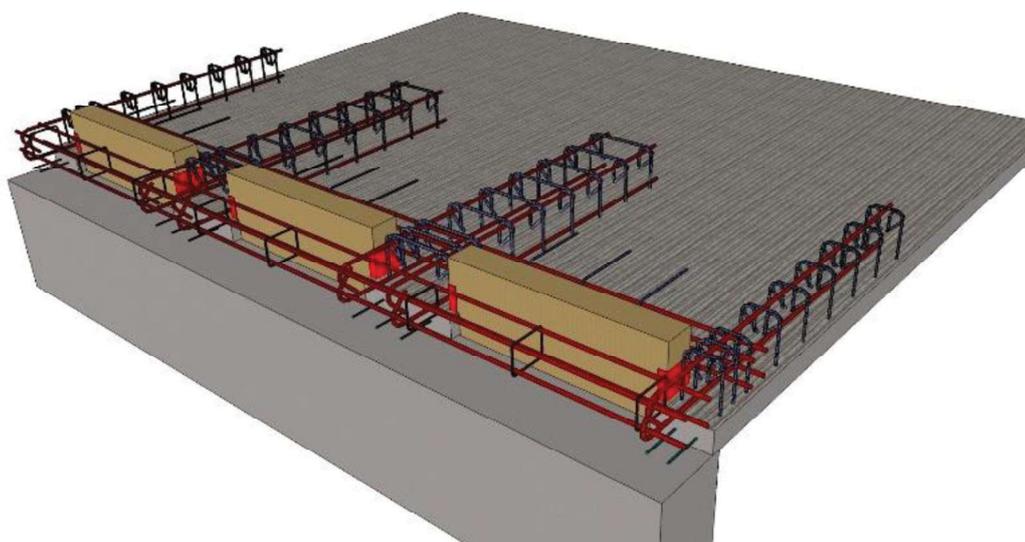


APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3112_V1

ATEx de cas a

Validité du 03/05/2023 au 03/05/2025



Copyright : Société OTEP

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

A LA DEMANDE DE :

Société OTEP

Adresse : SI Borderasse, Route du circuit, 31800 SAINT-GAUDENS

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3112_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de rupteur de ponts thermiques pour planchers à prédalles en béton précontraint, utilisés en isolation thermique par l'intérieur, et prévus d'être disposés en rive porteuse ou non porteuse des planchers à prédalles, en contact avec les murs extérieurs.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 03/05/2023 le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- Demandeur : Société OTEP
- Technique objet de l'expérimentation : Rupteurs de ponts thermiques pour planchers à prédalles désigné THERM'OTEP S, conçue pour l'isolation par l'intérieur (ITI)

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3112_V1 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

Donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **03/05/2025**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations et attendus formulés aux §4.

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

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

Le procédé de rupteur de pont thermique THERM'OTEP S est destiné à traiter les jonctions façades-planchers dans le cas d'une isolation par l'intérieur. Les façades peuvent être réalisées en béton armé ou en maçonnerie. Les planchers sont réalisés à partir de prédalles en béton précontraint, d'épaisseur nominale comprise entre 50 et 120 mm.

Le procédé est utilisé pour traiter les ponts thermiques le long des rives porteuses et/ou non porteuses des planchers à prédalles. La coupure du pont thermique est réalisée par des pains d'isolant en laine de roche. Ces pains d'isolant sont interrompus par des nervures en béton armé tous les 83.9 cm maximums. L'entraxe entre les nervures peut être réduit en utilisant de blocs d'isolants de longueur adaptée.

Des sabots réalisés en acier inoxydable, sont disposés en about de prédalle et ont pour rôle de positionner et de maintenir les pains isolants mis en place sur chantier.

Les nervures comportent des cages d'armatures intégrées à la fabrication et elles sont complétées par l'ajout des armatures d'ancrage et par les armatures en chapeaux telles que décrites dans le cahier des charges du procédé annexé au présent document.

Le plancher équipé de rupteurs thermiques Therm'OTEP-S est calculé conformément à la NF DTU 23.4 et la norme NFP19-206. La vérification de la flexion, de l'effort tranchant vertical, du cisaillement à l'interface entre le béton de prédalle et le béton de table rapporté, de la bielle d'about et l'ancrage des armatures sur appui s'effectue conformément à la norme NF EN 1992-1-1.

Pour la vérification de la résistance des nervures sous sollicitations d'effort tranchant horizontal, la capacité résistante de la liaison est évaluée en considérant un modèle poutre-treillis tel que décrit dans le cahier des charges du procédé annexé au présent document. Cette valeur analytique a été validée par essais.

Pour assurer le fonctionnement du plancher en diaphragme ainsi que la liaison tirant buton avec la façade, le dimensionnement des nervures doit prendre en compte la concomitance des efforts tranchants verticaux et horizontaux.

1.2 – Sécurité des intervenants

Sécurité des ouvriers (manutention et mise en œuvre) : La mise en œuvre ne soulève pas de problème de sécurité particulier par rapport à un plancher à prédalles classique.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Le procédé fait l'objet de l'appréciation de laboratoire agréé N° AL 21-302, applicable aux rupteurs en isolant en laine de roche :

- Les rupteurs mis en œuvre sur un plancher d'épaisseur minimale 180 mm et de portée maximale de 4.2 m, présentent un classement de résistance au feu REI120 pour toutes les catégories d'usage visées ;

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3112_V1

- Les rupteurs mis en place sur un plancher isolé d'épaisseur minimale 200 mm et de portée maximale de 6.5 m, présentent un classement de résistance au feu REI120 pour les catégories A et B et REI90 pour la catégorie C ;
- Les rupteurs mis en place sur un plancher continu d'épaisseur minimale 200 mm et de portée maximale de 5.7 m, présentent un classement de résistance au feu REI90 pour toutes les catégories incluses dans le domaine d'application visé.
- Les rupteurs mis en place sur un plancher continu d'épaisseur minimale 200 mm et de portée maximale de 7.1 m, présentent un classement de résistance au feu REI60 pour toutes les catégories incluses dans le domaine d'application visé.

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Le procédé peut être utilisé pour les ouvrages nécessitant la prise en compte du risque sismique, au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

La fabrication des prédalles et des composants du rupteur (raidisseurs en acier HA), y compris la fabrication des sabots inox et la découpe des blocs d'isolant, a lieu dans des ateliers sous la responsabilité de la société OTEP.

2.2 – Mise en œuvre

Les blocs d'isolant sont fixés sur les sabots sur chantier. La mise en œuvre ne pose pas de problèmes particuliers pour une entreprise spécialisée dans les planchers à prédalles classiques.

2.3 – Assistance technique

Le dimensionnement des nervures est systématiquement assuré par la société OTEP.

3°) Risques de désordres

Les risques de désordre sont ceux d'un plancher à prédalle classique. Ils peuvent donc être considérés comme minimes.

4°) Recommandations

- Les torons des prédalles doivent être placés au-dessus du brin inférieur des cadres de chaînage afin de remonter et transférer les charges par les cadres.
- Les armatures passives doivent être capables de reprendre entièrement la flexion et l'effort tranchant en appui, sans contribution des torons.

5°) Rappel

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

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que l'ATEX est :

FAVORABLE :

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est réelle,
- Les désordres sont limités.

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

Ménad CHENAF

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3112_V1

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société OTEP
ZI Bordebasse
Route du circuit
31800 SAINT GAUDENS

Définition de la technique objet de l'expérimentation : Rupteurs de ponts thermiques pour planchers à prédalles THERM'OTEP S, utilisé pour traiter les ponts thermiques le long des rives porteuse et non porteuses des planchers à prédalles en béton précontraint.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 3112_V1 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 41 pages.

***Procédé de rupteur de ponts thermiques pour planchers à
prédalles THERM'OTEP S***

« Dossier technique établi par le demandeur »

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

Datée du 22 05 2023

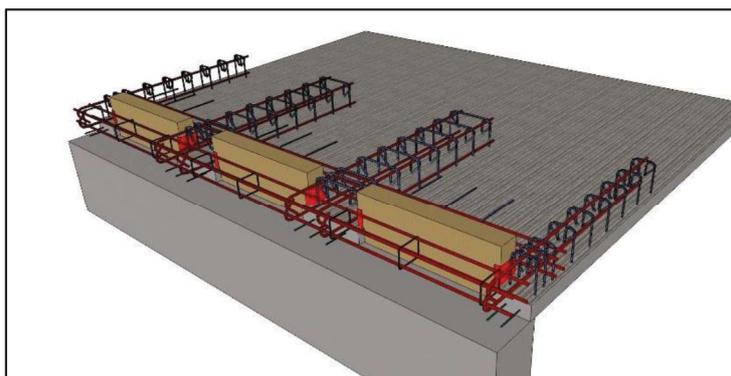
A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 3112_V1.

Fin du rapport

RUPTEURS THERMIQUES INTEGRES AUX PREDALLES DE PLANCHER.



THERM'OTEP-S



DEMANDE ATEX DE TYPE « A ».

OTEP - VERSION 1.5 - Mai 2023.

1.1. Données commerciales

1.1.1. Coordonnées

Titulaire : Société OTEP SAS
 ZI Bordebasse
 Route du circuit
 FR – SAINT GAUDENS
 Tél. : 05 62 00 86 00
 Email : otep@wanadoo.fr
 Internet : otep-sa.com

1.2. Description

Le rupteur Therm'OTEP-S est un procédé de traitement des ponts thermiques au niveau des jonctions plancher-mur périphérique, pour les bâtiments à isolation thermique par l'intérieur.

Le rupteur Therm'OTEP-S est un procédé de rupteur de ponts thermiques constitué d'une prédalle en béton précontraint munie en rive de sabots inox destinées à recevoir un bloc isolant en forme de Té. De préférence posé sur chantier, ce bloc d'isolant est d'épaisseur 8 cm et de hauteur égale à l'épaisseur du plancher (prédalle + dalles de compression). Il est positionné en continuité de l'isolation intérieure pour assurer une rupture efficace des ponts thermiques.

La liaison mécanique entre le plancher et le mur est assurée par des cages d'armatures intégrées à la fabrication, en extrémité de la prédalle. Elles sont complétées, sur chantier, par l'ajout des armatures d'ancrage et par les armatures en chapeaux. Elles sont localisées entre les blocs d'isolant, formant ainsi des nervures en béton armé de 25.5 cm de largeur et de hauteur égale à l'épaisseur du plancher. L'entraxe des nervures est généralement de 83.9 cm ; il peut être réduit en utilisant de blocs d'isolants de longueur adaptée.

1.3. Domaine d'emploi

Le rupteur de ponts thermiques Therm'OTEP-S est destiné à tous les niveaux de plancher de bâtiments collectifs, de bureaux et tertiaires, situés ou non en zones sismiques, hors IGH (Immeubles de Grande Hauteur).

Les planchers ont une épaisseur supérieure ou égale à 18 cm.

Les murs sont en béton armé (voile, prémur) ou en maçonnerie. Les appuis des prédalles peuvent aussi être des poutres. Le rupteur Therm'OTEP-S peut être posé dans le sens porteur du plancher et dans le sens non porteur.

Le dimensionnement est systématiquement assuré par la société OTEP.

Le rupteur Therm'OTEP-S est compatible avec le rupteur Therm'OTEP-L sous ATEX N° 2739_V2 du 17/10/2021.

1.4. Eléments et matériaux

1.4.1. Définition des matériaux

1.4.1.1. Armatures

Les armatures utilisées doivent répondre aux spécifications des normes correspondantes NF A 35-015, NF A35-017 et NF A 35-024.

1.4.1.2. Sabots

Les sabots de maintien de blocs d'isolant sont en acier Inox 304L.

1.4.1.3. Nature de l'Isolant

L'isolant composant le corps du rupteur est en laine de roche, sous les dénominations ROCKSOL EXPERT et ROCKACIER B NU, conformes à la NF EN 13162+A1. Ces isolants ont le marquage CE, bénéficient d'une DoP et d'un certificat ACERMI. Leur utilisation est déterminée en fonction de leur destination et des performances requises :

- Laine de roche : ROCKSOL EXPERT
 - Marque : ROCKWOOL
 - Certificat ACERMI n° 07/015/449
 - Conductivité thermique certifiée : = 0,038 W/m.K
 - Classe de résistance au feu : Euroclasse A1 (se reporter au certificat Acermi de l'isolant).
- Laine de roche : ROCKACIER B NU
 - Marque : ROCKWOOL
 - Certificat ACERMI n° 04/015/295
 - Conductivité thermique certifiée = 0,039 W/m.K
 - Classe de résistance au feu : Euroclasse A1 (se reporter au certificat Acermi de l'isolant).

1.4.2. Description des éléments

1.4.2.1. Raidisseurs

Les raidisseurs dans le sens porteur sont de deux types :

- Raidisseur central, type A : 4 HA10 minimum après calcul par le BET / 4HA12 en cas d'application de la méthode forfaitaire ;
- Raidisseur de rive, type Bg et Bd : 2x2 HA10 minimum après calcul par le BET / 2x2HA12 en cas d'application de la méthode forfaitaire ;

NB : Les nervures de rive sont de dimensions 2x12cm et situées au niveau des joints entre prédalles. Les deux parties de la nervure de rive sont reliées entre elles par des épingles de même espacement que les cadres des nervures centrales.

Les cadres des nervures sont des HA8 avec un minimum de 2 cadres dans l'épaisseur de l'isolant.

Dans le cas de la méthode forfaitaire (Voir 1.9.1.1) : Raidisseur avec 4 HA12 : 7 cadres HA8 esp = 3x5 cm / 4x12 cm.

La hauteur des raidisseurs est fonction de l'épaisseur totale du plancher.

Les raidisseurs dans le sens porteurs sont deux types notés Type A et Type B. Le Type A est un raidisseur disposé en zone courante de prédalle alors que le raidisseur Type B (Bd ou Bg) intéresse deux prédalles et est disposé en rive de prédalles au droit d'un joint.

Les détails sont donnés en Annexe I.

Les raidisseurs sont repérés selon la codification suivante : TYPEØx-L-H-E, avec :

- TYPE = A, Bg ou Bd,
- Ø = diamètre de la barre principale, en mm,
- L = longueur droite des barres principales, en cm,
- H = hauteur des cadres, en cm,
- E = espacement courant des cadres, en cm.

Par exemple : A12-L120-H15-E12 pour les raidisseurs type A de la méthode forfaitaire.

1.4.2.2. Sabots pour isolant

Les sabots d'isolant sont posés sur la piste avant bétonnage avec un gabarit spécial. Ils sont scellés au béton de la prédalle pendant le coulage du béton de la prédalle.

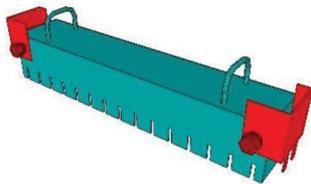


Figure 1 – Sabots sur gabarit

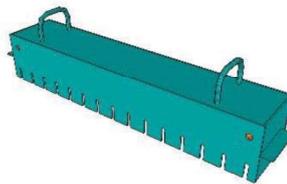


Figure 2 – Gabarit seul



Figure 3 – Sabot seul

1.4.2.3. Blocs d'isolant

Les blocs d'isolant sont découpés par OTEP ou par des ateliers agréés par OTEP. Ils sont fabriqués par des producteurs qui garantissent les tolérances dimensionnelles, la conductivité thermique, la réaction au feu et l'absorption d'eau.

Les panneaux sont ensuite découpés. La tolérance de coupe est de ± 5 mm.

Les blocs en laine de roche sont découpés aux dimensions requises puis emballés dans un film plastique étanche d'épaisseur 30 µm minimum puis identifiés.

