.1 Notations

Les épaisseurs des différentes couches du mur à coffrage et isolation intégrés (MC2I) sont repérées sur la figure 10.

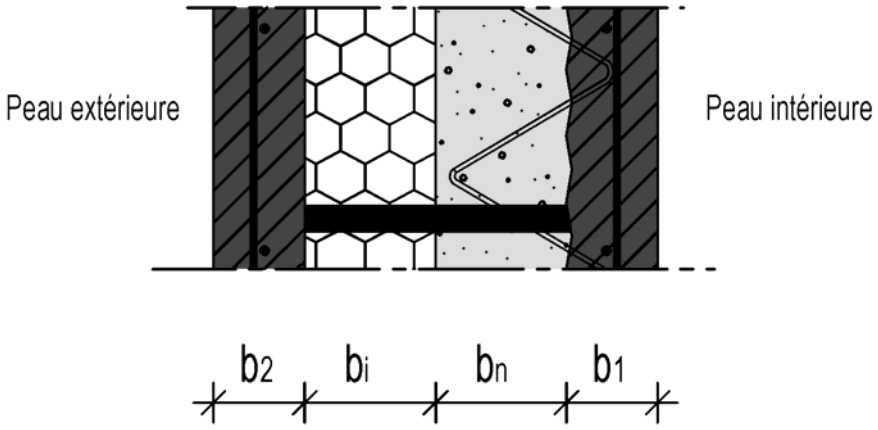


Figure 10

5.1.1.2 Vérification en zone courante

Pour la détermination de la capacité résistante en section courante du MC2I, on tient compte du retrait gêné du noyau coulé en œuvre par la présence de la paroi intérieure préfabriquée. Ainsi, la résistance équivalente à la compression à 28 jours, notée $f_{ck,eq}$, prise en compte pour l'épaisseur structurelle du mur (paroi intérieure + noyau coulé en œuvre) correspond à :

$$f_{ck,eq} = min\ \left(f_{ck,p} - 3\ 10^{-4} E_{v,n}\left(1 + \frac{3b_1 bn}{(b_1+b_n)^2}\right)\ ;\ f_{ck,n}\right) \quad (21)$$

article A.1.1.a. réf. [11]

Avec :

$f_{ck,p}$: résistance caractéristique du béton des parois préfabriquées

f_{cn} : résistance caractéristique du béton du noyau coulé en œuvre

$E_{v,n}$: module d'élasticité différé du béton du noyau coulé en œuvre

b_1 : épaisseur de la paroi préfabriquée intérieure

b_n : épaisseur du noyau coulé en œuvre

Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments incorporés dans le Mc2i (poteau, poutre, poutre voile, etc.

De plus, les effets de second ordre (liés au retrait différentiel des bétons préfabriqués et coulés en œuvre) doivent être pris en compte dans le dimensionnement des panneaux conformément au paragraphe 5.1.1.5 de l'Annexe 6 du Dossier Technique.

5.1.1.3 Vérification au niveau des joints

Au niveau des joints entre panneaux de Mc2i, ou entre panneau de MC2I et autre structure (radier, plancher, longrine, etc.), la résistance caractéristique équivalente $f_{ck,eq}$ à 28 jours prise en compte est $f_{ck,n}$.

Au droit des joints entre éléments de MC2I ou entre élément de MC2I et parties coulées en place, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du mur, réduite de la largeur des chanfreins éventuels, si :

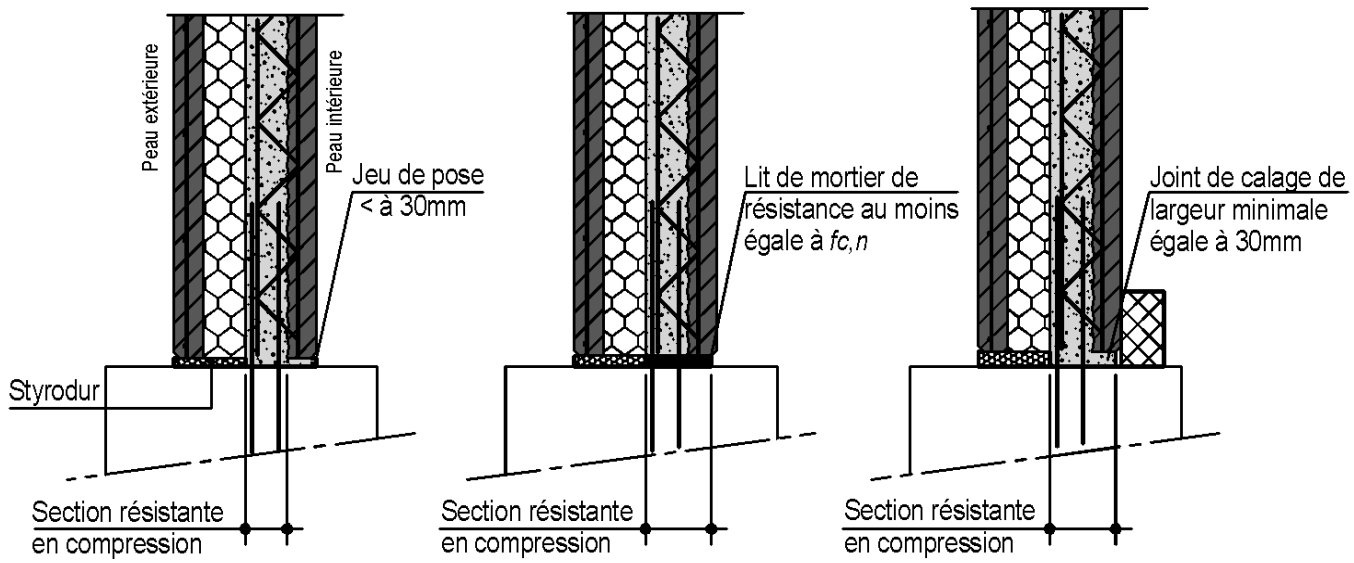
- Le joint présente une largeur minimale de 3 cm ou,
- La pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur f_{cn} prise en compte dans les calculs.

Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau (cf. figure 11).

La diffusion des charges s'effectue alors suivant une pente de 1/3 du noyau vers la peau extérieur avant d'intéresser totalement la paroi extérieure dans l'épaisseur totale résistante.

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

La hauteur utile du mur prise en compte dans les calculs est évaluée en fonction des dispositions prises pour le remplissage effectif des joints de calage, déduction faite des enrobages et des positions relatives des armatures.



5.1.1.4 Vérification au droit des liaisons entre Mc2i

5.1.1.4.1 Résistance au cisaillement

La vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint doit être menée de la façon suivante :

Les exigences de l'article 6.2.2 et de l'article 6.2.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale doivent être vérifiées. Dans le cas où l'article 6.2.3 doit être appliqué, les exigences de l'article 9.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale doivent être vérifiées.

L'effort tranchant résistant de calcul $V_{Rd,c}$ au droit du joint calculé selon l'article 6.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale est comparé à l'effort tranchant sollicitant de calcul V_{Ed} au droit du joint. Dans le cas de voiles, la valeur à utiliser pour v_{min} est donnée dans l'annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA et est égale à :

$$0{,}35 \cdot \frac{{f_{ck,n}}^{\frac{1}{2}}}{\gamma_c}$$

Lorsque la dernière condition de résistance au cisaillement n'est pas vérifiée, il convient de disposer des armatures de liaison en assimilant la section réduite au droit du joint à une reprise de bétonnage verticale. L'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale s'applique.

La vérification au cisaillement est alors menée en considérant l'hypothèse suivante : les valeurs des deux coefficients c et μ dépendant de la rugosité de l'interface sont égales respectivement à 0,5 et à 0,9.

La valeur de calcul de la contrainte de cisaillement au droit du joint est donnée par l'expression suivante :

$$V_{Rd,j} = c \cdot f_{ctd,n} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0{,}5 \cdot \nu \cdot f_{cd,n}$$

Avec :

- $f_{cd,n}$: la valeur de calcul de la résistance en compression 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 ;
- $f_{ctd,n}$: la valeur de calcul de la résistance 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 ;
- f_{yd} : la limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé égale à f_{yk}/γ_s ;
- f_{yk} *: la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé ;*
  - γ_s : le coefficient partiel de sécurité de l'acier ;
  - ν : le coefficient de réduction de la résistance du béton est donné par l'expression suivante :

$$\nu = 0{,}6\left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right)$$

- σ_n : la contrainte engendrée par la force normale externe minimale à l'interface susceptible d'agir en même temps que l'effort de cisaillement ; le terme σ_n est pris égal à 0 (contrainte normale à l'interface nulle).
- ρ : le ratio A_{lj}/A_j (A_{lj} étant la section d'armatures de liaison traversant l'interface et A_j l'aire du joint).
- α : l'angle d'inclinaison des armatures de liaison au droit du joint.

Dans le cas de configurations particulières pour lesquelles le mur en retour est associé comme une membrure comprimée, le glissement dans la section doit être vérifié selon l'article 6.2.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale

5.1.1.4.2 Résistance au cisaillement vertical sur le contour de la liaison

Selon le ferraillage d'about de panneau et de ses faces armées ou non, le chemin de rupture diffère. Il convient alors déterminer l'effort de glissement résistant par mètre linéaire de joint correspondant.

