

Sur le procédé

ThermoPrédalle® SEAC

Famille de produit/Procédé : Rupteur de ponts thermiques structuraux en Isolation Thermique Intérieure (ITI)

Titulaire(s) : Société SEAC

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

Groupe Spécialisé n° 3.1 - Planchers et accessoires de plancher

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V3	Cette version, examinée par le GS n°3.1 le 3 avril 2025, annule et remplace l'Avis Technique 3.1/17-930_V2. Il s'agit d'une révision à l'identique de l'Avis Technique.	PRAT Etienne	BERNARDIN-EZRAN Roseline

Descripteur :

Le procédé ThermoPrédalle SEAC est destiné à traiter les ponts thermiques situés à la jonction entre un plancher à prédalles et la façade en béton armé ou en maçonnerie dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur (ITI) uniquement. Deux modèles de rupteurs sont visés : ? les rupteurs de type I, utilisables dans le sens porteur et non porteur du plancher, venant interrompre le pont thermique sur la hauteur de la table de compression ; ? les rupteurs de type II, utilisables dans le sens non porteur du plancher uniquement, venant interrompre le pont thermique sur la hauteur totale du plancher. Ces rupteurs sont constitués de pains d'isolant de largeur 80mm en laine de roche ou en perlite expansée ; interrompus tous les 67,5cm maximum (cas des rupteurs de type I) ou tous les 92cm maximum (cas des rupteurs de type II) par des nervures en béton armé. Ces nervures comportent des cages d'armatures intégrées à la prédalle à la fabrication ou mises en œuvre sur chantier.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté	5
1.1.1.	Zone géographique	5
1.1.2.	Ouvrages visés	5
1.2.	Appréciation	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Durabilité	6
1.2.3.	Impacts environnementaux	6
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
2.	Dossier Technique.....	7
2.1.	Mode de commercialisation.....	7
2.1.1.	Coordonnées du titulaire	7
2.1.2.	Identification	7
2.2.	Description.....	7
2.2.1.	Principe.....	7
2.2.2.	Définition des matériaux	7
2.2.3.	Description des éléments.....	8
2.3.	Dispositions de conception	16
2.3.1.	Règles générales	16
2.3.2.	Justification en zone courante de plancher	16
2.3.3.	Justification des zones d'about de plancher au niveau des appuis d'extrémité avec rupteur de type I	16
2.3.4.	Justification des nervures en béton munies de paniers d'armatures de type A ou B	17
2.3.5.	Justification des nervures en béton munies de paniers d'armatures de type C à H	19
2.3.6.	Traitement des balcons	19
2.3.7.	Vérification sous sollicitations horizontales	20
2.3.8.	Sécurité incendie	22
2.3.9.	Isolation acoustique	22
2.3.10.	Isolation thermique.....	22
2.3.11.	Étanchéité de toiture-terrasse	23
2.4.	Dispositions de mise en œuvre	25
2.4.1.	Livraison & réception des prédalles	25
2.4.2.	Manutention & stockage des prédalles	25
2.4.3.	Pose des prédalles	25
2.4.4.	Armatures complémentaires en zone courante.....	26
2.4.5.	Armatures du chaînage intérieur.....	26
2.4.6.	Armatures disposées sur l'about porteur de prédalles munies de rupteurs	26
2.4.7.	Armatures disposées en rive non porteuse de plancher	27
2.4.8.	Passage de gaines et canalisations	27
2.4.9.	Mise en place du chaînage horizontal périphérique	27
2.4.10.	Mise en place des pains d'isolant.....	27
2.4.11.	Bétonnage de la dalle collaborante rapportée	27
2.4.12.	Enlèvement des étais du plancher après coulage.....	28
2.4.13.	Prescriptions particulières dans le cas des balcons préfabriqués	28
2.4.14.	Fixation des menuiseries posées en applique intérieure.....	28
2.4.15.	Finitions	28
2.5.	Fourniture et assistance technique.....	29
2.6.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	29

2.6.1.	Fabrication des prédalles pour plancher ThermoPrédalle SEAC	29
2.6.2.	Contrôles et traçabilité	30
2.6.3.	Traçabilité des Pains d'isolant	30
2.7.	Mention des justificatifs	31
2.7.1.	Résultats expérimentaux	31
2.7.2.	Références chantiers	32

1. Avis du Groupe Spécialisé

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

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France Métropolitaine.

Les ouvrages, situés dans les zones de sismicité 1 à 4 et nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié sont visés. Le procédé est donc applicable pour toutes zones sismiques en France Métropolitaine et pour toutes les classes de ductilité.

1.1.2. Ouvrages visés

Le procédé ThermoPrédalle SEAC permet le traitement partiel des ponts thermiques de planchers à prédalles en béton armé ou précontraint d'épaisseur minimale 50 mm, dans le cas d'ouvrages en isolation thermique par l'intérieur (ITI) uniquement. Les planchers ainsi réalisés sont d'épaisseur totale minimale 180 mm.

Le procédé est destiné à tous les niveaux de plancher, à tout type de structure et à toutes les catégories d'importance de bâtiments, réguliers ou non.

L'utilisation du procédé dans les ouvrages classés IGH (immeuble de grande hauteur) n'est pas visée.

Le prolongement d'un plancher ThermoPrédalle SEAC par un balcon, préfabriqué ou coulé en place, est réalisable (cf. annexe III du Dossier Technique).

Le procédé vise l'utilisation en toiture terrasse. Dans le cas de toitures-terrasses ouvertes à la circulation de véhicules légers, le pain d'isolant est de type PB100.

Les façades et la structure porteuse de l'ouvrage peuvent être réalisées en béton coulé en place ou en maçonnerie de petits éléments au sens du NF DTU 20.1.

Les distances maximales entre joints de dilatation doivent respecter les prescriptions de la NF EN 1992-1-1 et son AN pour les façades en béton. Pour les façades en maçonnerie, les distances maximales entre joints de dilatation sont celles du NF DTU 20.1.

L'utilisation du système de rupteurs ThermoPrédalle SEAC avec un autre système de rupteurs n'est pas visée par le présent Avis Technique.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

Les planchers à prédalles réalisés à l'aide du procédé participent à la stabilité de l'ouvrage.

L'incorporation de rupteurs ThermoPrédalle SEAC n'altère pas la reprise des charges verticales par rapport à une jonction courante plancher/façade sans rupteurs.

1.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

Le procédé permet de satisfaire à la réglementation incendie pour le domaine d'emploi visé, dans la limite du domaine de validité des Appréciations de Laboratoire listées au §2.8.1 du Dossier Technique.

Les rupteurs de type I sont couverts par l'Appréciation de Laboratoire n°AL 19-261_V2 qui permet de justifier :

- D'une performance REI90 pour les modèles en laine de roche ou PB100 utilisés conformément au domaine d'utilisation visé, sur un plancher à prédalles d'épaisseur minimale 200 mm et sans limitation de portée particulière liée au cas de l'incendie.
- D'une performance REI90 pour les modèles en laine de roche ou PB100 utilisés conformément au domaine d'utilisation visé sur un plancher à prédalles d'épaisseur minimale 180 mm et de portée maximale 5 m.
- D'une performance REI60 pour les modèles en laine de roche ou PB100 utilisés conformément au domaine d'utilisation visé sur un plancher à prédalles d'épaisseur minimale 180 mm et de portée maximale 6 m.
- De la prise en compte des balcons dans le calcul du C+D au même titre que les balcons venant en continuité d'un plancher avec une liaison traditionnelle (sans rupteur).

Les rupteurs de type II sont couverts par l'Appréciation de Laboratoire n°AL19-261_V2 dont les conclusions sont les suivantes : équivalence de classement EI120 pour les modèles en laine de roche ou pour les modèles en PB 100 avec semelle en laine de roche d'épaisseur 60 mm, utilisés conformément au domaine d'utilisation visé sur un plancher à prédalles d'épaisseur minimale de 180 mm.

L'Appréciation de Laboratoire n° AL 19-261_V2 vise l'association de rupteurs de type I et II sur un même plancher. Dans le cas de l'utilisation mixte des rupteurs de type I et de type II, le classement de résistance au feu est celui du type I.

1.2.1.3. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La sécurité de travail sur chantier peut être normalement assurée moyennant l'emploi de méthodes et de dispositifs de manutention adaptés aux dimensions, au poids et à l'encombrement des éléments ainsi que d'équipements classiques pour la mise en place de tels planchers.

1.2.1.4. Utilisation en zone sismique

La stabilité du procédé en zone sismique (zones de sismicité 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) est assurée dans les conditions de conception et de mise en œuvre précisées dans le Dossier Technique.

1.2.1.5. Isolation thermique

Les rupteurs ThermoPrédalle SEAC permettent de corriger les ponts thermiques créés notamment par la continuité des éléments en béton de la dalle vers le chaînage du mur. La correction apportée est due à l'insertion des rupteurs entre le plancher et le chaînage périphérique et l'interruption du béton complémentaire au droit des pains d'isolant. Le risque de condensation superficielle se trouve réduit grâce à la protection thermique que procure le rupteur.

Les valeurs courantes de ψ , données dans les tableaux de l'Annexe IX, sont valables à condition de respecter les limites de validité mentionnées dans ladite Annexe.

Le contrôle de la masse volumique est suffisant pour justifier de la performance thermique du système constructif.

1.2.1.6. Isolation acoustique

Des essais réalisés sur les planchers équipés des rupteurs ont montré que ces derniers peuvent permettre de répondre aux exigences de la réglementation acoustique dans le domaine considéré.

Les performances acoustiques d'un plancher ThermoPrédalle SEAC sont similaires à celles d'un plancher béton coulé en place de même masse surfacique.

1.2.1.7. Finitions des parois – étanchéité à l'eau entre les locaux

- Sol : Tout type de revêtement de sol. Un dispositif d'étanchéité à l'eau à base de joint souple doit être posé préalablement entre le doublage et le plancher brut, pour assurer le calfeutrement entre les pains d'isolant des rupteurs et le complexe de doublage.
- Plafonds : Tout plafond rapporté et tout type d'enduit applicable aux planchers à prédalles.

1.2.2. Durabilité

La durabilité des planchers ThermoPrédalle SEAC est la même que celle des planchers à prédalles sans rupteurs.

Ils ne nécessitent pas un entretien spécifique.

1.2.3. Impacts environnementaux

1.2.3.1. Données environnementales

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

1.2.3.2. Aspects sanitaires

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

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Cet Avis ne vaut que pour les rupteurs ThermoPrédalle SEAC associés à un plancher à prédalles en béton armé ou précontraint respectant les prescriptions de la NF DTU 23.4 et de la NF P19-206. Les prédalles sont décrites au §2.2.3.2 du Dossier Technique.

Le Groupe Spécialisé tient à préciser que la prescription concernant l'étanchéité des balcons n'est pas spécifique au procédé de plancher ThermoPrédalle SEAC et qu'elle s'appliquerait de la même manière dans le cas d'une liaison sans rupteur de ponts thermiques.

Dans le cas de toiture-terrasse, l'utilisation du système de rupteurs est limitée aux planchers non isolés en sous-face.

La notion de robustesse est prise en compte dans le dimensionnement proposé en Annexe IV grâce au coefficient γ_{Rd} .

Le Groupe Spécialisé n°20 attire l'attention sur le fait que l'utilisation de l'isolant BATIBOARD PB100 dans le cadre de cet Avis Technique n'est permise que jusqu'à l'épuisement des stocks disponibles. '

2. Dossier Technique

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

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées du titulaire

Titulaire : SEAC
 47 Boulevard de Suisse
 CS 52158
 31021 TOULOUSE CEDEX 1
 France

2.1.2. Identification

Chaque pain isolant porte une étiquette sur laquelle est mentionné :

- La nature de l'isolant ;
- Les dimensions : largeur et hauteur du pain ;
- Le sens de pose (haut/bas).

Le plan de préconisation de pose stipule le type de pain d'isolant à mettre en place, reprenant la codification.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le procédé ThermoPrédalle SEAC est destiné à traiter les ponts thermiques situés à la jonction entre un plancher à prédalles et la façade en béton armé ou en maçonnerie dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur (ITI) uniquement.

Deux types de rupteurs sont proposés pour traiter les ponts thermiques au niveau des jonctions mur-plancher, prolongées ou non d'un balcon :

- Le rupteur type I peut être disposé indifféremment sur l'about porteur ou sur la rive non porteuse des prédalles. Les prédalles sont munies de pains isolants dont la hauteur est adaptée à l'épaisseur du béton rapporté sur chantier. Elles s'appuient de façon continue sur le support. La distance intérieure entre deux nervures correspond à la dimension de la boîte support du pain d'isolant et est au maximum de 675 mm. Dans le sens porteur, les paniers sont intégrés à la fabrication des prédalles. Dans le sens non-porteur, suivant les efforts à transmettre, les paniers peuvent être intégrés à la fabrication des prédalles ou mis en place sur chantier.
- Le rupteur type II est mis en œuvre sur la rive non porteuse des prédalles. Les pains isolants dont la hauteur est égale à l'épaisseur totale du plancher s'interposent entre la prédalle et l'appui. Les nervures sont réalisées dans l'épaisseur de la dalle de compression. Leur distance entre axes n'est pas supérieure à 1200 mm. Les pains isolants et les paniers peuvent être intégrés à la fabrication des prédalles ou mis en place sur chantier.

Le plancher est réalisé à partir de prédalles en béton armé munies ou non de treillis raidisseurs ou à partir de prédalles en béton précontraint. Les prédalles ont une épaisseur minimale de 50 mm.

Les rupteurs sont constitués des pains isolants de largeur 80 mm en laine de roche ou en perlite expansée, et positionnés dans la continuité verticale de l'isolation intérieure des murs ou protégés par le complexe d'étanchéité, dans le cas de toiture terrasse. Ces pains, interrompus tous les 67,5 cm maximum (cas des rupteurs de type I) ou tous les 92 cm maximum (cas de rupteurs de type II) ménagent le passage de nervures en béton armé comportant des renforts d'armatures intégrés à la prédalle à la fabrication, appelés paniers, qui assurent le report des charges verticales vers les appuis et le transfert des efforts horizontaux vers les éléments porteurs.

2.2.2. Définition des matériaux

2.2.2.1. Armatures pour béton armé disposées dans la prédalle et sur prédalle

Les armatures de béton armé répondent aux spécifications des normes françaises correspondantes :

- NF EN 35-080-1 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables – Partie 1 : Barres et couronnes,
- NF EN 35-080-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables – Partie 2 : Treillis soudés,
- NF EN 35-024 : Aciers pour béton armé – Treillis soudés de surface constitués de fils de diamètre inférieur à 5 mm,
- NF EN 35-028 : Aciers pour béton – Treillis raidisseurs.

Les armatures des paniers et des renforts disposés dans les nervures sont de type B500B dans le cas d'ouvrages pour lesquels la réglementation requiert des vérifications complémentaires vis-à-vis du risque sismique. Elles font l'objet d'une certification NF délivrée par l'AFCAB.

L'acier utilisé pour la fabrication des boucles de levage est conforme à la norme française NF A 35-015 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables lisses.

2.2.2.2. Armatures pour béton précontraint

Les armatures bénéficient d'une attestation de conformité ASQPE.

2.2.2.3. Nature de l'isolant

L'isolant peut être constitué de différents matériaux selon la destination du niveau de plancher concerné.

2.2.2.3.1. Pain PLR

Pain isolant obtenu par découpe de panneaux isolants en laine de roche faisant l'objet :

- Du marquage CE conformément à l'annexe ZA de la norme NF EN 13162+A1,
- D'un certificat ACERMI.

Les caractéristiques minimales du produit sont :

- La conductivité thermique utile (valeur certifiée ACERMI) : $\leq 0,036 \text{ W/m.K}$
- La classe de réaction au feu : Classe A1
- La contrainte mini en compression : CS(10)20
- La résistance mini en traction perpendiculaire aux faces : TR5
- La stabilité dimensionnelle : DS(70,-)
- La planéité : $S_{\max} \leq 6 \text{ mm}$
- Le défaut d'équerrage : $S_b \leq 5 \text{ mm/m}$
- Masse volumique minimale : $\geq 120 \text{ kg/m}^3$

La liste des isolants en laine de roche visés a été communiquée au CSTB.

2.2.2.3.2. Pain BATIBOARD PB100

Pain isolant obtenu par découpe de panneaux isolants Batiboard 100 principalement composés de perlite expansée associée à des fibres de cellulose, fabriqués par la société SITEK INSULATION.

Le produit fait l'objet :

- Du marquage CE conformément à l'annexe ZA de la norme NF EN 13169+A1,

Les caractéristiques du produit sont :

- La conductivité thermique utile : $\lambda_u = 0,050 \text{ W/(m.K)}$
- La classe de réaction au feu : B-s1,d0
- Masse volumique minimale : $\geq 150 \text{ kg/m}^3$.
- Contrainte en compression : CS(10\Y)200
- Absorption d'eau à court terme par immersion totale : WS(T)B
- Transmission de vapeur d'eau : MU5

2.2.2.4. Béton de prédalle

La composition du béton, pour la fabrication en usine des prédalles, 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 retenue pour le plancher concerné de la structure. La classe d'exposition du béton fait partie des caractéristiques certifiées par le référentiel de la marque NF. La classe de résistance du béton est au minimum C25/30 pour les prédalles en béton armé et C30/37 pour les prédalles en béton précontraint.

2.2.2.5. Béton de la dalle collaborante rapportée

Béton conforme à la norme NF EN 206+A2/CN. La classe de résistance à la compression est supérieure ou égale à C25/30.

L'utilisation des bétons autoplaçants est également possible.

2.2.3. Description des éléments

2.2.3.1. Terminologie

ThermoPrédalle : Procédé/système destiné à réaliser un plancher à partir de prédalles préfabriquées en usine fixe intégrant un (ou des) dispositif(s) de traitement du pont thermique sur tout ou partie de la périphérie du bâtiment à la liaison plancher-voile.

Éléments constituant le procédé/système ThermoPrédalle :

- **Prédalle** : prédalle fabriquée industriellement en BA ou BP
- **About de prédalle** : bord de prédalle parallèle à la ligne d'appui
- **Rive de prédalle** : bord de prédalle autre que ceux parallèles aux lignes d'appuis
- **Prédalle standard** : prédalle ne comportant pas de dispositif de traitement du pont thermique
- **Prédalle d'about** : prédalle située en périphérie du bâtiment et comportant un dispositif de traitement du pont thermique sur au moins un about

- **Prédalle de rive** : prédalle située en périphérie du bâtiment et comportant un dispositif de traitement du pont thermique sur au moins une rive
- **Prédalle d'angle** : prédalle située dans un angle de bâtiment et comportant un (ou des) dispositif(s) de traitement du pont thermique en rive et au moins sur un about
- **Nervure** : zone de béton bordée par les pains d'isolant, assurant la liaison entre la partie courante du plancher et le mur.
- **Panier** : cage d'armatures spécifique ThermoPrédalle, de différents types détaillés dans les paragraphes suivants.
- **Panier d'about** : panier situé sur l'about de la prédalle
- **Panier de rive** : panier situé sur la rive de prédalle
- **Panier de balcon** : panier situé en about ou en rive de prédalle en vis-à-vis des zones de balcon
- **Pain d'isolant** : élément d'isolation tel que défini au chapitre 2.2.2.3, enveloppé d'un film polyoléfine rétractable
- **Support** : dispositif assurant le maintien des pains d'isolant en phase provisoire
- **Chânage intérieur** : armatures à disposer sur chantier perpendiculairement aux nervures en béton à l'intérieur du plancher et sur toute la périphérie du bâtiment.

2.2.3.2. Prédalles préfabriquées

Les prédalles ont une épaisseur nominale au moins égale à 50 mm. Elles sont conformes à la norme NF EN 13747 et font l'objet du marquage CE et d'une certification NF.

Les prédalles en béton armé peuvent être munies ou non de treillis raidisseurs. Les armatures longitudinales sont non dépassantes sur l'about côté rupteur thermique.

Les prédalles en béton précontraint comportent des armatures longitudinales dépassantes ou non sur l'about côté rupteur thermique.

2.2.3.3. Rupteur de type I

Les rupteurs de type I, utilisables dans le sens porteur et non porteur du plancher, venant interrompre le pont thermique sur la hauteur de la table de compression.

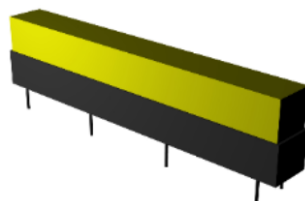


Figure 1 - Rupteur de type I

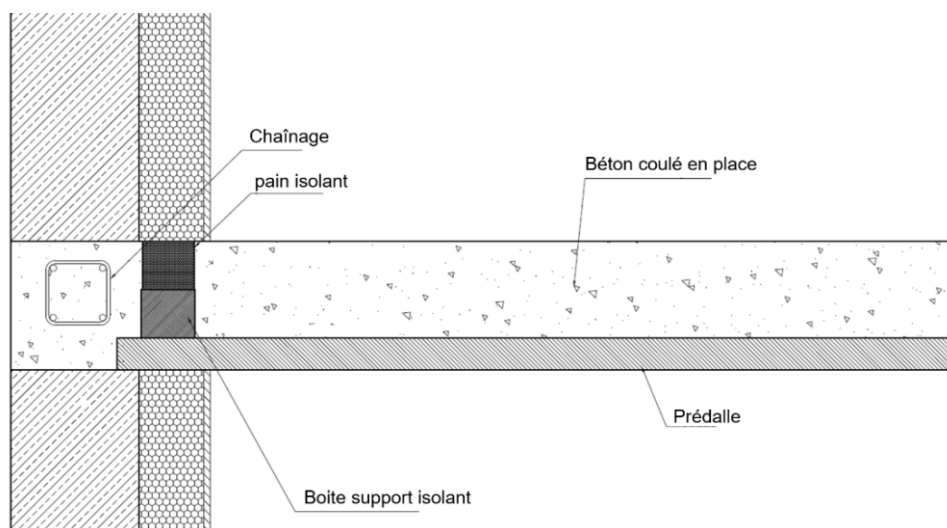


Figure 2 - Coupe sur pain isolant Rupteur Type I

2.2.3.3.1. Pains isolants

Les pains isolants du type I peuvent être disposés indifféremment sur l'about ou sur la rive des prédalles. La hauteur des pains est adaptée à l'épaisseur totale du plancher.

Quelle que soit leur nature, ils sont obtenus par découpage de panneaux à l'aide d'un fil abrasif par une machine à commandes numériques. Les opérations de découpage et de conditionnement sont réalisées dans un atelier spécialisé dans la découpe de matériaux, sous la responsabilité du titulaire.

Chaque pain est enveloppé d'un film polyoléfine rétractable pour être protégé lors du coulage de la dalle de compression et des intempéries durant le chantier avant la mise hors d'eau. Cette opération est effectuée à l'aide d'une machine à souder avec tunnel de rétraction.

Le pain est disposé dans son support réalisé par une boîte en polymère, intégrée dans la prédalle et positionnée généralement à 38 mm de l'about ou de la rive de la prédalle. Le pain est maintenu par des sandows de longueur adaptée pour éviter des déformations excessives.

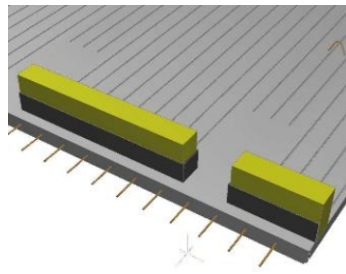


Figure 3

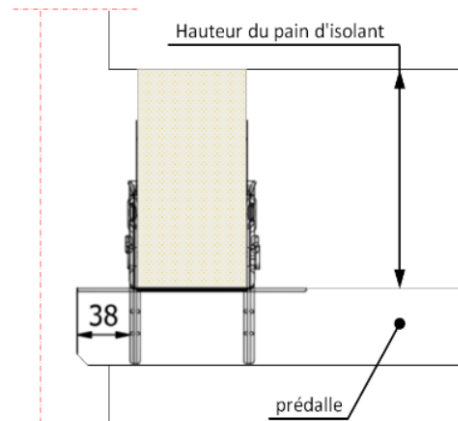


Figure 4

2.2.3.3.2. Paniers d'armatures

Les schémas illustrant les différentes descriptions de paniers d'armatures sont des exemples des dispositions constructives pouvant être réalisées. Ces dispositions peuvent différer de par la hauteur des armatures transversales, le diamètre et le nombre des armatures longitudinales supérieures et inférieures. Pour chaque type de panier décrit ci-après, on distingue les paniers standards et les paniers renforcés.

La définition de ces paniers est donnée en Annexe I-2 du Dossier Technique. La hauteur retenue de ces paniers est fonction de l'épaisseur du plancher. Le tableau propose des exemples de hauteurs de paniers pour une gamme d'épaisseurs courantes de planchers de 180 mm à 270 mm. Des hauteurs différentes de paniers peuvent être réalisées.

2.2.3.3.2.1. Paniers d'about et/ou de rive non porteuse

Paniers de Type A

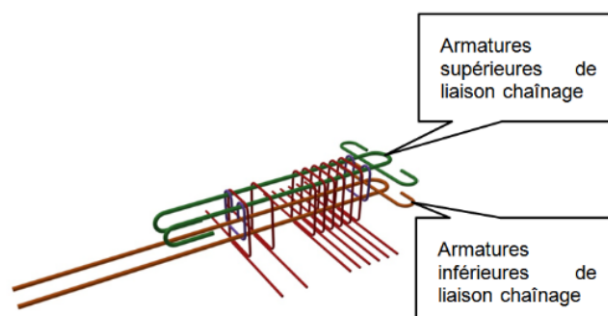


Figure 5

Pour une prédalle d'about, deux types de paniers d'armatures sont intégrés en about de la prédalle :

- Des paniers courants (PC) disposés en zone courante de prédalle, au nombre de deux (pour une largeur standard) cf. Figure I.3 et Figure I.4 de l'Annexe I,
- Des paniers d'extrémité (PE) disposés en extrémité de prédalle, au nombre de deux (pour une largeur standard) cf. Figure I.7 et Figure I.8 de l'Annexe I.

La prédalle de rive comporte, sur le côté non porteur, une succession de paniers courants (PC) et de pains d'isolant.

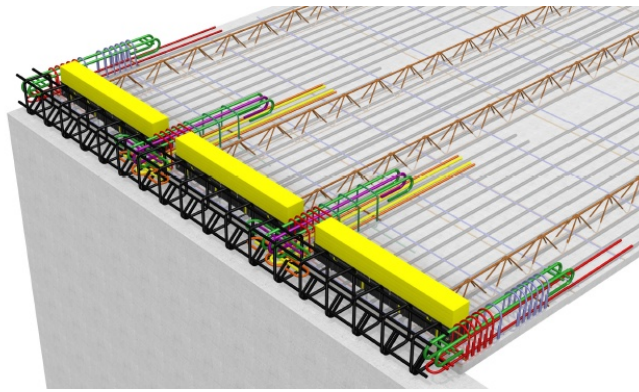


Figure 6

Pour une prédalle d'angle, la disposition des paniers en about de prédalle est identique à celle d'une prédalle d'about. Sur la rive non porteuse, des paniers (perpendiculairement au sens de portée) sont mis en place entre les boîtes en polymère. Des dispositions particulières sont décrites en annexe II-1.1.

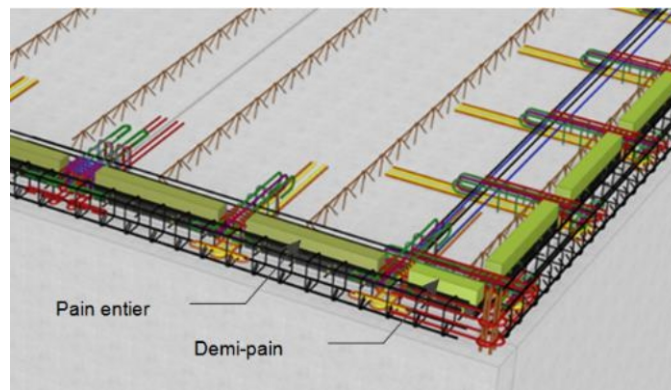


Figure 7

Paniers de Type B

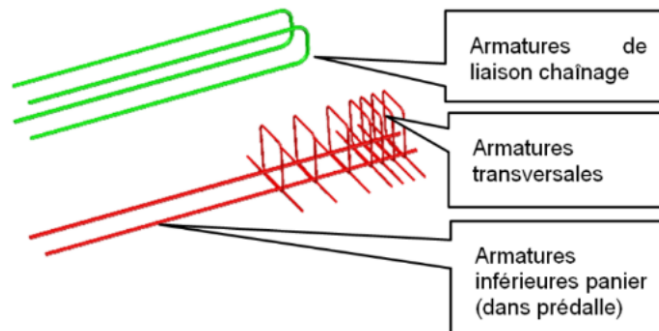


Figure 8

La prédalle d'about de largeur standard comporte, sur le côté porteur, trois paniers, deux pains d'isolant entiers en partie centrale et deux demi-pains d'isolant en extrémité. Le ferrailage des paniers est illustré par la Figure I.9 de l'Annexe I. La prédalle de rive comporte, sur le côté non porteur, une succession de paniers et de pains d'isolant.

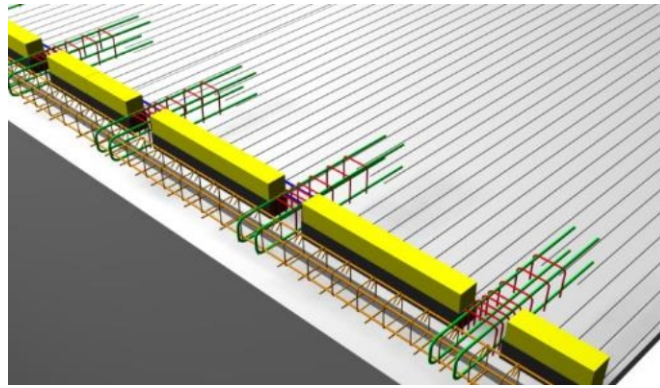


Figure 9

Pour une prédalle d'angle, la disposition des paniers en about de prédalle est identique à celle d'une prédalle d'about. Sur la rive non porteuse, des paniers (perpendiculairement au sens de portée) sont mis en place entre les boîtes en polymère. Des dispositions particulières sont décrites en annexe II-1.3.

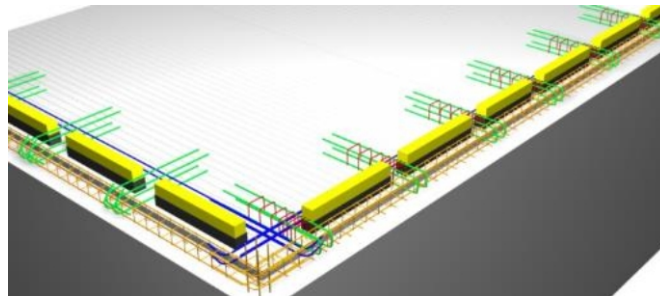


Figure 10

2.2.3.3.2.2. Paniers de rive non porteuse

Dans le cas de sollicitations modérées, les paniers de types A ou B des rives non porteuses peuvent être remplacés par les paniers décrits ci-dessous.

Paniers de type C

La liaison mur-plancher est réalisée à partir d'armatures mises en œuvre sur chantier. Le ferrailage des paniers est illustré par la Figure I.11 de l'Annexe I.

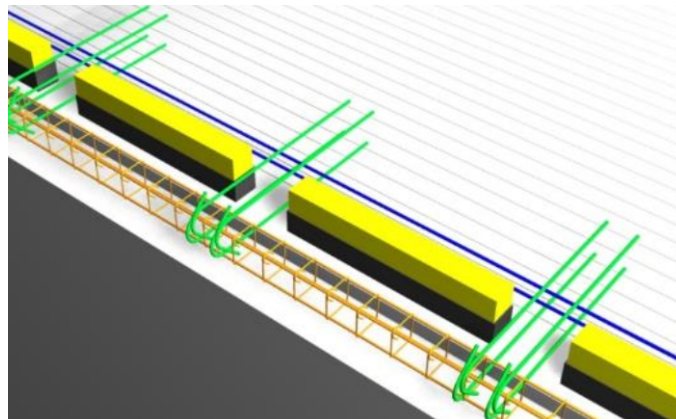


Figure 11

Paniers de type D

Les paniers de type D, identiques au type C, sont liaisonnés à la prédalle par un dispositif de guidage. Un exemple de ferrailage des paniers est illustré par la Figure I.12 de l'Annexe I.

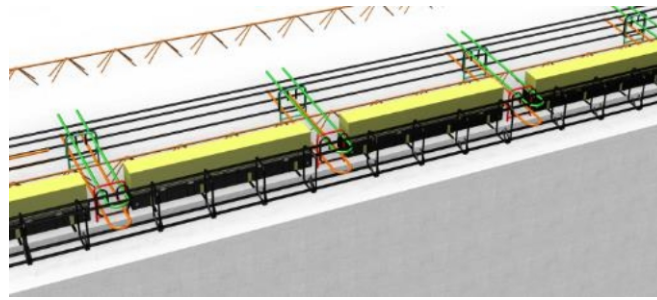


Figure 12

2.2.3.3.3. Boîtes en polymère

Les boîtes en polymère disposées entre les paniers d'armatures ont pour rôle de positionner et maintenir les pains isolants. La fabrication de ces boîtes est réalisée par une société spécialisée dans l'injection plastique. Ces boîtes comportent un système de maintien vertical et latéral sur les tables coffrantes en usine.

La fabrication est effectuée à plat dans un moule à injection. L'assemblage est réalisé par clips disposés aux angles de la boîte. Le descriptif de la boîte polymère est donné en Annexe I-2.1 du dossier technique.

La longueur standard des boîtes est de 675 mm. La conception des boîtes permet de réaliser, par coupure, des longueurs de boîtes de plus petites dimensions (Par exemple : 297 mm ; 337 mm ; 377 mm).

2.2.3.4. Rupteur de type II

Les rupteurs de type II, utilisables dans le sens non porteur du plancher uniquement, venant interrompre le pont thermique sur la hauteur totale du plancher.

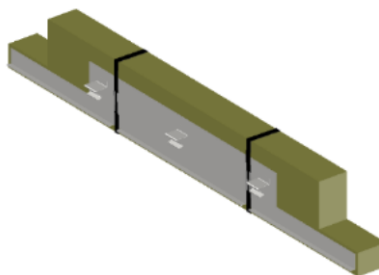


Figure 13 - Rupteur de type II

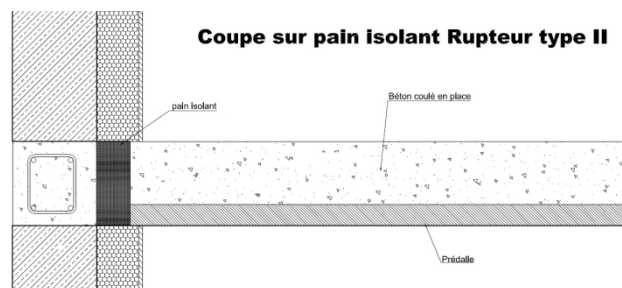


Figure 14

2.2.3.4.1. Pains isolants

Les pains isolants du type II ne peuvent être disposés qu'en rive non porteuse des prédalles. La hauteur des pains est adaptée à l'épaisseur totale du plancher.

Ils peuvent être constitués d'un seul matériau (codification A, ou B suivant Annexe I-1) ou composés de deux matériaux avec, dans ce cas, une épaisseur de 6 cm de PLR en partie inférieure (codification C suivant Annexe I-1).

Quelle que soit leur nature, ils sont obtenus par découpage de panneaux. Les opérations de découpage et de conditionnement sont réalisées dans un atelier spécialisé dans la découpe de matériaux, sous la responsabilité du titulaire. La tolérance de coupe est de ± 5 mm.

Chaque pain est enveloppé d'un film polyoléfine rétractable pour être protégé lors du coulage de la dalle de compression et des intempéries durant le chantier avant la mise hors d'eau. Cette opération est effectuée à l'aide d'une machine à souder avec tunnel de rétraction.

Le pain est maintenu par un support en rive de la prédalle, cerclé par des feuillards en plastique.

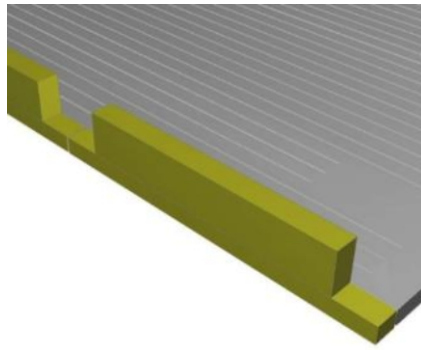


Figure 15

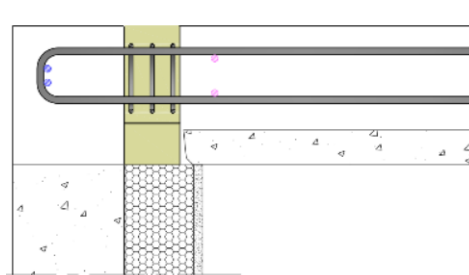


Figure 16

Différents supports sont envisageables :

- Plaque métallique, clipsée sur chantier sur un insert en matière plastique intégré à la prédalle ;
- Berceaux en tôle pliée ou en polypropylène, ancrés dans la prédalle ou rapportés sur chantier en liaison avec l'insert intégré ;
- Berceau en fil d'acier ancré dans la prédalle.

2.2.3.4.2. Paniers d'armatures

Les schémas illustrant les différentes descriptions de paniers d'armatures sont des exemples des dispositions constructives pouvant être réalisées. Ces dispositions peuvent différer de par la hauteur des armatures transversales, le diamètre et le nombre des armatures longitudinales supérieures et inférieures. Pour chaque type de panier décrit ci-après, on distingue les paniers standards et les paniers renforcés.

La définition de ces paniers est donnée en annexe I-3 du dossier technique. La hauteur retenue de ces paniers est fonction de l'épaisseur du plancher. Le tableau propose des exemples de hauteurs de paniers pour une gamme d'épaisseurs courantes de planchers de 180 mm à 270 mm. Des hauteurs différentes de paniers peuvent être réalisées.

2.2.3.4.2.1. Paniers de Type E

La prédalle comporte sur sa rive des paniers de type E, disposés dans des nervures de 28 cm de largeur et espacés en standard de 120 cm (voir exemple d'illustration Figure 17). Le ferrailage des paniers est illustré par la Figure 18.

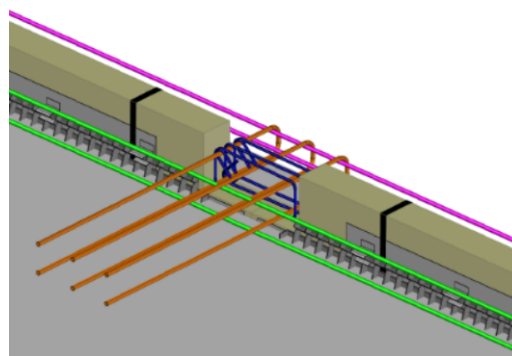


Figure 17

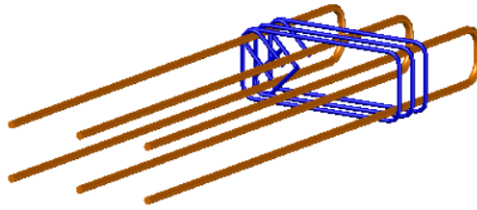


Figure 18

Pour une prédalle d'angle, les rupteurs disposés à l'about sont du type I associés à des paniers de type A ou B. Ces dispositions particulières sont décrites en annexe II-2.

2.2.3.4.2.2. Paniers de Type F

Les paniers de type F, identiques au type E, sont liaisonnés à la prédalle par un dispositif de guidage.

2.2.3.4.2.3. Paniers de Type G

Les paniers de type G sont constitués de 2 paniers type E, jumelés dans des nervures de 56 cm de largeur.

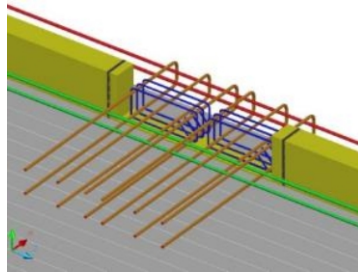


Figure 19

2.2.3.4.2.4. Paniers de Type H

Les paniers de type H, identiques au type G, sont liaisonnés à la prédalle par un dispositif de guidage.

2.2.3.5. Capot de protection

Les pains isolants peuvent être surmontés d'un capot de protection en plastique (PVC).

Les figures ci-dessous illustrent la disposition avec un exemple de section transversale et sa disposition sur le pain.



Figure 20

ASSEMBLAGE

du profilé sur le pain
(adhésif double face
ou colle)

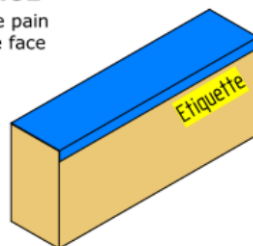


Figure 21

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Règles générales

Les règles de justification des planchers ThermoPrédalle SEAC sont menées selon la NF P 19-206 (juillet 2021). Des compléments, pour certaines justifications spécifiques du procédé, doivent être apportés selon les éléments fournis ci-après. Les épaisseurs de plancher ThermoPrédalle SEAC ne peuvent pas être inférieures à 180 mm.

Par défaut, la classe minimale du béton de la dalle collaborante rapportée correspondant est C25/30.

La limite élastique f_{yk} des aciers de béton armé est prise égale à 500 MPa.

Les points de vérification et méthodologies applicables sont détaillés en Annexe VIII.

En ce qui concerne la détermination des efforts dans les nervures sous l'action des sollicitations horizontales, il convient de se référer au §2.3.7.2 du Dossier, qui détaille les conditions d'utilisation de la modélisation sans rupteurs ou de la modélisation complète de l'ouvrage.

En ce qui concerne les efforts du vent, il conviendra de se référer au §2.3.7.4 du Dossier Technique. La vérification des nervures n'impose pas la modélisation complète de l'ouvrage.

En ce qui concerne spécifiquement les efforts d'origine sismique, il conviendra de se référer au §2.3.7.5 du Dossier Technique. La vérification des nervures vis-à-vis de l'action sismique est réalisée par la modélisation complète de l'ouvrage, avec ou sans modélisation des nervures, lorsque celui-ci n'est pas régulier en plan. La méthode forfaitaire peut être appliquée aux ouvrages réguliers en plan.

2.3.2. Justification en zone courante de plancher

Les justifications en zone courante de plancher sont menées conformément aux §5 et §6 de la NF P 19-206 (juillet 2021) pour respectivement les vérifications à l'ELU et à l'ELS.

La justification de la limitation des flèches est menée conformément au §6 de la NF P 19-206 (juillet 2021).

La vérification du monolithisme est réalisée conformément au §5.3.2 de la NF P 19-206 (juillet 2021). On considèrera les coefficients c et μ correspondant à l'état de crantage obtenu (surfaces lisse, rugueuse ou crantée).

2.3.3. Justification des zones d'about de plancher au niveau des appuis d'extrémité avec rupteur de type I

Les dispositions et justifications de l'about de la prédalle ne comportant pas de pain d'isolant sont celles définies dans la NF P 19-206 (juillet 2021) pour ce qui concerne les vérifications d'ancrage, de résistances à l'effort tranchant et à la flexion sous moment négatif éventuel.

Dans la nervure au droit du pain d'isolant, l'enrobage minimum latéral est de 10 mm, quelle que soit la classe d'exposition. La figure ci-dessous illustre cette disposition.

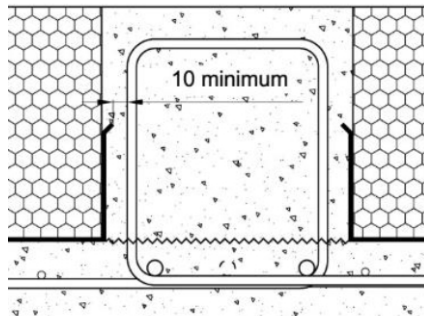


Figure 22

Tous les éléments évoqués ci-après concernent les justifications spécifiques à l'about de la prédalle comportant des pains d'isolants sous l'action de charges verticales.

Les hypothèses retenues, pour les justifications par le calcul des efforts horizontaux de cisaillement, tiennent compte de la transmission par la prédalle au contact du béton de chaînage sur une distance limitée forfaitairement à la largeur de la nervure augmentée d'une largeur Δ_b de 40 mm de part et d'autre.

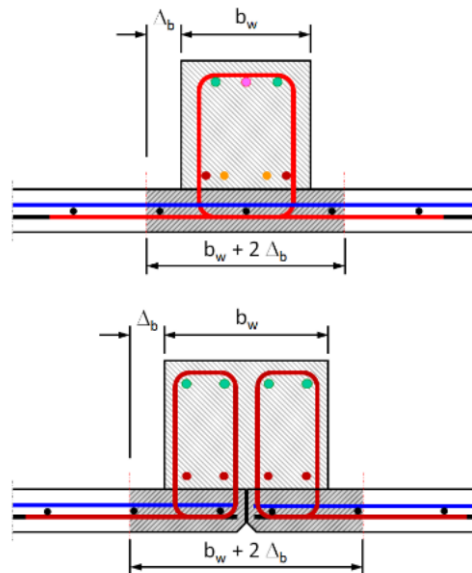


Figure 23

2.3.4. Justification des nervures en béton munies de paniers d'armatures de type A ou B

2.3.4.1. Vérification à la flexion au droit de la nervure

Il y a lieu de vérifier le moment de flexion à l'ELU, équilibré par les armatures inférieures mises en place dans les paniers, dans la zone de transition, située à l'aplomb des nervures, et la zone courante de la dalle. Cette vérification s'effectue en prenant en compte un moment décalé à une distance correspondant à la hauteur utile de la dalle. La valeur du moment pris en compte pour cette vérification est déterminée en tenant compte de l'entraxe des nervures de la zone considérée.

2.3.4.1.1. Vérification de la capacité résistante sous moment positif

La capacité résistante de la dalle avec about muni de rupteurs ThermoPrédalle SEAC peut être évaluée en considérant une section béton en T inversé constituée :

- D'une largeur comprimée évoluant depuis la nervure de largeur b_w avec une pente de 2/3 ;
- D'une membrure tendue correspondant à une sur largeur de $2 h_p$ de part et d'autre, h_p représentant l'épaisseur de la prédalle.
- Des armatures tendues comportant :
 - Les armatures passives longitudinales du panier ;
 - Les armatures de flexion situées dans la prédalle, dans une bande de largeur $(b_w + 4h_p)$ axée sur la nervure, où b_w est la largeur de la nervure et h_p l'épaisseur de la prédalle ;
 - Les armatures de flexion, prises en compte pour la part ancrée, en deçà de la section Σ considérée et de la droite à 45° rejoignant l'appui.

La figure ci-dessous explicite ces prescriptions. Le pointillé de couleur rouge représente l'évolution des sections pour la partie comprimée. Le pointillé bleu définit l'abscisse à partir de laquelle est calculée la force disponible dans les armatures actives pour la vérification de la section Σ .

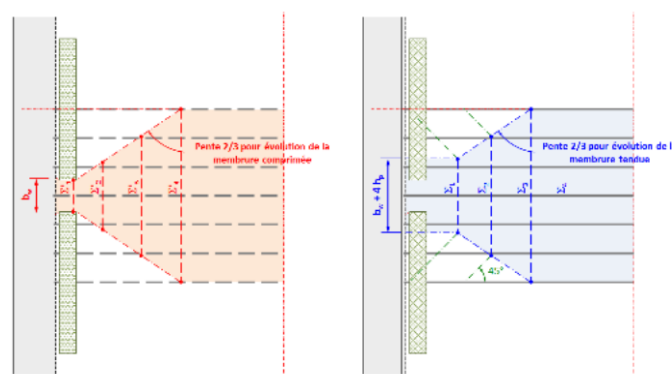


Figure 24

2.3.4.1.2. Vérification des armatures supérieures des paniers d'armature sous moment négatif

Conformément à l'article 9.2.1.2 de la NF EN 1992-1-1 et de l'Annexe Nationale Française, il doit être disposé des armatures minimales capables de reprendre un moment fléchissant résultant d'un encastrement partiel calculé en tenant compte d'une fraction égale à 15 % du moment maximal de flexion en travée.

La section béton résistante sur appui est la section en T inversé constituée par la nervure béton et la prédalle qui assure le rôle de membrure comprimée sur la largeur de l'entraxe.

2.3.4.2. Vérification vis-à-vis de l'effort tranchant vertical

La justification à l'effort tranchant peut être réalisée dans un modèle bielle-tirant, considérant des bielles d'inclinaison variable (angle θ telle que $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$).

A l'extrémité de cette zone, la capacité résistante est évaluée à partir des formules (6.2.a) et (6.2.b) de la NF EN 1992-1-1 en tenant compte de la section béton telle que définie au § 2.3.4.1.1 ci-dessus.

2.3.4.3. Vérification du cisaillement à l'interface entre le béton de prédalle et le béton de table rapporté

La couture au droit de la nervure est assurée par les brins verticaux des cadres des paniers d'armature en HA6 espacés tous les 30 mm. Cette justification s'effectue conformément à l'article 6.2.5 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française.

Dans la zone d'emprise des paniers, en l'absence de traitement après vibration, l'état de surface de la prédalle est considéré comme lisse. En dehors de cette zone, l'état de surface à considérer est celui figurant dans le certificat NF de l'usine concernée.

La vérification de la résistance au cisaillement à l'interface peut être évaluée par plages en cohérence avec l'inclinaison des bielles retenues pour la vérification d'effort tranchant (cf. § 2.3.4.2), la surface cisailée étant déterminée à partir de la section résistante telle que définie au §2.3.4.1.1 ci-dessus.

2.3.4.4. Vérification de la bielle d'about

L'évaluation du niveau de la contrainte maximale dans la bielle de béton peut être déterminée conformément au § 6.5.4 (4) b) de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française « nœud soumis à compression et à traction avec tirant ancré dans une direction ».

La naissance de la bielle de compression se situe à l'aplomb du nu intérieur de l'appui pour tout type de support, excepté dans le cas de support réalisé à partir de mur à coffrage intégré qui est décalée de la valeur correspondant à la valeur du maximum de ch_1 et ch_2 définie dans le cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégré.

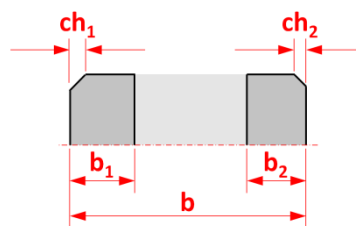


Figure 25 - Définition de ch_1 et ch_2

2.3.4.5. Vérification de l'ancrage des armatures longitudinales inférieures sur appui

Les éléments fournis ci-après précisent les justifications à apporter vis à vis de l'équilibre de la bielle d'about.

Deux cas de figure sont envisagés lorsque les armatures longitudinales de la prédalle sont dépassantes ou non.

2.3.4.5.1. Cas des prédalles avec armatures dépassantes

L'équilibre de la bielle d'about est assuré par les armatures dépassantes des prédalles sur la largeur ($b_w + 4h_p$) ainsi que par les armatures inférieures du panier.

2.3.4.5.2. Cas des prédalles sans armatures dépassantes

L'ancrage des armatures longitudinales sur appui est réalisé par les armatures inférieures du panier.

Pour l'ensemble des paniers (type A, B, C ou D, avec les dispositions de ferrailage standard et renforcé), on peut considérer que les armatures sont ancrées pour une contrainte de calcul égale à $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$.

Note : La justification est basée sur les essais réalisés au CSTB en traction compression avec ces différentes dispositions de ferrailage.

2.3.4.6. Vérification de la longueur des armatures inférieures des paniers

2.3.4.6.1. Méthode générale

La longueur des armatures est déterminée pour assurer la résistance en flexion suivant les indications définies ci-avant au § 2.3.4.1.1

2.3.4.6.2. Méthode simplifiée

On s'assure que les armatures longitudinales inférieures des paniers sont capables de reprendre seules la flexion en fonction de l'entraxe des nervures concernées par la vérification.

La longueur d'encombrement totale l_1 de l'armature est prise égale à :

$$l_1 = l_{dép} + d_1 + e_{pi} + \frac{l_{be}}{2} + l_o$$

- $l_{dép}$, longueur droite de dépassement de l'armature en about de prédalle,
- d_1 , positionnement du pain d'isolant / à l'about de la prédalle,
- e_{pi} , épaisseur du pain isolant,
- l_{be} , longueur maximale du pain isolant,
- l_o , longueur de recouvrement.

2.3.5. Justification des nervures en béton munies de paniers d'armatures de type C à H

2.3.5.1. Généralités

Ces justifications concernent exclusivement les nervures se situant en rive de prédalle perpendiculairement au sens porteur des planchers. Les différents ferrailages sont définis à l'Annexe I-1.2 en fonction de la codification.

2.3.5.2. Vérification vis-à-vis de l'effort tranchant vertical

Les justifications à l'effort tranchant, doivent être menées conformément à l'article 6.2.2 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale Française. Dans la mesure où ces conditions ne sont pas vérifiées, il y a lieu de disposer des paniers d'armatures de type A ou B en rive non porteuse.

2.3.6. Traitement des balcons

La réalisation des balcons n'est envisageable qu'en vis-à-vis de rupteurs de type I. La section béton résistante à considérer au droit des pains isolants est la section en T inversé constituée par la nervure béton et la prédalle qui assure le rôle de membrure comprimée sur la largeur de l'entraxe.

La section résistante, de part et d'autre du pain, est déduite de la section définie ci-dessus en considérant un épanouissement de la largeur de la nervure tendue par recouvrement d'armatures correspondant.

La section d'armatures à disposer dans les paniers en nappe inférieure correspond à la section d'armatures calculée pour l'ancrage de la bielle d'about en négligeant la présence du balcon, avec un minimum de 2 HA 10.

Ces armatures droites seront ancrées côté balcon en ménageant une longueur d'au moins 60 diamètres à partir du nu extérieur du support.

L'Annexe III fournit les illustrations qui sont des exemples non exhaustifs de traitement des balcons reprenant certaines configurations décrites dans les « carnets de détails pour l'accessibilité des balcons, des loggias et des terrasses dans les constructions neuves » Référence MBPD 10 001 du CSTB.

2.3.6.1. Balcons coulés en place ou réalisés à partir de prédalle

La liaison d'un balcon en continuité d'un plancher ThermoPrédalle SEAC s'effectue par la mise en place sur chantier d'armatures supérieures filantes traversantes au niveau des nervures en béton à l'intérieur des cadres des paniers, correctement ancrées à la fois dans le plancher et en extrémité de balcon.

Les schémas de l'Annexe III-1 illustrent, à titre d'exemple, un principe de ferrailage des armatures de balcons parallèlement et perpendiculairement au sens de portée du plancher.

Une autre disposition consiste à disposer au droit des paniers des armatures longitudinales en recouvrement avec les armatures de treillis soudé préalablement déterminées par le bureau d'études de structure sans prise en compte de la présence des rupteurs. Le débord de ces armatures est au moins égal à leur longueur de recouvrement augmentée d'un demi-entraxe des nervures. Les armatures de répartition du treillis soudé doivent assurer la couture entre les armatures en recouvrement (cf. schémas l'Annexe III §1.3).

2.3.6.2. Balcons préfabriqués

L'utilisation de balcons préfabriqués est envisageable, le principe de dimensionnement restant identique. Cette solution nécessite la prise en compte de tolérances d'exécution réduites pour assurer la mise en place des armatures longitudinales dans le volume des paniers, compte tenu des jeux de pose. Ces dispositions doivent être convenues, lors de la conception, avec le fournisseur de prédalles.