En usine ou sur chantier, les blocs d'isolant et les élastiques, le cas échéant, doivent être stockés à l'abri des intempéries et notamment de la pluie.

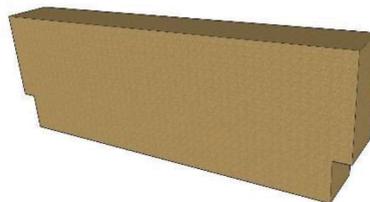


Figure 4

1.4.2.4. Prédalles

Les prédalles en béton précontraint, d'épaisseur nominale comprise entre 5 et 12 cm, sont conformes à la norme NF EN 13747, fabriquées en usine fixe, et bénéficient d'un marquage CE et d'une certification NF.

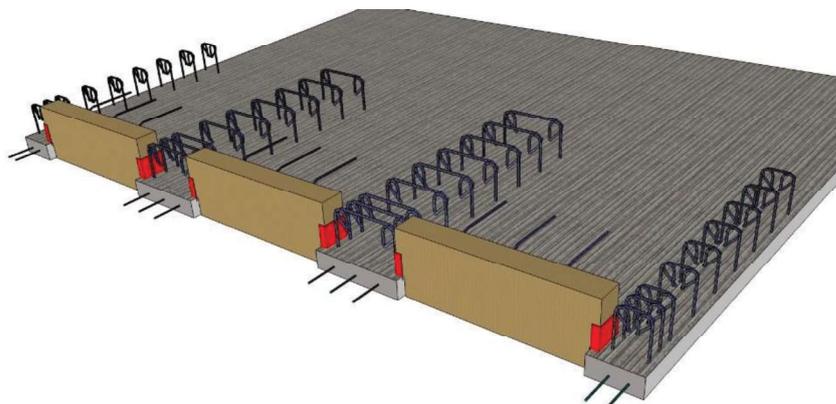


Figure 5 - Prédalle équipée de rupteurs

1.4.2.5. Béton coulé en œuvre

Béton de sable et de granulats courants ($D_{max} \leq 22.4$ mm) conforme à la norme NF EN 206/CN et de classe de résistance au moins égale à C25/30. L'utilisation des bétons autoplaçants est également possible.

1.5.Fabrication

La fabrication des prédalles et des composants du rupteur (raisseurs en acier HA), y compris la fabrication des sabots inox et la découpe des blocs d'isolant, a lieu dans des ateliers sous la responsabilité de l'OTEP. La fabrication des prédalles ainsi que la pose des sabots et des raidisseurs sont réalisées en usine, permettant à chaque poste, les opérations de nettoyage, traçage, ferrailage, bétonnage, mise en place des raidisseurs, traitement thermique, démoulage.

Les armatures de la prédalle sont généralement mises en œuvre sur les pistes de fabrication par des personnes formées et habilitées à ce type d'opération. Les armatures longitudinales sont dépassantes à l'about de prédalles entre les rupteurs thermiques « Therm'OTEP-S ».

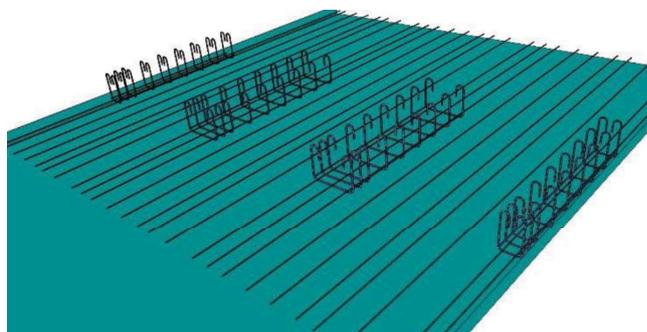
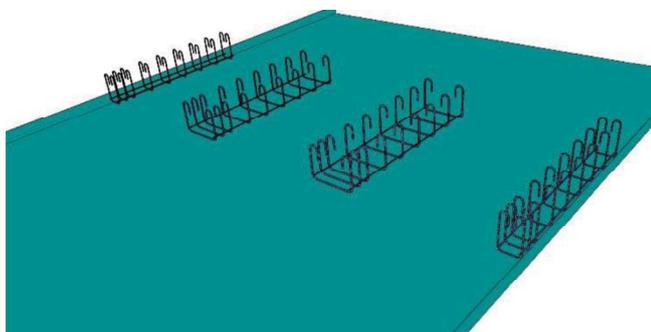
Le repérage des sabots est réalisé selon les fiches de fabrication individuelles. Lorsque l'usine est équipée d'un traceur automatique de banc, le logiciel AUTOPRED avec le module OPTIBANC procède au repérage à la peinture des raidisseurs et des blocs d'isolant. Sinon, le coffrage se fait à la main de manière traditionnelle.

Ensuite, les sabots sont posés et maintenus en place avec un gabarit spécial qui garantit leur position pendant le bétonnage. Le dispositif est conçu pour assurer la bonne mise en œuvre du béton (bétonnage + vibration) des abouts des prédalles, comme pour une prédalle traditionnelle sans cage et sans raidisseur. Le crantage des prédalles est réalisé sur la surface de la prédalle et dans l'emprise des raidisseurs, comme de manière traditionnelle.

L'identification des cages d'armatures se fait par la pose d'une étiquette accrochée à la cage avec mention du type de cage :

L'identification des éléments isolants se fait par la pose d'une étiquette sur les blocs d'isolant : RS L x h.

Dimensions courantes des blocs d'isolant : RS 584 x 200 : bloc d'isolant de Longueur 584 mm et de hauteur h = 200 mm (c.a.d. hauteur du plancher).



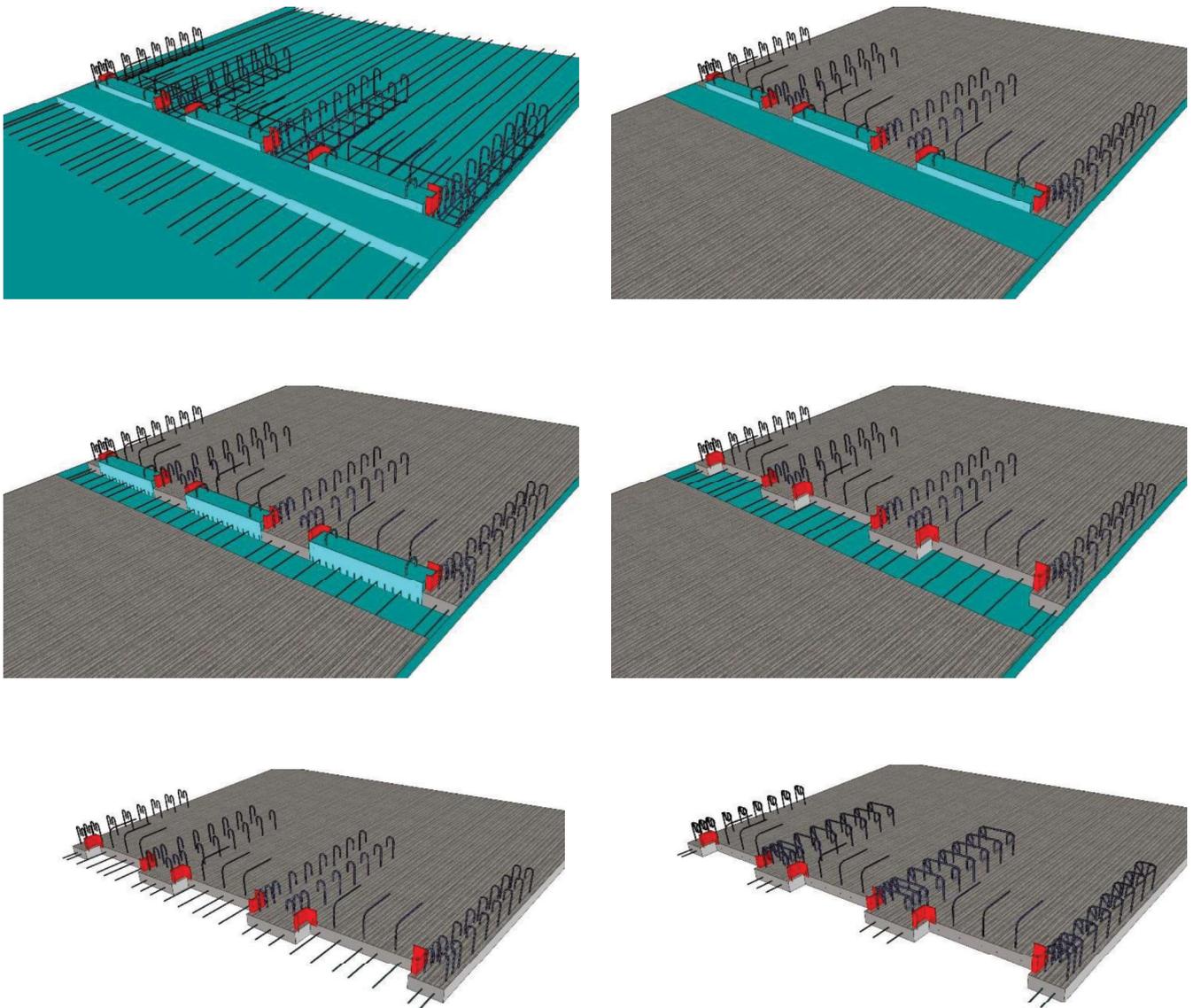


Figure 6 : Etapes de fabrication

1.6. Contrôles de fabrication

1.6.1. Contrôles sur les prédalles

Les prédalles munies de rupteurs thermiques Therm'OTEP-S sont contrôlées en usine selon leur référentiel propre. Concernant les rupteurs, un autocontrôle visuel à la mise en place des sabots est réalisé pour s'assurer du bon alignement des gabarits de calage.

Les raidisseurs sont mis en place en usine et contrôlés avant coulage de la prédalle.

Les caractéristiques exigées pour les blocs d'isolant sont contrôlées par le fabriquant bénéficiant de l'attestation de conformité.

1.6.2. Traçabilité de l'isolant

Les contrôles réalisés à chaque étape permettent d'assurer la traçabilité de l'isolant et donc de garantir ses performances sur le chantier :

- Contrôles par le producteur des panneaux :
 - Attestation de conformité pour le marquage CE.

- Contrôles par OTEP ou ateliers agréés par OTEP (découpe) :
 - Réception des panneaux : contrôle visuel des palettes, archivage des bons de livraison.
 - Découpe des panneaux : contrôle de la hauteur (1 bloc sur 100), suivi des registres (fiches de production), archivage.
 - Palettisation : conditionnement des blocs sur palettes, étiquetage de la palette (indication des dimensions, rappel des principales caractéristiques à savoir la conductivité thermique, la densité et la réaction au feu) et filmage.

1.6.3. Contrôle des sabots

Les sabots sont réalisés de manière industrielle par découpe laser et pliage automatisé. Ils sont contrôlés à raison de 1 sur 100 unités (tolérances de +/- 1 mm sur toutes les dimensions).

1.7. Mise en œuvre

La mise en œuvre de prédalles munies de rupteurs thermiques Therm'OTEP-S ne présente pas de difficultés particulières par rapport à des prédalles traditionnelles. Elle est conforme au NF DTU 23.4. Un plan de préconisation de pose des prédalles, établi par le bureau d'études OTEP permet sur chantier, l'orientation et la disposition des prédalles ainsi que de toutes les armatures complémentaires à disposer.

Dans tous les cas, le personnel technico-commercial chargé de la prescription et du suivi des chantiers, assistent les bureaux d'études et les entreprises durant les phases d'études et de mise en œuvre.

La manutention des prédalles est réalisée par élingues ou par palonnier directement par l'intermédiaire des boucles de levage, suivant les indications du plan de préconisation de pose.

Les prédalles sont posées côte à côte, jointivement sur les appuis et sur les files d'étais préalablement disposées selon les indications du plan de préconisation de pose. Les files d'étais sont placées parallèlement aux appuis à des distances variables selon la portée et l'épaisseur de béton complémentaire). **Il y a obligatoirement une lisse d'appui continu au droit des rupteurs Therm'OTEP-S – disposée à 8 cm du nu de l'appui i.e. au droit de l'intérieur de l'encoche pour assurer l'appui continu de la prédalle.**

Les appuis sur mur se font soit à bain de mortier, soit à sec sur une surface ragrée. La pose des prédalles doit respecter les valeurs minimales de repos sur appui indiquées sur les plans de préconisation de pose.

Dans le cas de plancher à prédalles ayant un appui avec rupteurs thermiques (appui libre) et un appui sans rupteurs thermiques (appui de continuité), les conditions normales d'appui sont réalisées en rive, les dispositions précédentes étant appliquées à l'appui de continuité.

Pour les murs en béton, la pénétration de l'isolant sur le chaînage ne doit pas excéder le quinzième de l'épaisseur du mur et 5 mm pour les murs en maçonnerie.

Les armatures supérieures des raidisseurs faisant office de chapeaux de rive, aucune armature complémentaire n'est à ajouter sur l'appui de rive porteuse.

Lorsque des rupteurs sont présents sur la rive non-porteuse, la pose des prédalles doit respecter les mêmes valeurs minimales de repos sur appui que dans le sens porteur.

Après la mise en place des blocs d'isolant et des armatures complémentaires (couvre-joint, chapeaux, renforts, chevêtres) et après nettoyage et humidification des prédalles, l'entreprise coule le béton complémentaire dans lequel sont éventuellement incorporés des gaines et des canalisations (par exemple tubes de chauffage, gaines électriques), en conformité avec les normes en vigueur. Ces éléments ne doivent en aucun cas être disposés dans les nervures entre les rupteurs, au niveau de l'appui de rive porteuse.

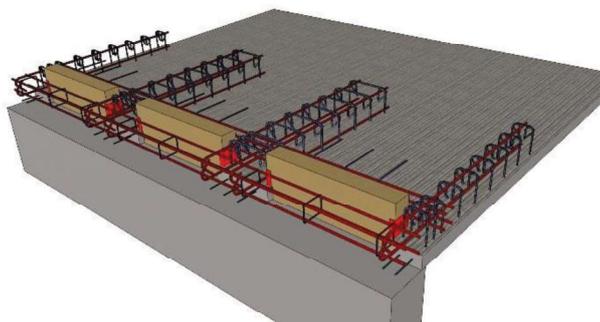


Figure 7 - Disposition courante sens porteur

La surface du béton est dressée à la taloche mécanique ou tirée à la règle.

L'enlèvement des étais se fait après obtention des résistances de béton requises.

Dans tous les cas, l'entreprise devra mettre en œuvre des U verticaux de fermeture ($\varnothing \geq 6$ mm) au niveau des raidisseurs de rive entre 2 prédalles pour liasonner les raidisseurs des Types Kd et Kg.

Les blocs d'isolant sont livrés avec les prédalles. Ils sont marqués et repérés sur le plan de préconisation de pose.

Lors du coulage du plancher, l'entreprise devra éventuellement s'assurer du maintien des blocs d'isolant grâce aux élastiques (traités anti-UV) ou aux sandows fournis avec les rupteurs thermiques.

Dans le cas où les densités d'armatures au droit des rupteurs sont fortes (ex. en zone sismique), les prescriptions concernant le diamètre maximal des granulats seront mentionnées sur le plan de préconisation de pose.

Il est interdit de traverser les nervures en béton armé avec les gaines des réseaux.

