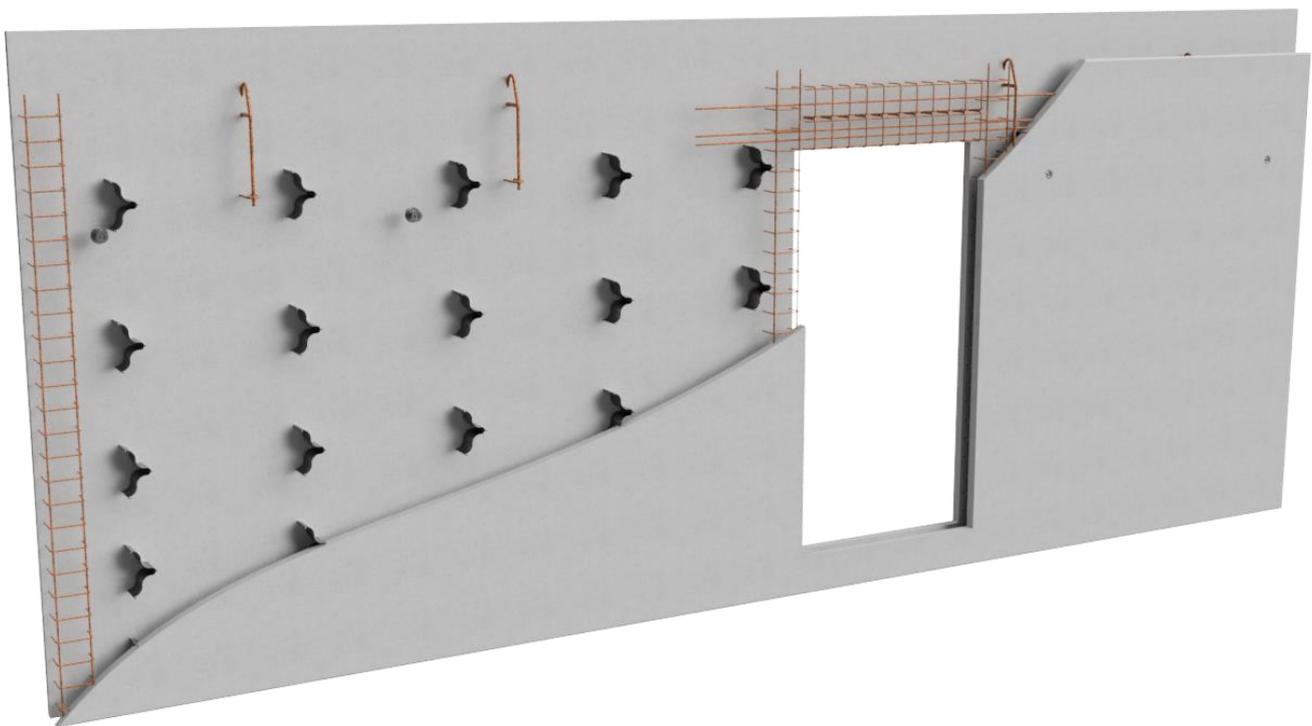


## APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3316\_V1

*ATEx de cas a*

**Validité du 15/01/2024 au 31/01/2026**



Copyright : Société LESAGE DEVELOPPEMENT

---

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. (*extrait de l'art. 24*)

---

**A LA DEMANDE DE :**

**Société : LESAGE DEVELOPPEMENT**

**Adresse : 16 rue de Hirtzbach - BP 2538 - 68058 MULHOUSE CEDEX**

## Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3316\_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de PREMUR WAVES RECTOR

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 03/01/2024, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- Demandeur : Société LESAGE DEVELOPPEMENT, 16 rue de Hirtzbach - BP 2538 - 68058 MULHOUSE CEDEX.
- Technique objet de l'expérimentation :
  - Procédé de mur à coffrage intégré constitué de deux parois minces préfabriquées en béton armé, maintenues espacées par des connecteurs ponctuels WAVES répartis sur toute la surface du prémur, ancrés dans les 2 parois préfabriquées. Des treillis raidisseurs peuvent également être présents dans le mur.
  - Les connecteurs WAVES, fournis par la société KAPPEMA, sont composés de 3 fils (brins) d'acier, soudés à une tôle de forme ondulée. Les brins, de diamètre 6 mm, sont fabriqués en acier inoxydable de nuance 1.4003, et conformes à la norme EN 10088-1. La tôle ondulée est fabriquée en acier, de classe DC01 et conformes à la norme EN 10130.
  - Les dimensions maximales du « PREMUR WAVES RECTOR » en plan sont de 14,5 m x 3,50 m ou 12,8 m x 3,9 m selon les sites de production, pour des épaisseurs de 18 à 40 cm. Les épaisseurs nominales des parois sont comprises entre 55 et 70 mm.
  - Le procédé « PREMUR WAVES RECTOR » est destiné à la réalisation de murs porteurs ou non porteurs en infrastructure et en superstructure, de murs de refend, de murs de façades, de poutres voiles, de poutres, de poteaux, de murs de soutènement, de murs coupe-feu, d'ouvrages soumis à une pression hydrostatique extérieure ainsi que les murs enterrés soumis ou non à des pressions hydrostatiques destinés à la réalisation de caniveaux, garages souterrains, galeries de liaison, sous-sols sur un ou plusieurs niveaux.
  - L'utilisation du procédé « PREMUR WAVES RECTOR » dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié est visé.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3316\_V1 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

### APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **31/01/2026**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulées au §4 du présent document.

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

#### 1°) Sécurité

##### 1.1 – Stabilité des ouvrages

Le dimensionnement du procédé « PREMUR WAVES RECTOR » est similaire à celui d'un mur traditionnel, mais il nécessite toutefois des vérifications spécifiques pour tenir compte de la présence des joints. Les prescriptions de conception et de calcul détaillées dans le Dossier Technique sont établies par référence au Cahier des Prescriptions Techniques communes aux procédés de Murs à Coffrage Intégré du Cahier 3690\_V2 - Juillet 2014 (CPT MCI) ; la participation des connecteurs WAVES est prise en compte dans la vérification de l'intégrité de la section du mur (résistance au cisaillement à l'interface paroi/noyau) et dans la vérification de la stabilité du panneau lors du bétonnage du noyau.

Moyennant le respect des recommandations figurant au § 4 ci-après, la stabilité des ouvrages est appréciée favorablement.

##### 1.2 – Sécurité des intervenants et usagers

Le système de levage des murs a fait l'objet des essais conformément au protocole de caractérisation des inserts de levage, validé par le Groupe Spécialisé n° 3.2. Les Charges Maximales d'Utilisation (CMU) et les conditions de manutention sont indiquées dans le cahier des charges annexé au présent document. La sécurité des intervenants est assurée moyennant le respect des dispositions de sécurité usuelles relatives à la mise en œuvre d'éléments préfabriqués, décrites dans le cahier des charges.

La sécurité des usagers est assurée au même titre que pour les procédés de murs traditionnels en béton armé.

##### 1.3 – Sécurité en cas d'incendie

## Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3316\_V1

Le procédé « PREMUR WAVES RECTOR » fait l'objet d'une appréciation de laboratoire du CERIB référencée n° 041429-B. Elle permet de justifier selon les critères de résistance <sup>®</sup>, d'étanchéité (E) et d'isolation (I) d'un mur réalisé avec le procédé selon les conditions suivantes :

- Performance REI60 pour des parois préfabriquées de 55 mm et un enrobage de 20 mm sur la face exposée ;
- Performance REI120 pour des parois préfabriquées de 65 mm et un enrobage de 30 mm sur la face exposée ;

Moyennant ces conditions, le mur « PREMUR WAVES RECTOR » peut être justifié par application de la norme NF EN 1992-1-2 et son annexe nationale.

### 1.4 – Sécurité en cas de séisme

L'utilisation du procédé « PREMUR WAVES RECTOR » dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié est visé. La conception et la vérification des liaisons sous sollicitations sismiques devront être conformes Cahier de Charges joint au présent document.

## 2°) Faisabilité

### 2.1 – Fabrication

Les connecteurs WAVES sont fournis par la société KAPPEMA. Ils font l'objet des contrôles avant et après leur fabrication, et après réception dans les usines du demandeur de la présente appréciation. La fabrication des « PREMUR WAVES RECTOR » est réalisée dans les usines du demandeur de Couëron (44), Courcelles sur Seine (27), Berre L'Etang (13), Ravel (63) ou Tournefeuille (31). Ces usines possèdent les moyens nécessaires pour la production de ce type d'éléments préfabriqués. Dans ces conditions la faisabilité de fabrication est avérée.

### 2.2 – Mise en œuvre :

La mise en œuvre ne pose pas de problème particulier pour une entreprise de gros-œuvre. Elle est effectuée, conformément aux prescriptions du cahier des charges annexé au présent document, par l'entreprise en liaison, dès la phase de conception, avec le titulaire qui lui livre les « PREMUR WAVES RECTOR » accompagnés du plan de préconisation de pose complet.

### 2.3 – Assistance technique

Les entreprises utilisant pour la première fois les « PREMUR WAVES RECTOR » seront assistés par un expert mandaté par le titulaire de la présente ATEx lors de la préparation et de la mise en place des premiers « PREMUR WAVES RECTOR ». Cette démarche pourra aussi être mise en place au cas par cas pour l'ensemble des entreprises utilisant le procédé « PREMUR WAVES RECTOR ».

## 3°) Risques de désordres

Moyennant le respect des recommandations ci-dessous, le procédé ne présente pas de risque particulier de désordres . Les risques de désordre peuvent être considérés comme minimes.

## 4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- Proscrire le levage à plat et le retournement des panneaux lors des travaux de levage et manutention.
- Limiter la hauteur de la colonne de béton frais à 3 mètres.
- Respecter les entraxes minimums précisés en Annexe I du Cahier de Charges afin d'éviter la superposition des cônes d'arrachement du béton des parois préfabriquées.

## 5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

## EN CONCLUSION

- En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :La sécurité est *assurée*,
- La faisabilité est *avérée*,

## Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3316\_V1

- Les désordres sont *minimes*

Champs sur Marne,  
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

**ANNEXE 1**

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société LESAGE DEVELOPPEMENT  
16 rue de Hirtzbach - BP 2538  
68058 MULHOUSE CEDEX

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

- Procédé de mur à coffrage intégré constitué de deux parois minces préfabriquées en béton armé, maintenues espacées par des connecteurs ponctuels WAVES répartis sur toute la surface du prémur, ancrés dans les 2 parois préfabriquées. Des treillis raidisseurs peuvent également être présents dans le mur.
- Les connecteurs WAVES, fournis par la société KAPPEMA, sont composés de 3 fils (brins) d'acier, soudés à une tôle de forme ondulée. Les brins, de diamètre 6 mm, sont fabriqués en acier inoxydable de nuance 1.4003, et conformes à la norme EN 10088-1. La tôle ondulée est fabriquée en acier, de classe DC01 et conformes à la norme EN 10130.
- Les dimensions maximales du « PREMUR RECTOR WAVES » en plan sont de 14,5 m x 3,50 m ou 12,8 m x 3,9 m selon les sites de production, pour des épaisseurs de 18 à 40 cm. Les épaisseurs nominales des parois sont comprises entre 55 et 70 mm.
- Le procédé « PREMUR RECTOR WAVES » est destiné à la réalisation de murs porteurs ou non porteurs en infrastructure et en superstructure, de murs de refend, de murs de façades, de poutres voiles, de poutres, de poteaux, de murs de soutènement, de murs coupe-feu, d'ouvrages soumis à une pression hydrostatique extérieure ainsi que les murs enterrés soumis ou non à des pressions hydrostatiques destinés à la réalisation de caniveaux, garages souterrains, galeries de liaison, sous-sols sur un ou plusieurs niveaux.
- L'utilisation du procédé « PREMUR RECTOR WAVES » dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié est visé.
- La fabrication des « PREMUR RECTOR WAVES » est réalisée dans les usines de la société LESAGE DEVELOPPEMENT.
- La mise en œuvre du procédé est effectuée, conformément aux prescriptions du cahier des charges annexé au présent document, par l'entreprise en liaison, dès la phase de conception, avec le titulaire qui lui livre les « PREMUR RECTOR WAVES » accompagnés du plan de préconisation de pose complet

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 3316\_V1 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

**ANNEXE 2**

**CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE**

Ce document comporte 41 pages.

***Procédé de PREMUR RECTOR WAVES***

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 15 01 2024

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 3316\_V1.

Fin du rapport

## Table des matières

1.	Dossier Technique.....	3
1.1.	Mode de commercialisation .....	3
1.2.	Description.....	3
1.2.1.	Principe.....	3
1.2.2.	Domaine d'emploi.....	3
1.3.	Identification .....	3
1.4.	Caractéristiques des composants .....	3
1.4.1.	Bétons .....	4
1.4.2.	Aciers .....	4
1.4.3.	Connecteurs WAVES .....	4
1.4.4.	Boucles de levage.....	4
1.4.5.	Douilles.....	5
1.4.6.	Matériaux de traitement des joints et des parois.....	5
1.5.	Conception et dimensionnement .....	5
1.5.1.	Généralités .....	5
1.5.2.	Disposition des connecteurs WAVES.....	5
1.5.3.	Résistance des connecteurs WAVES .....	5
1.5.4.	Enrobage extérieur des armatures .....	6
1.5.5.	Enrobage intérieur des armatures.....	6
1.5.6.	Enrobage des treillis raidisseurs côté face intérieure .....	6
1.5.7.	Epaisseurs minimales des voiles préfabriqués.....	6
1.5.8.	Types de liaisons .....	7
1.5.9.	Vérification des liaisons au droit des joints.....	7
1.5.10.	Vérification de la résistance au cisaillement à l'interface paroi/noyau .....	8
1.5.11.	Eléments sollicités dans leur plan .....	9
1.5.12.	Eléments essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan .....	10
1.5.13.	Etanchéité à l'eau .....	10
1.5.14.	Dispositions parasismiques .....	11
1.5.15.	Résistance au feu .....	11
1.5.16.	Isolation thermique.....	12
1.5.17.	Isolation acoustique .....	12
1.6.	Finitions.....	12
1.6.1.	Traitement des joints .....	12
1.6.2.	Aspects des parements .....	12
1.6.3.	Traitement de la tête des MCI exposés aux intempéries .....	13
1.7.	Mise en œuvre, manutention, montage, stockage, transport.....	13
1.7.1.	Travaux préliminaires.....	13
1.7.2.	Livraison et stockage .....	13
1.7.3.	Levage.....	13
1.7.4.	Protections collectives .....	14
1.7.5.	Positionnement .....	14
1.7.6.	Armatures de liaison .....	14
1.7.7.	Bétonnage du noyau .....	14
1.8.	Assistance technique .....	15
1.8.1.	Condition d'exploitation du procédé .....	15
1.8.2.	Aide à la mise en œuvre .....	15

1.9.	Fabrication et contrôle .....	15
1.9.1.	Etapes de fabrication .....	15
1.9.2.	Caractéristiques dimensionnelles des prémurs fabriqués.....	16
1.9.3.	Contrôle de fabrication .....	16
1.10.	Sites de production.....	16
1.11.	Mention des justificatifs.....	17
1.11.1.	Résultats expérimentaux .....	17
1.11.2.	Références chantiers.....	17
1.12.	Annexes du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre .....	18
ANNEXE 1 :	Présentation du procédé .....	18
ANNEXE 2 :	Boucles de levage .....	23
ANNEXE 3 :	CMU des boucles de levage .....	27
ANNEXE 4 :	Douilles métalliques .....	28
ANNEXE 5 :	Détails des liaisons.....	29
ANNEXE 6 :	Vérification du cisaillement.....	37
ANNEXE 7 :	Dispositions pour poutres voiles.....	40

# 1. Dossier Technique

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

## 1.1. Mode de commercialisation

Titulaire(s) : LESAGE DEVELOPPEMENT  
16, rue de Hirtzbach  
BP 2538  
FR – 68058 MULHOUSE Cedex  
Internet : [www.rector.fr](http://www.rector.fr)

## 1.2. Description

### 1.2.1. Principe

Le « Prémur Waves Rector » est un procédé de mur à coffrage intégré (MCI) constitué de deux voiles minces préfabriqués en béton armé, maintenus espacés par des connecteurs « WAVES » répartis sur toute la surface du prémur, ancrés dans les voiles préfabriqués. L'élément ainsi constitué sert de coffrage en œuvre à un béton prêt à l'emploi, pour la réalisation de murs articulés, couturés ou encastrés, tels que définis dans le CPT MCI (cahier du CSTB 3690\_V2).

Le connecteur WAVE fait l'objet de l'ETA n° 15/0224 du 02.07.2015 sous le nom de « Kappema composite wall ».

Les connecteurs WAVES sont composés de trois fils en acier inoxydable, courbés à leurs extrémités, soudés à une tôle ondulée en acier.

Les peaux coffrantes ont des épaisseurs nominales comprises entre 55 mm et 70 mm. Les murs ont une épaisseur nominale comprise entre 18 cm et 40 cm, et les dimensions maximales en plan sont de 3,50 m x 14,50 m ou 3,90 m x 12,80 m selon les sites de productions.

Les prémurs peuvent être associés à divers éléments de structure : poteaux et poutres préfabriqués ou coulés en place, prédalles, dalles alvéolées, radiers généraux et fondations.

Les liaisons entre MCI « Prémur Waves Rector » sont assurées par des armatures rapportées disposées dans la partie coulée en œuvre ou par des armatures intégrées aux murs.

L'encastrement du mur dans la semelle ou le radier est réalisé par des armatures en attente dans la fondation ou intégrées au « Prémur Waves Rector ».

L'encastrement entre MCI « Prémur Waves Rector » dans les angles ou avec d'autres ouvrages est réalisé par des armatures intégrées aux MCI « Prémur Waves Rector » ou disposées dans le béton coulé en place.

Le procédé « Prémur Waves Rector » peut être utilisé dans les ouvrages situés en zones sismiques 1 à 4.

L'étanchéité des murs est réalisée selon les prescriptions du Cahier CSTB 3690\_V2.

### 1.2.2. Domaine d'emploi

Le procédé « Prémur Waves Rector » est destiné à la réalisation de murs porteurs ou non porteurs en infrastructure et en superstructure, de murs de refend, de murs de façades, de poutres voiles, de poutres, de poteaux, de murs de soutènement, de murs coupe-feu, d'ouvrages soumis à une pression hydrostatique extérieure ainsi que les murs enterrés soumis ou non à des pressions hydrostatiques destinés à la réalisation de caniveaux, garages souterrains, galeries de liaison, sous-sols sur un ou plusieurs niveaux. Les classes d'exposition XD et XS, selon NF EN 206+A2/CN, sont exclues du domaine d'emploi.

## 1.3. Identification

Chaque prémur est identifié par une étiquette qui comporte le nom du chantier, le nom du client et le numéro de l'affaire ; la référence et les dimensions du mur ; le numéro, l'épaisseur et le poids du prémur ; la classe de résistance du béton, la date de fabrication, le nom et l'adresse de l'usine.

## 1.4. Caractéristiques des composants

Les principaux matériaux et éléments mis en œuvre sont :

- Les bétons ;
- Les aciers ;
- Les connecteurs WAVES ;
- Les accessoires de levage et de stabilité en phase provisoire ;
- Les matériaux de traitement des parois et des joints.

## 1.4.1. Bétons

### 1.4.1.1. Béton des peaux coffrantes préfabriquées

La composition du béton des voiles préfabriqués respecte les exigences définies dans les tableaux NAF.1 ou NAF.2 de la norme NF EN 206+A2/CN, en fonction de la classe d'exposition de l'ouvrage.

Le béton des parois préfabriquées des MCI « Prémur Waves Rector » est de classe de résistance minimale C40/50.

Quelle que soit la résistance finale du béton utilisé (C40/50 à C50/60), la résistance minimale en compression du béton du deuxième voile préfabriqué doit être de 15 MPa sur cube 10 x 10 x 10 cm à la première manutention, et 25 MPa lors de la manipulation sur chantier (cube 10 x 10 x 10 cm).

### 1.4.1.2. Béton de remplissage

Le béton de remplissage, coulé sur chantier, est de type prêt à l'emploi (BPE) à propriétés spécifiées (BPS), conforme à la norme NF EN 206+A2/CN et aux prescriptions de l'opération, de résistance caractéristique à 28 jours minimale  $f_{ck} = 25$  MPa (classe de résistance C25/30).

Le diamètre maximal des granulats sera choisi en fonction de l'épaisseur du noyau coulé sur chantier ; la dimension nominale supérieure du plus gros granulats  $D_{max}$  doit satisfaire les conditions suivantes :

- $D_{max} = 12,5$  mm pour un noyau d'épaisseur nominale  $b_n \leq 9$  cm ;
- $D_{max} = 16$  mm pour un noyau d'épaisseur nominale  $b_n > 9$  cm.

La classe de consistance du béton est S4 ou S5 conformément à la norme NF EN 206+A2/CN ; la valeur recommandée d'affaissement est de 200 mm (portée à 220 mm dans des conditions de forte densité d'armatures ou de faible épaisseur du noyau béton). Dans le cas des BAP, toutes les classes d'étalement peuvent être utilisées.