Note : Compte tenu de ce mode d'exécution, la section maximale d'armature envisageable peut limiter la performance du balcon par rapport à une solution coulée en place ou réalisée à partir de prédalle.

2.3.6.3. Balcons d'angle

Dans le cas où le BET en charge de l'opération a réalisé une modélisation spécifique du balcon d'angle intégrant la présence des rupteurs, ces derniers peuvent être disposés sur l'ensemble du balcon. La vérification des nervures est réalisée à partir des sollicitations résultant de la modélisation.

En l'absence d'une modélisation spécifique, la mise en œuvre des rupteurs ne pourra être envisagée qu'en dehors de la zone de renforcement d'armatures équilibrant l'angle du balcon. Cette zone de renforcement est identifiable par le titulaire à partir des plans de ferrailage du balcon établis par le BET dans l'hypothèse d'une configuration sans rupteur.

2.3.7. Vérification sous sollicitations horizontales

2.3.7.1. Principe et méthode de justification

Les essais de cisaillement et de traction alterné, réalisés jusqu'à rupture des nervures en béton avec différents types de paniers d'armatures sur des maquettes de plancher muni de rupteur ThermoPrédalle SEAC, ont permis de déterminer :

- Les lois de comportement par interprétation des relevés force-déplacement fournies par le laboratoire du CSTB,
- La raideur des nervures en béton,
- Une approche analytique basée sur la méthode des bielles-tirants.

Le principe de justification consiste à s'assurer du transfert des efforts horizontaux du plancher muni de rupteur ThermoPrédalle SEAC vers le voile de contreventement. Le schéma d'équilibre retenu est le suivant :

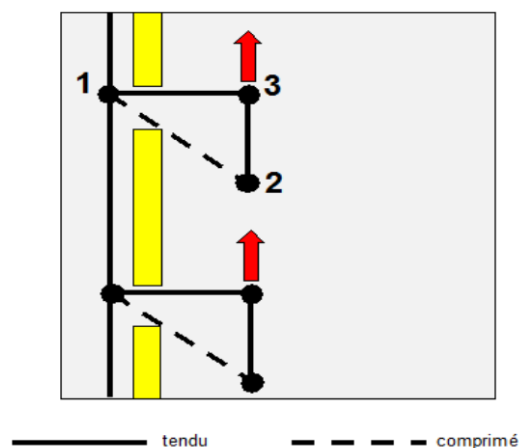


Figure 26

L'effort transite par une bielle de compression se développant pour partie dans le béton de la dalle de compression et pour partie, dans le béton de prédalle, dans le cas du rupteur de type I. L'équilibre est assuré à la fois par le tendeur 2-3 parallèle à la ligne d'appui (armatures du chaînage intérieur) et par le tendeur 1-3 (armatures longitudinales du type de panier retenu).

La méthode de calcul est détaillée en Annexe IV. Des graphes ont été élaborés permettant pour les principaux paniers d'armatures utilisés de déterminer la valeur de $V_{Rd,H,max}$ à l'ELS, à l'ELU à l'ELA sous sollicitation sismique, en fonction de l'épaisseur de plancher retenue de 180 à 270 mm.

2.3.7.2. Principes de modélisation

Les principes de modélisation décrits ci-dessous sont utilisables pour toutes vérifications, en toutes zones sismiques et toutes catégories de bâtiment.

2.3.7.2.1. Modélisation sans rupteur

Le procédé ThermoPrédalle SEAC ne modifie ni le comportement global, ni l'intensité des efforts dans l'ouvrage. De ce fait, il est possible d'utiliser les modèles existants avec liaison standard continue pour déterminer les efforts dans les nervures, en réalisant des coupures à 30 cm de l'axe du voile porteur. L'effort dans les nervures correspond à l'intégration des efforts surfaciques des coques le long de ces coupures sur une longueur correspondant à l'entraxe des nervures.

Lorsque la position des nervures n'est pas précisément identifiée, l'intégration sera faite sur la longueur d'entraxe présentant la plus forte concentration d'effort pour la zone de jonction considérée. Cette méthode est conservative, les efforts sont surestimés de l'ordre de 15 % par rapport à la modélisation complète.

Il est aussi possible d'utiliser localement, pour les zones les plus sollicitées, la modélisation des rupteurs comme présenté au chapitre suivant. La modélisation complète doit être réalisée sur la longueur totale du voile et le maillage doit être raffiné conformément aux recommandations de modélisation.

2.3.7.2.2. Modélisation complète

Cette modélisation complète permet d'évaluer plus précisément les efforts dans les nervures. La modélisation d'un bâtiment muni de ThermoPrédalle SEAC, consiste à matérialiser les nervures en béton, au niveau de la liaison voile-plancher ThermoPrédalle SEAC en tenant compte de la raideur en cisaillement horizontal et la raideur en traction/compression :

Généralement, on considèrera les valeurs de raideurs suivantes :

- Raideur en cisaillement : $KV = 1000 \text{ kN / mm}$,
- Raideur en traction :
 - Cas du rupteur type I : $KN = 785 \text{ kN / mm}$;
 - Cas du rupteur type II : $KN = 1178 \text{ kN / mm}$;

Les nervures en béton sont modélisées à l'aide d'éléments filaires de type barre avec les caractéristiques définies ci-avant.

Pour le reste de la structure, à savoir les voiles et les planchers, la modélisation doit être réalisée à l'aide d'éléments surfaciques de type coque. Les principes détaillés de la modélisation sont précisés dans le guide fourni par l'industriel.

Les résultats numériques obtenus sur chaque nervure peuvent être directement pris en compte. Il est également possible de lisser les résultats en moyennant les valeurs :

- Sur trois nervures pour l'effort normal ;
- Sur l'ensemble des liaisons d'un élément de mur pour l'effort de cisaillement.

2.3.7.3. Prise en compte du gradient thermique et du retrait

Les efforts engendrés par le gradient thermique et le retrait dans les façades et les zones courantes de plancher ThermoPrédalle SEAC sont similaires à ceux observés sur le même ouvrage non muni de rupteur thermique.

Les sollicitations induites dans les nervures par le gradient thermique et le retrait, sont traitées au travers de dispositions constructives différenciées selon qu'il s'agisse de voiles en béton armé ou de maçonnerie.

- Cas des voiles en béton armé et des murs en maçonnerie de petits éléments en pierre naturelle ou béton plein : Les dispositions constructives applicables dans le cas des voiles en béton armé sont définies à l'annexe V.
- Cas des murs en maçonnerie de petits éléments autres que ceux définis ci-dessus : Dans le cas d'ouvrages réalisés en maçonnerie, ces dispositions ne sont pas nécessaires. Le type retenu résulte du dimensionnement réalisé sous les efforts liés aux charges verticales, aux sollicitations de contreventement ou aux actions sismiques.

2.3.7.4. Vérification du contreventement des bâtiments

Le Bureau d'études Structures doit vérifier le contreventement du bâtiment dont les planchers sont munis de rupteur ThermoPrédalle SEAC.

Les justifications consistent à déterminer les efforts horizontaux, engendrés par le vent pour chaque direction principale et à chaque niveau de plancher. Ce dernier assure le transfert dans chaque élément de contreventement en façade par l'intermédiaire des nervures en béton.

Le Bureau d'Etudes Structures détermine les éléments de réduction N_{Ed} , V_{EdV} et V_{EdH} dans les nervures en béton et ces efforts sont comparés à la capacité résistante à l'ELU à l'aide des graphes en fonction du type de paniers retenu (Annexe IV).

Les efforts induits par le contreventement de l'ouvrage peuvent être déterminés par l'approche analytique décrite ci-après :

Pour l'effort normal sous l'action du vent :

$$N_{Ed,w} = 1,20 w_i X (h_{sup} + h_{inf})/2$$

Pour l'effort de cisaillement sous l'action du vent :

$$V_{Ed,w} = 1,20 \frac{F_{w,i}}{n_i}$$

Avec :

- w_i la pression (ou la dépression) exercée par le vent sur l'élément de façade i sur lequel s'appuie la nervure ;
- X l'entraxe des nervures
- h_{inf} la hauteur de l'étage inférieur (mesurée d'axe à axe de plancher)
- h_{sup} la hauteur de l'étage supérieur (mesurée d'axe à axe de plancher)
- $F_{w,i}$ l'effort global exercé par le vent⁽¹⁾, sur l'élément de façade i participant au contreventement et sur lequel s'appuie la nervure
- n_i le nombre total de nervures appuyées sur l'élément de façade i

⁽¹⁾ l'effort exercé par le vent sur chaque élément de contreventement parallèlement à son axe est déterminé au prorata des raideurs en tenant compte des excentricités géométriques (cf. annexe VI §1.2).

Commentaire :

Lorsque la jonction est réalisée partiellement avec des bandes pleines, on retiendra pour n_i :

$$n_i = \frac{L_i}{X}$$

Avec : L_i la longueur de l'élément de façade i

2.3.7.5. Vérification sollicitations sismiques

Le Procédé ThermoPrédalle SEAC, en situation sismique, est destiné :

- A tout type de structure référencé à l'article 5.2.2.1 de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale française ;
- A tous les bâtiments réguliers ou non au sens de l'article 5.2.2.2 de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale française ;
- A tous les niveaux de plancher, éventuellement prolongé par un balcon ;
- Lorsque la conception des bâtiments assure à la structure une ductilité limitée (DCL) et moyenne (DCM) ;
- Pour toutes les catégories de bâtiments définies dans l'Arrêté du 22 octobre 2010 quelle que soit la classe de sol ;
- Pour toutes les zones de sismicité en France Métropolitaine.

Lorsque les vérifications en situation sismique s'imposent selon l'Arrêté du 22 octobre 2010, les vérifications sont réalisées suivant les méthodes exposées ci-après. Le coefficient de comportement q retenu pour la détermination des sollicitations est identique à celui adopté pour l'ouvrage sans rupteur thermique en application de la NF EN 1998-1 et son annexe nationale.

Les éléments de réduction N_{Ed} , V_{EdV} et V_{EdH} dans les nervures en béton sont comparés à la capacité résistante à l'ELA à l'aide des graphes en fonction du type de paniers retenu fourni en Annexe IV.

Il est possible d'utiliser soit une modélisation complète de l'ouvrage avec rupteurs, soit une modélisation sans rupteurs (méthode des coupures), soit une méthode forfaitaire pour déterminer les efforts d'origine sismique dans les nervures. Les conditions d'utilisation de ces différentes méthodes sont décrites en Annexe VIII-2.

2.3.7.5.1. Domaine ne nécessitant pas de justification par le calcul

Compte tenu de leur faible niveau de sollicitation au regard de la résistance des nervures ThermoPrédalle SEAC, les ouvrages répondant aux critères définis à l'Annexe VII ne nécessitent pas de justification par le calcul.

2.3.7.5.2. Méthode forfaitaire

Dans les cas où la justification de l'ouvrage ne nécessite pas de réaliser un modèle spatial, la méthode décrite en annexe VI permet d'évaluer de manière sécuritaire les efforts dans les nervures sous l'action sismique. Cette méthode, calée sur des modèles prenant en compte la rigidité des liaisons déterminée par les essais, est spécifique au procédé ThermoPrédalle SEAC. Pour déterminer les sollicitations de manière plus précise, on pourra recourir à la méthode par modélisation.

Note : Cette méthode strictement dédiée au dimensionnement des nervures ne permet pas de réaliser le dimensionnement des éléments de contreventement.

2.3.7.5.3. Méthodes par modélisation

Les méthodes de modélisation aux éléments finis sont décrites au § 2.3.7.2. Elles permettent de déterminer les sollicitations dans les nervures par :

- La méthode des coupures décrite au §2.3.7.2.1 ;
- La modélisation explicite des nervures décrite au § 2.3.7.2.2.

2.3.8. Sécurité incendie

Dans le cas du rupteur de type I, la protection de l'isolant est assurée en sous-face par une épaisseur de béton de 50 mm minimum correspondant à la présence de la prédalle.

Dans le cas du rupteur de type II, pour des planchers nécessitant une résistance au feu supérieure à REI 15, le pain comporte une partie inférieure en PLR d'épaisseur 6 cm (codification C de l'Annexe I-1.1).

Le procédé fait l'objet d'Appréciations de Laboratoire de résistance au Feu (cf. § B) basées sur des essais réalisés en laboratoire et donnant lieu aux classifications suivantes :

- Pour le type I :
 - REI 90 pour des dalles d'épaisseur au moins égale à 200 mm ou pour des dalles d'épaisseur comprise entre 180 mm et 200 mm dont la portée n'excède pas 5m ;
 - REI 60 pour des dalles d'épaisseur comprise entre 180 mm et 200 mm dont la portée n'excède pas 6m ;
- Pour le type II :
 - EI 120 mm pour des dalles d'épaisseur au moins égale à 180 mm.
- Pour l'association de rupteurs de type I et II sur un même plancher :
 - Dans le cas de l'utilisation mixte des rupteurs de type I et de type II, le classement de résistance au feu est celui du type I.

Les justifications, par le calcul en zone courante de plancher, s'effectuent conformément au §11 de la NF P 19-206 (juillet 2021).

Dans les zones comportant des pains d'isolant, au vu des valeurs de températures relevées lors de l'essai au niveau des armatures inférieures et supérieures des paniers d'armatures, dans le béton des nervures ainsi que dans les pains isolants, il n'y a pas lieu de réaliser des justifications particulières de résistance par le calcul.

De plus, la règle de calcul du C+D est satisfaite : cette configuration ne diffère pas d'un plancher dalle pleine réalisé ou non à partir de prédalles industrialisées en béton.

2.3.9. Isolation acoustique

La mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique et du niveau de bruit de choc réalisée par le CSTB permet de dire que la présence des rupteurs thermiques n'induit pas de perte d'isolement direct par rapport à une configuration de plancher avec prédalle sans rupteur.

Par ailleurs, des mesures de l'indice d'affaiblissement vibratoire d'une jonction en T entre façade et le plancher ThermoPrédalle SEAC ont aussi été réalisées au CSTB. Il a ainsi été constaté que la présence des rupteurs thermiques n'affaiblissait pas la jonction pour les transmissions acoustiques. Le calcul montre au contraire une égalité ou voir un plus au niveau des isollements globaux. L'ensemble de ces résultats ont été confortés par des mesures réalisées in situ qui ont montré la conformité aux exigences réglementaires.

Une amélioration peut être apportée soit par des masses additionnelles (carrelages par exemple), soit par des dispositions permettant de considérer que le système ne fonctionne plus comme une simple paroi acoustique (plafonds suspendus par exemple).

2.3.10. Isolation thermique

Le procédé ThermoPrédalle SEAC permet de traiter les ponts thermiques au niveau des jonctions plancher-mur périphérique et plancher-balcon, pour les bâtiments à isolation thermique par l'intérieur. Les calculs d'isolation sont menés conformément aux Règles Th-Bat.

Des valeurs courantes de transmissions linéiques ψ (W/m.K) pour les différentes natures d'isolant sont données en Annexe IX.

En toiture-terrasse, conformément au DTU 20.12, la totalité de l'isolation doit être disposée en partie supérieure du plancher.

2.3.11. Etanchéité de toiture-terrasse

2.3.11.1. Domaine d'emploi

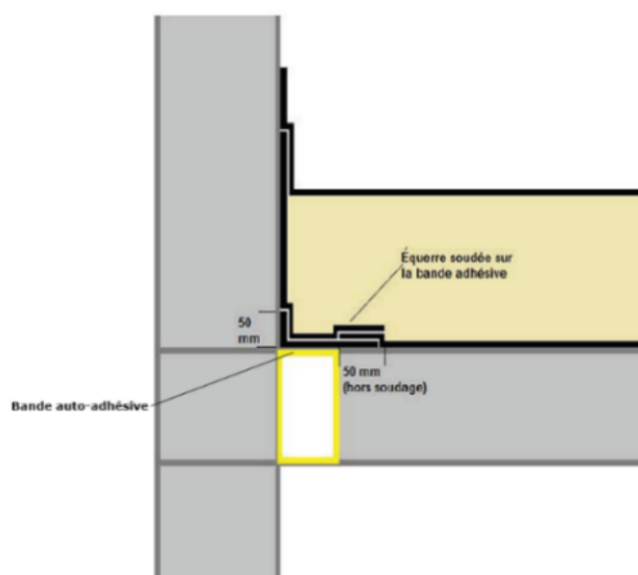
La mise en œuvre et le domaine d'emploi du rupteur de ponts thermiques ThermoPrédalle SEAC sont conformes au CPT 3794 (Février 2018) « Règles de conception des toitures terrasses, balcons et coursives étanchés sur éléments porteurs en maçonnerie munis de procédés de rupteurs de ponts thermiques faisant l'objet d'un Avis Technique »

2.3.11.2. Compatibilité

Les pains d'isolant sont constitués de laine de roche (Pain PLR) ou de perlite expansée fibrée (Pain PB100). Tous ces rupteurs sont susceptibles d'être surmontés d'un capot de protection en plastique (PVC).

	Compatibilité de toute la gamme de rupteurs ThermoPrédalle SEAC à recevoir un pare-vapeur ou un revêtement d'étanchéité	
	Sans capot PVC	Avec capot PVC
Aptes à recevoir un pare-vapeur synthétique en pose libre	Oui	Oui
Apte à recevoir un pare-vapeur ou un revêtement d'étanchéité collé à froid	Oui	Oui
Apte à recevoir un pare-vapeur ou un revêtement bitumineux auto-adhésif	Oui	Oui
Apte à recevoir un pare vapeur ou un revêtement d'étanchéité bitumineux soudé à la flamme	Oui	Oui ⁽¹⁾
Apte à recevoir un pare vapeur collé à l'EAC	Oui	Non
Apte à recevoir un isolant support d'étanchéité à base de verre cellulaire collé à l'EAC.	Oui	Non

⁽¹⁾ L'application directe sur le rupteur n'est pas réputée satisfaisante, quel que soit le matériau composant le corps du rupteur. Dans ce cas, une bande bitumineuse auto-adhésive doit être préalablement mise en œuvre sur le rupteur en débordant de chaque côté d'au moins 50 mm sur l'élément porteur et/ou le relief (cf. Figure 27). La bande est définie dans les DTA des « revêtements d'étanchéité de toitures en bicouche avec première couche auto-adhésive à base de bitume modifié », comme feuille de première couche partie courante. Cette bande n'assure pas le rôle d'équerre de continuité du pare vapeur.



Largeur du rupteur=80mm

Figure 27 - Principe de mise en œuvre de la bande auto-adhésive

Les équerres et les bandes auto-adhésives sont définies dans un DTA de revêtement d'étanchéité.

2.3.11.3. Prescription de mise en œuvre

2.3.11.3.1. Généralités

La mise en œuvre et la composition du revêtement d'étanchéité, du pare-vapeur, de l'équerre de renfort et de la bande autoadhésive est décrite dans l'Avis Technique ou Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité, dans les DTU série 43, complété par les prescriptions du CPT 3794 (Février 2018) Règles de conception des toitures-terrasses.

La mise en œuvre des panneaux isolants est décrite dans l'Avis Technique ou le Document Technique d'Application du panneau isolant.

L'équerre préalable sur le pare-vapeur est mise en œuvre de telle sorte que son retour horizontal présente un débord d'au moins 6 cm au-delà du rupteur (voir Annexe III-2).

Chaque pain est enveloppé d'un film polyoléfine rétractable pour être protégé lors du coulage de la dalle de compression et des intempéries durant le chantier avant la mise hors d'eau

2.3.11.3.2. Enduit d'imprégnation à froid

Lorsqu'il est nécessaire d'appliquer sur le support un Enduit d'Imprégnation à Froid, ce dernier est mis en œuvre en partie courante de la toiture sans recouvrir le rupteur thermique. Dans le cas d'Enduit d'Imprégnation à Froid contenant des solvants, les rupteurs doivent être protégés par du ruban adhésif, qui est défini dans un DTA de revêtement d'étanchéité.

2.3.11.3.3. Fixation mécanique en partie courante de toiture

Lorsque les revêtements d'étanchéité et/ou les panneaux isolants sont fixés mécaniquement, les fixations sont éloignées d'au moins 5 cm minimum du bord du rupteur sans excéder une distance de 20 cm par rapport à l'acrotère. Tout en respectant les distances au bord préconisées pour ces fixations.

2.3.11.3.4. Fixation mécanique en périphérie de toiture

Dans le cas de relevés synthétiques, la fixation du revêtement en périphérie de la toiture est réalisée dans le relief. La bande de liaison du pare-vapeur au support est positionnée au côté du rupteur.

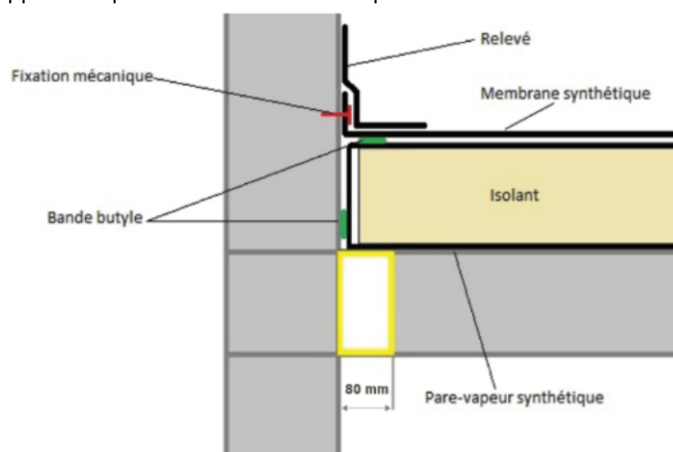


Figure 28 - Position des bandes de liaison du pare-vapeur au support

2.3.11.3.5. Bande auto-adhésive, équerre et pare-vapeur

La bande auto-adhésive, qui est définie dans un DTA de revêtement d'étanchéité, est mise en œuvre sur le rupteur et reçoit une équerre de continuité du pare-vapeur soudée.

2.3.11.3.6. Dalles sur plots

- Pains PLR : Les plots de rive ne se situent pas au-dessus des rupteurs. Un système de porte-dalle bénéficiant d'un Avis Technique sera mis en œuvre ;
- Pain PB100 : aucune disposition particulière n'est à prévoir concernant la mise en œuvre des dalles sur plots en tant que protection lourde d'étanchéité.

2.3.11.3.7. Réservations

Les réservations dans le béton (évacuation d'eau pluviale, trop-plein, conduit de cheminée, ventilation mécanique, etc.) sont réalisées par le lot gros œuvre en prévoyant que le rupteur ne peut recevoir de fixation mécanique pour fixer les manchons/platines métalliques. Celles-ci sont espacées du rupteur de 50 mm au minimum.

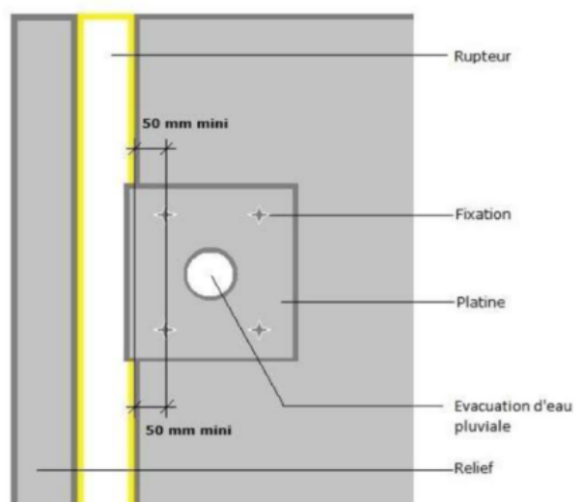


Figure 29 - Réserve avec rupteur continu posé en plancher

2.4. Dispositions de mise en œuvre

Les prédalles munies de rupteurs représentent tout ou partie de l'ensemble des prédalles du plancher. La mise en œuvre des prédalles munies de rupteurs est identique à celle de prédalles industrialisées courantes. Elle est réalisée conformément à la NF DTU 23.4 P1-1 (juillet 2021).

Les plans de préconisation de pose sont établis par le Bureau d'Etudes de l'industriel. Ils comportent les éléments nécessaires à la mise en œuvre des prédalles, ainsi que la définition des armatures complémentaires nécessaires pour la réalisation du plancher.

Sur demande, les équipes commerciales et techniques de l'industriel peuvent assister les bureaux d'études d'exécution et les entreprises, de la prescription jusqu'à la mise en œuvre sur chantier.

2.4.1. Livraison & réception des prédalles

La livraison des prédalles est préalablement planifiée avec l'entreprise.

La réception des prédalles sur chantier, doit s'effectuer conformément à la NF DTU 23.4 P1-1 (juillet 2021). Les pains isolants, lorsqu'ils sont livrés séparément, sont conditionnés avec leurs dispositifs de maintien (sandows) dans des boîtes cartonnées. Ils doivent être stockés à l'abri des intempéries.

2.4.2. Manutention & stockage des prédalles

Les indications portées sur le plan de préconisation de pose, vis à vis de la manutention et du stockage éventuel sur chantier des prédalles, conformément au § 5.3 de la section P1-1 et au §4.2 de la section P1-2 du NF DTU 23.4 de juillet 2021, doivent être respectées.

Le matériel de manutention, à savoir élingues, crochets de levage et palonnier, vérifié par l'entreprise, doit être conforme aux normes en vigueur et aux indications de pose portées sur les plans de l'industriel.

En cas de stockage sur chantier, les dispositions doivent être prises pour éviter la détérioration des paniers d'armature et des pains d'isolant. Le système de calage doit en outre respecter les prescriptions § 5.3 de la section P1-1 du NF DTU 23.4 (juillet 2021).

2.4.3. Pose des prédalles

La réception des supports doit être effectuée par l'entreprise avant la pose des prédalles conformément § 5.3 de la section P1-1 du NF DTU 23.4 (juillet 2021). Pour les prédalles munies de rupteurs, elle doit vérifier l'absence de tout obstacle pouvant gêner la mise en place des armatures dépassantes des paniers.

En l'absence de dispositions particulières adoptées par l'entreprise de pose, les prédalles comportant des rupteurs sur la rive non porteuse doivent être posées en premier lieu, avant la prédalle adjacente, ceci afin de garantir le bon positionnement des pains. Les prédalles munies de rupteurs sont posées côte à côte, jointivement et toujours sur les files d'étais placées en général parallèlement aux lignes d'appui.

Le positionnement des prédalles comportant des rupteurs sur la rive porteuse est effectué de manière à respecter les conditions d'appui côté rupteur. Si les conditions de repos sur l'appui opposé ne sont pas vérifiées, il peut s'avérer nécessaire de disposer une lisse d'appui.

Dans le cas du rupteur de type I, la profondeur d'appui de la prédalle sur le mur (cf. Figure 2) est définie sur le plan de préconisation de pose. Dans le cas du rupteur de type II, la prédalle est disposée de telle sorte que le pain d'isolant s'aligne au nu intérieur du mur (cf. Figure 16).

Par un contrôle visuel, l'entreprise doit s'assurer du bon alignement des pains d'isolant le long de la ligne d'appui et vérifier qu'ils n'empiètent pas sur le support de plus de :

- 5 mm dans le chaînage horizontal, dans le cas de mur réalisé en maçonnerie,

- 1/15^{ème} de l'épaisseur du support dans le chaînage horizontal pour les murs réalisés en béton armé.

Lorsqu'il est constaté sur le chantier, pour certaines prédalles, que les prescriptions d'appui minimal définies sur les plans de préconisation de pose ne sont pas respectées, l'entreprise doit procéder sans délai à la mise en place d'une lisse d'appui et prendre contact avec le bureau d'études de l'industriel.

Les dispositions prévues au § 6.5 du NF DTU 23.4 P1-1 (juillet 2021) doivent être retenues.

2.4.4. Armatures complémentaires en zone courante

Les armatures complémentaires en zone courante des prédalles sont précisées sur les plans de préconisation de pose établis par l'industriel et concernent :

- Les armatures sur joints,
- Les renforts sur prédalles, lorsque cela est nécessaire, qui concernent notamment :
 - Les armatures longitudinales,
 - Les armatures de répartition,
 - Les renforts de trémies avec ou sans chevêtre ...
- Les armatures supérieures sur appuis.

La mise en place de ces armatures ne diffère pas par rapport aux armatures mises en place sur des prédalles industrialisées courantes.

2.4.5. Armatures du chaînage intérieur

Un chaînage est disposé sur prédalle, côté intérieur, en bordure des pains d'isolant sur toute la périphérie du bâtiment. Il est communément appelé « chaînage intérieur ».

Ce chaînage est constitué d'armatures filantes sans cadre, disposées à l'intérieur des paniers d'armatures, convenablement ancrées au droit des appuis dans le chaînage horizontal périphérique. La section d'armatures longitudinales du chaînage intérieur respecte les dispositions minimales définies pour les chaînages horizontaux périphériques.

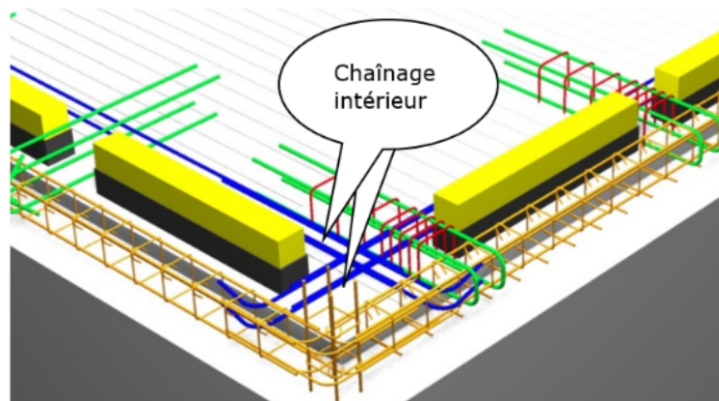


Figure 30

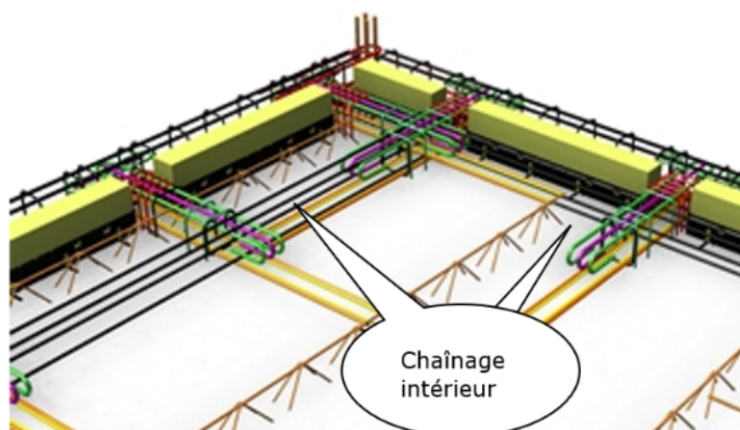


Figure 31

2.4.6. Armatures disposées sur l'about porteur de prédalles munies de rupteurs

Les armatures de liaison chaînage sont intégrées aux paniers de Type A ou Type B, aucune armature complémentaire n'est à ajouter sur l'appui en about de la prédalle. Pour les paniers de Type B, un réglage horizontal de la position des armatures de liaison avec le chaînage est nécessaire.

2.4.7. Armatures disposées en rive non porteuse de plancher

Les prédalles munies de pains d'isolant en rive non porteuse comportent, soit :

- Des paniers d'armatures de type A, B, D, F et H intégrés dans la prédalle,
- Des paniers de type C, réalisés et mis en place sur chantier dans les nervures béton entre les pains d'isolant et disposés comme préconisé en Annexe I-2.7.3.

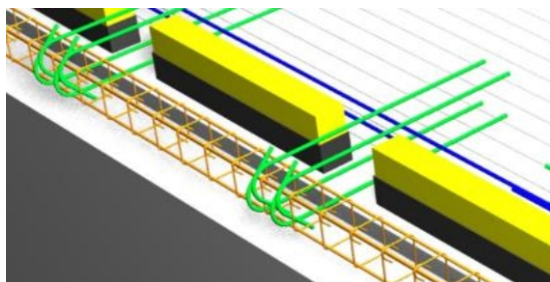


Figure 32

- Des paniers de type E et G, préfabriqués et mis en place sur chantier dans les nervures béton entre les pains d'isolant et disposés comme préconisé en Annexe I-3.2.

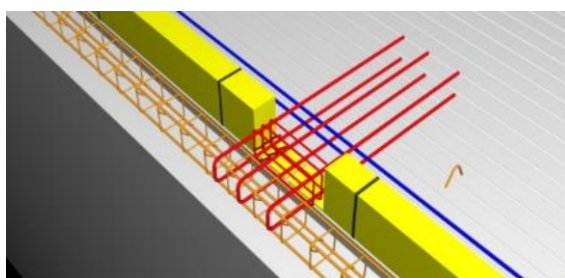


Figure 33

2.4.8. Passage de gaines et canalisations

En zone courante de plancher, l'incorporation de gaines et de canalisations est possible. Elle doit respecter les dispositions retenues au § 5.5.2.3 d NF DTU 23.4 P1-1 (juillet 2021).

Ces incorporations ne doivent en aucun cas être disposées dans les nervures en béton.

2.4.9. Mise en place du chaînage horizontal périphérique

A la jonction plancher murs périphériques, un chaînage horizontal est disposé conformément à la réglementation en vigueur ou aux règles de l'art.

2.4.10. Mise en place des pains d'isolant

2.4.10.1. Rupteur de type I

Les pains isolants sont disposés dans les boîtes polymère, soit en usine, soit sur chantier.

Dans ce dernier cas, leur mise en place s'effectue après positionnement de toutes les armatures complémentaires et avant le bétonnage de la dalle collaborante rapportée. L'entreprise doit mettre en place les pains dans les boîtes polymère et les maintenir à l'aide de sandows pour assurer leur maintien lors du bétonnage. Le pain d'isolant est positionné conformément à l'indication portée sur l'étiquette collée sur le pain. Les sandows de maintien sont livrés dans les cartons de pains d'isolant. Différentes longueurs de sandows adaptées à la hauteur des pains, ont été retenues pour éviter des déformations excessives.

2.4.10.2. Rupteur de type II

Les pains isolants associés à leur support sont disposés, soit en usine, soit sur chantier.

Dans ce dernier cas, leur mise en place s'effectue avant positionnement des armatures complémentaires. L'entreprise doit fixer par clipsage les pains sur l'insert disposé en rive de prédalle.

Pour renforcer leur tenue durant les phases de chantier, une lisse de maintien est disposée sous les pains le long du mur extérieur.

2.4.11. Bétonnage de la dalle collaborante rapportée

Le bétonnage de la dalle collaborante rapportée dans le cas de prédalles munies de rupteurs est similaire à celui d'un plancher à prédalles industrialisées courantes. L'entreprise doit se référer au § 5.5.2 du NF DTU 23.4 P1-1 (juillet 2021).

Un soin particulier doit être apporté :

- À la distribution équilibrée du béton de chaque côté des pains,
- Au bétonnage et à la vibration du béton des nervures dans les zones de forte densité d'armatures. Le diamètre des vibreurs utilisé ne doit pas excéder 50 mm,

- Au dressage et au surfacage dans les zones de présence des pains d'isolant.

2.4.12. Enlèvement des étais du plancher après coulage

L'entreprise doit se référer au § 5.4.5 du NF DTU 23.4 P1-1 (juillet 2021) vis-à-vis des phases de désétalement et de l'exploitation du plancher en phase de chantier.

2.4.13. Prescriptions particulières dans le cas des balcons préfabriqués

L'utilisation de balcons préfabriqués est envisageable en vis-à-vis de rupteurs de type I, le principe de dimensionnement restant identique à celui défini au §2.3.6.2.

Le mode de pose doit être défini lors de la préparation du chantier de façon à déterminer l'espace d'appui et le repos nominal, ce dernier ne pouvant être inférieur à 20 mm. Lorsque l'état de surface d'appui est surfacé au sens de la norme NF DTU 21, la pose du balcon préfabriqué est réalisée à sec.

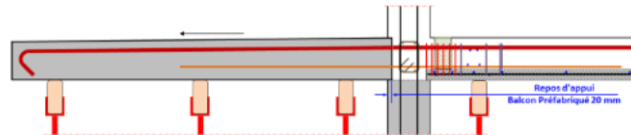


Figure 34

Dans le cas contraire, elle doit être réalisée soit à bain de mortier, soit sur lisse de rive. Dans le cas de pose sur voile, en l'absence de précautions particulières, la pose sera effectuée avec une lisse de rive. Le voile sera arasé 20 mm en dessous du niveau inférieur du balcon pour assurer un bétonnage correct en sous-face de balcon.

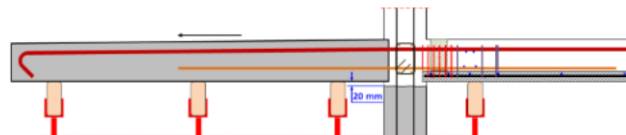
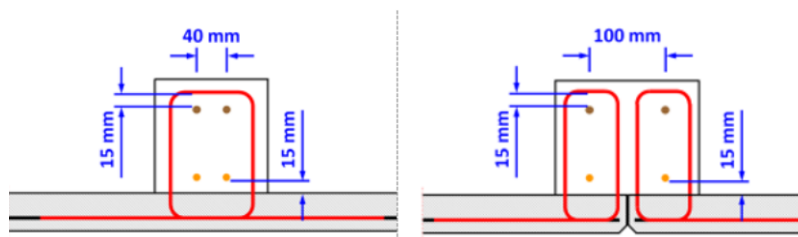


Figure 35

La conception et le dimensionnement sont à la charge du bureau d'études structures. L'industriel fournira l'implantation des armatures en attente du balcon en tenant compte principalement du passage des armatures longitudinales de contrebalancement dans les paniers d'armatures des nervures de la ThermoPrédalle SEAC. Cette solution nécessite la prise en compte de tolérances d'exécution réduites précisées sur les figures suivantes dans le cas de paniers courants et de paniers d'extrémité pour assurer la mise en place des armatures longitudinales dans le volume des paniers, compte tenu des jeux de pose. Ces dispositions doivent être convenues, lors de la conception, avec le fournisseur de balcon.



Exemples de dispositions vis à vis des tolérances à prendre en compte

Figure 36

Note : Compte tenu de ce mode d'exécution, la section maximale d'armature envisageable peut limiter la performance du balcon par rapport à une solution coulée en place ou réalisée à partir de prédalle.

2.4.14. Fixation des menuiseries posées en applique intérieure

La fixation des menuiseries posées en applique intérieure sera effectuée par le biais de fixations déportées en partie arrière du dormant conformément aux préconisations du DTU 36.5 P1-1, chapitre 5.2. Dans cette configuration, la fixation se trouve en zone courante du plancher et peut donc être réalisée de manière traditionnelle.

2.4.15. Finitions

2.4.15.1. Sols

Tous les types de revêtements de sol peuvent être appliqués.

2.4.15.2. Plafonds

La nature de la sous-face du plancher ThermoPrédalle SEAC est identique à la sous-face d'un plancher béton à dalle pleine coulée sur prédalles. La finition du plancher ne présente pas de singularité du fait de la présence du « Rupteur ThermoPrédalle SEAC ».

2.4.15.3. Doublages

Doublages collés

La mise en œuvre des doublages est réalisée conformément à la NF DTU 25.42 P1-1.

Doublages sur ossature

Le système de doublage sur ossatures est mis en œuvre conformément à la NF DTU 25.41 P-1-1.

2.5. Fourniture et assistance technique.

Les éléments d'information décrits au chapitre 3 de la NF P 19-206 (juillet 2021) doivent être fournis au bureau d'études chargé du dimensionnement du plancher ThermoPrédalle SEAC.

Lorsque la méthode forfaitaire (cf. § 2.3.7.5.2), ou le domaine sans calcul (cf. § 2.3.7.5.1), permet de vérifier la résistance des nervures, la justification est réalisée par le bureau d'études de l'industriel. Lorsqu'une modélisation s'avère nécessaire du fait de la nature de l'ouvrage ou de la non vérification de résistance par la méthode forfaitaire, cette modélisation est réalisée par le bureau d'études structures suivant une des méthodes telles que décrites au § 2.3.7.2. L'industriel met à disposition un guide de modélisation précisant les règles à appliquer. Le bureau d'études structures détermine les éléments de réduction N_{Ed} , V_{Ed} et V_{EdH} qui seront comparés aux graphes donnés en annexe IV.

Pour chaque situation de projet nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié avec la réalisation d'une modélisation complète selon le §2.3.7.2.2, le titulaire a la responsabilité de s'assurer que la modélisation numérique effectuée par le bureau d'étude structure est réalisée en conformité avec le guide de modélisation mis à disposition par le titulaire.

Le logigramme de l'annexe VIII illustre les étapes de calcul et les méthodologies de dimensionnement du procédé ThermoPrédalle SEAC.

L'entreprise communique par ailleurs les informations relatives à l'approvisionnement des prédalles (cf. chapitre 4 du NF DTU 23.4 P1-2 (juillet 2021)).

Le bureau d'études de l'industriel chargé du dimensionnement du plancher établit un plan de préconisation de pose conforme aux prescriptions du chapitre 5.2 du NF DTU 23.4 P1-2 (juillet 2021). Ce plan comporte le repérage et l'identification des paniers.

La coordination avec les autres intervenants est décrite au chapitre 4 du NF DTU 23.4 P3 (juillet 2021).

Le fournisseur de prédalles peut apporter son assistance technique en cas de demande de l'entreprise.

Pour chaque projet, les zones devant comporter des rupteurs devront être identifiées. Le titulaire établit un plan de préconisation de pose faisant apparaître les rupteurs. Ce plan est soumis à la validation de l'entreprise avant fabrication.

2.6. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.6.1. Fabrication des prédalles pour plancher ThermoPrédalle SEAC

2.6.1.1. Prédalles en béton armé

La fabrication des prédalles est effectuée sur une ligne de production sur laquelle on effectue les opérations de nettoyage, de traçage, de mise en place des armatures et des paniers, du bétonnage, de mise en place des boîtes polymère, de l'étuvage et du démoulage.

Les armatures longitudinales (armatures de flexion) ainsi que les treillis raidisseurs sont découpés et mis en place en fond de coffrage sur des positionneurs métalliques avec cales plastiques préalablement disposés.

Les paniers d'armatures sont mis en place sur cales plastiques en fond de coffrage ou sur des positionneurs avec cales plastiques selon les fiches de fabrication établies par le bureau d'études de l'industriel.

Les armatures de répartition sont mises en place conformément au plan de chaque prédalle.

D'autres modes de fabrication peuvent également être envisageables.

Les boîtes en polymère sont mises en place manuellement dans le béton frais. L'altitude et le positionnement des boîtes, en about ou en rive de prédalle, sont assurés par des pieds de profondeur et par des butées latérales intégrées à la boîte.

Après bétonnage, un griffage mécanique est effectué pour assurer la rugosité en surface de prédalle.

Les pains d'isolant peuvent être intégrés dans les boîtes polymères à la fabrication ou livrés séparément et mis en œuvre sur chantier.

2.6.1.2. Prédalles en béton précontraint

La fabrication est effectuée sur des bancs de grande longueur suivant les méthodes classiques de production : nettoyage, traçage, mise en place des armatures de précontrainte puis des paniers.

Les paniers sont positionnés sur les armatures de précontrainte ou mis en place sur des cales plastiques. Leur position est définie à partir des fiches de fabrication.

La mise en place des boîtes, réalisée manuellement, peut intervenir avant ou après bétonnage. L'altitude et le positionnement, en about de prédalle, sont assurés par des pieds de profondeur et par des butées latérales intégrés à la boîte. Un griffage mécanique sur béton frais est effectué pour assurer la rugosité en surface de prédalle.

Les pains d'isolant peuvent être intégrés dans les boîtes polymères à la fabrication ou livrés séparément et mis en œuvre sur chantier.

2.6.2. Contrôles et traçabilité

L'industriel livre l'ensemble des constituants du procédé et garantit leur conformité au présent dossier technique.

2.6.2.1. Contrôle des paniers d'armature

Les tolérances dimensionnelles sont celles de la norme NF A 35-027 Produits en acier pour béton armé - Armature à l'exception des tolérances suivantes :

Tolérances dimensionnelles pour les paniers de type A :

- Armatures transversales : largeur/hauteur : +/- 2 mm
- Espacement entre armatures transversales : +/- 2 mm
- Armatures de liaison chaînage : largeur : + 0 mm, - 5 mm

Tolérances dimensionnelles pour les paniers de type B :

- Armatures transversales : largeur/hauteur : + 0 mm, - 5 mm
- Espacement entre armatures transversales : +/- 5 mm
- Armatures de liaison chaînage : hauteur : + 0 mm, - 5 mm

Tolérances dimensionnelles pour les paniers de type D :

- Armatures de liaison chaînage : hauteur : + 0 mm, - 5 mm

Tolérances dimensionnelles pour les paniers de type E à H :

- Armatures transversales : largeur/hauteur : + 0 mm, - 5 mm
- Espacement entre armatures transversales : +/- 5 mm
- Armatures de liaison chaînage : hauteur : + 0 mm, - 5 mm

2.6.2.2. Contrôles des prédalles

Les contrôles de la fabrication des prédalles sont effectués selon le référentiel de la certification NF. En complément des contrôles réalisés sur les prédalles courantes, un contrôle visuel portant sur les points suivants sera effectué.

Avant bétonnage :

- Type de panier, hauteur, nombre d'armatures,
- Nombre et position des paniers ;
- Nombre, longueur et position des dispositifs de maintien des pains isolants ;
- Enrobage des paniers par rapport à ces dispositifs.

Après bétonnage :

- Bétonnage correct de la zone autour des dispositifs de maintien ;
- Positionnement correct des dispositifs de maintien et des paniers ;
- Type, hauteur et fixation des pains (dans le cas où les pains sont intégrés en usine).

2.6.3. Traçabilité des Pains d'isolant

Les contrôles du matériau isolant et la traçabilité sont réalisés à chaque étape pour garantir la performance thermique du procédé.

2.6.3.1. Au niveau du producteur des panneaux :

- Laine de roche PLR et Perlite expansée PB100 :
 - Attestation de la conformité pour le marquage CE pour les isolants faisant l'objet d'une norme produit,
 - Certificat ACERMI

2.6.3.2. Au niveau de l'atelier chargé de la découpe et du conditionnement des pains :

La fabrication des pains est faite en atelier spécialisé sous le contrôle du titulaire.

- A la réception des panneaux isolants, la conservation des bons de livraisons,
- Lors de la découpe des pains, un contrôle du dimensionnel est effectué (1 pain sur 100). La tolérance de coupe est de ± 2 mm. Les contrôles sont réalisés en référence aux normes NF EN 13162+A1 ou NF EN 13169+A1, suivant la nature de l'isolant,
- Archivage des fiches de production,
- Lors de la mise en place des pains dans les cartons : étiquetage de chaque carton avec informations des dimensions des pains, la conductivité thermique, la densité ainsi que le classement à la réaction au feu (Euroclasse).

2.6.3.3. Au niveau du titulaire

- Réception dans chaque usine des palettes de cartons de pains : conservation et archivage des bons de livraison.
- Dans le cas où les pains d'isolant sont intégrés en usine, la date de mise en service du lot est reportée sur le bon de livraison.

2.6.3.4. Au niveau de l'entreprise

- Conservation des bons de livraison des cartons de pains d'isolant dans le cas où les pains d'isolant sont mis en œuvre sur chantier.

2.7. Mention des justificatifs

2.7.1. Résultats expérimentaux

Structure

- Appréciation Technique d'Expérimentation de type A n° 2145 du 08 janvier 2015
- Rapport d'essais CSTB n° MRF 13 26047102 / A : Essais de caractérisation de la liaison plancher-mur du procédé ThermoPrédalle soumise à des sollicitations de cisaillement et d'effort normal – Paniers de type A (courant)
- Rapport d'essais CSTB n° MRF 13 26047102 / B: Essais de caractérisation de la liaison plancher-mur du procédé ThermoPrédalle soumise à des sollicitations de cisaillement et d'effort normal – Paniers de type A (extrémité)
- Rapport d'essais CSTB n° MRF 13 26047102 / C: Essais de caractérisation de la liaison plancher-mur du procédé ThermoPrédalle soumise à des sollicitations de cisaillement et d'effort normal – Paniers de type B
- Rapport d'essais CSTB n° MRF 13 26047102 / D: Essais de caractérisation de la liaison plancher-mur du procédé ThermoPrédalle soumise à des sollicitations de cisaillement et d'effort normal – Paniers de type C

Feu

Les rapports d'essais et appréciations de laboratoire disponibles sont listés dans le tableau ci-dessous.

Essai	Appréciation de laboratoire associée	Equivalent de classement feu
Rapport d'essais N° RS08-013 concernant la résistance au feu d'un élément de construction. CSTB du 15 septembre 2008.	Appréciation de laboratoire au feu établie par le CSTB n° RS13-094 du 3 avril 2014 Appréciation de laboratoire au feu établie par le CSTB n° AL18-229 du 30 août 2018 ;	L'AL 19-261_V2 intègre les conclusions des documents RS13-094, AL 18-229 et AL 18-245.
Rapport d'essais N° RS11-062 concernant la résistance au feu d'un élément de construction. CSTB d'octobre 2011.	Appréciation de laboratoire au feu établie par le CSTB n° AL18-245 du 12 décembre 2018 ;	
NA	Appréciation de laboratoire au feu établie par le CSTB n° AL19-261_V2 du 15 novembre 2024 Note : Le procédé vise l'utilisation en toiture terrasse. Pour les rupteurs de type II, le pain isolant doit être composé d'une bande de 6 cm de laine de roche en partie inférieure, surmontée d'un isolant de type PB100 ou en laine de roche.	Les conclusions de l'AL 19-261_V2 sont précisées au §1.2.1.2.

Thermique

- Rapport de validation des valeurs de ponts thermiques du CSTB (avril 2017) : DEIS/HTO-2017-050-FL/LB.
- Rapport de validation des valeurs de ponts thermiques du CSTB (29 novembre 2018) : DEIS/HTO-2018-118-FL/LB

Acoustique

- Rapport d'essais N° AC08-26012, Mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique et du niveau de bruit de choc du plancher ThermoPrédalle SEAC CSTB, avril 2008 ;
- Rapport d'essais N°14-01, Extension des résultats de l'indice d'affaiblissement acoustique de la ThermoPrédalle pour le pain isolants PB100 du 11 Août 2014 ;
- Rapport d'étude CSTB réf. DSC/2015-163/PD/GC ;
- Rapport d'essais de mesures acoustiques dans des logements collectifs à Donges, n°8054-F281 du 26 janvier 2017 ;
- Rapport d'essais de mesures acoustiques dans des logements collectifs à Notre de Dame de Gravenchon, n°9060 du 14 février 2017 ;
- Rapport d'essais de mesures acoustiques dans des logements collectifs à Montpellier, n°16088M1 du 04 novembre 2016 ;

- Rapport d'essais de mesures acoustiques dans des logements collectifs à Ploufragan, n°16195300-1 du 25 novembre 2016 ;
- Rapport d'essais de mesures acoustiques dans le Foyer La Chrysalide à Tallard, affaire n°17050 du 1 août 2017 ;
- Courrier CSTB JBC/VG 16-177 du 13 juillet 2016, Performances Acoustiques d'un plancher à prédalles BA et BP identiques à un plancher coulé en place ;
- Courrier CSTB JBC/VG 16-215 du 04 novembre 2016, Performances Acoustiques d'un plancher ThermoPrédalle identiques à un plancher dalle pleine.
- Courrier CSTB DSC/2017-059/PD/BG du 18 mai 2017, Performances Acoustiques d'un plancher ThermoPrédalle avec rupteur longitudinal identiques à un plancher dalle pleine.

Toiture-Terrasse

- Rapport d'essais de compressibilité du pain isolant PB100 n° CLC-ETA-13-26045832 du 30 septembre 2014 ;
- Rapport d'étude des essais de pelage du pare-vapeur avec pain isolant PB100 n° DIR/HTO-EVAL/TOI-2014/01 du 01 décembre 2014.

2.7.2. Références chantiers

Date réception	Lieu	Chantier
2013	Prignonrieux	Salle des fêtes
2015	Fabrègues	Logements R+2
2016	Nîmes	Logements R+4
2016	Quimper	Cabinet dentaire R+3
2018	Tain l'Hermitage	Logements R+5
2018	Montpellier	Logements R+1
2018	Pibrac	Logements R+1
2018	Sète	Conservatoire de musique R+1
2022	Lormont	Lissandre Côté Garonne
2022	Brignoles	Groupe Scolaire La Tour
2023	La Rochelle	Bureau Mediatim
2023	Muret	Clinique Occitanie

Annexe I – Description des éléments

I-1. Codification

Le tableau donné au I-1.1 présente le principe de la codification type rupteur, code isolant, code nervure, code entraxe.

Le tableau I-1.2 précise la liste exhaustive des solutions de nervures et des ferrillages.

L'exemple donné au I-1.3 illustre l'application de cette codification à un cas particulier.

I-1.1. Principe de la codification proposée :

Type de rupteur	I	Voir chapitre 2.2.3.3 du Dossier Technique
	II	Voir chapitre 2.2.3.4 du Dossier Technique
Code isolant	A	PLR
	B	PB100
	C	PB100 + PLR (sur 6 cm en partie inférieure)
Code nervure ferrillage/largeur (Voir tableau suivant)	Ax...	Nervure armée d'un panier de type A, avec ferrillage x
	Bx...	Nervure armée d'un panier de type B, avec ferrillage x
	Cx...	Nervure armée d'un panier de type C, avec ferrillage x
	Dx...	Nervure armée d'un panier de type D, avec ferrillage x
Code entraxe	83	Entraxe moyen des nervures [cm].