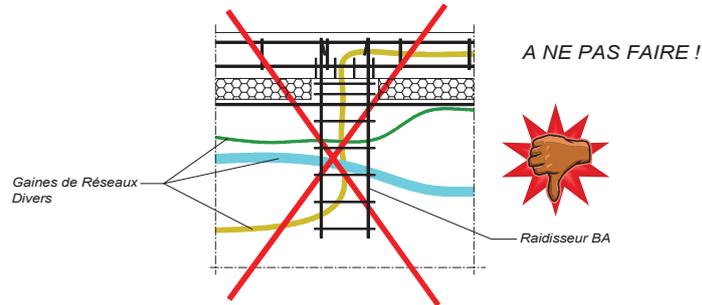
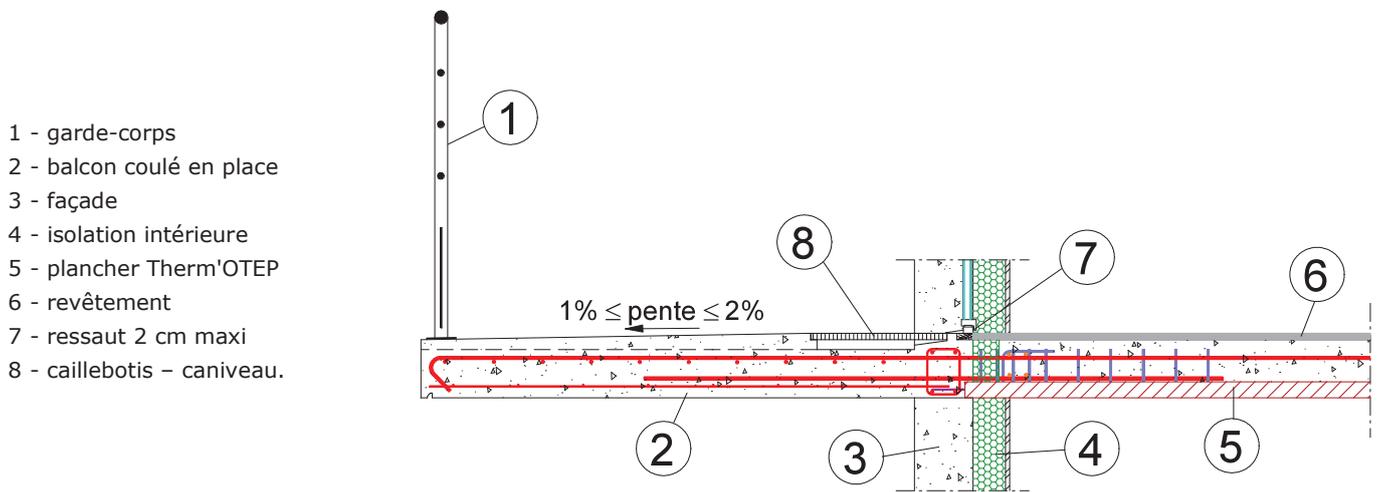


Figure 8

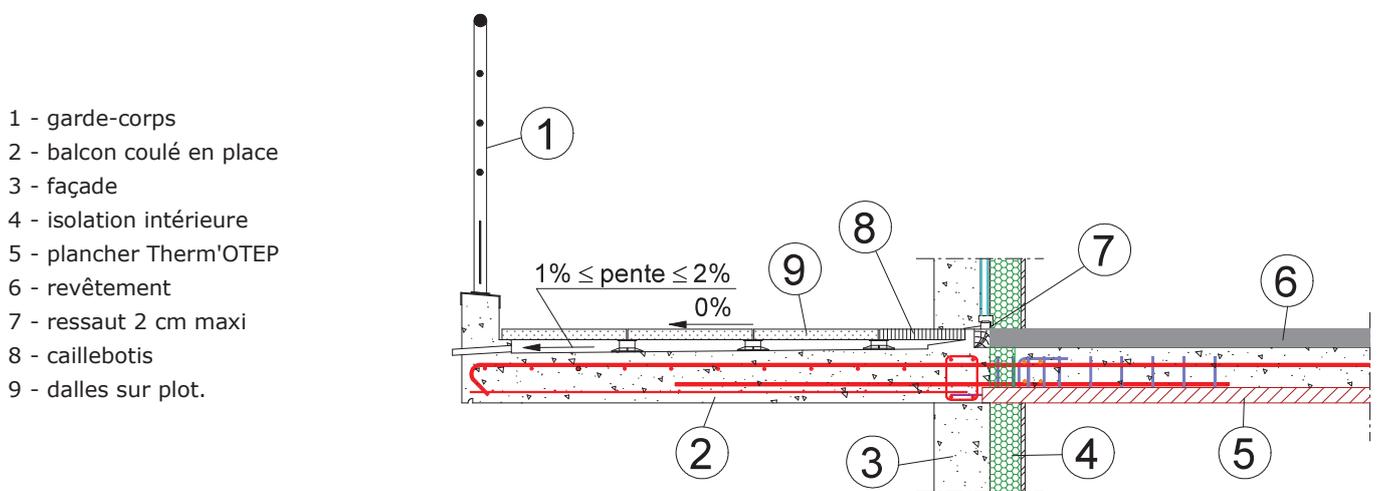
1.7.1. Prescriptions particulières dans le cas des balcons

L'utilisation de balcons est possible, selon les critères de conception définis au §1.9.20. Un système d'étanchéité liquide devra être mis en œuvre sur la face supérieure du balcon. Sans revêtement d'étanchéité, il devra être réalisé une garde d'eau selon les détails suivants :



- 1 - garde-corps
- 2 - balcon coulé en place
- 3 - façade
- 4 - isolation intérieure
- 5 - plancher Therm'OTEP
- 6 - revêtement
- 7 - ressaut 2 cm maxi
- 8 - caillebotis – caniveau.

Figure 9 - Coupe sur balcon avec garde d'eau assurée par un caniveau



- 1 - garde-corps
- 2 - balcon coulé en place
- 3 - façade
- 4 - isolation intérieure
- 5 - plancher Therm'OTEP
- 6 - revêtement
- 7 - ressaut 2 cm maxi
- 8 - caillebotis
- 9 - dalles sur plot.

Figure 10 - Balcon avec garde d'eau assurée par un ressaut coulé en œuvre

1.8.Finitions

1.8.1. Sols

Tous les types de revêtements de sol peuvent être appliqués.

1.8.2. Plafonds

La nature de la sous-face du plancher Therm’OTEP-S 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 Therm’OTEP-S.

1.8.3. Doublages

Pour les doublages collés : la mise en œuvre des doublages est réalisée conformément à la norme NF DTU 25.42 P1-1.

Pour les doublages sur ossatures : le système de doublage sur ossature est mis en œuvre conformément à la norme NF DTU 25.41 P1-1.

1.8.4. Isolation thermique

Le procédé THERM’OTEP-S 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.

En toiture-terrasse, conformément au DTU 20-12, la totalité de l’isolation doit être disposée en partie supérieure du plancher.

1.8.5. Etanchéité de toiture-terrasse

1.8.5.1. Domaine d’emploi

La mise en œuvre et le domaine d’emploi du rupteur thermique Therm’OTEP-S 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 ».

1.8.5.2. Compatibilité

Les blocs d’isolant sont constitués de laine de roche.

Compatibilité de toute la gamme de rupteurs Therm’OTEP-S à recevoir un pare-vapeur ou un revêtement d’étanchéité

Aptes à recevoir un pare-vapeur synthétique en pose libre	Oui
Apte à recevoir un pare-vapeur ou un revêtement d’étanchéité collé à froid	Oui
Apte à recevoir un pare-vapeur ou un revêtement bitumineux auto-adhésif	Oui
Apte à recevoir un pare vapeur ou un revêtement d’étanchéité bitumineux soudé à la flamme	Oui
Apte à recevoir un pare vapeur collé à l’EAC	Oui
Apte à recevoir un isolant support d’étanchéité à base de verre cellulaire collé à l’EAC.	Oui

1.8.5.3. Prescription de mise en œuvre

1.8.5.3.1. Généralité

La mise en œuvre et la composition du revêtement d’étanchéité, du pare-vapeur et de l’équerre de renfort 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.

Chaque bloc d’isolant est enveloppé d’un film plastique pour être protégé lors du coulage de la dalle de compression.

Lors de la mise en œuvre du complexe d’étanchéité, l’entreprise doit s’assurer de ne pas endommager la surface des blocs d’isolant du Therm’OTEP-S.

1.8.5.3.2. 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 bande soudée, qui est défini dans un DTA de revêtement d’étanchéité.

1.8.5.3.3. 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 6 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.

1.8.5.3.4. 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

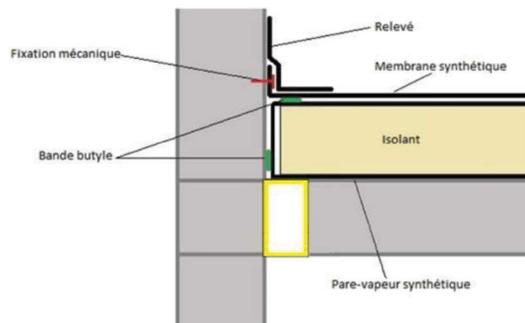


Figure 11 - Réserve avec rupteur continu posé en plancher

1.8.5.3.5. Dalles sur plots

Dans le cas de dalles sur plots, les plots de rive ne se situent pas au-dessus des rupteurs.

Lorsque la largeur du rupteur est supérieure à 50 mm, un système de porte-balle bénéficiant d'un Avis Technique est prévu de façon que les dalles ne soient pas en porte-à-faux.

1.8.5.3.6. 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.

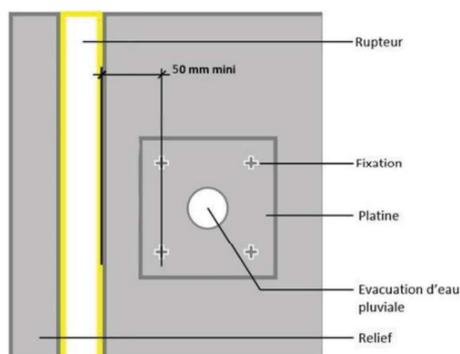


Figure 12 - Réserve avec rupteur continu posé en plancher

1.9. Conception et calcul

1.9.1. Principe du dimensionnement

Le dimensionnement des nervures est systématiquement assuré par la société OTEP.

1.9.1.1. Méthode forfaitaire

Pour un projet de bâtiment ne nécessitant pas de dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié et à condition que le bâtiment considéré présente :

- Une dimension en plan supérieure ou égale à la hauteur du bâtiment ;
- Les deux dimensions en plan inférieures ou égales à 25 m ;
- Un nombre de niveau maximum : R+5 (sans compter les éventuels niveaux inférieurs) ;
- Des surcharges permanentes $\leq 250 \text{ daN/m}^2$ et surcharges d'exploitation $\leq 400 \text{ daN/m}^2$.

Le ferrailage forfaitaire suivant est adopté pour les nervures : Raidisseur avec 4 HA12 + 7 cadres HA8 esp = 3x5 cm / 4x12 cm.

1.9.1.2. Méthode générale

Pour les situations de projet ne rentrant pas dans la configuration décrite au §1.9.1.1, une modélisation aux éléments finis sera effectuée par le BET du chantier pour le calcul des efforts dans les nervures, en modélisant ces nervures selon

prescriptions du § 2.9.3 ci-après, le dimensionnement final des nervures étant toujours fait par OTEP selon les efforts communiqués par le BET.

Une assistance relative à cette modélisation est disponible auprès d'OTEP selon le schéma de l'Annexe V.

Le dimensionnement des balcons doit être réalisé par le bureau d'études structures de l'opération et ce dimensionnement doit être supervisé par la société OTEP. Dans le cas du traitement du pont thermique plancher-balcon, le bureau d'études structures devra s'assurer que les sections d'armatures supérieures du porte-à-faux sont compatibles avec la disposition des rupteurs thermiques en rive des rupteurs Therm'OTEP-S.

Dans tous les cas, les effets du retrait et de la température sont inclus dans les vérifications (méthode simplifiée ou modélisation 3D) selon les prescriptions de la notice explicative destinées aux BET pour la prise en compte des rupteurs thermiques dans le cadre de la modélisation des ouvrages par la méthode des éléments finis (voir Annexe VI).

Il est proscrié de tenir compte de l'ancrage des armatures de la prédalle sur appui pour la vérification vis-à-vis de l'effort tranchant horizontal.

1.9.2. Règles générales

D'une manière générale, le plancher équipé de rupteurs thermiques Therm'OTEP-S est calculé conformément au NF DTU 23.4 et la norme NF P19-206.

Dans le sens porteur, au droit des nervures, les prédalles ont toujours des aciers dépassant.

L'épaisseur du plancher muni de rupteurs Therm'OTEP-S doit être supérieure ou égale à 18 cm.

Les nervures sont équipées d'armatures en aciers HA de limite élastique $f_{yk} = 500$ MPa.

Les armatures de précontrainte sont à l'intérieur des cadres.

Les boucles des raidisseurs sont ancrées dans le chaînage horizontal périphérique de l'ouvrage.

Pour les justifications par le calcul, la section résistante, en T inversé, a une largeur au niveau de la prédalle égale à la largeur de la nervure augmentée de 4 cm sous le bloc d'isolant, soit 2 cm de part et d'autre.

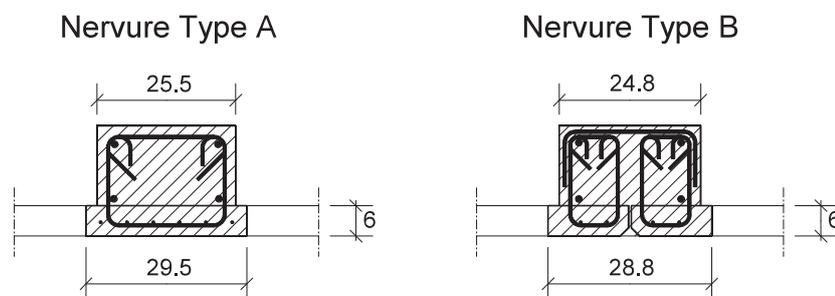


Figure 3

Les enrobages sont conformes à la norme NF EN 1992-1-1 et à son Annexe nationale. Les enrobages latéraux des cadres des raidisseurs sont au minimum de 10 mm pour toutes les classes d'exposition.

La disposition des rupteurs thermiques Therm'OTEP-S prend en compte la présence des trémies et des autres inserts (gaines, fourreaux, ...) pour respecter les directives du guide « RAGE » Règles de l'Art Grenelle de l'Environnement 2012 - Mise en Œuvre des Rupteurs de Ponts Thermiques Sous Avis Techniques.

Il est proscrié de tenir compte de l'ancrage des armatures de la prédalle sur appui pour la vérification vis-à-vis de l'effort tranchant horizontal.

1.9.3. Vérification sous sollicitations verticales

Les justifications en zone courante de plancher sont menées conformément aux §5 et au §6 de la norme NF P19-206 pour respectivement les vérifications à l'ELU et à l'ELS.

La justification de la limitation des flèches est menée conformément au §6.5 de la norme NF P19-206.

Les dispositions et justifications de l'about de la prédalle ne comportant pas de bloc d'isolant sont celles définies par la norme NF P19-206 pour ce qui concerne les vérifications d'ancrage, de résistances à l'effort tranchant et à la flexion sous moment négatif éventuel.

La vérification du monolithisme est réalisée conformément au §5.3.2 de la NF P19-206).

1.9.4. Vérification à la flexion au droit de la nervure

La vérification du moment de flexion de la dalle entre la jonction avec la nervure et la partie courante de la dalle doit être réalisée à l'ELU en un moment décalé à une distance de $0,9 * HT$ avec un entraxe des nervures correspondantes.