## 1.4.2. Aciers

### 1.4.2.1. Aciers intégrés dans le prémur

Ce sont les barres filantes ou façonnées, cages d'armatures et treillis soudés intégrés dans le prémur. Ils répondent aux exigences du paragraphe 1.1.1.3 du Cahier CSTB 3690\_V2.

### 1.4.2.2. Treillis raidisseurs

Les treillis raidisseurs répondent aux exigences du paragraphe 1.1.1.2 du Cahier CSTB 3690\_V2.

Ils peuvent être mis en œuvre :

- En bords de prémurs, sur toute la hauteur, afin d'assurer certains types de liaisons ;
- En tête des prémurs, en cas de décalages de peaux importantes servant notamment de coffrage au plancher ;
- En pourtour des réservations, en remplacement des U de fermeture.

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

- Sollicitations de cisaillement à la liaison ;
- Épaisseur du mur à coffrage intégré ;
- Enrobage et diamètre des armatures.

Les treillis raidisseurs font l'objet d'une certification par un organisme extérieur et sont marqués NF ou équivalent.

### 1.4.2.3. Armatures mises en œuvre sur chantier

Ce sont les barres filantes et les cages d'armatures mises en œuvre dans les voiles, répondant au 1.1.1.2 du CPT MCI.

Le procédé ZIPBOX peut être utilisé pour la réalisation de liaisons couturées verticales. L'utilisation se fera alors en respectant les prescriptions de l'avis technique ZIPBOX en cours de validité.

## 1.4.3. Connecteurs WAVES

Chaque connecteur est composé de trois fils (brins) d'acier, soudés à une tôle de forme ondulée. Les brins, de diamètre 6 mm, sont fabriqués en acier inoxydable, de nuance 1.4003, et conformes à la norme EN 10088-1. La tôle ondulée est fabriquée en acier, de classe DC01 et conforme à la norme EN 10130.

Les connecteurs WAVES sont fabriqués et fournis par la société KAPPEMA.

Ils peuvent avoir une hauteur de 180 à 400 mm. Le choix de la hauteur se fait en fonction de l'épaisseur du mur.

Les connecteurs WAVES sont livrés à plat et pliés manuellement à 90° avant mise en place sur table.

L'encombrement d'un connecteur déplié est de 238 mm.

Leur géométrie figure en Annexe 1.

## 1.4.4. Boucles de levage

Le levage est réalisé à l'aide de 2 boucles au minimum, de diamètre 14 mm ou 16 mm, intégrées dans les peaux de prémur lors de la fabrication. Leur façonnage est décrit en Annexe 2. Elles comportent un bouton en partie supérieure et éventuellement une épingle en partie inférieure.

L'armature principale de la boucle est réalisée en acier B235C conforme à la norme NF A 35-015. Le bouton et l'épingle sont réalisés en acier B500B conforme à la norme NF A 35-080-1.

Les spécifications de fabrication (qualité des soudures et tolérances de fabrication) sont définies sur les plans, des exemples en sont donnés en Annexe 2.

Une élingue câble peut être disposée dans la boucle pour permettre l'accrochage depuis le sol.

Les élingues câbles sont en acier galvanisé de diamètres 9 et 12 mm, conformes à la norme ISO 2408. Elles sont constituées de 7 torons de 19 fils de classe de résistance 1960 MPa, de résistance garantie à la rupture :

- 102,2 kN pour les 12 mm ;
- 53,7 kN pour les 9 mm.

Les élingues câbles de 9 mm sont uniquement utilisables avec les boucles de 14 mm.

Les CMU des boucles de levage figurent en Annexe 3.

#### **1.4.5. Douilles**

Des douilles métalliques (voir Annexe 4) sont scellées dans l'un des voiles coffrants des panneaux. Elles assurent la liaison des voiles coffrants avec les étais tirants poussants pendant le montage et le bétonnage, et la fixation éventuelle des équipements de sécurité. Elles sont utilisées en combinaison avec des boulons métalliques adaptés (M16, M20,...), et elles autorisent des usages multiples de serrages-desserrages.

#### **1.4.6. Matériaux de traitement des joints et des parois**

Les différents matériaux de traitement des parements de murs, de jointoiment et d'étanchéité, sont tels que décrits dans le paragraphe 1.5 du Cahier CSTB 3690\_V2.

### **1.5. Conception et dimensionnement**

#### **1.5.1. Généralités**

Le comportement final d'un mur réalisé à partir du procédé « Prémur Waves Rector » n'est pas différent de celui du même mur en béton banché, et son dimensionnement est similaire à celui d'un mur traditionnel.

Il est toutefois nécessaire d'effectuer des vérifications spécifiques pour tenir compte de la présence des joints.

La conception est à réaliser conformément au Cahier CSTB 3690\_V2, complétée des paragraphes concernés ci-dessous :

- Vérification de la tenue des connecteurs sous la pression de bétonnage du noyau en phase provisoire (§ 1.5.2);
- En phase définitive, prise en compte de la présence des joints (§ 1.5.9.1 et 1.5.9.3) et de la couture à l'interface peau de prémur / béton coulé en œuvre (§ 1.5.10).

Le ferrailage des peaux préfabriquées, de la partie coulée en place, des zones de renforcement en cas de présence de réservations, est déterminé par l'étude de structure effectuée par le BET Structures en charge du projet, en tenant compte des spécificités du procédé. Le BET Structures doit tenir compte des conditions particulières de la conception parasismique des bâtiments avec le procédé.

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

Les renforcements des ouvertures et des bords libres usuellement prévus dans les voiles selon les dispositions du paragraphe 4.2.2.5 du DTU 23.1, pourront être réalisés dans les MCI « Prémur Waves Rector » à l'aide des treillis raidisseurs, selon l'article 1.1.1.10 du Cahier CSTB 3690\_V2.

Les cages d'armatures convenablement ancrées dans les peaux coffrantes peuvent jouer le rôle assuré par les connecteurs pour la couture de l'interface et/ou la tenue des voiles pendant la phase de coulage.

#### **1.5.2. Disposition des connecteurs WAVES**

Les espacements minimum et maximum entre les WAVES, ainsi que les distances aux bords libres des parois, à respecter, sont donnés en Annexe 1.

L'espacement réel, ainsi que le nombre de connecteurs WAVES sont calculés en fonction :

- De la vitesse de bétonnage du noyau ;
- Des dimensions du « Prémur Waves Rector ».

Le nombre de WAVES est vérifié en phase définitive vis-à-vis de la sollicitation de cisaillement à l'interface noyau/paroi préfabriquée.

L'orientation des connecteurs WAVES doit respecter les dispositions retenues conformément aux consignes en Annexe 1.

#### **1.5.3. Résistance des connecteurs WAVES**

La valeur de la résistance caractéristique en traction des connecteurs WAVES est de 13.3 kN / stick, selon l'ETA n°15/0224 du 02.07.2015. Elle a été obtenue par essais d'arrachement de sticks dans une peau d'épaisseur nominale de 55 mm et pour un béton de résistance minimale C20/25.

Les valeurs de résistance à l'ELU, en statique et en dynamique, sont déterminées à partir de la valeur caractéristique, et données par le tableau ci-dessous.

Statique	Dynamique
$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{1,4} = \frac{13,3}{1,4}$	$N_{Rd,dyn} = \frac{0,4 N_{Rk}}{1,3} = \frac{0,4 \cdot 13,3}{1,3}$
$N_{Rd} = 9,5 \text{ kN par stick}$	$N_{Rd,dyn} = 4,09 \text{ kN}$

**Tableau 1 : résistance ELU des connecteurs Waves**

#### 1.5.4. Enrobage extérieur des armatures

L'enrobage extérieur des armatures des voiles préfabriqués respecte les prescriptions du §1.1.1.5 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### 1.5.5. Enrobage intérieur des armatures

Les dispositions liées à l'enrobage intérieur des armatures de peau, ainsi que celles incluses dans le noyau (armatures en attente et armatures de liaison), sont celles figurant au §1.1.1.10 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### 1.5.6. Enrobage des treillis raidisseurs côté face intérieure

Conformément au §1.1.1.6 du Cahier CSTB 3690\_V2, l'enrobage minimal des raidisseurs 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.

#### 1.5.7. Epaisseurs minimales des voiles préfabriqués

L'épaisseur minimale des voiles préfabriqués résulte des exigences d'enrobages, des tolérances d'exécution sur cette dimension et sur le positionnement des armatures.

Les dimensions nominales sont définies comme des dimensions minimales plus une marge de calcul pour tolérances d'exécution. Les tolérances déclarées sur les enrobages  $e_1$  et  $e_2$  respectivement dans le premier et le deuxième voile préfabriqué sont :

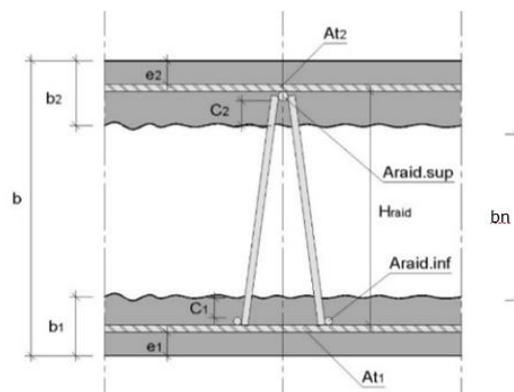
$$\Delta e_1 = \Delta e_2 = \pm 2 \text{ mm}$$

L'épaisseur nominale du noyau en béton coulé en place est  $b_n \geq 70 \text{ mm}$ . Cette épaisseur correspond à une épaisseur minimale toutes tolérances épuisées  $b_{n,min} = 65 \text{ mm}$ , selon le §1.1.1.6 du Cahier CSTB 3690\_V2, avec :

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

##### 1.5.7.1. Prémurs munis de treillis raidisseurs verticaux

Les tolérances d'exécution déclarées et suivies dans le cadre de la certification NF sont celles figurant dans le référentiel de certification NF 548.



**Figure 1 : définition des chaînes de cotes en présence de treillis raidisseur**

En présence de treillis raidisseurs, les épaisseurs nominales des voiles préfabriqués sont définies selon le §1.1.1.6 du CPT MCI :

$$b_1 \geq e_1 + \phi_{tp1} + \phi_{raid,inf} + c_{1,min} + \Delta_1$$

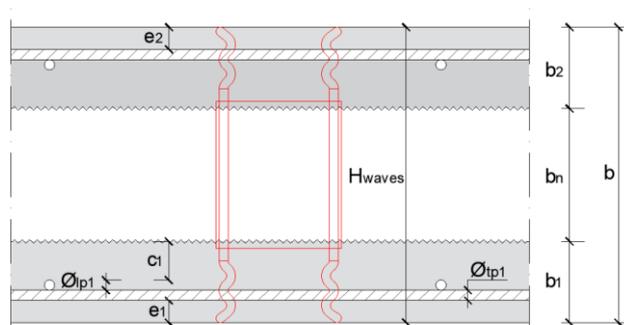
Avec  $\Delta_1 = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2}$

$$b_2 \geq c_{2,min} + (b_{nom} - e_1 - \phi_{tp1} - H_{raid}) + \phi_{raid,sup} + \Delta_2$$

Avec  $\Delta_2 = \sqrt{(\Delta e_1^-)^2 + (\Delta b_2^-)^2 + (\Delta b^+)^2 + (\Delta H_{raid}^-)^2 + (\Delta waves^-)^2}$  où  $\Delta waves = \pm 2,5 \text{ mm}$

### 1.5.7.2. Prémurs munis uniquement de connecteurs WAVES

La longueur des connecteurs WAVES permet de régler l'épaisseur totale du mur. Ils doivent être ancrés dans les épaisseurs des peaux, afin de pouvoir garantir les valeurs de résistance définies dans le paragraphe 1.5.3 précédent.



**Figure 2 : définition des chaînes de cotes avec WAVES**

Les épaisseurs de peaux minimales à respecter sont généralement conditionnées par les enrobages des brins verticaux des boucles de levage, voir Annexe 2.

## 1.5.8. Types de liaisons

Les liaisons assurent la continuité mécanique au droit des joints entre deux MCI « Prémur Waves Rector », ainsi qu'entre les MCI « Prémur Waves Rector » et les ouvrages avoisinants.

Les principes constructifs définis au §1.1.1.10 du Cahier CSTB 3690\_V2, à savoir liaisons articulées, couturées, encastrées, sont réalisables dans le cas des MCI « Prémur Waves Rector », moyennant les adaptations de l'Annexe 5 du présent document. Le choix du type de liaison est fonction de plusieurs paramètres : efforts à reprendre (moment et tranchant), contraintes de chantier, méthodologie de pose, étanchéité, sismicité.

### 1.5.8.1. Calepinage

Le calepinage des MCI « Prémur Waves Rector » respecte le §1.1.1.7 du Cahier CSTB 3690\_V2.

### 1.5.8.2. Eclissage des armatures

Ces armatures sont, soit intégrées dans les murs à coffrage intégré, soit mises en œuvre dans la partie coulée en place. Les dispositions concernant l'éclissage doivent respecter le §1.1.1.12 du Cahier CSTB 3690\_V2.

## 1.5.9. Vérification des liaisons au droit des joints

Les vérifications des liaisons s'effectuent selon le §1.1.1.8 du Cahier CSTB 3690\_V2 et concernent :

- La vérification de la résistance au cisaillement de la section transversale réduite au droit du joint (1.5.9.1 ci-après) ;
- La vérification du monolithisme du mur :
  - Vérification du recouvrement des armatures de liaison avec celles intégrées dans les voiles préfabriqués (1.5.9.2 ci-après) ;
  - Vérification de la résistance au cisaillement sur le contour de la liaison à l'interface entre le noyau et le voile préfabriqué (1.5.9.3 ci-après).

### 1.5.9.1. Vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint

La vérification se fait selon le 1.1.1.8 b) du Cahier CSTB 3690\_V2.

1.5.9.2. Vérification du recouvrement des armatures

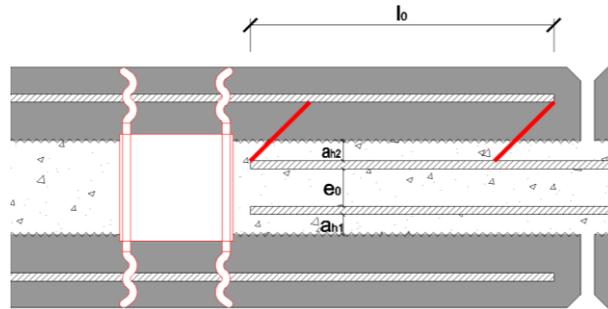


Figure 3 : recouvrement des armatures

Le recouvrement des armatures doit être conforme au 1.1.1.8 c) du CPT MCI.

1.5.9.3. Vérification de la résistance au cisaillement sur le contour de la liaison au droit du joint

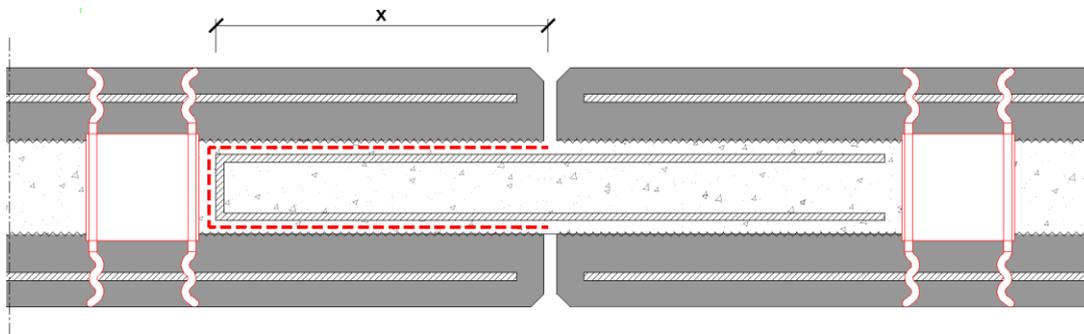


Figure 4 : liaison sans couture aux abouts

En présence ou non d'un treillis raidisseur au droit de la liaison, les vérifications se font selon le 1.1.1.8 d) du CPT MCI. Un exemple de vérification de cisaillement au droit d'une liaison est donné en Annexe 6.

1.5.10. Vérification de la résistance au cisaillement à l'interface paroi/noyau

La vérification de la résistance au cisaillement à l'interface paroi/noyau se fait selon le principe ci-dessous, et est à réaliser en situation courante et en situation accidentelle.

$$v_{Rd,interface} = c \cdot f_{ctd,n} + \frac{n_{waves}}{A_{interface}} F_{waves} \cdot \mu \leq 0,5 v f_{cd,n}$$

$F_{waves}$  : résistance de calcul d'un connecteur selon §1.5.3 ci-dessus, à considérer en situation durable / transitoire ou accidentelle

$n_{waves}$  : quantité de Waves traversant l'interface considérée

$A_{interface}$  : surface de l'interface considérée

$f_{ctd,n}$  : valeur de calcul de la résistance en traction du béton du noyau coulé en place selon §3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale

$f_{cd,n}$  : valeur de calcul de la résistance en compression du béton du noyau coulé en place selon §3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale

c et  $\mu$  sont donnés par le tableau ci-dessous, en considérant une surface de reprise de type lisse selon NF EN 1992-1 §6.2.5

	Situations durables ou transitoires	Situations accidentelles
c : coefficient de cohésion	0,2	0,1
$\mu$ : coefficient de frottement	0,6	0,6

Une application numérique concernant cette vérification est présentée en Annexe 6.

### 1.5.11. Eléments sollicités dans leur plan

#### 1.5.11.1. Murs courants

Le dimensionnement se fera conformément au §1.1.2.1 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### 1.5.11.2. Poteaux

Les prescriptions du §1.1.2.2 du Cahier CSTB 3690\_V2 s'appliquent, auxquelles se rajoutent les précisions ci-dessous. Les dispositions de ferrailage seront les dispositions traditionnelles de réalisation d'un poteau. Les connecteurs WAVES reprennent exclusivement la poussée du béton frais en phase provisoire (Figure 5 ci-dessous).

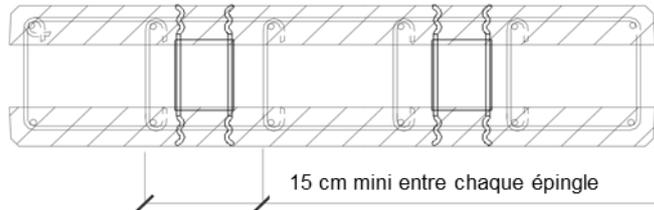


Figure 5 : principe de ferrailage d'un poteau

#### 1.5.11.3. Poutres

Les prescriptions du §1.1.2.3 du Cahier CSTB 3690\_V2 s'appliquent, en tenant compte des particularités ci-dessous.

- Intégrité de la section

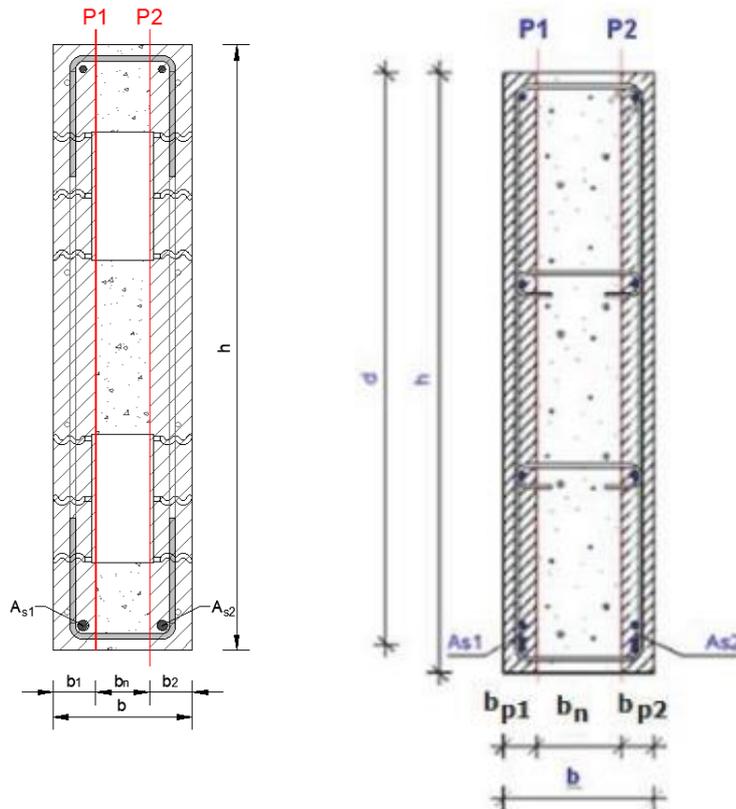


Figure 6 : plans de cisaillement dans la section d'une poutre

Il convient de vérifier à l'interface entre le béton des voiles préfabriqués et du noyau, que la valeur limite de calcul de la contrainte de cisaillement  $\tau_{Ed,lim}$  est telle que :

$$\tau_{Ed,lim} = \max \left\{ \begin{array}{l} v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd,n} + \frac{n_{waves}}{A_{interface}} F_{waves} \cdot \mu \\ 0,5 v f_{cd,n} \end{array} \right.$$

- $v_{Rdi}$  : valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à l'interface
- $f_{ctd,n}$  : valeur de calcul de la résistance en traction du béton du noyau coulé en place, selon §3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale
- $f_{cd,n}$  : valeur de calcul de la résistance en compression du béton du noyau coulé en place, selon §3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale
- $F_{waves}$  : résistance de calcul des connecteurs WAVES selon §1.5.3 ci-dessus
- $n_{waves}$  : quantité de brins traversant l'interface considérée
- $A_{interface}$  : surface de l'interface considérée

c et  $\mu$  sont donnés par le tableau ci-dessous, en considérant une surface de reprise de type lisse selon NF EN 1992-1 §6.2.5, et en considérant une minoration de 1,1 pour le coefficient « c »

	Situations durables ou transitoires	Situations accidentelles
c : coefficient de cohésion	0,18	0,09
$\mu$ : coefficient de frottement	0,6	0,6

- Vérifications sur appuis  
Les vérifications se font selon le paragraphe concerné de l'article 1.1.2.3 du Cahier CSTB 3690\_V2.