- Sans armature de couture – avec noyau armé côté extérieur

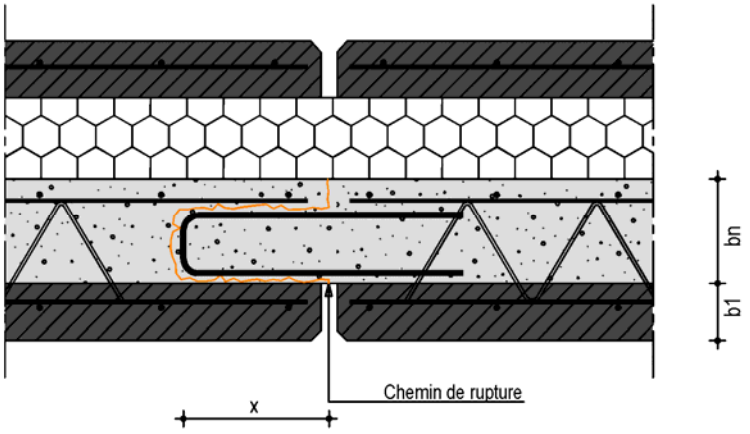


Figure 12

$$V_{Rd} = \left(c' f_{ctd,n}(b_n + x) + c f_{ctd,n} x\right) 1 \qquad (22)$$ formule (6.25) réf. [4] & annexe I. réf. [11]

Avec :

x : la distance de l'about d'armature à l'axe du joint

- Sans armature de couture – avec noyau non armé côté extérieur

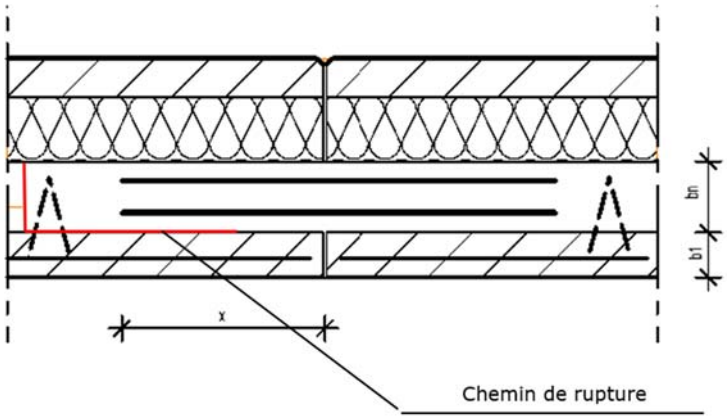


Figure 13

$$V_{Rd} = \left(c' f_{ctd,n} b_n + c f_{ctd,n} x\right) 1 \qquad (23)$$ formule (6.25) réf. [4] & annexe I. réf. [11]

Avec :

x : la distance de l'about d'armature à l'axe du joint

- Avec armatures de couture

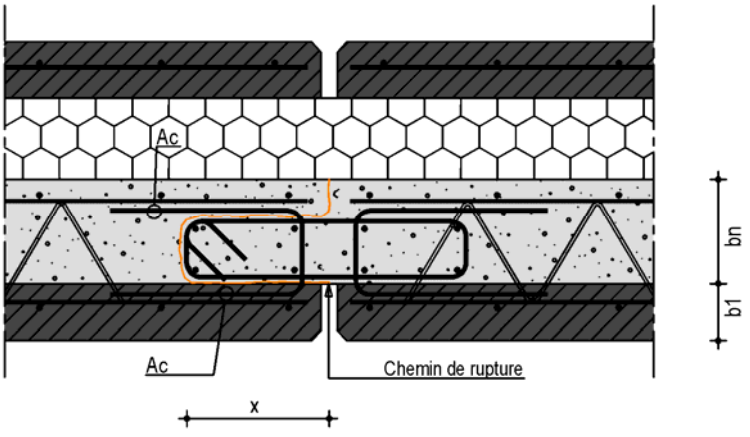


Figure 14

$$V_{Rd} = \left(c' f_{ctd,n}(b_n + x) + c f_{ctd,n} x + \mu\left(\rho f_{yd}\right) b_n\right) 1 \qquad (24)$$ formule (6.25) réf. [4] & annexe I. réf. [11]

Avec :

- $\rho = \frac{2A_c}{S_n}$: pourcentage d'armature traversant l'interface de cisaillée représentée fictivement par le chemin de rupture probable.
- x : la distance de l'about d'armature à l'axe du joint

Les coefficients c et μ sont présentés dans le tableau ci-après en fonction de la sollicitation de calcul vis-à-vis des états limites ultimes : combinaisons d'actions en situation durables ou transitoires (fondamentales) au sens de l'article 6.4.3.2 et de l'annexe A1 de la norme NF EN 1990 et combinaisons d'actions accidentelles au sens de l'article 6.4.3.3 et de l'annexe A1 de la norme NF EN 1990.

Sous charges dynamiques ou de fatigue, il convient de diviser par deux les valeurs du coefficient c, conformément à l'article 6.2.5 (5) de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

ELU	Situtation d'actions	
	Durables ou Transitoires	Sismiques
c'	0,5	0,25
c	0,20	0,10
μ	0,60	0,60

Avec :

- c' : coefficient de cohésion du béton cisaillé pleine masse selon la même hypothèse que la vérification en section réduite au droit du joint.
- c : coefficient de cohésion du béton reignant à l'interface noyau/paroi préfabriquée supposée « lisse ».
- μ : coefficient de frottement

5.1.1.4.3 Vérification du recouvrement des armatures

Le recouvrement des armatures entre celles du voile préfabriqué du mur à coffrage intégré et celles du noyau coulé en place doit être conforme à l'article 8.7 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française.

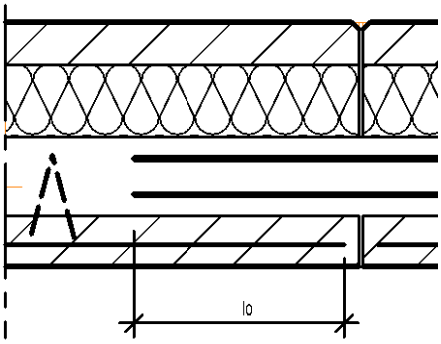


Figure 15

5.1.1.5 Prise en compte des effets du 2nd ordre dus au retrait différentiel

Les effets du 2nd ordre dus au retrait différentiel du béton du noyau par rapport au béton de la paroi intérieure peuvent être négligés si l'on respecte les prescriptions du tableau suivant :

Epaisseur $b_1 + b_n$	**16 cm**	**20 cm**	**25 cm**
Hauteur maximale du MC2I	4,00 m	5,00 m	7,00 m

Dans le cas contraire, il y a lieu de tenir compte d'une excentricité additionnelle e_{add} telle que :

$$e_{add} = \frac{1{,}510^{-4}\ E_{c,eff,n}}{(EI)_{eq}} \times \frac{b_n b_1}{16} H^2 \qquad (25)$$

$$(EI)_{eq} = \frac{E_{c,eff,1}}{4} \times \left(\frac{{b_1}^3}{3} + b_1 {b_n}^2\right) + \frac{E_{c,eff,n}}{4} \times \left(\frac{{b_n}^3}{3} + b_n {b_1}^2\right) \qquad (26)$$

5.1.2 Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface noyau / peau intérieur

Dans le cas d'éléments sollicités perpendiculairement à leur plan, il faut vérifier le monolithisme de la section à l'interface peau intérieure/noyau coulé en œuvre. La contrainte tangente est prise conventionnellement égale à :

$$\tau_{uc} = 1{,}10 \times \frac{V_{Ed}}{l \times (b_1 + b_n)} \qquad (27)$$ article A.1.4.a. réf. [11]

Avec :

- V_{Ed} : Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant
- l : largeur prise en compte (en général l = *1,00 m*)

Cette contrainte sera comparée à la valeur de la contrainte limite de cisaillement v_{Rdi} dispensant de mettre en œuvre des armatures de couture et définie au paragraphe 5.1.1.4.1 de cette annexe. Si nécessaire, des armatures de renfort devront être mises en place.

5.1.3 Equivalence des raidisseurs

Les renforcements des bords libres des voiles verticaux usuellement prévus dans les voiles selon les dispositions du section 9.6 de l'Eurocode 2 peuvent être réalisés dans les MC2I à l'aide de raidisseurs. Les barres de chaînages périphériques sont intégrées à la peau intérieure des MC2I et dans le noyau coulé en œuvre. Les U de fermeture constructifs sont remplacés par des raidisseurs.

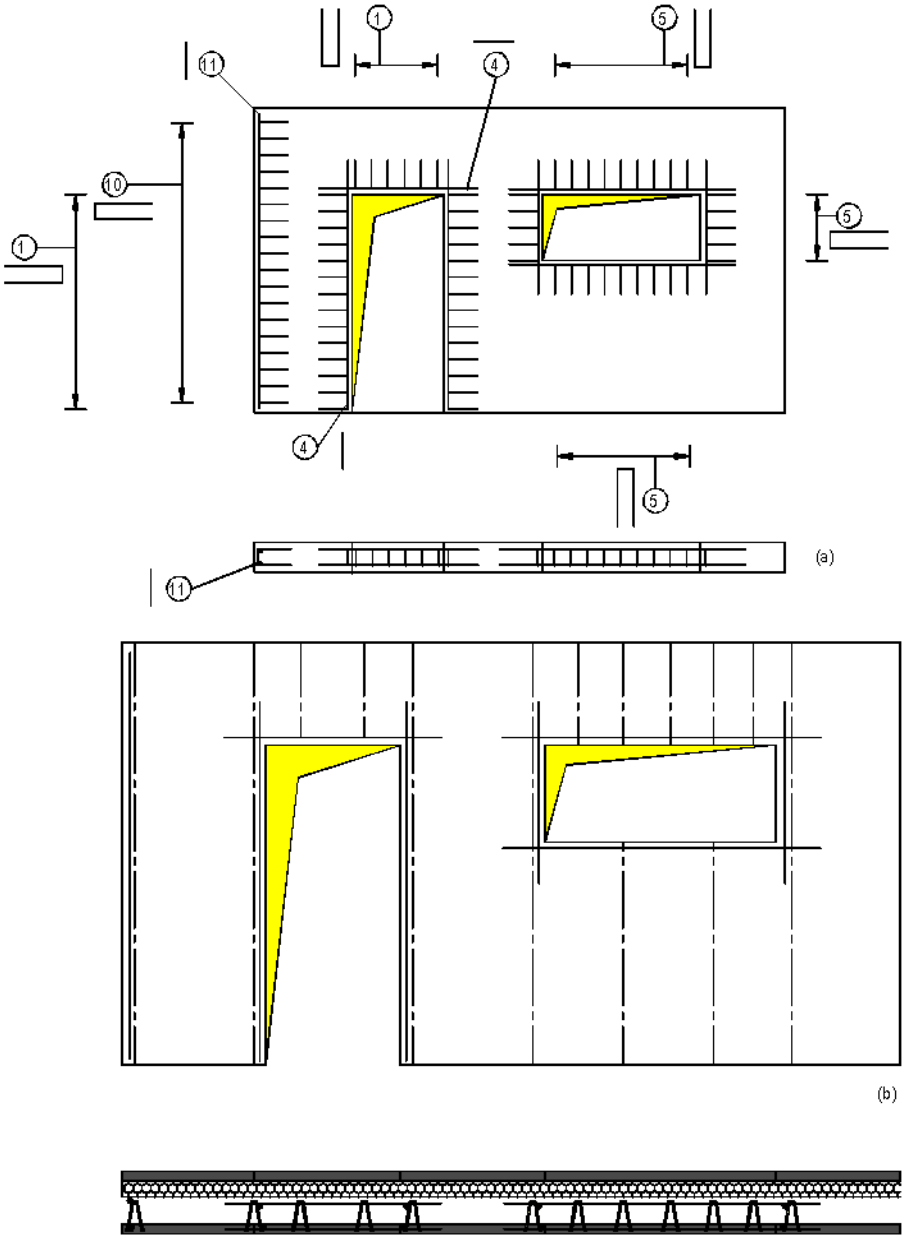


Figure 16

Les ferraillages constructifs constitués de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisés dans les MC2I à l'aide de raidisseurs.