1.9.4.1. Vérification de la capacité résistante de la nervure sous moment positif

Pour cette vérification, la section résistante du béton est représentée par une section en T inversé avec prise en compte de la section suivante :

- Largeur participante de la table de compression = largeur de la nervure augmentée selon une pente de 2/3 depuis la nervure ;
- Largeur participante de la partie tendue = largeur de la nervure augmentée de 2×2 cm de part et d'autre.
- Armatures tendues constituées par :
 - Armatures principales des nervures ;
 - Armatures longitudinales de la prédalle situées à l'intérieur de la section résistante et convenablement ancrées.

1.9.4.2. Vérification des armatures supérieures des raidisseurs d'armatures sous moment négatif.

Les armatures supérieures des raidisseurs sont dimensionnées selon l'article 9.2.1.2 de la NF EN 1992-1-1 pour reprendre un moment fléchissant résultant d'un encastrement partiel capable d'équilibrer au moins 15% du moment fléchissant maximal en travée en prenant en compte une largeur de table de compression égale à l'entraxe entre deux nervures.

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

Les justifications vis-à-vis de l'effort tranchant sous les sollicitations verticales sont réalisées selon la norme NF EN 1992-1-1 6.2.2 et son Annexe nationale.

La justification peut être réalisée selon un modèle bielle-tirant avec des bielles d'inclinaison variable (angle θ tel que $1 \leq \cotan \theta \leq 2,5$). A l'extrémité de cette zone, la capacité résistante est évaluée à partir des formules 6.2.a et 6.2.b de la norme NF EN 1992-1-1, article 6.2.2, en prenant en compte la section béton telle que définie au § 1.9.2ci-dessus.

Dans le sens non porteur, en l'absence d'étude particulière, l'effort tranchant vertical est pris égal à la moitié de l'effort tranchant vertical déterminé dans le sens porteur.

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

Cette justification s'effectue conformément à l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale. La liaison entre la prédalle et le béton complémentaire dans la nervure est assurée par les brins verticaux des cadres des raidisseurs d'armature en HA8 espacés tous les 50 mm.

La section résistante pour cette vérification est définie au §1.9.2 ci-dessus.

1.9.7. Vérification de la bielle d'about

Cette vérification s'effectue conformément au § 6.5.4 (4) b. de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale « nœud soumis à compression et à traction avec tirant ancré dans une direction ».

Le début de la bielle de compression se situe à l'aplomb du nu intérieur de l'appui pour tout type de support en déduisant, lorsqu'applicable, d'éventuel retrait type chanfrein d'éléments préfabriqués verticaux.

1.9.8. Vérification de l'ancrage des armatures sur appui

Sens porteur :

Dans le sens porteur, les armatures longitudinales dans la prédalle sont toujours dépassantes au droit des nervures. Pour cette vérification et avec la concomitance des efforts §1.9.11 ci-après, l'équilibre de la bielle d'about est assuré par les armatures principales des raidisseurs et par les armatures dépassantes des prédalles sur une largeur égale à largeur nervure + 2 * 2 cm.

L'ancrage de ces armatures est vérifié selon l'article 8.4 « Ancrage des armatures longitudinales » de la norme NF EN 1992-1-1 avec prise en compte du confinement par compression transversale et l'étude CERIB 245.E "Ancrage des armatures de précontrainte dépassantes sur appui ».

Sans non porteur :

Dans le sens non porteur, il n'y a généralement pas d'armatures dépassant latéralement de la prédalle. Pour cette vérification et avec concomitance des efforts du §1.9.11 ci-après, l'équilibre de la bielle d'about est assuré par les seules armatures principales des raidisseurs.

L'ancrage de ces armatures est vérifié selon l'article 8.4 « Ancrage des armatures longitudinales » de la norme NF EN 1992-1-1 avec prise en compte du confinement par compression transversale.

1.9.9. Longueur des armatures inférieures et supérieures des raidisseurs

La longueur totale droite des armatures des raidisseurs est fixe et égale à 65 Ø en considérant une pénétration forfaitaire dans le chaînage de 15 cm.

1.9.10. Vérification sous sollicitations horizontales

L'OTEP a réalisé dans le laboratoire du CSTB des essais alternés de cisaillement et de traction. Ces essais ont permis d'établir :

- La loi élasto-plastique de comportement de la nervure,
- La raideur de la nervure en cisaillement,
- La raideur de la nervure en traction.
- La capacité de la nervure sous les sollicitations horizontales est déterminée par l'interprétation des résultats des essais.

La nervure est sollicitée par un effort normal, un effort horizontal de cisaillement et un effort vertical. Ces efforts sont comparés à la capacité résistante à l'ELS, à l'ELU et, le cas échéant, à l'ELA.

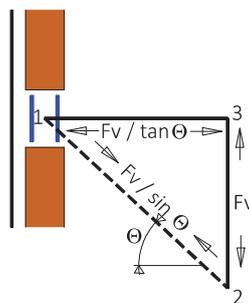


Figure 4 : Schéma d'équilibre des efforts

Avec :

- Barre 1-2 : Transfert des efforts par une bielle de compression ;
- Barre 1-3 : Transfert des efforts de traction par les armatures principales du raidisseur ;
- Barre 2-3 : Transfert des efforts de traction par les armatures du renfort disposées au-dessus de la prédalle au voisinage du rupteur Therm'OTEP-S.

L'équilibre du nœud est étudié selon la figure 6.27 de la norme NF EN 1992-1-1, §6.5.4.

Lorsque cela est nécessaire, le bureau d'études structure du chantier détermine les efforts dans la nervure dans les 3 directions principales. La liaison entre les voiles et les planchers doit être matérialisée à l'aide des éléments filaires de type barre en prenant dans le cas courant :

- Raideur en cisaillement : $K_v = 1140 \text{ kN/mm}$;
- Raideur en traction : $K_N = 790 \text{ kN/mm}$,

La modélisation de la structure voile-plancher, réalisée à l'aide d'éléments finis surfaciques de type coque, ne doit pas avoir un maillage supérieur à 200 x 200 mm au voisinage des nervures du rupteur Therm'OTEP-S. Le maillage courant ne doit pas dépasser 1000 x 1000 mm. Une assistance relative à cette modélisation est disponible auprès d'OTEP. Une notice de modélisation destinées aux BET est indiquée en Annexe V.

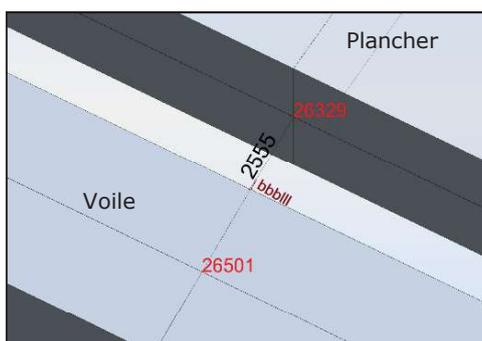


Figure 15 - Exemple de modélisation de la nervure béton

Les résultats de calculs dans la structure modélisée avec ces principes permettent de déterminer la disposition et le ferrailage des nervures.

1.9.11. Prise en compte de la concomitance des efforts tranchants verticaux et horizontaux

1.9.11.1. Principe de vérification

Pour assurer le fonctionnement du plancher en diaphragme ainsi que la liaison tirant buton avec la façade, le dimensionnement des nervures doit prendre en compte la concomitance des efforts tranchants verticaux et horizontaux.

Selon le schéma d'équilibre décrit de la Figure 4, avec les efforts sollicitants suivants :

- N_{Ed} : l'effort normal par nervure,
- $V_{Ed,V}$: l'effort de cisaillement vertical par nervure ,
- $V_{Ed,H}$: l'effort de cisaillement horizontal par nervure.

Les efforts dans ces nervures, obtenus pour les 3 directions principales, peuvent être répartis :

- Pour l'effort normal N_{Ed} : sur 5 nervures adjacentes ;
- Pour l'effort de cisaillement horizontal $V_{Ed,H}$: l'ensemble des liaisons d'un élément unitaire de mur sans dépasser la moitié de la longueur de la façade.

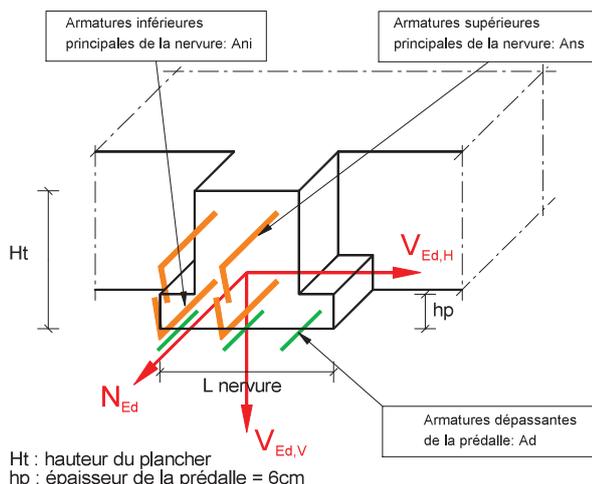


Figure 5 : Section résistante en Té inversé de la nervure type A

1.9.11.2. Capacité résistante en traction (composante traction) – barre 1-3

Les armatures du raidisseur, représentées par la barre 1-3 de la Figure 4, doivent pouvoir acheminer des efforts de traction suivants :

- $F_{t,adm}$, une composante inclinée de la force de cisaillement horizontale, équilibrée par une partie de la section efficace des armatures dépassant sur appui A_e ;
- $V_{Ed,V}$;
- N_{Ed} .

L'effort total F_t dans la barre 1-3 est $\rightarrow F_t = F_{t,adm} + V_{Ed,V} + \alpha * N_{Ed}$

Soit : $\rightarrow F_{t,adm} = F_t - V_{Ed,V} - \alpha * N_{Ed}$

Avec coefficient $\alpha = 1$ car raidisseurs positionnés à l'usine dans prédalles certifiées NF.

Section efficace A_e , nécessaire pour équilibrer l'effort $F_{t,adm}$: $A_e = A_{ns} + A_{ni} - V_{Ed,V} / f_{yd} - \alpha * N_{Ed} / f_{yd}$

Avec

- A_{ni} et A_{ns} section d'armatures principales du raidisseur, respectivement inférieures et supérieures.
- f_{yd} pris égal à :
 - A l'ELS : $2/3 * f_{yk}$
 - A l'ELU et ELA : f_{yk}/γ_s ($\gamma_s = 1,1$ à l'ELU – $1,0$ à l'ELA)
 - o A l'ELU, selon la norme NF EN 1992 – 1 – 1 § 2.4.2 4 et son Annexe nationale, la valeur de γ_s est prise égale à $1,1$ par absence d'importance de tolérance de position des armatures dans le calcul des nervures.

Capacité portante de la nervure à la traction : $F_{t,adm,ELU} = f_{yd} * A_e * \tan(\theta)$.

La justification peut être réalisée dans un modèle bielle-tirant, considérant des bielles d'inclinaison variable d'un θ compris entre 65 à $21,8^\circ$.

Les armatures inférieures du raidisseur A_{ni} avec en plus les armatures dépassantes de la prédalle (voir §1.9.8 ci-avant) doivent équilibrer la bielle d'about sous l'action de $V_{Ed,V}$.

1.9.11.3. Capacité résistante en compression (composante compression) – barre 1-2

La valeur de la capacité résistance en compression de la barre 1-2 est donnée selon les combinaisons ELS, ELU et ELA par les formules suivantes :

Formule ELS : $F_{c,adm,ELS} = 0,6 * f_{ck} * h * a_b * k_2 * v' * \eta \sin(\theta)$

Formules ELU et ELA : $F_{c,adm,ELU} = f_{ck}/\gamma_c * h * a_b * k_2 * v' * \eta \sin(\theta)$

Avec :

- γ_c : Coefficient partiel relatif au béton selon la norme NF EN 1992-1-1 § 2.4.2.4 - Situation de projet durable ou transitoire :
 - $\gamma_c = 1,5$ pour le béton in situ,
 - $\gamma_c = 0,9 * 1,5 = 1,35$ pour le béton de la prédalle certifiée NF,
 - $\gamma_c = 1,2$ pour les situations accidentelles
- h = hauteur de la nervure (= épaisseur du plancher).
- $k_2 = 0,85$
- $v' = 1 - f_{ck}/250$
- $\eta = 1,375$ avec considération du confinement du béton par des armatures transversales.

- θ = angle compris entre 65° et $21,8^\circ$ (égal à l'angle θ du § précédent).
- a_b = largeur de la bielle de compression avec $e = 80$ mm
 - Dans le béton de la prédalle : $b_1 \cdot \cos(\theta) - e \cdot \sin(\theta)$; $b_1 = 295$ mm
 - Dans le béton coulé in situ : $b_2 \cdot \cos(\theta) - e \cdot \sin(\theta)$; $b_2 = 255$ mm

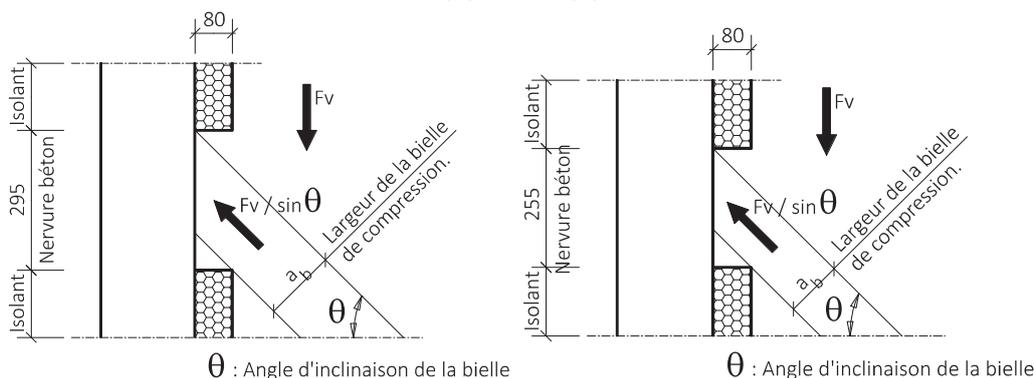


Figure 6

1.9.11.4. Critère d'acceptabilité

La nervure est correctement dimensionnée lorsque, dans les trois états ELS, ELU et ELA :

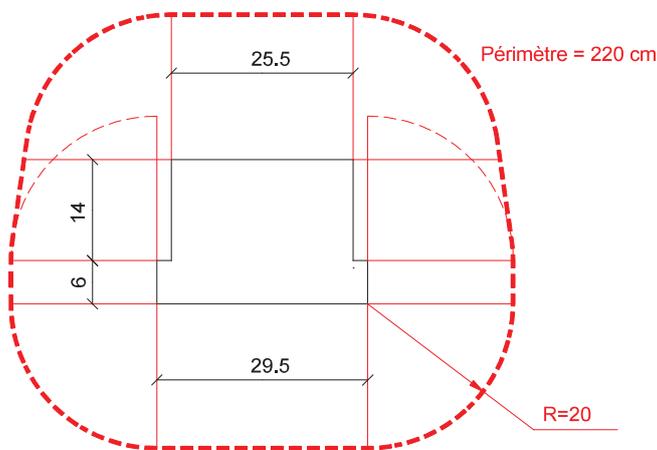
$$V_{Ed,H} \leq F_{c,adm}$$

$$V_{Ed,H} \leq F_{t,adm}$$

1.9.12. Vérification des voiles au poinçonnement (axe tirant-buton)

Le poinçonnement des voiles suivant l'axe tirant-buton est vérifié selon la norme NF EN 1992-1-1 § 6.4 avec une largeur participante de la prédalle prise à 29.5 cm.