- Résistance à la torsion  
Les vérifications se font selon le paragraphe concerné de l'article 1.1.2.3 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### 1.5.11.4. Poutres cloisons

Les prescriptions de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale Française pour le dimensionnement des poutres voiles doivent être vérifiées conformément aux §1.1.2.4 et Annexe V du Cahier CSTB 3690\_V2.  
Les schémas des poutres cloisons figurent en Annexe 7.

#### 1.5.11.5. Acrotères

Les acrotères en murs à coffrage intégré sont à réaliser selon les prescriptions du 1.1.2.5 du Cahier CSTB 3690\_V2.

### 1.5.12. Éléments essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan

Le calcul du moment résistant doit prendre en compte la réduction du bras de levier par rapport au cas d'un voile banché, du fait de l'implantation des armatures en attente dans le noyau, conformément au 1.1.4 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### 1.5.12.1. Prescriptions particulières pour les éléments bi-articulés en premier niveau de sous-sol

Les prescriptions à respecter sont celles du 1.1.4.2 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### 1.5.12.2. Prescriptions particulières aux murs enterrés

Les prescriptions à respecter sont celles du 1.1.4.3 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### 1.5.12.3. Boîtes d'attentes et prédalles

Les règles professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes devront être respectées à la conception et à la mise en œuvre des liaisons.

### 1.5.13. Etanchéité à l'eau

Un cordon d'étanchéité doit être mis en place à l'extrémité d'un voile coffrant, en l'absence d'autre dispositif d'étanchéité spécifique rapporté s'opposant au cheminement éventuel d'infiltrations corrosives pour les aciers traversant le plan de contact entre voile coffrant et béton coffré.

Pour les murs nécessitant une étanchéité assurée par le béton seul, les solutions mettant en œuvre les MCI « Prémur Waves Rector » reposent sur deux modes de conception du plan d'étanchéité :

- L'utilisation des solutions mécaniques sans reprise de bétonnage et des joints verticaux décalés qui permettent de garantir une étanchéité par la continuité du bétonnage du noyau central à l'aide d'un béton présentant un compactage optimal et un faible retrait ;
- L'utilisation des solutions mécaniques avec reprise de bétonnage, complétées par le traitement spécifique des reprises de bétonnages.

#### 1.5.13.1. Utilisation des solutions mécaniques sans reprise de bétonnage

L'utilisation d'une solution mécanique sans reprise de bétonnage permet de garantir l'encastrement en pied de panneau et d'avoir une liberté de translation horizontale du « Prémur Waves Rector » lors de sa mise en œuvre. Des armatures garantissent la couture du joint vertical afin de bloquer la fissuration provoquée par le retrait du béton.

La réalisation du plan d'étanchéité repose sur la chronologie de réalisation de l'ouvrage :

- Coulage du béton de propreté ;
- Pose des MCI « Prémur Waves Rector » ;
- Mise en place des armatures verticales de clavetage des joints verticaux ;
- Pose du cordon de mousse dans le joint pour empêcher la fuite de laitance ;
- Dépliage des armatures en attente en pied de panneau ;
- Ferrailage du radier ou de la fondation ;
- Bétonnage du radier et du « Prémur Waves Rector » sans reprise de bétonnage à l'aide d'un béton à faible retrait ;
- Enlèvement de la bande pré comprimée ;
- Finition des joints en fonction de la destination de l'ouvrage.

Les reprises de bétonnage verticales pour les ouvrages nécessitant un bétonnage en plusieurs phases sont systématiquement réalisées en partie courante du « Prémur Waves Rector » par la mise en œuvre dans le noyau d'un joint en tôle galvanisée d'arrêt de bétonnage, permettant d'augmenter le chemin critique de l'eau.

#### 1.5.13.2. Utilisation des solutions mécaniques avec reprise de bétonnage

L'utilisation des solutions mécaniques avec reprise de bétonnage repose aussi sur la mise en œuvre d'un béton présentant un faible retrait.

De plus un traitement spécifique de la reprise de bétonnage en pied de panneau doit être réalisé.

La reprise de bétonnage en pied de panneau est traitée avec un joint hydrogonflant type SIKA JOINT EXPANSIF WS 2005 ou des dispositifs similaires joints hydrogonflants. Ces dispositifs sont disposés à 5 cm de la peau du « Prémur Waves Rector » en contact avec l'eau.

Le traitement du joint vertical entre deux MCI « Prémur Waves Rector » peut être réalisé de deux manières différentes en fonction des contraintes de chantier.

##### 1.5.13.2.1. Joints classiques

Le joint est traité comme un joint classique au niveau du bétonnage et du ferrailage. Il est complété par la mise en place d'un joint type SIKADUR COMBIFLEX, ou toute bande d'étanchéité pour joints à haute flexibilité collée sur les lèvres du joint et garantissant la parfaite étanchéité au contact d'eaux en pression. Le joint est à mettre en œuvre en règle générale sur la face en contact avec l'eau. Néanmoins il peut travailler en sous-pression moyennant des dispositions de mise en œuvre particulières définies par les fabricants.

##### 1.5.13.2.2. Joints encastrés

Le joint est traité à l'aide des solutions mécaniques type articulées couturées. Les reprises de bétonnage verticales pour les ouvrages nécessitant un bétonnage en plusieurs phases sont systématiquement réalisées en partie courante du « Prémur Waves Rector », par la mise en œuvre dans le noyau du mur d'un joint Waterstop avec tôle type STREMAFORM ou toute autre tôle galvanisée d'arrêt de bétonnage permettant d'augmenter le chemin critique de l'eau. La finition des joints est réalisée en fonction de la destination de l'ouvrage.

#### 1.5.14. Dispositions parasismiques

La conception et la vérification des murs à coffrage intégré sous sollicitations sismiques se fait selon le 1.1.1.14 du CPT MCI.

Pour le calcul des raideurs des voiles, la présence des joints entre panneaux est négligeable.

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un « Prémur Waves Rector » est réalisée sur l'hypothèse d'une section homogène équivalente à un mur banché substitué.

#### 1.5.15. Résistance au feu

Le comportement au feu des MCI « Prémur Waves Rector » est évaluée selon l'appréciation de laboratoire n° 041429-B en date du 23/08/2023.

Le comportement au feu des MCI « Prémur WAVES Rector » peut être justifié par application de la norme NF EN 1992-1-2 et son annexe nationale à l'ensemble du prémur considéré comme homogène de ce point de vue. Cela est valable pour une exposition au feu inférieure ou égale à :

- 60 minutes pour une paroi exposée au feu d'épaisseur minimale 55 mm, avec un enrobage minimal des armatures de 20 mm ;

- 120 minutes pour une paroi exposée au feu d'épaisseur minimale 65 mm, avec un enrobage minimal des armatures de 30 mm ;
- sous réserve du bon dimensionnement à froid des connecteurs WAVES et de la justification du monolithisme à froid du prémur.

### **1.5.16. Isolation thermique**

La performance thermique est déterminée en négligeant la présence des joints selon le 1.3 du Cahier CSTB 3690-V2. Il est rappelé que l'isolation thermique n'entre pas dans le champ d'aptitude à l'emploi du procédé.

### **1.5.17. Isolation acoustique**

Les exigences du 1.4 du Cahier CSTB 3690\_V2 s'appliquent. Il est rappelé que l'isolation acoustique n'entre pas dans le champ d'aptitude à l'emploi du procédé.

## **1.6. Finitions**

### **1.6.1. Traitement des joints**

Selon la destination de l'ouvrage, le traitement du joint devra être mis en place selon les règles du §1.5 du CPT MCI.

#### **1.6.1.1. Murs courants en superstructure**

Les prescriptions particulières du traitement des joints des murs courants en superstructure sont définies au §1.5.1 du Cahier CSTB 3690 V2.

#### **1.6.1.2. Murs courants en infrastructure**

Les prescriptions particulières du traitement des joints des murs courants en infrastructure sont définies au §1.5.2 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### **1.6.1.3. Murs avec pression hydrostatique**

Les prescriptions particulières du traitement des joints des murs avec pression hydrostatique sont définies au §1.5.3 du Cahier CSTB 3690\_V2.

#### **1.6.1.4. Murs coupe-feu**

Les murs coupe-feu non exposés aux intempéries ne nécessitent pas de traitement particulier du joint si ce dernier est inférieur à 2 cm conformément à l'article 4.6(4) de la norme NF EN 1992-1-2.

### **1.6.2. Aspects des parements**

#### **1.6.2.1. Etat de surface**

L'état de surface courant correspond à une surface brute de décoffrage contre moule.

En référence à la norme NF P 18-503, le parement standard du MCI « Prémur Waves Rector » est classé P(3), E(3-3-0), T(0).

#### **1.6.2.2. Teinte**

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

Lorsque la finition du MCI « Prémur Waves Rector » est une lasure dont l'aspect doit être uniforme sur toute la surface du parement, il est impératif de préparer le support à l'aide d'un opacifiant ou homogénéisateur de teinte, appliqué au préalable, de manière à garantir l'aspect final de la lasure.

#### **1.6.2.3. Préparation du support**

La forte compacité du béton des MCI « Prémur Waves Rector » doit être prise en compte lors du choix du type de revêtement qui sera appliqué sur le support (lasures, peinture, imprégnation, résine, membrane d'étanchéité, carrelage de parement, RPE, plot de colle pour fixation des plaques de Placoplatre...).

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

### 1.6.3. Traitement de la tête des MCI exposés aux intempéries

Les têtes de murs exposées aux intempéries sont protégées contre les infiltrations d'eau le long des plans de reprise de bétonnage entre les peaux coffrantes et le béton coulé en place par l'un des moyens suivants :

- Un chaperon béton ;
- Une couverture métallique ;
- Un revêtement d'imperméabilisation type SIKATOP 107 PROTECTION, appliqué sur une imprégnation époxydique type SIKADUR IMPREGNATION ;
- Ou tout revêtement d'imperméabilisation à base de liant hydraulique, flexible, résistant au gel, et imperméable à l'eau.

### 1.7. Mise en œuvre, manutention, montage, stockage, transport

La mise en œuvre est effectuée par des entreprises en liaison dès la phase de conception avec le fabricant titulaire de l'Avis, qui leur livre les panneaux de coffrage accompagnés du plan de pose complet.

Elle présente d'importantes différences par rapport aux méthodes traditionnelles définies dans le DTU n° 23.1, entre autres :

- La présence de raidisseurs segmentant le volume à bétonner ;
- L'épaisseur du béton de remplissage pouvant être inférieure à 12 cm ;
- L'absence de vibration du béton ;
- La limitation à l'épaisseur du seul voile coulé en œuvre des sections de continuité en rives des panneaux ;
- La relative difficulté de mise en place d'aciers de continuité horizontaux dans les jonctions verticales ;
- L'impossibilité d'observer la qualité du bétonnage en partie courante.

Ces caractéristiques engendrent des limitations précisées dans le Dossier Technique ; elles nécessitent en outre de l'entreprise de mise en œuvre des précautions particulières et un entraînement des équipes de montage. Le titulaire de l'Avis fournira aux entreprises un Cahier des charges de montage et mettra à leur disposition, sur leur demande, des possibilités de formation du personnel. Il leur diffusera le contenu du présent document et notamment le domaine d'emploi accepté et les prescriptions techniques dont il est assorti.

#### 1.7.1. Travaux préliminaires

L'entreprise doit disposer de plans de coffrage et de ferrailage établis par le bureau d'études en charge du chantier, incluant les armatures complémentaires conformes au plan de préconisation de pose fourni par RECTOR LESAGE.

L'implantation des MCI « Prémur Waves Rector » est matérialisée.

Les armatures complémentaires, les dispositifs d'étalement ainsi que les cales nécessaires aux réglages en altimétrie et écartement sont approvisionnés.

#### 1.7.2. Livraison et stockage

Les conditions de transport et de livraison sont convenues avec l'entreprise. L'aménagement de l'aire de déchargement est à la charge de cette dernière.

Les éléments sont stockés verticalement, sur des conteneurs métalliques (racks ou box) et éventuellement livrés par remorque auto-déchargeuse. Ils restent généralement stockés dans les conteneurs jusqu'à leur mise en œuvre dans l'ouvrage. Dans le cas d'un stockage réalisé hors des conteneurs, l'entreprise prendra toute disposition garantissant la sécurité des personnes et évitant toute détérioration ou déformation excessive des éléments préfabriqués.

#### 1.7.3. Levage

Les panneaux sont manutentionnés avec des grues à tour ou automotrices. Les élingues sont accrochées aux boucles ou organes de levage intégrés aux panneaux.

Le levage peut être réalisé en liaisonnant directement le crochet d'élingue à la boucle ou un interposant une élingue câble entre la boucle et le crochet d'élingue.

Les caractéristiques des engins et éléments de manutention doivent être compatibles avec le poids des panneaux à manutentionner.

Les boucles de levage sont représentées sur les calepins de fabrication. Une vérification du non-dépassement de la CMU est effectuée au cas par cas pour chaque boucle de levage.

Les plans de pose et/ou la notice de pose doivent comprendre a minima :

- L'angle limite de levage ;
- Le nombre de points de levage ;
- L'identification des boucles de levage.

Durant la manutention, ni le crochet de la grue, ni l'élingue ne doivent exercer d'effort notable sur les peaux coffrantes préfabriquées.

Lorsque le nombre de points de levage est supérieur à deux, des dispositions doivent être prises pour que les efforts exercés sur chaque organe de levage puissent être estimés de manière fiable et équilibrée.

Le levage à plat et le retournement des panneaux ne sont pas visés par la présente ATEX.

#### 1.7.4. Protections collectives

A la demande de l'entreprise, des protections collectives peuvent être intégrées au procédé « Prémur Waves Rector ». Ces éléments concernent principalement des protections collectives indémontables sur chantier, à savoir :

- Des inserts supports de garde-corps, intégrés dans le voile extérieur lors de la fabrication ;
- Un dispositif de protection des personnes et des chutes d'objet, au droit des ouvertures, intégré dans le prémur. Lors du démontage de ce dispositif, un point d'ancrage est systématiquement intégré dans le voile intérieur à l'aide d'une câblette métallique permettant d'accrocher un harnais de sécurité.

Le nombre et la position de ces protections collectives sont précisés par l'entreprise au bureau d'études de l'industriel.

#### 1.7.5. Positionnement

Le « Prémur Waves Rector » est positionné précisément dans son emplacement définitif sur des cales permettant de vérifier les jeux nécessaires.

Avant le retrait des élingues, des étais tirant-poussant sont fixés à l'élément par l'intermédiaire de vis et douilles métalliques.

D'autres systèmes de stabilisation peuvent être proposés, tels que des dispositifs d'équerrage.

Les élingues peuvent être décrochées lorsque la stabilité du mur est assurée.

Les étais sont maintenus en place jusqu'au durcissement du béton de remplissage et la solidarisation du mur avec le restant de la structure.

#### 1.7.6. Armatures de liaison

Les armatures de liaison sont mises en place dans chaque « Prémur Waves Rector » avant la pose de l'élément suivant. Dans le cas des murs de grande hauteur, il est préférable de disposer les armatures avant de relever l'élément dans sa position finale.

Dans tous les cas, les armatures doivent être efficacement ligaturées pour assurer leur maintien pendant ces phases de mise en œuvre.

Après pose des éléments préfabriqués, les armatures de liaison sont déplacées dans leur emplacement définitif et éventuellement complétées par les armatures longitudinales.

Les ferraillements complémentaires sont ensuite mis en place avant le début du bétonnage.

Avant coulage, le responsable du chantier vérifie la conformité des ferraillements avec les plans du bureau d'études.

#### 1.7.7. Bétonnage du noyau

Pour éviter les fuites de laitance, les joints d'épaisseur nominale inférieure à 3 cm doivent être préalablement calfeutrés avec un cordon de mousse. L'utilisation de mousse expansive est interdite.

Les joints d'épaisseur nominale supérieure ou égale à 3 cm doivent être coffrés sur les faces extérieures du mur pour assurer le remplissage par le béton sur toute la largeur du mur.

Les faces intérieures des MCI « Prémur Waves Rector » doivent être humidifiées. L'eau accumulée en pied de coffrage doit être éliminée avant bétonnage.

Le béton de consistance fluide est généralement mis en place sans vibration, en respectant les prescriptions relatives à la hauteur de chute et à la vitesse de bétonnage.

La vibration est cependant obligatoire :

- Au voisinage des joints, dans le cas des ouvrages pour lesquels l'étanchéité est assurée par le béton, ainsi que dans le cas de poutres ou poutres voiles ;
- Au droit des zones à forte densité de ferraillement, par exemple les poteaux.

La hauteur de chute et la particularité liée à la vitesse de bétonnage sont explicitées dans les paragraphes 1.7.7.1 et 1.7.7.2 ci-après.

Le coulage de la dalle haute en appui sur le « Prémur Waves Rector » peut éventuellement être réalisé en même temps que la dernière banchée de remplissage du « Prémur Waves Rector ».

##### 1.7.7.1. Hauteur de chute du béton

La hauteur maximale de chute du béton doit respecter le 1.1.1.13 du Cahier CSTB 3690\_V2. Dans tous les cas, la hauteur de chute de béton ne devra pas excéder  $H_{max} = 3$  m.

##### 1.7.7.2. Vitesse de bétonnage

La vitesse de bétonnage est fixée au préalable, en accord avec le chantier, et indiquée sur les plans.

Le coulage du béton du noyau peut s'effectuer en plusieurs passes avec une vitesse minimale de 50 cm/h, ou en une passe, sans excéder une hauteur de 3 m de béton frais.

Pour une dimension de MCI « Prémur Waves Rector » donnée, le nombre et la répartition des connecteurs WAVES sont calculés par RECTOR, en fonction de la vitesse de bétonnage, et de la consistance du béton du noyau, de sorte à assurer une capacité résistante suffisante pour la reprise de la poussée du béton au moment du coulage. La pression du béton non majorée est déterminée selon la DIN 18218. Elle est ensuite à majorer par un coefficient égal à 1,2.

### 1.7.7.3. Contrôle du remplissage

Le contrôle visuel du remplissage peut se faire via des orifices de diamètre 50 mm, prévus lors de la conception et mis en œuvre dans le prémur. Lorsque les orifices sont prévus à la conception, l'utilisateur doit en faire la demande à l'industriel. L'orifice peut être utilisé pour injecter un coulis de remplissage si nécessaire.

Le nombre et la localisation des orifices nécessaires au contrôle dépendent des caractéristiques du « Prémur Waves Rector » :

- Dans le cas général, au moins un orifice de contrôle doit être situé en partie basse de chaque « Prémur Waves Rector » ;
- Dans le cas de « Prémur Waves Rector » présentant des zones fortement armées, des orifices supplémentaires doivent être prévus.

Un contrôle par vérification du volume de béton coulé en œuvre et inspection de la non-ségrégation au décoffrage des réservations peut être envisagé. L'auscultation sonore peut également être envisagée. Les contrôles utilisant un maillet ne sont pas adaptés.

### 1.7.7.4. Reprise de 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.

## 1.8. Assistance technique

### 1.8.1. Condition d'exploitation du procédé

Le calcul des structures est réalisé par le Bureau d'Etudes Techniques (BET) de l'opération, en tenant compte des spécificités du procédé, développées dans le présent document.

Le calepinage est effectué par le bureau d'études RECTOR et approuvé par le BET. La fabrication est réalisée dans les usines de la société RECTOR, listées en paragraphe 1.10.

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

### 1.8.2. Aide à la mise en œuvre

La société RECTOR fournira systématiquement au client une documentation sur les spécificités de mise en œuvre des MCI « Prémur Waves Rector ». De plus, le fournisseur des MCI « Prémur Waves Rector » peut apporter son assistance technique en cas de demande de l'entreprise.

## 1.9. Fabrication et contrôle

### 1.9.1. Etapes de fabrication

Le panneau est réalisé en usine à l'aide d'un outil automatisé.