Les filants sont soi intégrés en renforts dans la peau intérieure et le noyau du MC2I, soit remplacés par les filants des raidisseurs si la section est équivalente.

Les U, cadres, épingles et étriers constructifs sont remplacés par des raidisseurs (cf. Figure 12).

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

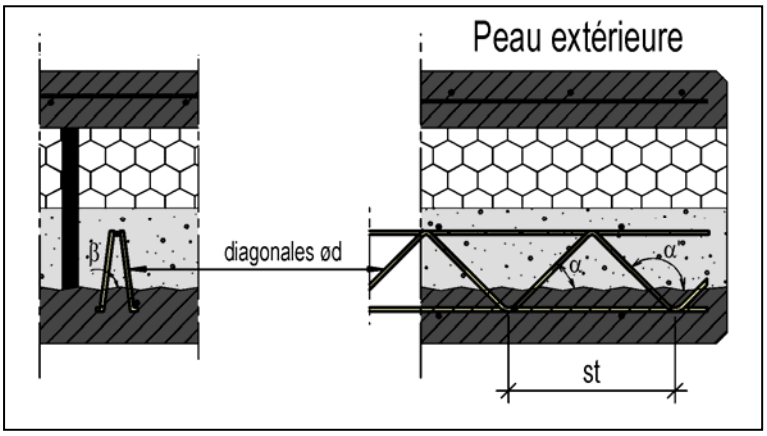


Figure 17

$$A_s = 4F_s \frac{\sin\alpha \times \sin\beta}{st \times f_e} \quad (28)$$ article A.1.1.i. réf. [11]

Avec :

- $F_s : Min\,(A_{di} \times R_{eDi} ; F_w)$
- R_{eDi} : limite apparente d'élasticité de la diagonale du raidisseur
- A_{di} : section nominale de la diagonale du raidisseur
- F_w : résistance garantie de la soudure des sinusoïdes sur les armatures longitudinales du raidisseur
- f_e : limite élastique des épingles

Calcul de 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'.

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire type treillis WARREN (cf. figure 13) :

$$\rho_\alpha = \rho_{\alpha'} = \frac{2A_d \sin\beta}{ste} \quad (29)$$ annexe II. réf. [11]

Avec :

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

Par exemple :

Espacements des raidisseurs *e = 60 cm*, diagonales ϕ *= 5 mm*, pas de la sinusoïde *st = 20 cm*, β *= 86°*, *sin*β *= 0.997*

$\Rightarrow \rho_\alpha = \rho_{\alpha'} = 0{,}0326\ \%$

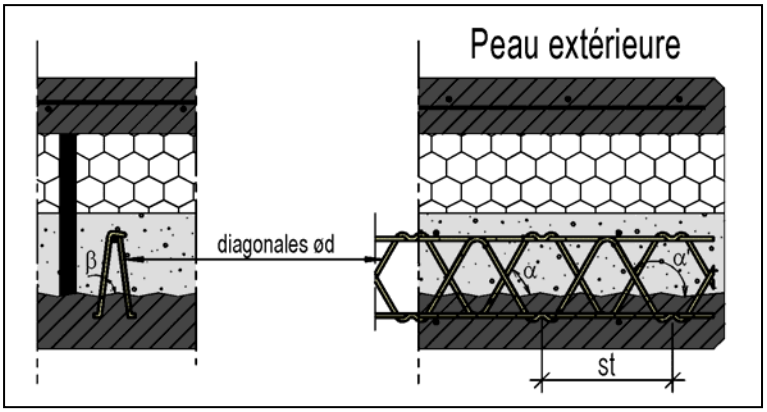


Figure 18

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire avec double sinusoïde (cf. figure 14) :

$$\rho_\alpha = \rho_{\alpha'} = \frac{2A_d \sin\beta}{ste} \quad (30)$$ annexe II. réf. [11]

Avec :

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

Par exemple :

Espacements des raidisseurs *e = 60 cm*, diagonales ϕ *= 6 mm*, pas de la sinusoïde s_t *= 30 cm*, β *= 86°*, *sin*β *= 0.997*

$$\Rightarrow \rho_\alpha = \rho_{\alpha'} = 0{,}0313\ \%$$

5.2 Prescriptions spécifiques aux voiles

5.2.1 Généralités

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

Les sollicitations doivent être équilibrées au droit des joints selon la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale en considérant :

- La résistance caractéristique du béton du noyau $f_{ck,n}$;
- Les armatures ancrées au-delà du joint ;
- La section utile résistante aux efforts qui est celle du béton du noyau.

Dans les cas où le joint présente une largeur minimale de 3 cm ou dans le cas où le joint est réalisé sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur caractéristique en compression du noyau coulé en place $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur b totale du mur.

Les murs non armés ou faiblement armés sont ceux qui ne possèdent pas d'acier de traction sous les sollicitations de flexion composée dans leur plan et qui respectent les conditions de la section 12 de l'Eurocode 2 pour les limites des contraintes normales et de cisaillement.

Les murs armés sont traités aux sections 5 à 9 de l'Eurocode 2 et assimilés à des poteaux d'un mètre linéaire. La bande de mur à examiner est issue de l'analyse structurale.

En tout état de cause, dans les éléments en béton non armé ou faiblement armé, il n'est pas exclu de disposer des armatures qui seraient nécessaires pour satisfaire les exigences d'aptitude au service et/ou de durabilité ou qui seraient nécessaires dans certaines parties de ces éléments. Ce ferraillage peut être pris en compte pour la vérification locale des états limites ultimes aussi bien que pour la vérification des états limites de service.

5.3 Prescriptions spécifiques aux poteaux

5.3.1 Elancement et longueur efficace des éléments isolés

Un poteau est un élément dont la plus grande dimension h est inférieure ou égale à 4 fois la plus petite dimension b (article 9.5.1 réf. [4])

On appelle élément isolé un élément effectivement isolé ou bien un élément d'une structure pouvant être traité comme tel pour les besoins du calcul. (Article 5.8.1 réf. [4])

Le coefficient d'élancement est défini de la manière suivante :

$$\boxed{\lambda = l_0/i} \qquad (31)$$ formule (5.14) réf. [4]

Avec :

- l_0 : longueur efficace : longueur utilisée pour rendre compte de la forme de la courbe de déformation ; elle peut également être définie comme la longueur de flambement, c'est-à-dire la longueur d'un poteau bi-articulé soumis à un effort normal constant, ayant la même section droite et la même charge de flambement que l'élément considéré. La figure n° 20 donne des exemples de longueur efficace d'éléments isolés de section constante.
- i : rayon de giration de la section de béton non fissurée. Article 5.8.3.2 réf. [4]

L'Annexe Nationale précise en outre que les poteaux d'étage courant des bâtiments, lorsqu'ils sont considérés sans déplacements horizontaux, et pour autant qu'ils soient correctement connectés en tête et en pied à des éléments de raideur supérieure ou égale, peuvent être représentés par $l_0 = 0{,}70\ l$.

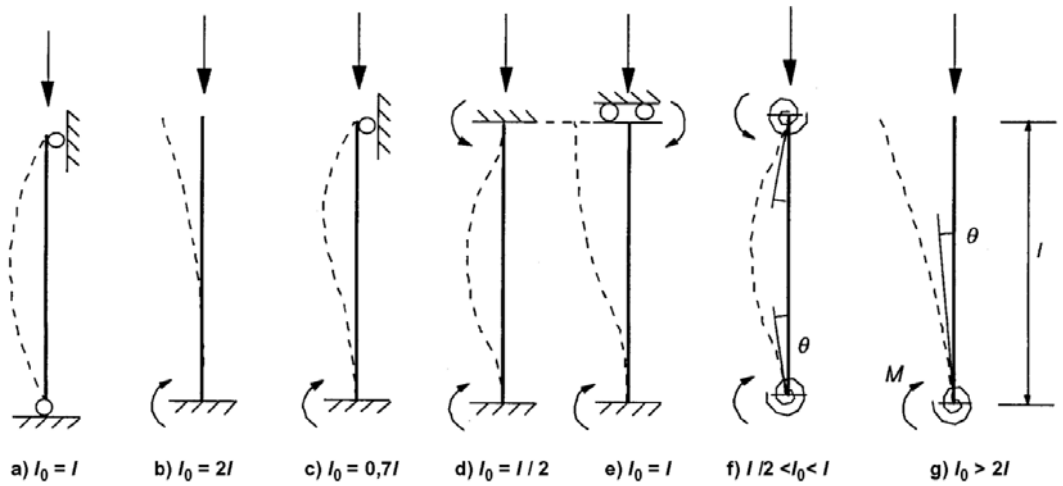


Figure 19

Il convient, dans le cas des éléments comprimés de portiques réguliers, de vérifier le critère d'élancement (cf. paragraphe 5.3.2) en prenant pour longueur efficace la valeur l_o déterminée de la manière suivante :