Cette hypothèse est justifiée par la présence des armatures dépassantes ainsi que la présence des armatures des cages des blocs d'isolant.



Voile de 20cm - 1 nappe d'armatures à 10cm

Figure 7 - Exemple de contour de contrôle de référence pour la nervure de type A selon NF EN 1992-1-1 § 6.4

1.9.13. Dispositions des armatures pour les chainages horizontaux

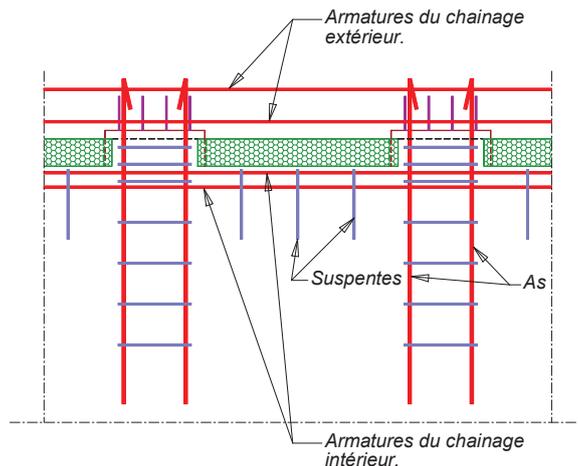


Figure 8

Les sections d'armatures minimales à respecter sont les suivantes :

- Armatures minimales du chaînage extérieur selon les règlements en vigueur :
 - Zones sismiques 1 et 2 : 1.2 cm² soit 3 HA8 ou 2HA10 ;
 - Zones sismiques 3 et 4 : 3.0 cm² soit 4 HA10.
- Armatures minimales du chaînage intérieur aux rupteurs :
 - Cas où les armatures dans les nervures sont 4 HA10 ou 4 HA12 -> 4HA10 filants et ancrés au-delà de la dernière nervure ;
 - Cas où les armatures dans les nervures sont 4HA14 ou plus : As/2 soit 4HA10.

1.9.14. Sécurité incendie

Il y a toujours un matériau classé A1 sous les rupteurs thermiques Therm'OTEP-S (béton de prédalle d'épaisseur 50 mm minimum). La méthode de calcul au feu est celle définie dans les règles NF EN 1992-1-2.

Le procédé Therm'OTEP-S fait l'objet de l'appréciation de laboratoire N°AL21-302 V1 établie par le CSTB qui émet les conclusions suivantes :

Les rupteurs Therm'OTEP-S mis en œuvre sur un plancher d'épaisseur minimale 180 mm et de portée maximale de 4.2 m, composé d'une prédalle précontrainte d'épaisseur minimale 60 mm et d'une dalle de compression d'épaisseur minimale 120 mm, avec des nervures présentant un ferrailage minimal tel que décrit dans l'Annexe III (situation non sismique), présentent un classement de résistance au feu REI120 pour toutes les catégories d'habitations inclus dans le domaine d'application visé.

- Les rupteurs Therm'OTEP-S mis en place sur un plancher isolé d'épaisseur minimale 200 mm et de portée maximale de 6.5 m, composé d'une prédalle précontrainte d'épaisseur minimale 60 mm et d'une dalle de compression d'épaisseur minimale 140 mm, avec des nervures présentant un ferrailage minimal tel que décrit dans l'Annexe III (situation non sismique), présentent un classement de résistance au feu REI120 pour les habitations de catégorie A et B et REI90 pour les habitations de catégorie C .

- Les rupteurs Therm'OTEP-S mis en place sur un plancher continu d'épaisseur minimale 200 mm et de portée maximale de 5.7 m, composé d'une prédalle précontrainte d'épaisseur minimale 60 mm et d'une dalle de compression d'épaisseur minimale 140 mm, avec des nervures présentant un ferrailage minimal tel que décrit dans l'Annexe III (situation non sismique), présentent un classement de résistance au feu REI90 pour toutes les catégories d'habitations inclus dans le domaine d'application visé.

- Les rupteurs Therm'OTEP-S mis en place sur un plancher continu d'épaisseur minimale 200 mm et de portée maximale de 7.1 m, composé d'une prédalle précontrainte d'épaisseur minimale 60 mm et d'une dalle de compression d'épaisseur minimale 140 mm, avec des nervures présentant un ferrailage minimal tel que décrit dans l'Annexe III (situation non sismique), présentent un classement de résistance au feu REI60 pour toutes les catégories d'habitations inclus dans le domaine d'application visé.

Ce classement de résistance au feu n'est valable qu'à condition que la résistance des murs d'appui et du plancher soit garantie.

Dans la limite d'une durée de tenue au feu de 120min, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification de la résistance au feu d'un plancher équipé des rupteurs de ponts thermiques Therm'OTEP-S sont applicables. Cette vérification doit être effectuée en fonction des cas de chargement du projet selon les règles de calcul usuelles, et en se basant sur les valeurs utiles des champs de température dans les appuis, présentées dans l'AL21-302 V1.

1.9.15. Parasismique

Les dispositions de l'article 12 de la norme NF P19-206 sont applicables dans leur intégralité au droit des nervures.

Le long des lignes de rupteurs Therm'OTEP-S, la fonction diaphragme est assurée par le plancher par l'intermédiaire des nervures béton liaisonnées aux chaînages de rive.

Les efforts verticaux du plancher sont transmis aux appuis par effort tranchant, qui se concentre au droit des nervures en béton armé, entre les rupteurs.

Les efforts horizontaux sismiques du plancher sont transmis aux appuis non porteurs par les nervures.

Le bureau d'études structure détermine les efforts N_{Ed} , $V_{Ed,V}$, et $V_{Ed,H}$ dans les nervures en béton. Ces efforts sont comparés aux efforts admissibles par les nervures à l'ELA.

1.9.16. Vérification de robustesse

Situation sismique : un coefficient majorateur de robustesse $\gamma_{rd} = 1,50$ est pris en compte pour ces efforts sismiques pour les actions accidentelles dans le dimensionnement des nervures.

Dans tous les cas, ce coefficient de robustesse matérialise le fait qu'en cas de « faiblesse » d'une nervure, les deux nervures adjacentes résistent aux efforts sollicitants.

1.9.17. Effets du retrait différentiel et de la température

Les efforts dus au retrait différentiel entre la dalle et les façades ainsi que les effets de la dilatation / gradient thermique de la façade entre été / hiver et jour / nuit sont repris par les nervures. Ces efforts horizontaux sont considérés comme concomitants avec les efforts verticaux.

Les hypothèses des calculs sont mentionnées dans l'Annexe VII « Note Explicative destinée aux BET pour la prise en compte des rupteurs thermiques dans la modélisation des ouvrages par la méthode des éléments finis ». Les combinaisons des efforts étudiées sont celles prévues dans la norme NF EN 1990 et son Annexe Nationale.

Le bureau d'études structure détermine les efforts N_{Ed} , $V_{Ed,V}$, et $V_{Ed,H}$ dans les nervures en béton. Ces efforts sont comparés aux efforts admissibles par les nervures à l'ELS et à l'ELU.

Dans le cas de bâtiments avec façades et pignons en maçonnerie, aucune disposition particulière n'est à prévoir dans le cadre de ce chapitre.

1.9.18. Vérification du contreventement des ouvrages

Les efforts dus au vent sont transmis aux éléments de contreventement de l'ouvrage par l'intermédiaire des nervures en béton.

Les combinaisons des efforts étudiées sont celles prévues dans la norme NF EN 1990 et son Annexe nationale.

Le bureau d'études structure détermine les efforts N_{Ed} , $V_{Ed,V}$, et $V_{Ed,H}$ dans les nervures en béton. Ces efforts sont comparés aux efforts admissibles par les nervures à l'ELU.

1.9.19. Vérification des effets ponctuels

Les effets ponctuels locaux (vent exceptionnel, tornade, ...) doivent être pris en compte dans le dimensionnement des nervures.

Les combinaisons des efforts étudiées sont celles prévues dans la norme NF EN 1990 et son Annexe nationale.

Dans le cas d'un vent exceptionnel, un effort local horizontal de 600 daN/m² sera appliqué sur les façades pour exercer un effort de compression sur les nervures. Le bureau d'études structure détermine les efforts N_{Ed} , $V_{Ed,V}$, et $V_{Ed,H}$ dans les nervures en béton. Ces efforts sont comparés aux efforts admissibles par les nervures à l'ELA.

Les autres cas d'efforts ponctuels doivent être traités au cas par cas et pris en compte dans la combinaison d'action applicable.

1.9.20. Balcons

Il est préférable de ne pas disposer de rupteurs au droit des balcons, mais de privilégier une liaison traditionnelle dalle/façade.

Toutefois, la réalisation des balcons en vis-à-vis des rupteurs thermiques Therm'OTEP-S est possible par la disposition d'armatures supérieures au droit des nervures, armatures correctement ancrées de part et d'autre de ces nervures.

Les balcons ainsi réalisés peuvent être traditionnels coulés en place ou préfabriqués en usine.

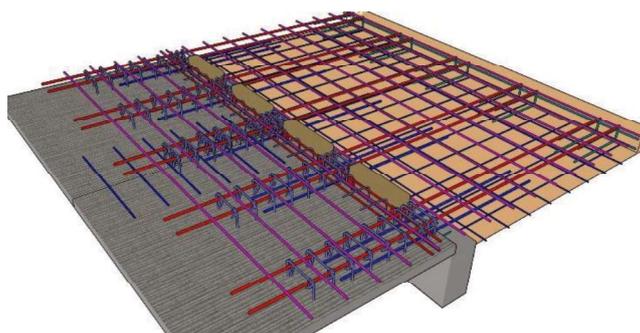


Figure 20

1.9.20.1. Dimensionnement dans le cas de rupteurs thermiques positionnés au droit des balcons

Il est préférable de ne pas disposer de rupteurs au droit des balcons, mais de privilégier une liaison traditionnelle dalle/façade. Si l'utilisation de rupteurs thermiques au droit des balcons ne peut être évitée :

- La déformation des balcons doit être vérifiée en prenant en compte la présence de rupteurs. En effet, la déformation des balcons est supérieure en présence de rupteurs thermiques par rapport à une liaison traditionnelle continue car ceux-ci viennent assouplir la liaison dalle/façade.
- L'ouverture des fissures w_k doit être limitée à 0,2 mm.
- Le dimensionnement des nervures doit être réalisé en prenant en compte le moment de flexion dû à la présence du balcon. Pour ce faire, le dimensionnement des nervures sera effectué en deux étapes découplées : vérification sous efforts tranchants vertical et horizontal par le modèle bielle-tirant décrit au §1.9.11 d'une part et vérification de la nervure sous flexion composée avec traction d'autre part.

1.9.20.2. Cas des balcons préfabriqués

L'utilisation des balcons préfabriqués est possible conjointement des rupteurs thermiques, le principe de dimensionnement restant identique à celui des autres balcons.

Dans tous les cas, la mise en œuvre devra être définie lors de la préparation du chantier afin de déterminer l'espace d'appui et le repos minimal, ce repos ne pouvant pas être inférieur à 20 mm, comme indiqué sur la Figure . Lorsque l'état de surface de l'appui est surfacé au sens de la norme NF DTU 21, la pose du balcon est réalisée à sec.

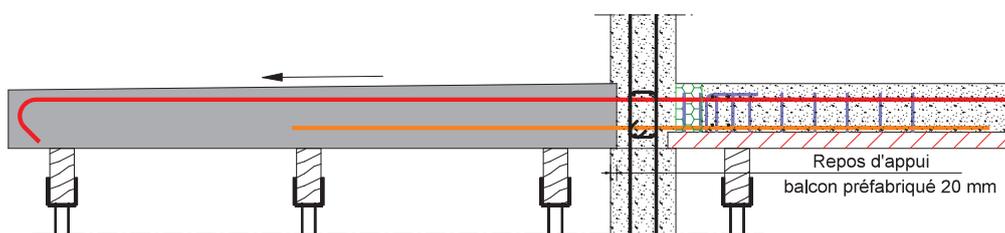


Figure 21

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

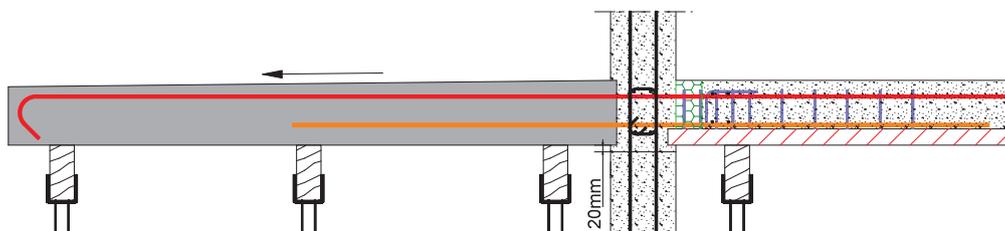


Figure 22

La conception du balcon reste à la charge du BET structure du chantier. OTEP fournira l'implantation des armatures en attente du balcon préfabriqué en tenant compte principalement du passage des armatures longitudinales de contrebalancement dans les armatures propres des nervures de rupteurs thermiques. Cette solution nécessite la prise en compte de tolérances d'exécution réduites d'extrémité pour assurer la mise en place des armatures longitudinales dans le volume des nervures, compte tenu de jeux de pose. Ces dispositions doivent être convenues, lors de la conception, avec le fournisseur du balcon.

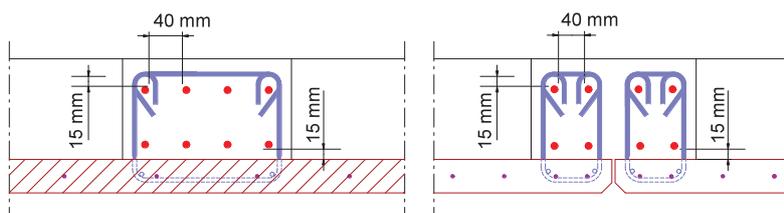


Figure 23

NOTA : Compte-tenu de la difficulté de ce mode de réalisation et de la limitation de la section d'armatures dans les nervures en béton, il est possible que la performance des balcons soit réduite par rapport à la solution coulée en place.

1.9.21. Répartition des rôles des intervenantes lors des différentes étapes de la conception

La conception est réalisée sous la responsabilité d'OTEP :

- Etape 1 : L'usine est consultée par une entreprise et contacte OTEP (transmission à OTEP par l'usine des plans de coffrage projet du BET et de l'étude thermique).
- Etape 2 : OTEP :
 - Vérifie la faisabilité du projet.
 - Vérifie le coefficient thermique linéique ψ global.
 - Fait une pré-implantation des rupteurs.
- OTEP transmet à l'usine : Le plan coffrage avec pré-implantation des rupteurs + estimation du ψ .
- Etape 3 : Sur la base de ces informations, l'usine propose un devis à l'entreprise.
- Etape 4 : S'il y a commande, l'usine transmet à OTEP la commande définitive ainsi que les plans de coffrage définitifs (Ces plans de coffrages donnent le calepinage prévu des prédalles, et donc le positionnement des nervures).
- Etape 5 :
 - Cas 1 : Si la méthode forfaitaire est applicable, OTEP assure la conception définitive (y compris dimension et positionnement des rupteurs). OTEP retourne à l'usine le plan d'exécution du plancher et les plans de fabrication des prédalles.
 - Cas 2 : S'il s'agit d'un bâtiment nécessitant une modélisation 3D, OTEP envoie au BET un plan projet avec disposition supposée des nervures.
 - Le BET réalise une modélisation 3D du bâtiment, en prenant en compte la présence des rupteurs THERMOTEP.
 - Le BET vérifie qu'aucune nervure n'est sollicitée plus que sa capacité résistante. En cas de dépassement des capacités résistantes, le BET renvoie l'information à OTEP pour nouveau positionnement des nervures, sinon, le BET transforme le plan projet avec disposition supposée des nervures en plan d'exécution.