I-1.2. Définition des dimensions de nervures et ferrillages

Codification		Type de rupteur	Dimension transversale de la nervure (largeur)	Ferrillage longitudinal
A	A1	I	Extérieure : 2*95 mm – Centrale : 150 mm	Extérieure : 4 HA6 – Centrale : 4 HA10
	A2	I	Extérieure : 2*95 mm – Centrale : 150 mm	Extérieure : 4 HA8 – Centrale : 4 HA10+ 3 HA8
B	B1	I	158 mm (2400 mm) / 162 mm (2510 mm)	4 HA10
	B2	I	158 mm (2400 mm) / 162 mm (2510 mm)	6 HA10
C	C1	I	150 mm	4 HA10
	C2	I	150 mm	6 HA10
D	D1	I	150 mm	4 HA10
	D2	I	150 mm	6 HA10
E	E1	II	280 mm	4 HA8
	E2	II	280 mm	6 HA8
	E3	II	280 mm	4 HA10
	E4	II	280 mm	6 HA10
F	F1	II	280 mm	4 HA8
	F2	II	280 mm	6 HA8
	F3	II	280 mm	4 HA10
	F4	II	280 mm	6 HA10
G	G1	II	560 mm	8 HA8
	G2	II	560 mm	12 HA8
	G3	II	560 mm	8 HA10
	G4	II	560 mm	12 HA10
H	H1	II	560 mm	8 HA8
	H2	II	560 mm	12 HA8
	H3	II	560 mm	8 HA10
	H4	II	560 mm	12 HA10

I-2. Rupteurs de type I

I-2.1. Boîtes polymère

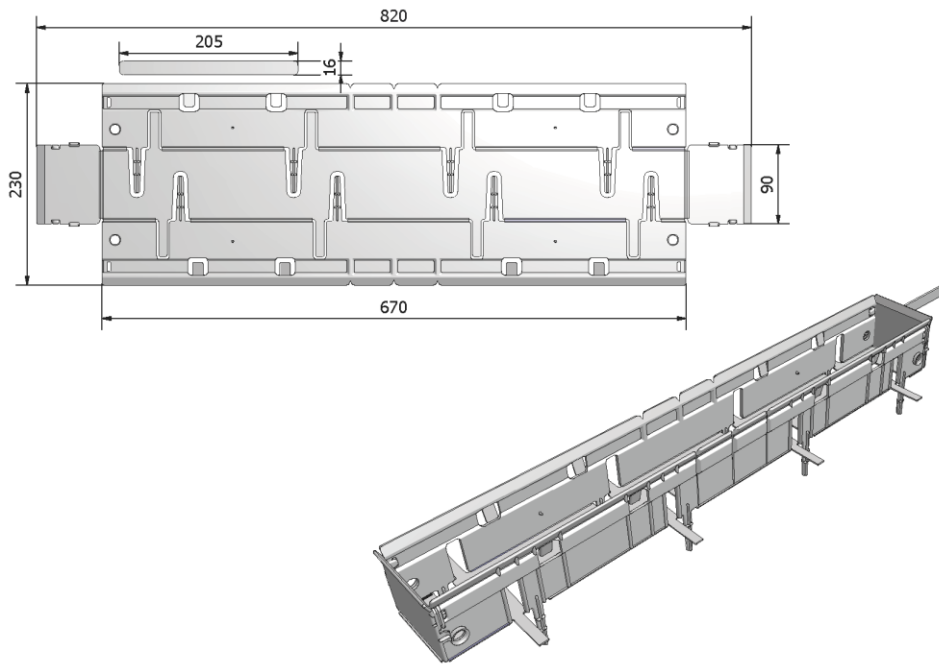


Figure I.1

- ① clips de fixation de l'isolant
- ② butée pour la nervure béton
- ③ pieds de profondeur
- ④ système sécable
- ⑤ butée d'about

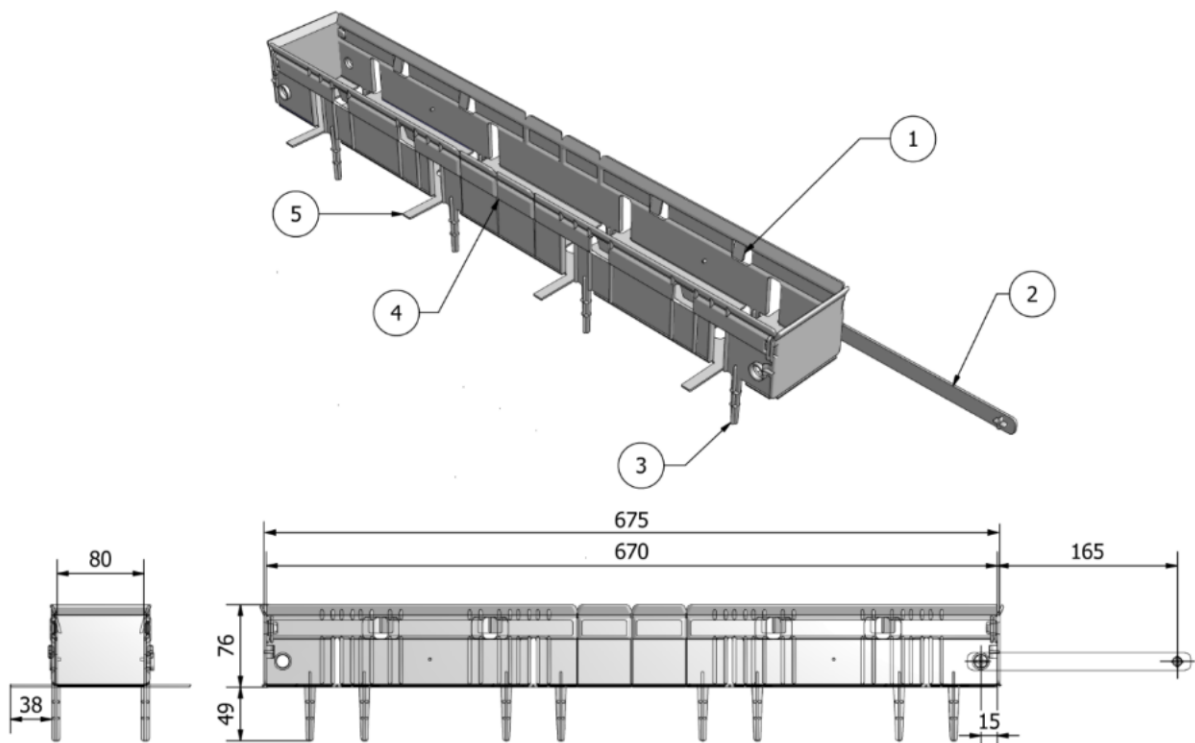
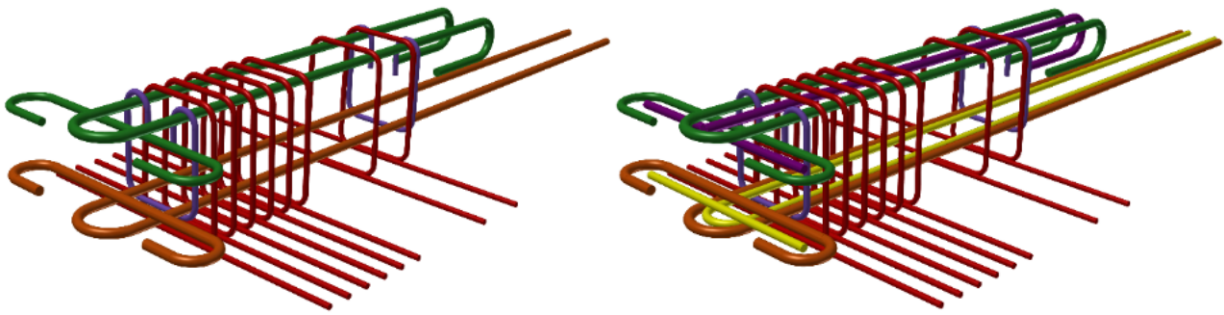


Figure I.2

I-2.2. Paniers Type A

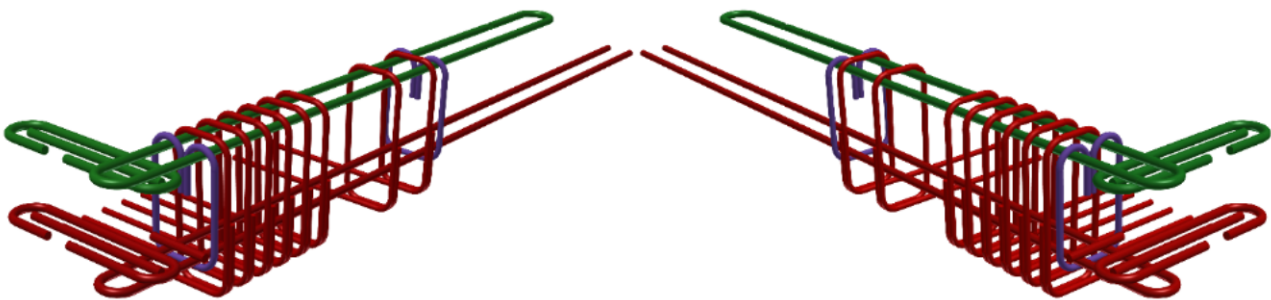
I-2.2.1 Panier courant



Panier standard Panier renforcé

Figure I.3

I-2.2.2 Panier d'extrémité



Panier de gauche PEG Panier de droite PED

Figure I.4

I-2.2.3 Détail des armatures du panier courant

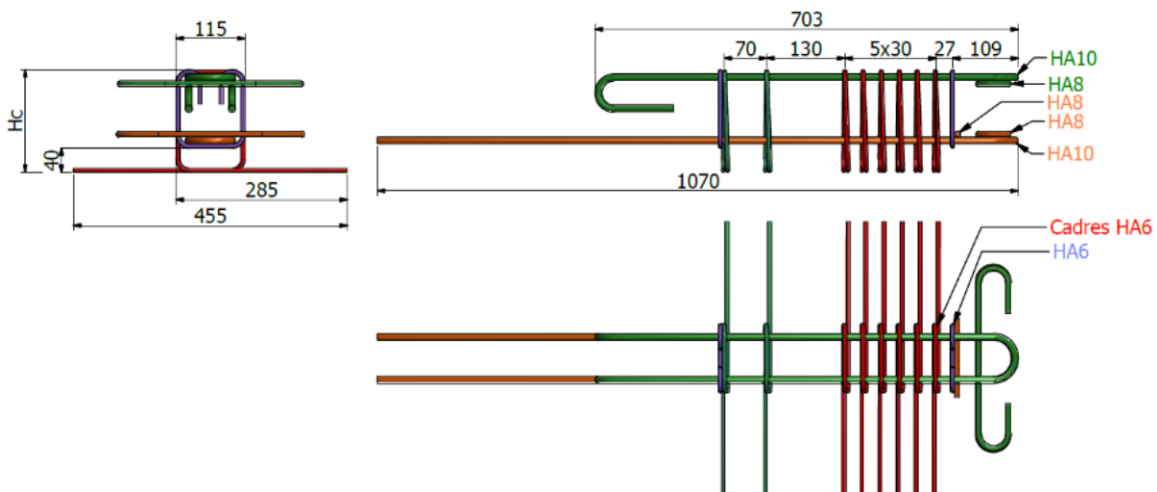


Figure I.5 - Panier courant standard

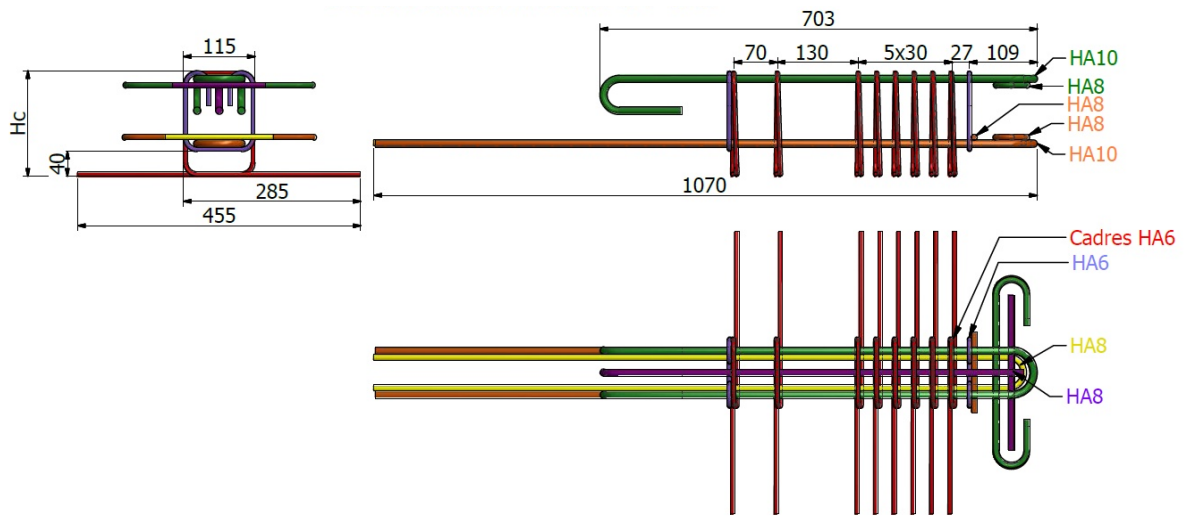


Figure I.6 - Panier courant renforcé

I-2.2.4 Détail des armatures du panier d'extrémité

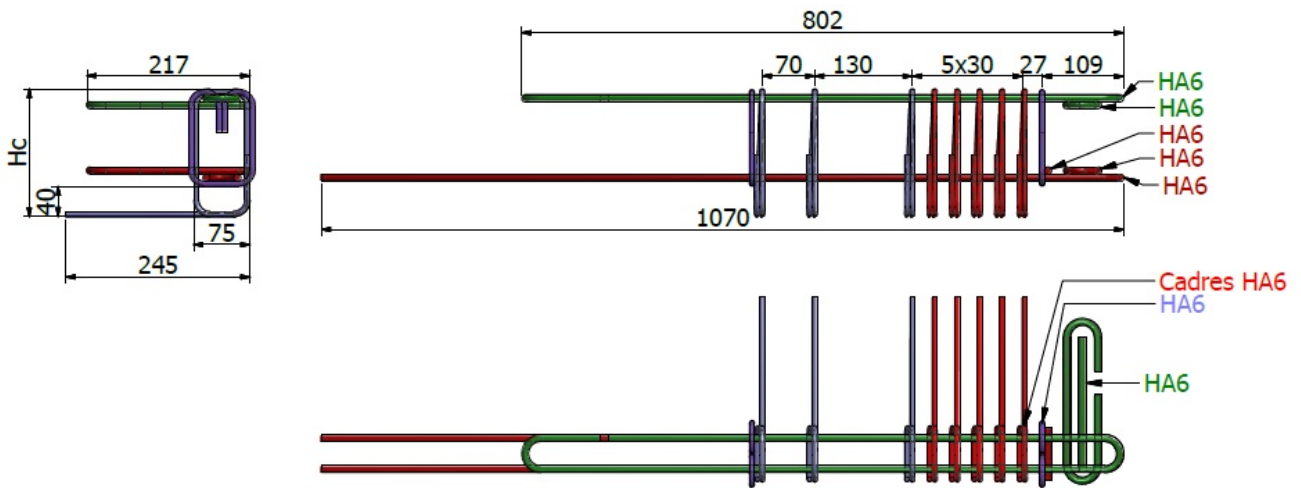


Figure I.7 - Panier standard d'extrémité (panier de droite représenté)

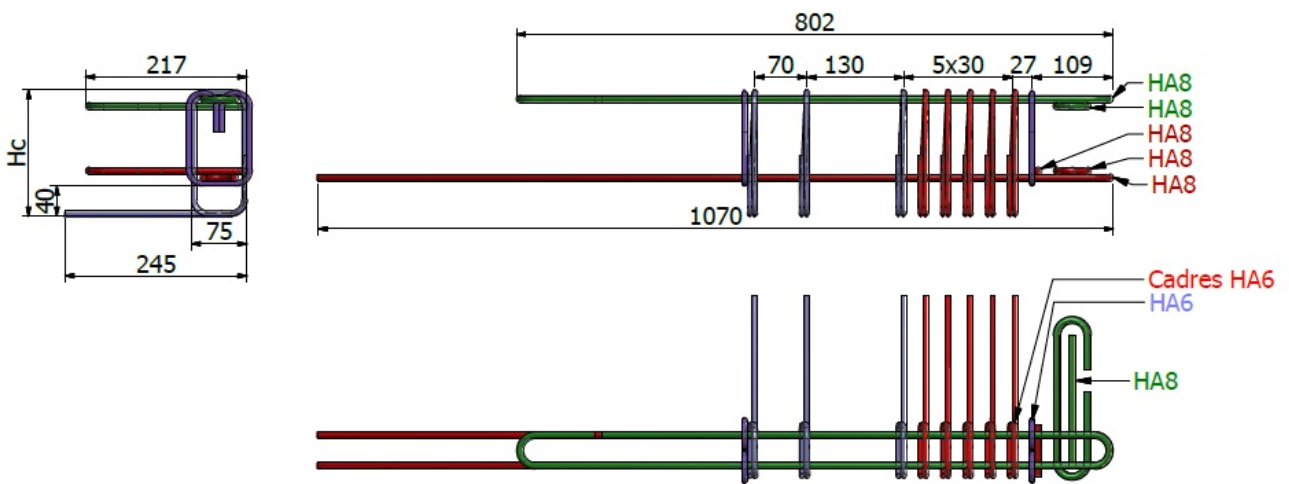


Figure I.8 - Panier renforcé d'extrémité (panier de droite représenté)

I-1.3. Exemple d'application

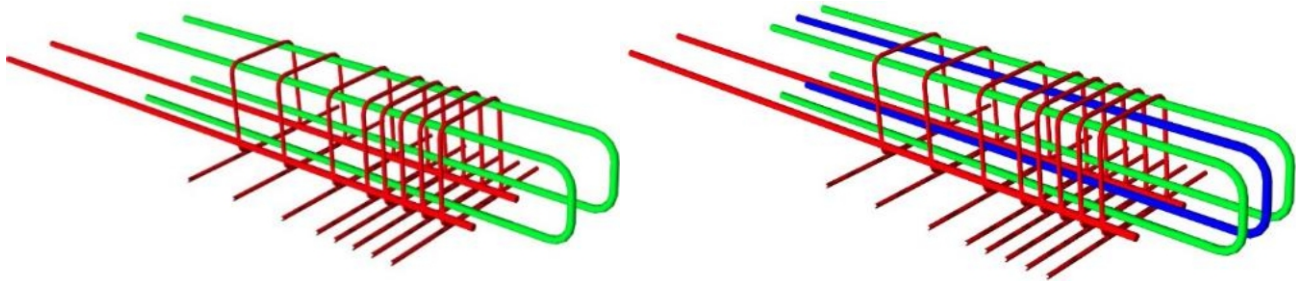
Type IIB-E2-120 :

- Rupteur de type II ;
- Pain isolant PB100 ;

- Panier 6 HA8 ;
- Largeur de nervure 28 cm ;
- Entraxe moyen 120 cm.

Note : La notion d'entraxe moyen s'entend par rapport à la dimension de nervure augmentée de la dimension du pain ou du 1/2 pain. Certaines prédalles peuvent présenter des entraxes différents en raison de l'adaptation des largeurs de pains aux dimensions de la prédalle.

I-2.3. Paniers Type B



Panier standard Panier renforcé

Figure I.9 - Paniers de type B

Principe de ferrailage des paniers type B

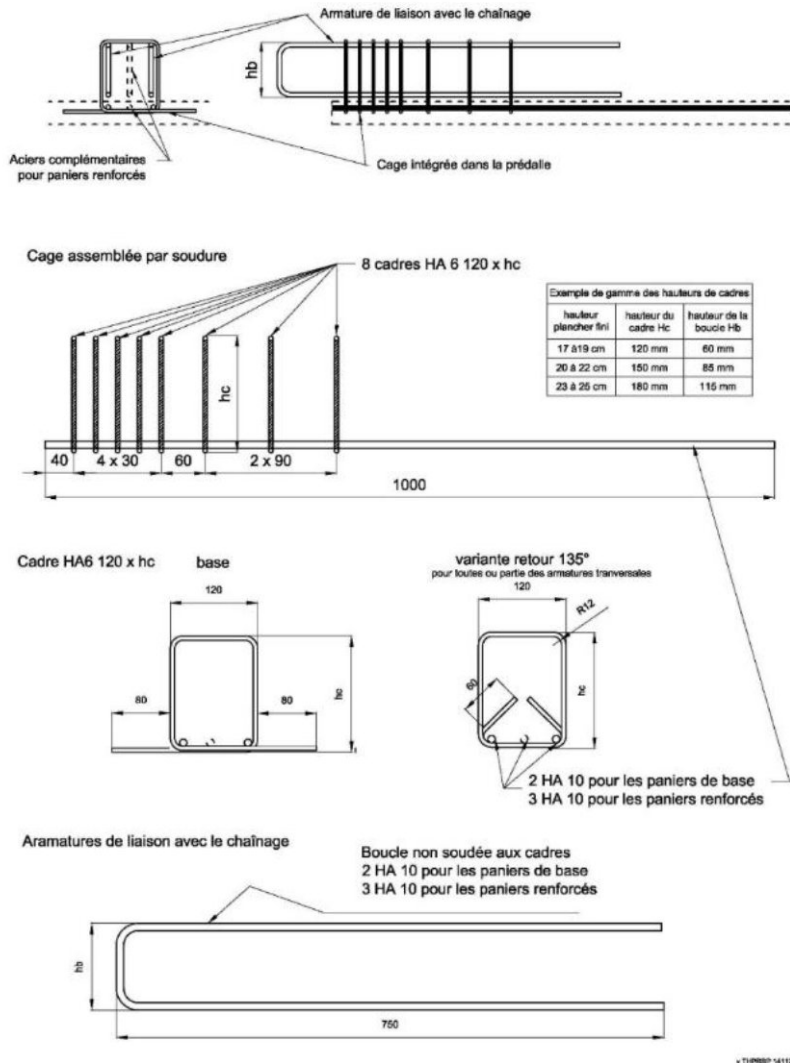


Figure I.10 - Paniers de type B - principe de ferrailage

I-2.4. Paniers Type C

Panier type C	
Standard	4 HA 10
Renforcé	6 HA 10

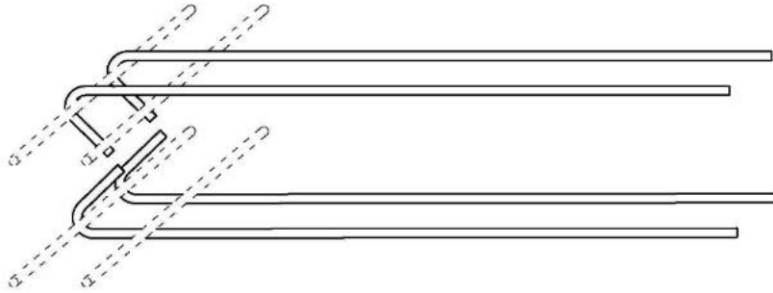
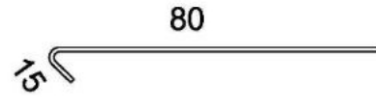
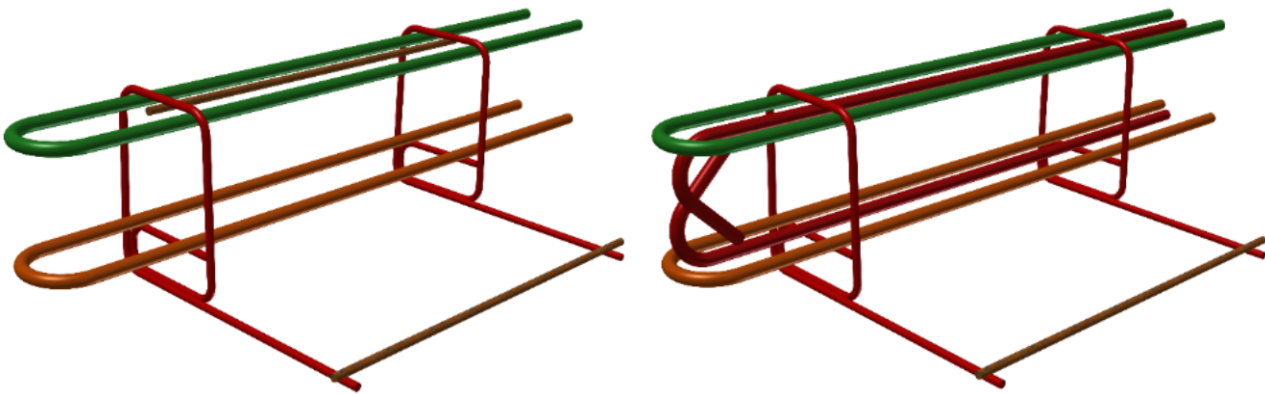


Figure I.11 - Paniers type C

I-2.5. Panier Type D



Panier standard Panier renforcé

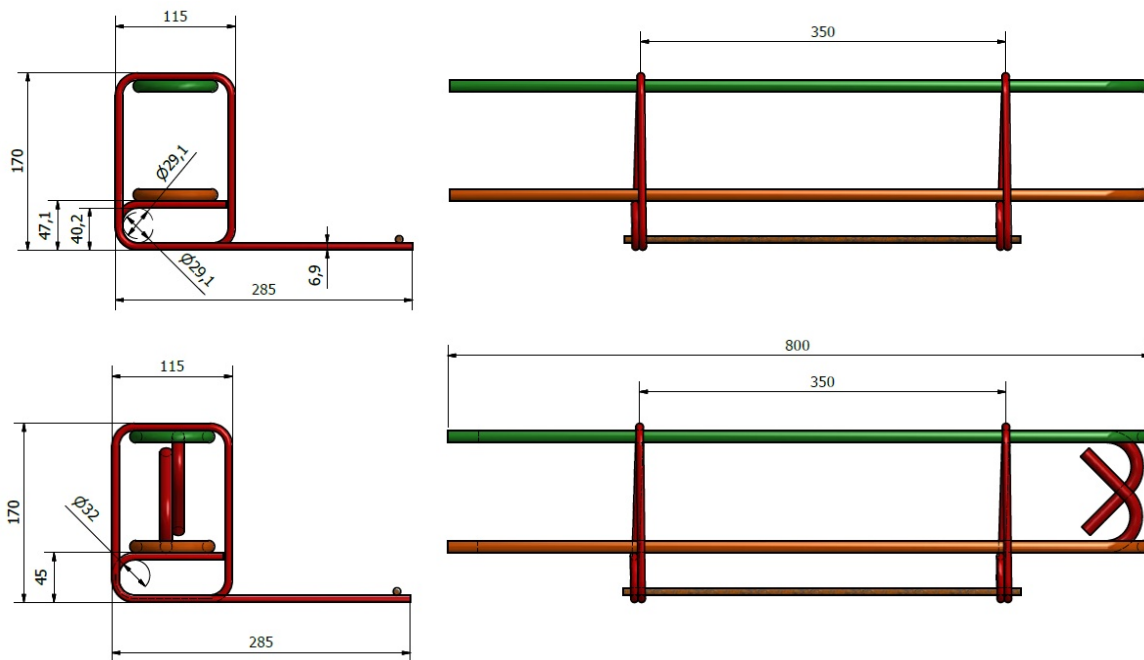
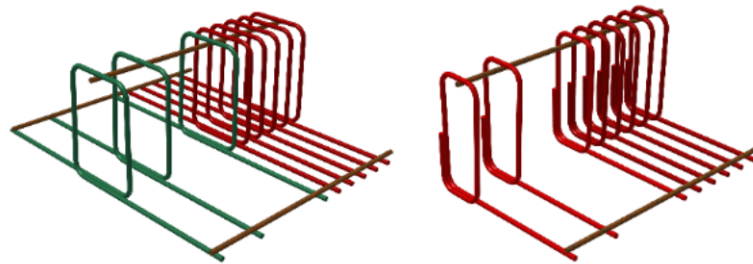


Figure I.12 - Panier de type D – Exemple de ferrailage

I-2.6. Paniers spéciaux pour balcon

Pour permettre la mise en œuvre sur chantier des armatures de contre-balancement du balcon, ces paniers ne comportent que les cadres des paniers de Type A ou B définis ci-avant intégrés dans la prédalle.

Exemples représentés : panier de Type A



Panier courant Panier d'extrémité PEG

Figure I.13 - Exemples de paniers pour balcon

I-2.7. Détails liaison voile-plancher ThermoPrédalle SEAC

I-2.7.1. Avec panier Type A

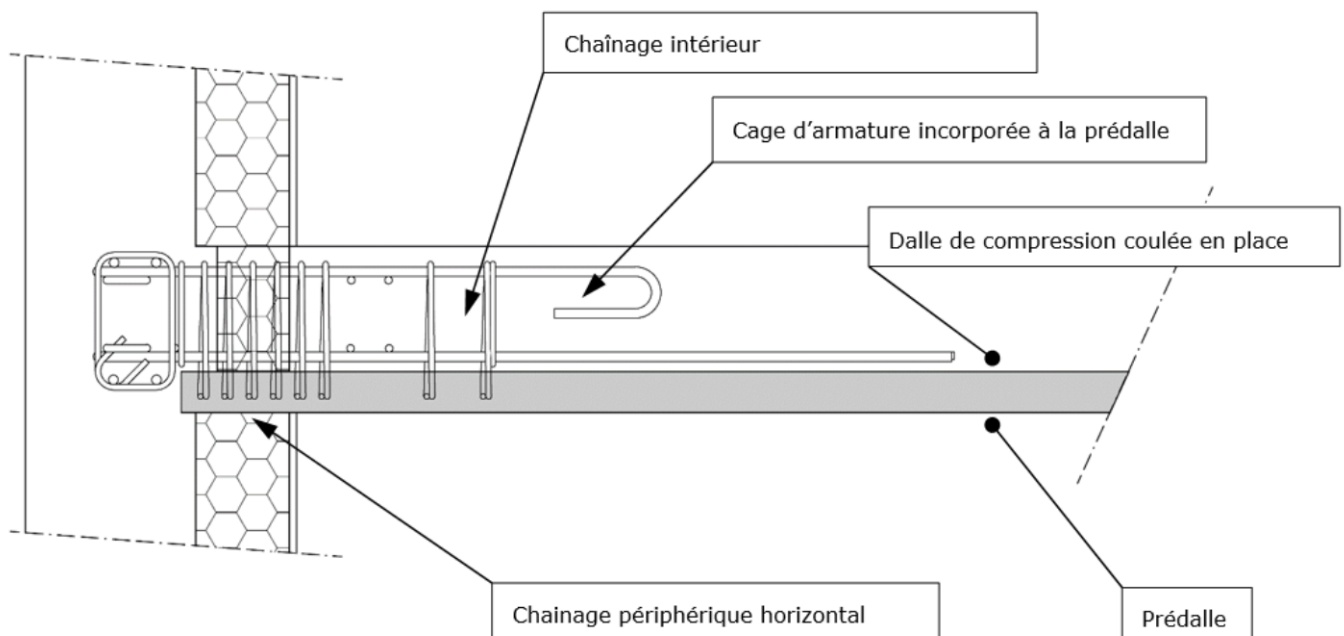


Figure I.14 - Détail de liaison voile-plancher avec panier de type A

I-2.7.2. Avec panier Type B

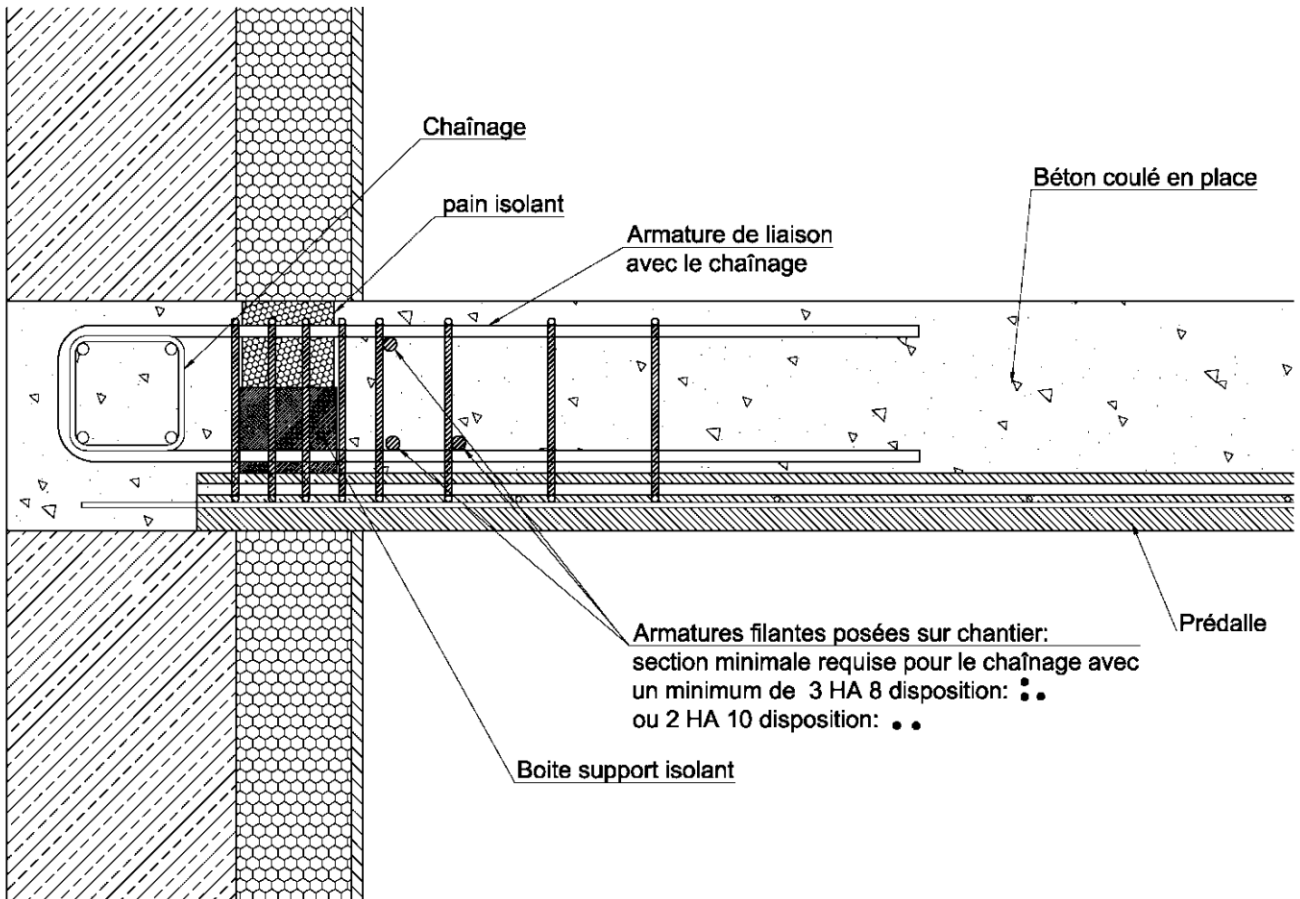


Figure I.15 - Détail de liaison voile-plancher avec panier de type B

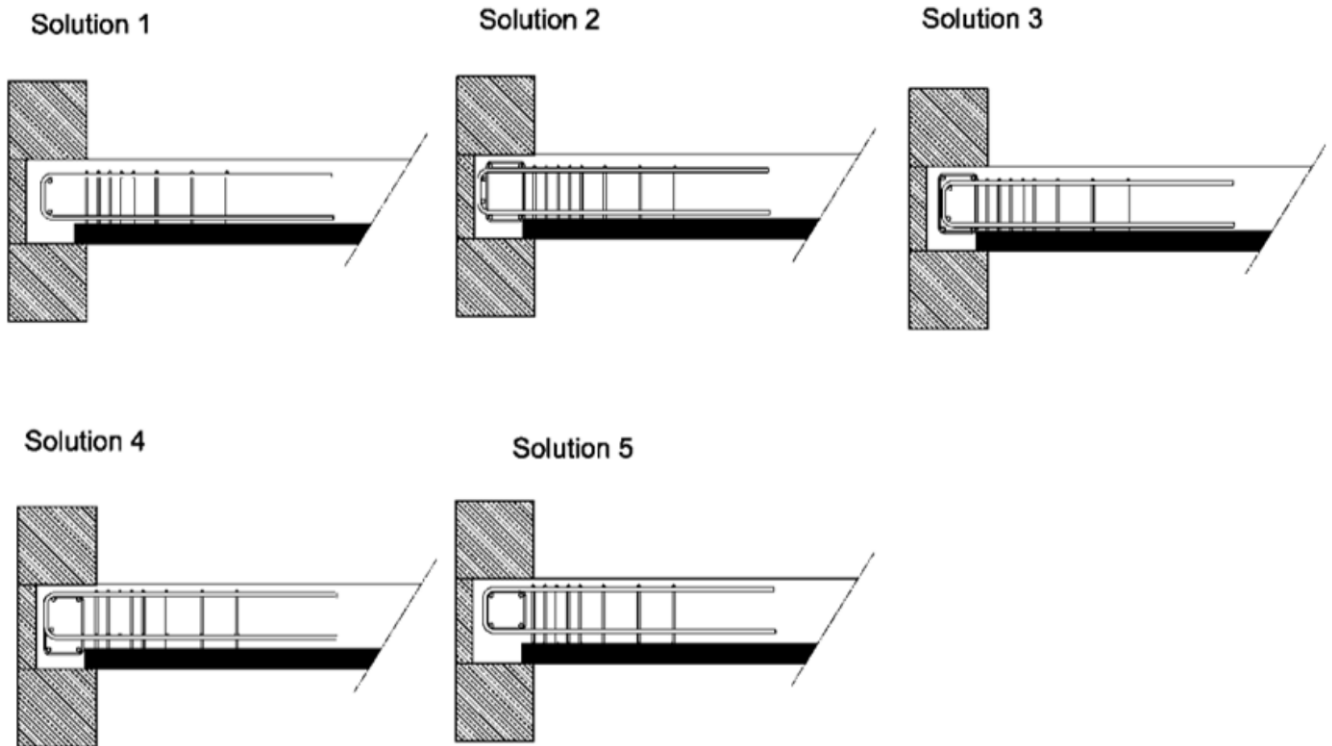


Figure I.16 - Exemples de solutions de liaisons

I-2.7.3. Avec panier Type C



Figure I.17 - Exemple de solution de liaison

I-2.7.4. Avec panier Type D

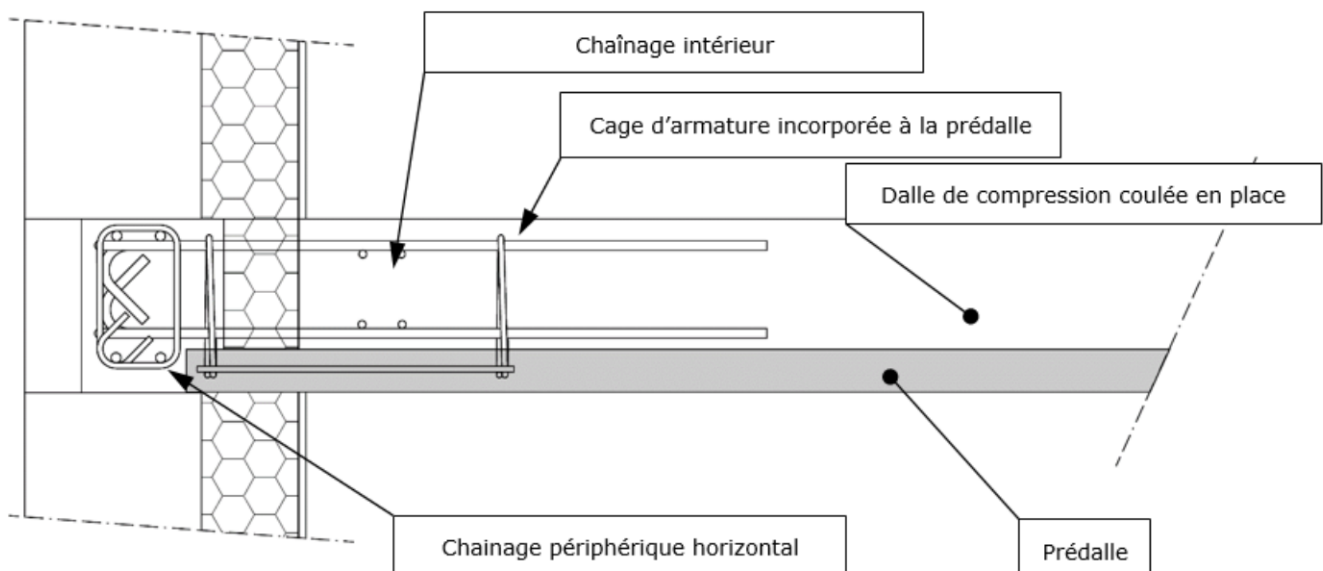


Figure I.18 - Détail de liaison voile-plancher avec panier de type D

I-3. Rupteurs de type II

I-3.1. Pains isolants

I-3.1.1. Solution de base

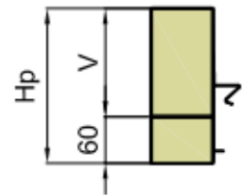
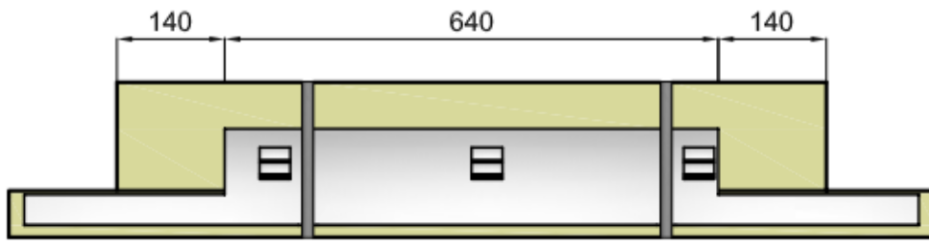
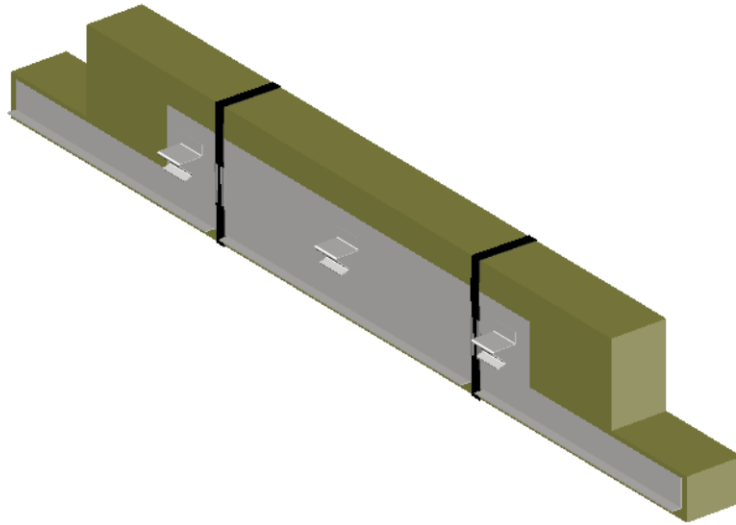


Figure I.19 - Vue d'ensemble du pain assemblé

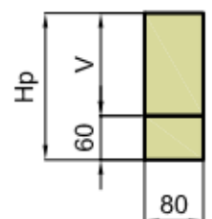
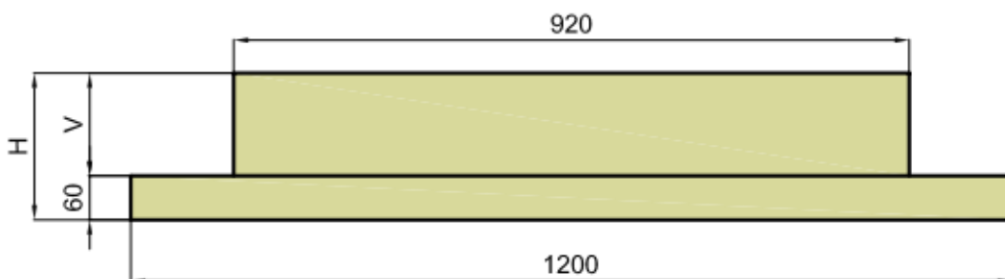
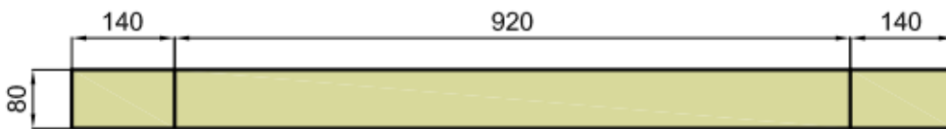


Figure I.20 - Dimensions du pain isolant

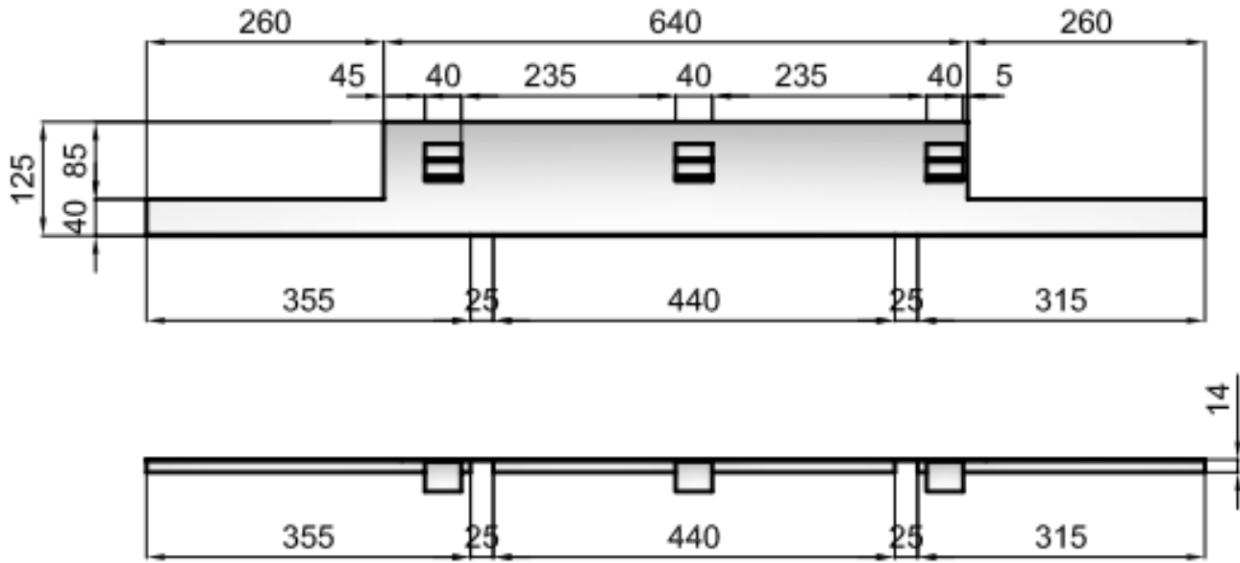


Figure I.21 - Dimensions du pain isolant

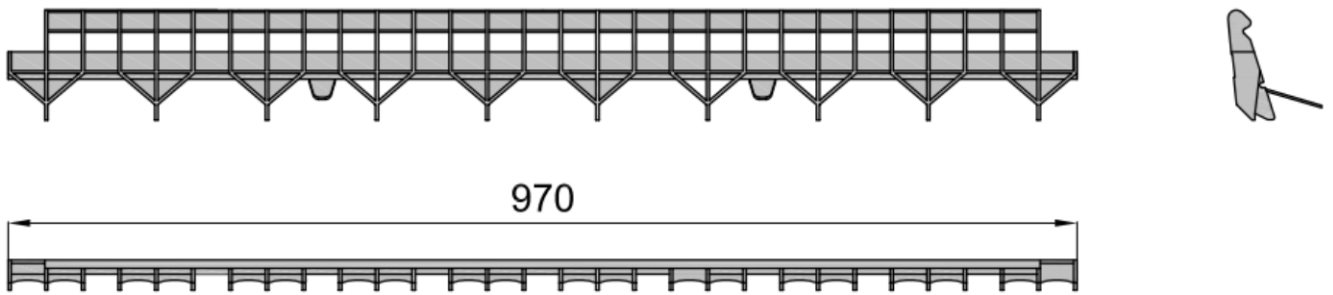


Figure I-22 - Insert plastique intégré en rive de prédalle

I-3.1.2. Solutions variantes

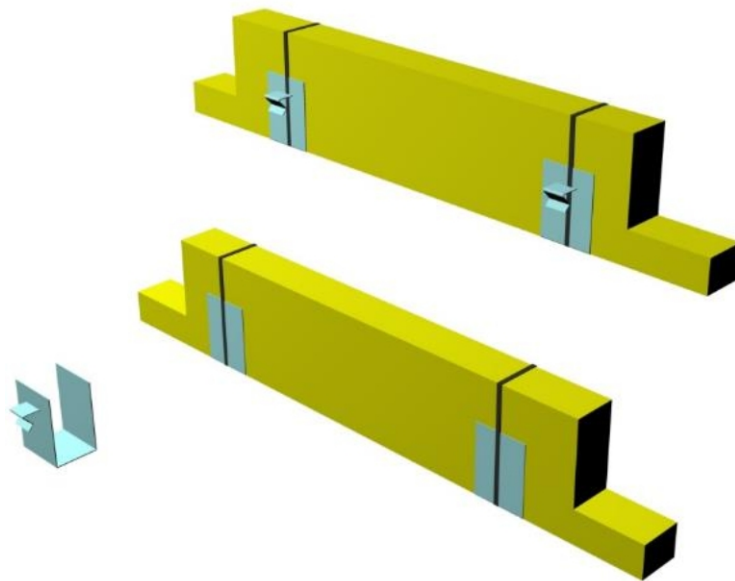


Figure I.23 - Exemple de solution variante pour fixation sur l'insert plastique

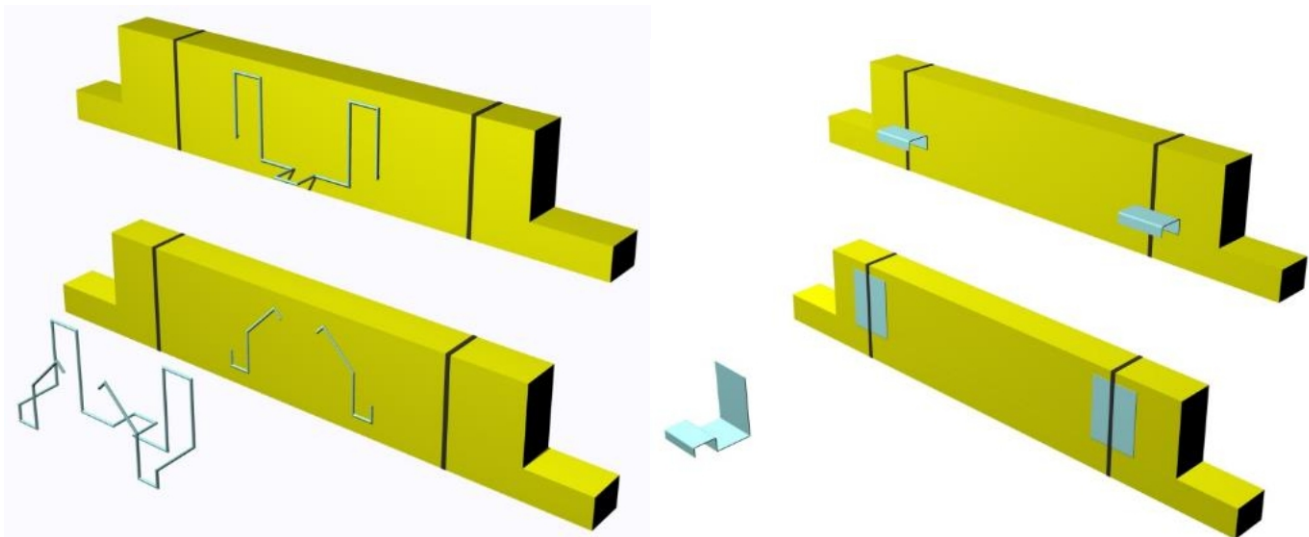
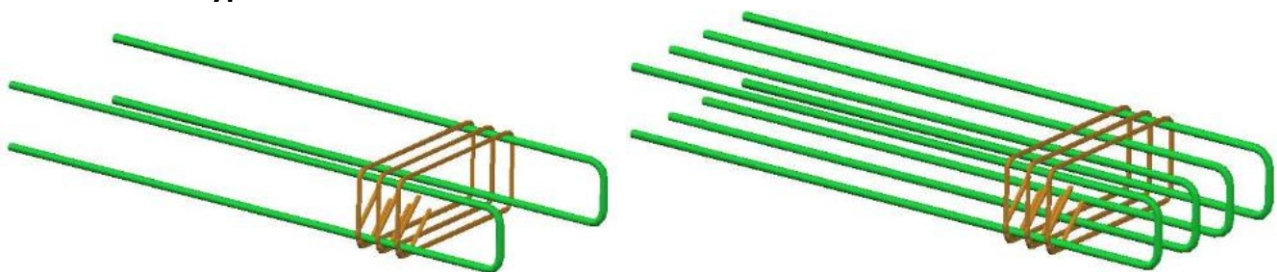


Figure I.24 - Exemple de solution variante pour intégration à la fabrication de la prédalle

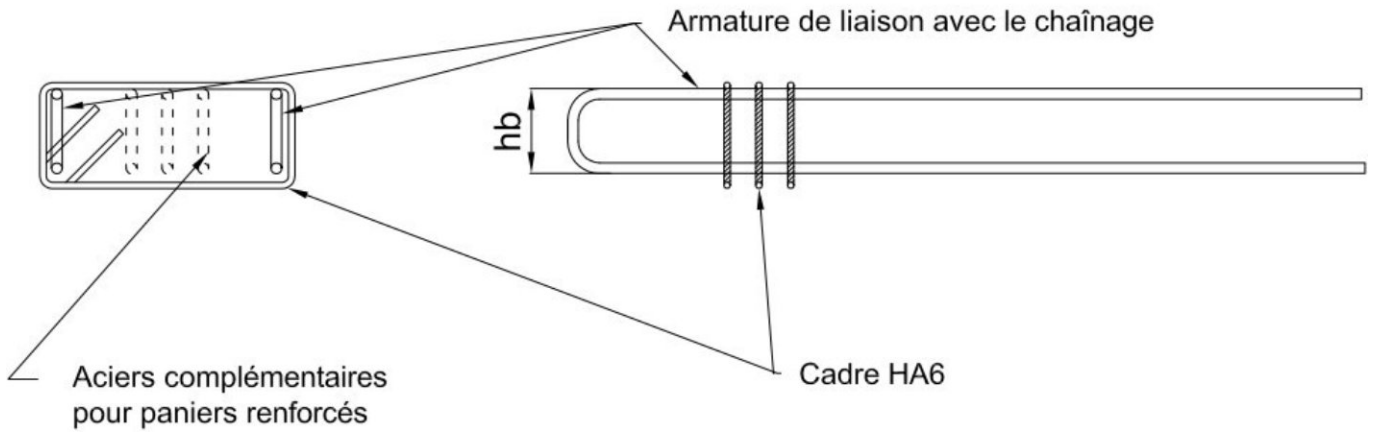
I-3.2. Paniers Type E



Panier type E3 Panier type E4

Figure I.25 - Paniers de type E - Exemples de ferrailage

Principe de ferrailage des paniers de type E



Gamme des hauteurs de stock		
Tolérance fabrication +0/-3 mm		
hauteur plancher fini	hauteur du cadre Hc	hauteur de la boucle Hb
18 à 19 cm	80 mm	60 mm
20 à 22 cm	100 mm	80 mm
23 à 25 cm	130 mm	110 mm

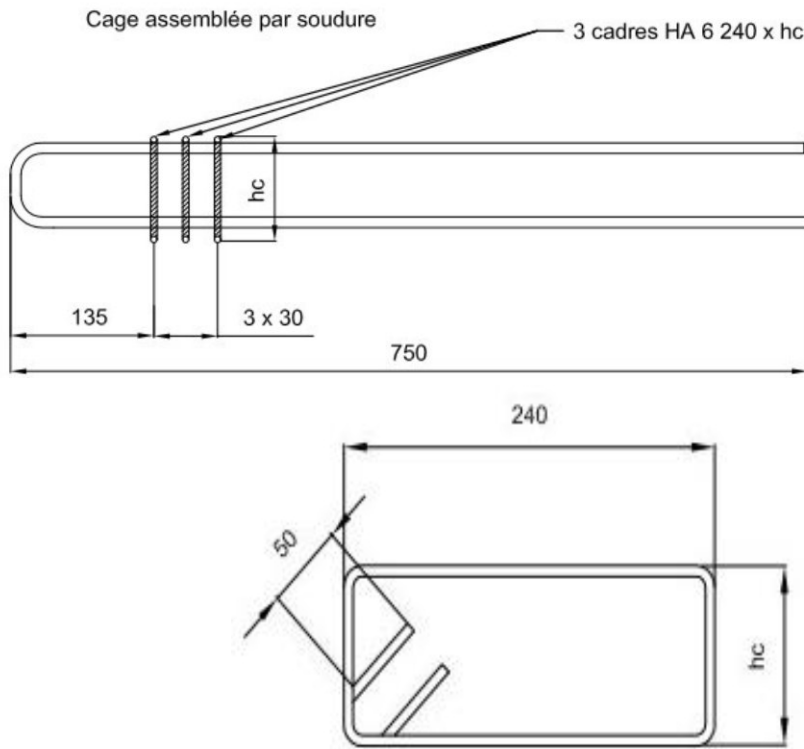


Figure I.26 - Paniers de type E - Principe de ferrailage

I-3.3. Détails liaison voile-plancher ThermoPrédalle SEAC

Nota : Les solutions de liaison possibles sont identiques à celles du type I (cf. I-2.7.2)