Eléments contreventés (c'est-à-dire les éléments dont on admet, pour l'analyse et le dimensionnement, qu'ils ne contribuent pas à la stabilité horizontale d'ensemble de la structure) :

$$l_0 = 0{,}5l \times \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0.45+k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{0.45+k_2}\right)} \qquad (32)$$

formule (5.15) réf. [4]

Eléments non contreventés (c'est-à-dire les éléments dont on admet, pour l'analyse et le dimensionnement, qu'ils contribuent à la stabilité horizontale d'ensemble de la structure) :

$$l_0 = l \times max\left\{\sqrt{1 + 10\ \frac{k_1 k_2}{k_1+k_2}}; \left(1 + \frac{k_1}{1+k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{1+k_2}\right)\right\} \qquad (33)$$

formule (5.16) réf. [4]

Avec k_1 et k_2 les souplesses relatives des encastrements partiels aux extrémités 1 et 2 respectivement :

$$k = \frac{\theta}{M} \times \frac{EI}{l} \qquad (34)$$

article 5.8.3.2 réf. [4]

- θ : rotation des éléments adjacents s'opposant à la rotation pour le moment fléchissant *M*
- EI : rigidité en flexion de l'élément comprimé
- l : hauteur libre de l'élément comprimé entre liaisons d'extrémité

5.3.2 Cas où les effets du 2nd ordre peuvent être négligés

Pour les éléments isolés, on admet que les effets du second ordre peuvent être négligés si le coefficient d'élancement λ est inférieur à une valeur λ_{lim} telle que :

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{n}} \qquad (35)$$

formule (5.13N) réf. [4]

Avec :

- $A = 1/(1 + 0{,}2\phi_{ef})$ (si ϕ_{ef} n'est pas connu, on peut prendre *A* = 0,7)
- $B = \sqrt{1 + 2\omega}$ (si ω n'est pas connu, on peut prendre *B* = 1,1)
- $C = 1{,}7 - r_m$ (si r_m n'est pas connu, on peut prendre *C* = 0,7)
- φ_{ef} : Coefficient de fluage effectif
- $\omega = (A_s f_{yd})/(A_c f_{ck,eq})$; ratio mécanique d'armatures, As étant l'aire totale de la section des armatures longitudinales
- $n = N_{Ed}/(A_c f_{ck,eq})$; effort normal relatif
- $r_m = M_{01}/M_{02}$; rapport des moments, M_{o1} et M_{02} étant les moments d'extrémité du premier ordre, $|M_{02}| \geq |M_{01}|$

Si les moments d'extrémité M_{01} et M_{02} provoquent des tractions sur une même face, il convient de prendre r_m positif (c.à.d. $C \leq 1{,}7$), sinon, de prendre r_m négatif (c.à.d. $C > 1{,}7$).

Dans les cas suivants, il convient de prendre r_m = 1,0 (c.à.d. *C* = 0,7) :

- Éléments contreventés pour lesquels les moments du 1er ordre résultent uniquement ou sont dus de manière prépondérante à des imperfections ou aux charges transversales,
- Éléments non contreventés en général.

Dans le cas où les effets du 2nd ordre ne peuvent être négligés, il faut utiliser une méthode de calcul appropriée pour justifier le poteau (méthode générale, colonne modèle, méthode de l'équilibre, etc.).

5.3.3 Poteaux en compression centrée – Recommandations professionnelles

Cette méthode est applicable pour le calcul des poteaux rectangulaires de bâtiments à extrémités articulées non déplaçables et soumis uniquement à un effort de compression centrée.

On vérifie pour un poteau de section *h* x *b*, avec *b* largeur du poteau ($b = b_n + b_1$, largeur du noyau augmentée de la largeur de la peau intérieure) et *h* son épaisseur dans le sens du flambement, la relation $N_{Ed} < N_{Rd}$:

$$N_{Rd} = k_h \times k_s \times \alpha \times \left(b \times h \times f_{ck,eq} + A_s \times f_{yd}\right) \quad (36)$$

Avec :

$$\alpha = \frac{0.86}{1+\left(\frac{\lambda}{62}\right)^2} \quad pour\ \lambda \leq 60 \text{ et } \alpha = \left(\frac{32}{\lambda}\right)^{1.3} \quad pour \quad 60 < \lambda \leq 120 \quad (37)$$

$\lambda = l_o \times \sqrt{\frac{12}{h}}$ avec *h* la hauteur de la section dans le sens du flambement et l_o sa longueur de flambement

$$k_h = (0.75 + 0.50h) \times (1 - 6\rho\delta) \quad si \quad h < 0.50m \quad sinon \quad k_h = 1 \quad (38)$$

$$k_s = 1{,}6 - \frac{0.6 f_{yk}}{500} \quad pour \quad \lambda > 40 \quad sinon \quad k_s = 1$$

A_s : section totale des aciers longitudinaux situés à la distance d' des parois, disposés en deux lits pour une section rectangulaire

$\delta = d' / h$: enrobage relatif

$\rho = A_s / (b \times h)$: pourcentage d'acier total pour une section rectangulaire

$b \times h$: aire du poteau en considérant l'épaisseur totale du poteau ($b = b_n + b_1$, largeur du noyau augmentée de la largeur de la peau intérieure), réduite des chanfreins éventuels, si :

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

Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau.

Dans le cas où un joint traverse un poteau, l'aire de béton à prendre en compte est celle calculée au niveau du joint.

5.3.4 Dispositions constructives

Les dispositions constructives sont conformes à l'article 9.5 de l'Eurocode 2.

Section minimum

Diamètre des armatures longitudinales $\phi_l \geq 8$ mm

$A_{min} = 0{,}10\ \frac{N_{Ed}}{f_{y_{d\,c}}} > 0{,}002 A_c$ avec A_c, aire de la section transversale de béton et N_{Ed}, effort normal agissant

Une barre est à disposer au moins dans chaque angle d'un poteau.

Section maximum

$A_{max} = 0{,}04\ A_c$ en dehors des zones de recouvrement

$A_{max} = 0{,}08\ A_c$ dans les zones de recouvrement

Armatures transversales

Diamètre des armatures longitudinales $\phi_t \geq max\ (6\ mm\ ;\ \phi_l / 4)$

Espacement maximal des armatures transversales $s_{cl,tmax} = min\ (20\ \phi_{lmin}\ ;\ 40\ cm\ ;\ a)$

Toutes les barres ou les groupes de barres longitudinales disposées dans les angles doivent être tenues par des cadres ou armatures transversales.

Les armatures longitudinales disposées sur les faces du poteau peuvent ne pas être maintenues si elles se trouvent à moins de 15 cm d'une barre tenue. Cela suppose que l'armature transversale est suffisamment raide sur cette distance pour reprendre en flexion la poussée au vide de la barre comprimée.

Poteaux ne nécessitant pas d'armatures structurales

Le ferraillage est réalisé de la même manière que pour un MC2I classique : aciers horizontaux, verticaux et raidisseurs. Les abouts des MC2I sont systématiquement fermés par des U (cf. figure 21).

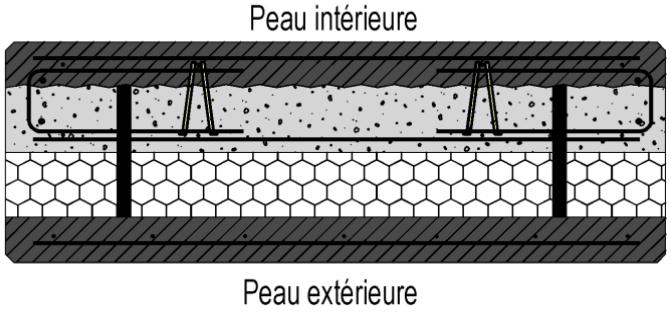


Figure 20

Poteaux nécessitant des armatures structurales

Les poteaux nécessitant des armatures structurelles peuvent être réalisés en Mc2i mais les dispositions de ferraillage sont les dispositions traditionnelles des poteaux (cf. figure 22).

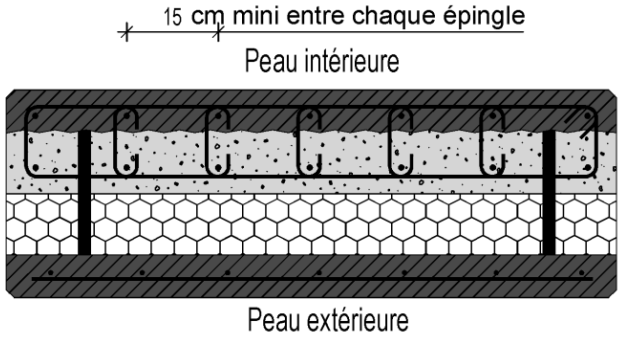


Figure 21

5.4 Prescriptions spécifiques aux poutres

L'ensemble des prescriptions de l'EUROCODE 2 pour le dimensionnement des poutres doivent être vérifiées et complétées par les justifications suivantes.

La section de béton prise en compte dans le calcul est égale à la section coulée en place ajoutée à la section de la paroi intérieure.

5.4.1 Intégrité de la section

Cette vérification consiste à s'assurer du monolithisme de l'ensemble de la section par la détermination des contraintes de cisaillement qui s'exercent à l'interface peau intérieure/noyau coulé en œuvre et par la mise en place d'aciers de couture.