Une fois que le BET a vérifié cela, il envoie à OTEP le tableau des efforts.

OTEP vérifie le non-dépassement des capacités résistantes et réalise le plan de fabrication des prédalles

A noter : Seul OTEP a la main sur le calcul du coefficient thermique linéique ψ et sur le positionnement des nervures.

1.9.22. 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 Therm'OTEP-S ont aussi été réalisées in situ par le 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, un plus au niveau des isolements globaux.

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).

1.10. Résultats expérimentaux

1.10.1. Feu

- Etude de vérification de la résistance au feu des planchers équipés de rupteurs thermiques Therm'OTEP. CSTB Rapport d'essais n° RS16-050 du 29 novembre 2016.
- Appréciation de laboratoire du CSTB pour l'Avis Technique ou Document Technique d'Application (DTA) sur le procédé Therm'OTEP n° AL16-178 V2 du 25/05/2021.
- Annexe à l'appréciation de laboratoire du CSTB pour l'Avis Technique ou Document Technique d'Application (DTA) sur le procédé Therm'OTEP n° AL16-178 V1 du 27/03/2017.
- Etude de vérification de la résistance au feu des planchers équipés de rupteurs thermiques Therm'OTEP et Therm'OTEP-L. CSTB Rapport d'essais n° RS18-049 du 06 décembre 2018.
- Appréciation de laboratoire du CSTB pour l'Avis Technique ou Document Technique d'Application (DTA) sur le procédé Therm'OTEP-L n° AL18-227 V2 du 25/11/2022.
- Appréciation de laboratoire du CSTB pour l'Avis Technique ou Document Technique d'Application (DTA) sur le procédé Therm'OTEP-S n° AL21-302 V1 du 15/02/2023.

1.10.2. Mécanique

- Rapport d'essais N° EEM 20-00057-1 du 13/01/2021. Caractérisation des propriétés mécaniques en traction et en cisaillement du rupteur thermique Therm'OTEP-S.
- Rapport d'essais N° EEM 21-07864 du 08/03/2022. Caractérisation des propriétés mécaniques en traction du rupteur thermique Therm'OTEP-S.

1.10.3. Acoustique

- A faire suite à obtention ATEX sur premiers chantiers.

1.10.4. Thermique

- Etude CSTB 20-008-v3 « Calcul des valeurs de coefficients de pont thermique pour les rupteurs Therm'OTEP-1 et Therm'OTEP-L Version 3 » du 09 juin 2022.

1.11. Références

1.11.1. Données Environnementales¹

Le procédé Therm'OTEP-S ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les produits (ou procédés) visés sont susceptibles d'être intégrés.

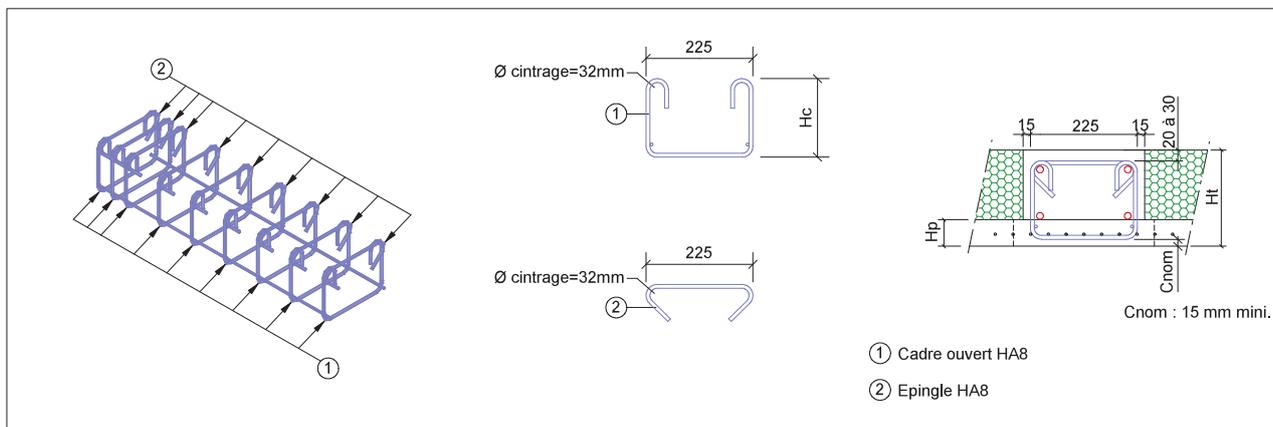
¹ Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet Avis.

Annexe I

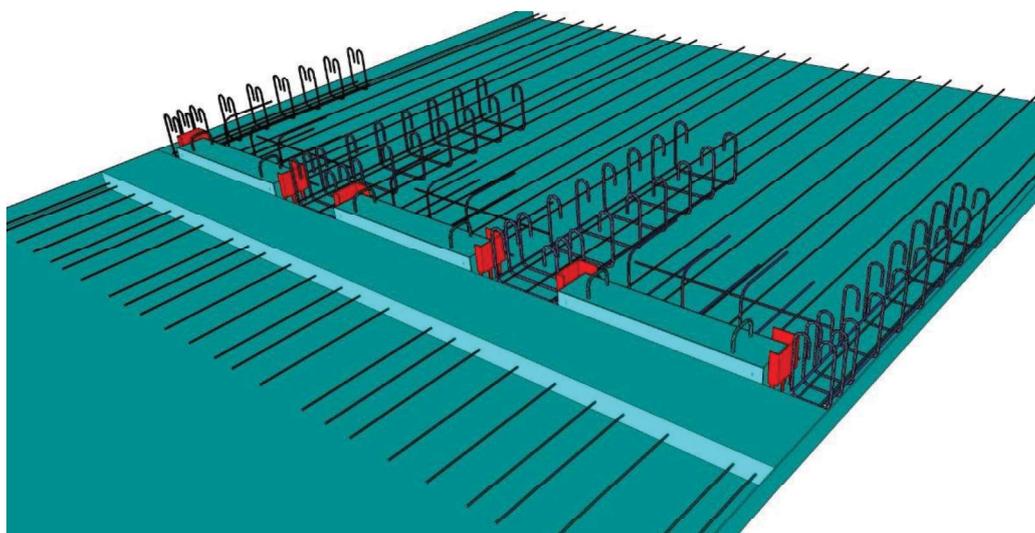
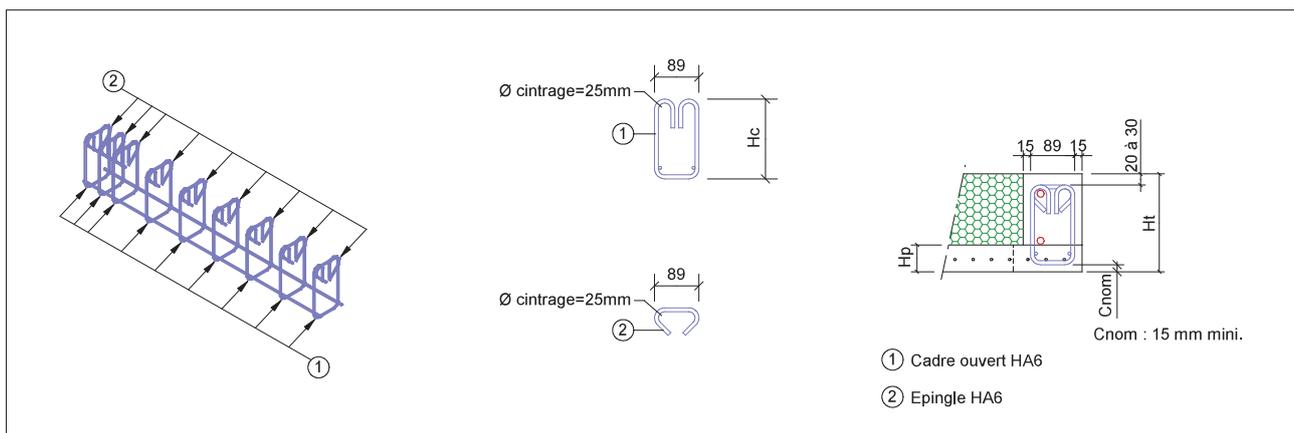
Description des éléments du rupteur Therm'OTEP-S

1. RAIDISSEURS

Raidisseur Type A :

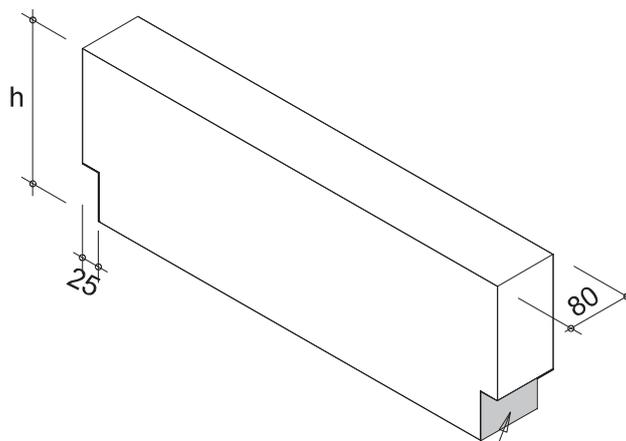


Raidisseur Type B :



Cadres pour raidisseurs maintenus sur les armatures de précontrainte.

2. BLOC ISOLANT

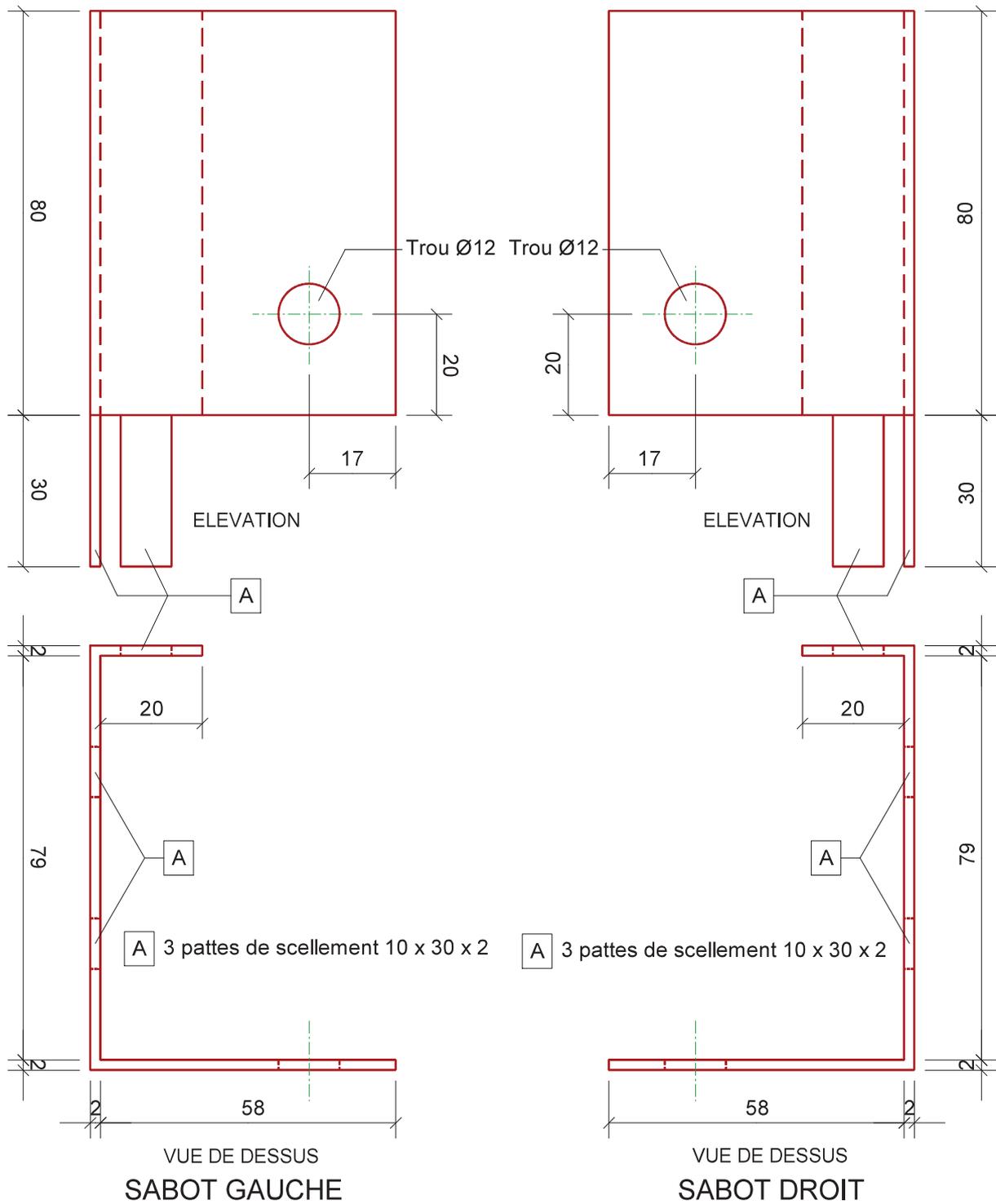


Equerre Inox Ep = 1 mm
Nuance Inox : AISI 304

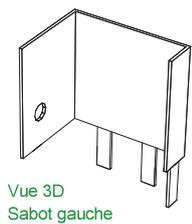


RUPTEURS TRANSVERSAUX THERM'OTEP-S	
<p>RS 584 x h</p> <p><i>Réserve pré-dalle : 544 x 105</i></p>	<p>Ep = 80 mm</p>
<p>RS 438 x h</p> <p><i>Réserve pré-dalle : 398 x 105</i></p>	<p>Ep = 80 mm</p>
<p>RS 292 x h</p> <p><i>Réserve pré-dalle : 252 x 105</i></p>	<p>Ep = 80 mm</p>
<p>RS 219 x h</p> <p><i>Réserve pré-dalle : 179 x 105</i></p>	<p>Ep = 80 mm</p>

3. SABOT



— Tôle d'acier inox 304L
ép=2mm.