Les opérations se déroulent dans l'ordre suivant :

1. Nettoyage de la première table et projection automatique d'un décoffrant
2. Mise en place automatique des joues de coffrage du premier voile, et traçage par le robot des positions d'inserts, de réservations et d'ouvertures
3. Mise en place des cales d'enrobage
4. Mise en place manuelle des inserts, douilles, réservations et ouvertures
5. Débit automatique aux longueurs nécessaires des armatures courantes et mise en place sur le moule
6. Mise en place du ferrailage préfabriqué, des éventuels treillis raidisseurs et d'autres éventuels inserts complémentaires
7. Mise en place des connecteurs WAVES sur table, préalablement pliés à  $90^{\circ} \pm 10^{\circ}$
8. Positionnement des boucles de levage et ligature sur la nappe d'armatures de la première peau au niveau du brin de l'épingle faisant un retour d'équerre de 150 mm
9. Fabrication du béton dans la centrale située sur le site
10. Acheminement du béton
11. Coulage du béton à l'aide d'une distributrice automatique
12. Vibration automatique, programmée et adaptée pour ce type de fabrication
13. Etuvage du premier voile du « Prémur Waves Rector »

Opérations 1 à 10 identiques pour le deuxième voile du « Prémur Waves Rector » mais sans mise en place des WAVES et de boucles de levage.

14. Transport et retournement du premier voile sur le second, avec centrage et mise en appui sur des cales extérieures préréglées
15. Vibration automatique
16. Enlèvement du moule supérieur
17. Etuvage de l'ensemble
18. Démoulage et éventuel ragréage
19. Stockage sur un conteneur métallique.

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

## 1.9.2. Caractéristiques dimensionnelles des prémurs fabriqués

Dimensions maximales, hauteur x longueur :

- 3,50 x 14,50 m (usine de Berre) ;
- 3,80 x 12,50 m (usine de Couëron) ;
- 3,20 x 6,94 m (usine de Courcelles, hall a) ;
- 2,50 x 12,50 m (usine de Courcelles, hall b) ;
- 3,00 x 11,20 m (usine de Ravel) ;
- 3,90 x 12,80 m (usine de Tournefeuille).

Epaisseurs totales des murs : 18 à 40 cm

Tolérances dimensionnelles : conformes au référentiel NF 548 faisant référence à la norme NF EN 14992

Tolérances sur enrobage des armatures : + / - 2 mm

## 1.9.3. Contrôle de fabrication

La fabrication des MCI « Prémur Waves Rector » fait l'objet de contrôles selon la norme NF 548.

### 1.9.3.1. Contrôle des bétons

Les bétons utilisés pour la réalisation des peaux coffrantes sont fabriqués dans les centrales RECTOR LESAGE, installées sur les sites des usines de préfabrication.

Les contrôles effectués sur les bétons sont conformes au référentiel de certification NF 548.

### 1.9.3.2. Contrôle de qualité

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

Le contrôle porte sur :

- Les matières premières (granulat, ciment, adjuvant, eau de gâchage, armatures, connecteurs WAVES, boucles et organes de levage, treillis raidisseurs, béton) ;
- La résistance à la compression du béton  $f_{ck}$  en MPa ;
- La nature et la position des éléments constitutifs du système de levage ;
- La fabrication du produit (autocontrôle pour chaque poste de moules, armatures, enrobage intérieur effectif de l'insert, longueur d'ancrage de l'insert, ferrailage spécifique autour des inserts, nombre d'inserts, connecteurs WAVES et treillis raidisseurs ainsi que leurs positionnements dans le prémur, qualité du béton mis en place) ;
- Le produit fini (caractéristiques géométriques, épaisseurs des voiles  $b_1$  et  $b_2$ , état de surface fini, enrobage des armatures, positionnement des réservations).

La traçabilité du prémur est assurée. Le produit est identifié dans chaque étape de production jusqu'au moment de son intégration dans l'ouvrage.

Un contrôle est effectué sur un produit par jour.

RECTOR LESAGE conserve dans ses registres les fiches de contrôle de qualité.

### 1.9.3.3. Contrôle et mise en œuvre des connecteurs WAVES

La fabrication des connecteurs WAVES fait l'objet des contrôles de production avant et après fabrication (matières premières, dimensions...). Un contrôle de production externe est également effectué annuellement par un organisme tiers. A la réception dans les usines de RECTOR, un contrôle en longueur du connecteur est réalisé sur 3 pièces par caisse livrée par le fabricant. Les tolérances vis-à-vis de la mise en œuvre des WAVES sont celles des connecteurs décrites dans le référentiel NF 548.

## 1.10. Sites de production

- RECTOR LESAGE SA  
ZAE Parc Eroflory RD21  
13130 BERRE L'ETANG
- RECTOR LESAGE SA  
8 route de Saint Etienne de Montluc  
La Croix Gicquiaud  
44220 COUERON
- RECTOR LESAGE SA  
Voie Jean Luc Recher – ZA du Catillon  
27940 COURCELLES SUR SEINE
- RECTOR LESAGE SA  
4 le Mas  
63190 RAVEL
- RECTOR LESAGE SA  
9 boulevard Marcel Paul  
31170 TOURNEFEUILLE

## 1.11. Mention des justificatifs

### 1.11.1. Résultats expérimentaux

Essais de traction sur connecteurs WAVES : rapport d'essais Bericht 09028CT/512

Essais de caractérisation des CMU pour le système de levage par boucle

(Nota : Seul le levage en position verticale est visé par la présente appréciation)

- Rapport d'essai CERIB référence 2014 CERIB 3332 en date du 22/08/2014 ;
- Rapport d'essai CERIB référence 2014 CERIB 3434 en date du 05/09/2014 ;
- Rapport d'essai CERIB référence 2014 CERIB 3863 en date du 07/01/2015 ;
- Rapport d'essais CERIB n° 039772-A en date du 15/12/2022 ;
- Rapport d'essais CERIB n° 039629-A en date du 15/12/2022

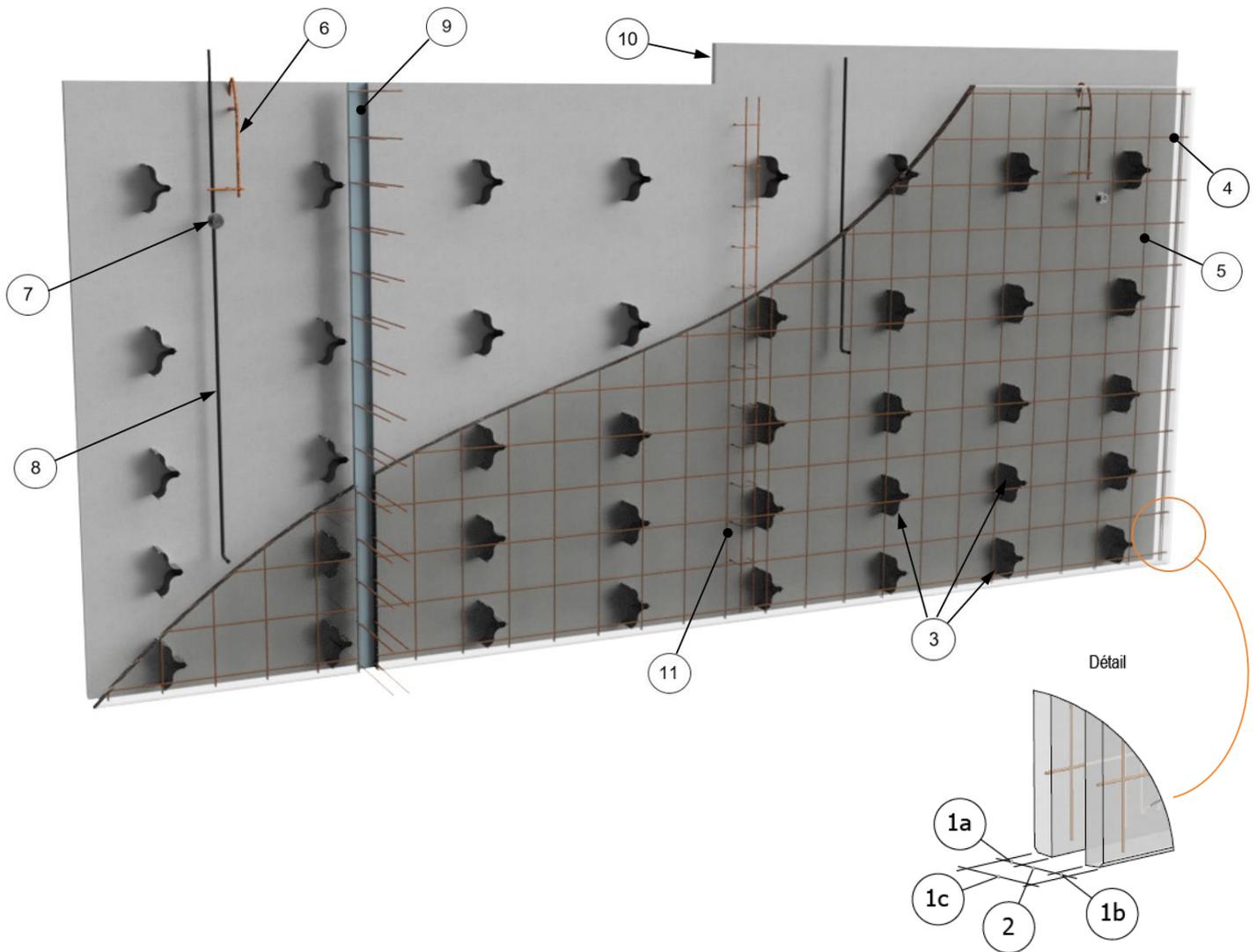
Feu :

- Rapport d'essais CERIB n° 040117-A en date du 15/02/2023 ;
- Appréciation de laboratoire au feu n° 041429-B en date du 23/08/2023

### 1.11.2. Références chantiers

Entreprise	Chantier	Quantité [m <sup>2</sup> ]	Année
Bouygues Bâtiment Grand Ouest	Unik (Champagné – Angers – Cherbourg – Rennes)	7300 m <sup>2</sup>	2022

## ANNEXE 1 : Présentation du procédé



- 1a voile extérieur épaisseur 55 à 70 mm
- 1b voile intérieur épaisseur 55 à 70 mm
- 1c épaisseur totale du prémur 180 – 400 mm
- 2 noyau épaisseur mini 70 mm
- 3 connecteurs WAVES
- 4 armatures horizontales
- 5 armatures verticales

- 6 boucles de levage
- 7 douille métallique pour étaieement
- 8 inserts (gaines électriques...)
- 9 boîte d'attente
- 10 réhausse en rive de dalle
- 11 poteau intégré

Figure 1.1 : vue d'ensemble du procédé « Prémur Waves Rector »

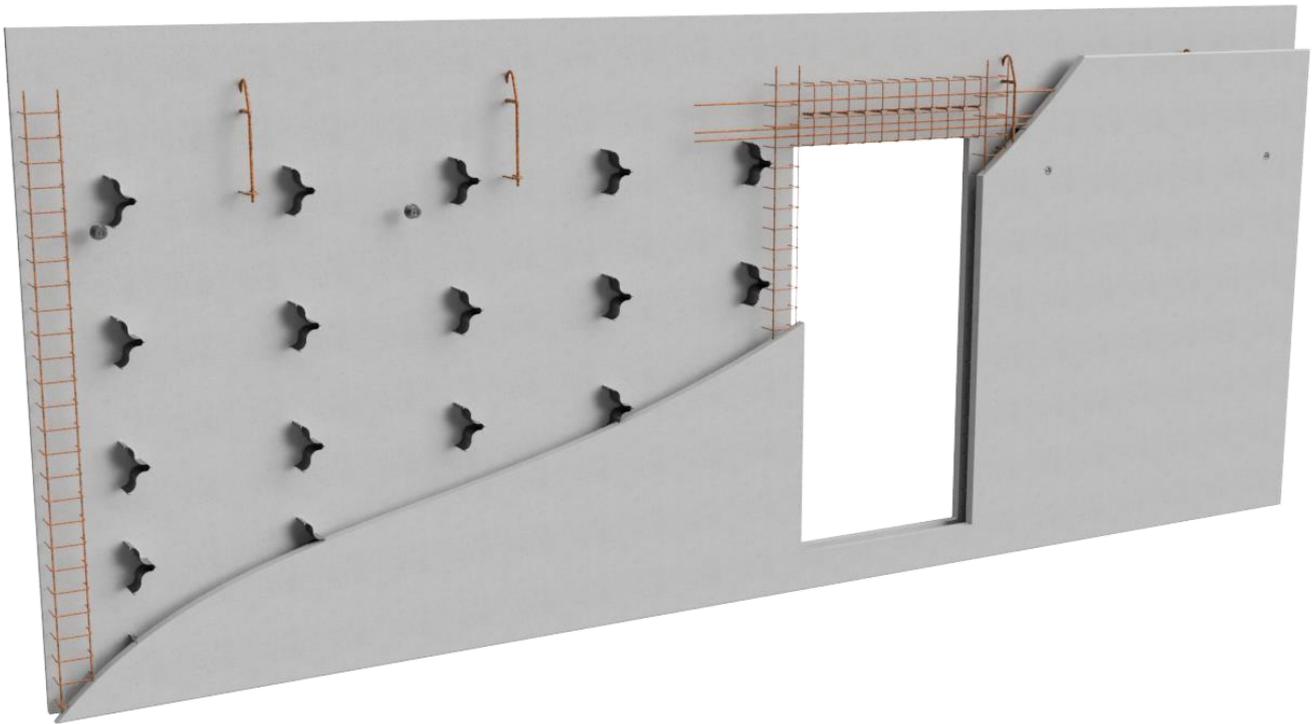
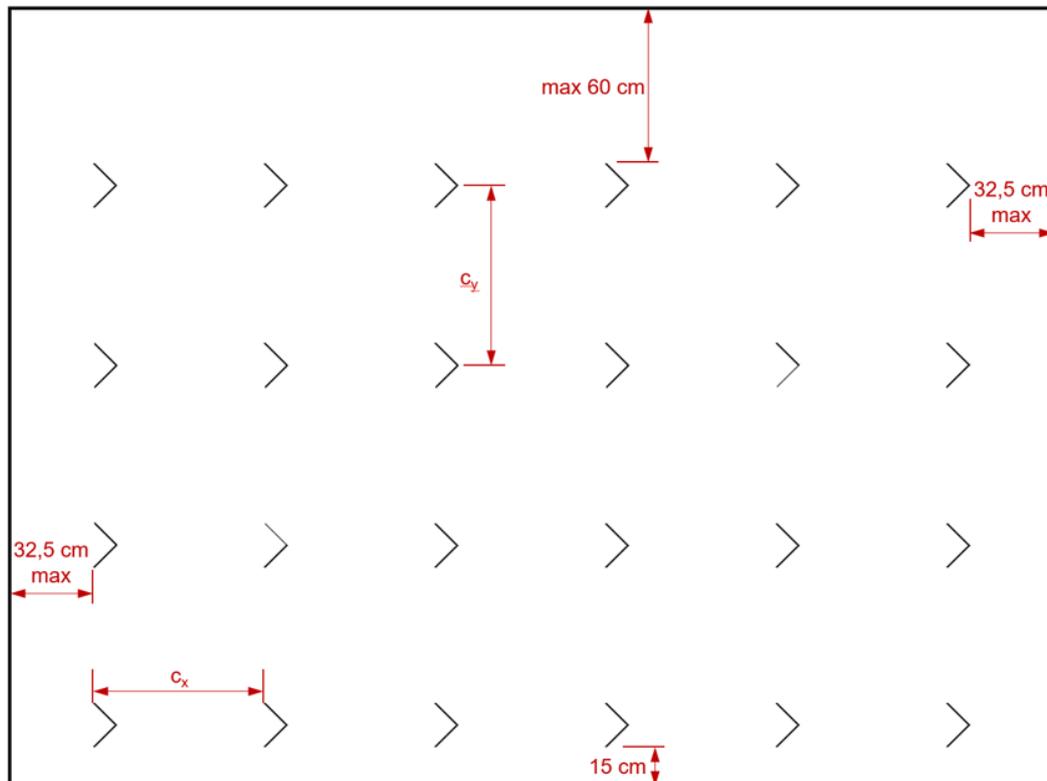


Figure 1.2 : vue d'un « Prémur Waves Rector » avec ouverture

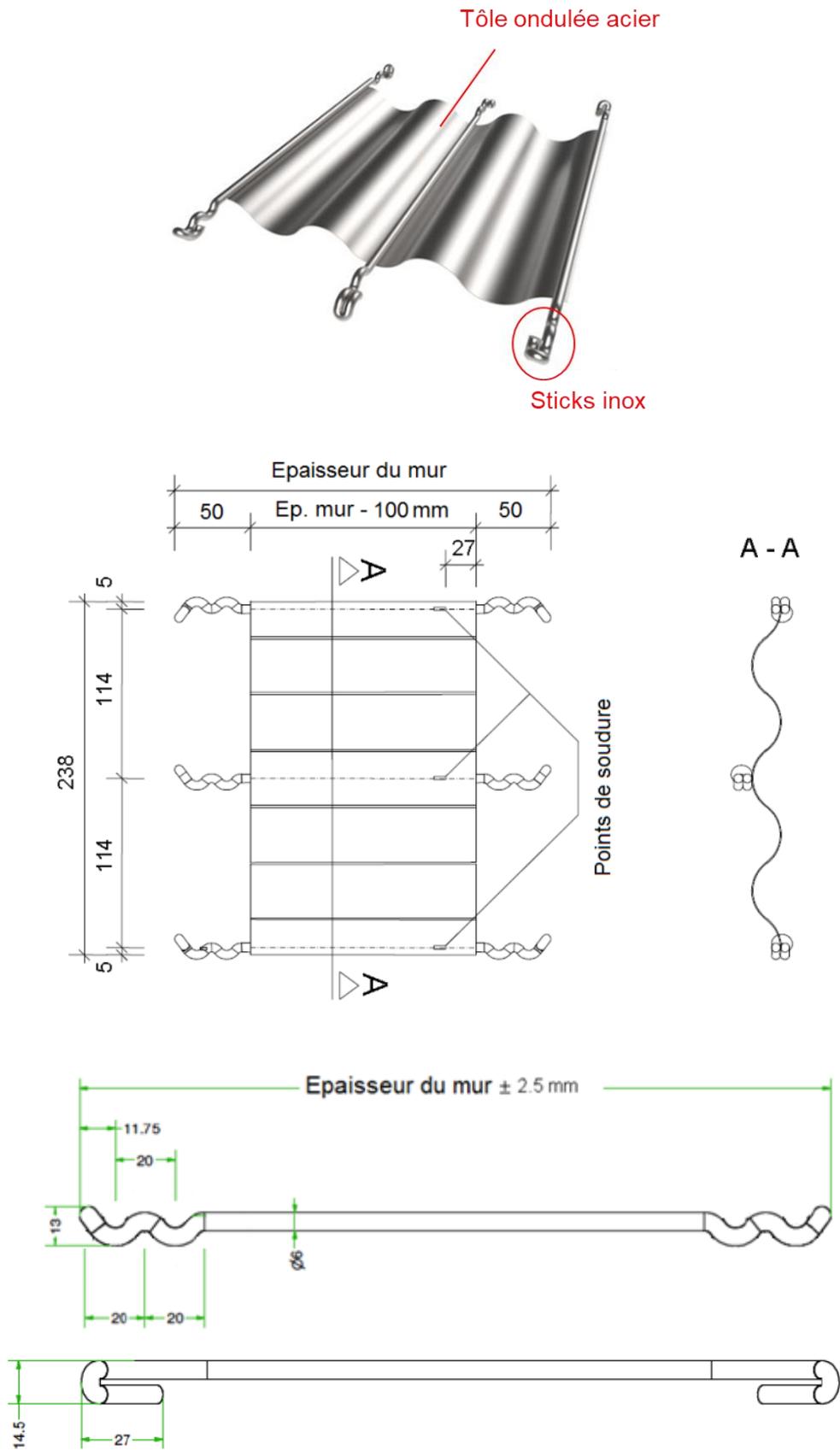
- Dispositions constructives



Espacements  
 $25 \text{ cm} \leq c_x \leq 80 \text{ cm}$   
 $33 \text{ cm} \leq c_y \leq 80 \text{ cm}$

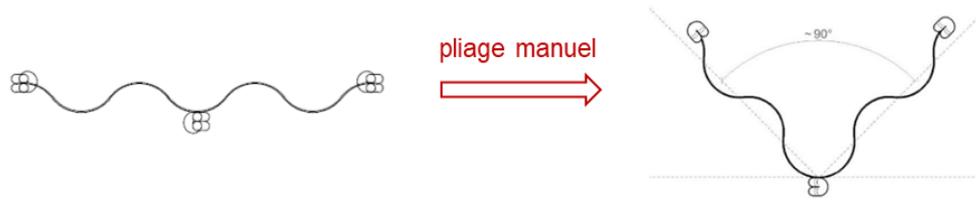
Figure 1.3 : distances à respecter pour les connecteurs WAVES