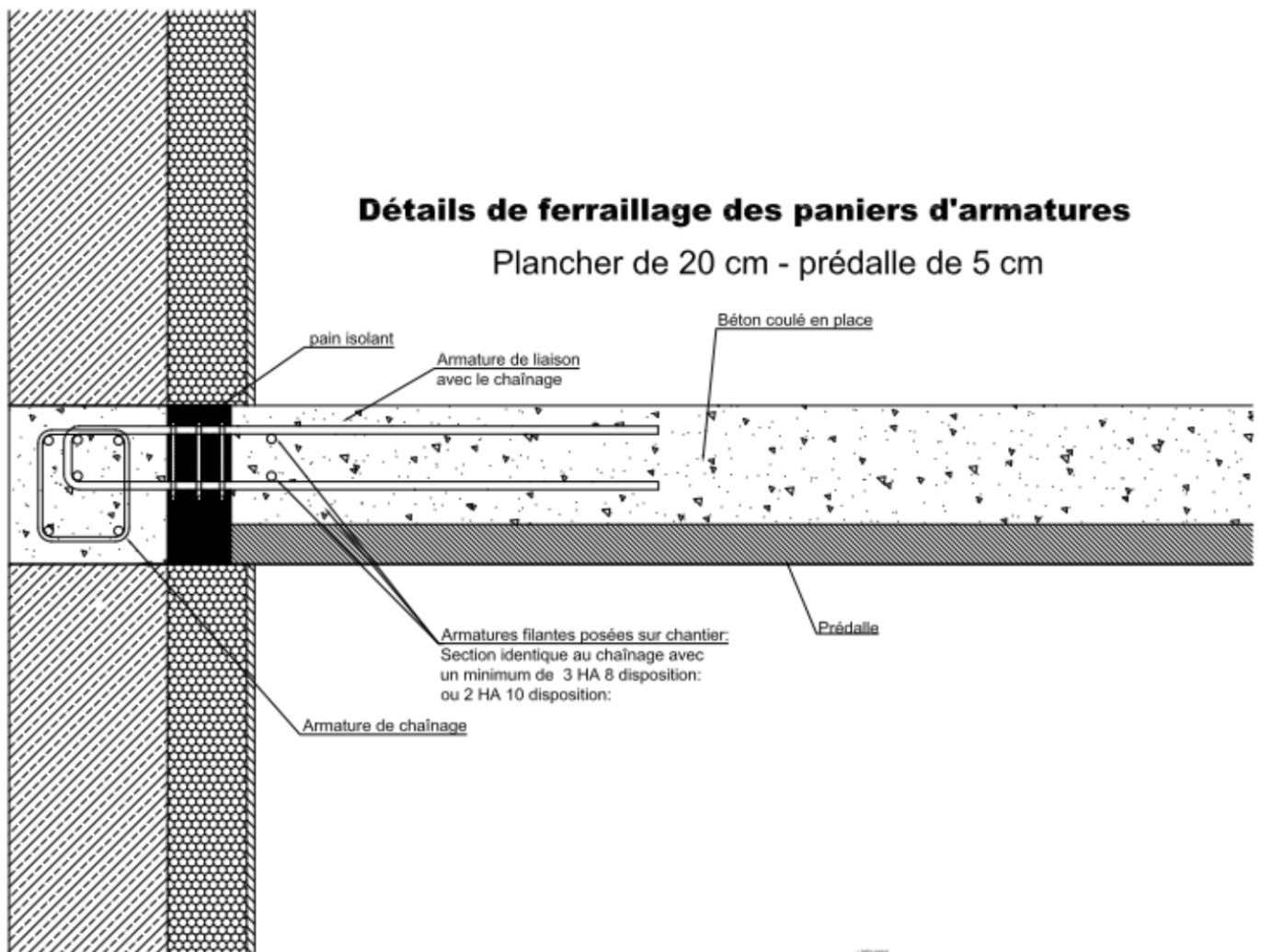


Figure I.27 - Détail de liaison voile-plancher avec rupteur de type II

Annexe II – Vues d'ensemble

II-1. Rupteurs de type I

II-1.1. Vue d'ensemble du procédé avec paniers Type A

Représentation d'un angle de bâtiment avec une prédalle d'angle et deux prédalles d'about

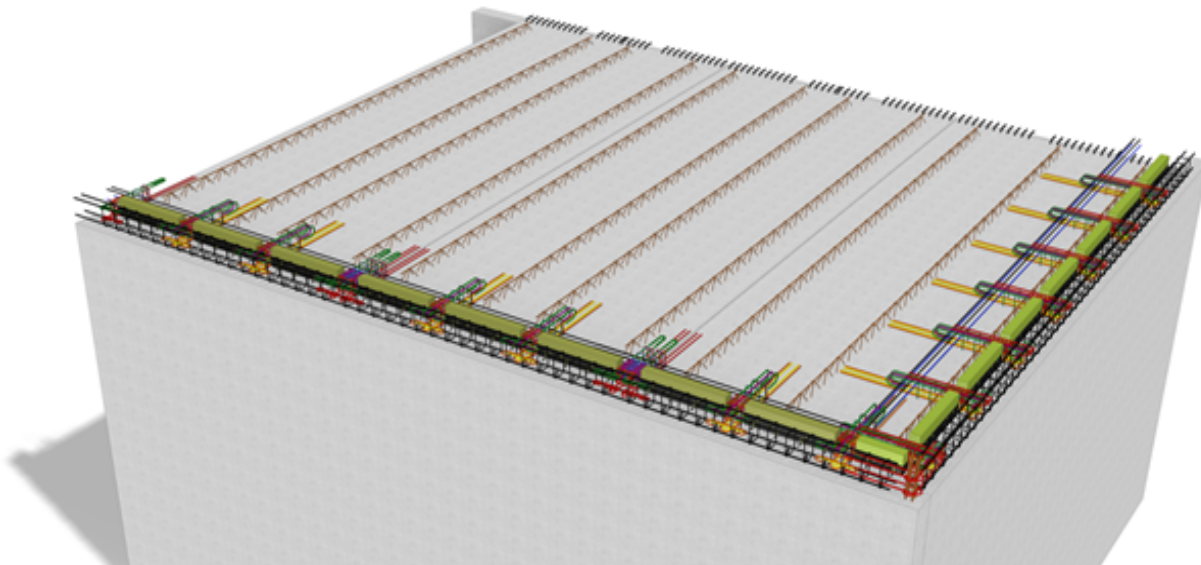


Figure II.1 - Perspective – Exemple avec paniers renforcés

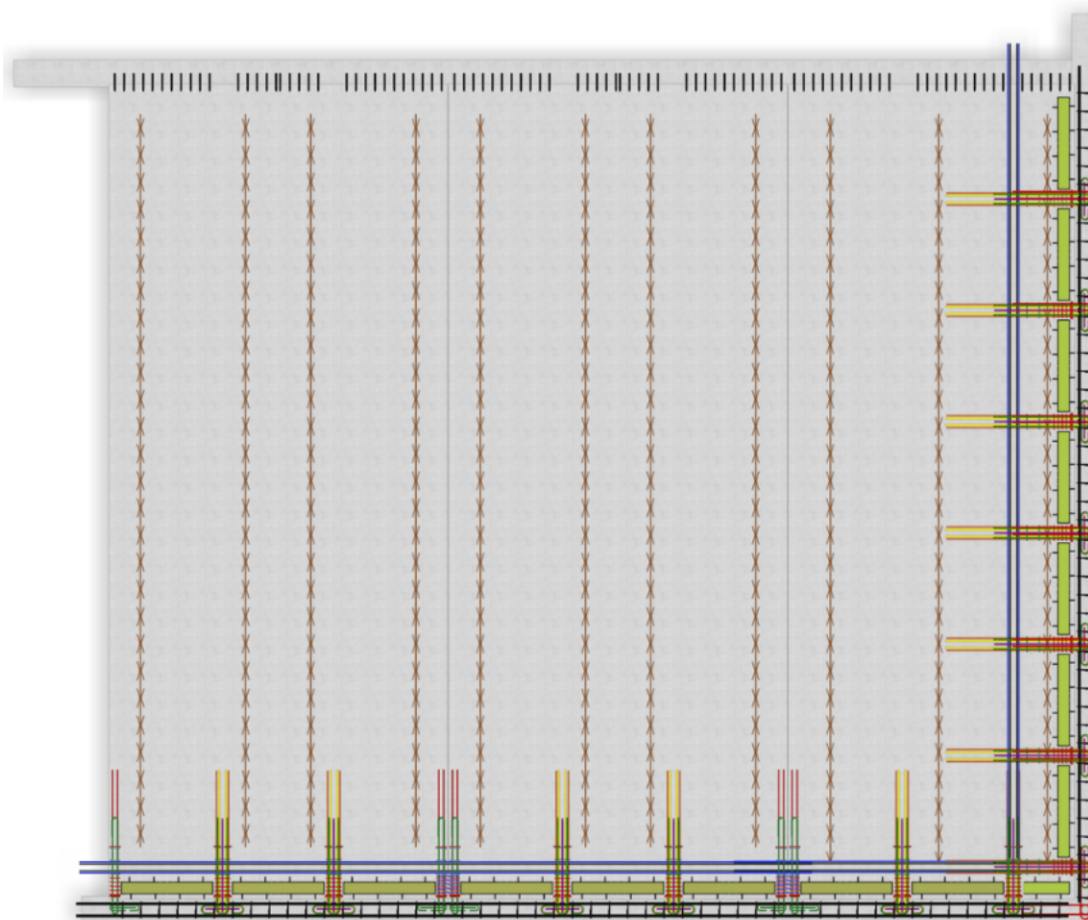


Figure II.2 - Vue en plan – Exemple avec paniers renforcés

II-1.2 Principe de calepinage des rupteurs thermiques

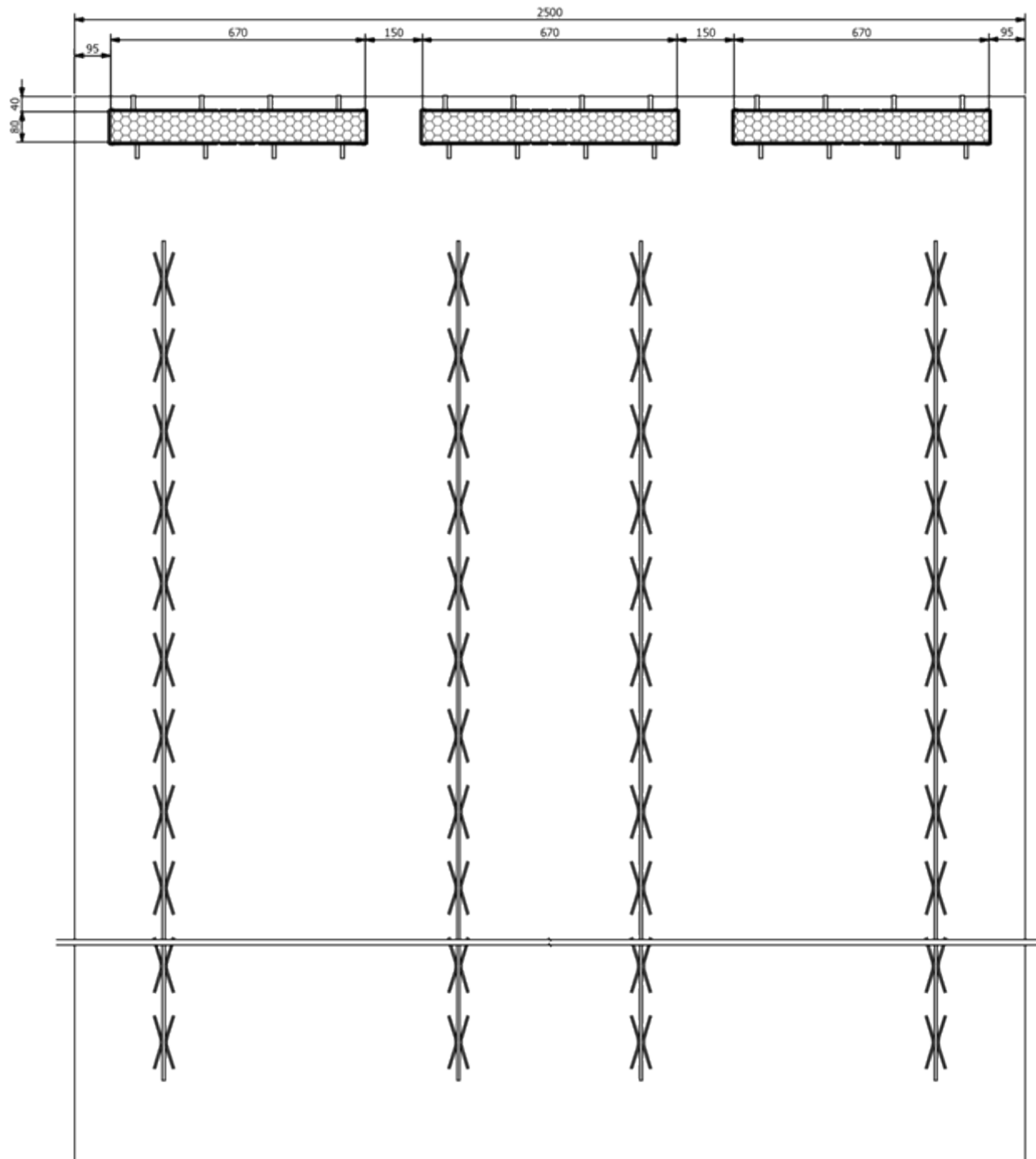
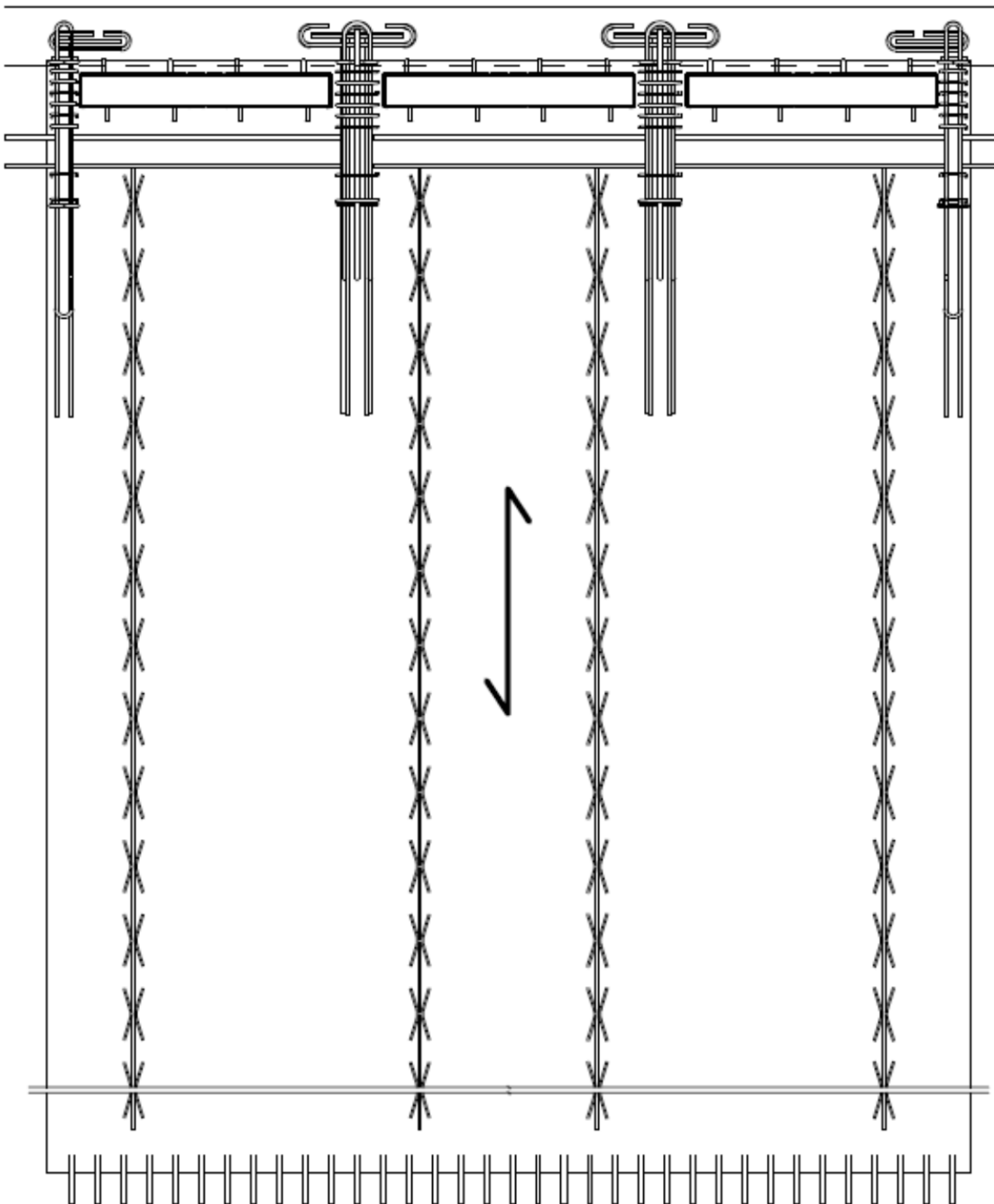


Figure II.3 - Cas de la prédalle d'about - Vue en plan - Coffrage

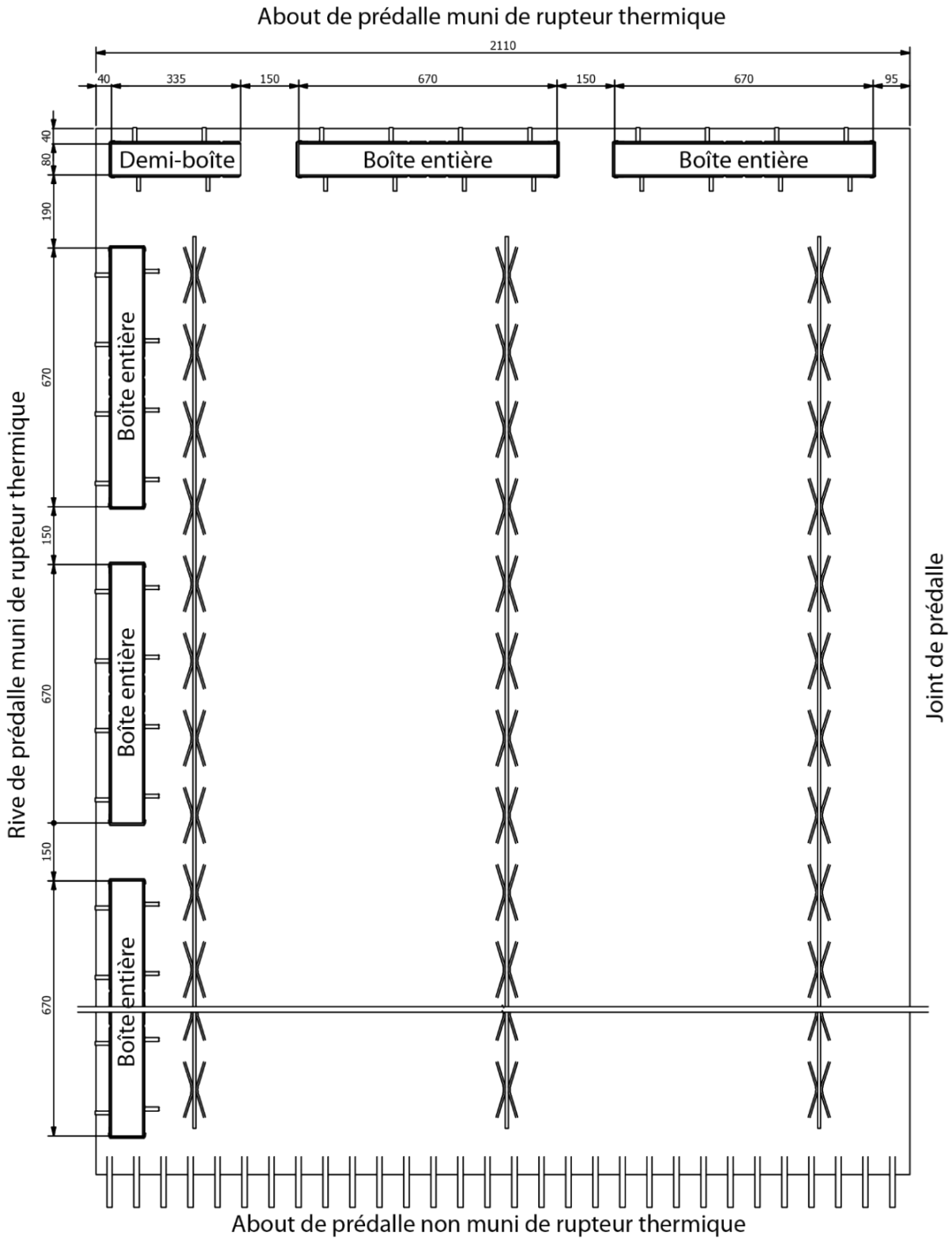
Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants

(Les paniers d'armatures Type A disposés entre les pains ne sont pas représentés)

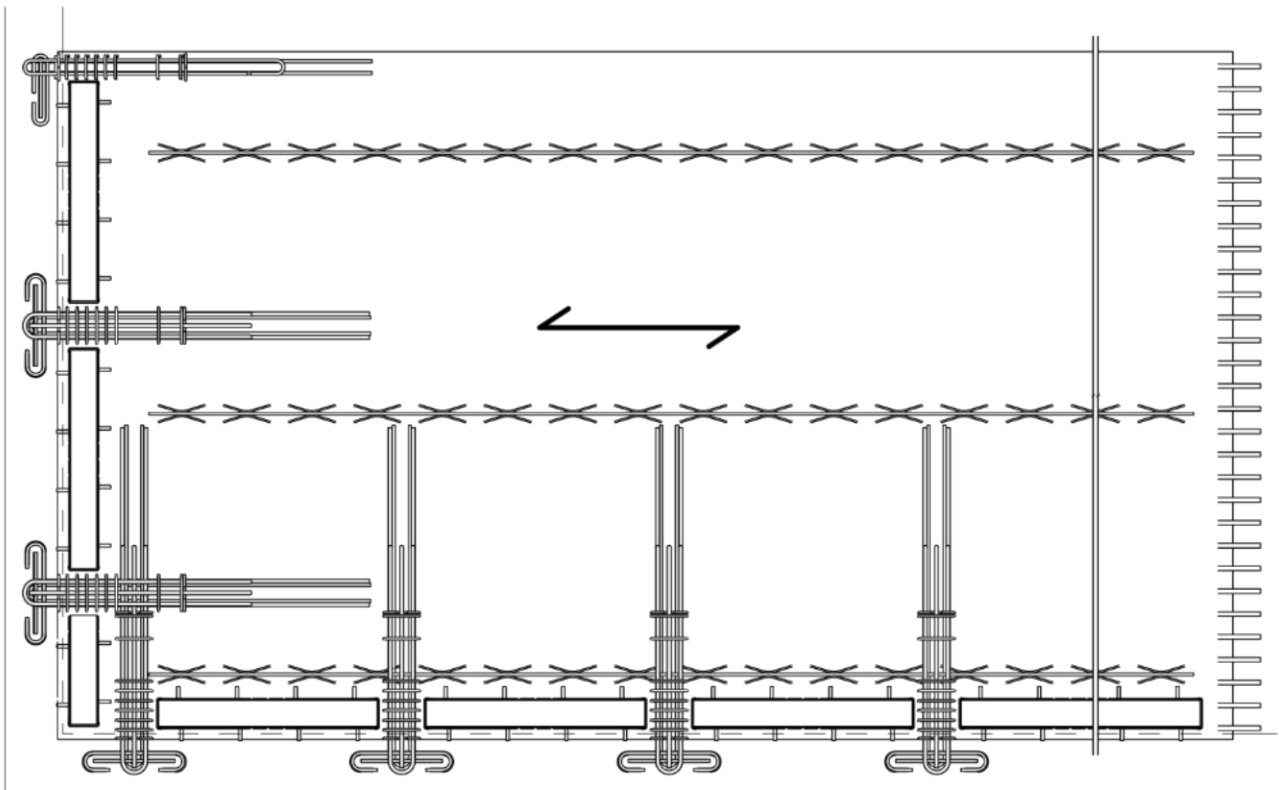
Nota : La côte de 670 mm indique la dimension intérieure de la boîte



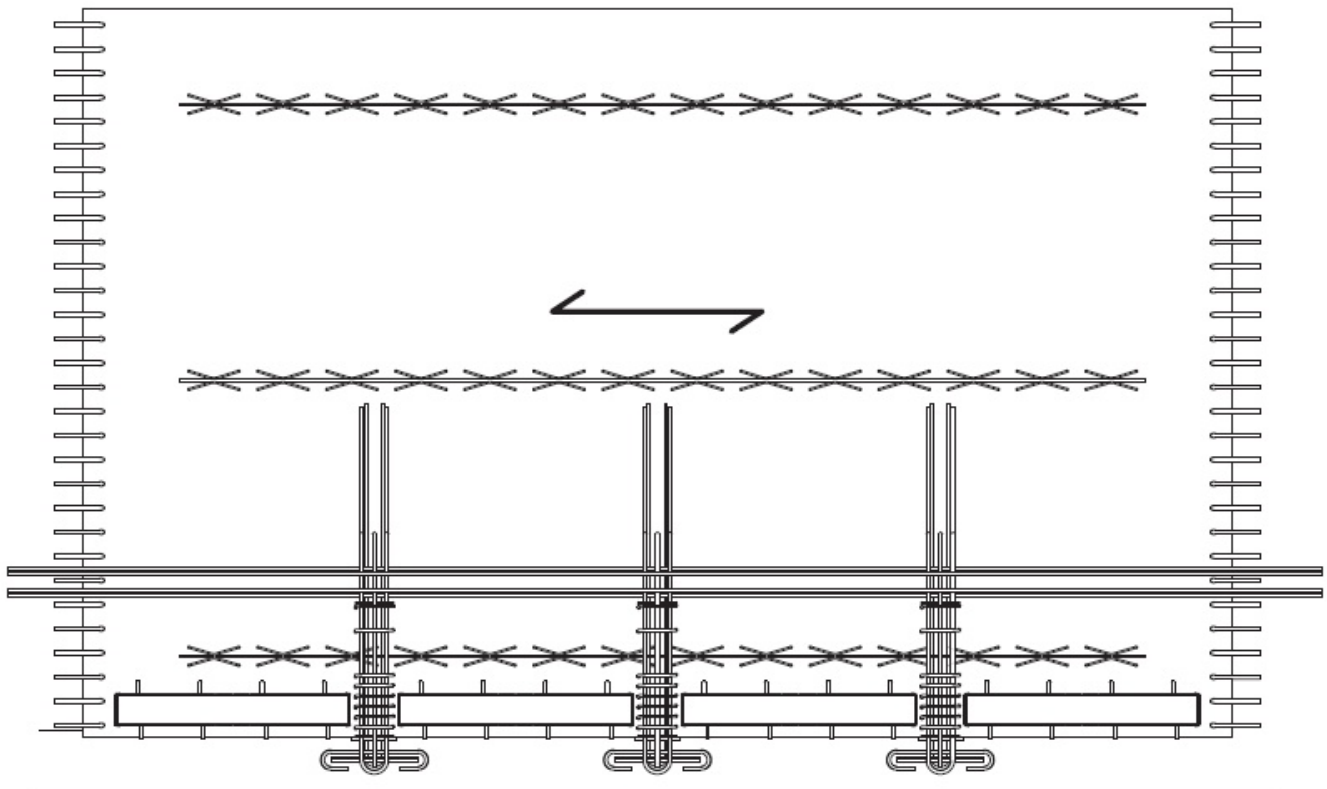
**Figure II.4 - Cas de la prédalle d'about - Vue en plan - Coffrage -
Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants
(Exemple avec Paniers d'armatures Type A renforcés en about de prédalle)**



**Figure II.5 - Cas de la prédalle d'angle - Vue en plan - Coffrage -
Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants
(Les paniers d'armatures Type A disposés entre les boîtes ne sont pas représentés)**



**Figure II.6 - Cas de la prédalle d'angle - Vue en plan - Coffrage -
Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants
(Exemple avec Paniers d'armatures Type A renforcés en about et en rive de prédalle)**



**Figure II.7 - Cas de la prédalle de rive - Vue en plan - Coffrage
Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants
(Exemple avec Paniers d'armatures Type A renforcés en rive de prédalle)**

II-1.3 Vue d'ensemble du procédé avec paniers Type B

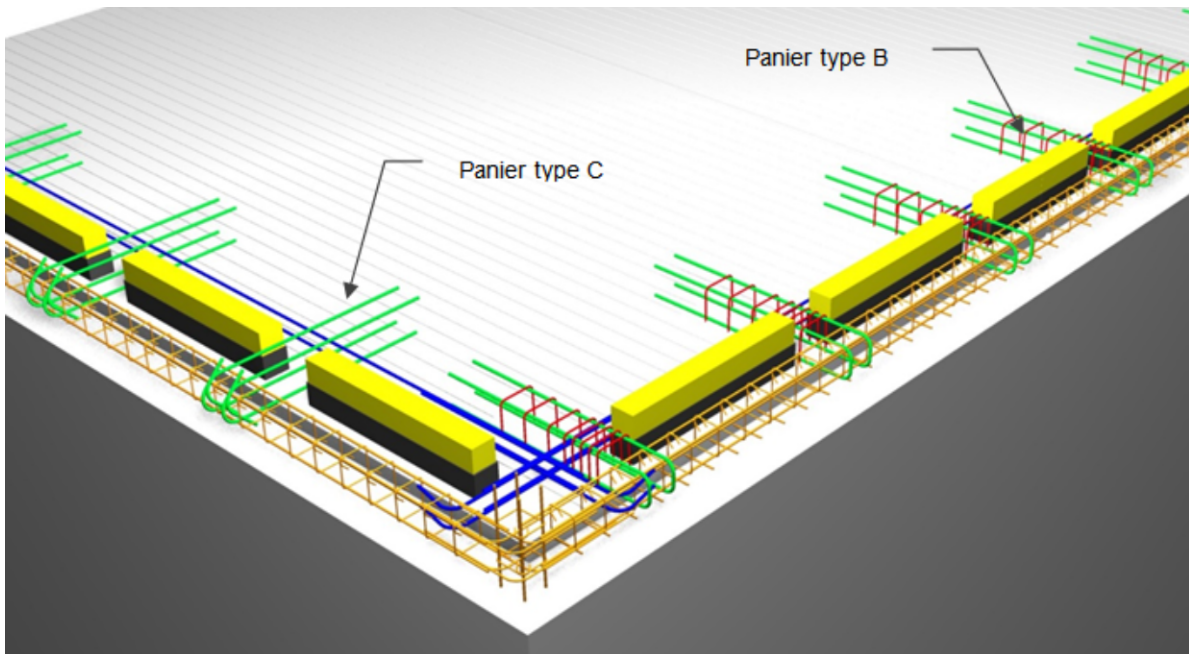


Figure II.8 - Perspective – Exemple avec paniers B et C standards

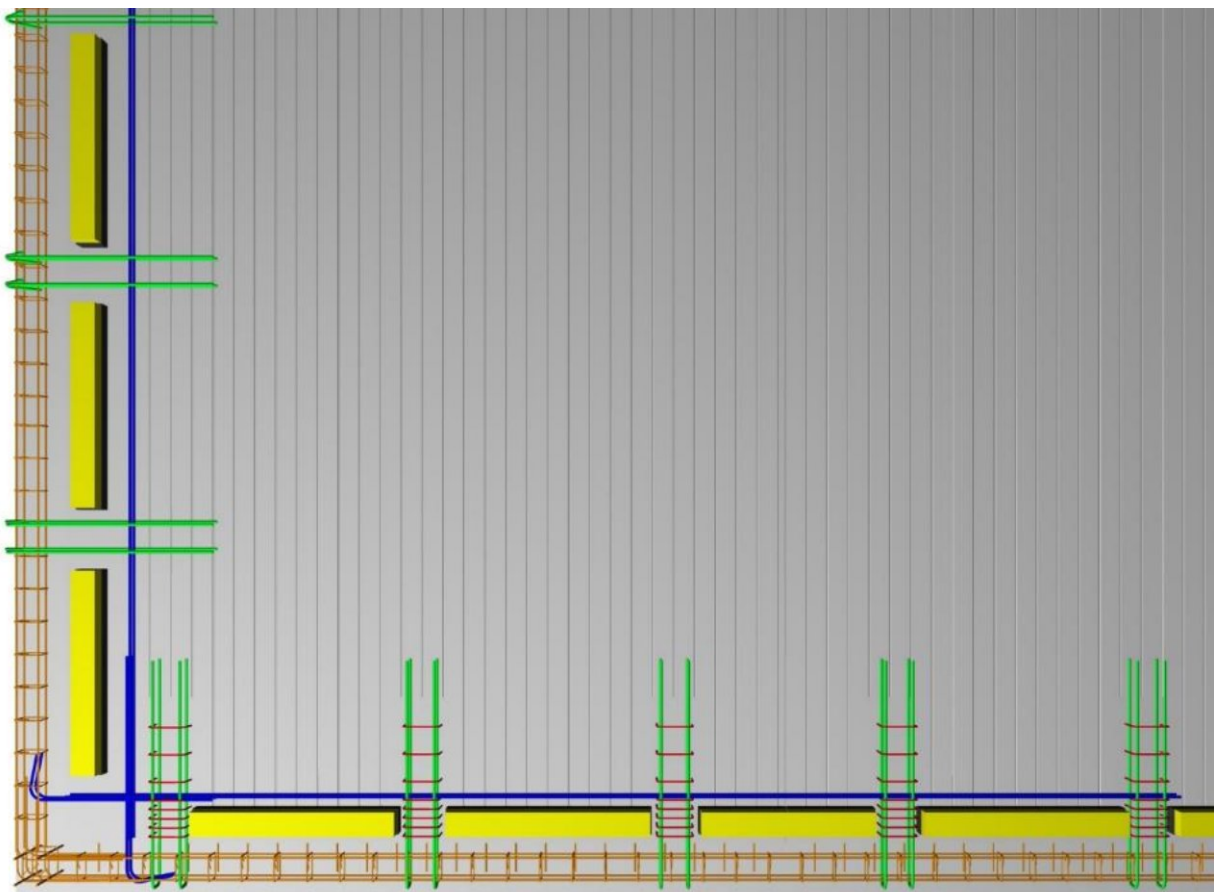


Figure II.9 - Vue en plan – Exemple avec paniers B et C standards

II-1.4 Principe de calepinage des rupteurs thermiques

Seules les armatures spécifiques au procédé ThermoPrédalle SEAC sont représentées sur les schémas suivants.

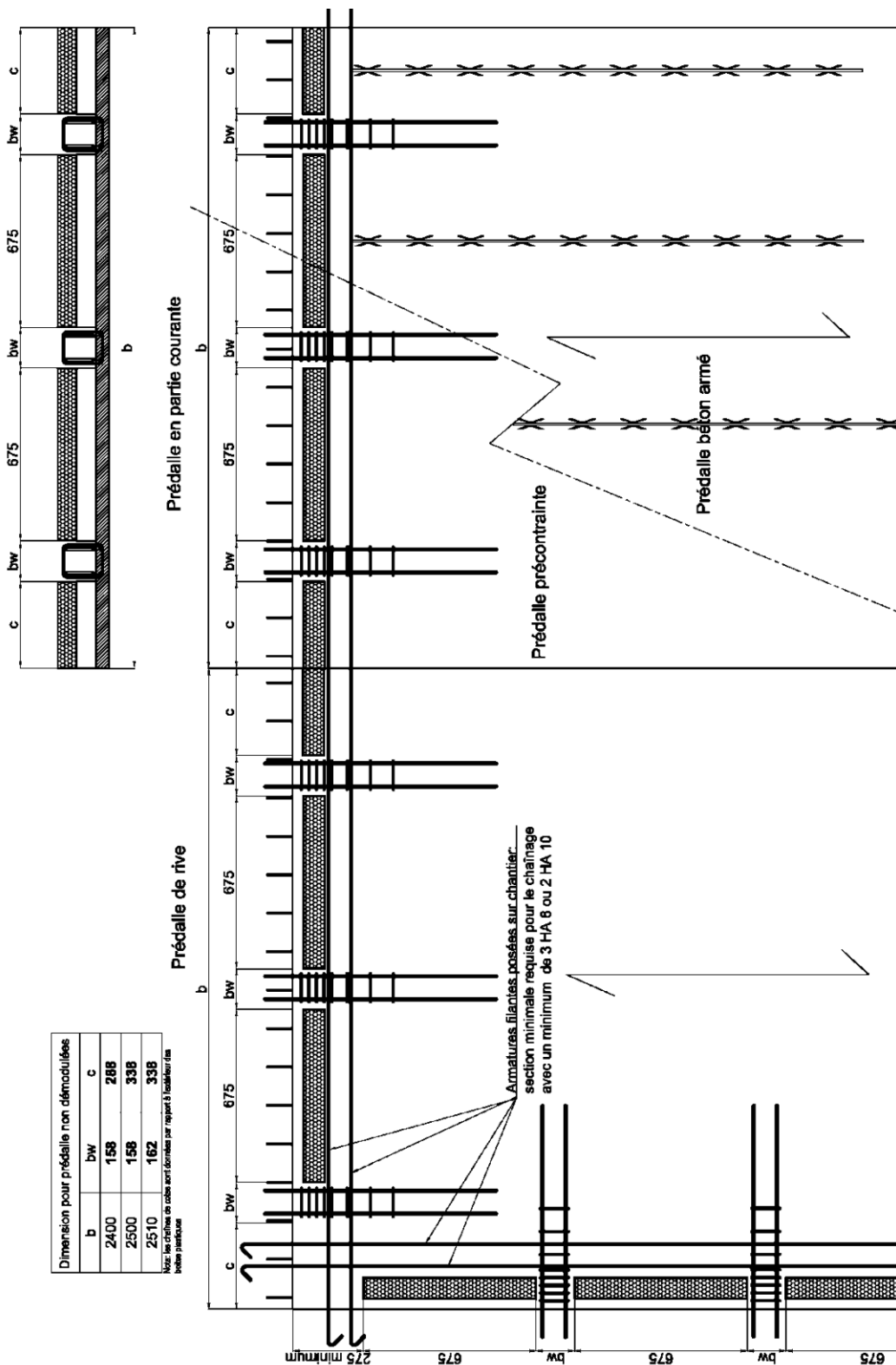


Figure II.10 - Cas de la prédalle d'angle et d'about - Vue en plan - Coffrage - Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants (Exemple avec Paniers d'armatures Type B standards en about et en rive de prédalle)

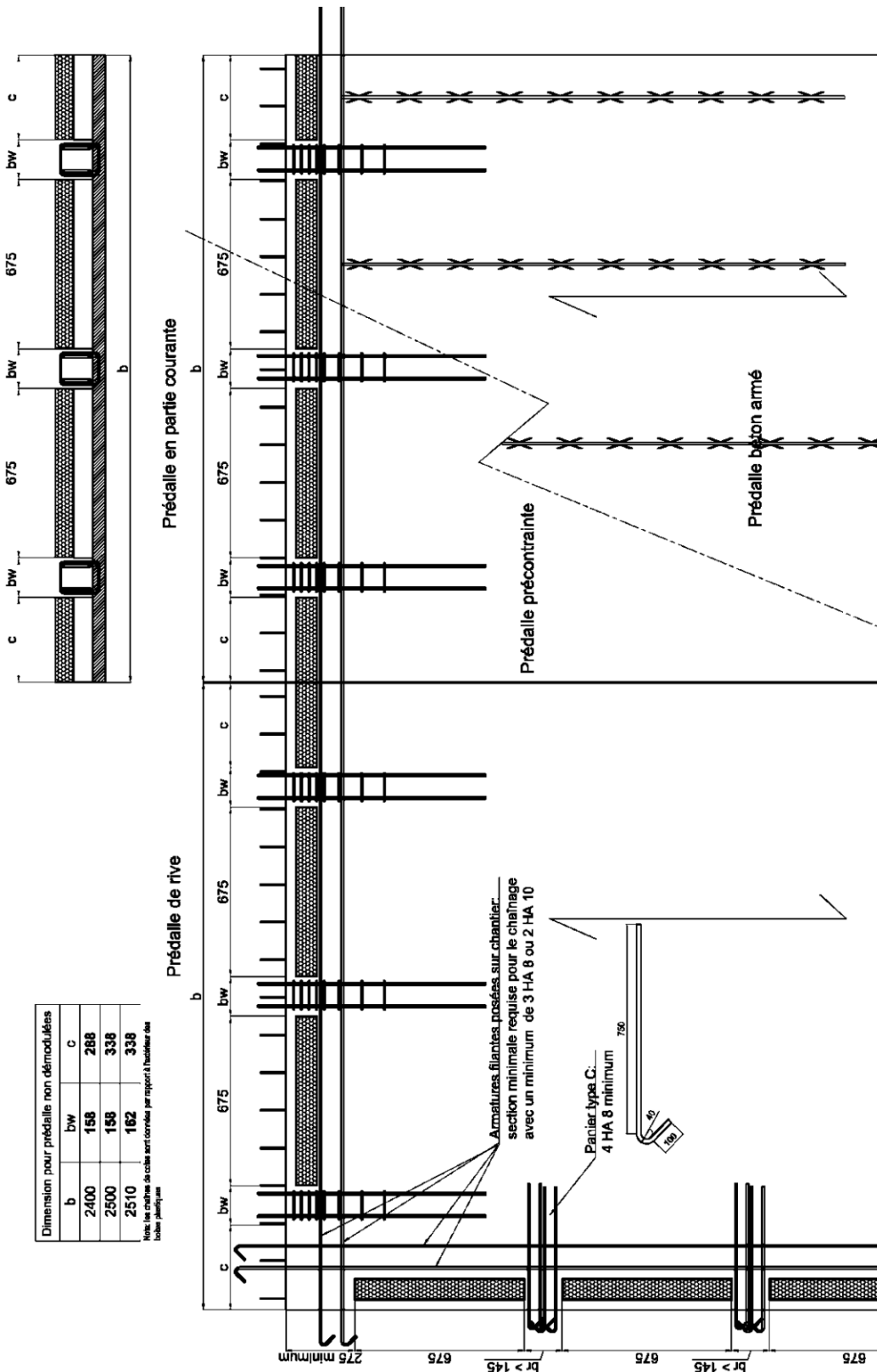


Figure II.11 - Cas de la prédalle d'angle et d'about - Vue en plan - Coffrage - Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants

(Exemple avec Paniers d'armatures Type B standards en about et Type C standards en rive de prédalle)

II-2. Rupteurs de type II

II-2.1. Vue d'ensemble du procédé avec paniers Type E

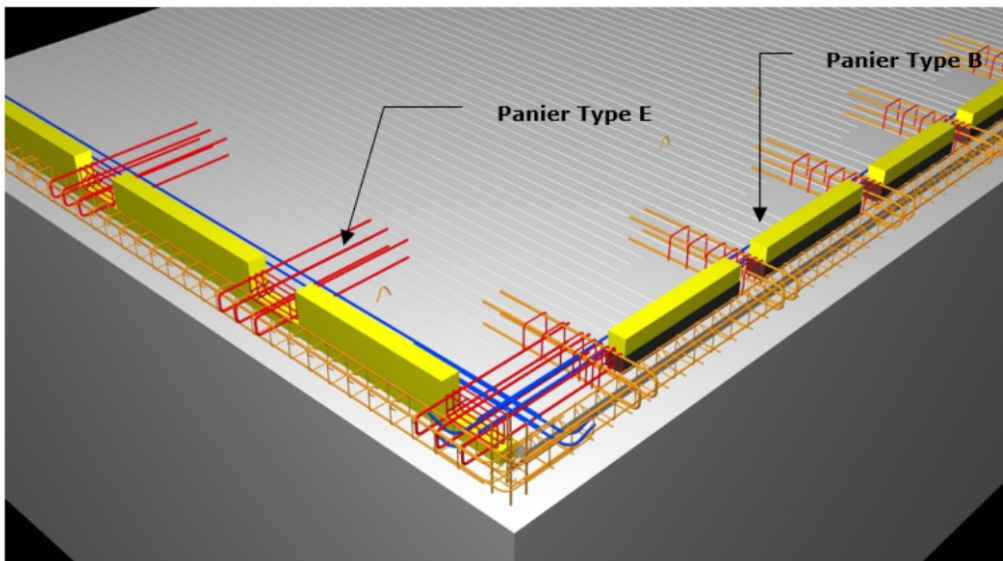


Figure II.12 - Perspective – Exemple avec paniers type E et B

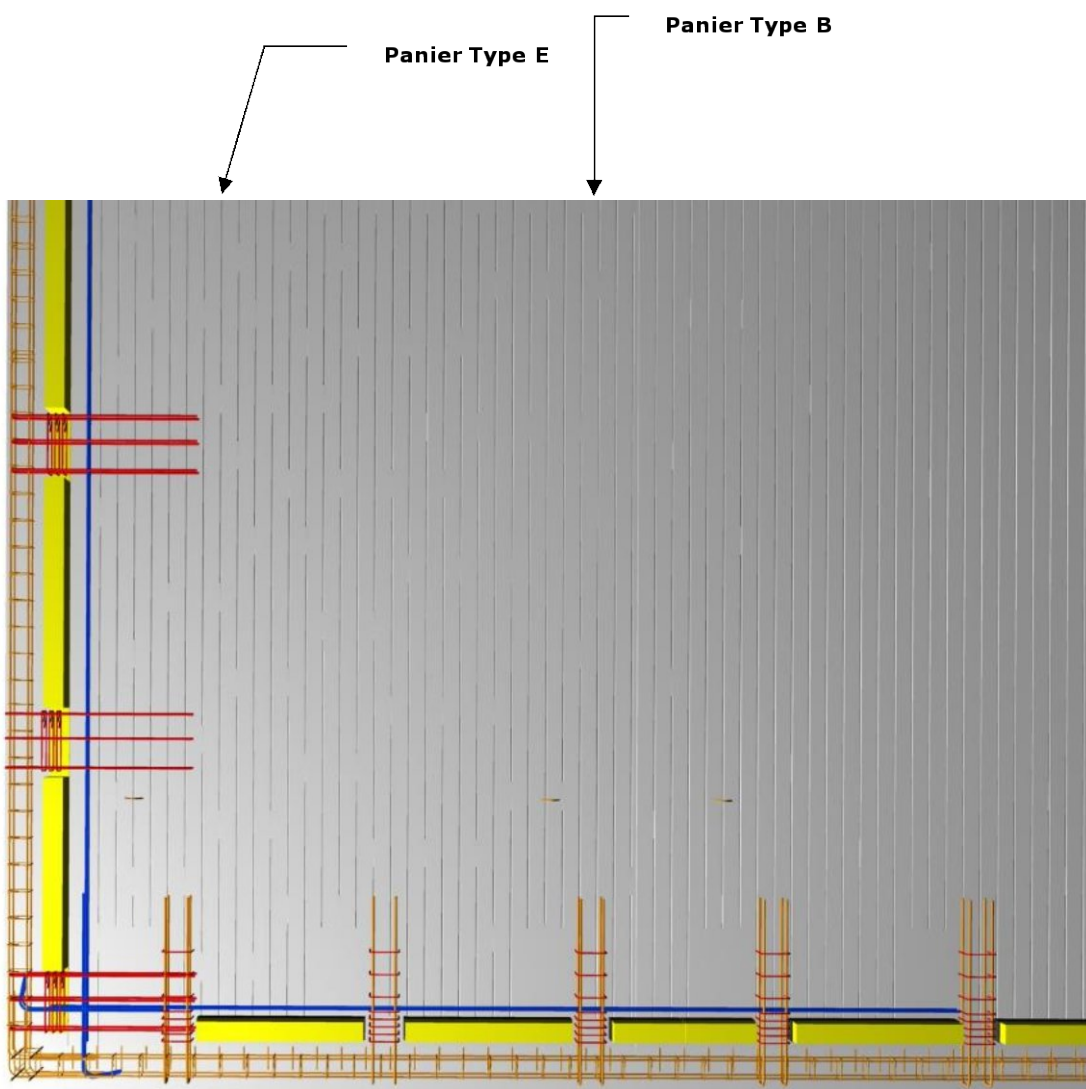


Figure II.13 - Vue en plan – Exemple avec paniers type E et B

II-2.2 Principe de calepinage des rupteurs thermiques

Seules les armatures spécifiques au procédé ThermoPrédalle SEAC sont représentées sur les schémas suivants.

Disposition standard type II avec paniers type E

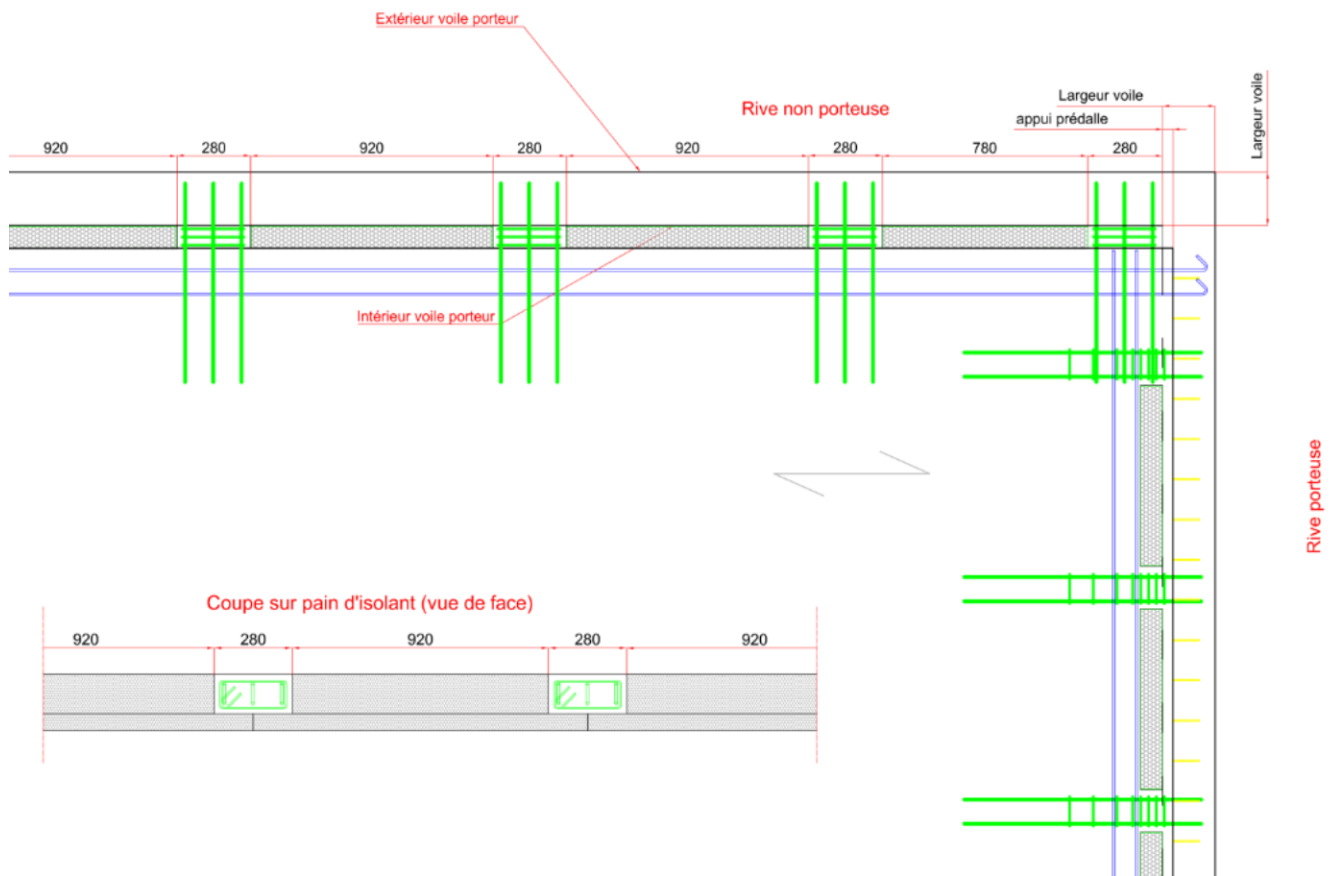


Figure II.14 - Cas de la prédalle d'angle et d'about - Vue en plan - Coffrage - (Exemple avec Paniers d'armatures Type B standards en about et Type E en rive de prédalle)

Annexe III - Dispositions constructives particulières

Les schémas représentés dans la suite constituent des exemples non exhaustifs des dispositions constructives envisageables.