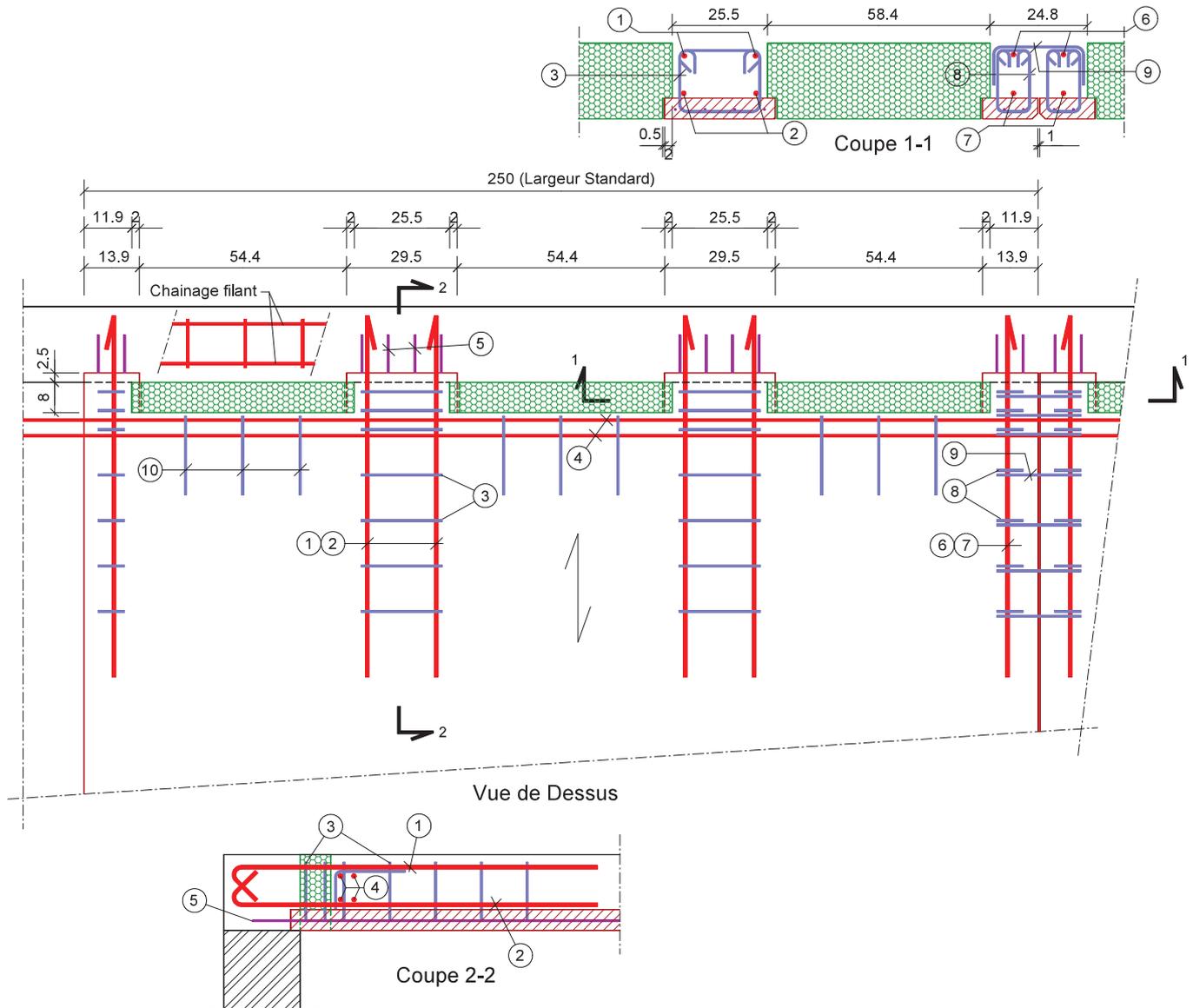


Vue 3D
Sabot gauche

Annexe II

Principe de ferrailage du procédé Therm'OTEP-S.

Exemples de ferrillages compatibles pour des murs en maçonnerie en zone non sismique et sur des voiles béton armé. Seules les armatures spécifiques au procédé sont représentées sur les schémas suivants



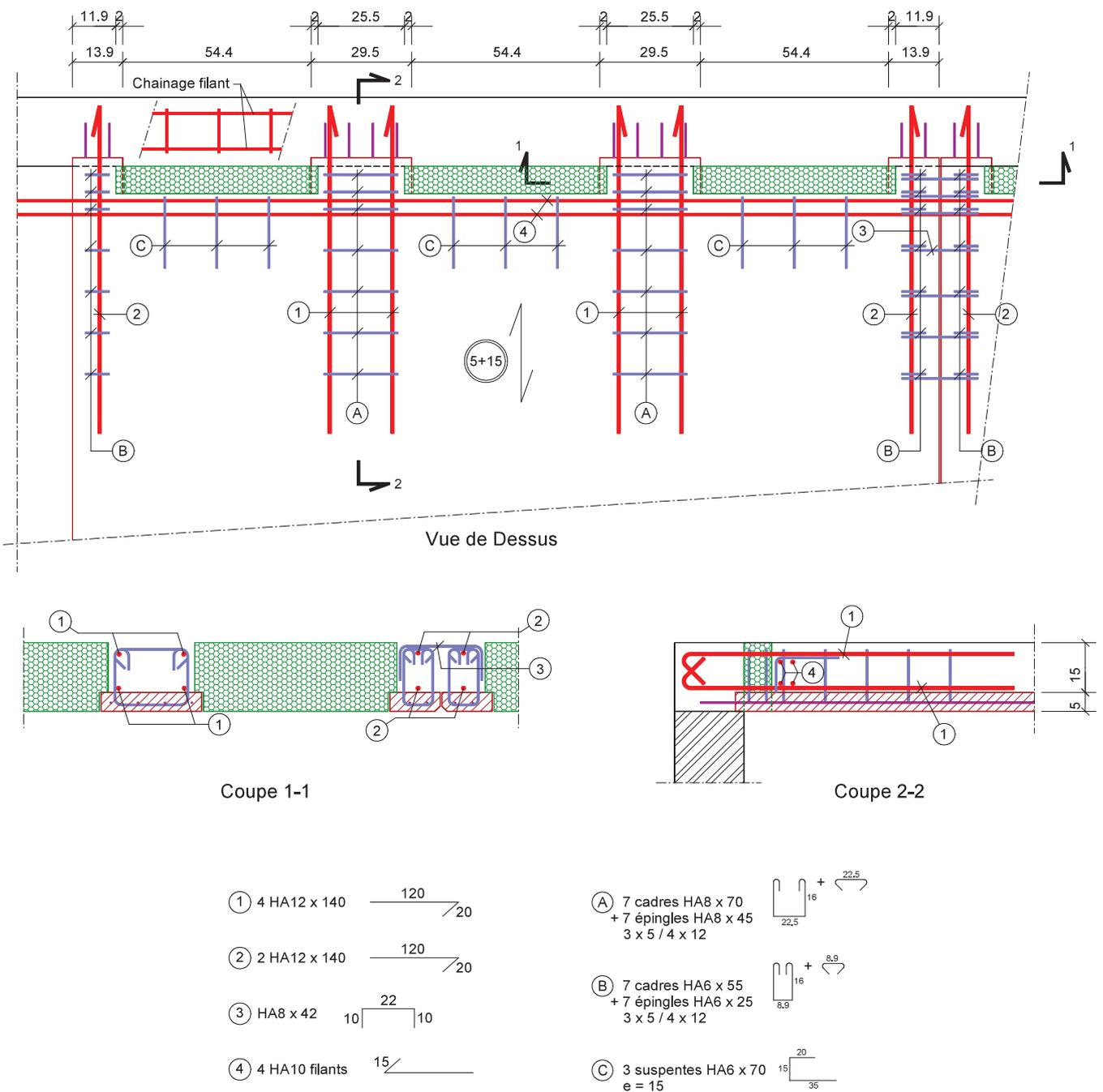
- ① Armatures en chapeaux du raidisseur
- ② Armatures d'ancrage du raidisseur
- ③ Cadres du raidisseur
- ④ Armatures filantes de renfort
- ⑤ Armatures de précontrainte
- ⑥ Armatures en chapeaux du raidisseur de rive
- ⑦ Armatures d'ancrage du raidisseur de rive
- ⑧ Cadres du raidisseur de rive
- ⑨ Epingle de liaison
- ⑩ Suspentes dans prédalle

Annexe III

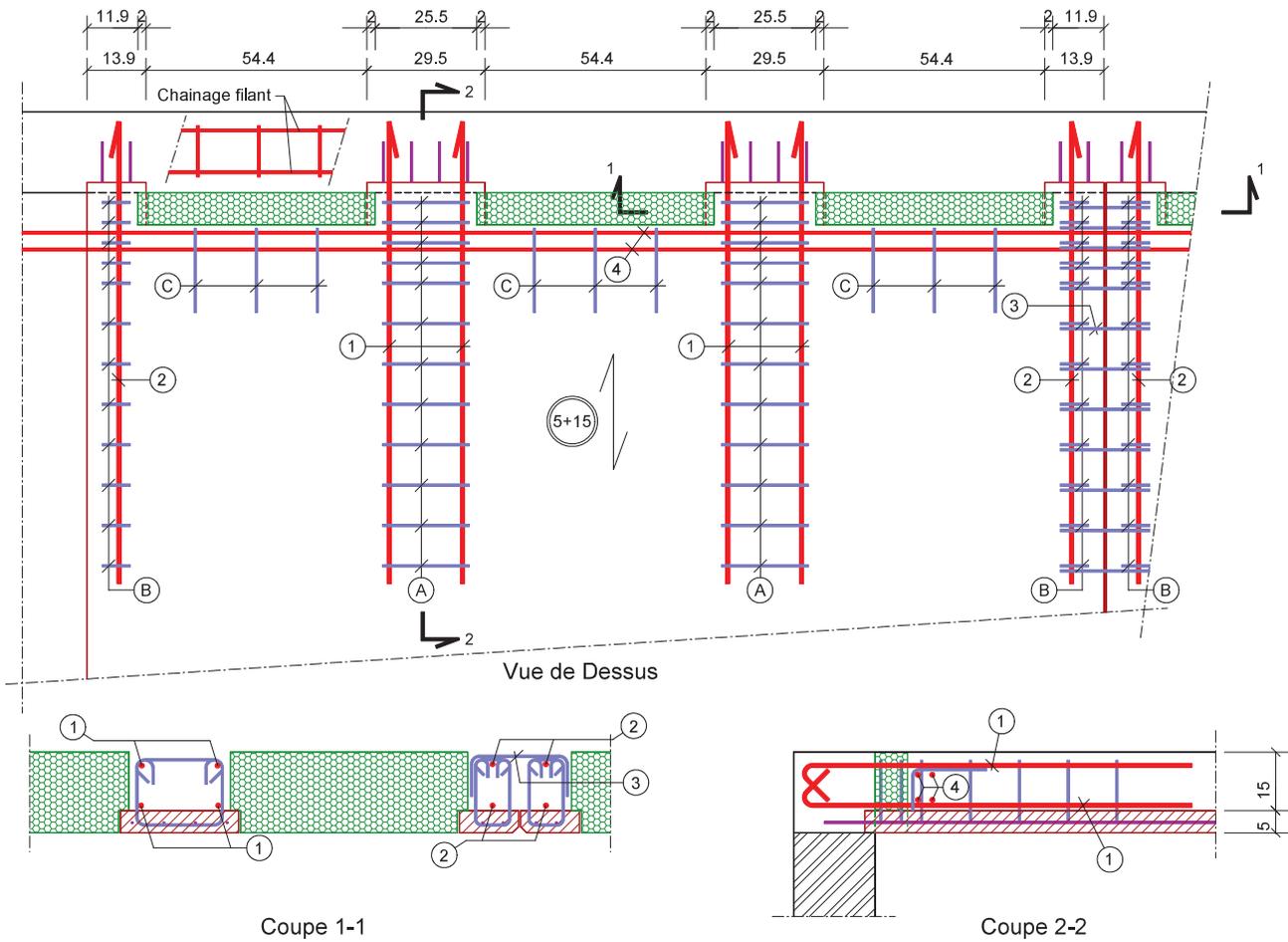
Exemple de ferrailage du procédé Therm'OTEP-S

Exemples de ferrillages compatibles pour des murs en maçonnerie et sur des voiles béton armé. Seules les armatures spécifiques au procédé sont représentées sur les schémas suivants :

En situation non sismique :



En situation sismique :



Coupe 1-1

Coupe 2-2

- ① 4 HA14 x 150 $\frac{130}{20}$
- ② 2 HA14 x 150 $\frac{130}{20}$
- ③ HA8 x 42 $\frac{10}{22} \frac{10}{10}$
- ④ 4 HA10 filants $\frac{15}{}$

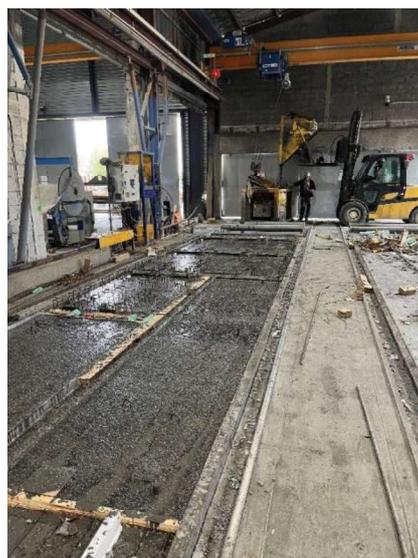
- Ⓐ 12 cadres HA8 x 70 + 12 épingles HA8 x 45 $\frac{16}{22,5} \frac{22,5}{}$
5 x 5 / 7 x 10
- Ⓑ 12 cadres HA6 x 55 + 12 épingles HA6 x 25 $\frac{16}{8,9} \frac{8,9}{}$
5 x 5 / 7 x 10
- Ⓒ 3 suspentes HA6 x 70 $\frac{20}{15} \frac{35}{}$
e = 15

Annexe IV

Photos pour essais du procédé Therm'OTEP-S. Configuration la plus défavorable.

(Cadres sur armatures - Sans suspentes entre les nervures)

En pratique, les cadres sont ouverts, les armatures de précontrainte sont dans les cadres et des suspentes sont rajoutées entre les nervures, selon dossier technique.



Annexe V

Etiquettes de marquage des rupteurs Therm'OTEP-S.



Annexe VI

GESTION PROJET RUPTEUR THERMIQUE

PHASE 1 : AVANT-PROJET

CONSULTATION ENTREPRISE → USINE LICENCIEE.

EXAMEN TECHNIQUE DU DOSSIER PAR OTEP :

- Prédiposition des lignes de rupteurs en évitant les points singuliers;
- Vérification de la faisabilité du projet (balcons, biais, ...) et en particulier des conditions d'application préconisations Avis Technique;
- Vérification respect du Psi global;
- Remise plan avec proposition de disposition des lignes de rupteurs;
- Conditions d'intervention d'OTEP (technique et financières).

DEVIS ENTREPRISE → USINE LICENCIEE.

COMMANDE : ENTREPRISE → USINE LICENCIEE → OTEP.

PHASE 2 : EXECUTION

BATIMENT ne nécessitant pas de modélisation 3D

USINE : Etude du plancher (logiciel AUTOPRED) avec matérialisation des rupteurs par des lignes (reprise pré-étude d'OTEP).

Transmission du dossier à OTEP : fichier AUTOPRED et plans BET chantier.

OTEP : étude structure (nervures) et thermique (Psi).

Transmission dossier exécution à USINE : disposition et ferrailage des nervures, des calcul Psi, ...

BATIMENT nécessitant une modélisation 3D

OTEP : prédiposition des nervures sur plans coffrage du BET chantier, avec prise en compte du Psi.

Allers et retours jusqu'à respect efforts nervures.

BET chantier : modélisation bâtiment selon guide OTEP – transmission efforts H et V à OTEP.
(Modélisation réalisable par OTEP).

Transmission position des nervures.

USINE : Etude du plancher (logiciel AUTOPRED) avec matérialisation des rupteurs par des lignes (reprise pré-étude d'OTEP).

Transmission du dossier à OTEP : fichier AUTOPRED et plans BET chantier avec position nervures.

OTEP : étude structure (nervures) et thermique (Psi).

Transmission dossier exécution à USINE : disposition et ferrailage des nervures, calcul Psi, ...

Annexe VI

1. AVANT-PROPOS.

La présente notice s'adresse aux Bureaux d'Etudes Techniques (techniciens, projeteurs et ingénieurs) lorsqu'une modélisation des bâtiments, équipés de rupteurs thermiques de la gamme Therm'OTEP, est nécessaire pour la détermination des efforts : efforts verticaux et efforts horizontaux (contreventement, sismiques, dilatation, gradient thermique, ...).

Les performances thermiques sont indiquées dans les documents technico-commerciaux.