- **Géométrie des connecteurs WAVES**



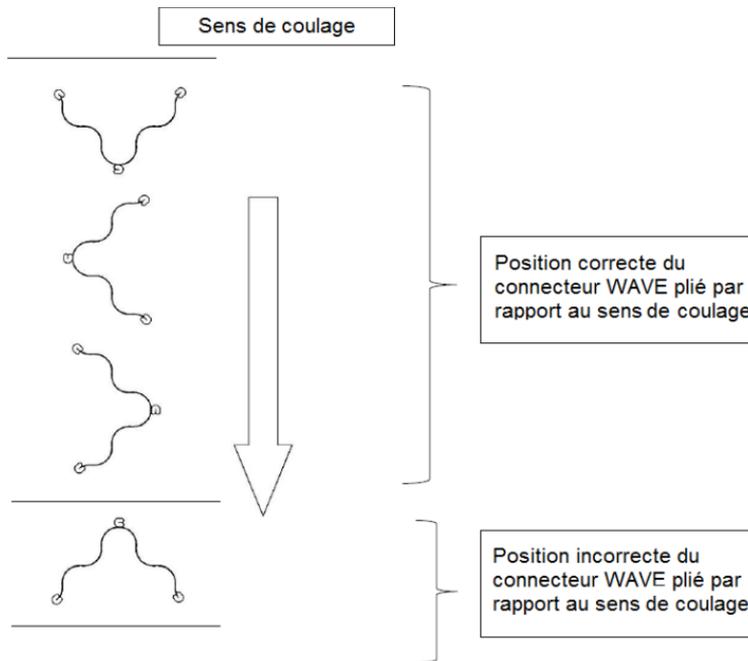
**Figure 1.4 : géométrie des waves**

- **Pliage des connecteurs WAVES**



**Figure 1.5 : pliage des WAVES**

- **Waves et sens de bétonnage**



**Figure 1.6 : orientation des waves par rapport au sens de coulage**

- Exemples de calepinages de MCI « Prémur Waves Rector »

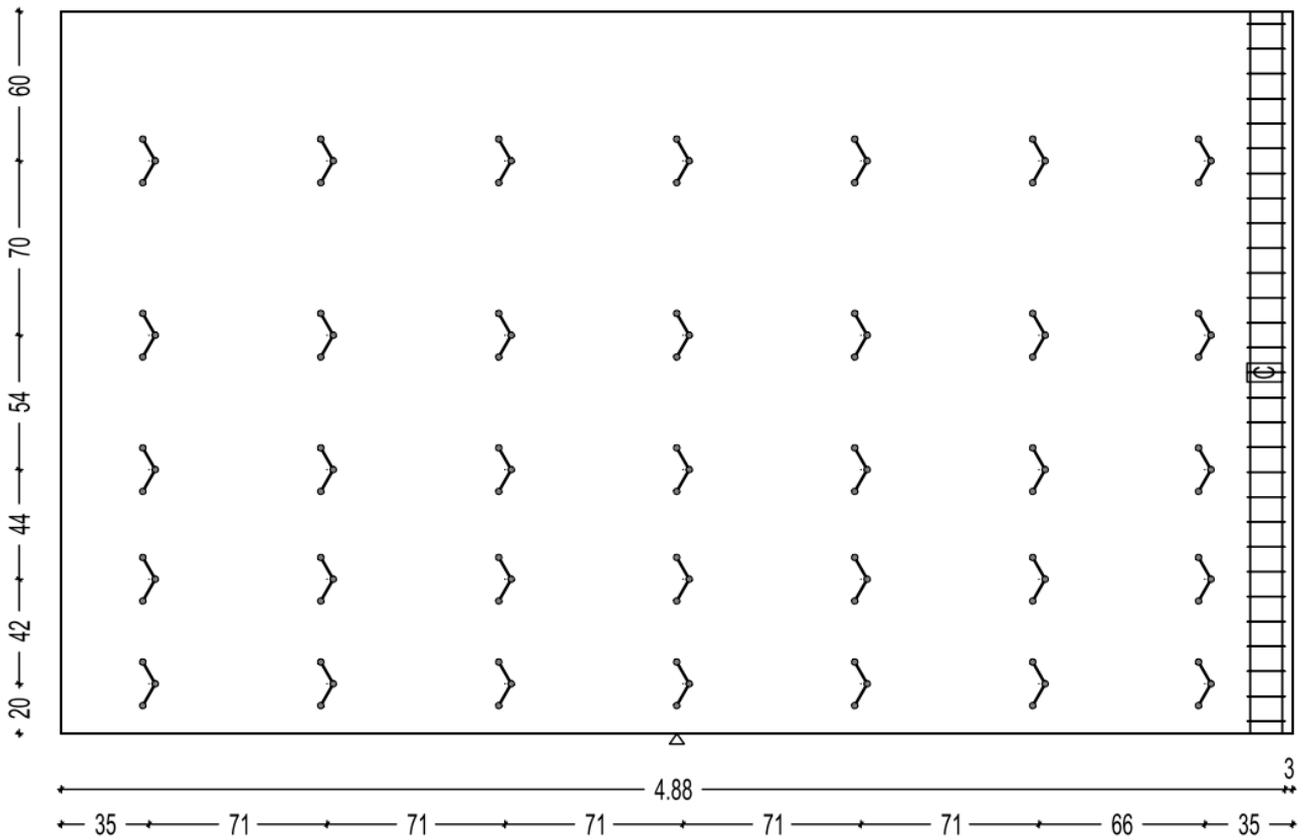


Figure 1.7 : exemple de calepinage de « Prémur Waves Rector » sans ouverture

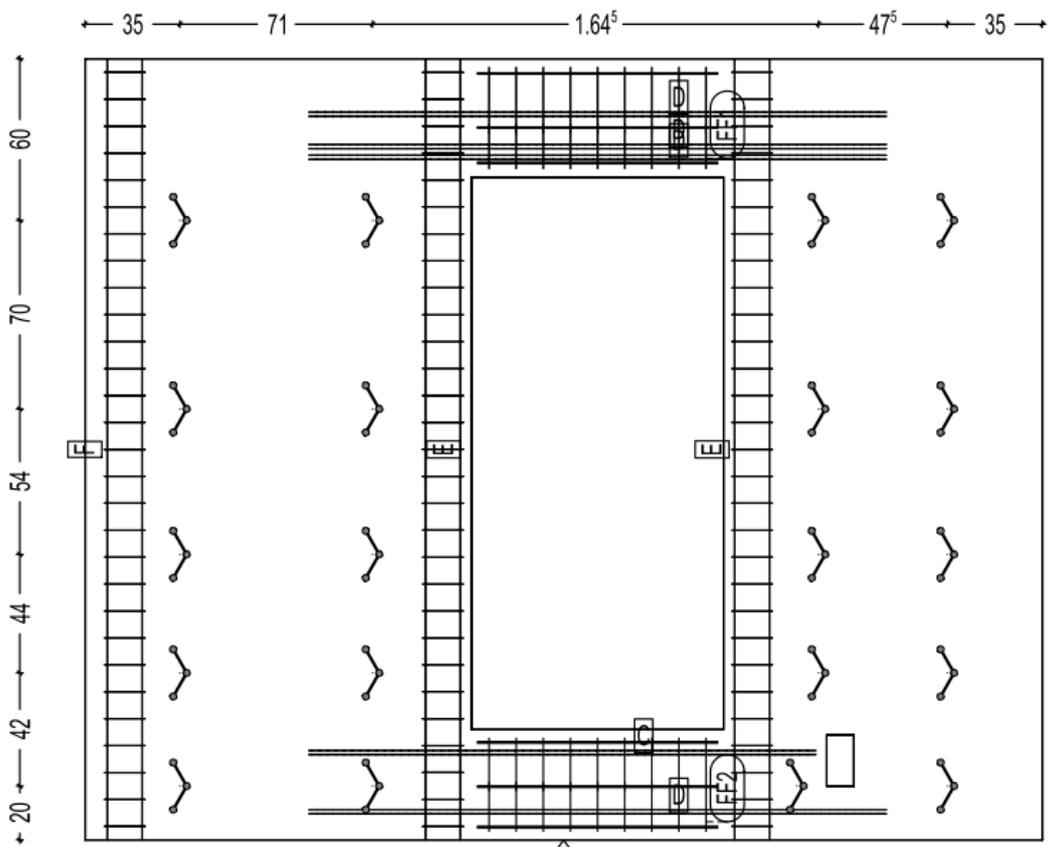


Figure 1.8 : exemple de calepinage de « Prémur Waves Rector » avec ouverture

## ANNEXE 2 : Boucles de levage

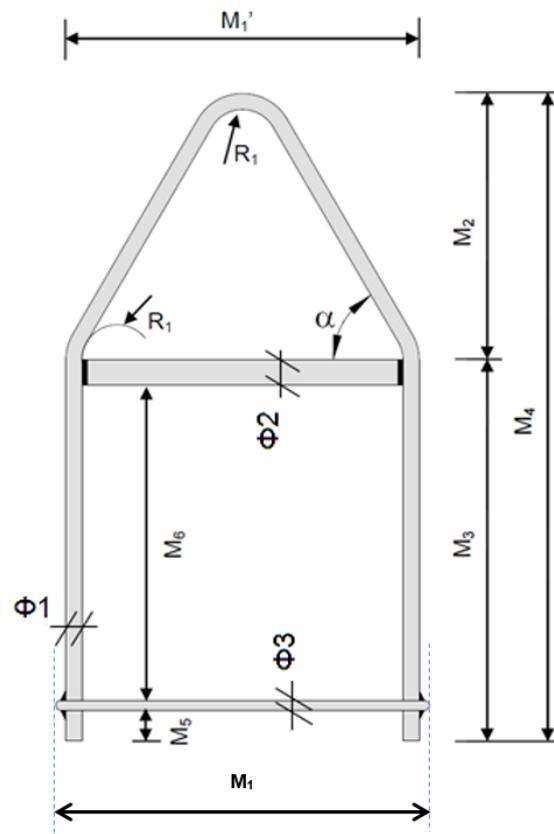


Figure 2.1 : boucle de levage

Description	Boucle $\phi 14$		Boucle $\phi 16$	
	Petite	Grande	Petite	Grande
$\phi_1$	14 mm	14 mm	16 mm	16 mm
$\phi_2$	20 mm	20 mm	25 mm	25 mm
$\phi_3$	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
$\alpha$	73°	60°	80°	60°
$R_1$	30 mm	30 mm	35 mm	35 mm
$M_1 / M'_1$	130 mm	190 mm	130 mm	350 mm
$M_2$	112 mm	132 mm	132 mm	270 mm
$M_3$	380 mm	380 mm	380 mm	380 mm
$M_4$	492 mm	512 mm	512 mm	650 mm
$M_5$	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm
$M_6$	320 mm	320 mm	315 mm	315 mm

- Exemple de disposition des boucles dans le MCI

« Prémur Waves Rector » d'épaisseur 18 cm avec des parois d'épaisseur nominale 55 mm (les valeurs affichées correspondent respectivement aux valeurs nominales minimales)

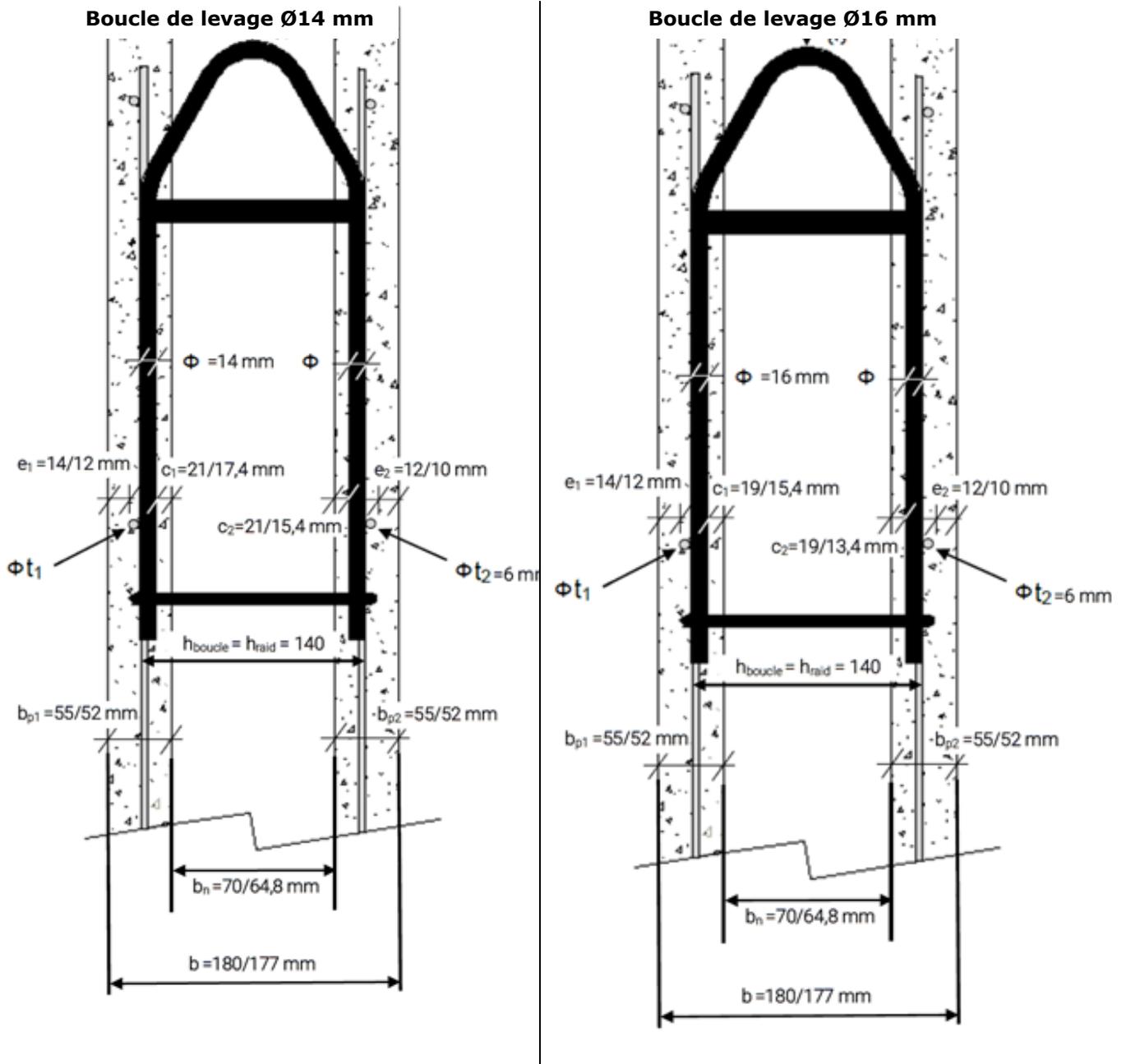


Figure 2.2 : exemple de disposition de boucles dans le « Prémur Waves Rector »

- Exemples de plans de fabrication des boucles

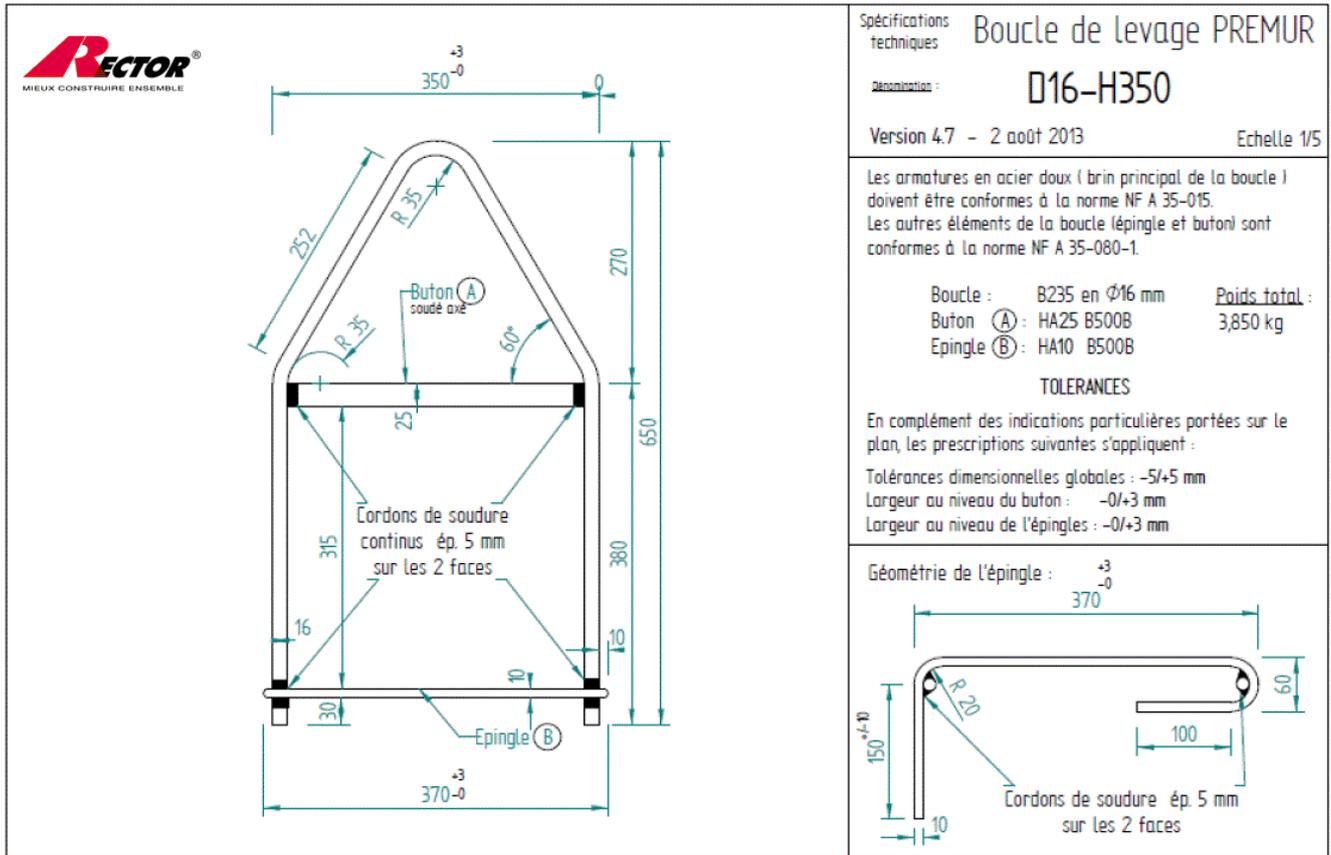


Figure 2.3 : exemple de fabrication d'une boucle de levage Ø16

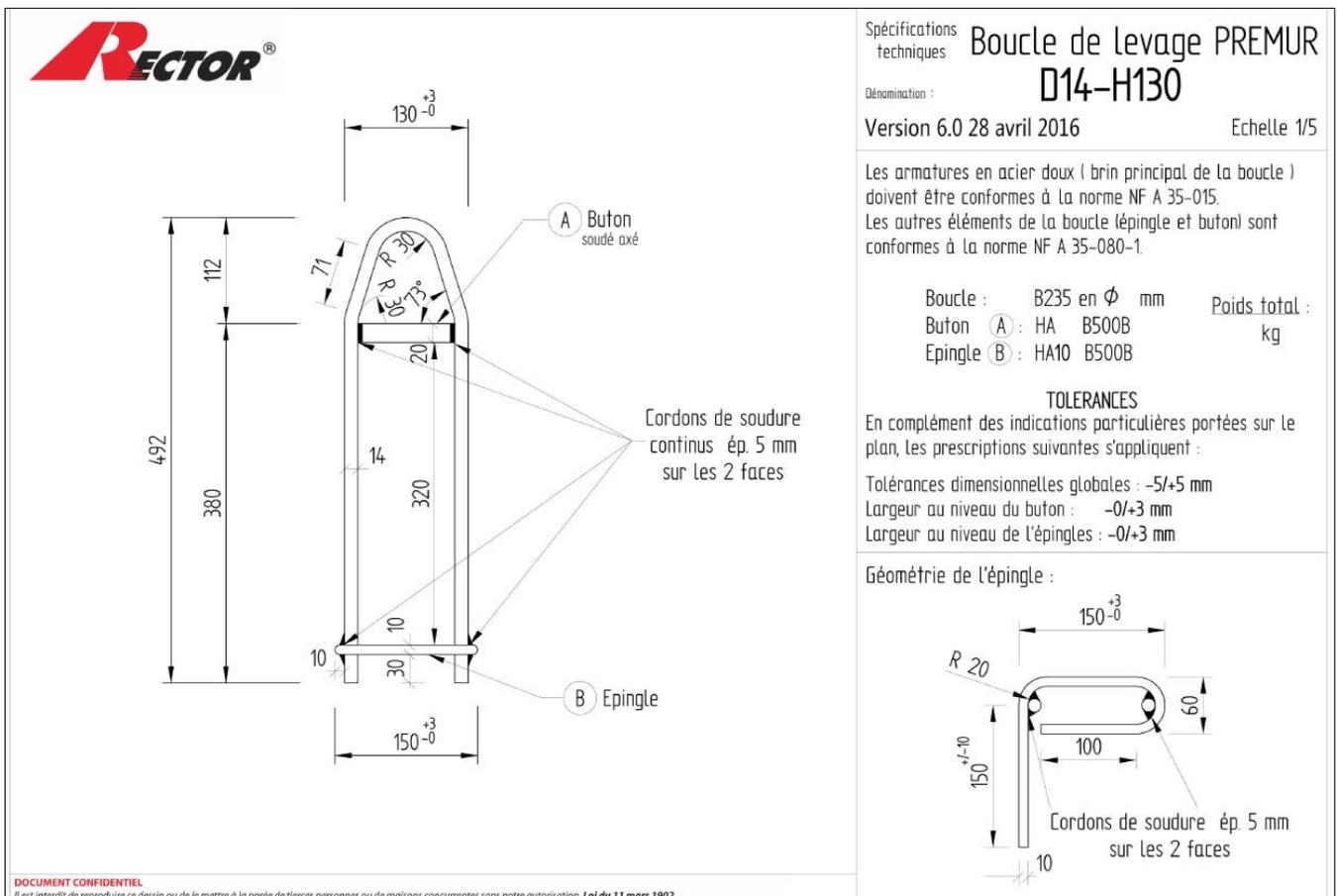
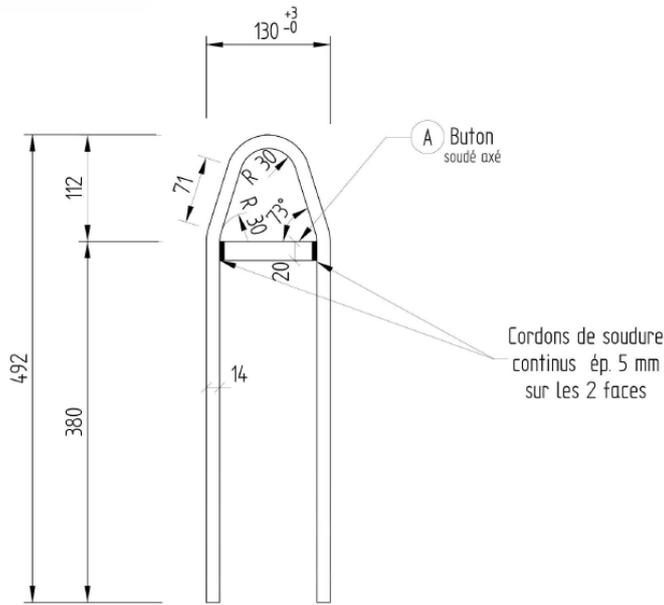


Figure 2.4 : exemple de fiche de fabrication d'une boucle de levage Ø14 avec épingle



Spécifications techniques **Boucle de levage PREMUR**

Dénomination : **D14-H130**

Version 6.0 28 avril 2016

Echelle 1/5

Les armatures en acier doux ( brin principal de la boucle ) doivent être conformes à la norme NF A 35-015.  
Les autres éléments de la boucle (épingle et buton) sont conformes à la norme NF A 35-080-1.