III-1. Liaisons plancher-balcon

III-1.1. Cas de balcon parallèle au sens de portée

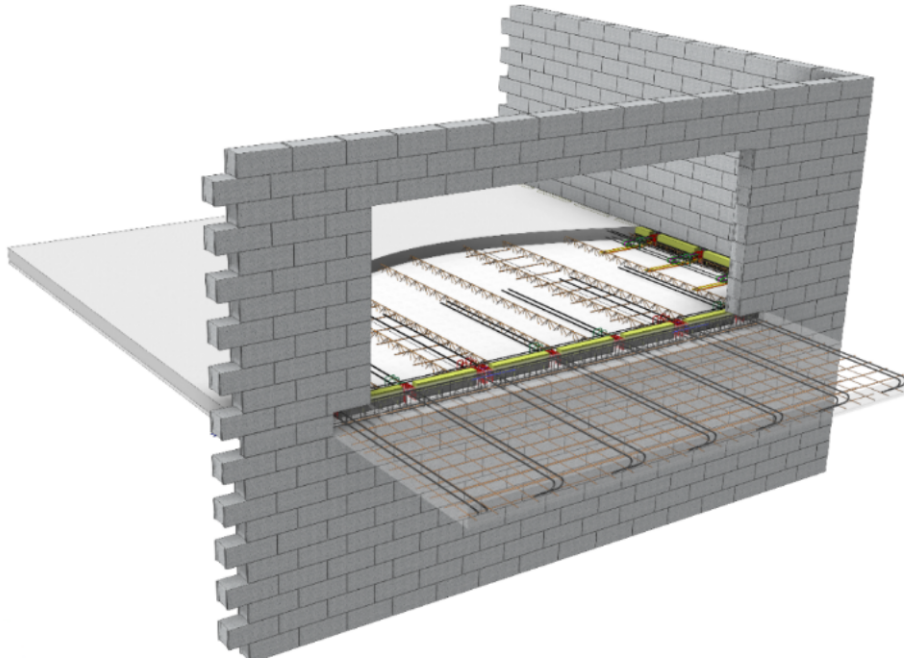


Figure III.1 - Perspective

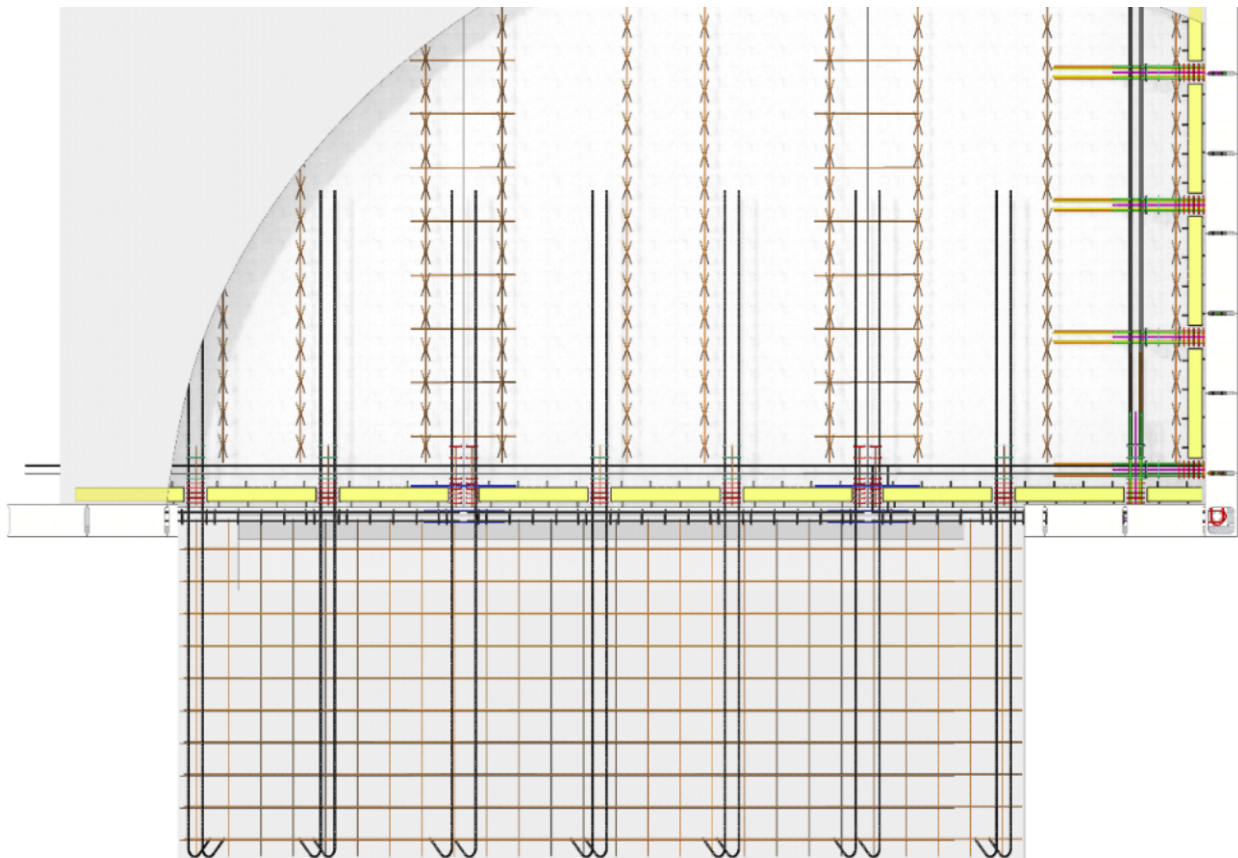
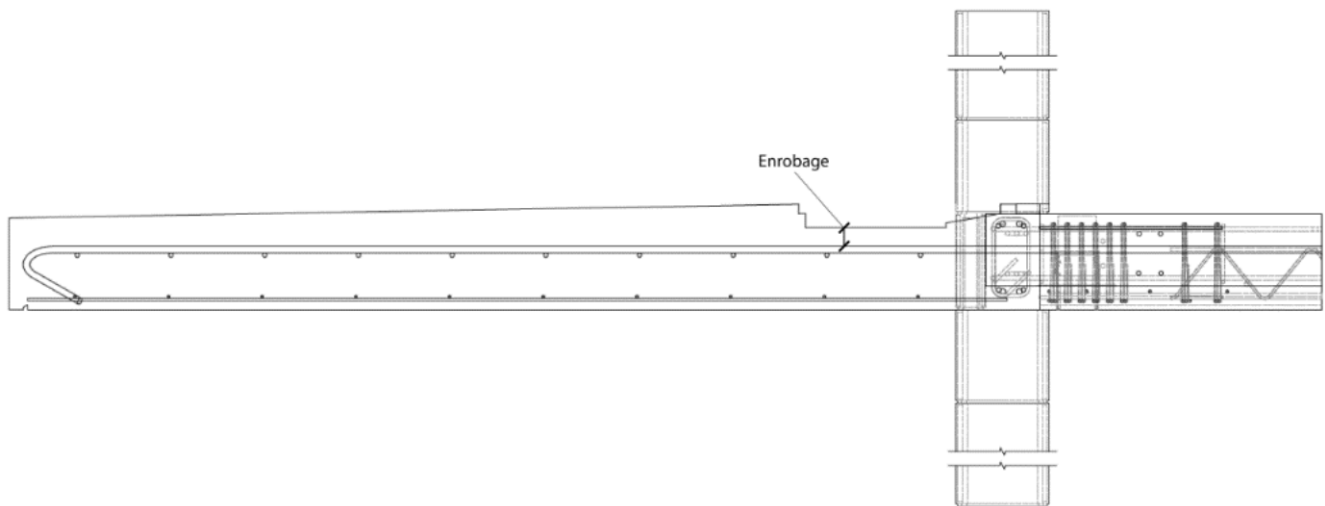


Figure III.2 - Vue en plan



Enrobage suivant la NF EN 1992-1-1

Figure III.3 - Coupe longitudinale

III-1.2. Cas de balcon perpendiculaire au sens de portée

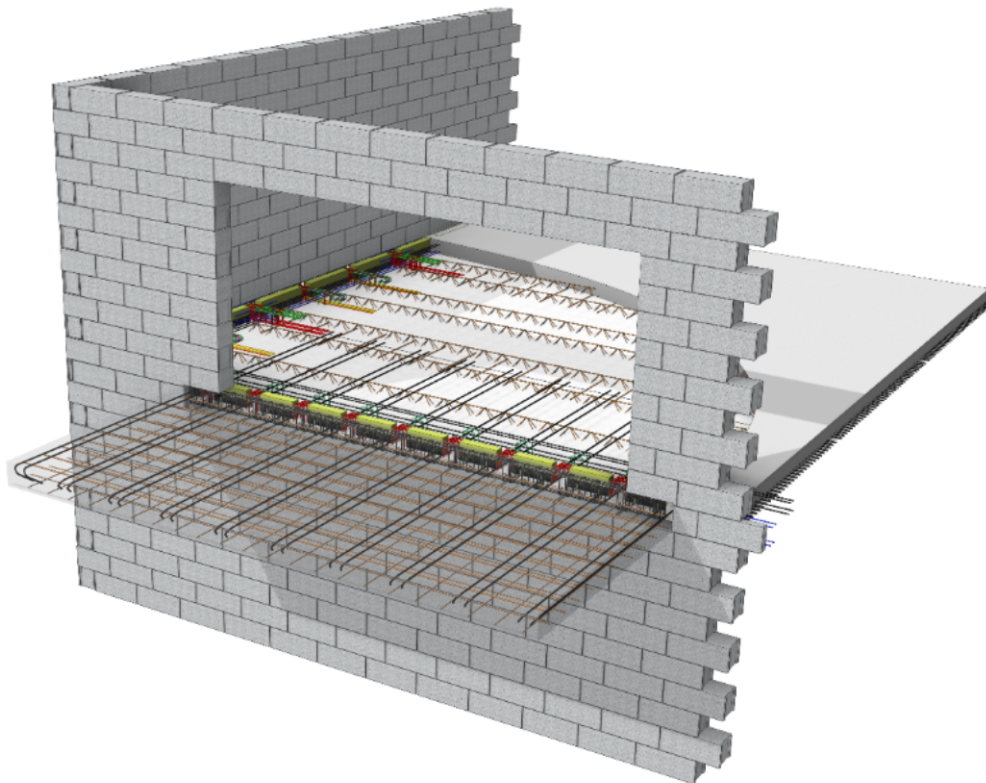


Figure III.4 - Perspective

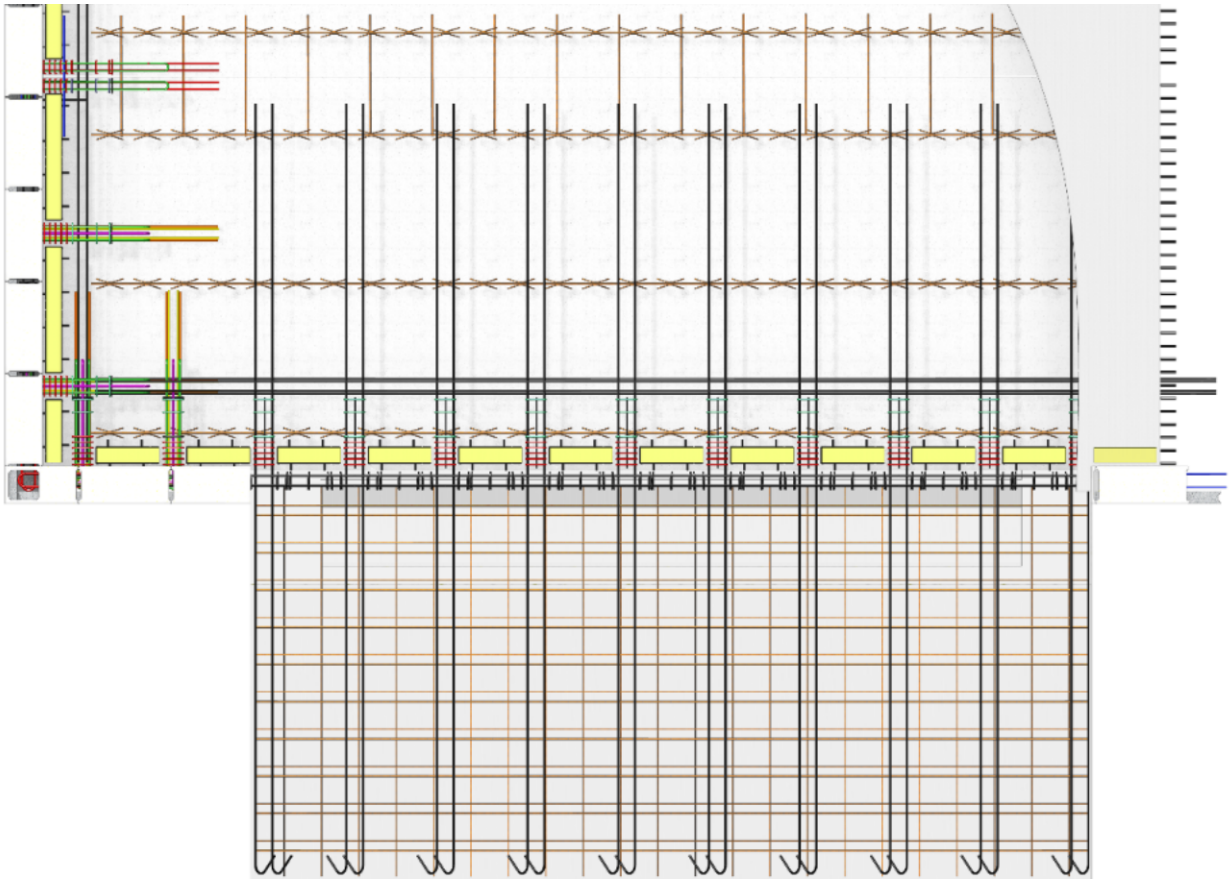
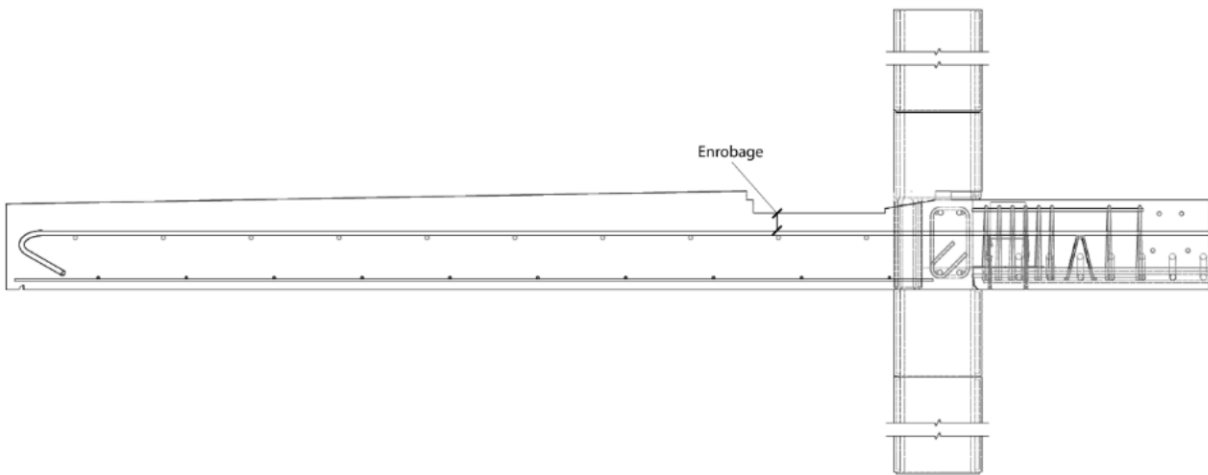


Figure III.5 - Vue en plan



Enrobage suivant la norme NF EN 1992-1-1

Figure III.6 - Coupe longitudinale

III-1.3. Variante pour traitement des balcons avec armatures de recouvrement

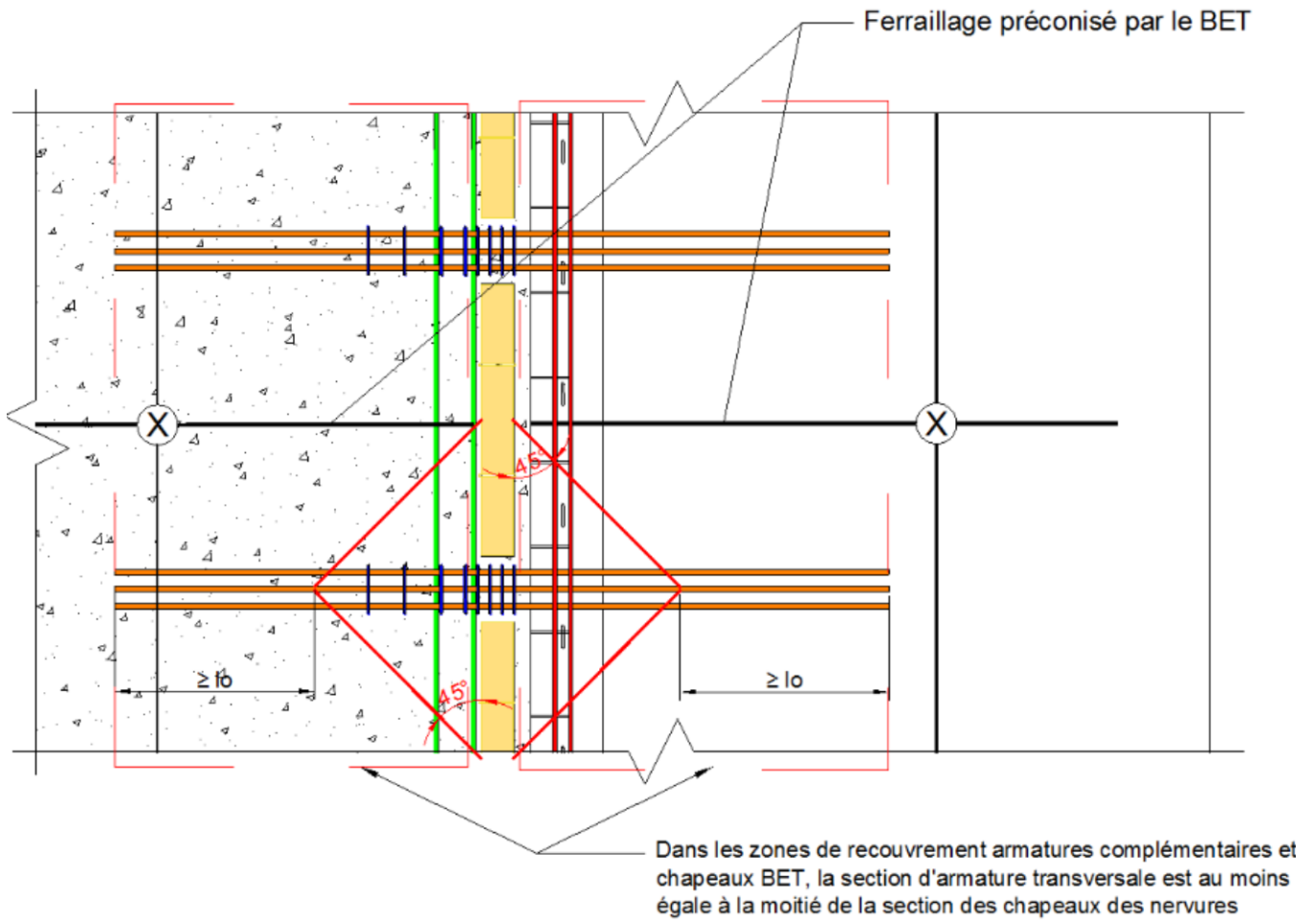


Figure III.7 - Exemple de disposition d'armatures complémentaires mises en recouvrement avec les armatures préconisées par le BET - Vue de dessus

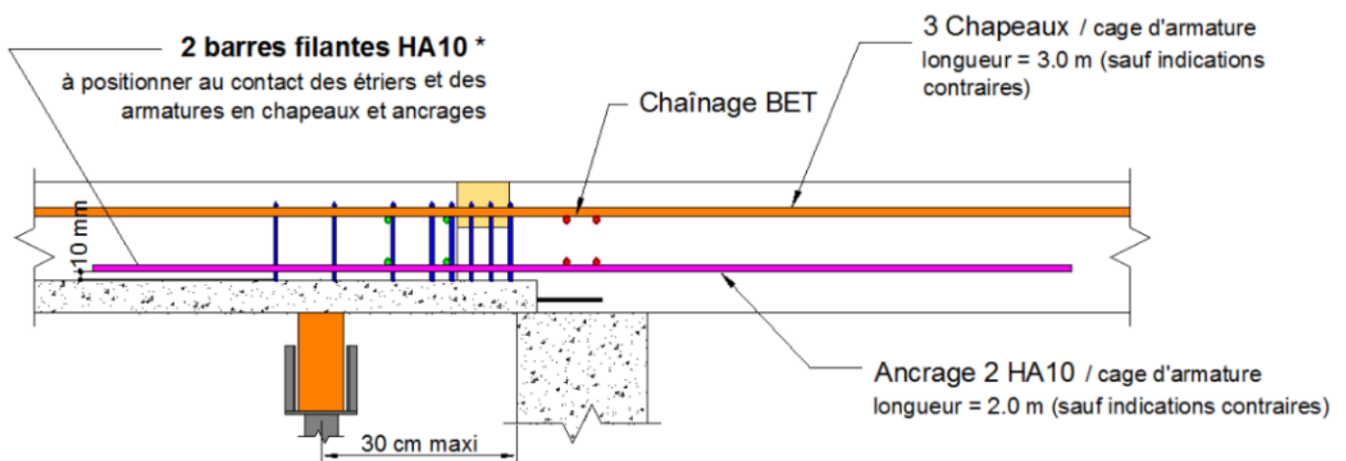


Figure III.8 - Exemple de disposition d'armatures complémentaires au droit des paniers - Coupe transversale (armatures de treillis soudé non représentées)

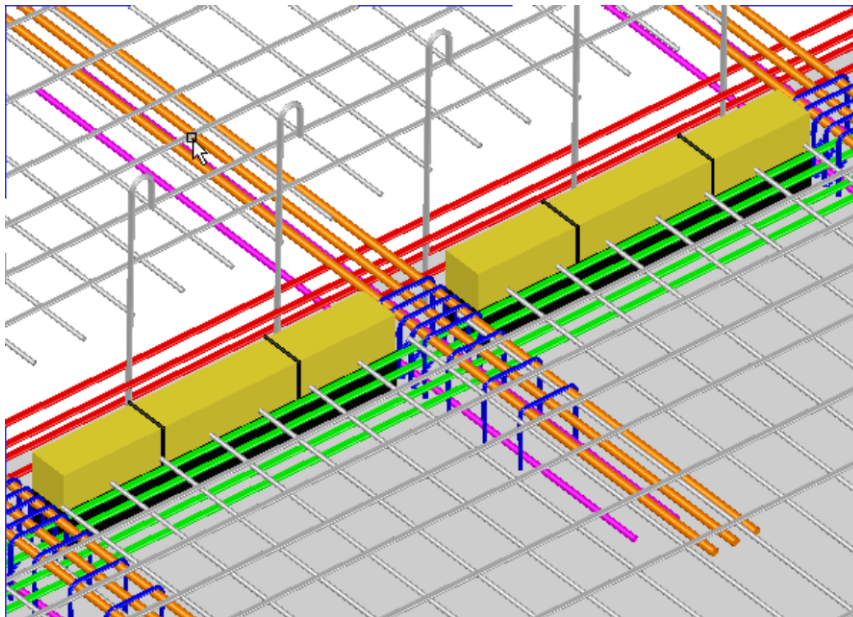


Figure III.9 - Détail de réalisation du recouvrement des armatures au droit des rupteurs.

III-1.4. Exemples d'illustrations de réalisation de balcon en prolongement d'un plancher ThermoPrédalle SEAC

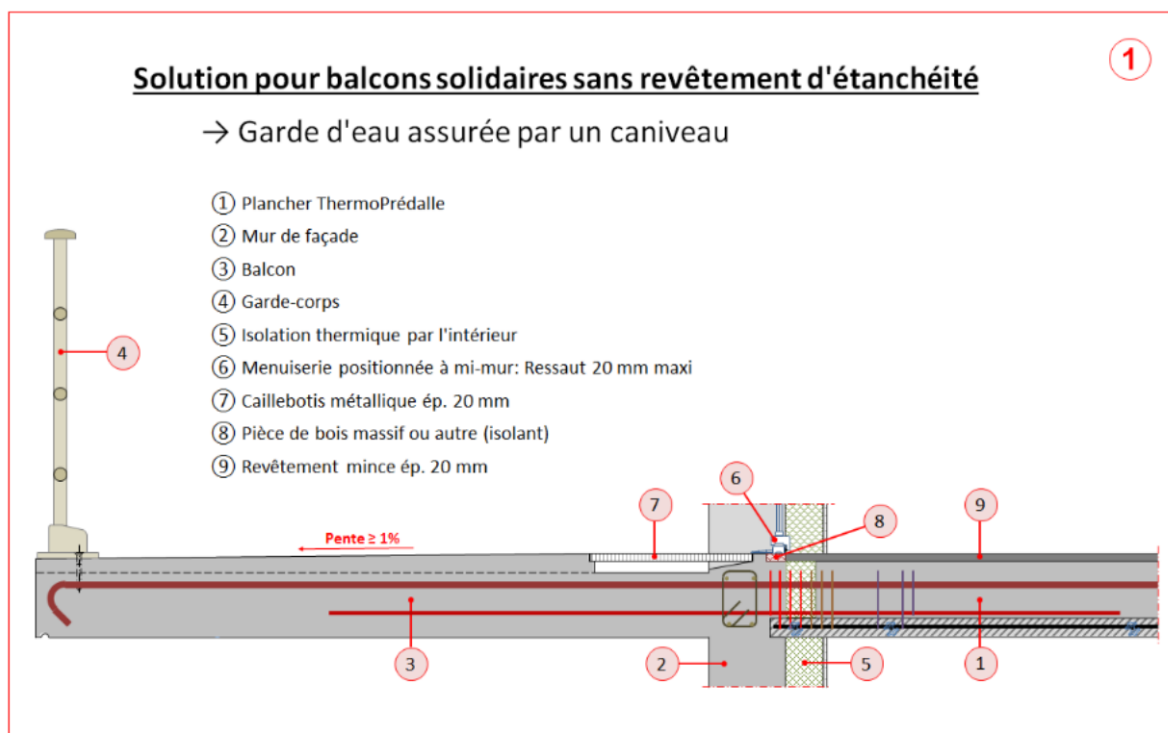
Les illustrations sont des exemples non exhaustifs de traitement des balcons reprenant certaines configurations décrites dans les « carnets de détails pour l'accessibilité des balcons, des loggias et des terrasses dans les constructions neuves » Référence MBPD 10 001 du CSTB.

Les solutions proposées représentent un balcon coulé en place. Il peut être envisagé de réaliser les balcons à partir de prédalles industrielles ou entièrement préfabriqués.

Sur les schémas présentés ci-après, ne sont indiquées que les armatures principales pour équilibrer le balcon en continuité du plancher.

D'autres armatures peuvent être nécessaires vis à vis de la maîtrise de la fissuration dans les zones d'enrobage significatif.

Dans le cas des configurations 3 et 4 avec équilibre du balcon par torsion de la poutre en façade, il conviendra de tenir compte, dans le dimensionnement du balcon, d'une amplification de la rotation sur appui et de la déformation.

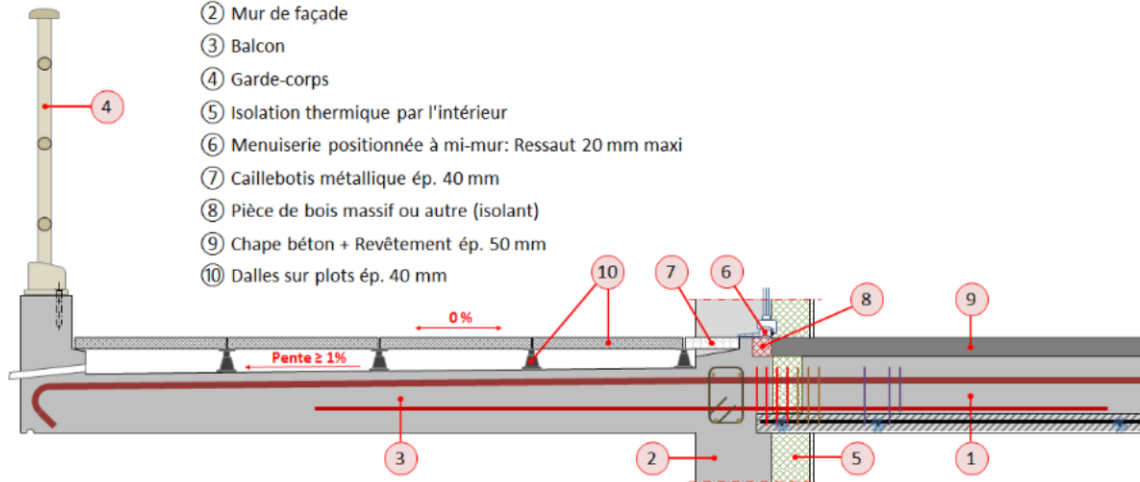


Solution pour balcons solidaires sans revêtement d'étanchéité

2

→ Garde d'eau assurée par un ressaut

- ① Plancher ThermoPrédalle
- ② Mur de façade
- ③ Balcon
- ④ Garde-corps
- ⑤ Isolation thermique par l'intérieur
- ⑥ Menuiserie positionnée à mi-mur: Ressaut 20 mm maxi
- ⑦ Caillebotis métallique ép. 40 mm
- ⑧ Pièce de bois massif ou autre (isolant)
- ⑨ Chape béton + Revêtement ép. 50 mm
- ⑩ Dalles sur plots ép. 40 mm

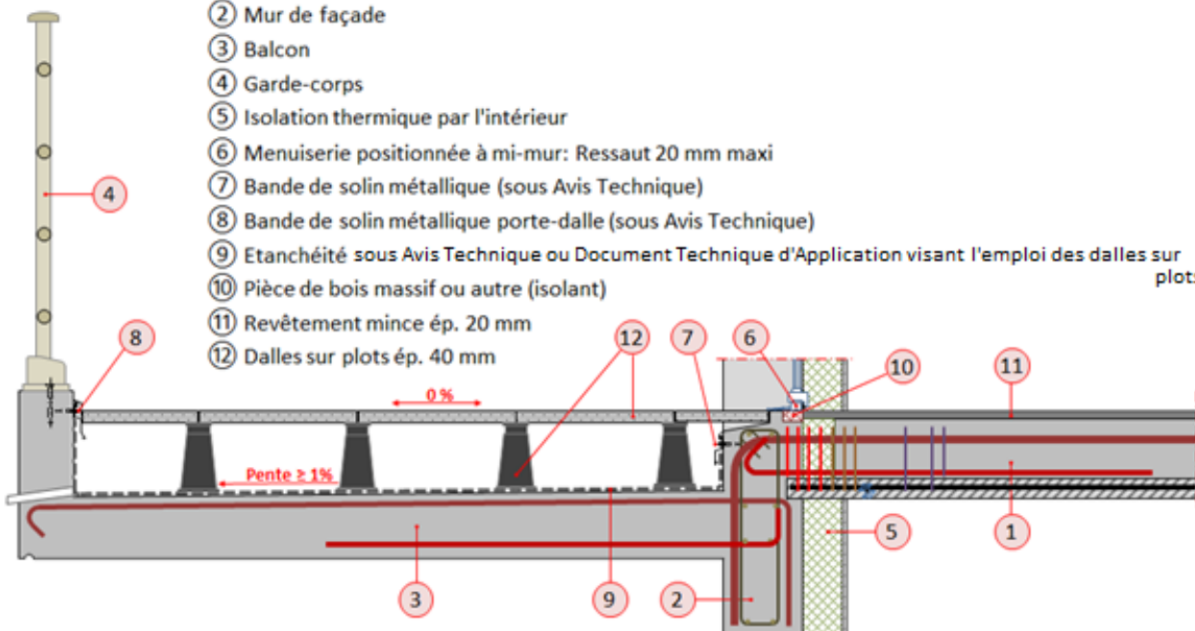


Solution pour balcons solidaires avec revêtement d'étanchéité

3

→ Garde d'eau assurée par un ressaut

- ① Plancher ThermoPrédalle
- ② Mur de façade
- ③ Balcon
- ④ Garde-corps
- ⑤ Isolation thermique par l'intérieur
- ⑥ Menuiserie positionnée à mi-mur: Ressaut 20 mm maxi
- ⑦ Bande de solin métallique (sous Avis Technique)
- ⑧ Bande de solin métallique porte-dalle (sous Avis Technique)
- ⑨ Etanchéité sous Avis Technique ou Document Technique d'Application visant l'emploi des dalles sur plots
- ⑩ Pièce de bois massif ou autre (isolant)
- ⑪ Revêtement mince ép. 20 mm
- ⑫ Dalles sur plots ép. 40 mm

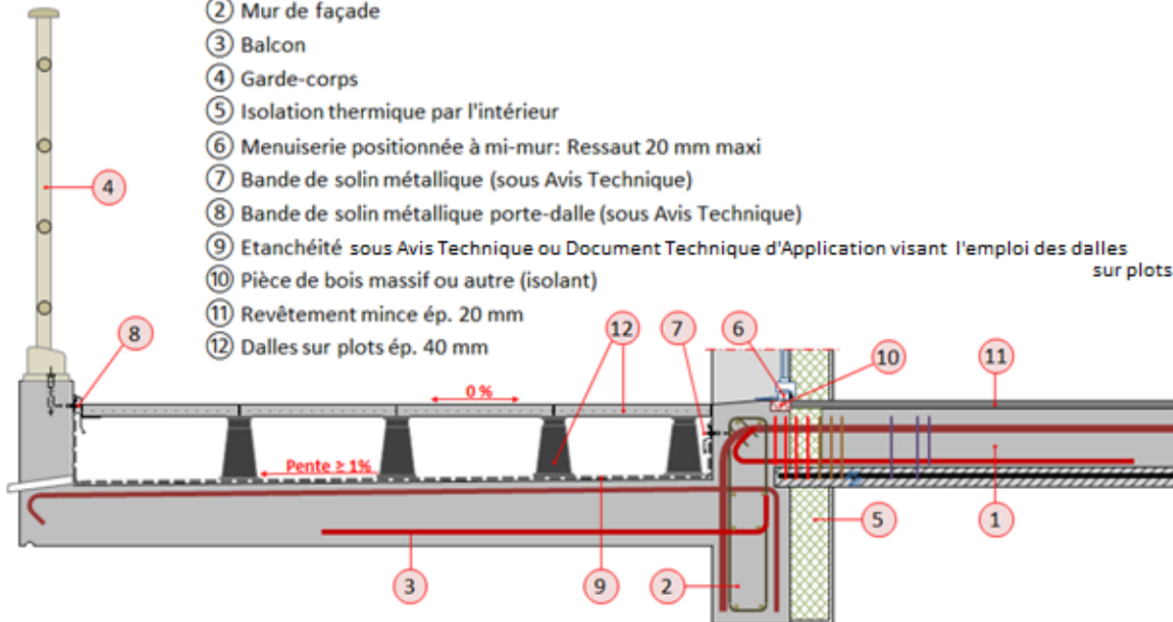


Solution pour balcons solidaires avec revêtement d'étanchéité

4

→ Garde d'eau assurée par un ressaut

- ① Plancher ThermoPrédalle
- ② Mur de façade
- ③ Balcon
- ④ Garde-corps
- ⑤ Isolation thermique par l'intérieur
- ⑥ Menuiserie positionnée à mi-mur: Ressaut 20 mm maxi
- ⑦ Bande de solin métallique (sous Avis Technique)
- ⑧ Bande de solin métallique porte-dalle (sous Avis Technique)
- ⑨ Etanchéité sous Avis Technique ou Document Technique d'Application visant l'emploi des dalles sur plots
- ⑩ Pièce de bois massif ou autre (isolant)
- ⑪ Revêtement mince ép. 20 mm
- ⑫ Dalles sur plots ép. 40 mm



III-2. Disposition de l'étanchéité en toiture-terrasse

Nota : Les dispositions d'étanchéité s'appliquent indifféremment sur le type I ou II.

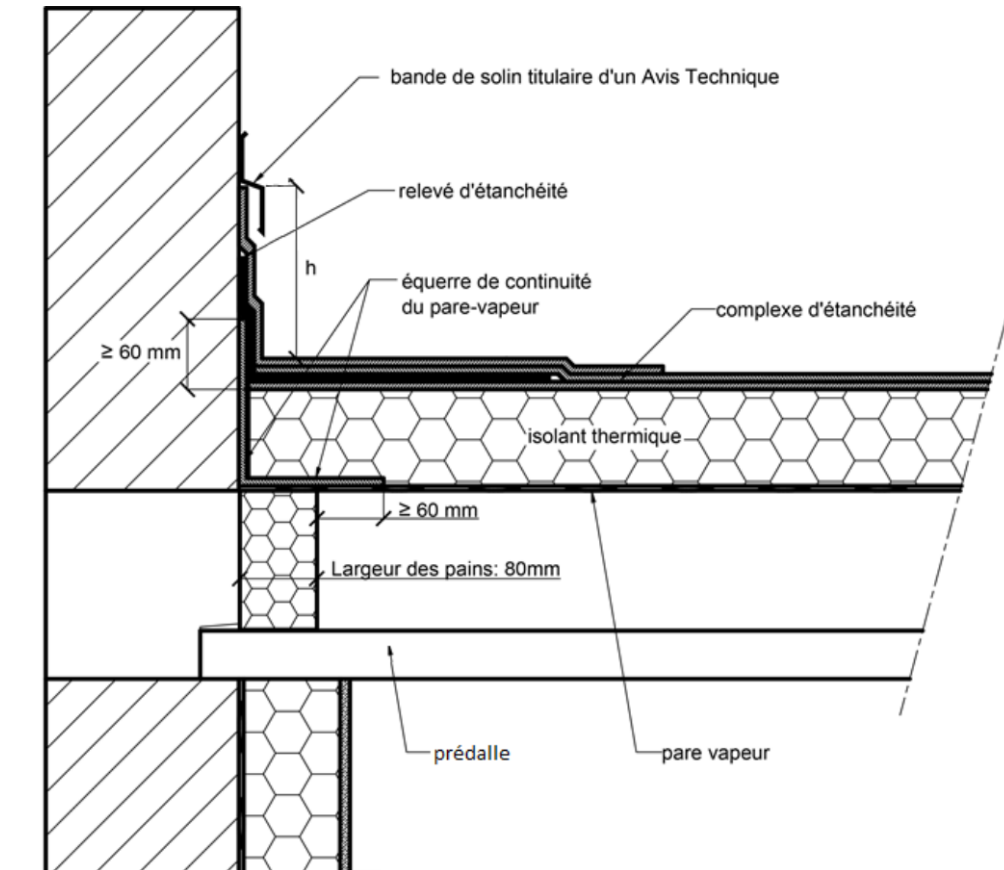


Figure III.10 - Exemple de disposition de l'étanchéité en toiture terrasse (Le rupteur représenté est le rupteur type I sans capot PVC)

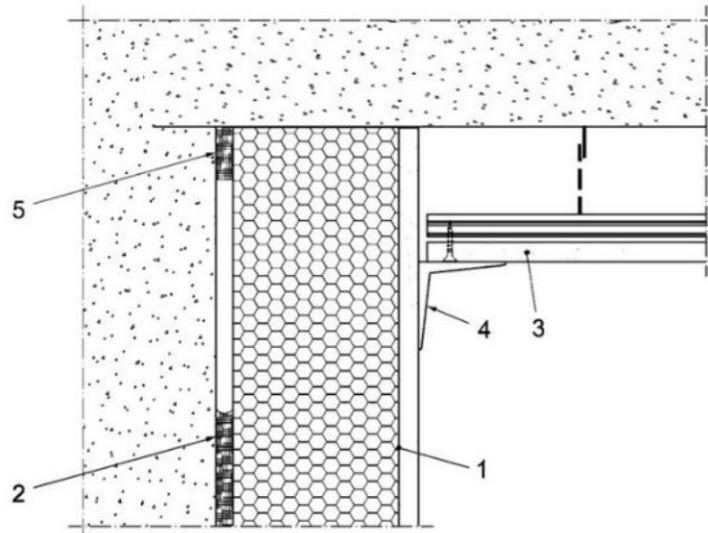
h : conforme au DTU 20.12

III-3. Détails de mise en œuvre des ouvrages de plâtrerie

Les schémas suivants sont représentatifs de la pose de panneaux d'isolation périphérique conformément au DTU 25.42.

Nota : Les dispositions décrites ci-après s'appliquent indifféremment sur le type I ou II.

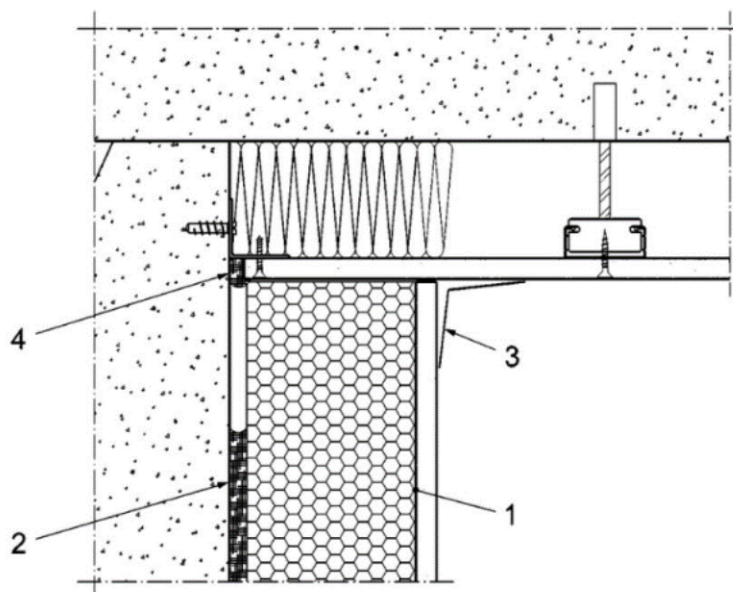
III-3.1. Exemple de mise en œuvre de doublages collés



Légende

- 1 Doublage isolant
- 2 Plots de mortier adhésif
- 3 Plafond
- 4 Bande à joint + enduit
- 5 Boudin continu de mortier adhésif

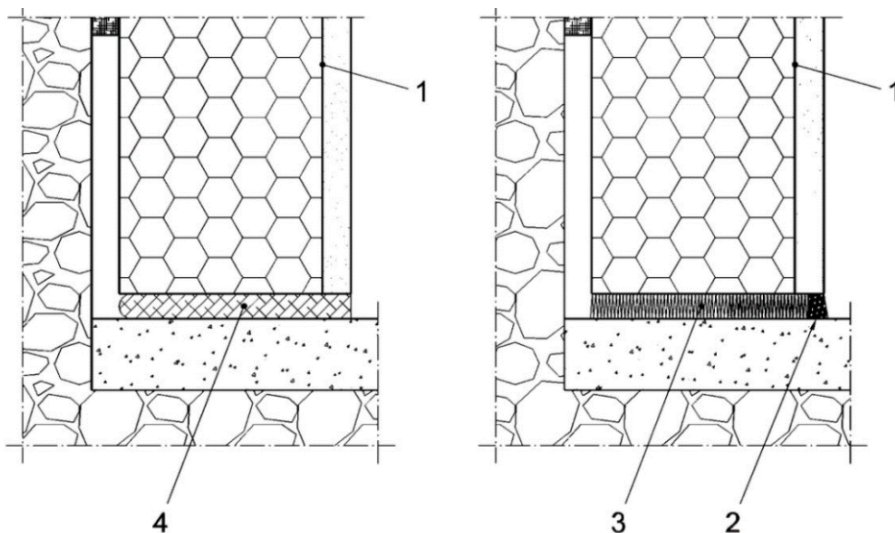
Figure III.11 - Raccordement en partie haute pour isolation continue



Légende

- 1 Doublage isolant
- 2 Plots mortier adhésif
- 3 Bande à joint + enduit
- 4 Joint mastic

Figure III.12 - Raccordement en partie haute pour isolation interrompue par le plafond

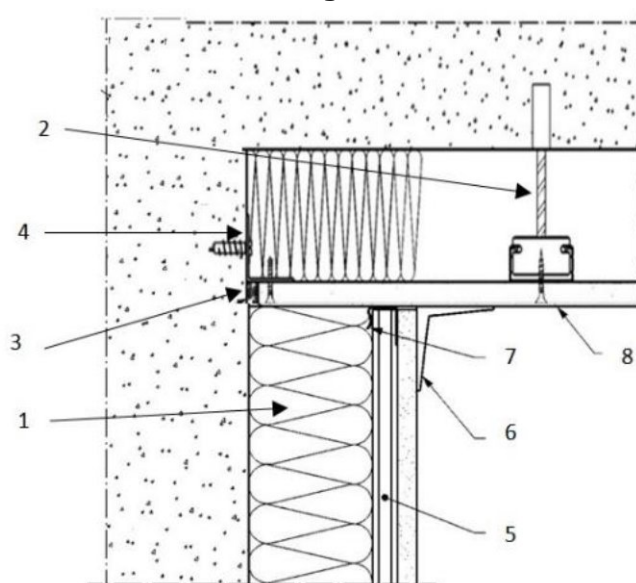


Légende

- 1 Doublage isolant avec plaque de plâtre standard
- 2 Joint mastic
- 3 Bourrage laine minérale
- 4 Mousse polyuréthane faiblement expansive recoupée

Figure III.13 - Raccordement en partie basse

III-3.2. Exemple de mise en œuvre de doublages sur ossature



Légende

- 1 Procédé d'isolation
- 2 Suspente
- 3 Mastic ou bourrage
- 4 Cornière
- 5 Fourrure
- 6 Traitement de joint
- 7 Rail de fourrure
- 8 Plaque de plâtre

Figure III.14 – Exemple de raccordement en partie haute

Annexe IV - Vérification de la résistance des nervures sous sollicitations d'effort tranchant horizontal

IV-1. Résistance au cisaillement

IV-1.1. Approche analytique

Le schéma de transfert des efforts horizontaux entre le plancher et le voile est représenté dans la figure ci-dessous.

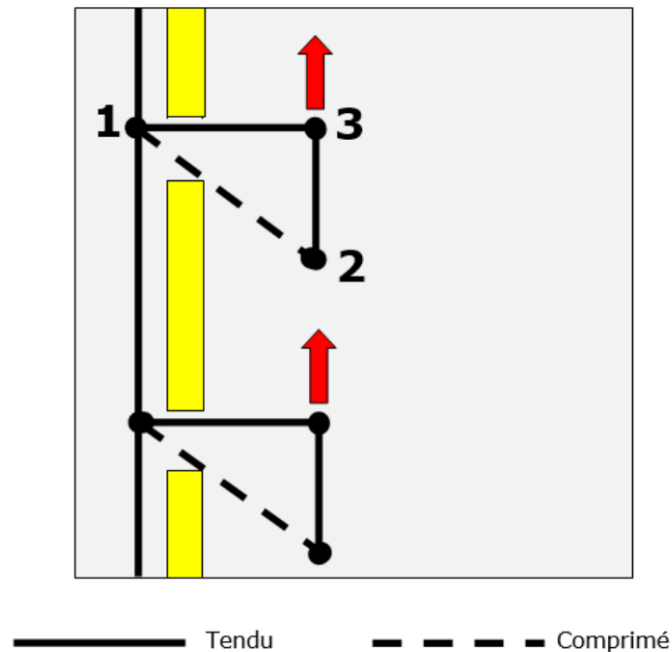


Figure IV.1 - Schéma de stabilité considéré

L'équilibre nécessite un tendeur [2 ; 3] qui sera réalisé par le chaînage intérieur disposé en bordure des pains d'isolant. Les armatures du panier représentées par la barre [1 ; 3] doivent être ancrées au-delà du point [3] croisement avec le chaînage intérieur.

Le nœud [1] soumis à une compression avec traction, au croisement des armatures du chaînage et des armatures du panier, peut être assimilé au cas représenté dans la figure 6.27 de la NF EN 1992-1-1.

La contrainte admissible dans la bielle est déterminée en appliquant la formule 6.61 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

Extraits :

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v' f_{cd} \quad \dots (6.61)$$

NOTE La valeur de k_2 à utiliser dans un pays donné peut être fournie par son Annexe Nationale. La valeur recommandée est $k_2 = 0,85$.

Nous retiendrons pour k_2 la valeur recommandée. A noter que l'annexe nationale permet de retenir des valeurs supérieures.

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

Dans l'analyse, les contraintes amenées par le chargement vertical sont négligées.

Le schéma de stabilité est représenté ci-après :

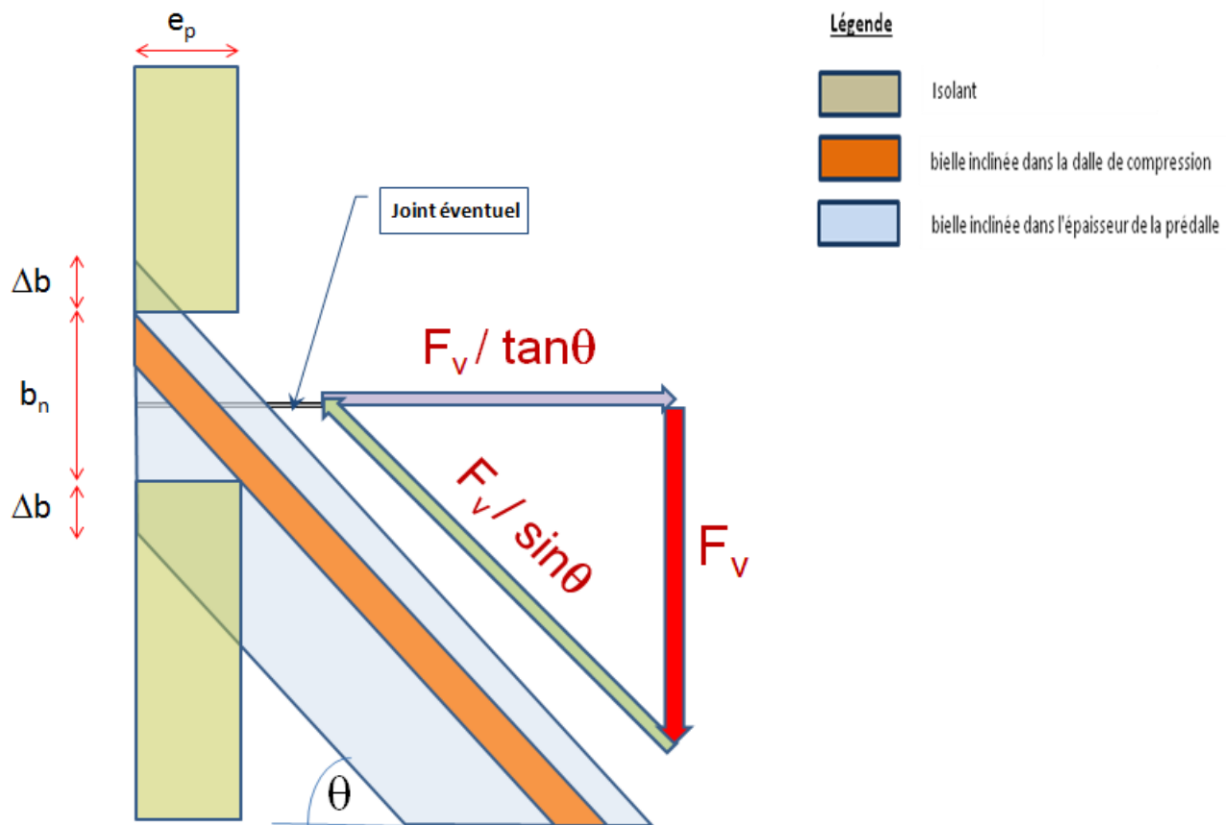


Figure IV.2 Essais de cisaillement -schéma de stabilité

L'effort F_v exercé par le plancher au droit de la nervure est reporté sur le voile par des bielles inclinées équilibrant un effort égal à $\frac{F_v}{\sin \theta}$

L'effort transite pour partie par le béton de la dalle de compression et pour partie au niveau de la prédalle dans le cas du rupteur de type I. On rappelle que le contact entre la prédalle et le chaînage a été conservé sur 4 cm de part et d'autre de la nervure.

En considérant les variables suivantes :

e_p	Épaisseur de l'isolant
b_n	Largeur de la nervure
Δ_b	Sur-largeur sur laquelle le contact prédalle-béton de chaînage est supposé maintenu : $\Delta_b = 40$ mm
h_t	Épaisseur totale du plancher
h_c	Épaisseur de la dalle de compression
h_p	Épaisseur de la prédalle
h_n	Hauteur de la nervure mesurée au droit du pain isolant dans le cas du rupteur de type II : $h_n = h_t - 60$ mm
θ	Angle d'inclinaison de la bielle
β	Coefficient égal à 0,5 dans le cas de présence d'un joint de prédalle ou égal à 1 dans les autres cas
k_2	Coefficient de la formule (6.61) de la NF EN 1992-1-1, pris égal à 0,85
$f_{ck,ch}$	Résistance caractéristique du béton de la dalle de compression
$\gamma_{c,ch}$	Coefficient partiel de sécurité relatif au béton de la dalle de compression
ν'_{ch}	Coefficient de la formule (6.61) de la NF EN 1992-1-1 applicable à la résistante du béton de chantier, avec : $\nu'_{ch} = \left(1 - \frac{f_{ck,ch}}{250}\right)$
f_{ck}	Résistance caractéristique du béton des prédalles
γ_c	Coefficient partiel de sécurité relatif au béton de la prédalle
ν'	Coefficient de la formule (6.61) de la NF EN 1992-1-1 applicable à la résistante du béton de prédalle, avec : $\nu' = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$
α_{cc}	coefficient réducteur de la résistance en compression du béton pris égal à 0,80 lorsque la nervure n'est pas armée transversalement et pris égal à 1,00 dans le cas contraire
b_{st}	Encombrement transversal des étriers dans la zone de liaison
ϕ_t	Diamètre des armatures transversales dans la zone de liaison
s_t	Espacement des armatures transversales dans la zone de liaison
A_{st}	Section d'un cours d'armatures transversales dans la zone de liaison, $A_{st} = 2 \frac{\pi \phi_t^2}{4}$
γ_s	Coefficient partiel de sécurité relatif aux armatures de la nervure $\gamma_s = 1,10$
σ_2	Contrainte effective latérale à l'ELU due au confinement : <ul style="list-style-type: none"> Rupteur de type I : la contrainte σ_2 est calculée en considérant que les armatures transversales disposées à l'espacement s_t sont soumises à une contrainte égale à f_{yd}, soit : $\sigma_2 = \frac{A_{st}}{(h_c + h_p) s_t} f_{yd} \cos \theta$ Rupteur de type II : la contrainte σ_2 est calculée selon les prescriptions du Code Modèle 2010 (article 7.2.3.1.6).
λ	Coefficient majorant la capacité résistante du béton pour tenir compte de l'effet de confinement apporté par les armatures transversales : <ul style="list-style-type: none"> Rupteur de type I : le coefficient λ est déterminé conformément aux formules (3.24) et (3.25) de la NF EN 1992-1-1 soit, $\lambda = 1,000 + 5,0 \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \text{ si } \sigma_2 \leq 0,05 f_{ck}$ $\lambda = 1,125 + 2,5 \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \text{ si } \sigma_2 > 0,05 f_{ck}$ Rupteur de type II : le coefficient λ est déterminé en application des prescriptions du Code Modèle 2010 (article 7.2.3.1.6) : $\lambda = 1,000 + 3,5 \left[\frac{\sigma_2}{f_{ck}} \right]^{\frac{3}{4}}$
γ_{Rd}	Coefficient partiel appliqué au coefficient de confinement pour tenir compte de l'incertitude sur le modèle de résistance du fait de la mixité des bétons de classe de résistance différentes et/ou du frettage partiel des zones comprimées $\gamma_{Rd} = 1,20$
δ	Coefficient réducteur de l'effet de confinement dans le béton de prédalle pour tenir compte du fait que seule la partie enserrée par les armatures transversales est confinée : $\delta = \frac{b_n + (\lambda - 1) b_{st} + 2 \Delta b}{\lambda (b_n + 2 \Delta b)}$

Pour la détermination de la capacité résistante, on utilisera les données suivantes :

- Largeur de la bielle dans l'épaisseur de la dalle de compression = $(b_n \cos \theta - e_p \sin \theta)$
- Largeur de la bielle dans l'épaisseur de la prédalle (rupteur de type I) = $\beta (b_n + 2 \Delta b) \cos \theta$

La capacité résistante maximale de la nervure, notée FRV, peut être estimée à partir de la formule suivante :

$$F_{RV} = (F_{bdc} + F_{bpr}) \sin \theta$$

Expression dans laquelle :

- F_{bdc} Correspond à la capacité résistante en compression de la bielle située dans le béton coulé en œuvre
 F_{bpr} Correspond à la capacité résistante en compression de la bielle située au niveau de la prédalle

L'effort normal au voile F_h devant être équilibré par les armatures de liaison :

$$F_h = \frac{F_v}{\tan \theta}$$

IV-1.2. Capacité résistante à l'E.L.U.