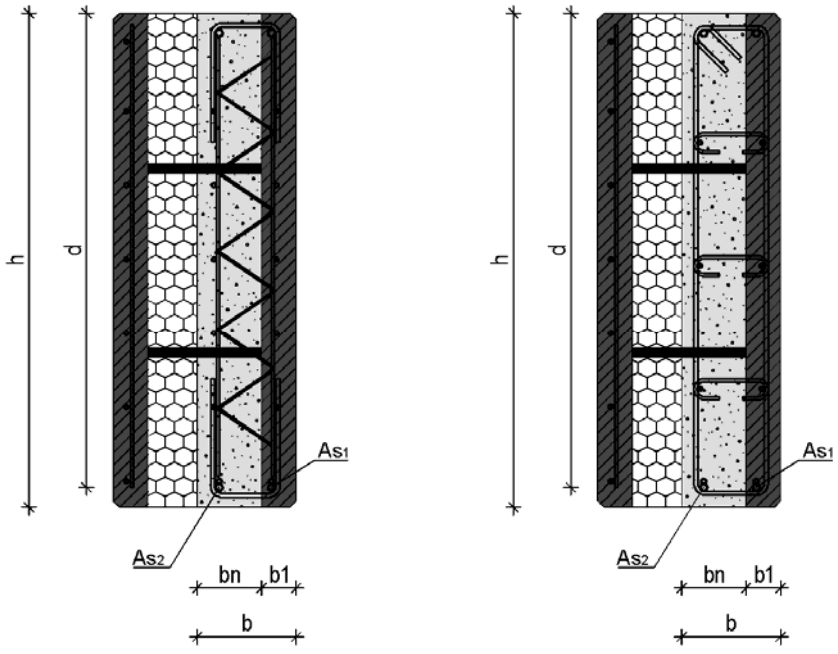


Figure 22

On peut admettre que l'effort de glissement par unité de longueur est égal à (en kN/ml) :

$$g_1 = max\left[\frac{V_{Ed}\times b_1}{z\times b} \; ; \; \frac{V_{Ed}\times As_1}{z\times As}\right] \quad (39) \quad \text{article A.1.2.c. réf. [11]}$$

Avec :

- V_{Ed} : Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant en kN
- $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ en cm²
- $z = 0{,}9\,d$ en m, bras de levier des forces internes de la section composite

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

$$\tau_{uc} = 10^{-3}\,\frac{g_1}{0{,}6h} \quad (40) \quad \text{article A.1.2.c. réf. [11]}$$

Avec h la hauteur totale de la poutre en m

La liaison par le béton seul est systématiquement renforcée par des raidisseurs ou des armatures traditionnelles transversales (cf. figure 23) traversant le plan de reprise. Par conséquent, la valeur limite de la contrainte de cisaillement τ_{ulim} est telle que :

$\tau_{ulim} = min(V_{Rdi} \; ; \; 0{,}5\nu f_{cd,n})$ avec v_{Rdi}, valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à l'interface :

$$V_{Rdi} = c f_{ctd,n} + \rho_\alpha f_t(\mu \sin\alpha + \cos\alpha) + \rho_{\alpha'} f_t(\mu \sin\alpha' + \cos\alpha') \quad (41)$$ formule (6.25) réf. [4] & article A.1.2.c. réf. [11]

Avec :

- $f_{cd,n}$: valeur de calcul de la résistance en compression du béton du noyau coulé en œuvre ($\alpha_{cc} f_{ck,n}/\gamma_c$)
- $f_{ctd,n}$: valeur de calcul de la résistance en traction du béton du noyau coulé en œuvre ($\alpha_{ct} f_{tck0.05\%,n}/\gamma_c$)

$$f_t = min \;\; (f_{yk}/\gamma_s \; ; \; F_w/(A_{di}\gamma_s))$$

- f_{yk} : limite caractéristique d'élasticité des aciers
- F_w : résistance des soudures
- A_{di} : section d'une diagonale du raidisseur treillis
- ν : facteur de réduction de la résistance du béton fissuré à l'effort tranchant :

  $$\nu = 0.6\,\left(1 - \frac{f_{ck,n}}{250}\right) \quad (f_{cn} \text{ en MPa}) \quad (42)$$

  formule (6.6) réf. [4]
- *c* et μ sont des coefficients qui dépendent de la rugosité de la surface de reprise et de la nature des sollicitations :
  - *c = 0,20* et μ *= 0.60* dans le cas de charges à caractère principalement statique,
  - *c = 0,10* et μ *= 0.60* dans le cas de charges dynamiques ou de fatigue article 4.4.1.3 réf. [4]
- 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 au paragraphe 5.1.3 de cette annexe.

* Les valeurs de *c* et μ ont été choisies en considérant une surface de reprise de type lisse, c'est-à-dire, au sens de l'Eurocode 2, une surface réalisée à l'aide de coffrages glissants ou surface extrudée ou surface non coffrée laissée sans traitement ultérieur après vibration.

Suivant la rugosité de la reprise, on pourra ne pas disposer d'armatures de couture si :

$$v_{Edi} \leq v_{RDi} = c\; f_{ctd,n} \quad (43) \quad \text{formule (6.25) réf. [4]}$$

Avec les définitions ci-dessus.

5.4.2 Appuis des poutres

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

- Cas 1 : $b_{app} = b_n$ correspond à l'épaisseur du noyau du MC2I,
- Cas 2 : $b_{app} = b_n + b_1$ correspond à l'épaisseur du noyau augmentée de l'épaisseur de la paroi intérieure du MC2I.

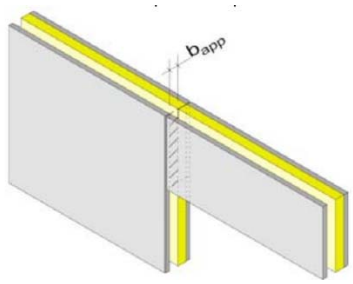


Figure 23

Cas 1

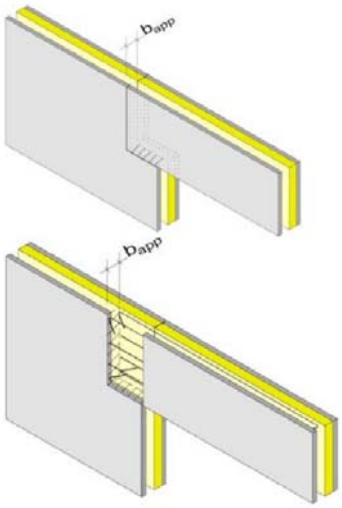


Figure 24

Cas 2

La valeur de b_{app} permet ensuite le calcul du ferraillage de cisaillement sur appui et la vérification de la bielle d'about suivant les prescriptions de l'Eurocode 2.

Vérification de la contrainte de cisaillement ultime

Dans le cas d'armatures d'âme droites, l'effort tranchant maximal est donné par l'expression :

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_{app} z \nu_1 f_{cd}}{(\cot\theta + \tan\theta)} \quad (44)$$ formule (6.9) réf. [4]

Cela correspond à une contrainte de cisaillement maximale de :

$$\tau_{Rd,max} = \frac{V_{Rd,max}}{b_{app} d} = 0{,}9 \frac{\alpha_{cw} \nu_1 f_{cd}}{(\cot\theta + \tan\theta)} \quad (45)$$

Avec :

- α_{cw} : coefficient dépendant du type de sollicitation : flexion simple, flexion composée avec compression ou flexion composée avec traction
- b_{app} : largeur d'appui suivant définition et schéma précédents
- z : bras de levier des forces internes ; pour les calculs à l'effort tranchant d'une section de béton armé sans effort normal, on peut normalement adopter la valeur approchée *z = 0.9 d* article 6.2.3 réf. [4]
- ν_1 : facteur de réduction de la résistance du béton fissuré à l'effort tranchant $\nu_1 = \nu = 0{,}6\left(1 - f_{ck,eq}/250\right)$
- f_{cd} : résistance de calcul du béton à la compression calculée avec f_{ceq28}, résistance caractéristique équivalente du Mc2I
- θ : angle entre la bielle de compression et la fibre moyenne de l'élément

Dans le cas courant de la flexion simple où l'on choisit une inclinaison de bielles à 45°, on obtient :

$$\tau_{Rd,max} = 0{,}45 \times 0{,}60 \times \left(1 - f_{ck,eq}/250\right) \times f_{cd} \quad (46)$$

Exemple d'application numérique :

$f_{ck,eq28}$ = 25 MPa ; f_{cd} = 16,67 MPa ; $\tau_{Rd,max}$ = 4,05 MPa

Ancrage de la bielle

Les bielles doivent être ancrées sur appuis avec l'inclinaison de bielle retenue. La section d'armature à ancrer est donnée par l'expression :

$$A = \frac{V_{Ed}(\cot\theta - \cot\alpha)}{2 f_{yd}} \quad (47)$$ formule (6.18) réf. [4]

Avec :

- V_{Ed} : valeur de calcul de l'effort tranchant agissant (non réduit)
- θ : angle entre la bielle de compression et la fibre moyenne de l'élément
- α : angle entre les armatures d'effort tranchant et la fibre moyenne de l'élément
- f_{yd} : limite d'élasticité de l'acier

Dans le cas courant où les armatures d'âme sont droites et les bielles inclinées à 45°, $A = V_{Ed}/2f_{yd}$.