Boucle : B235 en  $\phi$  mm      Poids total :  
Buton (A) : HA B500B                      kg

**TOLERANCES**

En complément des indications particulières portées sur le plan, les prescriptions suivantes s'appliquent :

Tolérances dimensionnelles globales :  $-5/+5$  mm

Largeur au niveau du buton :  $-0/+3$  mm

Largeur au niveau de l'épingles :  $-0/+3$  mm

**Figure 2.5 : exemple de fiche de fabrication d'une boucle de levage  $\phi 14$  sans épingle**

# ANNEXE 3 : CMU des boucles de levage

Sur la base des essais de qualification fournis par RECTOR LESAGE, les valeurs de la Charge Maximale d'Utilisation (CMU) par boucle sont données dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs correspondent à des charges équivalentes pour un levage droit.

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

Situation de levage	Levage en position verticale <sup>(1)</sup>
Vérification	$CMU_1 \geq \frac{(p \cdot A + Q) \cdot \gamma_{ed} \cdot \gamma_{pp}}{n_b}$
Schémas cas de levage	

**Tableau 3.1 : vérification de la résistance des boucles de levage**

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

$p$  = poids surfacique du mur de coffrage intégré [kN/m<sup>2</sup>]

$A$  = surface du mur de coffrage intégré [m<sup>2</sup>]

$Q$  = poids des équipements de sécurité éventuels [kN]

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

$\gamma_{ed}$  = coefficient d'effet dynamique dû au levage = 1,15

$\gamma_{pp}$  = coefficient d'incertitude sur poids propre = 1,05

Les valeurs de CMU peuvent être considérées pour un levage avec accrochage direct du crochet d'élingue sur la boucle ou avec interposition d'une élingue câble telle que définie dans le dossier technique.

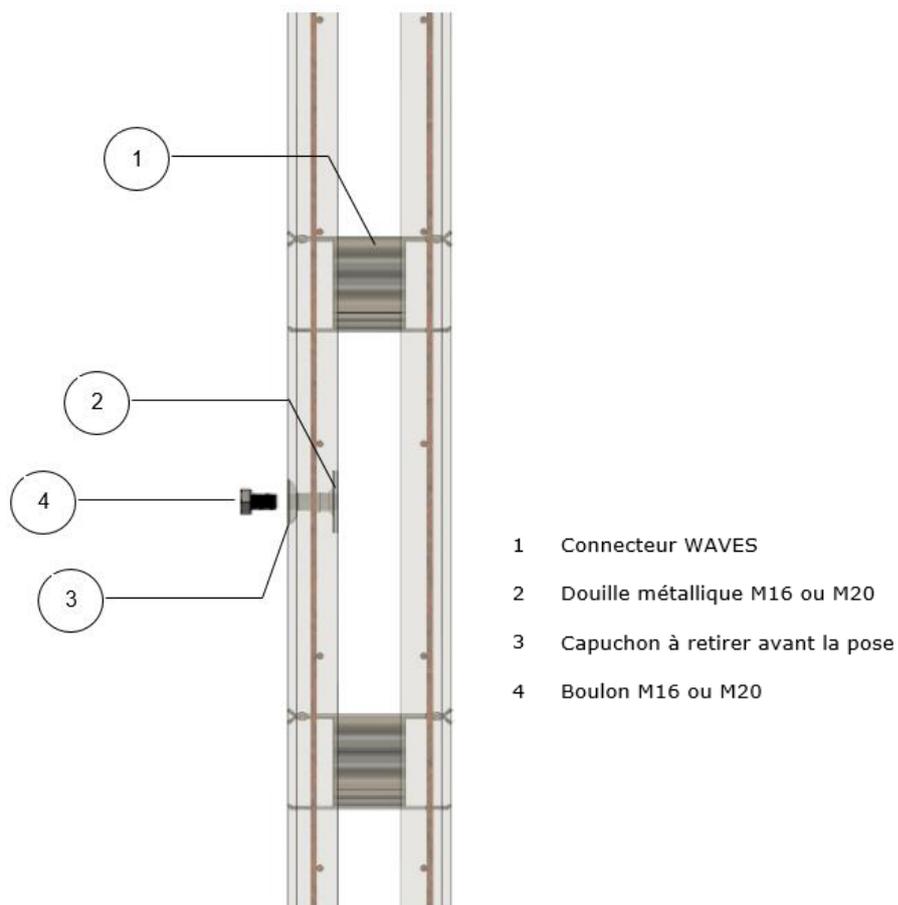
Etant donné que le levage à plat et le retournement ne sont pas visés, le tableau 3.2 donne les valeurs de CMU<sub>1</sub> pour un béton de résistance minimale de 15 MPa sur cube 10 x 10 x 10 cm à la première manutention et 25 MPa à la manipulation sur chantier (sur cube 10 x 10 x 10 cm).

Largeur nominale du MCI <b>b</b> [cm]	Epaisseurs nominales des parois <b>b<sub>p1</sub> et b<sub>p2</sub></b> [mm]	Diamètre nominal de la boucle <b>Φ</b> [mm]	Diamètre minimum élingue câble compatible [mm]	Enrobages nominaux des boucles <b>c<sub>1</sub> et c<sub>2</sub></b> [mm]	Levage en position verticale <b>CMU<sub>1</sub></b> [kN]
18 ≤ b ≤ 24	≥ 55	14	9	≥ 15	<b>24,4</b>
18 ≤ b ≤ 40	≥ 55	16	12	≥ 13	<b>31,6</b>

**Tableau 3.2 : CMU pour boucles de levage**

où, pour un prémur muni de treillis raidisseurs,  $c_1$  et  $c_2$  correspondent aux enrobages nominaux des boucles, déduits des enrobages nominaux des treillis raidisseurs, côtés faces intérieures, respectivement du premier et du second voile préfabriqués (tels que définis au §1.1.1.6 du CPT MCI Cahier 3690\_V2 du CSTB).

## ANNEXE 4 : Douilles métalliques



**Figure 4.1 : douille métallique**

# ANNEXE 5 : Détails des liaisons

Les détails des liaisons de la présente Annexe sont des schémas de principe. D'autres dispositions peuvent être adoptées, en fonction de la configuration du projet. Les façonnages sont également à ajuster, en fonction de la réalité du précur.