La capacité résistante maximale au cisaillement horizontal à l'E.L.U. $F_{RV,ELU}$ est égale à :

$$F_{RV,ELU} = (F_{bdc,ELU} + F_{bpr,ELU}) \sin \theta$$

- Cas du rupteur de type I :

$$F_{bdc,ELU} = h_c (b_n \cos \theta - e_p \sin \theta) k_2 v'_{ch} \alpha_{cc} \frac{\lambda}{\gamma_{Rd}} f_{cd,ch}$$

$$F_{bpr,ELU} = h_p \beta (b_n + 2 \Delta b) \cos \theta k_2 v' \alpha_{cc} \delta \frac{\lambda}{\gamma_{Rd}} f_{cd}$$

$$\text{Avec, } f_{cd,ch} = \frac{f_{ck,ch}}{\gamma_{c,ch}} \text{ et } f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

- Cas du rupteur de type II :

$$F_{bdc,ELU} = \text{Min}(h_c, h_n) (b_n \cos \theta - e_p \sin \theta) k_2 v'_{ch} \alpha_{cc} \frac{\lambda}{\gamma_{Rd}} f_{cd,ch}$$

$$F_{bpr,ELU} = 0$$

La section d'armatures nécessaire pour équilibrer la composante de traction étant égale à : $\frac{F_{h,ELU}}{f_{yd}}$ avec $F_{h,ELU} = \frac{F_{v,ELU}}{\tan \theta}$

IV-1.3. Capacité résistante à l'E.L.S.

La capacité résistante à l'E.L.S est déterminée suivant la même approche en limitant :

- La contrainte de compression du béton à $0,60 f_{ck}$, et,
- La contrainte dans les armatures à $0,80 f_{yk}$

La capacité résistante maximale au cisaillement horizontal à l'E.L.S $F_{RV,ELS}$ est égale à :

$$F_{RV,ELS} = (F_{bdc,ELS} + F_{bpr,ELS}) \sin \theta$$

- Cas du rupteur de type I :

$$F_{bdc,ELS} = h_c (b_n \cos \theta - e_p \sin \theta) k_2 v'_{ch} \alpha_{cc} \frac{\lambda}{\gamma_{Rd}} 0,60 f_{ck,ch}$$

$$F_{bpr,ELS} = h_p \beta (b_n + 2 \Delta b) \cos \theta k_2 v' \alpha_{cc} \delta \frac{\lambda}{\gamma_{Rd}} 0,60 f_{ck}$$

- Cas du rupteur de type II :

$$F_{bdc,ELS} = \text{Min}(h_c, h_n) (b_n \cos \theta - e_p \sin \theta) k_2 v'_{ch} \alpha_{cc} \frac{\lambda}{\gamma_{Rd}} 0,60 f_{ck,ch}$$

$$F_{bpr,ELS} = 0$$

La section d'armatures nécessaire pour équilibrer la composante de traction étant égale à : $\frac{F_{h,ELS}}{(0,80 f_{yk})}$ avec $F_{h,ELS} = \frac{F_{v,ELS}}{\tan \theta}$

IV-1.4. Raideur

La raideur à retenir pour le calcul d'une configuration est déterminée à partir de la mesure expérimentale, par l'application d'un coefficient correcteur, pris égal au rapport des surfaces des bielles comprimées.

Ainsi pour une configuration donnée, afin de déterminer la raideur de calcul de la géométrie « i », on applique à la raideur mesurée sur la géométrie « j » le coefficient égal au rapport de la section calculée sur le cas « i » à la section calculée sur le cas « j », ce qui se traduit par l'expression :

$$K_{di} = K_{exp,j} \frac{A_{c,i}}{A_{c,j}}$$

Section calculée :

- Cas du rupteur de type I :

$$A_c = \left[h_c (b_n \cos \theta - e_p \sin \theta) \right] + \beta [h_p (b_n + 2 \Delta b) \cos \theta]$$

- Cas du rupteur de type II :

$$A_c = \text{Min}(h_c, h_n) (b_n \cos \theta - e_p \sin \theta)$$

IV-2. Résistance à la traction

On estimera la capacité résistante à la traction par le calcul F_{Ed} avec l'expression suivante :

$$F_{Ed} = \text{Min}(A_s; 480 \text{ mm}^2) f_{yd}$$

La raideur de la liaison sera caractérisée par la relation suivante :

$$K_N = \frac{A_s \times E_s}{L}$$

IV-3. Vérification d'une nervure

Des modélisations numériques réalisées avec les différentes valeurs de raideurs ont montré que la variation de ce paramètre avait une incidence négligeable sur les résultats. Au vu de ce constat et pour faciliter le travail de conception pour le bureau d'études de structures, nous retiendrons une valeur unique pour la modélisation des nervures, adoptant :

- Pour la raideur en cisaillement :

$$KV = 1000 \text{ kN/mm}$$

- Et pour la raideur en traction :

- Cas du rupteur de type I :

$$K_N = 785 \text{ kN/mm}$$

Note : la valeur de la raideur en traction correspond au cas de 4 armatures HA10.

- Cas du rupteur de type II :

$$K_N = 1178 \text{ kN/mm}$$

Note : la valeur de la raideur en traction correspond au cas de 6 armatures HA10.

Dans les cas courants, la capacité résistante de la nervure est conditionnée par la capacité résistante du tendeur réalisé par les armatures du panier.

Au droit de chaque nervure, on désigne par :

- $A_{s,sup}$ la section d'armatures ancrées sur appui en partie supérieure ;
- $A_{s,inf}$ la section d'armatures ancrées sur appui en partie inférieure.

Le principe de vérification des nervures est décrit ci-après :

1. Les efforts au droit de chaque liaison sont tout d'abord déterminés à partir d'une modélisation numérique en élastique linéaire, en adoptant pour l'ouvrage le coefficient de comportement qui aurait retenu pour ce même ouvrage sans rupteurs.
2. Les résultats obtenus sur chaque nervure peuvent être directement pris en compte. Il est également possible de lisser les résultats en moyennant les valeurs :
 - Sur trois nervures pour l'effort normal ;
 - Sur l'ensemble des liaisons d'un élément de mur pour l'effort de cisaillement.
3. Nous obtenons ainsi pour les différentes nervures les éléments de réduction $\{ N_{Ed}; V_{Ed,V}; V_{Ed,H} \}$, avec les notations suivantes :

N_{Ed} l'effort normal par nervure (> 0 dans le cas de traction)

$V_{Ed,V}$ l'effort de cisaillement vertical par nervure

$V_{Ed,H}$ l'effort de cisaillement horizontal par nervure

4. On vérifie tout d'abord que la section d'armatures en partie inférieure $A_{s,inf}$ de la nervure permet d'équilibrer la bielle d'about sous l'action de $V_{Ed,V}$.
5. On détermine ensuite la section disponible pour équilibrer la composante inclinée de la force horizontale :

$$A_{s,res} = A_{s,sup} + A_{s,inf} - \frac{V_{Ed,V} + \eta N_{Ed}}{f_{yd}}$$

η est un coefficient qui prend en compte d'éventuels défauts d'exécution, il est pris égal à 1,20 dans le cas de paniers pour lesquels les armatures sont mises en œuvre sur chantier. Il est pris égal à 1,00 dans les autres cas.

6. Dans le cas de nervures situées en vis-à-vis d'un porte-à-faux, la section d'armature disponible est calculée en tenant compte de la section d'armatures supérieure nécessaire pour équilibrer le moment M_{Ed} dû au porte-à-faux, compte tenu du bras de levier z :

$$A_{s,res} = A_{s,sup} + A_{s,inf} - \left(\frac{M_{Ed}}{z f_{yd}} + \frac{\eta N_{Ed}}{f_{yd}} \right)$$

7. A partir de la section disponible, reprenant les expressions définies précédemment, on recherche la valeur de l'angle θ permettant d'obtenir la résistance maximale. La valeur de la capacité résistante $V_{Rd,H,max}$ sera égale à $V_{Rd,H,max} = \frac{F_{Rv}}{\eta}$, η ayant la définition ci-dessus. En pratique, on pourra plus simplement lire directement la valeur $V_{Rd,H,max}$ dans les graphes ci-après, à partir de la valeur $A_{s,res}$. Les valeurs peuvent être interpolées pour des épaisseurs de dalles intermédiaires.