Compression dans la bielle d'about

La contrainte de compression dans la bielle (cf. figure 25) d'about est limitée à :

$$\sigma = \frac{F_{cd2}}{a_2 b} \leq \sigma_{Rd,max} = k_2 \nu' f_{cd} \quad (48)$$ formule (6.61) réf. [4]

Avec :

$\nu' = 1 - f_{ck}/250$ et $K_2 = 0{,}85$

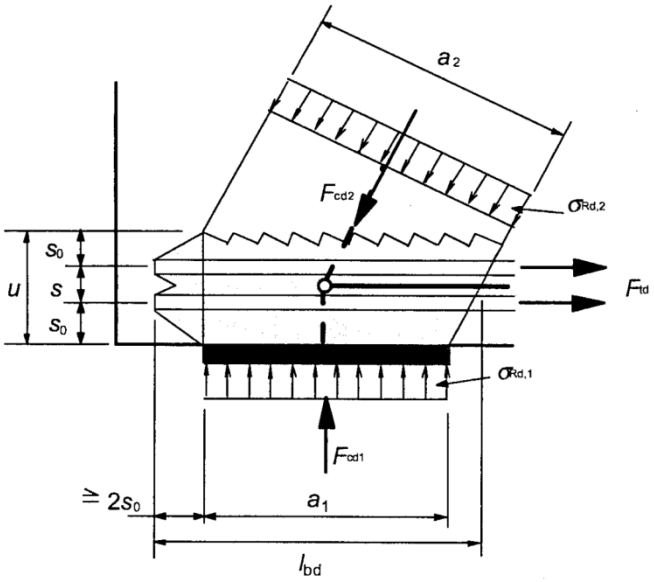


Figure 25

Exemple d'application numérique :

$f_{ck,eq}$ = 25 MPa ; f_{cd} = 16,67 MPa ; $\sigma_{Rd,max}$ = 12,75 MPa

5.5 Prescriptions spécifiques au poutres-voiles

5.5.1 Définition – Dispositions constructives

Une poutre est un élément dont la portée est supérieure ou égale à 3 fois la hauteur totale de la section. Lorsque ce n'est pas le cas, il convient de la considérer comme une poutre-cloison ou poutre-voile. (Article 5.3.1 réf. [4])

Les armatures des poutres-voiles peuvent se déduire d'un modèle bielles – tirants. (Article 6.5 réf. [4])

Il convient normalement de ferrailler les poutres-voiles avec des treillis d'armatures perpendiculaires situés près de chaque face, avec un minimum de $A_{s,dbmin}$ = 0,1 % (≥ 1,5 cm²/m) sur chaque face et dans chaque direction.

Il convient de limiter la distance entre deux barres adjacentes de la maille à deux fois l'épaisseur de la poutre-cloison ou à 300 mm si cette valeur est inférieure.

Il convient, pour l'équilibre dans le nœud (cf. article 6.5.4 réf. [4]), d'ancrer les armatures correspondant aux tirants considérés dans le modèle de calcul soit en pliant les barres, soit en employant des retours en U, soit encore au moyen de dispositifs d'ancrage, à moins qu'une longueur suffisante soit disponible entre le nœud et l'extrémité de la poutre, laissant une longueur d'ancrage de l_{bd} (longueur d'ancrage de calcul). (Article 9.7 réf. [4])

5.5.2 Vérification au droit des joints

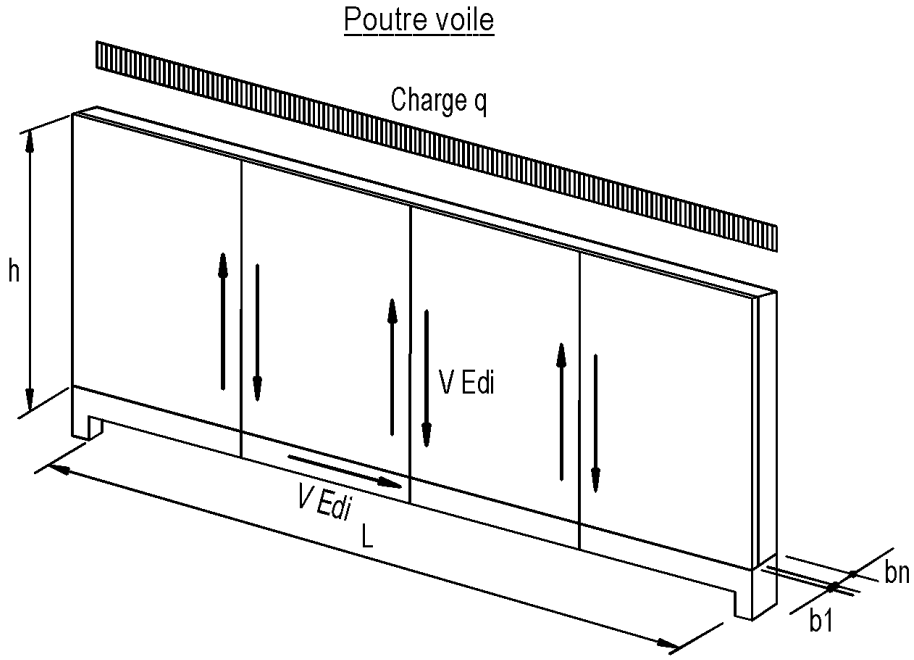
Les dispositions constructives au droit des joints doivent conventionnellement permettre d'équilibrer les efforts tranchants le long de la poutre-voile en respectant les prescriptions ci-dessous :

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi} \qquad (49)$$ article A.1.2.d. réf. [11]

Avec :

V_{Edi} : l'effort tranchant sollicitant maximal le long de la poutre-voile à l'ELU

V_{Rdi} : l'effort tranchant résistant au droit du joint déterminé conformément au paragraphe 5.2 de cette Annexe.



$$V = q \times L / 2 = Vmax$$
$$V_{Edi} = V / min\,(h\,;\,l)$$

Figure 26

Le choix du type de joint entre murs formant la poutre-voile sera fonction de la capacité résistante V_{Rdi} à atteindre.

Des armatures de coutures doivent être impérativement mise en place à chaque about de panneau composant la poutre-voile.

A défaut de justifications de la résistance de la liaison, chaque panneau de MC2I doit correspondre à une travée de poutre-voile.

6. Dispositions constructives

6.1 Epaisseurs minimales

Épaisseur minimale de la paroi préfabriquée extérieure b_2 = *7 cm*

Épaisseur minimale de la paroi préfabriquée intérieure b_1 = *7 cm*

Épaisseur minimale du noyau coulé en œuvre b_n = *8 cm*

6.2 Accrochage

Le voile extérieur est accroché ponctuellement au voile intérieur par des dispositifs d'attache faisant l'objet d'essais expérimentaux.

En zone sismique non nulle, les dispositifs d'accrochage seront dimensionnés de manière à reprendre les efforts dus à l'action sismique, efforts majorés suivant les prescriptions de l'avis technique et suivant les recommandations réglementaires.

6.3 Armatures minimales

6.3.1 Règles générales

Les règles EC2 font la distinction entre les dispositions minimales pour les murs non armés ou faiblement armés et le ferraillage ou pourcentages minimaux à prévoir dans le cas des murs armés :

Cas des voiles en béton non armés ou faiblement armés section 12 réf. [4]

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,12} \quad (50)$$ section 12 réf. [4]

Avec :

$N_{Rd,12}$: Valeur de calcul de l'effort normal résistant du voile calculé selon la section 12 réf. [4]

Dans ce cas les armatures minimales sont :

- Armatures verticales $A_{s,vmin} = 0$ article 9.6.2 réf. [4]+AN
- Armatures horizontales $A_{s,hmin} = 0$ article 9.6.3 réf. [4]+AN

Cas des voiles armés section 9 réf. [4]

$$N_{Ed} \geq N_{Rd,12} \quad (51)$$ section 12 réf. [4]

Dans ce cas les armatures minimales sont :

$$A_{s,vmin} = 0{,}002 \times A_c \quad (52)$$ article 9.6.2 réf. [4]+AN

$$A_{s,hmin} = \max\left(\frac{A_v}{4}; 0{,}001A_c\right)$$ (53) article 9.6.3 réf. [4]+AN

Avec :

- N_{Ed} : valeur de calcul de l'effort normal agissant sur ce voile ou sur une bande de ce voile
- $N_{Rd,12}$: valeur de calcul de l'effort normal résistant du voile ou de la bande de voile, calculé selon la section 12,
- $N_{Rd,6}$: valeur de calcul de l'effort normal résistant du voile ou de la bande de voile, calculé selon la section 6
- A_c : section du béton

Suivant le fascicule d'application FD P18-717, les dispositions constructives concernant les chainages verticaux et horizontaux, les renforts verticaux et horizontaux à placer dans les angles des ouvertures et les armatures de peaux doivent respecter les règles françaises actuelles : DTU 22.1 – DTU 23-1.

Dans le cas de panneaux porteurs de façade non armés, nous rappelons les dispositions minimales suivantes :

Les valeurs indiquées ci-dessous sont données pour des aciers B500.

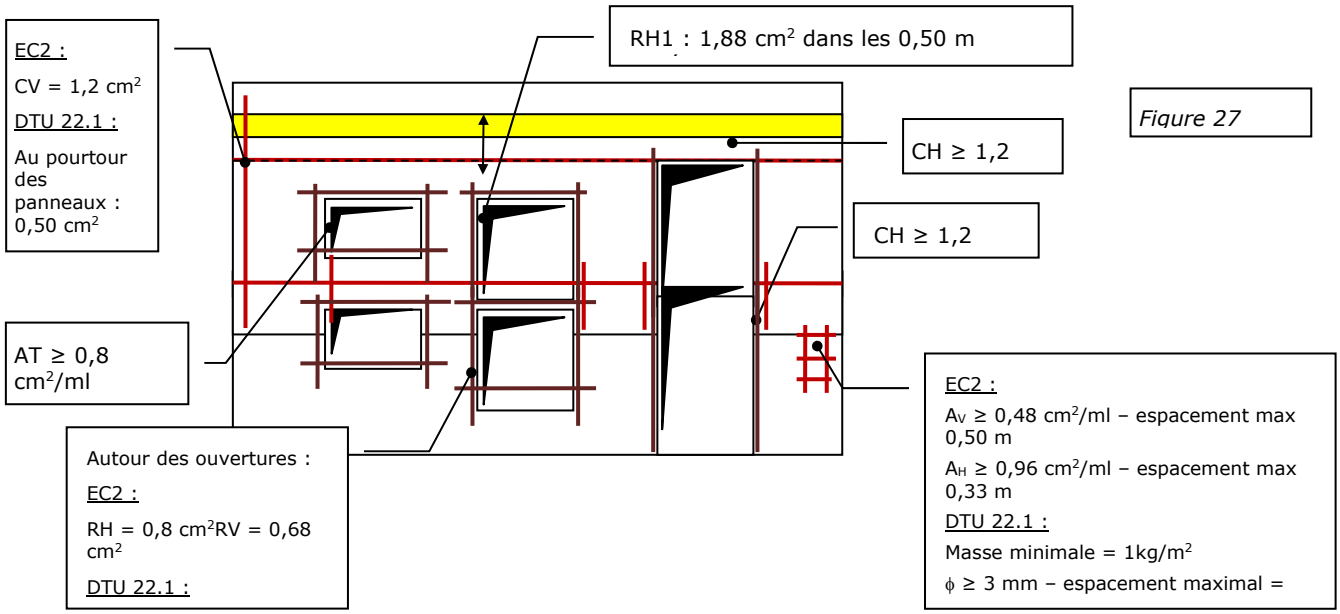


Figure 27

(*) Pour se prémunir contre l'apparition de fissures à 45° aux angles des ouvertures, il est recommandé de disposer des armatures complémentaires perpendiculaires à la bissectrice des angles d'ouvertures.