## 5.1 LIAISONS EN PIED

### 5.1.1 Articulées

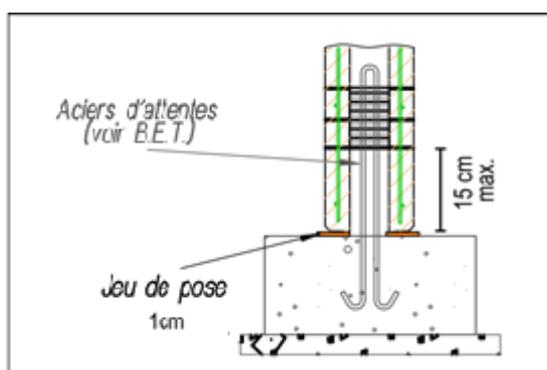


Figure 5.1 : sur semelle

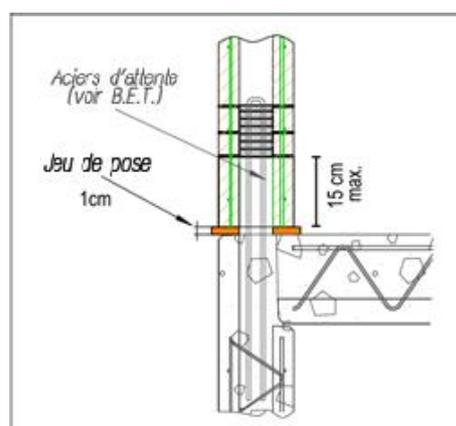


Figure 5.2 : sur dalle

### 5.1.2 Couturées

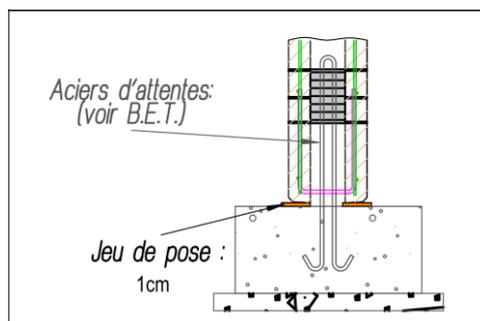


Figure 5.3 : sur semelle

### 5.1.3 Encastrées

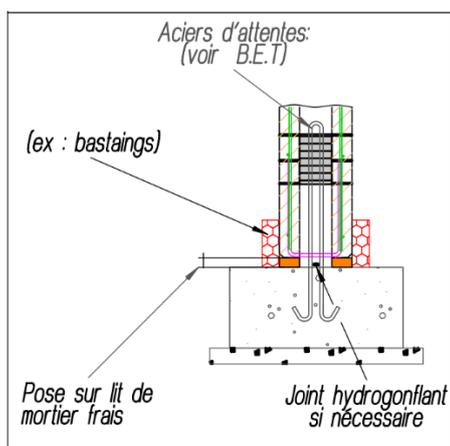


Figure 5.4 : sur semelle

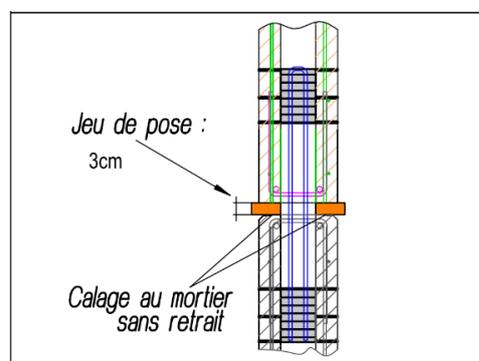


Figure 5.5 : sur précur superposés

## 5.2 LIAISONS EN TETE AVEC PREDALLES

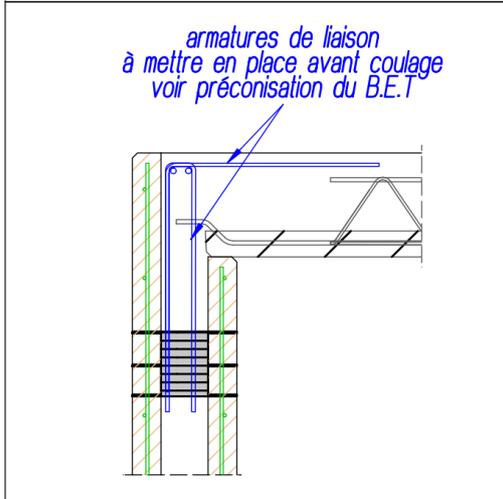


Figure 5.6 : avec coffrage de rive

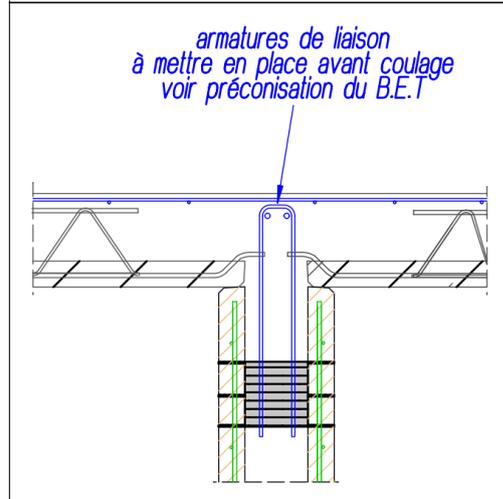


Figure 5.7 : sous dalle continue

## 5.3 LIAISONS VERTICALES DROITES

### 5.3.1 Articulées

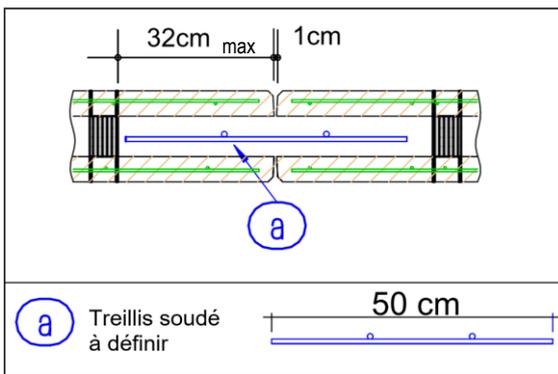


Figure 5.8 : par treillis

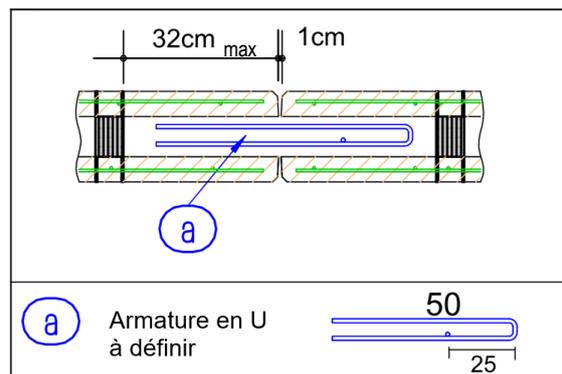


Figure 5.9 : par UHA

### 5.3.2 Couturées

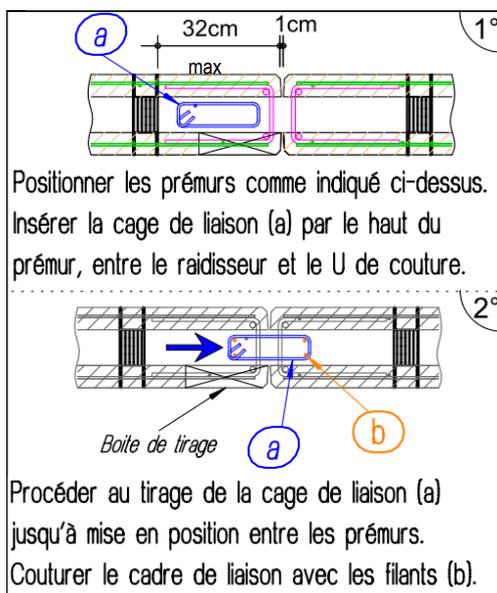


Figure 5.10 : par cadres

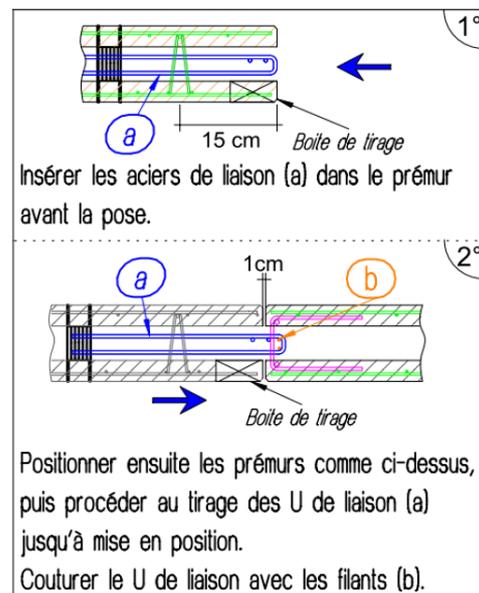


Figure 5.11 : par U et treillis raidisseurs

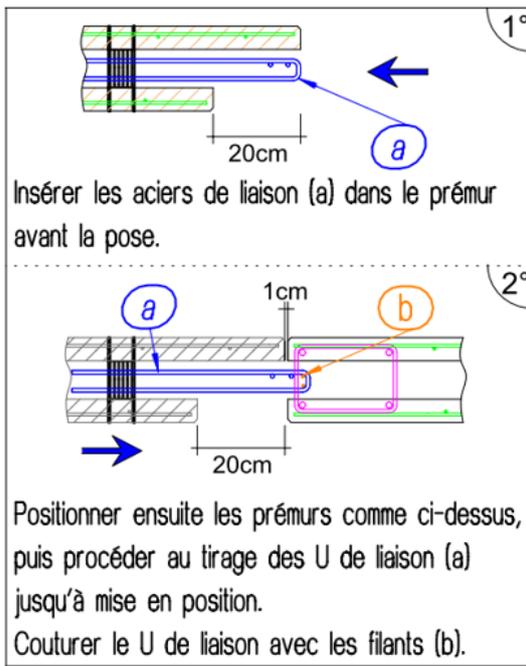


Figure 5.12 : par U et cage d'armatures

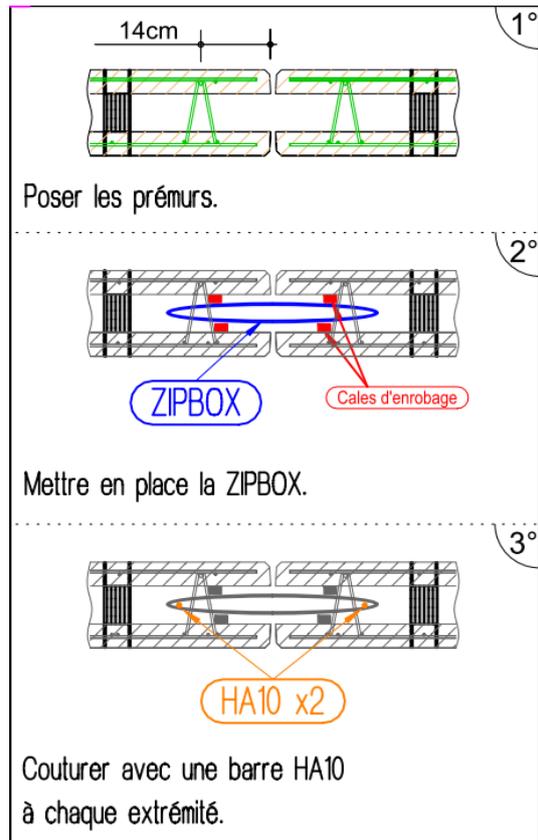


Figure 5.13 : avec procédé ZIPBOX

### 5.3.3 Encastrées

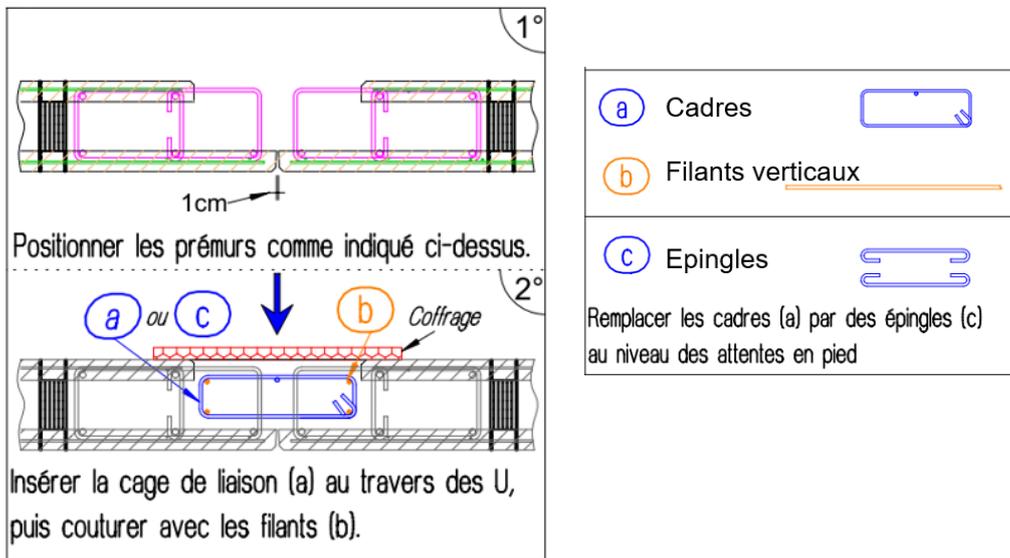


Figure 5.14 : avec cages d'armatures

## 5.4 LIAISONS VERTICALES DROITES EN SITUATION SISMIQUE

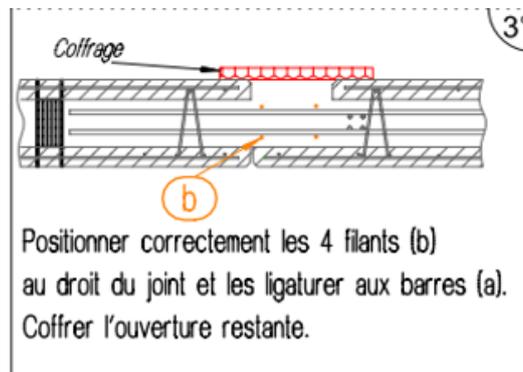
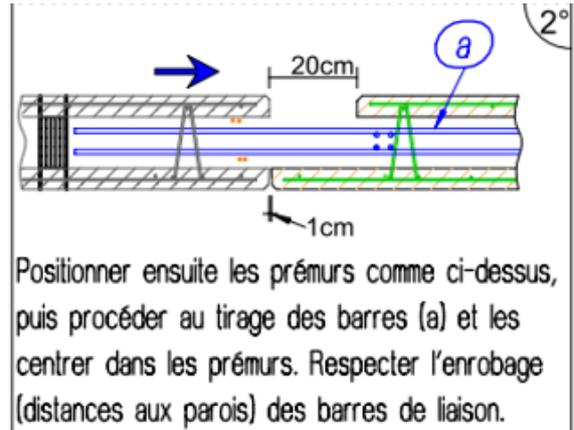
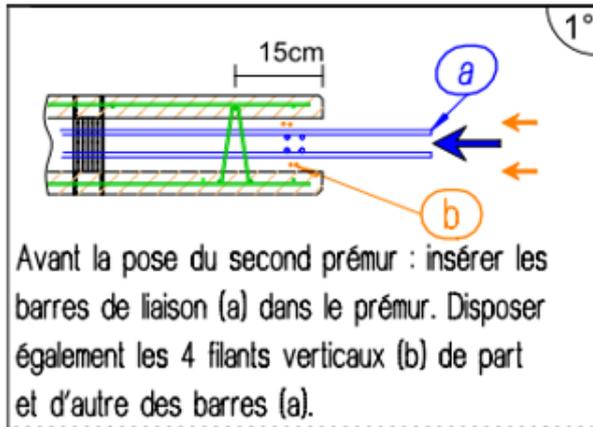


Figure 5.15 : sismique - filants et treillis raidisseurs

## 5.5 LIAISONS VERTICALES D'ANGLE

### 5.5.1 Articulées

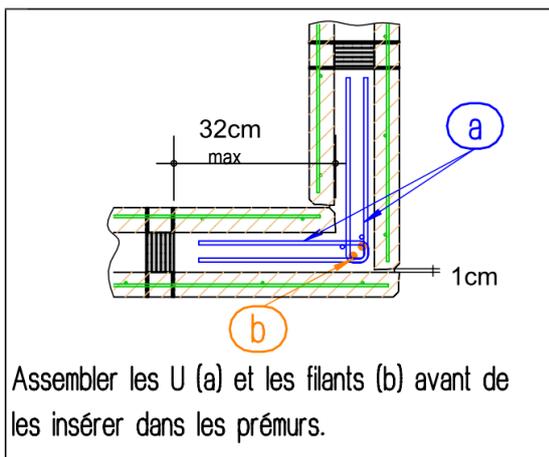


Figure 5.16 : avec U et barres filantes

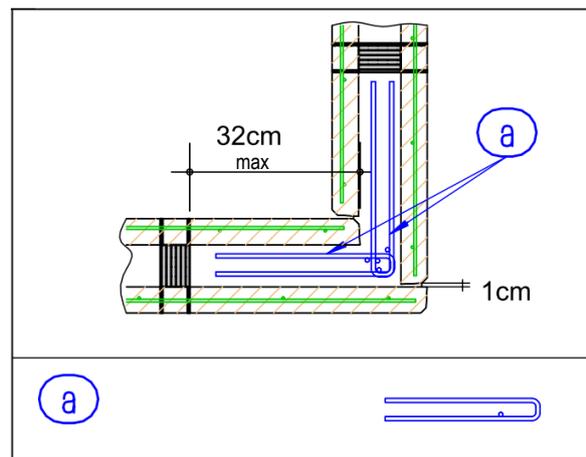
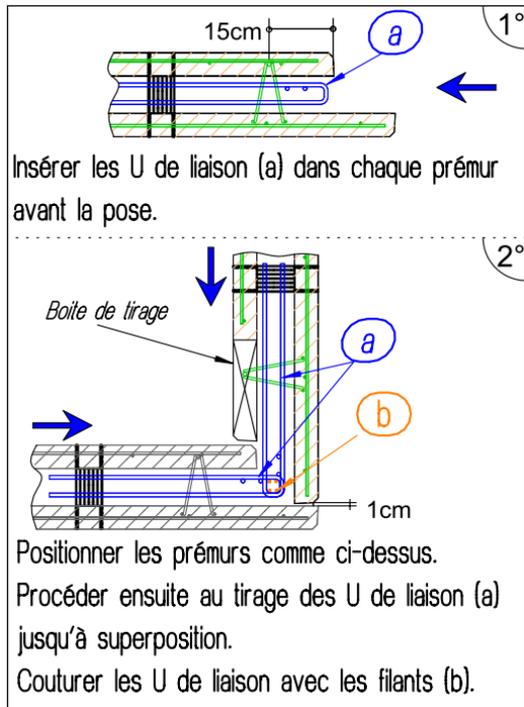
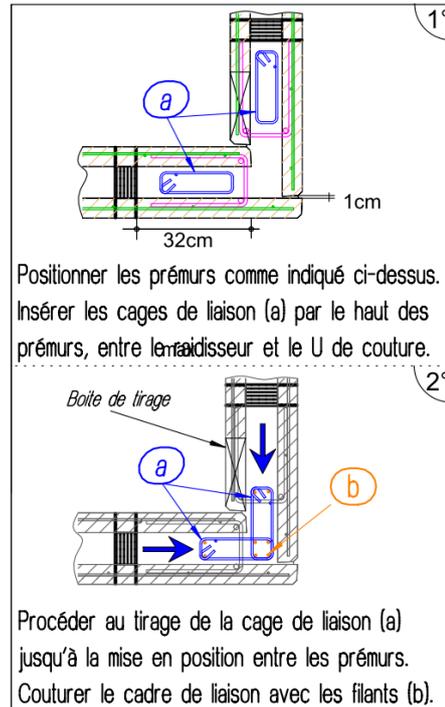


Figure 5.17 : avec U seuls

## 5.5.2 Couturées

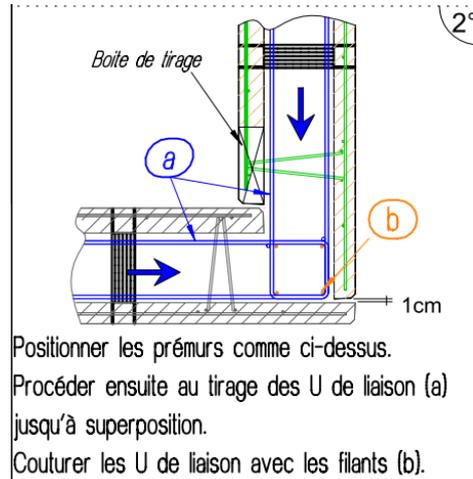
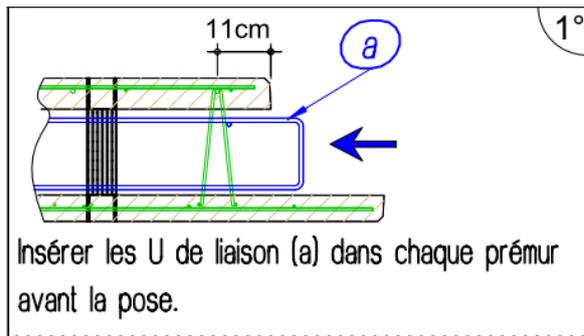


**Figure 5.18 : avec treillis raidisseurs et UHA**



**Figure 5.19 : avec cadres**

## 5.5.3 Encastrées



**Figure 5.20 : avec armatures en U**

## 5.6 LIAISONS EN ANGLE EN SITUATION SISMIQUE

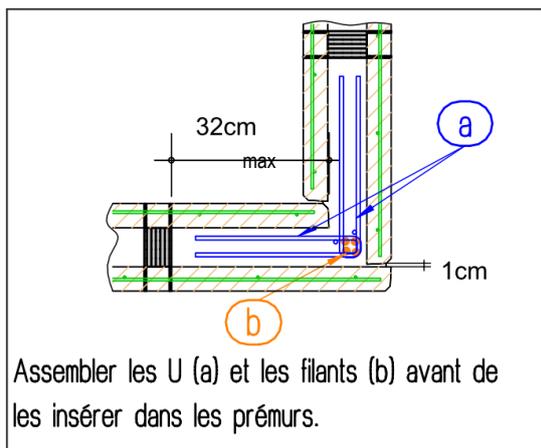


Figure 5.21 : avec UHA

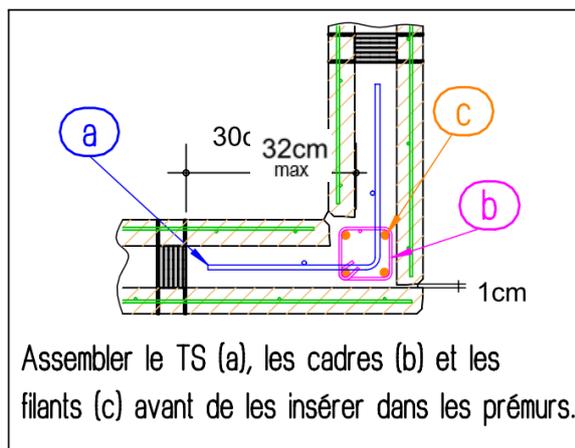


Figure 5.22 : par treillis soudés et cadres

## 5.7 LIAISONS EN INTERSECTION

### 5.7.1 Articulées

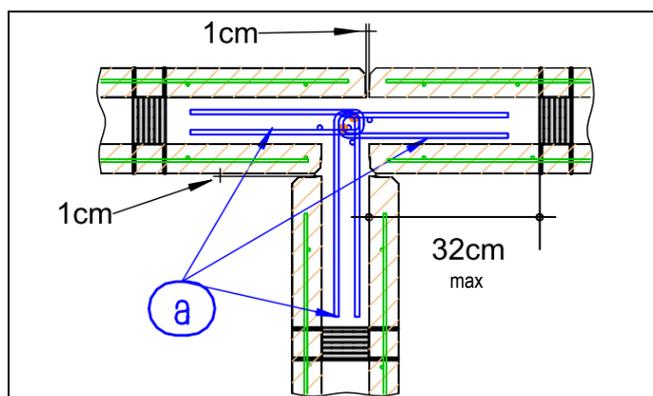


Figure 5.23 : avec U

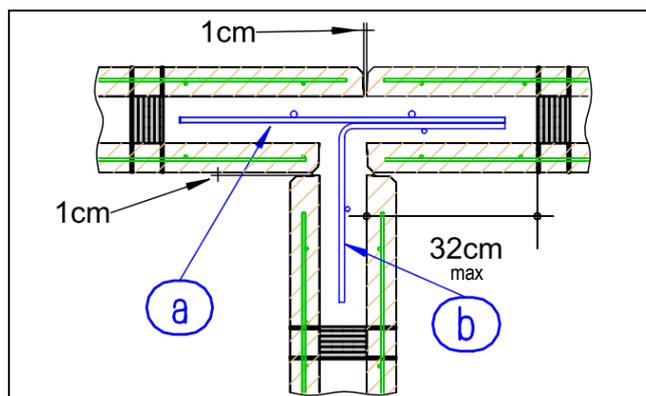


Figure 5.24 : avec treillis soudés

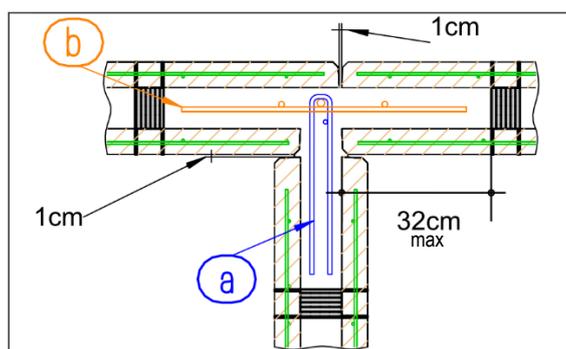


Figure 5.25 : avec U et treillis soudés

## 5.7.2 Couturées

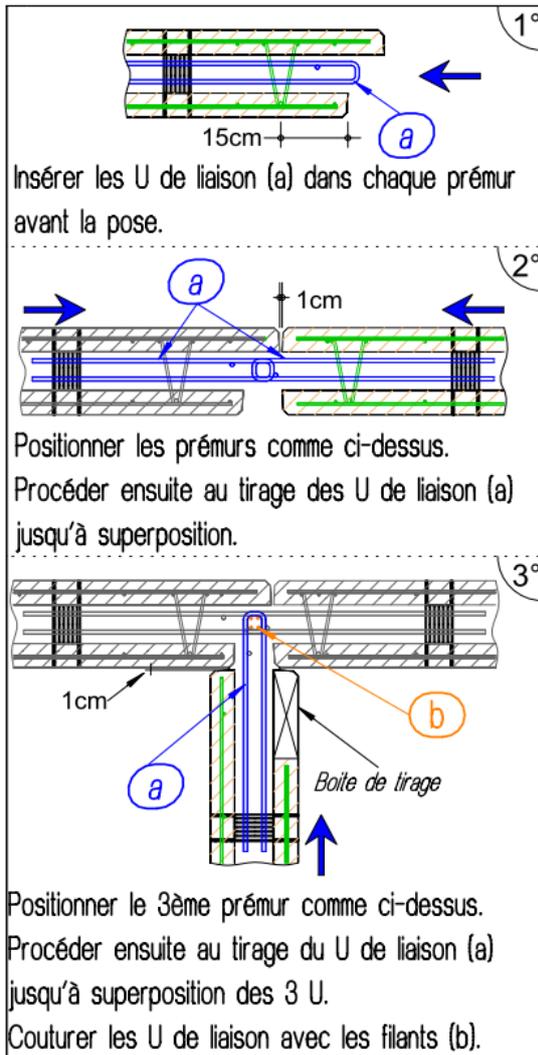


Figure 5.26 : par UHA et treillis raidisseurs

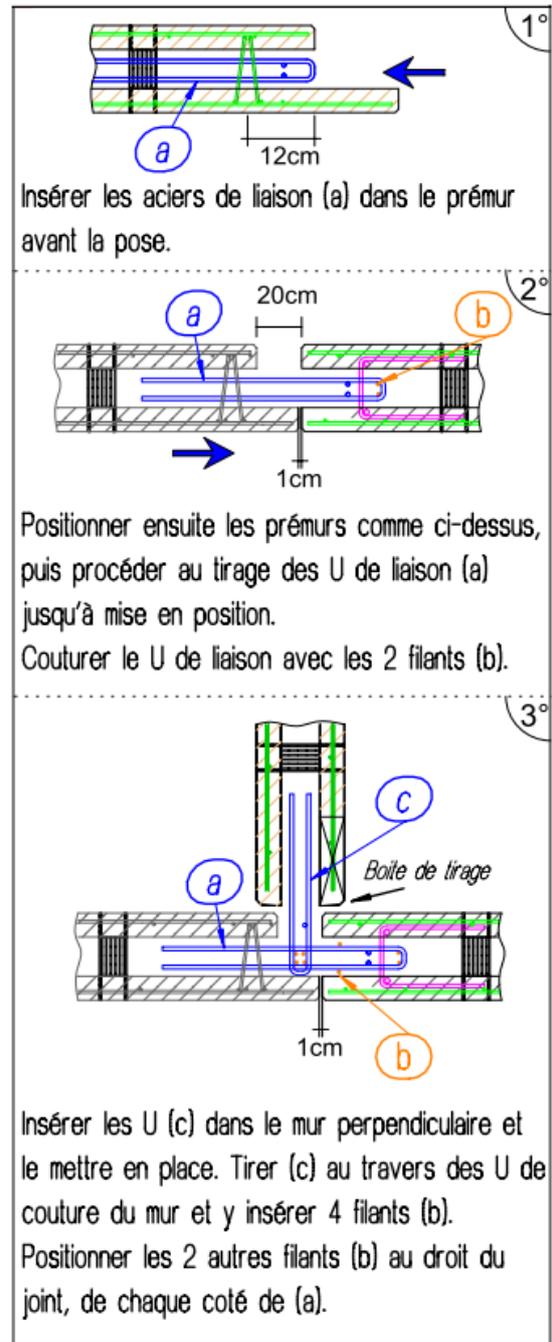


Figure 5.27 : par UHA et armatures en U

### 5.7.3 Encastrées

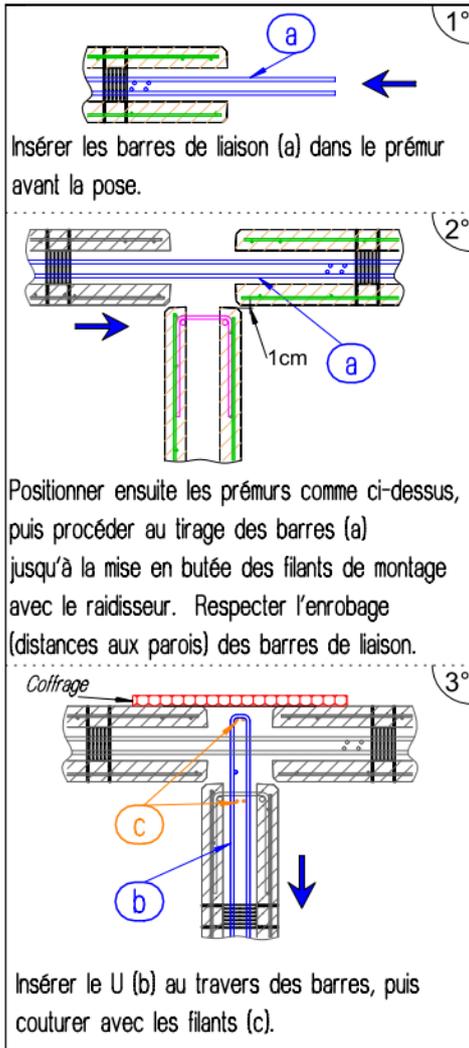


Figure 5.28 : par barres et UHA

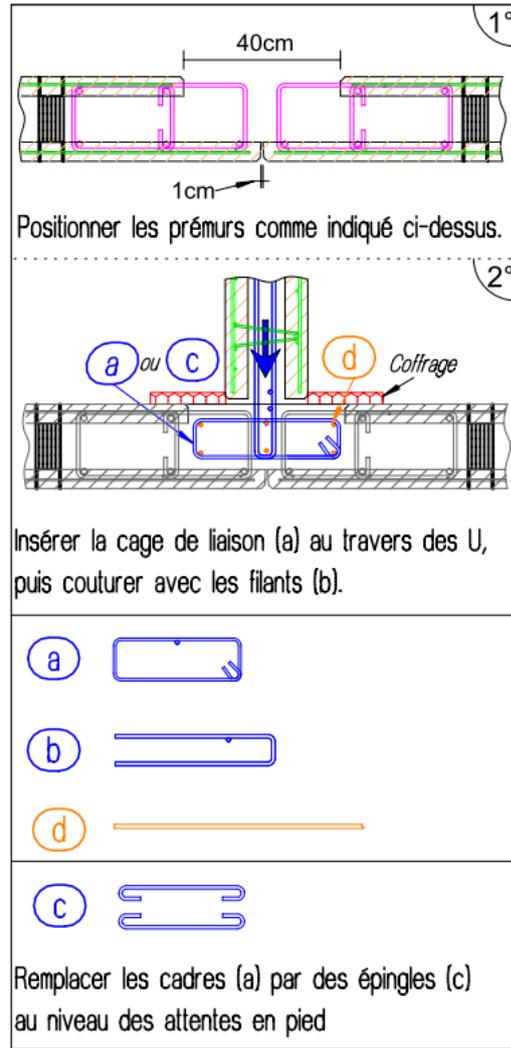


Figure 5.29 : par cadres

### 5.8 LIAISON EN INTERSECTION EN SITUATION SISMIQUE

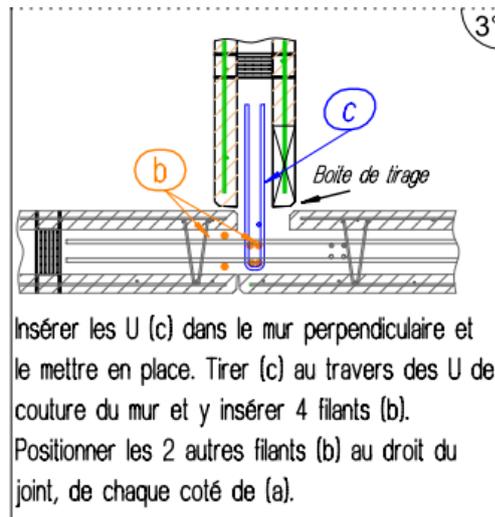
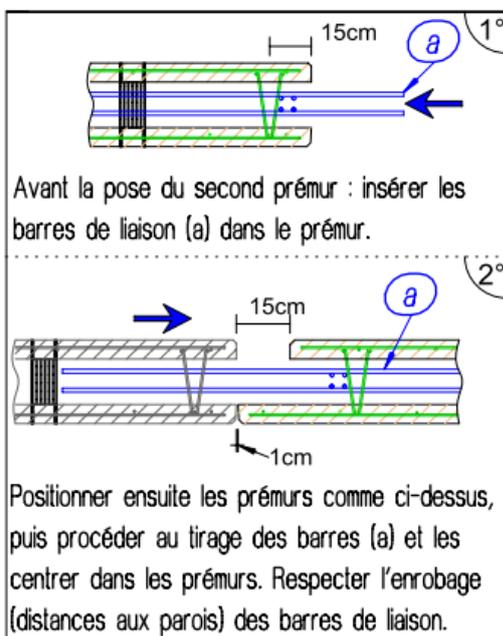