IV-3.1. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE A courants

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

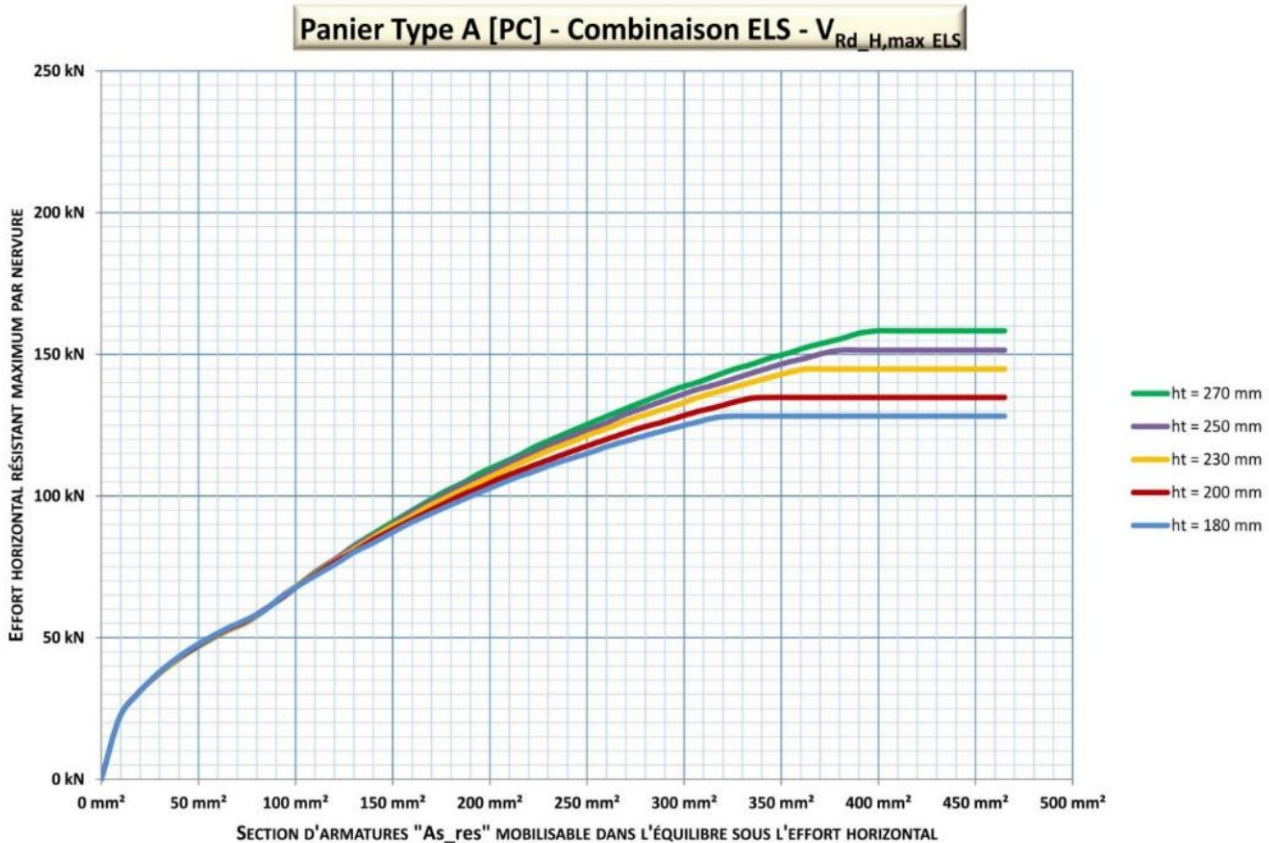


Figure IV-3

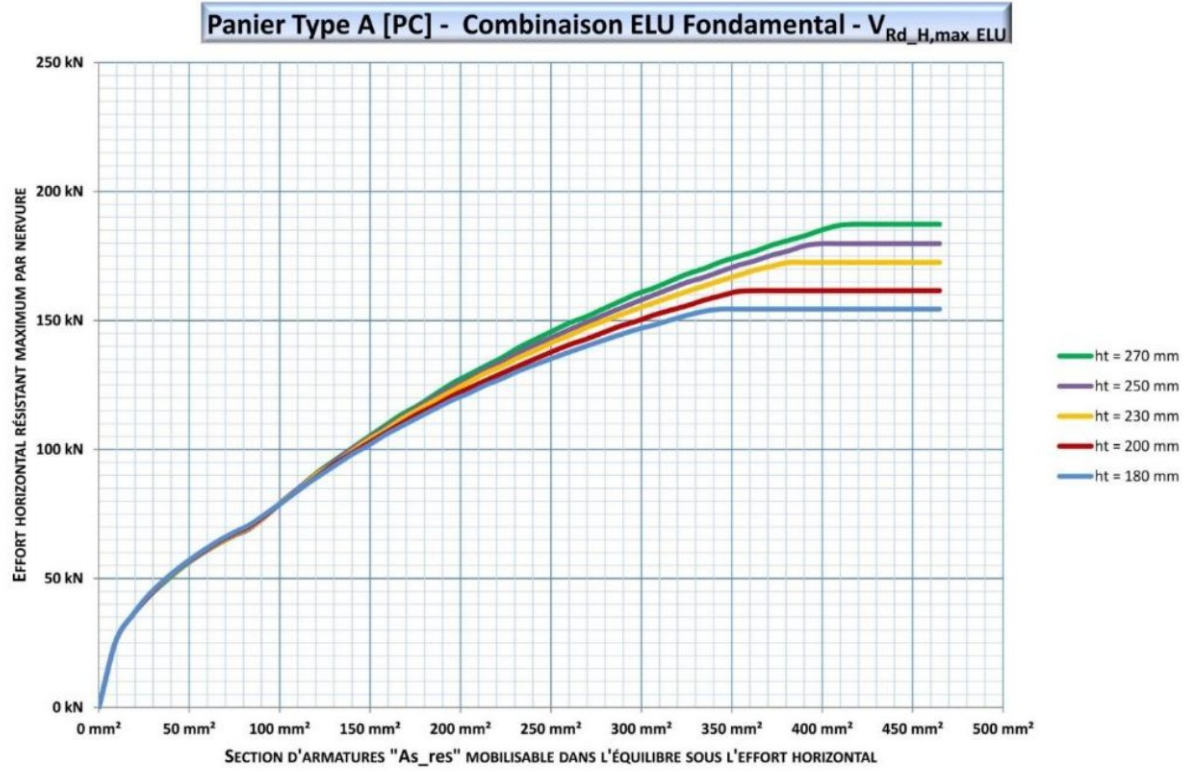


Figure IV-4

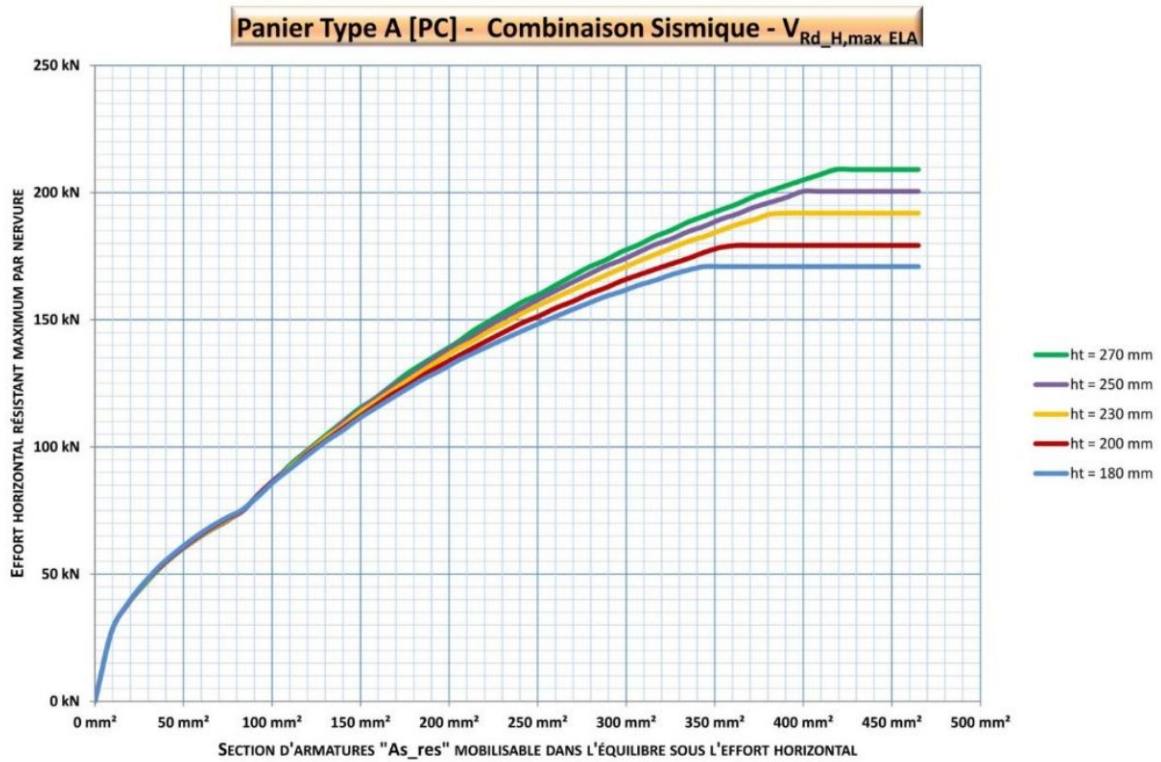


Figure IV.5

IV-3.2. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE A d'extrémité

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

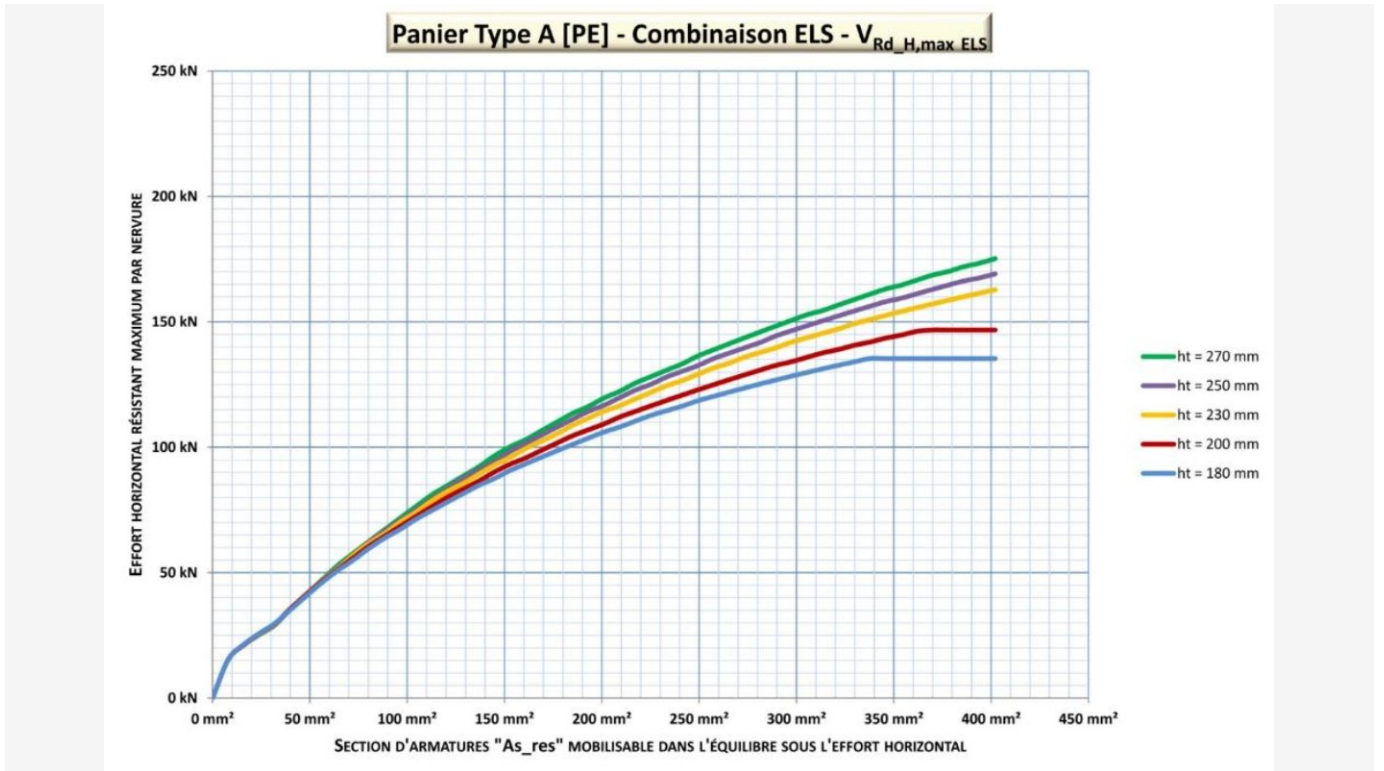


Figure IV.6

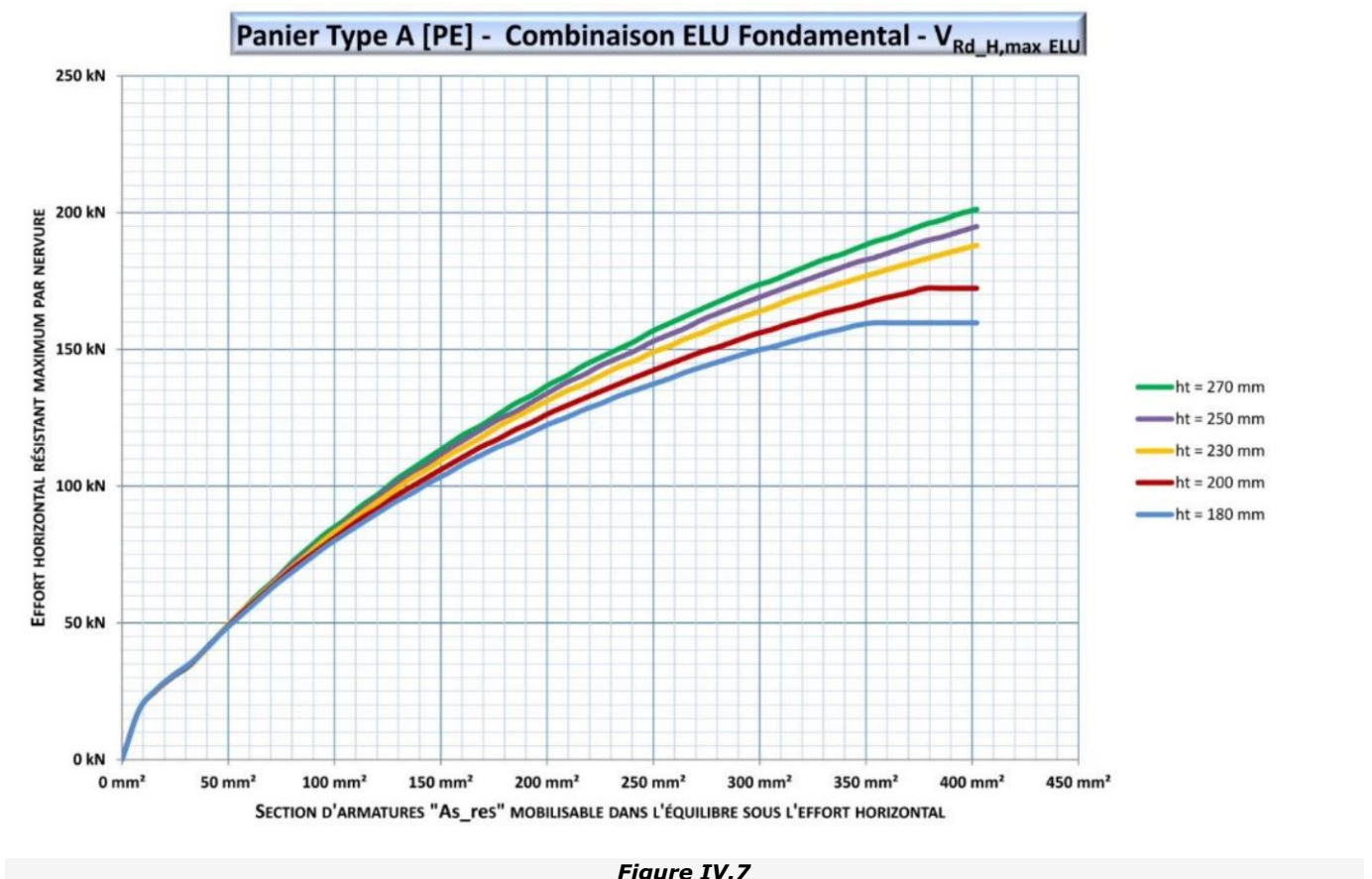


Figure IV.7

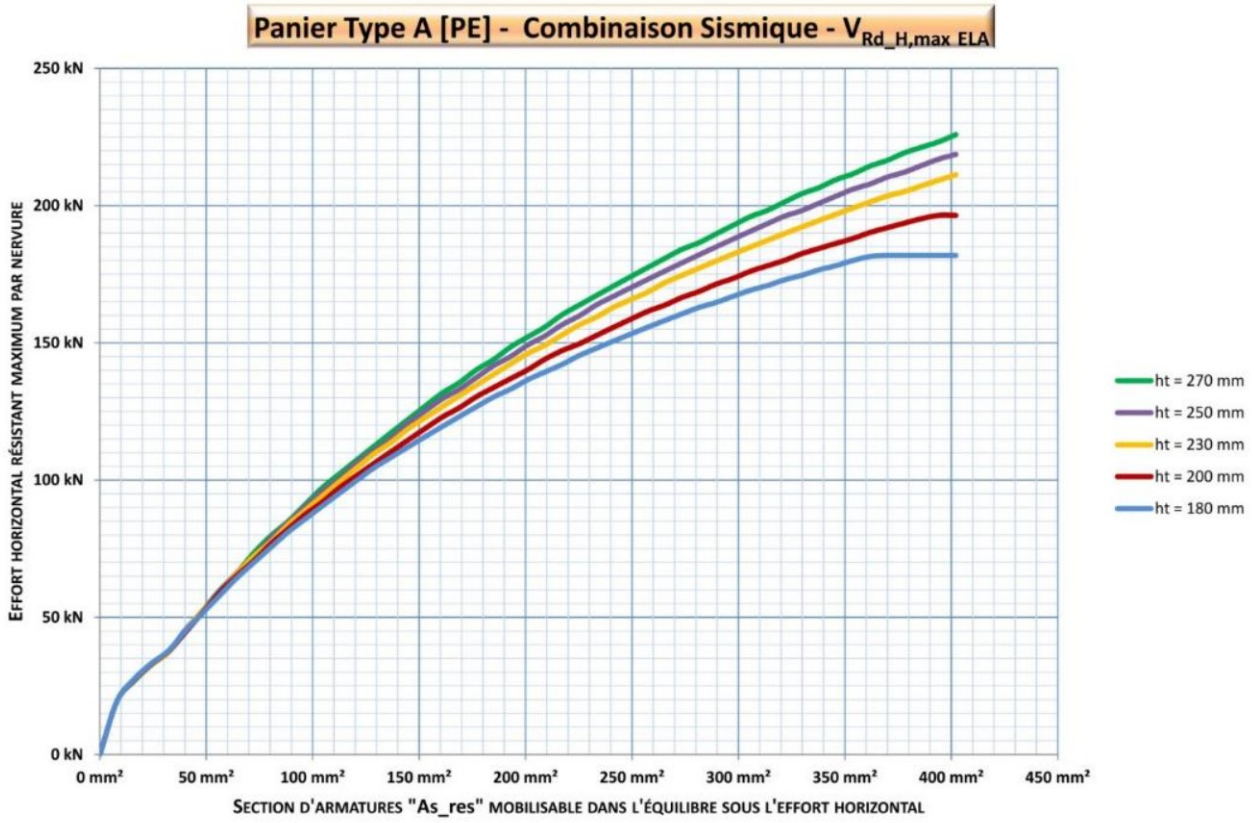


Figure IV.8

IV-3.3. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE B

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

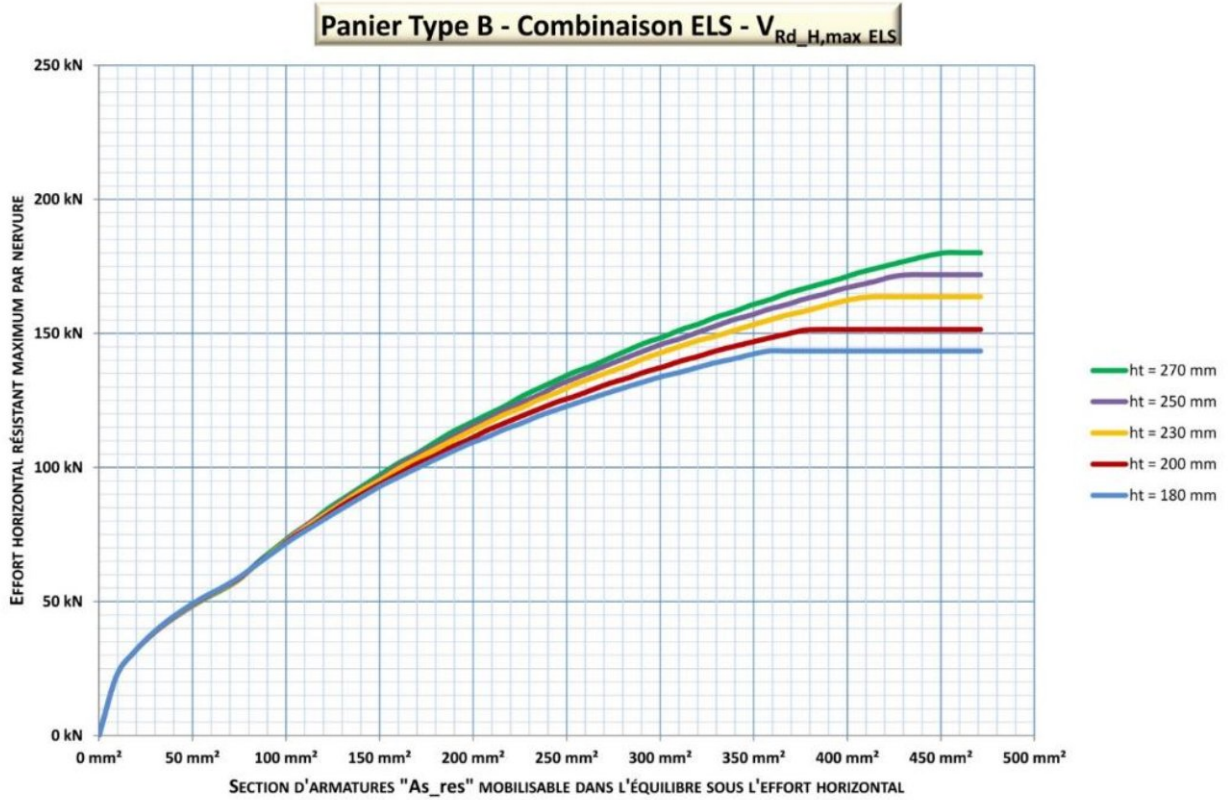


Figure IV.9

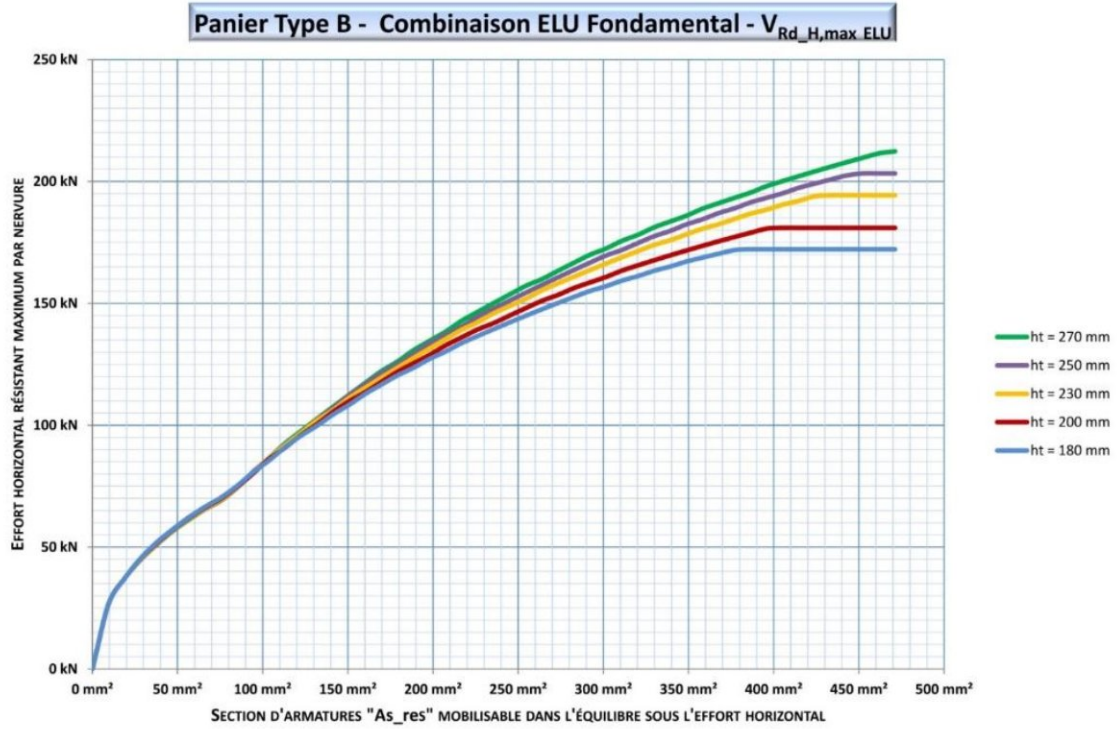


Figure IV.10

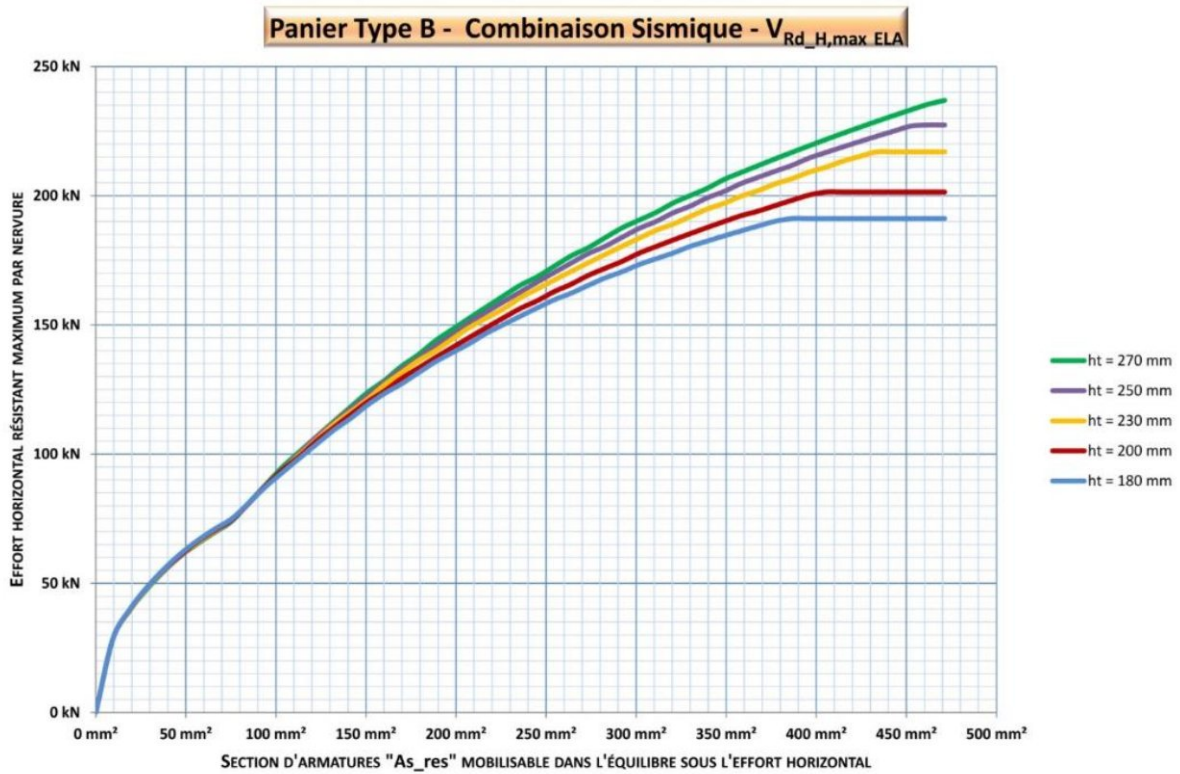


Figure IV.11

IV-3.4. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE C

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

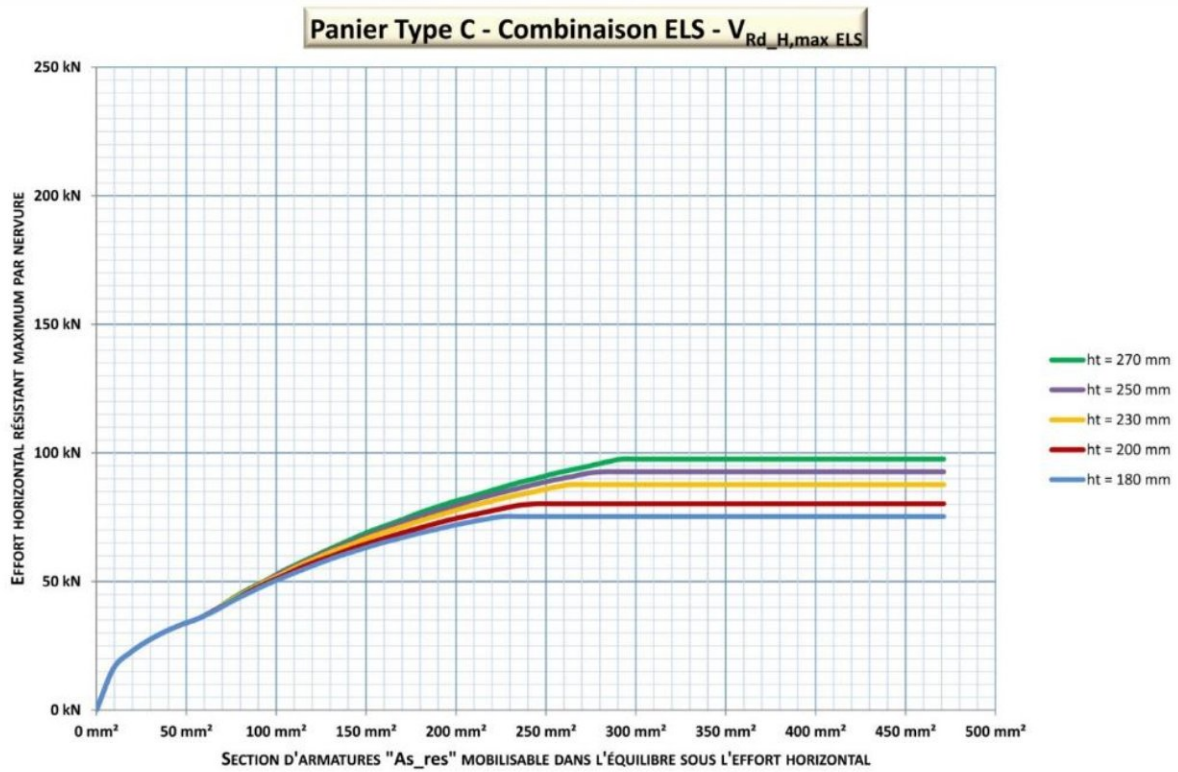


Figure IV.12

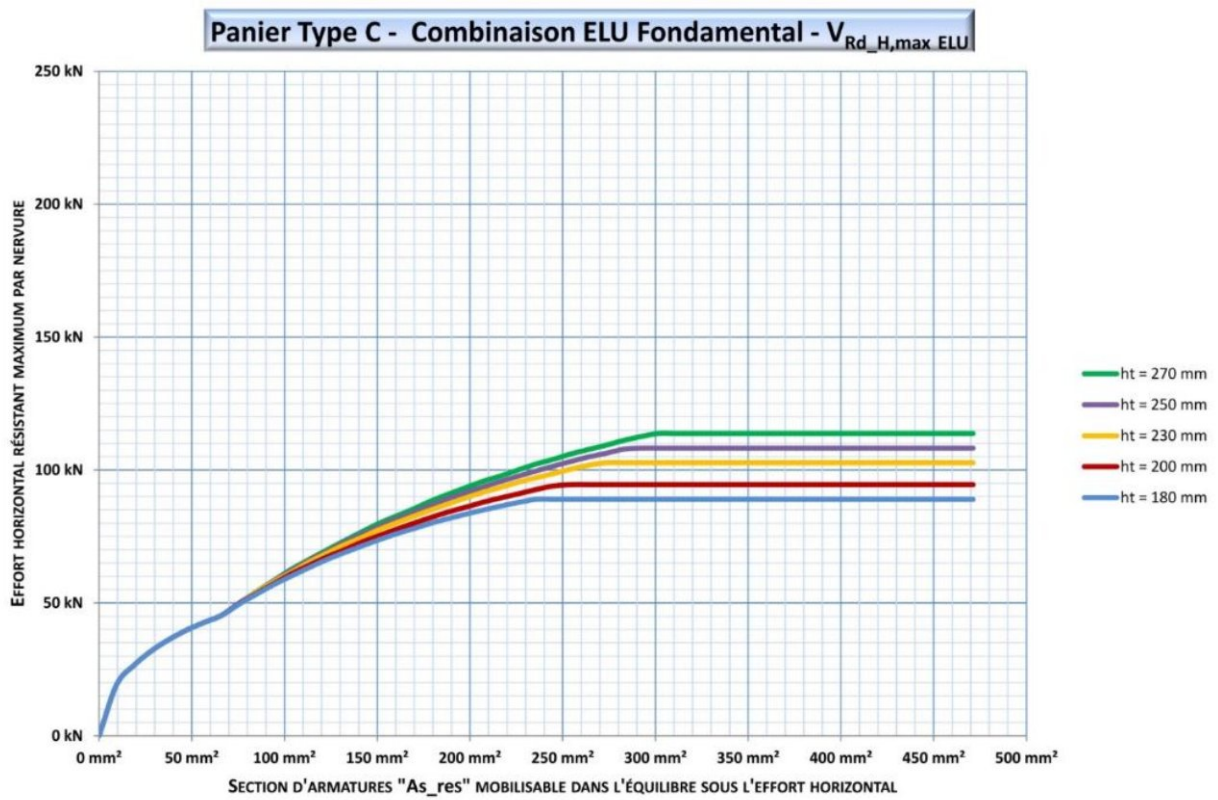


Figure IV.13

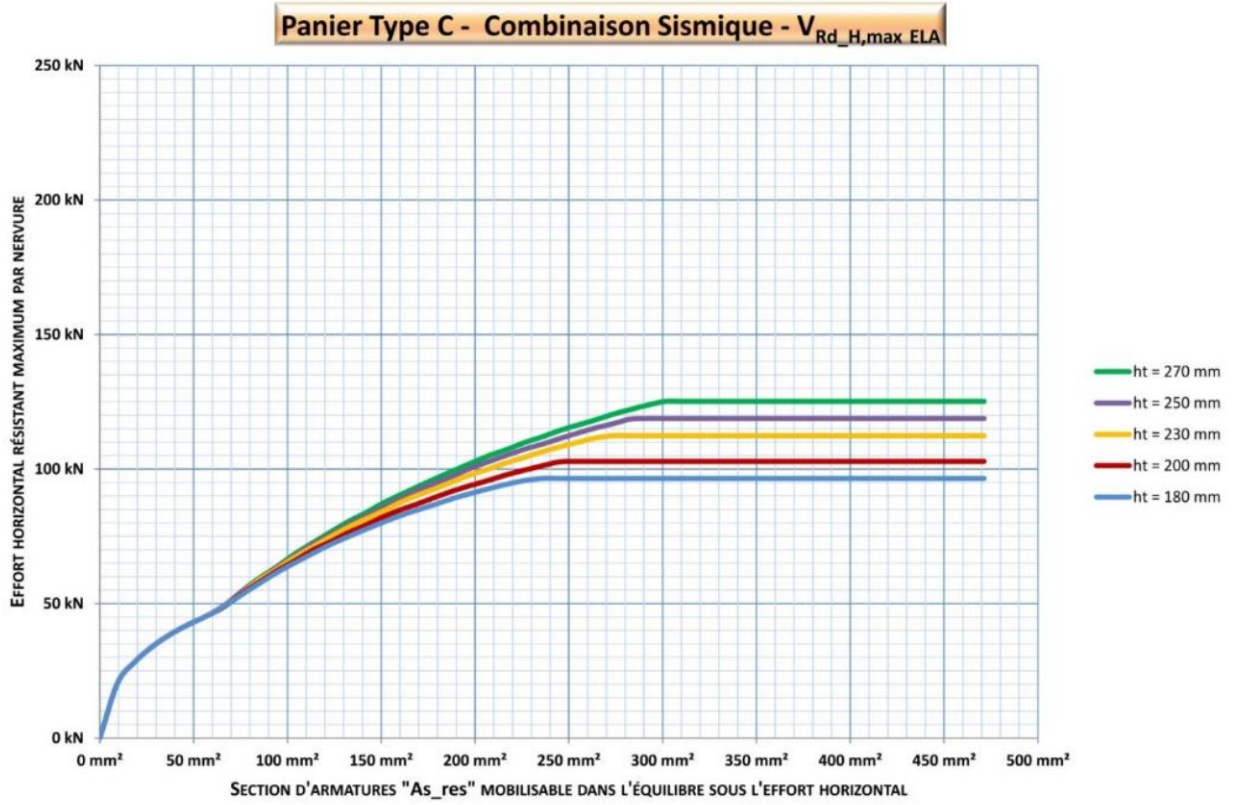


Figure IV.14

IV-3.5. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE D

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

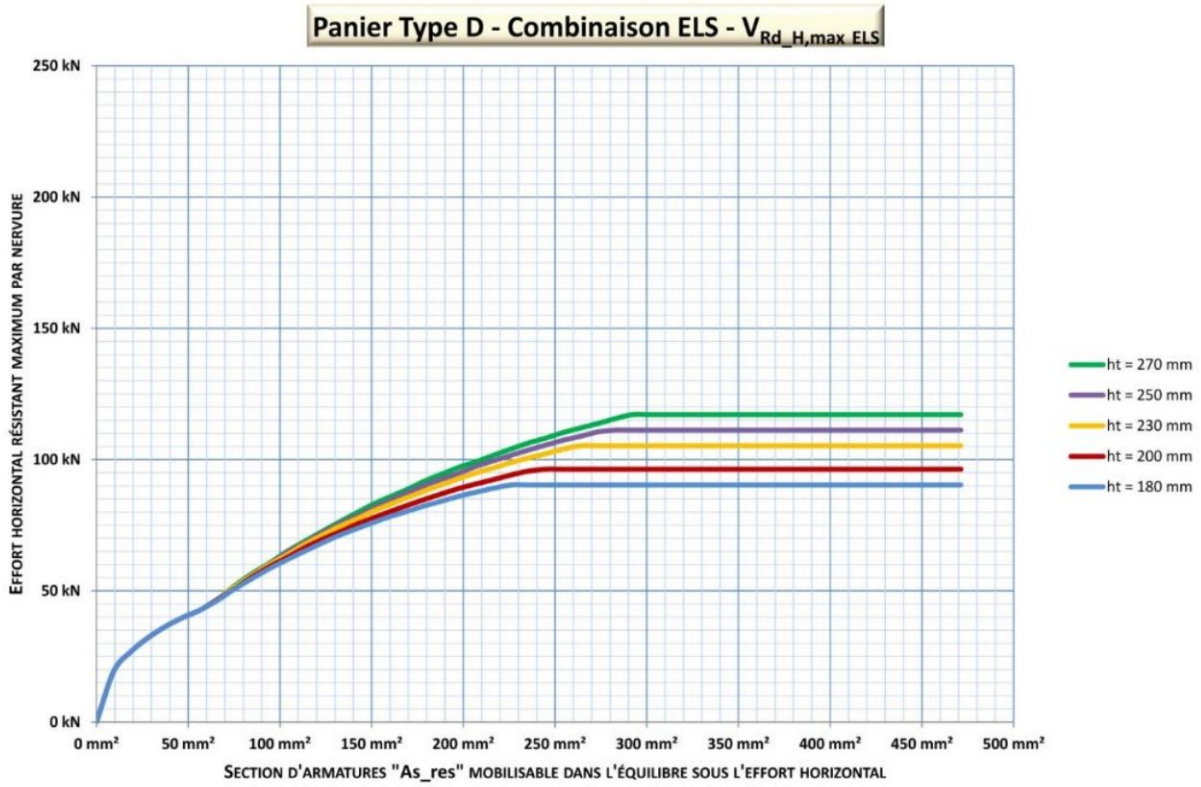


Figure IV.15

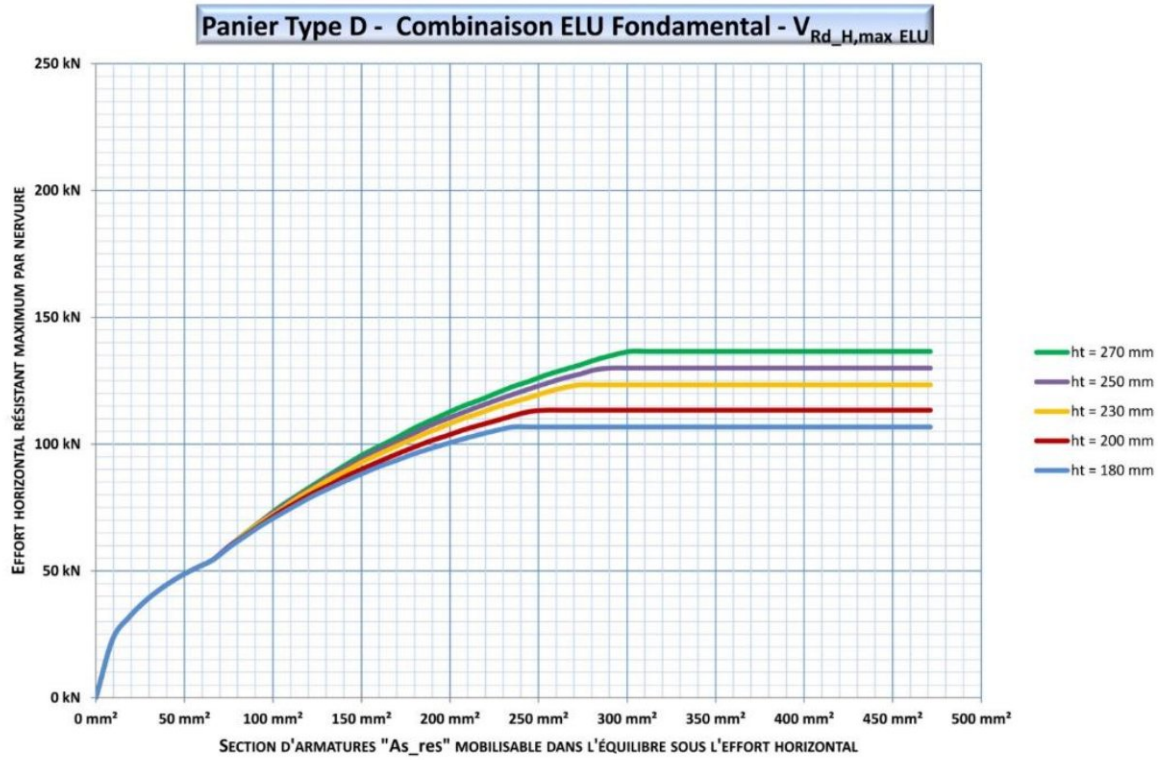


Figure IV.16

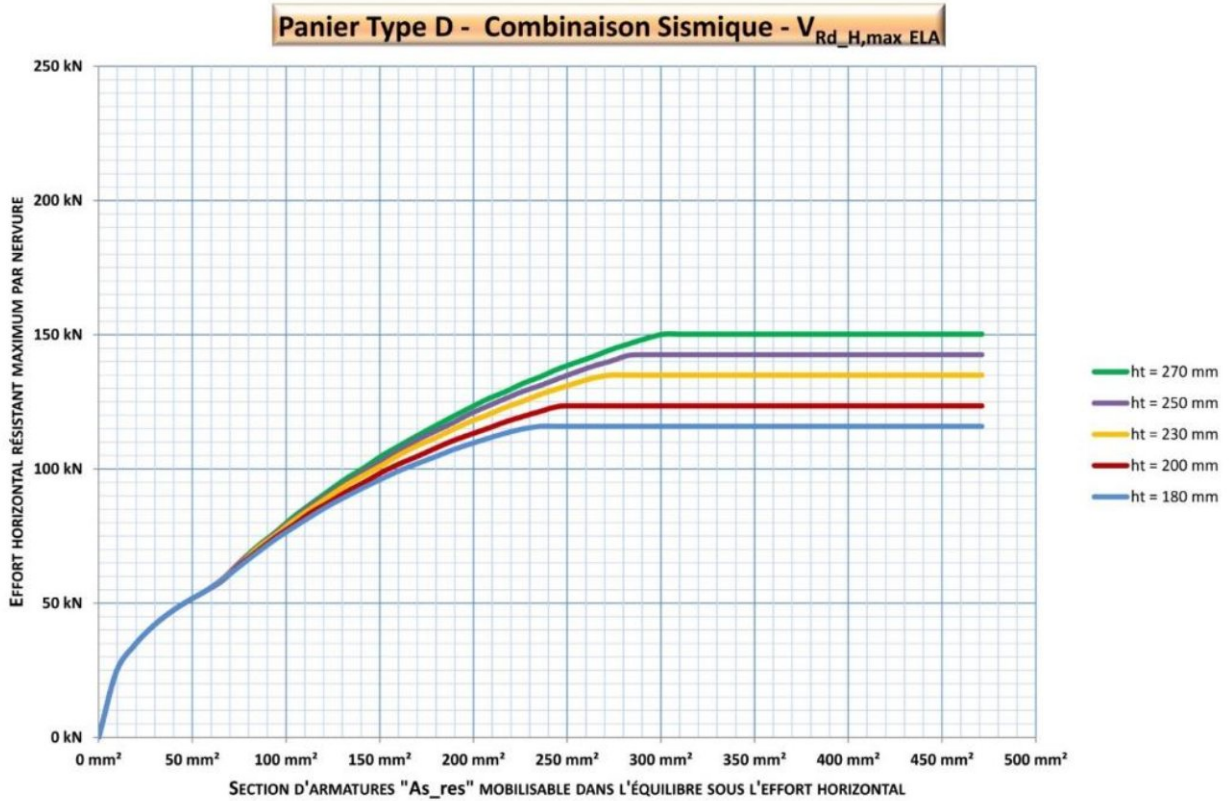


Figure IV.17

IV-3.6. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE E

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

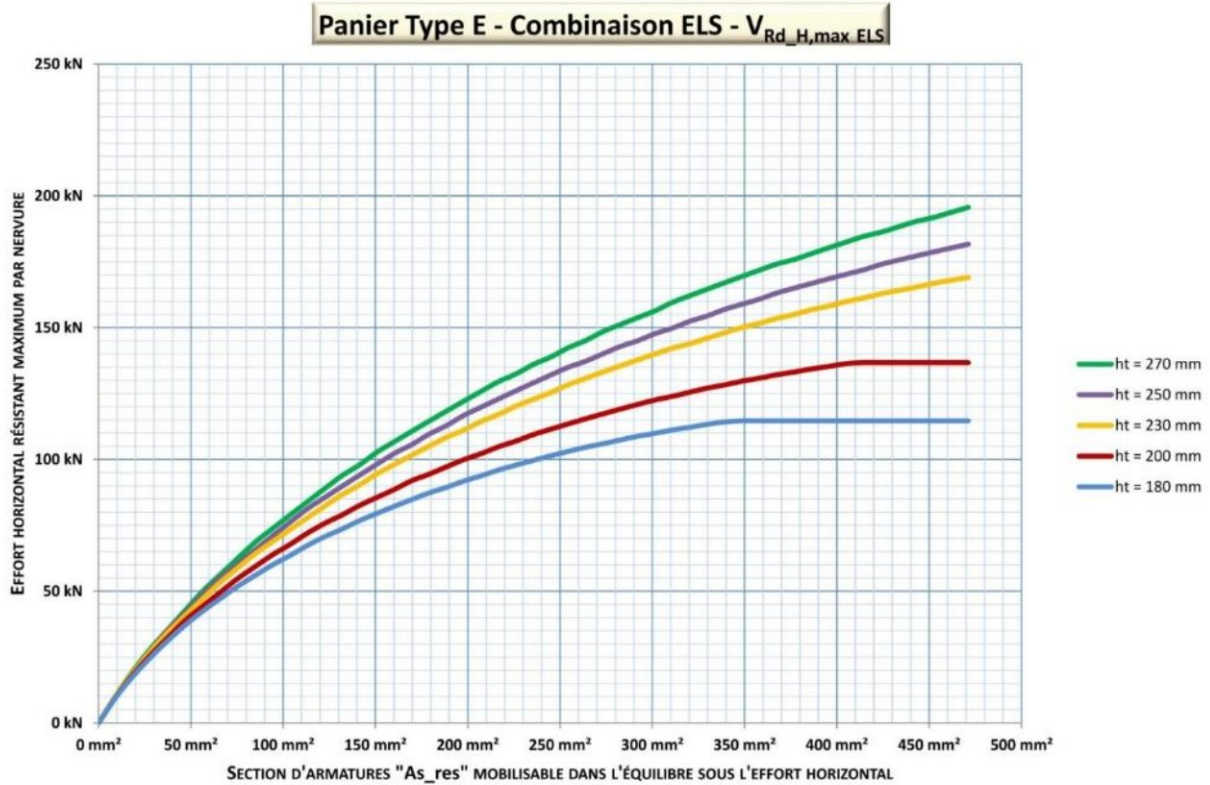


Figure IV.18

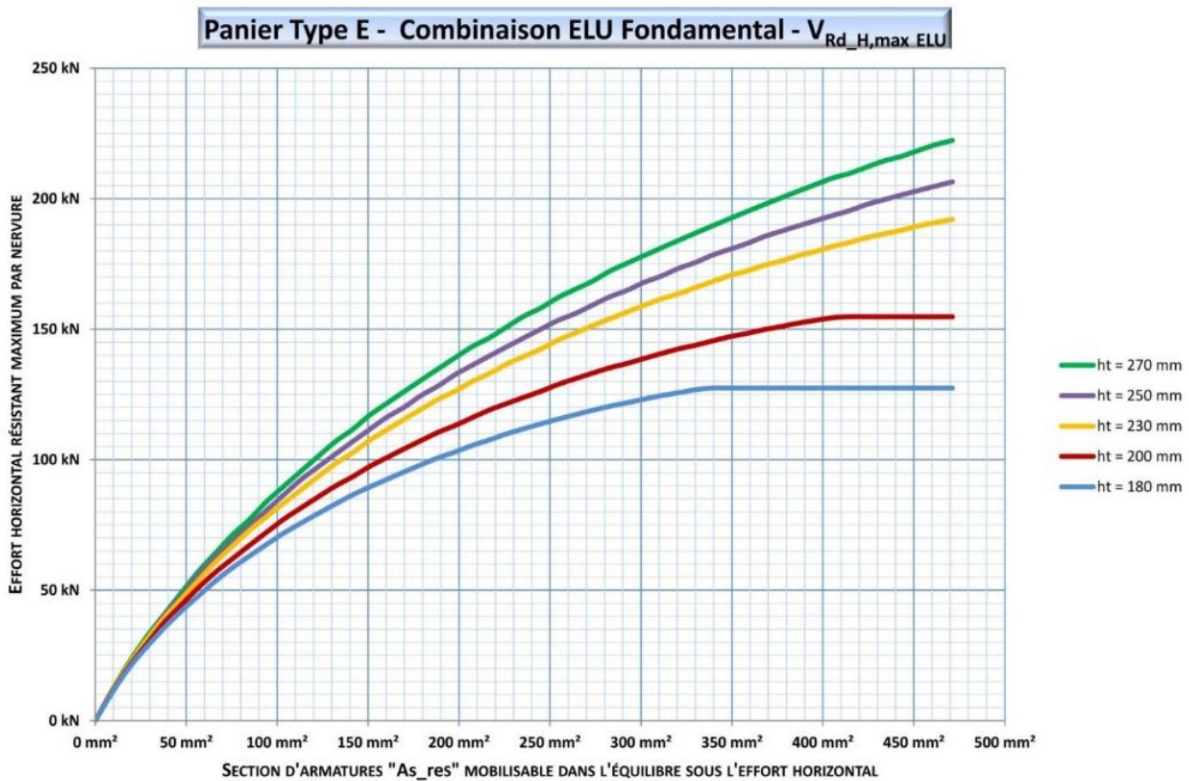


Figure IV.19

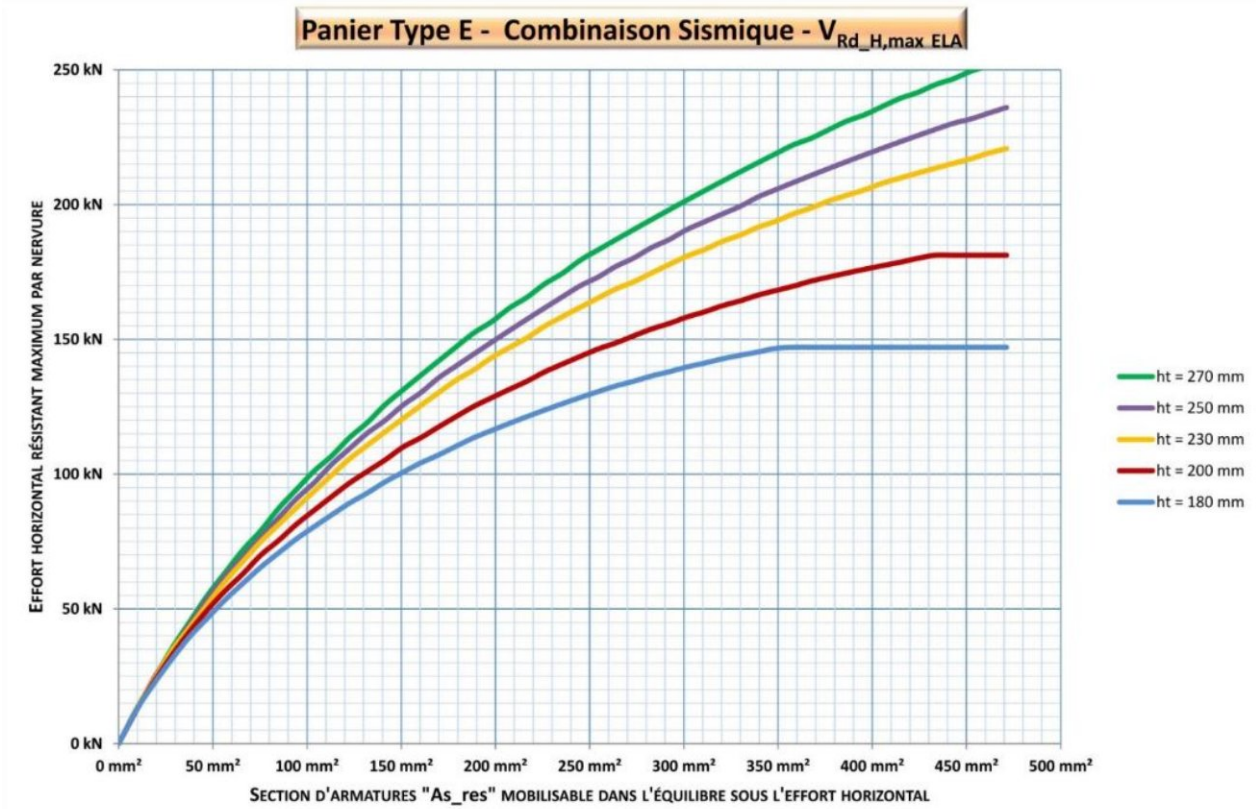


Figure IV.20

IV-3.7. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE F

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

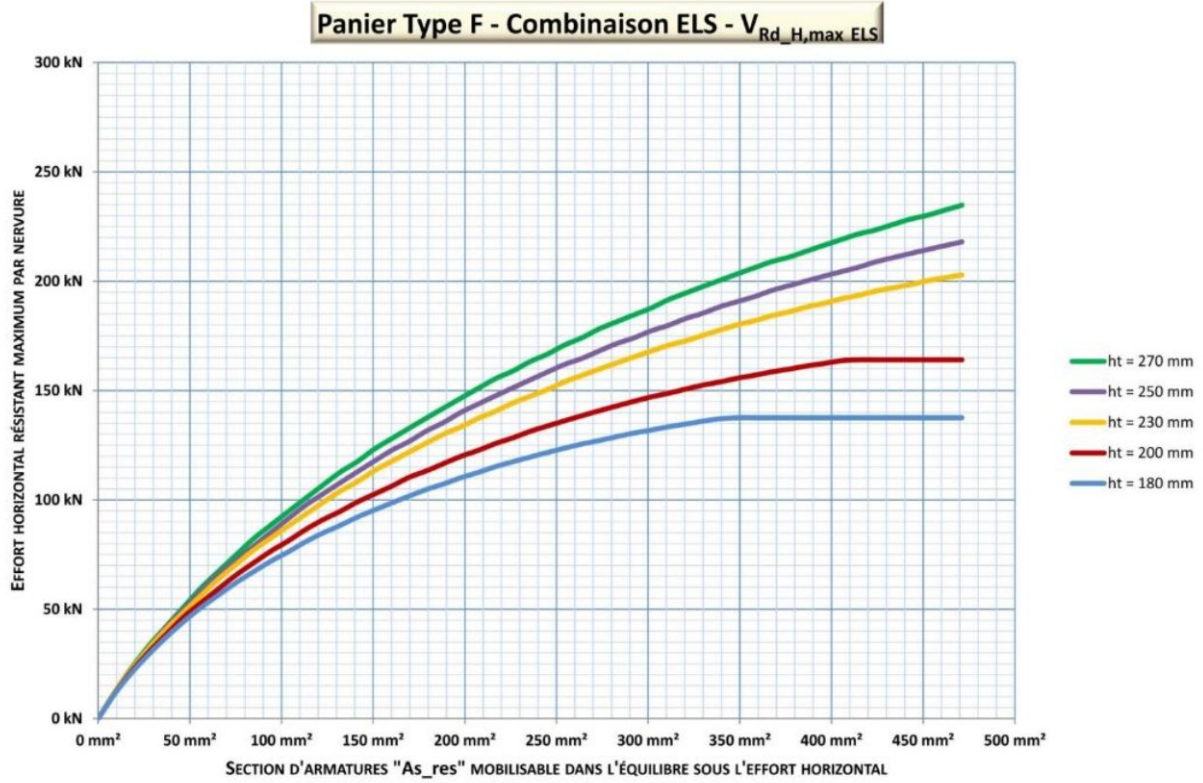


Figure IV.21

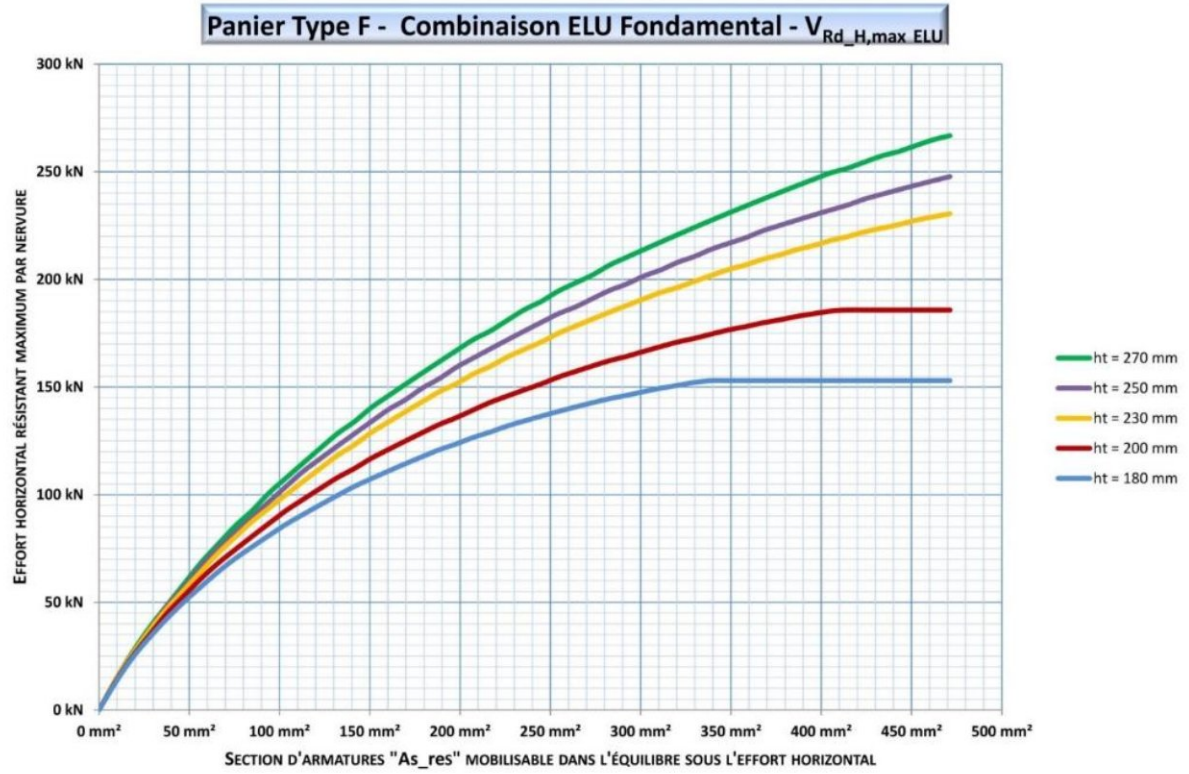


Figure IV.22

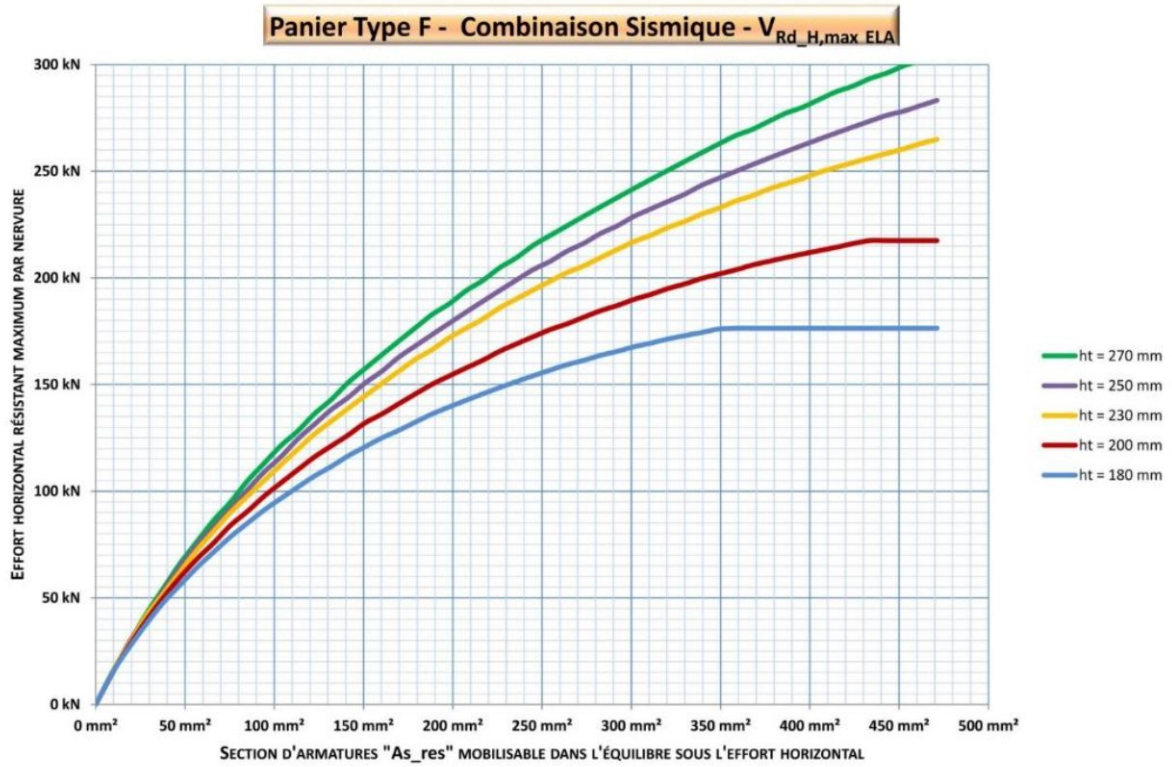


Figure IV.23

IV-3.8. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE G

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

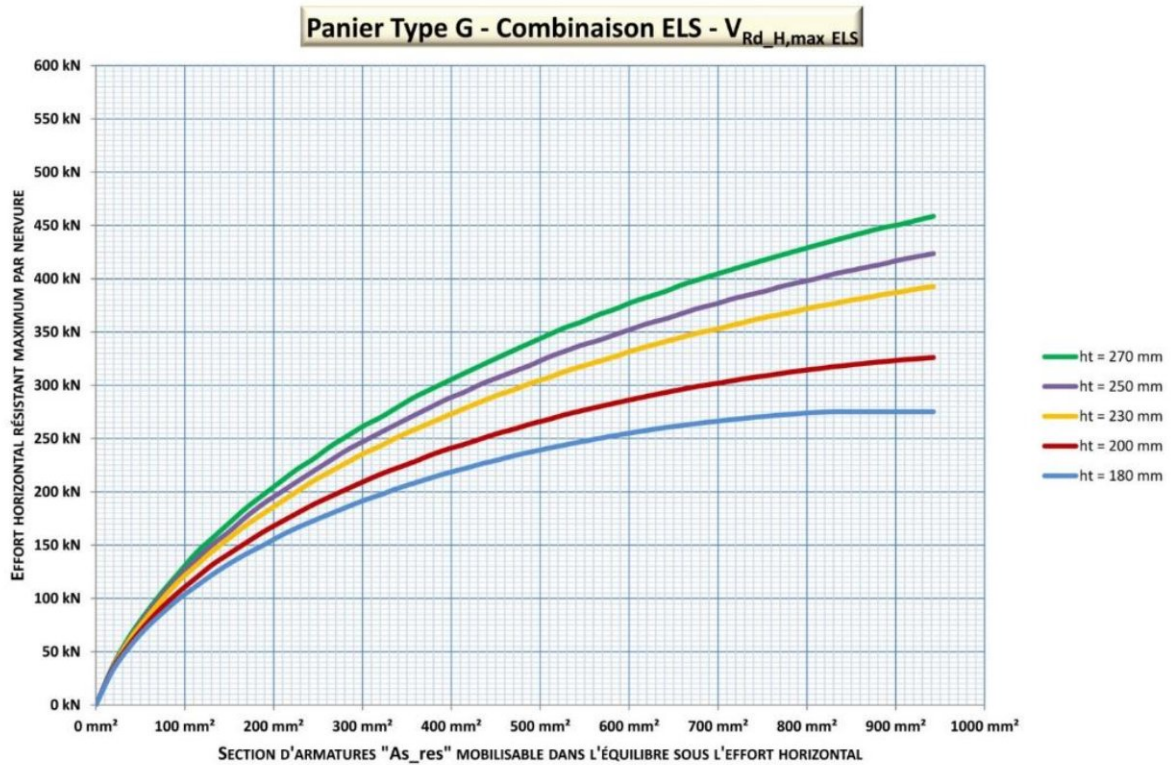


Figure IV.24

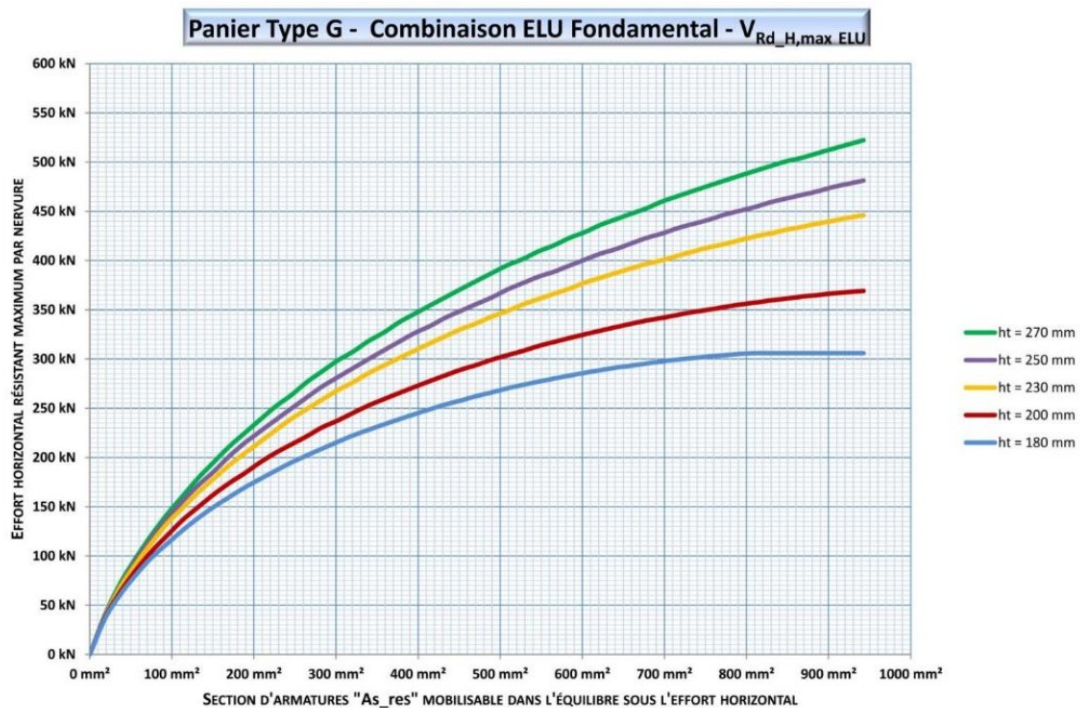


Figure IV.25

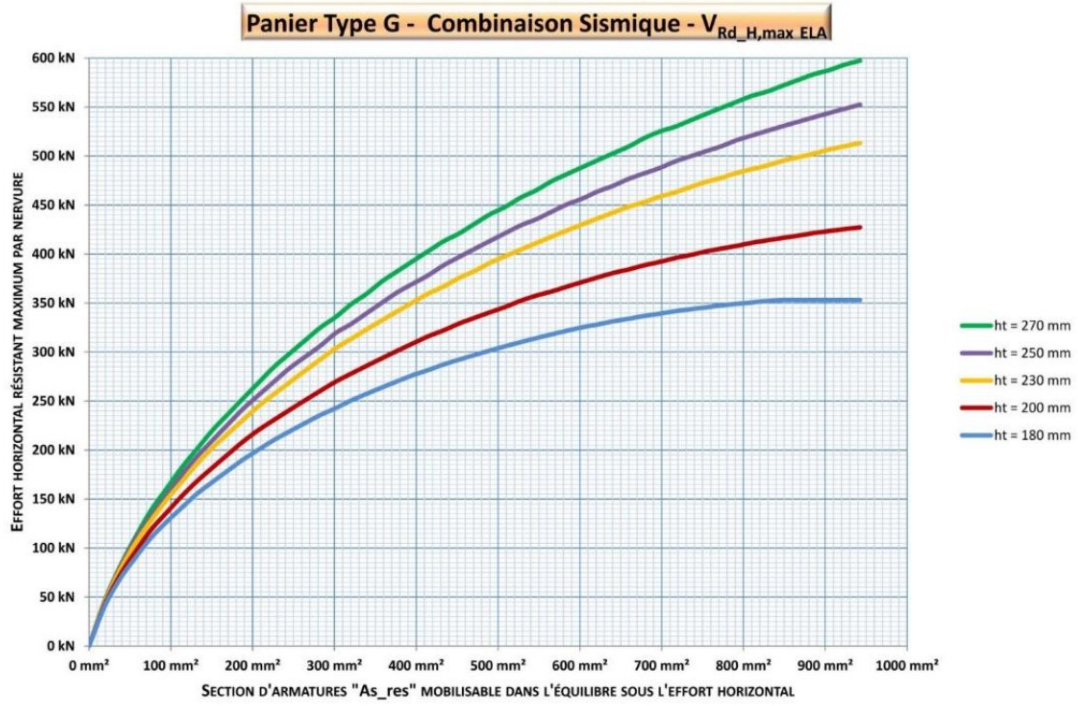


Figure IV.26

IV-3.9. Graphe Effort Horizontal résistant - Paniers TYPE H

Les courbes ci-dessous sont communes aux paniers standards et aux paniers renforcés.

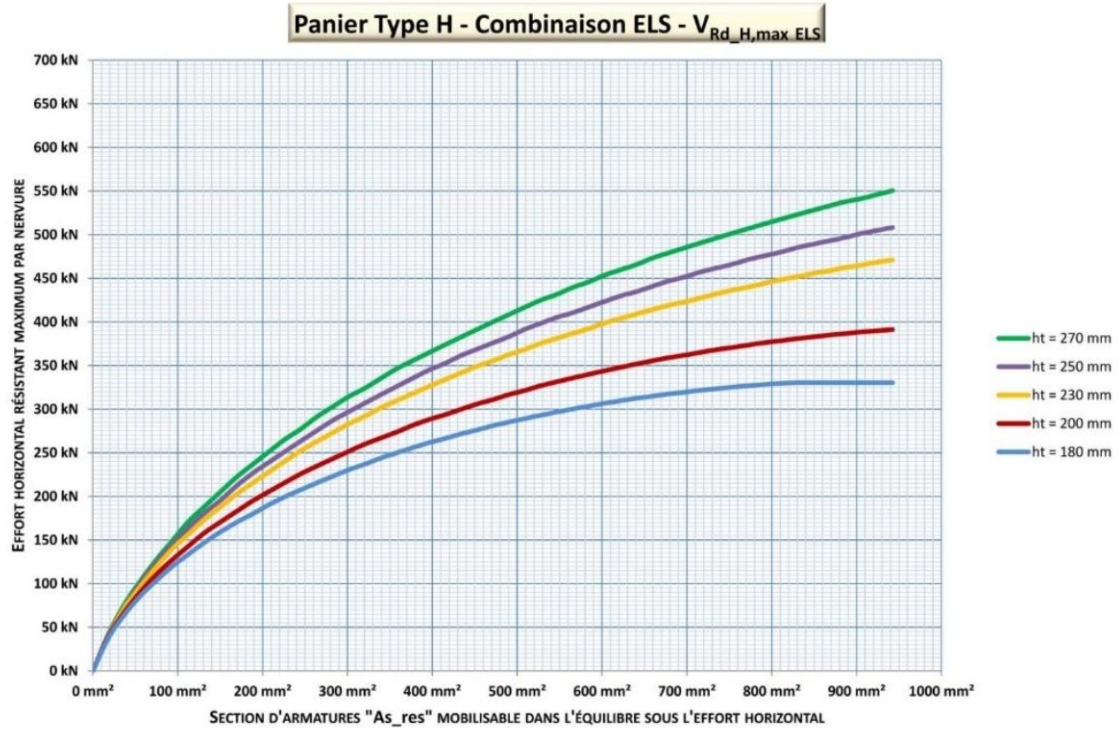


Figure IV.27

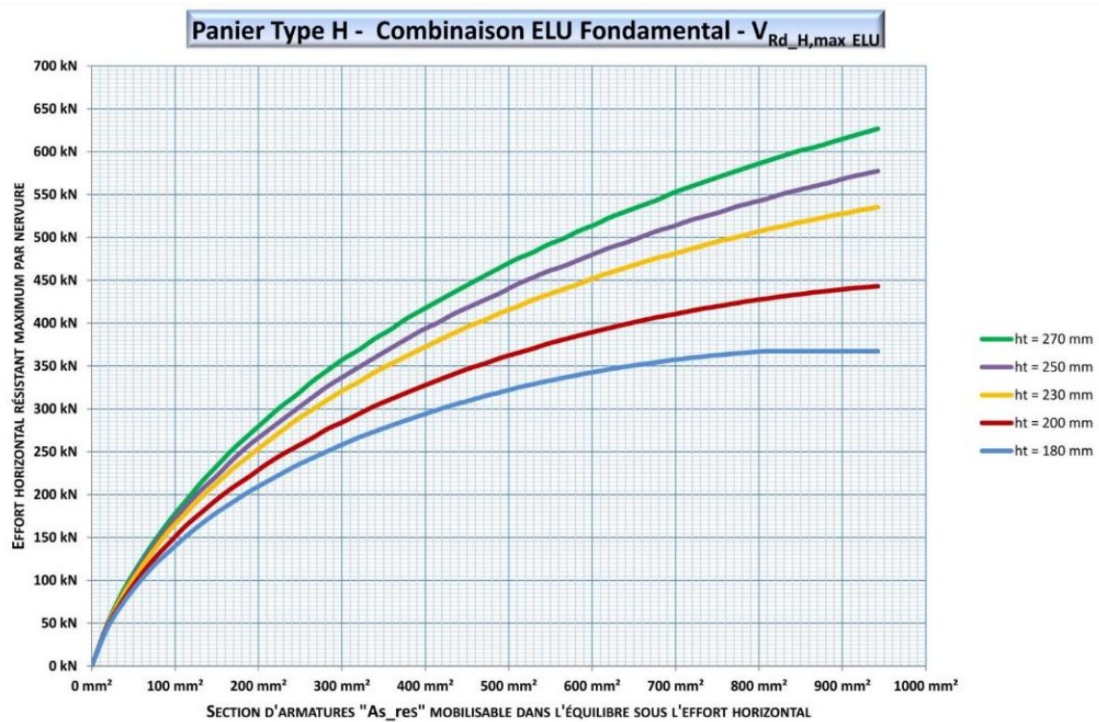


Figure IV.28

Annexe V – Dispositions constructives pour le traitement du gradient thermique et du retrait

Cette annexe a pour objet de définir les dispositions constructives à adopter à la jonction des voiles de façade en béton armé et du plancher, dans les angles du bâtiment ou au niveau des retraits de façade pour équilibrer les efforts dus au gradient thermique et au retrait.

Les dispositions envisagées pour les rupteurs dans un angle du bâtiment sont les suivantes :

- Cas n° 1 - Rupteurs de type I sur appuis porteur et non porteur ;
- Cas n° 2 - Rupteurs de type I sur appui porteur et type II en non porteur.

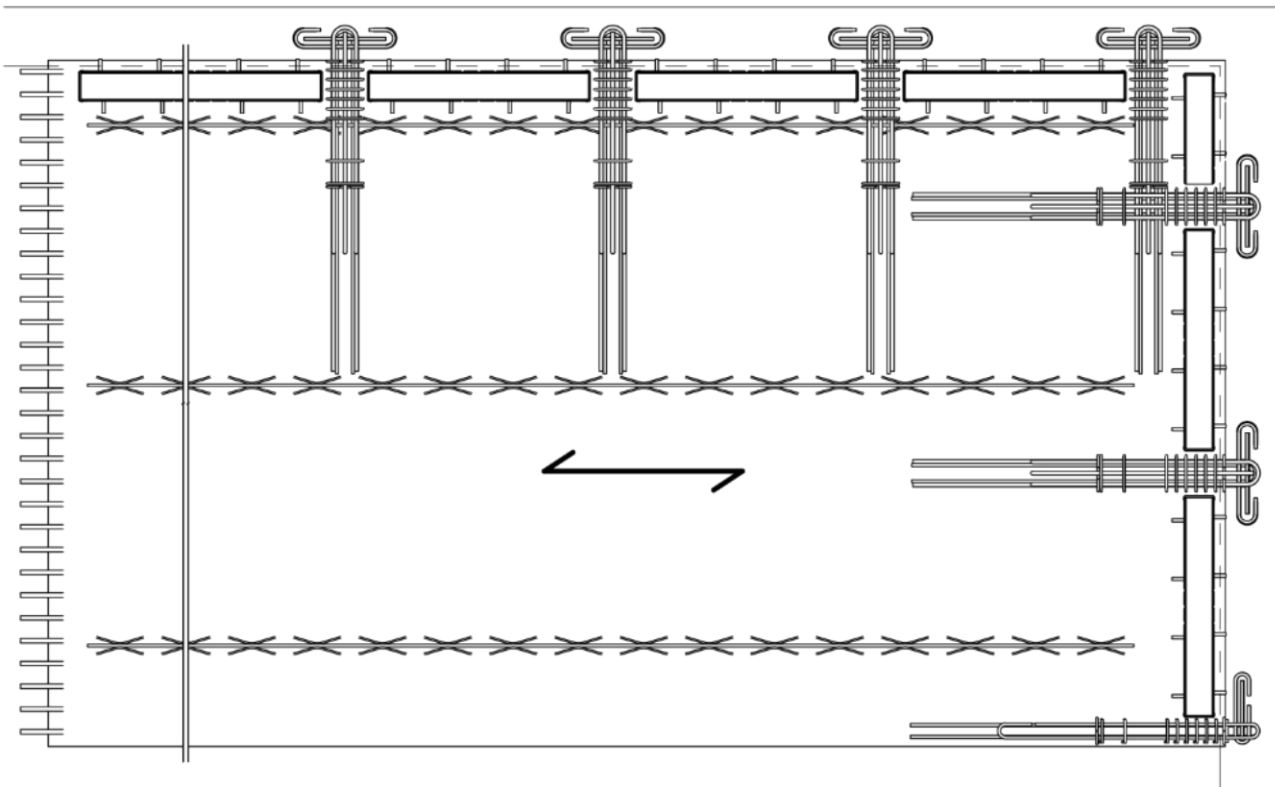
V-1. Cas n° 1 - Rupteurs de type I sur appui porteur et appui non porteur

Dans les angles du bâtiment ou au niveau des retraits de façade, on dispose sur chaque façade au moins 5 nervures armées de paniers de type A ou B comportant une armature minimale correspondant au ferrailage standard (A1 ou B1).

La prédalle d'angle est organisée comme illustré ci-dessous :

- En Figure V.1 pour les nervures de type A
- En Figure pour les nervures de type B.

Au-delà des 5 premières nervures, le type retenu résulte du dimensionnement réalisé par ailleurs sous les efforts liés aux charges verticales, aux sollicitations de contreventement ou aux actions sismiques.



**Figure V.1 - Cas de la prédalle d'angle - Vue en plan – Coffrage -
(Exemple avec Paniers d'armatures Type A en about et en rive de prédalle)**

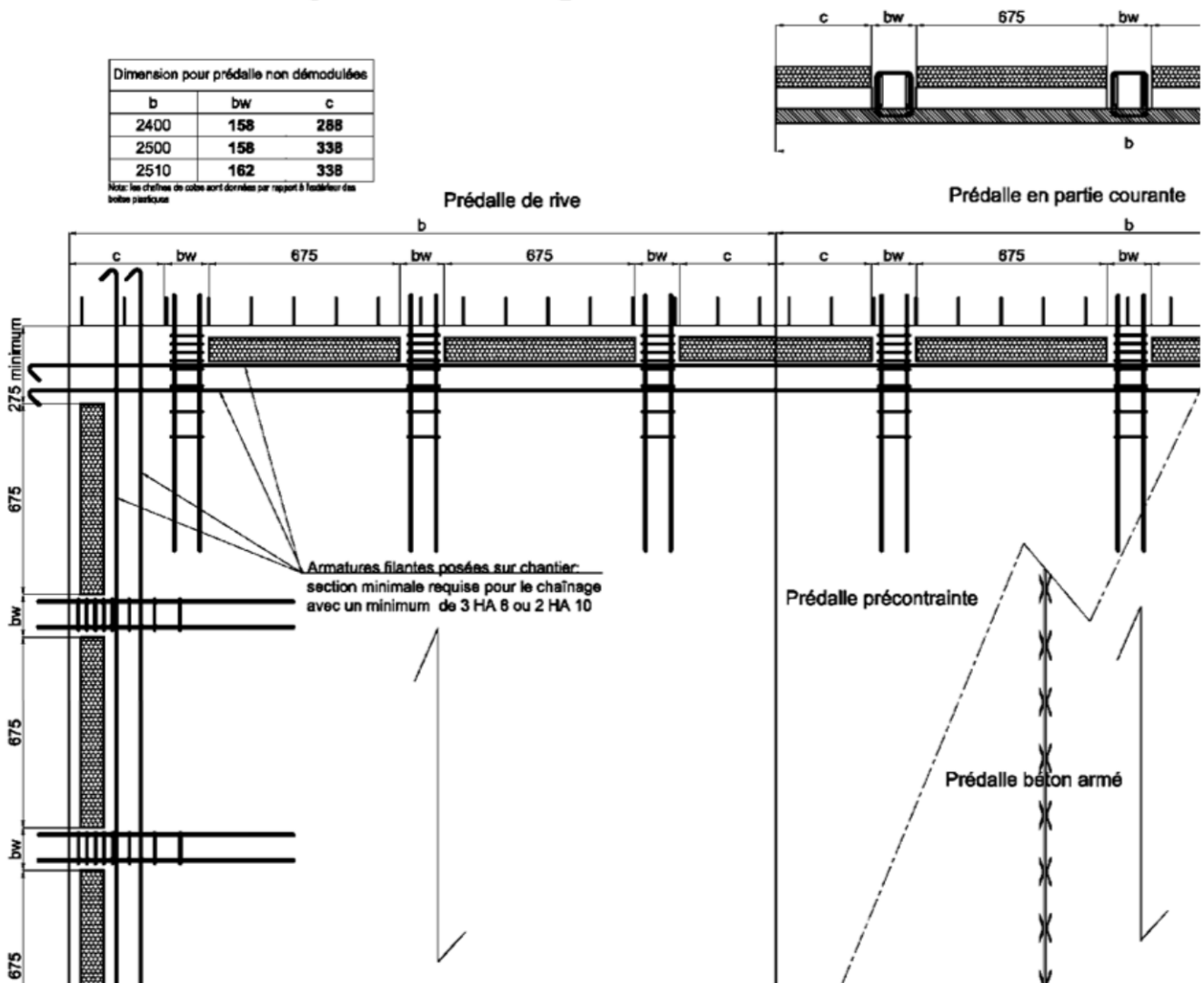


Figure V.2 - Cas de la prédalle d'angle et d'about - Vue en plan - Coffrage - Répartition des boîtes polymère munies de pains isolants (Exemple avec Paniers d'armatures Type B en about et en rive de prédalle)

V-2. Cas n°2 - Rupteurs de type I sur appui porteur et type II sur appui non porteur

V-2.1. Représentation schématique de l'ouvrage

Considérons un ouvrage dont la géométrie en plan est schématisée ci-dessous :

- La Figure V.3 représente les différents segments de façade de longueur L_i , i variant de 1 à 14
- Les angles rentrant ou sortant sont repérés par des nœuds numérotés de 1 à 14.

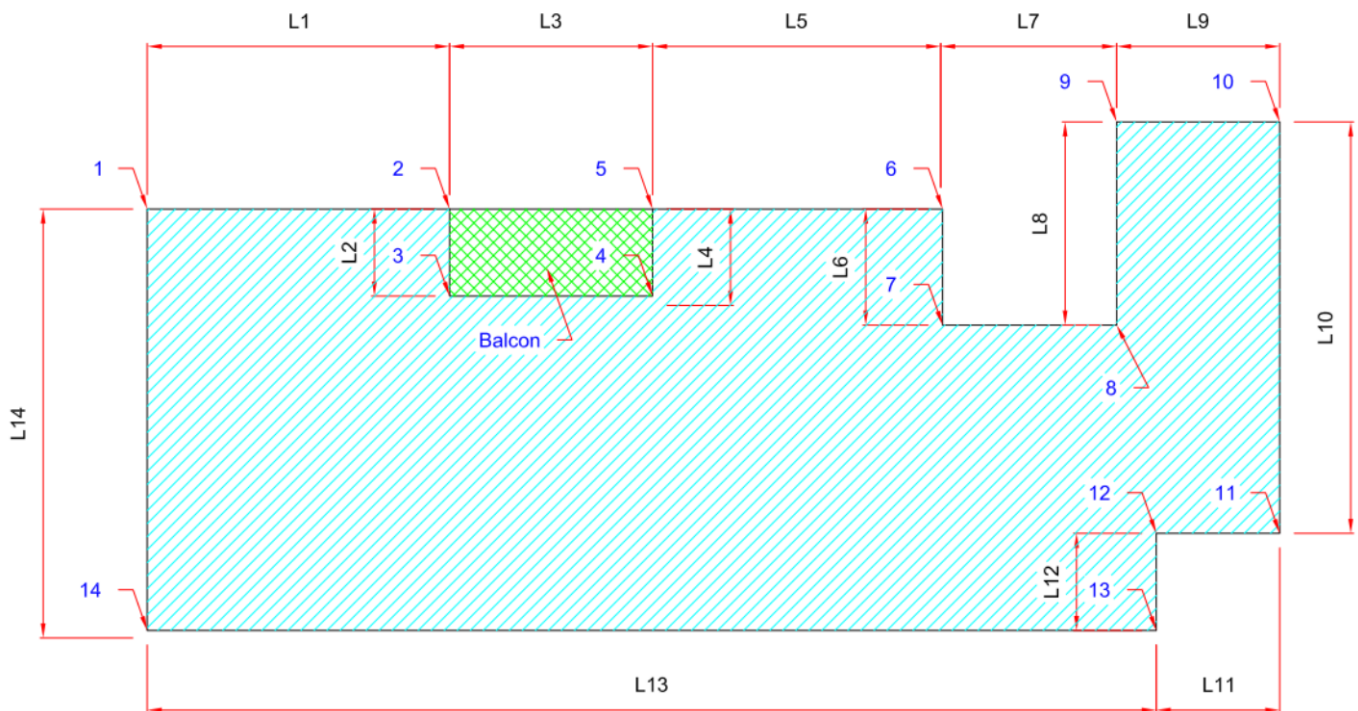


Figure V.3 – Vue en plan d'un bâtiment

V-2.2. Procédure

V-2.2.1 Identification des points « remarquables »

Il s'agit des nœuds au droit desquels on observe un changement de direction de la façade et qui seront le lieu d'efforts de traction et de cisaillement sous les actions du gradient thermique et du retrait.

Dans l'exemple ci-dessus, les points 2, 3, 4 et 5 ne sont pas retenus car la zone délimitée par les nœuds [2 ; 3 ; 4 ; 5] correspond à un balcon liaisonné au voile sur les tronçons [2 ; 3] et [4 ; 5]. Le balcon solidaire des éléments de murs constitue un élément rigide indéformable et assure la continuité des murs situés de part et d'autre.

Les trois segments de longueur L1, L3, L5 seront donc assimilés à un segment de longueur unique de longueur (L1+L3+L5).

Commentaires :

Le ferrailage mis en œuvre dans le balcon à la jonction avec la façade devra, en conséquence, être conçu pour équilibrer les effets induits par ces variations de température.

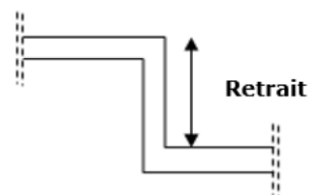
Si les tronçons [2 ; 3] et [4 ; 5] ne sont pas liés au voile, les segments L1, L3 et L5 sont considérés distinctement.

De la même manière, s'il existait un balcon dans la zone délimitée par les nœuds [11 ; 12 ; 13] liaisonné à la façade sur les tronçons [11 ; 12] et [12 ; 13], les segments de longueur L10, L12 seraient assimilés à un segment unique de longueur (L10+L12) et les segments de longueur L11, L13 seraient assimilés à un segment unique de longueur (L11 + L13). Et le point 12 ne serait pas retenu comme point remarquable.

V-2.2.2. Disposition constructive retenue au nœud « i »

Examinant successivement les points remarquables identifiés au § V-2.2.1. :

- Identifier les longueurs des segments aboutissant au nœud « i » :
 - En tenant compte des adaptations définies au § V-2.2.1. ;
 - En négligeant les décrochements de la façade, lorsque le retrait n'est pas supérieur à 1,50 m



Exemple sur le nœud [1] :

La longueur retenue pour le segment vertical est égale à L14.

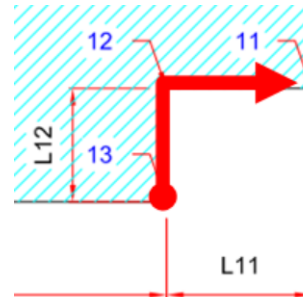
La longueur retenue pour le segment horizontal est égale à :

L1+L3+L5	Si L6 > 1,50 m
L1+L3+L5+L7	Si L6 ≤ 1,50 m et L8 > 1,50 m
L1+L3+L5+L7+L9	Si L6 ≤ 1,50 m et L8 ≤ 1,50 m

- En déduire la plus grande des deux longueurs notée L_{max} ;
- À partir de la longueur L_{max} , définir les dispositions de paniers à adopter sur les deux segments aboutissant au nœud « i » :
 - Pour le segment supportant les rupteurs de type I (appui porteur), se conformer aux indications données au § V-2.3.2. ;
 - Pour le segment supportant les rupteurs de type II (appui non porteur), se conformer aux indications données au § V-2.3.3.
- Dans le cas où la longueur du segment ne permet pas de mettre en œuvre le nombre de nervures spécifié dans le tableau, la disposition est prolongée sur le mur en retour.

Exemple sur le nœud [13] :

La longueur du segment L12 étant insuffisante, le renforcement est reporté sur le segment L11



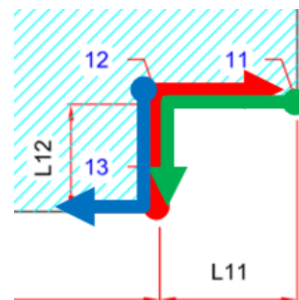
Procéder de la même manière pour l'ensemble des points.

La disposition à adopter sur un segment est la disposition la plus contraignante résultant de l'application de la procédure sur chacun des nœuds encadrant le segment.

Exemple sur le segment de longueur L12 :

Les dispositions résultent du traitement successif des nœuds [11], [12] et [13].

On retiendra pour chaque tronçon du segment la solution la plus sévère, de celle résultant de l'analyse des trois points



En pratique, il suffit de repérer sur le plan à l'avancement, les zones nécessitant des paniers renforcés, modifiant si nécessaire la disposition déterminée dans une étape antérieure.

V-2.3. Dispositions constructives en fonction de la longueur de façade

La disposition des rupteurs déterminante est celle observée sur la prédalle d'angle. La nature des rupteurs considérée pour l'analyse renvoyant aux §V-2.3.2 et §V-2.3.3 est donc celle de la prédalle d'angle dans la direction considérée.

V-2.3.1. Représentation des rupteurs dans la prédalle d'angle

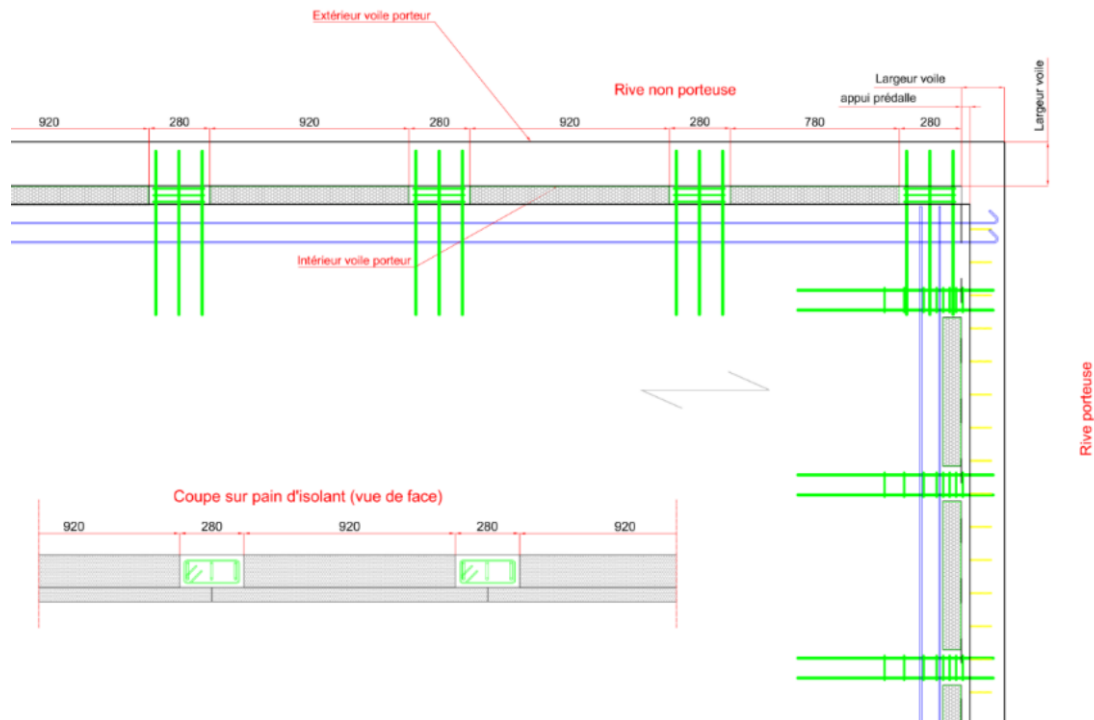


Figure V.4 - Cas de la prédalle d'angle et d'about - Vue en plan - Coffrage - (Exemple avec Paniers d'armatures Type B en about et Type E en rive de prédalle)

V-2.3.2. Disposition pour les paniers sur les appuis porteurs (rupteurs de type I)

Les nervures sont équipées de paniers de type A ou B comportant une armature minimale correspondant au ferrailage standard (A1 ou B1).

V-2.3.3. Disposition pour les paniers sur les appuis non porteurs (rupteurs de type II)

Le tableau suivant définit les dispositions de ferrailage à adopter pour les paniers des rupteurs de type II en fonction de la longueur L_{max} déterminée comme indiqué au § V-2.2.2.

Il précise également la longueur sur laquelle ces dispositions doivent être adoptées. Au-delà, les paniers utilisés sont ceux résultant du dimensionnement sous les efforts liés aux charges verticales, aux sollicitations de contreventement ou aux actions sismiques.

Paniers pour rupteurs type II			
L_{max}	Panier	Longueur	Prescriptions complémentaires
$L_{max} \leq 15$ m	E1 (4 HA8)	6,20 m	-
15 m < $L_{max} \leq 25$ m	E3 (4 HA10)	6,20 m	-
25 m < $L_{max} \leq 30$ m	E4 (6 HA10)	6,20 m	-
30 m < $L_{max} \leq 50$ m Les rupteurs de type II étant disposés sur le segment de longueur L_{max} (1)	E4 (6 HA10)	11,0 m	Liaison béton armé nécessaire à moins de 6,90 m de l'angle et dimensionnée pour une résistance au cisaillement à l'ELU de 600 kN (2).

(1) Dans le cas où la longueur L_{max} correspond au segment porteur (rupteurs de type I), il est nécessaire de disposer des rupteurs de type I dans le sens non porteur sur une longueur au moins égale à 5 m.

(2) Dans l'hypothèse d'une dalle d'épaisseur 20 cm, en l'absence de jonction avec un refend, cette liaison peut être réalisée par une bande en béton de 0,70 m de longueur, armée par 9U HA10 en acier B500.

Annexe VI - Méthode forfaitaire pour la justification des nervures ThermoPrédalle SEAC en situation sismique

VI-1. Introduction

Le dimensionnement d'un ouvrage au séisme est dépendant de la régularité en plan et en élévation. Le tableau 4.1 de la NF EN 1998-1 (reproduit ci-après) explicite les règles et les simplifications de calculs admises pour la vérification des bâtiments en fonction de leur régularité.

Tableau 4.1 — Conséquences de la régularité de la structure sur l'analyse et le calcul sismique

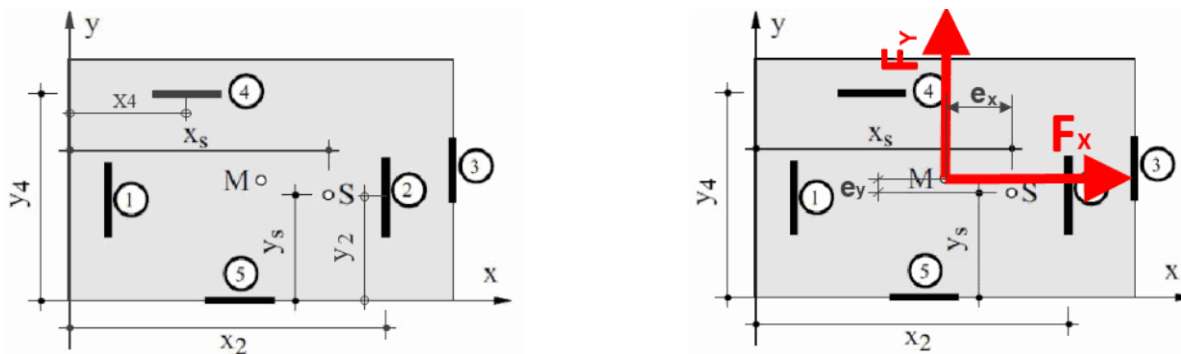
Régularité		Simplifications admises		Coefficient de comportement
Plan	Élévation	Modèle	Analyse élastique linéaire	(pour l'analyse linéaire)
Oui	Oui	Plan	Force latérale ^{a)}	Valeur de référence
Oui	Non	Plan	Modale	Valeur minorée
Non	Oui	Spatial ^{b)}	Force latérale ^{a)}	Valeur de référence
Non	Non	Spatial	Modale	Valeur minorée

a) Si la condition de 4.3.3.2.1(2) est également satisfaite.
 b) Dans les conditions particulières indiquées en 4.3.3.1(8), un modèle plan séparé peut être utilisé dans chaque direction horizontale, conformément à 4.3.3.1(8).

Dans les cas où la justification de l'ouvrage ne nécessite pas de réaliser un modèle spatial, la méthode proposée dans la présente annexe permet d'évaluer de manière sécuritaire les efforts dans les nervures sous l'action sismique. Cette méthode, calée sur des modèles prenant en compte la rigidité des liaisons déterminée par les essais, est spécifique au procédé ThermoPrédalle SEAC. Pour déterminer les sollicitations de manière plus précise, on pourra recourir à la méthode des coupures ou à une modélisation explicite des nervures.

Note : Cette méthode strictement dédiée au dimensionnement des nervures ne permet pas de réaliser le dimensionnement des éléments de contreventement.