Les dispositions particulières décrites à l'article 5.11.3.4 de l'Eurocode 8 – réf. [5] pour les panneaux sollicités par des actions sismiques devront être appliquées : armatures de peau, renforts à proximité des bords, liaisons verticales, etc. Voir paragraphe 6.5 de cette Annexe.

Les armatures minimales à mettre en œuvre devront prendre en considération les différentes phases de décoffrage et de manutention, en tenant compte de la résistance caractéristique du béton.

6.3.2 Application au Mc2i

Paroi préfabriquée intérieure

Dans les deux directions (verticalement et horizontalement) :

A_{min} = *1,2 cm² / ml* avec un espacement entre armatures inférieur ou égal à 33 cm

Dans la direction parallèle aux raidisseurs, la section d'armatures des raidisseurs est prise en compte dans cette section minimale.

Noyau coulé en œuvre

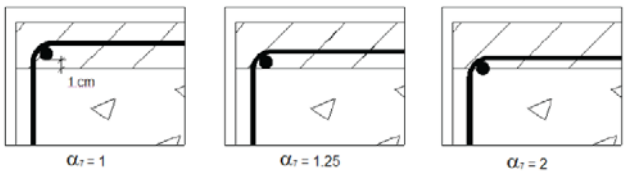
Application des règles générales du paragraphe 6.3.1 de cette Annexe

Espacement des raidisseurs inférieur ou égal à 60 cm

6.4 Ancrage des armatures

Il convient de tenir compte de l'enrobage intérieur de l'armature dans le voile préfabriqué via l'introduction d'un coefficient α_7 dans le calcul de la longueur d'ancrage de l'armature. La longueur d'ancrage de calcul de l'armature dans le voile préfabriqué vaut donc $\alpha_7 \times l_{bd}$, avec la longueur d'ancrage de calcul l_{bd} définie à l'article 8.4.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale. Le coefficient α_7 est quant à lui égal à :

- 1 si l'enrobage minimal de l'armature de structures est supérieur à 10 mm par rapport à la surface de reprise ;
- 1,25 si l'armature est tangente à l'interface de reprise ;
- 2 si l'armature est sécante à l'interface de reprise



6.5 Comportement au feu

La résistance au feu d'un voile porteur peut être supposée satisfaite si les valeurs du Tableau 5.4 de l'Eurocode 2, partie 1-2, reproduit ci-dessous, sont respectées.

Tableau 5.4 de la NF EN 1992-1-2 : Dimensions et distances de l'axe des armatures au parement minimales pour les voiles porteurs en béton armé

Résistance au feu normalisé	**Dimensions minimales** (mm) **Épaisseur de voile/distance de l'axe au parement pour**			
	$\mu_{fi} = 0{,}35$		$\mu_{fi} = 0{,}7$	
	Voile exposé sur un côté	Voile exposé sur deux côtés	Voile exposé sur un côté	Voile exposé sur deux côtés
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
* L'enrobage exigé par l'EN 1992-1-1 est normalement déterminant. **Note** : Pour la définition de μ_{fi}, voir 5.3.2 (3).				

Avec :

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \qquad (54)$$

formule (5.6) réf. [4] partie 1-2

Avec :

$N_{Ed,fi}$: charge axiale de calcul en situation d'incendie

N_{Rd} : résistance de calcul à température normale

Les valeurs d'épaisseur minimale du voile données dans le tableau 5.4 peuvent également être utilisées pour les voiles en béton non armé.

Dans le cas d'un Mc2I où l'isolation est continue, le gradient de température est faible entre les deux faces de la partie structurelle du panneau, l'isolant confinant la partie porteuse ; nous retiendrons les valeurs minimales appliquées aux voiles exposés sur les deux côtés.

Pour une valeur $\mu_{fi} > 0{,}70$, la méthode dite de calcul avancé d'évaluation de la distribution des températures dans un voile exposé sur les deux faces sera appliquée.

6.6 Dispositions constructives en zones sismique

6.6.1 Principe général

Les dispositions suivantes ne concernent que les murs considérés comme éléments sismiques principaux, c'est-à-dire des murs participant à la résistance et à la rigidité sous les actions sismiques d'ensemble conformément aux prescriptions de la section 4 des règles Eurocode 8.

Pour les murs considérés comme éléments secondaires, les liaisons entre panneaux sont similaires aux liaisons préconisées en dehors des zones sismiques.

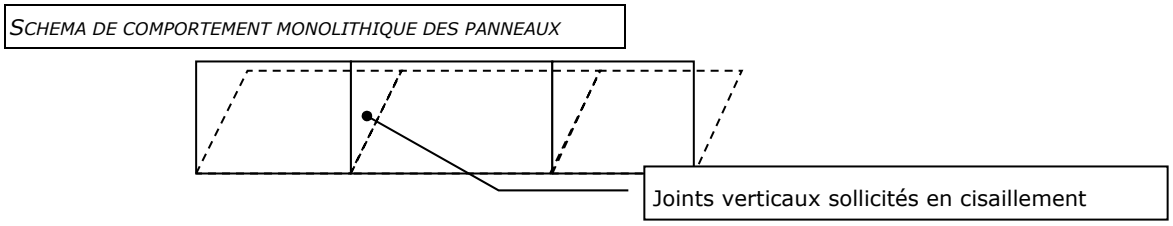


Figure 28

Détermination des efforts sollicitants

Efforts de contreventement par reprise d'une charge ponctuelle horizontale sur un mur développant une bielle de compression (cas 1) ou reprise d'une charge linéaire horizontale sur un mur développant n bielles de compression (cas 2)

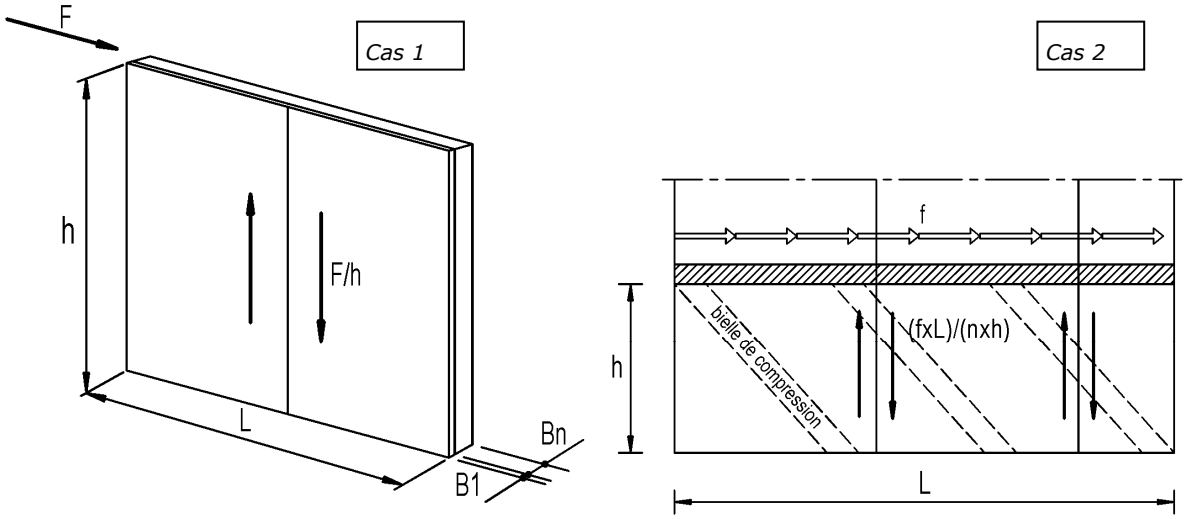


Figure 29

6.6.2 Principe de vérification des Mc2i sous sollicitations sismiques

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un panneau de mur à coffrage et isolation intégrés est réalisée sur l'hypothèse d'un voile en béton de section homogène équivalente au voile banché substitué, à condition de respecter les dispositions et justifications exposées dans les paragraphes suivants qui correspondent au cas par défaut.

Dans le cas de figure où le voile est libre sur l'un de ces 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 largeurs des joints entre panneaux sont déterminées par le titulaire en fonction de l'accélération sismique et du nombre d'organes de liaisons. Ces largeurs, indiquées sur les plans, doivent être respectées.

6.6.3 Liaisons entre Mc2i en zone courante

A défaut de calcul spécifique des liaisons :

- Les liaisons horizontales sont proscrites,
- Pour les liaisons verticales, il y a lieu de réaliser des poteaux au droit des joints dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des raidisseurs de rive (cf. figure 29). La section des armatures de liaison est celle déterminé pour le mur banché substitué, majorée du rapport $(b_1 + b_n) / b_n$. Les poteaux doivent comporter au moins une face accessible avant bétonnage et visible après décoffrage.

La section des filants verticaux est au moins égale au tiers de la section des armatures horizontales.