Figure 5.30 : couturée sismique

# ANNEXE 6 : Vérification du cisaillement

## 6.1 Effort résistant à l'interface paroi/noyau

### HYPOTHESES

#### données géométriques

longueur du mur	L	6,00	m
hauteur du mur	h	2,90	m
épaisseur du mur	ép	180	mm
épaisseur peau 1	b <sub>p1</sub>	55	mm
épaisseur peau 2	b <sub>p2</sub>	55	mm
épaisseur noyau	b <sub>n</sub>	70	mm
nombre de connecteurs waves	n <sub>waves</sub>	40	

#### caractéristiques du béton du noyau

résistance à la compression	f <sub>ck</sub>	25	MPa
coefficient partiel de sécurité	γ <sub>c,n</sub>	1,50	
résistance de calcul à la compression	f <sub>cd,n</sub>	16,67	MPa
résistance caractéristique à la traction d'ordre 5%	f <sub>ctk 0,05</sub>	1,8	MPa
résistance de calcul à la traction	f <sub>ctd,n</sub>	1,20	MPa

### CONTRAINTE LIMITE

$$v_{Rd,max} = 0,5 v f_{cd,n} \quad v = 0,540 \quad v_{Rd,max} = 4,50 \quad \text{MPa}$$

### CONTRAINTE RESISTANTE

$$v_{Rd,interface} = c \cdot f_{ctd,n} + \frac{n_{waves}}{A_{interface}} \cdot f_{waves} \cdot \mu \leq v_{Rd,max}$$

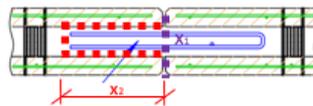
coefficient de cohésion	c	0,2	
coefficient de frottement	μ	0,6	
surface de l'interface considérée	A <sub>interface</sub>	17,40	m <sup>2</sup>
résistance de calcul des waves	f <sub>waves</sub>	28,50	kN
nombre waves en zone courante	n <sub>waves</sub>	40	
	part béton	c. f <sub>ctdn</sub>	0,24 MPa
	part waves		0,039 MPa
contrainte résistante de calcul	$v_{Rd,interface}$	0,28	MPa

### CONCLUSION

$$\tau_{Ed,lim} \quad 0,28 \quad \text{MPa}$$

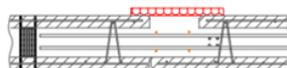
## 6.2 Au droit des joints verticaux

VERIFICATION DES LIAISONS AU DROIT DES JOINTS VERTICAUX			
ELU STATIQUE			
<b>HYPOTHESES</b>			
<b>données géométriques</b>			
longueur du mur	L	5,99	m
hauteur du mur	h	2,66	m
épaisseur du mur	ép	180	mm
épaisseur peau 1	b <sub>p1</sub>	55	mm
épaisseur peau 2	b <sub>p2</sub>	55	mm
épaisseur noyau	b <sub>n</sub>	70	mm
<b>caractéristiques du béton du noyau</b>			
résistance à la compression	f <sub>ck</sub>	25	MPa
coefficient partiel de sécurité	γ <sub>c,n</sub>	1,50	
résistance de calcul à la compression	f <sub>cd,n</sub>	16,67	MPa
résistance caractéristique à la traction d'ordre 5%	f <sub>ctk 0,05</sub>	1,8	MPa
résistance de calcul à la traction	f <sub>ctd,n</sub>	1,20	MPa
<b>caractéristiques aciers de liaison</b>			
résistance caractéristique en traction	f <sub>yk</sub>	500	MPa
coefficient partiel de sécurité	γ <sub>s</sub>	1,15	
résistance de calcul	f <sub>yd</sub>	435	MPa
longueur interface x <sub>1</sub>		0,07	m
section d'armatures de liaison (2HA6 e = 30 cm)		0,57	cm <sup>2</sup>
espacement		30	cm
section armatures sur 1m		1,88	cm <sup>2</sup> /m
longueur interface x <sub>2</sub>		0,24	m
section armature de couture		0,00	cm <sup>2</sup>
espacement		30	cm
longueur totale armature selon x <sub>2</sub>		0,48	m
section armatures sur 1m		0,00	cm <sup>2</sup> /m
<b>CONTRAINTE LIMITE DE CISAILLEMENT</b>			
$v_{Rd,j} = 0,5 v_{fcd,n}$			
coefficient de réduction de la résistance du béton	v	0,54	
contrainte limite de cisaillement	V <sub>Rdi</sub>	4,50	MPa
<b>CISAILLEMENT AU DROIT DU JOINT selon x<sub>1</sub></b>			
$v_{Rd,j} = c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v_{fcd,n}$			
coefficient de cohésion	c	0,5	
coefficient de frottement	μ	0,9	
section d'armatures traversant la section x <sub>1</sub> dans le noyau	A <sub>ij</sub>	1,88	cm <sup>2</sup> /m
angle d'inclinaison des armatures	α	90,00	°
longueur de l'interface	x <sub>1</sub>	0,070	m
aire du joint	A <sub>j</sub>	0,07	m <sup>2</sup>
ratio A <sub>ij</sub> /A <sub>j</sub>	ρ	0,0027	
résistance au cisaillement selon x <sub>1</sub>	V <sub>Rd,j,1</sub>	1,65	MPa
effort résistant selon x <sub>1</sub>	V <sub>Rd,j</sub> = [c · f <sub>ctd,n</sub> + ρ · f <sub>yd</sub> · (μ sin α + cos α)] · x <sub>1</sub>	V <sub>Rd,j,1</sub>	115,76 kN/m
<b>CISAILLEMENT SUR LE CONTOUR selon x<sub>2</sub></b>			
$v_{Rd,j} = c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v_{fcd,n}$			
coefficient de cohésion	c	0,2	
coefficient de frottement	μ	0,6	
section d'armatures traversant la section x <sub>2</sub>	A <sub>ij</sub>	0,00	cm <sup>2</sup> /m
angle d'inclinaison des armatures	α	90,00	°
longueur de l'interface	x <sub>2</sub>	0,240	m
aire du pourtour de la liaison	A <sub>j</sub>	0,24	m <sup>2</sup>
ratio A <sub>ij</sub> /A <sub>j</sub>	ρ	0,0000	
résistance au cisaillement selon x <sub>2</sub>	V <sub>Rd,j,2</sub>	0,24	MPa
effort résistant selon x <sub>2</sub>	V <sub>Rd,j</sub> = [c · f <sub>ctd,n</sub> + ρ · f <sub>yd</sub> · (μ sin α + cos α)] · 2x <sub>2</sub>	V <sub>Rd,j,2</sub>	115,20 kN/m
<b>EFFORT RESISTANT EN CISAILLEMENT</b>			
	V <sub>Rd,j</sub>	115,2	kN/m



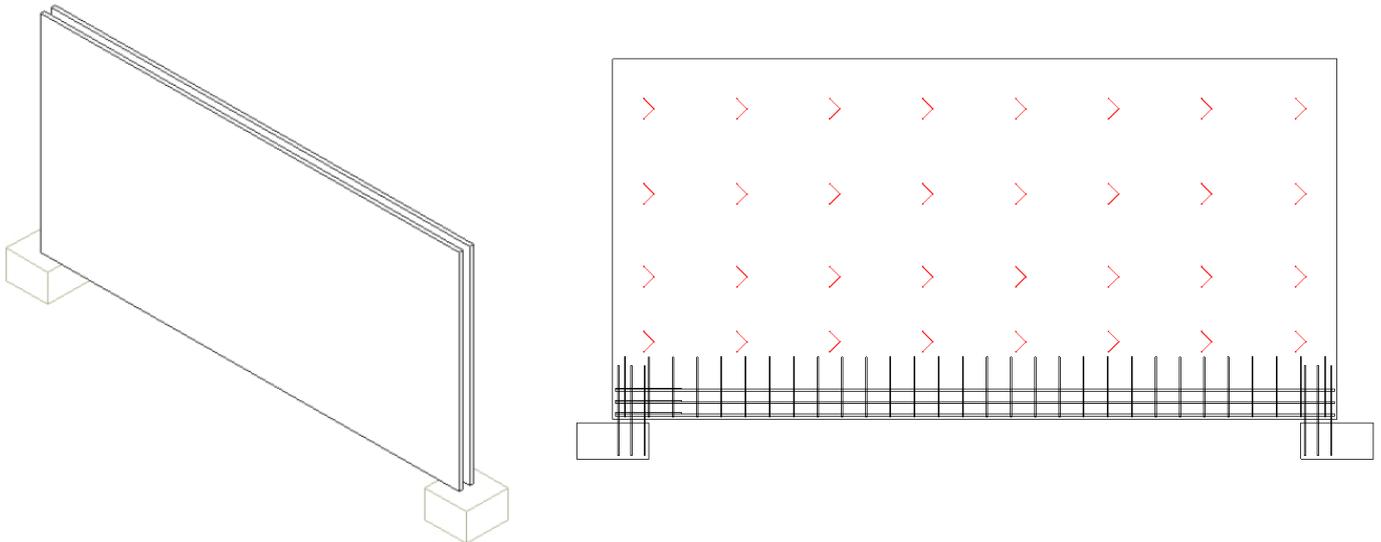
### 6.3 Au droit des joints horizontaux

VERIFICATION DES LIAISONS AU DROIT DES JOINTS HORIZONTAUX			
ELU DYNAMIQUE			
<b>HYPOTHESES</b>			
<b>données géométriques</b>			
longueur du mur	L	5,99	m
hauteur du mur	h	2,66	m
épaisseur du mur	ép	180	mm
épaisseur peau 1	b <sub>p1</sub>	55	mm
épaisseur peau 2	b <sub>p2</sub>	55	mm
épaisseur noyau	b <sub>n</sub>	70	mm
<b>caractéristiques du béton du noyau</b>			
résistance à la compression	f <sub>ck</sub>	25	MPa
coefficient partiel de sécurité	γ <sub>c,n</sub>	1,20	
résistance de calcul à la compression	f <sub>cd,n</sub>	20,83	MPa
résistance caractéristique à la traction d'ordre 5%	f <sub>ctk 0,05</sub>	1,8	MPa
résistance de calcul à la traction	f <sub>ctd,n</sub>	1,50	MPa
<b>caractéristiques aciers de liaison</b>			
résistance caractéristique en traction	f <sub>yk</sub>	500	MPa
coefficient partiel de sécurité	γ <sub>s</sub>	1,10	
résistance de calcul	f <sub>yd</sub>	455	MPa
longueur interface x <sub>1</sub>		0,07	m
section d'armatures de liaison (2HA6)		0,57	cm <sup>2</sup>
espacement		30	cm
section armatures sur 1m		1,88	cm <sup>2</sup> /m
longueur interface x <sub>2</sub>		0,24	m
section armature de couture		0,00	cm <sup>2</sup>
espacement		20	cm
longueur totale armature selon x <sub>2</sub>		0,4	m
section armatures sur 1m		0,00	cm <sup>2</sup> /m
<b>CONTRAINTE LIMITE DE CISAILEMENT</b>			
$v_{Rd,i} = 0.5 v f_{cd,n}$			
coefficient de réduction de la résistance du béton	v	0,54	
contrainte limite de cisaillement	v <sub>Rd,i</sub>	5,63	MPa
<b>CISAILEMENT AU DROIT DU JOINT selon x<sub>1</sub></b>			
$v_{Rd,j} = c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 v f_{cd,n}$			
coefficient de cohésion	c	0,25	
coefficient de frottement	μ	0,9	
section d'armatures traversant l'interface voile préfa / noyau coulé en place sur la distance x	A <sub>ij</sub>	1,88	cm <sup>2</sup> /m
angle d'inclinaison des armatures	α	90,00	°
longueur de l'interface	x <sub>1</sub>	0,070	m
aire du joint	A <sub>j</sub>	0,07	m <sup>2</sup>
pourcentage A <sub>ij</sub> /A <sub>j</sub>	ρ	0,0027	
résistance au cisaillement	v <sub>Rd,j</sub>	1,35	MPa
effort résistant selon x <sub>1</sub>			
$V_{Rd,j} = [c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \sin \alpha + \cos \alpha)] \cdot x_1$	V <sub>Rd,j</sub>	94,76	kN/m
<b>CISAILEMENT SUR LE CONTOUR selon x<sub>2</sub></b>			
$v_{Rd,j} = c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 v f_{cd,n}$			
coefficient de cohésion	c	0,1	
coefficient de frottement	μ	0,6	
section d'armatures traversant l'interface voile préfa / noyau coulé en place sur la distance x	A <sub>ij</sub>	0,00	cm <sup>2</sup> /m
angle d'inclinaison des armatures	α	90,00	°
longueur de l'interface	x <sub>2</sub>	0,240	m
aire du pourtour de la liaison	A <sub>j</sub>	0,48	m <sup>2</sup>
pourcentage A <sub>ij</sub> /A <sub>j</sub>	ρ	0,0000	
résistance au cisaillement	v <sub>Rd,j</sub>	0,12	MPa
effort résistant selon x <sub>2</sub>			
$V_{Rd,j} = [c \cdot f_{ctd,n} + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \sin \alpha + \cos \alpha)] \cdot 2x_2$	V <sub>Rd,j</sub>	57,60	kN/m
<b>EFFORT RESISTANT EN CISAILEMENT</b>			
	V <sub>Rd,j</sub>	57,60	kN/m



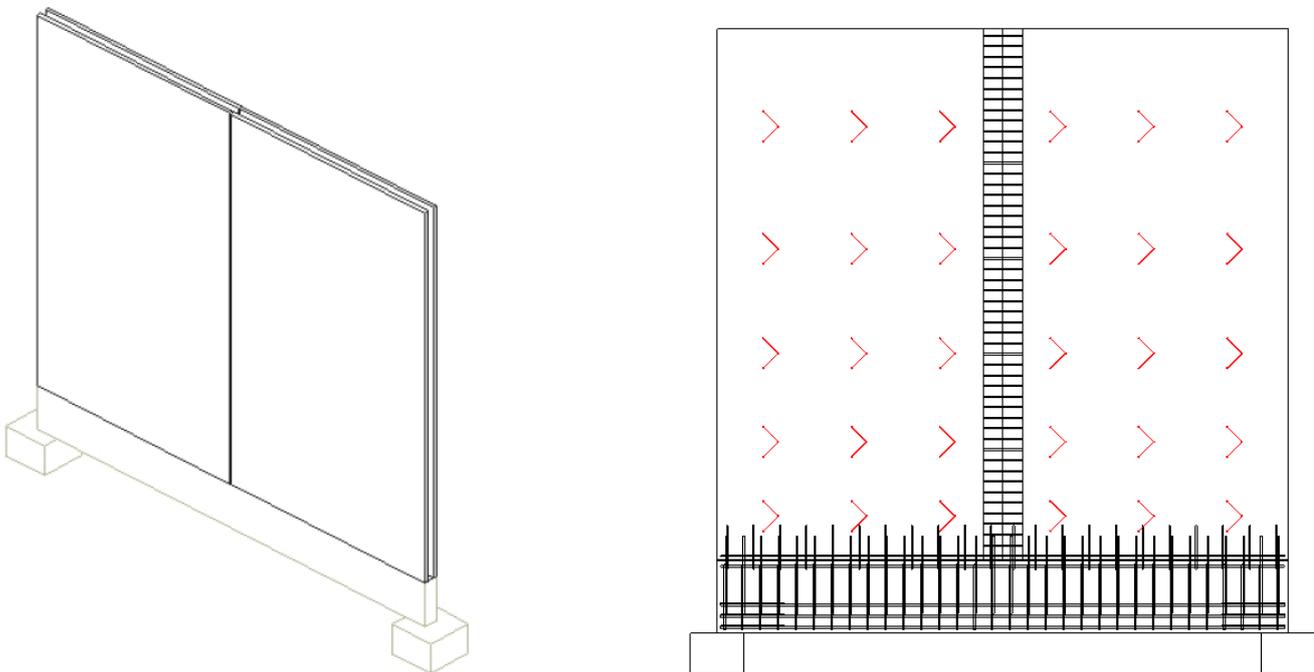
# ANNEXE 7 : Dispositions pour poutres voiles

Cas 1



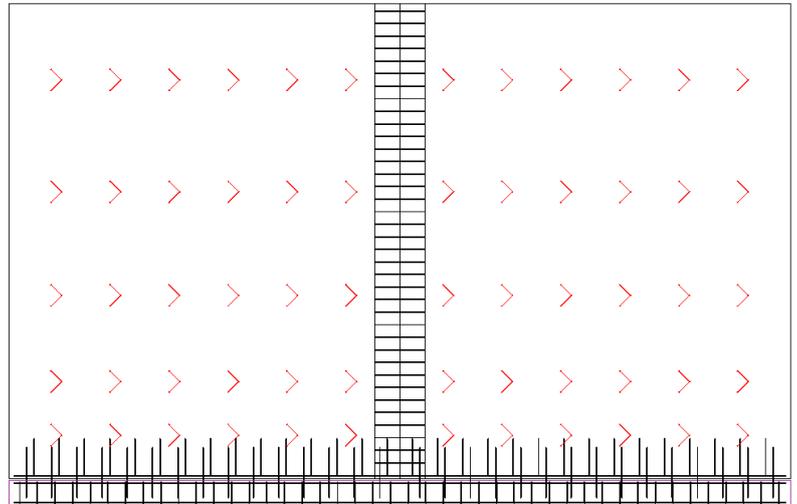
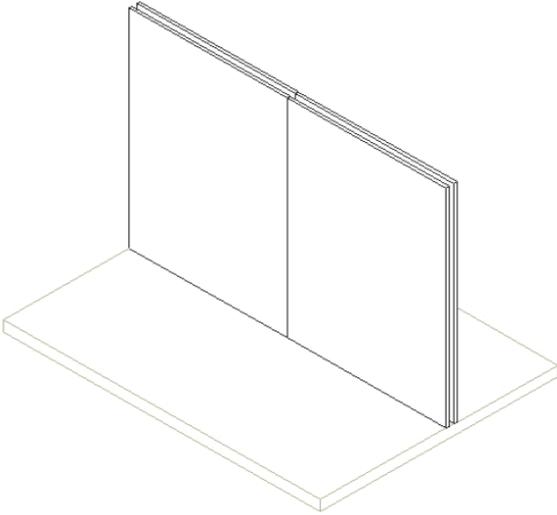
- Poutre-cloison réalisée en un seul tenant, avec intégration complète du tirant dans le mur à coffrage intégré.
- Cette solution ne nécessite pas de vérifications particulières étant donné l'absence de joints, hormis la vérification du déversement si nécessaire.
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation.

Cas 2



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

### Cas 3



- Poutre-cloison reprenant la dalle inférieure
- Le tirant de la poutre-cloison est disposé dans l'épaisseur de la dalle ou dans la partie inférieure du mur à coffrage intégré.
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre parmi les liaisons couturées.

**FIN DES ANNEXES**