VI-2. Rappel sur l'équilibre des efforts pour le contreventement



Légende :

- M Centre de masse de coordonnées $[x_M ; y_M]$
- S Centre de torsion de coordonnées $[x_S ; y_S]$
- X_j Abscisse du cdg du voile " j " dans le repère $[x ; y]$
- Y_j Ordonnée du cdg du voile " j " dans le repère $[x ; y]$
- e_x Excentrement suivant x , avec $e_x = x_M - x_S$
- e_y Excentrement suivant y , avec $e_y = y_M - y_S$
- F_x Effort global dans la direction " x "
- F_y Effort global dans la direction " y "

Figure VI.1 Vue en plan des éléments de contreventement

Coordonnées du centre de torsion S :

$$x_s = \frac{\sum_{j=1}^n (I_{j,y} x_j)}{\sum_{j=1}^n I_{j,y}} \quad y_s = \frac{\sum_{j=1}^n (I_{j,x} y_j)}{\sum_{j=1}^n I_{j,x}}$$

Dans ces expressions, $I_{j,X}$ et $I_{j,Y}$ représentent respectivement l'inertie du voile « j » suivant l'axe x et suivant l'axe y passant par leur centre de gravité.

Répartition des efforts dans les éléments de contreventement :

$$F_{j,X} = F_X \frac{I_{j,Y}}{\sum_{j=1}^n I_{j,Y}} + (F_X e_y - F_Y e_x) \frac{I_{j,Y} (y_j - y_s)}{\sum_{j=1}^n (I_{j,X} (x_j - x_s)^2 + I_{j,Y} (y_j - y_s)^2)}$$

$$F_{j,Y} = F_Y \frac{I_{j,X}}{\sum_{j=1}^n I_{j,X}} - (F_X e_y - F_Y e_x) \frac{I_{j,X} (x_j - x_s)}{\sum_{j=1}^n (I_{j,X} (x_j - x_s)^2 + I_{j,Y} (y_j - y_s)^2)}$$

Commentaire :

Le premier terme correspond à l'équilibre d'une force appliquée au centre de torsion. Le second terme est relatif à l'équilibre du moment de torsion. Ces expressions sont relatives à des cas de murs parallèles aux deux directions principales. Dans le cas de murs biais, ces formules devront être aménagées pour tenir compte de la contribution des murs dans chaque direction principale.

S'agissant de l'action sismique, l'effort $F_{i,j}$ considéré pour le voile « j » dans le niveau « i » correspond à la somme vectorielle des efforts $F_{j,X}$ et $F_{j,Y}$ déterminés en considérant successivement les combinaisons : $\pm E_X \pm 0,30 E_Y$ et $\pm 0,30 E_X \pm E_Y$. L'intensité la plus défavorable étant retenue.

Il est possible de simplifier l'approche en considérant séparément les deux directions principales, négligeant dans l'équilibre du moment de torsion la contribution des éléments de contreventement orientés perpendiculairement à la direction considérée.

La valeur de l'excentrement e_x ou e_y prise en compte dans les calculs intègre l'excentrement géométrique et l'excentricité accidentelle additionnelle telle que définie au §4.3.2 de la NF EN 1998-1 et son AN.

VI-3. Calculs préliminaires

La période fondamentale T1 de vibration du bâtiment pour la direction considérée peut être calculée en application des formules (4.6) ou (4.9) de la NF EN 1998-1 et son AN. Pour ce calcul, il est pris en compte l'inertie équivalente déterminée suivant la méthode Albigès et Goulet.

Dans le cas d'ouvrage pour lequel l'inertie des éléments de contreventement est différente dans les niveaux, le calcul de la période fondamentale sera réalisé en appliquant la formule (4.9). En alternative, pour l'application de la méthode, il est loisible de retenir pour T1 la valeur obtenue en considérant, pour l'ensemble des niveaux, l'inertie la plus faible. L'action sismique est cependant déterminée avec l'accélération spectrale maximale.

L'effort sismique global F_i exercé sur le niveau « i » ainsi que l'effort F_b résultant en pied du bâtiment sont déterminés par la méthode d'analyse par forces latérales (§ 4.3.3.2 de la NF EN 1998-1 et son AN). Ils peuvent également résulter d'une analyse modale.

L'effort sismique $F_{i,j}$ exercé au niveau « i » sur le voile « j » est déterminé comme indiqué au paragraphe VI-2.

VI-3.1. Coefficient de réduction de masse

La masse des voiles participant au contreventement dans la direction considérée ne sollicite pas les liaisons plancher-façade. Les efforts sismiques ayant été évalués en considérant la totalité des masses, on applique le coefficient γ_m pour réduire l'effort en proportion.

$$\gamma_m = 1 - \frac{\text{Masse des voiles participant au contreventement pour la direction considérée}}{\text{Masse totale de l'ouvrage prise en compte pour le calcul sismique}}$$

VI-3.2. Coefficients d'amplification calculés pour chaque voile « j » et chaque niveau « i »

Considérons le voile indice « j » suivant comportant « no » ouvertures.

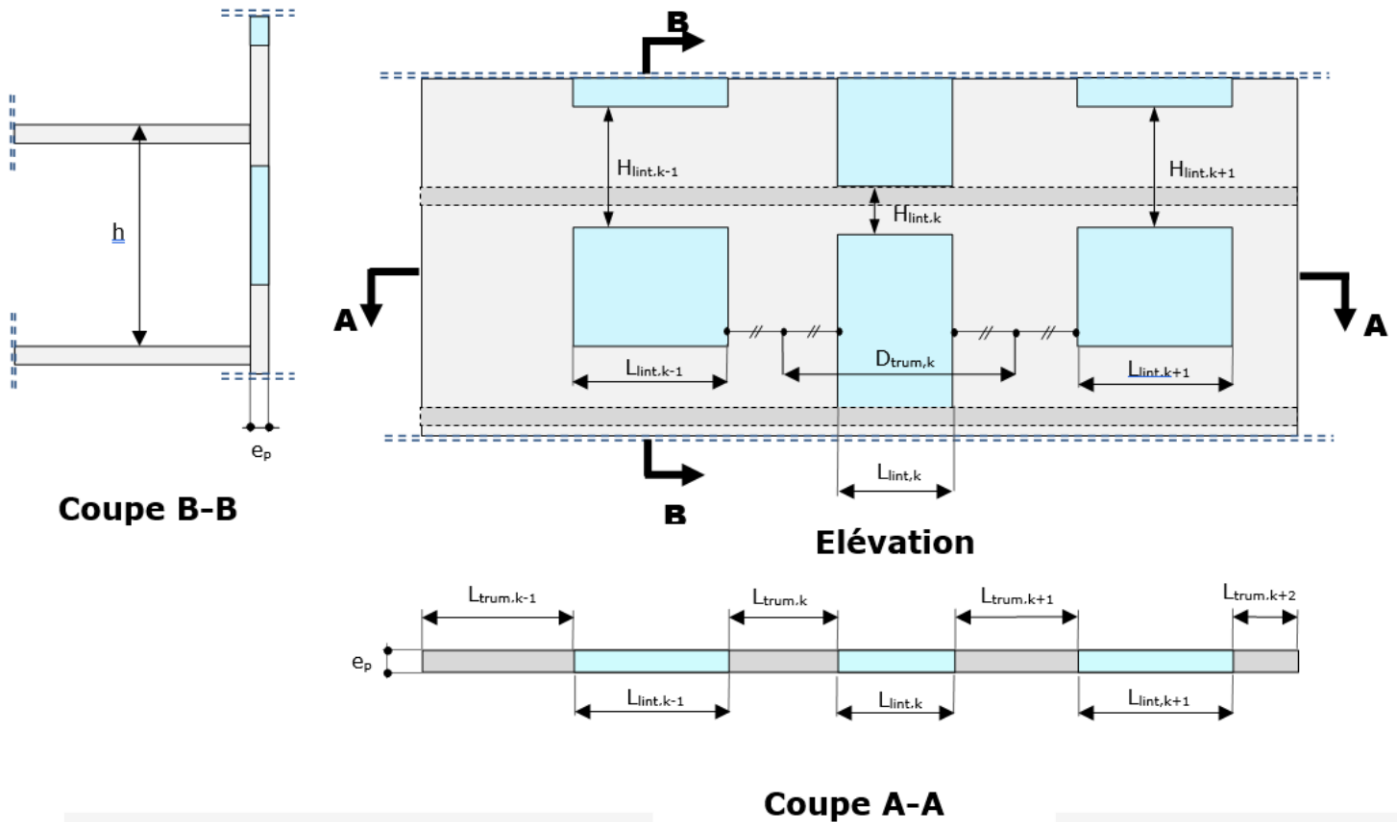


Figure VI.2 – Représentation d'un voile avec « no » ouvertures

$$\delta_{1,i,j} = 1,20$$

$$\delta_{2,i,j} = \eta_{2,i,j} \beta_{2i,j} \frac{F_b}{n_{\text{etage}} F_i}$$

$$\eta_{2,i,j} = \text{Min} \left(\frac{\mu_{i,j} H^{0,8}}{3,9} \text{Max}_{k=1}^{n_o} \left\{ L_{\text{lint},k}^{1,4} H_{\text{lint},k}^{-1,1} \right\} \right)$$

- $\mu_{i,j}$ correspondant aux fonctions $\chi_{i,j}$ et $\Phi_{i,j}$ définies dans la méthode Albigès et Goulet suivant que l'on considère respectivement un cas de charge triangulaire ou uniforme.

Note : La valeur de la fonction $\mu_{i,j}$ est différente suivant que l'on considère un chargement de type triangulaire ou uniforme. Retenir l'hypothèse d'un chargement triangulaire conduit à une évaluation sécuritaire des efforts. Adopter l'hypothèse d'un chargement uniforme, nécessite de vérifier préalablement que les efforts sont sensiblement identiques sur l'ensemble des niveaux.

$$\bullet \quad \eta_{\text{max}} = \begin{cases} 4 & \text{si } \alpha_j \geq 50 \\ 10 & \text{si } 25 \leq \alpha_j < 50 \\ 25 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

- α_j est le paramètre traduisant le degré de monolithisme d'un voile avec ouverture tel que défini dans la méthode Albigès et Goulet. α est la valeur moyenne pondérée déterminée pour le nombre de voiles n_v participant au contreventement :

$$\bullet \quad \alpha = \frac{\sum_{j=1}^{n_v} \alpha_j I_{\text{eq},j}}{\sum_{j=1}^{n_v} I_{\text{eq},j}}$$

- $I_{\text{eq},j}$ étant l'inertie équivalente du voile j

$$\bullet \quad \beta_{2,i,j} = \begin{cases} 1 & \text{pour } Z_i < Z_{\text{ref}} \\ 1 - \frac{H^{0,20} \alpha_j^{0,1}}{2,3} \frac{Z_i - Z_{\text{ref}}}{H} & \text{pour } Z_i \geq Z_{\text{ref}} \end{cases}$$

- $L_{\text{lint},k}$ [m] la largeur de l'ouverture « k »

- H [m] la hauteur totale du bâtiment

- n_{etage} le nombre d'étages
- Z_i la hauteur du niveau "i" considéré
- $Z_{\text{ref}} = \text{Max} \left[\frac{H_i}{2}; h \right]$
- h [m] la hauteur d'étage

$$\bullet \delta_{3,ij} = \eta_{3,ij} \beta_{3,ij} \frac{F_b}{n_{\text{etage}} F_i}$$

$$\circ \eta_{3,ij} = \text{Min} \left\{ \frac{\frac{H_{ij}}{2,1} H^{0,85}}{\eta_{\text{max}}} \text{Max}_{k=1}^{n_o} \left\{ L_{\text{lint},k}^{0,95} H_{\text{lint},k}^{-0,8} \right\} \right\}$$

$$\circ \beta_{3,ij} = \begin{cases} 1 & \text{pour } Z_i < Z_{\text{ref}} \\ 1 - \frac{H^{0,20} \alpha_j^{0,1}}{2,5} \frac{Z_i - Z_{\text{ref}}}{H} & \text{pour } Z_i \geq Z_{\text{ref}} \end{cases}$$

VI-3.3. Moment maximal dans les linteaux

La méthode Albigès et Goulet suppose l'encastrement des linteaux sur les trumeaux adjacents. Les sollicitations résultantes peuvent s'avérer incompatibles avec la section transversale du linteau.

Le moment sollicitant ne peut pas être supérieur à la capacité résistante du linteau évaluée en considérant une section d'armatures correspondant au ferrailage maximal autorisé par la NF EN 1992-1-1 + AN - §9.2.1.1 $\square A_{s\text{max}} = 0,04 A_c$

Le moment résistant $M_{Rd,ELA}$ du linteau « k » peut être estimé à :

$$M_{Rd,ELA} = \frac{1}{2} (0,04 A_c) f_{yk} (0,9 d)$$

En considérant :

$$d = 0,90 H_{\text{lint},k}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd,ELA} = 8,10 e_p H_{\text{lint},k}^2 \text{ [MN.m]} \text{ avec des unités en m}$$

$$H_{\text{lint},k} \text{ [m]} \text{ la hauteur du linteau au droit de l'ouverture « k »}$$

Le moment sollicitant la section d'encastrement M_{Ed} est déterminé en application de la méthode Albigès et Goulet.

Il convient de vérifier :

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,ELA}$$

Dans le cas contraire, les éléments de voile situés de part et d'autre de l'ouverture seront considérés comme des voiles distincts.

VI-4 Effort de cisaillement dans les nervures au niveau « i » sur le voile « j »

L'effort de cisaillement dans les nervures $V_{\text{nerv},ij}$ est déterminé en fonction des cas suivants.

VI-4.1. La période fondamentale $T_1 \leq 0,20 \text{ s}$ ou $\alpha \geq 55$

$$V_{\text{nerv},ij} = 1,3 \delta_{1,ij} \frac{\gamma_M F_{ij}}{n_{\text{nerv},ij}}$$

- Le coefficient 1,3 est un coefficient de sur-résistance
- $n_{\text{nerv},ij}$ le nombre de nervures liaisonnant le voile « j » au plancher du niveau « i »
- F_{ij} est l'effort équilibré par le voile de contreventement « j » au niveau « i ».

Il est déterminé comme indiqué au § VI-2 à partir de la force globale F_i appliquée sur le niveau « i ».

Pour ce calcul, la valeur F_i est au moins égale à :

$$F_i = m_i \gamma_i a_{gr}$$

, l'effort déterminé au niveau situé à mi-hauteur du bâtiment $z_i = \frac{H}{2}$

- m_i la masse au niveau « i » excitée par le séisme
- γ_i le coefficient d'importance
- a_{gr} l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A

VI-4.2. La période fondamentale $T_1 > 0,20$ s et $\alpha < 55$

VI-4.2.1. Les ouvertures sont identiques dans tous les niveaux

Le voile « j » ne comporte pas d'ouverture

$$V_{nerv,ij} = 1,3 \delta_{1,ij} \frac{\gamma_M F_{ij}}{n_{nerv,ij}}$$

- Le coefficient 1,3 est un coefficient de sur-résistance
- $n_{nerv,ij}$ le nombre de nervures liaisonnant le voile « j » au plancher du niveau « i »
- F_{ij} est l'effort équilibré par le voile de contreventement « j » au niveau « i ».

Il est déterminé comme indiqué au § VI-2 à partir de la force globale F_i appliquée sur le niveau « i ».Pour ce calcul, la valeur F_i est au moins égale à :

$$F_i = m_i \gamma_i a_{gr}$$

, l'effort déterminé au niveau situé à mi-hauteur du bâtiment $z_i = \frac{H}{2}$

- m_i la masse au niveau « i » excitée par le séisme
- γ_i le coefficient d'importance
- a_{gr} l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A

Chaque voile muni de rupteurs présente des ouvertures de dimensions identiques dans le niveau considéré

$$V_{nerv,ij} = \text{Max} \left(\begin{array}{l} 1,3 \delta_{2,ij} \frac{\gamma_M F_{ij}}{n_{nerv,ij}} \\ 1,3 \delta_{1,ij} \frac{\gamma_M m_i \gamma_i a_{gr}}{n_{nerv,ij}} \end{array} \right)$$

Pour le niveau considéré, il existe des voiles munis de rupteurs présentant des ouvertures de dimensions différentes

$$V_{nerv,ij} = \text{Max} \left(\begin{array}{l} 1,3 \delta_{3,ij} \frac{\gamma_M F_{ij}}{n_{nerv,ij}} \\ 1,3 \delta_{1,ij} \frac{\gamma_M m_i \gamma_i a_{gr}}{n_{nerv,ij}} \end{array} \right)$$

VI-4.2.2. Les ouvertures ne sont pas identiques dans tous les niveaux ou ne sont pas superposées

On effectue autant de modèles virtuels avec ouvertures identiques à tous les niveaux (en appliquant les prescriptions définies ci-avant pour le cas où les ouvertures sont identiques dans tous les niveaux)

On retiendra pour chaque niveau la valeur la plus défavorable obtenue dans les différents modèles.

Annexe VII - Définition des ouvrages ne nécessitant pas de justifications vis-à-vis de l'action sismique

VII-1 Généralités

Ce domaine s'applique aux bâtiments respectant les critères définis au paragraphe VII-2, pour lesquels le produit $ag.S$ n'excède pas la valeur $2,88 \text{ m/s}^2$ (voir arrêté du 22/10/2010 modifié) et comprend :

- L'ensemble des planchers des bâtiments réguliers en plan et en élévation au sens de la norme NF EN 1998 jusqu'à une élévation maximale d'un R+4 ;
- L'ensemble des planchers des bâtiments jusqu'à une élévation maximale d'un R+2 dont la géométrie de chaque niveau respecte les critères géométriques exposés dans le paragraphe VII-2 ;
- Seulement les planchers sur vides sanitaires de l'ensemble des bâtiments jusqu'à une élévation maximale d'un R+4. La hauteur des vides sanitaires est limitée à 1,2 m.

Ces bâtiments respectent en outre les conditions suivantes :

- La hauteur d'étage entre deux planchers ne dépasse pas 3 m ;
- Vis-à-vis des charges du plancher, les conditions suivantes s'appliquent :
 - Les charges permanentes (y compris poids propre) ne dépassent pas 7 kN/m^2 ;
 - Les charges d'exploitations ne dépassent pas $2,50 \text{ kN/m}^2$;
 - Les charges ponctuelles n'excèdent pas 4 kN.

VII-2 Critères géométriques à respecter

Un bâtiment jusqu'à une élévation maximale d'un R+2 peut intégrer le domaine à condition que les critères géométriques définis ci-après soient respectés :

- **Critère a.** La forme de la construction entre joints doit être simple et compacte. L'élançement en plan de la construction doit être limité. Le rapport entre la longueur A et la largeur B de la construction doit être inférieur à 2,5, soit $A/B \leq 2,5$.

Exemple d'application :

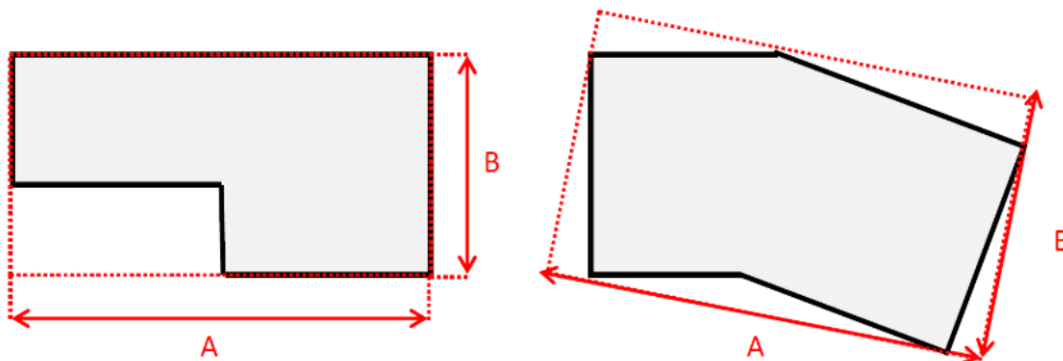


Figure VII.1 - Critère a - Exemples d'application

- **Critère b.** Les retraits par rapport au polygone convexe circonscrit au plancher ou à la charpente faisant office de diaphragme doivent respecter les conditions suivantes (pour chaque niveau) :
 - Le nombre maximal de retraits est de 6 ;
 - Aucun des retraits ne peut excéder 20% de la surface du plancher ;
 - La somme de tous les retraits ne doit pas excéder 30% de la surface du plancher.

A noter que les balcons et loggias doivent être inclus dans le contour du plancher et que la vérification doit être effectuée au niveau de chaque diaphragme.

Exemples d'application :

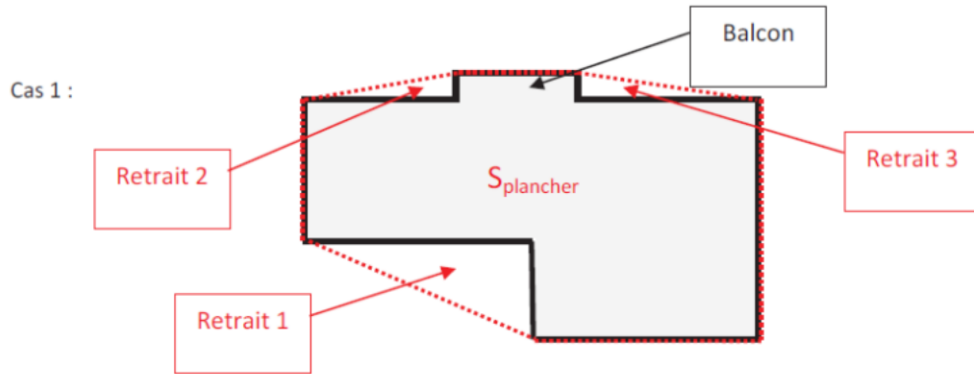


Figure VII.2 - Critère b - Exemple d'application (cas 1)

Il est nécessaire de vérifier que le nombre de retraits est inférieur à 6, ce qui est le cas ici. Il faut ensuite s'assurer que la surface de chaque retrait est inférieure à 20 % de la surface du plancher. Et enfin, la somme des surfaces des retraits doit être inférieure à 30 % de la surface du plancher.

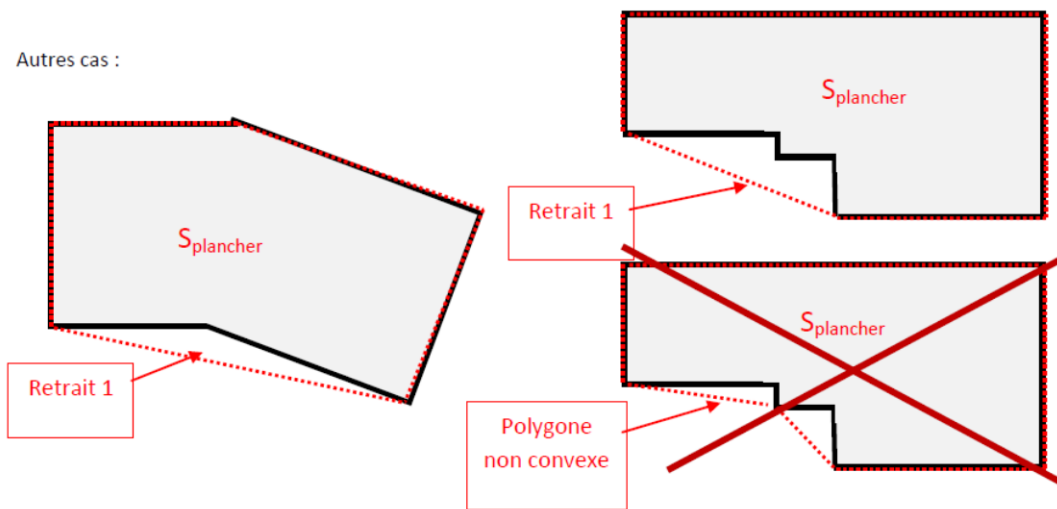


Figure VII.3 - Critère b - Exemple d'application (autres cas)

- Critère c.** Dans toutes les directions du contour des planchers ou de la toiture, les murs extérieurs doivent être considérés comme des murs de contreventement avec les conditions suivantes :
 - Avoir au moins deux murs parallèles selon chaque direction. Ce parallélisme est admis si l'angle entre les deux murs est $\leq 15^\circ$;
 - Chacun de ces murs doit être situé en zone de périphérie du plancher ou de la toiture supportée ;
 - Des retraits « e » sont admis pour ces murs, par rapport à la périphérie sans que la distance entre ces murs ne soit inférieure à une longueur « L₀ ». Les valeurs des couples « e » et « L₀ » sont données par le graphique suivant :

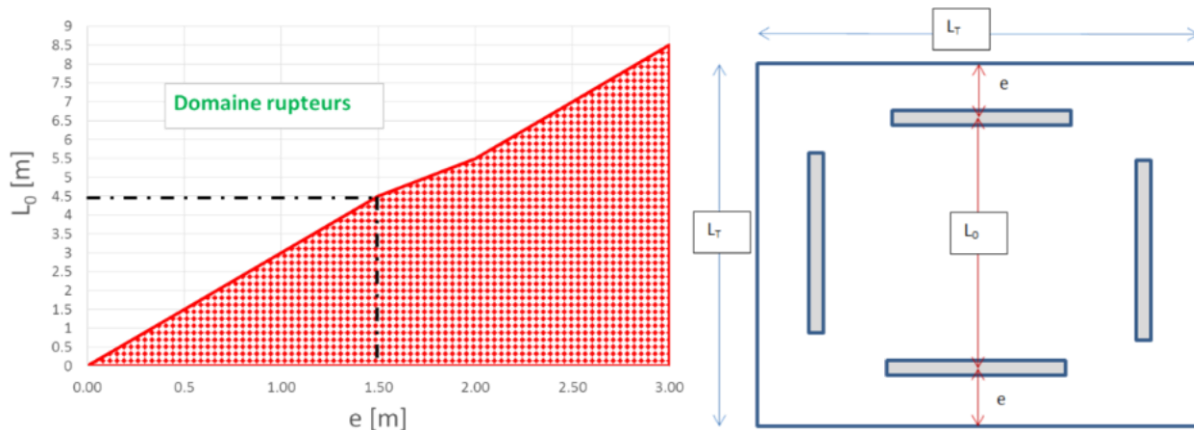


Figure VII.4 - Critère c - Retrait « e » en fonction de la distance « L₀ » entraxes des murs

Par exemple, des retraits (« e ») de 1,5 m sont admis pour ces murs, par rapport à la périphérie à condition que la distance entre ces murs (« L₀ ») ne soit pas inférieure à 4,5 m.

Dans le cas de balcon non uniforme, un retrait « e » moyen pourra être considéré ;
Le rapport de longueurs entre deux murs parallèles doit être compris entre 0,4 et 2,5.

- **Critère d.** L'écart entre les surfaces de deux planchers successifs du bâtiment ne doit pas excéder 50 %.

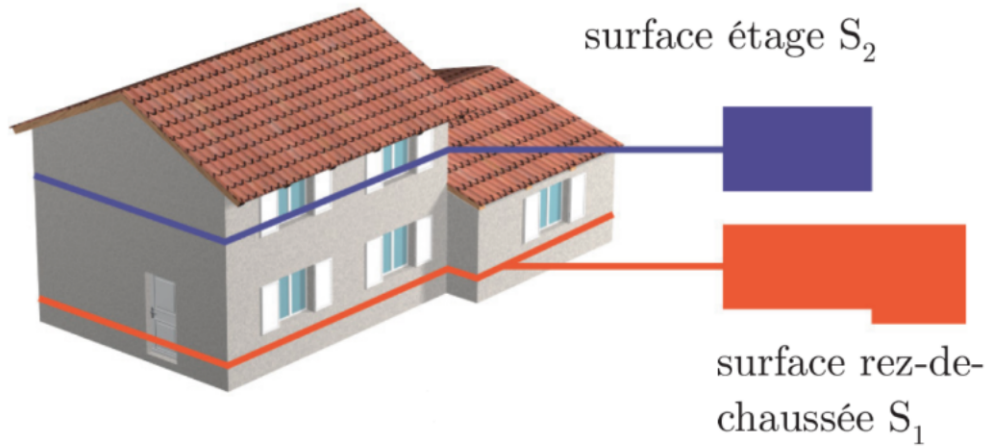


Figure VII.5 - Critère d – Ecart entre les surfaces de planchers successifs

Il faut s'assurer que les inégalités suivantes soient vérifiées :

$$0,5 S_1 \leq S_2 \leq S_1$$

- **Critère e.** Pour les structures avec des décrochés avec interruption du plancher (cf. Exemples de structures avec décrochés), il est préconisé d'utiliser des paniers renforcés dans la (ou les) nervure(s) située(s) dans une zone de largeur 1,20 m axée sur le décrochement.

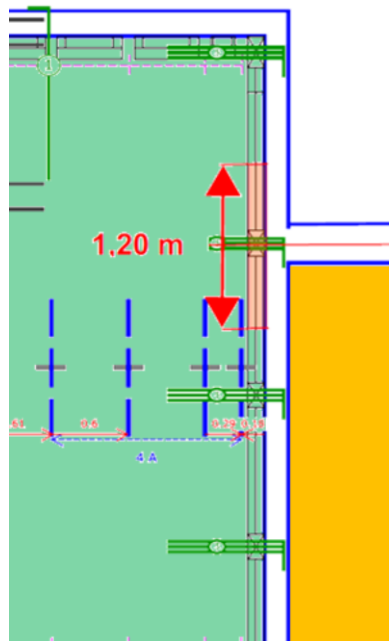


Figure VII.6 - Critère e – Renforcement au droit des décrochés

Toutefois, ces décrochés seront limités par le rapport suivant :

$$\frac{\min[S';S'']}{L^2} \leq 2$$

Où S' et S'' représentent les surfaces des deux zones de plancher séparées par le segment de longueur « L ».

Afin d'illustrer, deux exemples sont proposés ci-dessous :

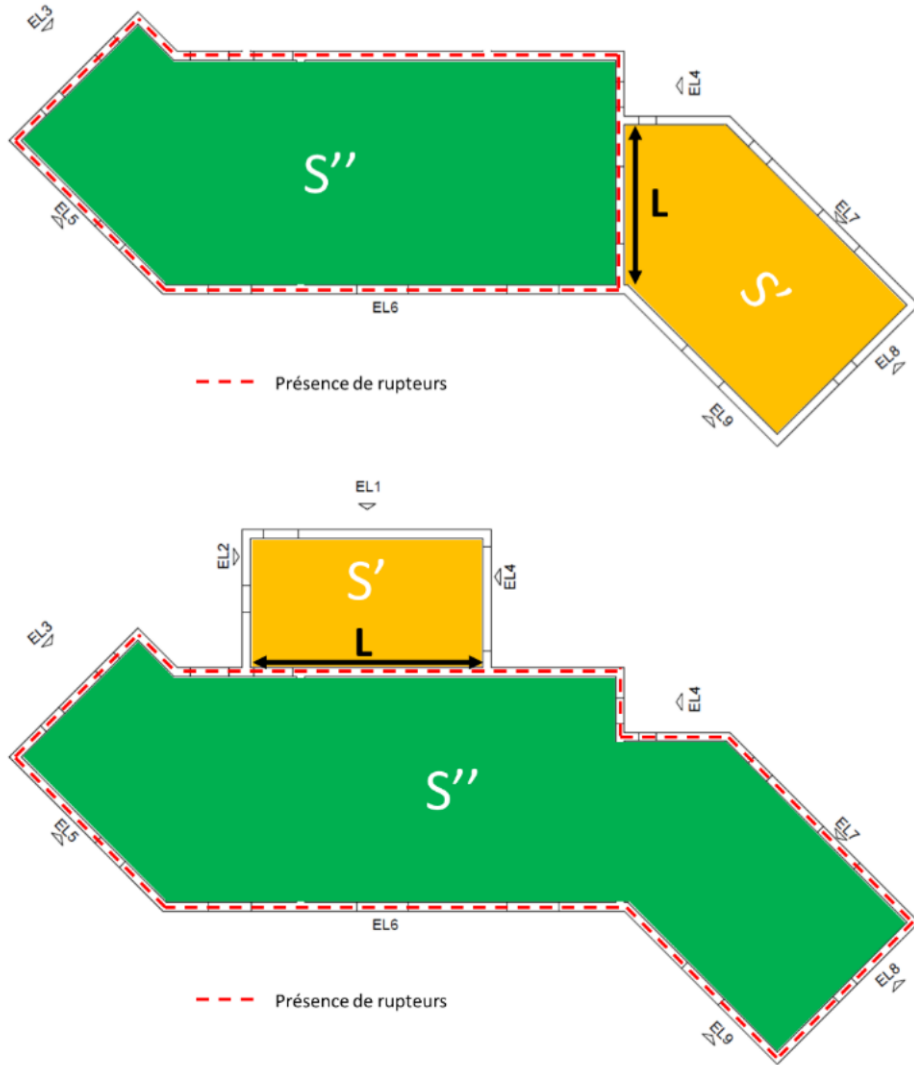
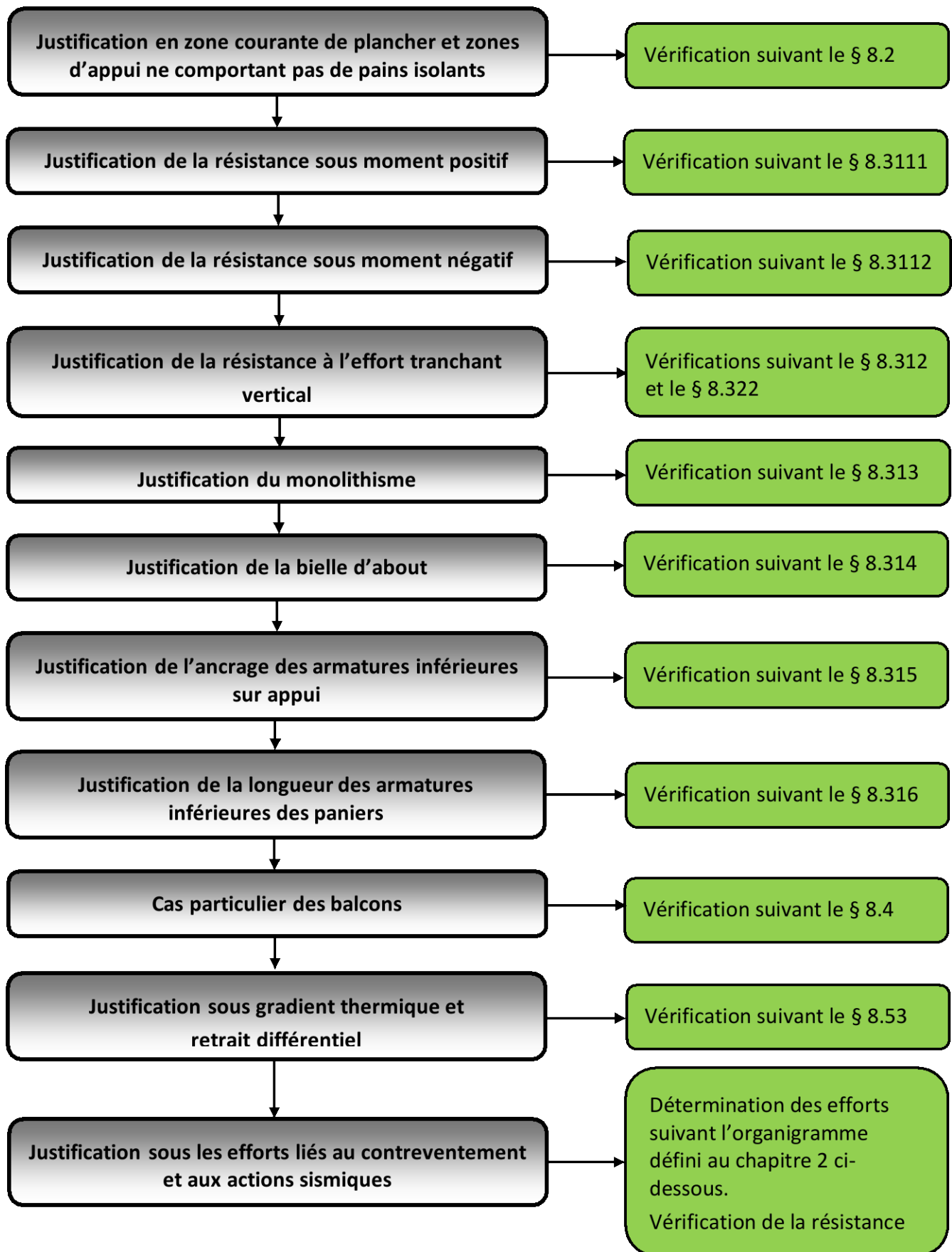


Figure VII.7 - Exemples de structures avec décrochés

Annexe VIII – Logigrammes de calcul et dimensionnement du procédé ThermoPrédalle SEAC.

VIII-1. Schéma général de vérification (Page suivante)



VIII-2. Détermination des efforts de contreventement

VIII-2.1. Le contexte réglementaire

Les efforts de contreventement liés au vent sont déterminés par le Bureau d'Etudes de Structures suivant les prescriptions données au chapitre 8.54. L'information est communiquée au bureau d'études de l'industriel qui est en charge de la vérification des nervures.

La réglementation sismique française impose de vérifier les structures sous chargement sismique pour toutes les zones indiquées en vert dans le tableau ci-dessous.

Zone de sismicité	Cat I	Cat II	Cat III	Cat IV
1	Pas de calculs	Pas de calculs	Pas de calculs	Pas de calculs
2	Pas de calculs	Pas de calculs		
3	Pas de calculs			
4	Pas de calculs			
5	Pas de calculs			

Le type d'analyse sismique requis est fonction de la régularité en élévation de la structure.

Régularité		Simplifications admises		Coefficient de comportement
Plan	Elévation	Modèle	Analyse élastique linéaire	(pour l'analyse linéaire)
Oui	Oui	Plan	Force latérale	Valeur de référence
Oui	Non	Plan	Modale	Valeur minorée
Non	Oui	Spatial	Force latérale	Valeur de référence
Non	Non	Spatial	Modale	Valeur minorée

Les différentes méthodes exposées dans le dossier technique, au chapitre 8.55, permettent de déterminer l'effort maximal dans les nervures.

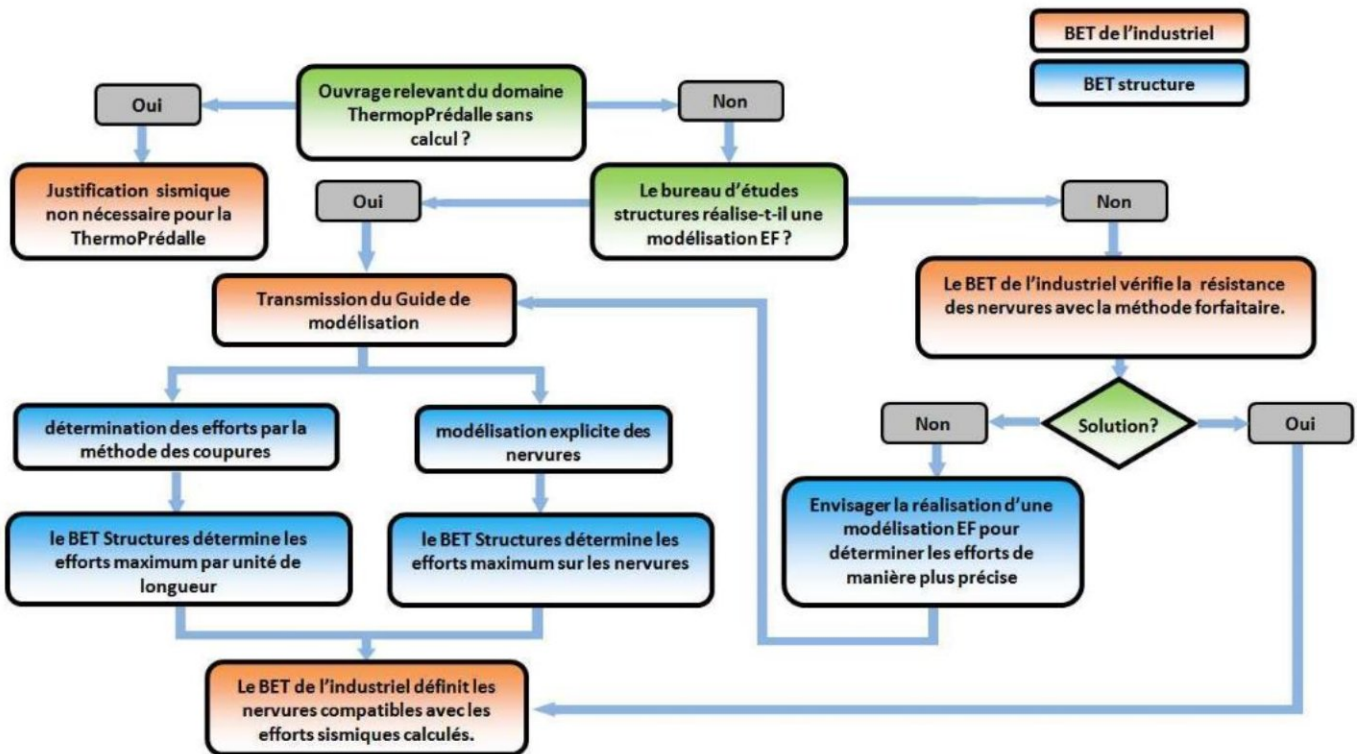
Dans le cas d'ouvrages irréguliers en élévation, la nécessité d'une analyse modale conduit généralement à réaliser une modélisation aux éléments finis (EF). Cette modélisation peut également avoir été réalisée pour d'autres considérations.

On distinguera par la suite le cas où, lorsque cette modélisation est réalisée :

le modèle ne prend pas en compte la présence des rupteurs : méthode des coupures suivant §8.521 ;

le modèle a pris en compte la spécificité ThermoPrédalle SEAC : modélisation explicite suivant § 8.522.

VIII-2.2. Logigramme pour le traitement du dossier



Annexe IX - Performances et valeurs de ponts thermiques

IX-1. Généralités

Les valeurs de ponts thermiques ψ (W/m.K) ont été calculées pour des entraxes de rupteurs de 82 cm en boîtes entières (rupteur type I), de 48,5 cm en demi-boîtes (rupteur type I) et des entraxes de nervures de 1,20 m (rupteur de type II), dans les configurations suivantes :

- Plancher intermédiaire / mur de façade
- Plancher terrasse / mur de façade (acrotère toujours en béton)
- Plancher bas sur local non chauffé / mur de façade

Les murs sont d'épaisseur 20cm et sont :

- Soit en béton plein (voile ou prémur) ;
- Soit en maçonnerie courante ;
- Soit en maçonnerie isolante type a.

Les résultats sont aussi valables dans le cas des balcons.

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour les calculs :

Matériaux constituant les appuis

Matériaux	Conductivités thermiques W/(m.K)	Sources
Maçonnerie courante	0,70	Th-Bât Edition 2012
Maçonnerie isolante de type a	0,20	
Béton	2,00 (prédalle et dalle de compression)	
	2,50 (nervures béton avec % acier > 2% ; Rupteur de type I)	
	1,65(1) (nervures béton avec modélisation précise des aciers ; Rupteur de type II)	
Plaque de plâtre	0,25	
Boîtes en polypropylène	0,22	
Isolant du mur ou du plancher (100 mm, 120mm ou 140mm)	0,032	Valeur courante
Laine de roche rupteur	0,036	ACERMI n°10/016/619 ⁽²⁾
PB100 rupteur	0,050	ACERMI n°14/017/1001/2 ⁽²⁾
Isolant plancher bas (120 mm)	0,036	Valeur courante
Isolant toiture terrasse (120 mm)	0,023	
Lame d'air 1cm (doublage collé)	Calculé selon EN ISO 6946	EN ISO 6946
Planelle 65 mm – R=0,50 m².K/W	0,13 (3)	SEAC
Planelle 50 mm – R=0,12 m².K/W	0,417(3)	
Planelle 50 mm – R=0,07 m².K/W	0,70(3)	

⁽¹⁾ Le béton a une densité ≤ 2300 kg/m³ et les aciers ont une conductivité thermique de 50 W/(m.K).

⁽²⁾ Les résultats restent valables dans le cas d'un isolant bénéficiant d'une conductivité thermique inférieure ou égale et couverte par un certificat ACERMI en cours de validité

⁽³⁾ Conductivité thermique équivalente

Conditions aux limites

Conditions aux limites	Température d'ambiance (°C)	Coefficient d'échange superficiel (W/m².K)
Ambiance intérieure avec flux vertical ascendant	20	10
Ambiance intérieure avec flux vertical descendant		5,9
Ambiance intérieure avec flux horizontal		7,7
Ambiance extérieure	0	10

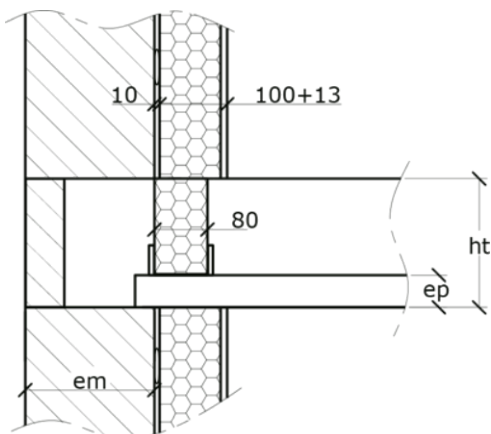
Les coefficients de ponts thermiques donnés dans les tableaux ci-après ont été calculés conformément à la norme NF EN ISO 10211. La méthodologie de détermination ainsi que l'ensemble des hypothèses sont détaillées dans les rapports référencés DEIS/HTO 2017-050-FL/LB du 27/04/2017 et DEIS/HTO 2018-118-FL/LB du 29/11/2018.

On donne ci-après les limites de validité des valeurs :

- Epaisseur de l'isolant du rupteur ≥ 8 cm ;
- Conductivité thermique utile de l'isolant du rupteur $\leq 0,05$ W/(m.K) ;
- Isolation du mur par un système de doublage collé (DTU 25.42) ;
- Epaisseur du doublage ≥ 100 mm ;
- Mur en béton d'épaisseur ≥ 18 cm ;
- Mur en maçonnerie d'épaisseur ≥ 20 cm ;
- Mur de fondation toute nature ;
- Acrotère toute nature ;
- Dalle de plancher de hauteur totale ≤ 23 cm ;
- Résistance thermique de l'isolation du plancher haut R plancher haut $\leq 5,3$ m².K/W ;
- Résistance thermique de l'isolation du plancher bas R plancher bas $\leq 3,4$ m².K/W (Rupteur de type I) ;
- Résistance thermique de l'isolation du plancher bas R plancher bas $\leq 3,8$ m².K/W (Rupteur de type II) ;
- Planelles de résistance thermique :
 - $R_p \geq 0,07$ m².K/W pour les configurations en maçonnerie courante ;
 - Pour les configurations en maçonnerie isolante de type a se reporter aux limites indiquées dans les tableaux de valeurs.
- Les valeurs fournies pour les planchers bas, ne sont valables que dans le cas où le plancher bas donne sur un local non chauffée (Vide sanitaire, garage, local technique...).

IX-2. Rupteurs de type I

IX-2.1. Planchers intermédiaires



IX-2.1.1. Cas avec la laine de roche

Tableau 1 : Mur en béton avec ou sans débord de la dalle (balcon, casquette, coursive...)

em		18					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,62	0,66	0,60	0,64	0,59	0,62
	Demi-boîtes	0,71	0,76	0,69	0,74	0,66	0,72

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,62	0,65	0,60	0,64	0,58	0,62
	Demi-boîtes	0,70	0,75	0,68	0,73	0,66	0,71

IX-2.1.1. Cas avec la perlite expansée (PB 100)

Tableau 2 : Mur en béton avec ou sans débord de la dalle (balcon, casquette, coursive...)

em		18					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,64	0,68	0,62	0,66	0,60	0,64
	Demi-boîtes	0,72	0,77	0,70	0,75	0,68	0,73

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,63	0,67	0,61	0,65	0,59	0,63
	Demi-boîtes	0,71	0,77	0,69	0,74	0,67	0,72

Tableau 3 : Mur en maçonnerie courante

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières + planelle	0,54	0,58	0,53	0,56	0,52	0,55
	Boîtes entières + balcon	0,56	0,60	0,55	0,58	0,53	0,57

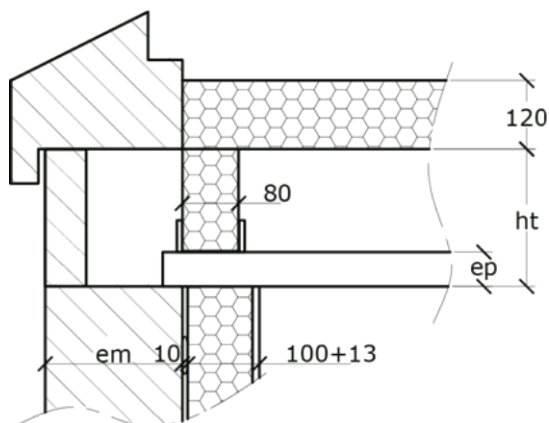
Tableau 4 : Mur en maçonnerie isolante de type a et planelle $R_p \geq 0,12 \text{ m}^2.K/W$

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières + planelle	0,45	0,48	0,44	0,47	0,43	0,47
	Boîtes entières + balcon	0,51	0,55	0,50	0,54	0,49	0,53

Tableau 5 : Mur en maçonnerie isolante de type a et planelle $R_p \geq 0,50 \text{ m}^2.K/W$

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières + planelle	0,33	0,36	0,33	0,35	0,33	0,35
	Boîtes entières + balcon	0,51	0,55	0,50	0,54	0,49	0,53

IX-2.2. Planchers hauts



IX-2.2.1. Cas avec la perlite expansée (PB100)

Tableau 6 : Mur en béton

em		18					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,59	0,62	0,57	0,60	0,55	0,58

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,58	0,62	0,56	0,60	0,55	0,58

Tableau 7 : Mur en maçonnerie courante

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,54	0,57	0,52	0,55	0,51	0,54

Tableau 8 : Mur en maçonnerie isolante de type a et planelle $R_p \geq 0,12 \text{ m}^2.K/W$

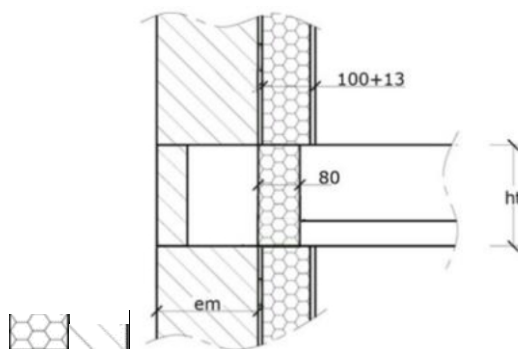
em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,50	0,53	0,49	0,52	0,48	0,50

Tableau 9 : Mur en maçonnerie isolante de type a et planelle $R_p \geq 0,50 \text{ m}^2.K/W$

em		20					
Doublage		100+13		120+13		140+13	
ht		20	23	20	23	20	23
Ent	Boîtes entières	0,47	0,49	0,46	0,48	0,45	0,47

IX-3. Rupteurs de type II

IX-3.1. Planchers intermédiaires



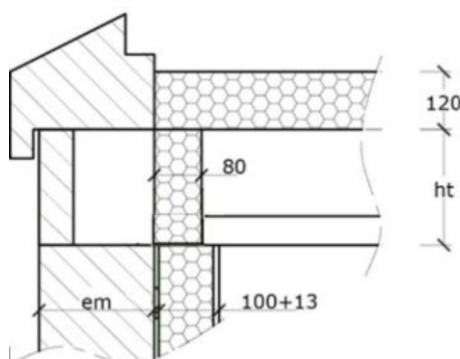
ThermoPrédalle

Rupteur Type II

		Laine de roche										
		100 + 13			120 + 13				140 + 13			
		18 cm	20 cm	23 cm	18 cm	20 cm	23 cm	25 cm	18 cm	20 cm	23 cm	
ψ L9 (W/m.K)	Liaison courante	Voile béton 16 cm	0.29	0.32	0.36	0.28	0.32	0.36	0.39	0.28	0.31	0.36
		Voile béton 18 cm	0.29	0.32	0.36	0.28	0.31	0.36	0.39	0.28	0.31	0.35
		Voile béton 20 cm	0.28	0.31	0.36	0.28	0.31	0.35	0.38	0.28	0.31	0.35
		Bloc béton 20 cm + Planelle standard (Rp = 0,07)	0.26	0.29	0.33	0.26	0.29	0.33	0.35	0.26	0.29	0.33

Note : Les tableaux ci-dessus ont été établis avec l'hypothèse de paniers dont l'armature longitudinale est constituée de 2U HA10. Dans le cas de ferrailage plus important, jusqu'à concurrence de 4U HA10, et en l'absence de calcul détaillé, la valeur du coefficient ψ peut être prise égale aux valeurs des tableaux augmentées de 0,01.

IX-3.2. Planchers hauts



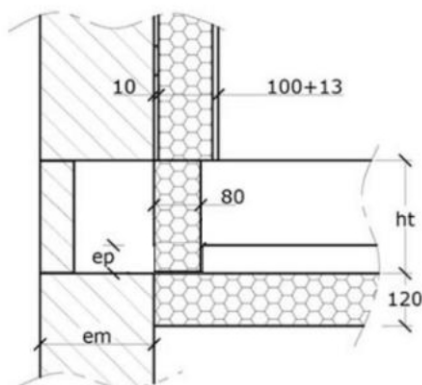
ThermoPrédalle

Rupteur Type II

		Laine de roche										
		100 + 13			120 + 13				140 + 13			
		18 cm	20 cm	23 cm	18 cm	20 cm	23 cm	25 cm	18 cm	20 cm	23 cm	
ψ L10 (W/m.K)	Liaison courante	Voile béton 16 cm	0.27	0.30	0.34	0.27	0.30	0.34	0.36	0.27	0.30	0.34
		Voile béton 18 cm	0.27	0.30	0.34	0.27	0.30	0.33	0.36	0.27	0.30	0.33
		Voile béton 20 cm	0.27	0.30	0.33	0.27	0.30	0.33	0.36	0.27	0.30	0.33
		Bloc béton 20 cm + Planelle standard (Rp = 0,07)	0.26	0.29	0.32	0.26	0.29	0.32	0.35	0.26	0.29	0.32

Note : Les tableaux ci-dessus ont été établis avec l'hypothèse de paniers dont l'armature longitudinale est constituée de 2U HA10. Dans le cas de ferrailage plus important, jusqu'à concurrence de 4U HA10, et en l'absence de calcul détaillé, la valeur du coefficient ψ peut être prise égale aux valeurs des tableaux augmentées de 0,01.

IX-3.3. Planchers bas sur local non chauffé



ThermoPrédalle

Rupteur Type II

		Laine de roche										
		100 + 13			120 + 13				140 + 13			
		18 cm	20 cm	23 cm	18 cm	20 cm	23 cm	25 cm	18 cm	20 cm	23 cm	
ψ L8 (W/m.K)	Liaison courante	Voile béton 16 cm	0.26	0.28	0.32	0.26	0.28	0.32	0.34	0.26	0.28	0.32
		Voile béton 18 cm	0.26	0.28	0.32	0.26	0.28	0.32	0.34	0.26	0.28	0.31
		Voile béton 20 cm	0.26	0.28	0.32	0.26	0.28	0.31	0.34	0.26	0.28	0.31
		Bloc béton 20 cm + Planelle standard (Rp = 0,07)	0.24	0.26	0.30	0.24	0.26	0.30	0.32	0.24	0.26	0.29

Note : Les tableaux ci-dessus ont été établis avec l'hypothèse de paniers dont l'armature longitudinale est constituée de 2U HA10. Dans le cas de ferrailage plus important, jusqu'à concurrence de 4U HA10, et en l'absence de calcul détaillé, la valeur du coefficient ψ peut être prise égale aux valeurs des tableaux augmentées de 0,01.