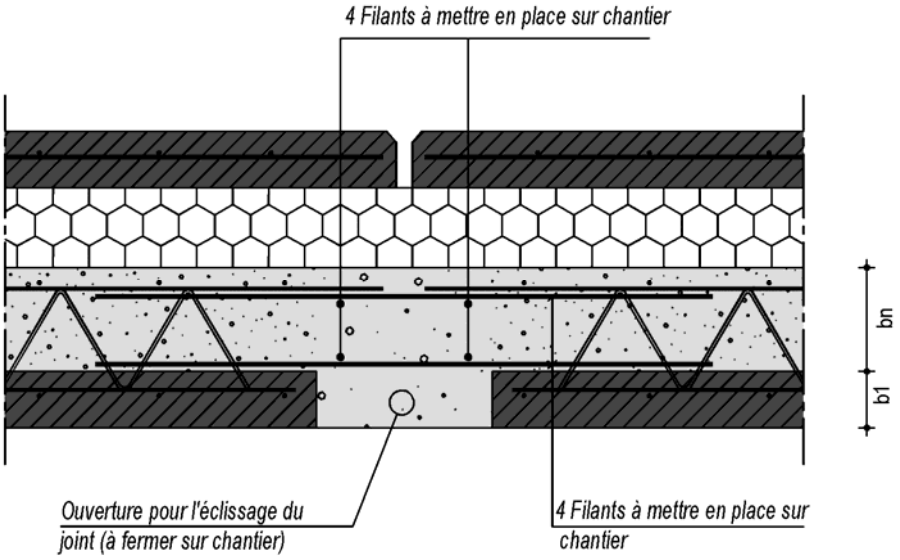


Figure 30

Dans le cas de justifications par le calcul des liaisons, l'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié. Cette vérification est réalisée par le Bureau d'Etudes Interne du titulaire et permet de déterminer le type de liaison à mettre en œuvre sur les panneaux étudiés.

6.6.4 Liaisons entre Mc2i au droit d'une dalle

Afin de s'assurer du non-glissement du mur par rapport à la dalle sous sollicitations dynamiques, le joint doit être vérifié au cisaillement sur la base du noyau du mur à coffrage intégré, ceci en tenant compte des éventuelles reprises de bétonnage.

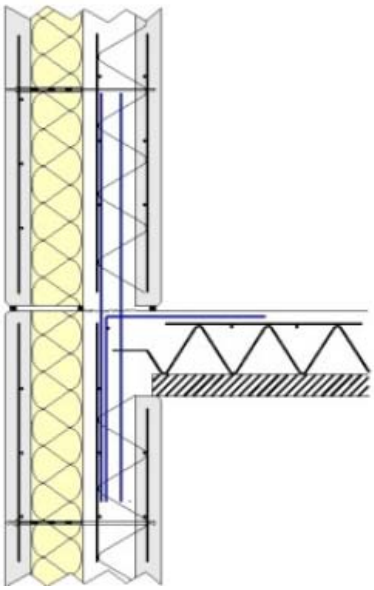


Figure 31

6.6.5 Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs Mc2i

Les intersections de murs nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans le MC2I ou mis en œuvre par le biais des armatures de couture. Le choix entre ces deux solutions sera fonction de la section du tirant, de l'épaisseur du mur à coffrage intégré et des contraintes de mise en œuvre. Les dispositions minimales de l'Eurocode 8 doivent être respectées.

Quels que soient les panneaux et notamment pour les panneaux avec ouvertures, il convient d'adapter la densité des organes de liaison 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 organes de liaison ont été dimensionnés.

Exemples de liaisons entre Mc2ı

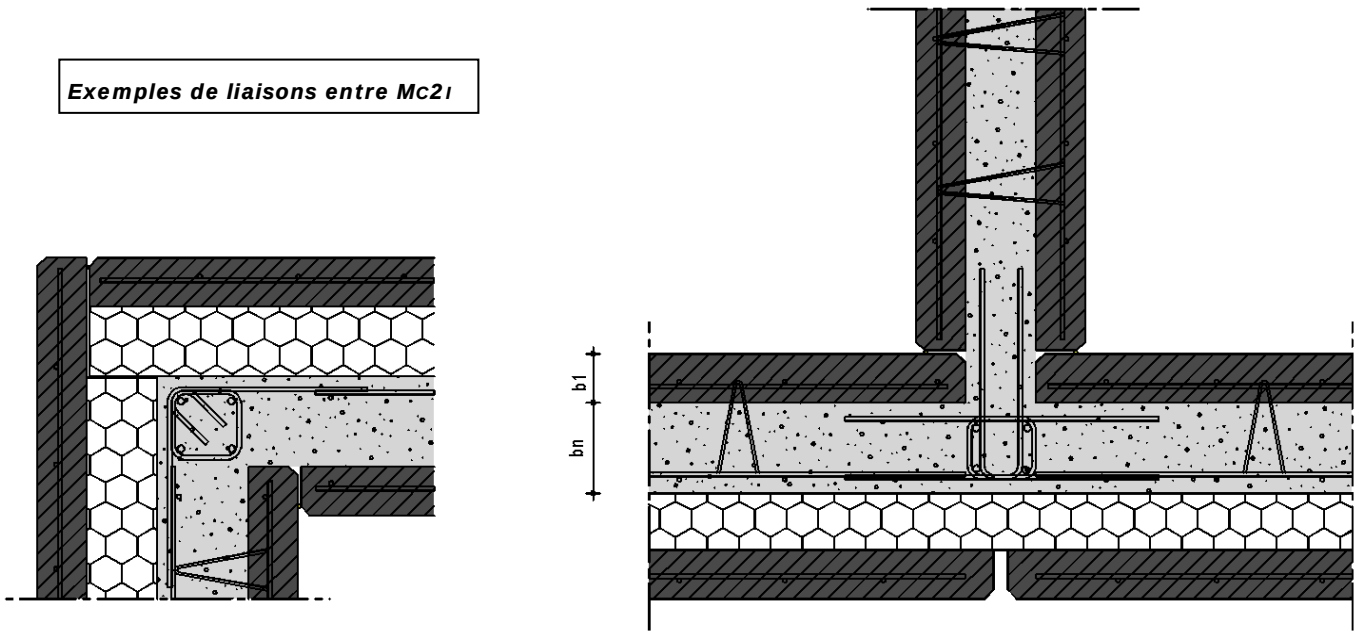


Figure 32

Les dispositions du chapitre 5 de l'Eurocode 8 seront respectées.

6.6.6 Exigences relatives au façonnage des armatures :

Les armatures transversales des poutres et poteaux doivent respecter les dispositions constructives définies dans l'Eurocode 8.

La classe des armatures devra être conforme aux prescriptions de l'Eurocode 8. Ceci concerne notamment les zones critiques des éléments primaires pour lesquels il ne peut être employé d'armature du type B500 A.

Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des BÉTOMUR® RTh COFFRÉ de la réduction de section de béton au droit de ces joints.

L'épaisseur nominale du noyau doit être au moins de 7,5 cm afin de respecter l'épaisseur minimale de 7 cm, avec les valeurs par défaut des tolérances.

Sur les faces en contact avec l'isolant, considérer un enrobage correspondant à celui de la classe d'exposition du parement exposé – 5 mm, sans descendre en-dessous de celui de la classe XC3.

Quels que soient les panneaux et notamment pour les panneaux avec ouvertures, il convient d'adapter la densité des organes de liaison 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 organes de liaison ont été dimensionnés.

Annexe 7 : Courbe de température du béton (cf. AL16-175_V3)

Exposition 30 minutes

Températures dans le voile exposé du procédé « BETOMUR® RTh Coffré » après 30 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40
Épaisseur du voile [cm]	16	755	622	513	351	241	165	94	56	37	27	23	22						
	18	755	622	513	351	241	165	94	56	37	27	23	21	21					
	20	755	622	513	351	241	165	94	56	37	27	23	21	20	20				
	25	755	622	513	351	241	165	94	56	37	27	23	21	20	20	20			
	30	755	622	513	351	241	165	94	56	37	27	23	21	20	20	20	20		
	35	755	622	513	351	241	165	94	56	37	27	23	21	20	20	20	20	20	
	40	755	622	513	351	241	165	94	56	37	27	23	21	20	20	20	20	20	20

Exposition 60 minutes

Températures dans le voile exposé du procédé « BETOMUR® RTh Coffré » après 60 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40
Épaisseur du voile [cm]	16	897	784	685	523	401	308	182	119	83	60	48	44						
	18	897	784	685	523	401	308	182	118	82	58	43	35	33					
	20	897	784	685	523	401	308	182	118	81	57	42	33	28	26				
	25	897	784	685	523	401	308	182	118	81	57	41	32	26	23	21			
	30	897	784	685	523	401	308	182	118	81	57	41	32	26	23	20	20		
	35	897	784	685	523	401	308	182	118	81	57	41	32	26	23	20	20	20	
	40	897	784	685	523	401	308	182	118	81	57	41	32	26	23	20	20	20	20

Exposition 90 minutes

Températures dans le voile exposé du procédé « BETOMUR® RTh Coffré » après 90 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40
Épaisseur du voile [cm]	16	971	871	780	926	503	405	265	176	128	101	86	81						
	18	971	871	780	625	502	404	264	173	123	93	73	62	58					
	20	971	871	780	625	502	404	263	172	122	91	69	54	46	44				
	25	971	871	780	625	502	404	263	171	121	89	67	50	40	32	26			
	30	971	871	780	625	502	404	263	171	121	89	66	50	39	32	23	21		
	35	971	871	780	625	502	404	263	171	121	89	66	50	39	32	23	21	20	
	40	971	871	780	625	502	404	263	171	121	89	66	50	39	32	23	21	20	20

Exposition 120 minutes

Températures dans le voile exposé du procédé « BETOMUR® RTh Coffré » après 120 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R834

Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40
Épaisseur du voile [cm]	16	1021	930	846	699	578	480	334	237	174	140	125	120						
	18	1021	930	846	698	576	477	330	230	163	128	106	94	90					
	20	1021	930	845	698	576	477	328	228	159	122	97	80	71	67				
	25	1021	930	845	697	576	476	328	226	156	118	91	71	56	46	36			
	30	1021	930	845	697	576	476	328	226	156	118	91	70	55	44	29	25		
	35	1021	930	845	697	576	476	328	226	156	118	91	70	55	44	28	23	21	
	40	1021	930	845	697	576	476	328	226	156	118	91	70	55	44	28	22	21	20