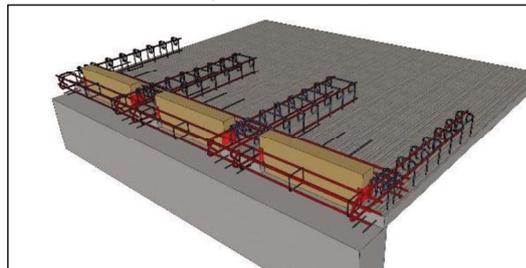
2. PRESENTATION.

Therm'OTEP est un procédé de rupteurs thermiques intégrés aux prédalles en béton armé ou en béton précontraint :

- **Therm'OTEP-S → sens porteur et sens non porteur.**

Ce rupteur est un rupteur total : pénétration de la prédalle dans l'élément porteur uniquement au droit des nervures. Il est constitué de :

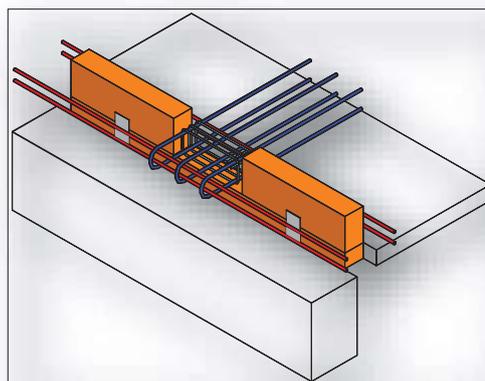
- Nervures en béton armé de largeur 25 cm et de hauteur égale à la hauteur de la dalle de compression - entraxe courant 84 cm ;
- Un isolant thermique entre les nervures :
 - 2 sabots de maintien en acier Inox,
 - Un bloc d'isolant enveloppé en forme de T, disposé à l'usine ou sur chantier, posé entre les sabots et maintenu par des élastiques pendant la phase de bétonnage de la dalle de compression.



- **Therm'OTEP-L → sens non porteur exclusivement.**

Ce rupteur est un rupteur total : l'isolant existe sur toute l'épaisseur du plancher. Il est constitué par :

- Des nervures en béton armé de largeur 30 cm et de hauteur égale à la hauteur de la dalle de compression - entraxe courant 120 cm ;
- Des sabots disposés sur la tranche de la prédalle,
- Un bloc d'isolant en forme de U.



Pour les deux systèmes, la résistance mécanique est basée sur la présence des nervures résistantes en béton armé.

Les entraxes des nervures peuvent être inférieurs aux valeurs courantes données ci-avant pour assurer la résistance mécanique de l'ouvrage en général (points singuliers) ou d'autres ouvrages adjacents (balcons par exemple).

La présente notice s'adresse aux BET : elle a pour objet de définir les conditions de prise en compte de ces nervures dans le cadre de la modélisation du bâtiment tout entier par la méthode des éléments finis.

∴ La présentation qui suit est basée sur des captures d'écran avec le logiciel ROBOT Version PRO 2013. Les autres logiciels de modélisation aux éléments finis peuvent être utilisés en rentrant les mêmes hypothèses.

3. GENERALITES SUR LES EFFORTS HORIZONTAUX.

Les effets de la température et du retrait différentiel (entre dalle et façades) génèrent des efforts plutôt dans les angles des bâtiments en raison de la déformation gênée des éléments de façades et pignons de l'ouvrage.

Les efforts sismiques et les efforts de contreventement génèrent eux des efforts longitudinaux plutôt répartis le long des éléments porteurs intérieurs et extérieurs avec concentration autour des noyaux de contreventement des bâtiments et sur la partie courante des éléments porteurs verticaux.

Ces deux types de sollicitations ont des valeurs maximales qui n'arrivent pas aux mêmes emplacements des ouvrages, ce qui est favorable au dimensionnement des rupteurs.



 Zone de sollicitation maximale vis à vis du contreventement et de l'action sismique

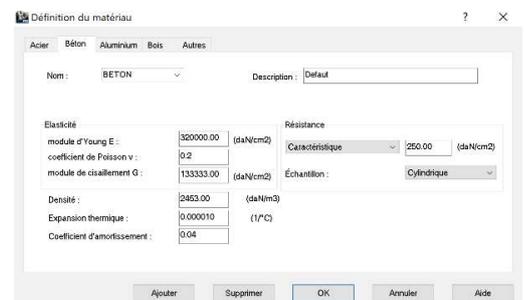
 Zone de sollicitation maximale vis à vis de la dilatation des façades

4. MATERIAUX - HYPOTHESES DE CALCUL.

Matériau « Béton » :

Le béton est uniforme pour tous les voiles et tous les planchers (supposés monolithiques).

Les caractéristiques prises en compte dans les calculs sont celles indiquées dans la fenêtre de droite :



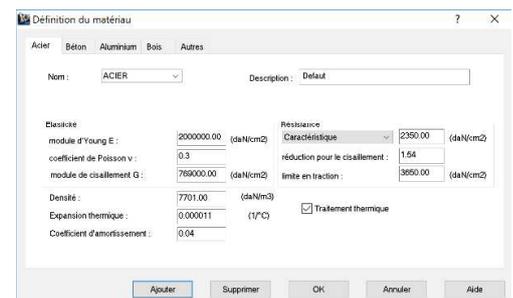
Pour tenir compte de la différence de rigidité entre les voiles et les planchers le module de déformation instantané E_i est pris égale à :

- 16000 MPa pour les voiles
- 32000 MPa pour les plancher.

Matériau « Acier » :

Le matériau « acier » est utilisé pour la modélisation des nervures des rupteurs thermiques de la gamme Therm'OTEP (voir plus loin dans cette notice).

Les caractéristiques prises en compte dans les calculs sont celles indiquées dans la fenêtre de droite :



Les hypothèses de charges prises en compte dans les calculs sont les suivantes :

Gradient de température en période ETE (G-ETE) → l'extérieur du bâtiment (voile) est plus chaud que l'intérieur (dalle et refends) :

- +18 °C de régime permanent associé à un module d'élasticité E_v différé (dilatation).
- +6° C de régime instantané associé à un module d'élasticité E_i instantané (gradient thermique).

Gradient de température en période HIVER (G-HIVER) → l'extérieur du bâtiment (voile) est plus froid que l'intérieur (dalle et refends) :

- -24 °C de régime permanent associé à un module d'élasticité E_v différé (dilatation).
- -6° C de régime instantané associé à un module d'élasticité E_i instantané (gradient thermique).

Retrait différentiel des planchers par rapport aux façades et pignons (RETRAIT) : la valeur prise en compte de ce retrait différentiel dans les calculs est celle des recommandations des règles professionnelles dans le cas de climat tempéré à savoir 1.10^{-4} . Compte tenu des hypothèses pouvant être introduites dans le logiciel ROBOT et du module d'expansion thermique du béton armé, ce retrait est simulé dans ce logiciel par une variation de température de -10 °C, associé à un module d'élasticité E_v différé.

Sollicitations sismiques (SIS) :

Sollicitations habituelles selon zone et état du sol.

Un coefficient de robustesse $\gamma_{rd} = 1,50$ sera pris en compte pour ces efforts sismiques pour les actions accidentelles dans le dimensionnement des nervures.

∴ Ce coefficient de robustesse matérialise le fait qu'en cas de « faiblesse » d'une nervure, les deux nervures adjacentes résistent aux efforts sollicitants.

Sollicitations de contreventement (VENT) :

Prise en compte d'une pression localisée isotrope (agissant dans toutes les directions : compression / traction) de 600 daN/m² (explosion, tornade ou autre), ce qui correspond à une vitesse de vent maximale de 350 km/h (tornade, ouragan, ...).

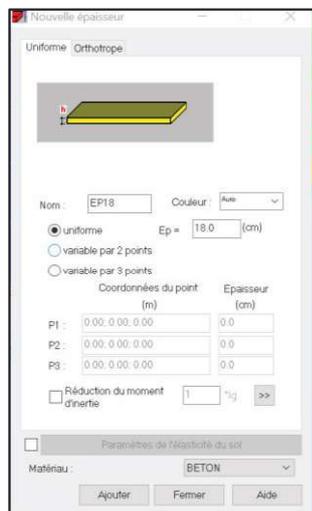
Autres charges verticales :

- Poids propre de la structure (PP) → éléments verticaux et éléments horizontaux selon densité des matériaux.
- Surcharges permanentes (SF) → selon normes et cahier des charges usuels.
- Surcharges d'exploitation (SL) → selon normes et cahier des charges usuels.
- Autres charges particulières → selon normes et cahier des charges usuels.

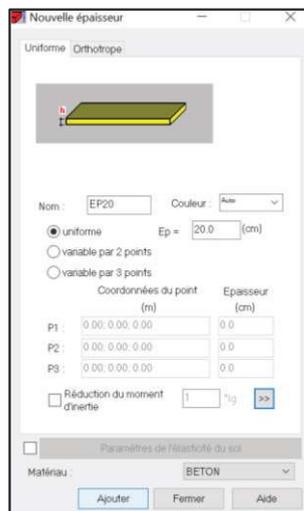
5. MODELISATION DES ELEMENTS EN BETON : PLANCHERS / VOILES & NERVURES CALCUL.

5.1. Modélisation des voiles et planchers :

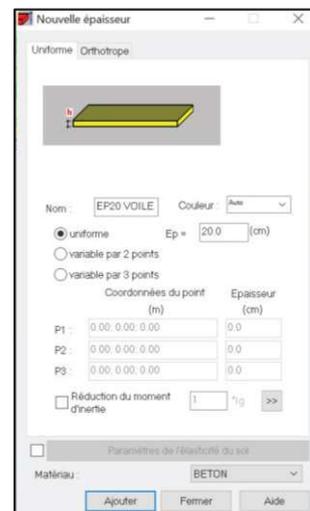
Dans la modélisation, les planchers, voiles intérieurs et façades sont modélisés avec des éléments surfaciques de type « plaque » avec les caractéristiques suivantes :



Modélisation façades
(ici : béton épaisseur 18 cm)



Modélisation planchers
(ici : béton épaisseur 20 cm)



Modélisation Voiles intérieurs
(ici : béton épaisseur 20 cm)

Géométriquement, les planchers sont :

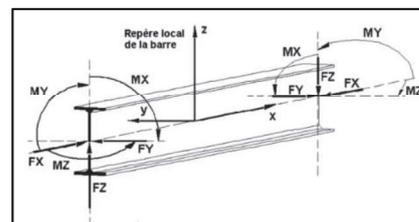
- Décalés à l'intérieur des façades d'une valeur égale à épaisseur façade / 2 + largeur rupteur (8 cm), et
- Reliés aux façades par des éléments filaires de type « barre » matérialisant les nervures béton, avec les caractéristiques données ci-après.

5.2. Modélisation des nervures :

Les nervures en béton sont des éléments de type « barres » :

- Encastrées dans le plancher, avec point d'encastrement au nu du plancher,
- Articulées côté façade, avec point d'articulation au nu de la façade.

Les efforts et caractéristiques mécaniques de ces éléments « barres » sont donnés par rapport au repère local de chaque barre, comme indiqué sur la figure ci-contre.



Loi effort / déplacement en traction :

$$N = k_N \times D_N$$

- o Avec :
 - N = effort de traction,
 - k_N = raideur en traction,
 - D_N = déplacement sous l'effet de l'effort N.
- o Dans le modèle RDM, $k_N = A_s \times E_s / L$
 - A_s = section d'aciers dans la nervure,
 - E_s = module d'élasticité de l'acier considéré,
 - L = longueur de l'élément considéré.

- Dans le modèle mécanique aux éléments finis, cette raideur « k_N » conduit à représenter l'élément « barre » par sa section d'aciers HA contenue dans les nervures.

Loi effort / déplacement en cisaillement :

$$T = k_V \times D_V$$

- Avec
 - T = effort de cisaillement,
 - k_V = raideur en cisaillement, valeur numérique donnée par essais de la nervure considérée (largeur 25 cm ou 30 cm),
 - D_V = déplacement sous l'effet de l'effort T ;
- Formule RDM (poutre encastree - longueur L - inertie I - matériaux E_s) :

$$T = (3.E_s.I / L^3) \times D_V$$

D'où par similitude des 2 formules : $k_V = 3.E.I/L^3$ et donc $I_{\text{équivalent}} = K_V.L^3/(3.E_s)$.

5.3. Valeurs numériques :

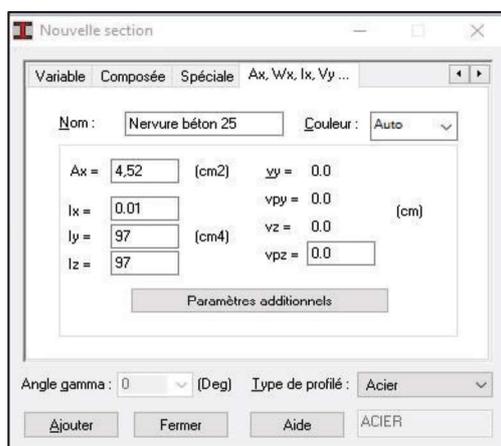
En pratique, les valeurs numériques suivantes sont à prendre en compte dans les caractéristiques des barres du modèle numérique de l'ouvrage tout entier :

- Section d'aciers = section d'aciers HA disposés réellement dans les nervures. Matériaux acier pris en compte selon prescription du paragraphe « 3 » ci-avant.
- Caractéristiques mécaniques des nervures de 25 cm (Therm'OTEP-S) :
 - Direction X (repère local) : 4 HA12.
 - Directions Y et Z (repère local) : $K_V = 1140$ kN/mm,
 - Ce qui conduit aux valeurs suivantes pour la modélisation :
 - $I_x = 0.01$ cm⁴ (petite valeur non nulle pour ne pas « planter » le calcul),
 - $I_y = 97$ cm⁴,
 - $I_z = 97$ cm⁴.
- Caractéristiques mécaniques nervures de 30 cm (Therm'OTEP-L) :
 - Direction X (repère local) : sections armatures principales seules.
 - Directions Y et Z (repère local) : $K_V = 1220$ kN/mm,
 - Ce qui conduit aux valeurs suivantes pour la modélisation :
 - $I_x = 0.01$ cm⁴ (petite valeur non nulle pour ne pas « planter » le calcul),
 - $I_y = 104$ cm⁴,
 - $I_z = 104$ cm⁴ ;

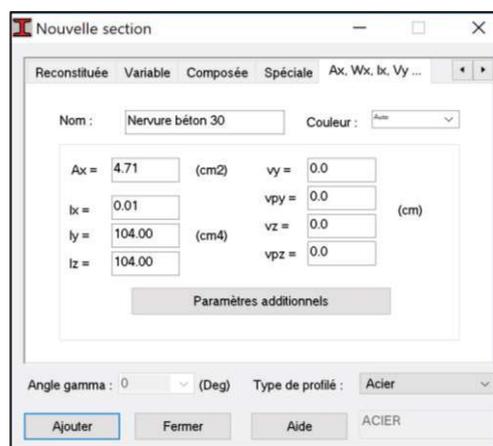
∴ *NOTA : plusieurs simulations de calculs avec ROBOT montrent que tous les résultats varient très peu avec une variation de cette valeur de K_V . Il faut faire varier cette raideur d'un coefficient de 5 ou de 10 pour voir les résultats changer de manière significative (notamment les efforts dans les nervures).*

Application numérique pour les bâtiments courants: modélisation nervure béton Therm'OTEP-L & Therm'OTEP-S par élément de type barre :

	Entraxe (cm)	A _x (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)
<u>Situation non sismique</u>					
Larg. 25 cm	84	4 HA12 → 4,52	0,01	97	97
Larg. 30 cm	120	6 HA10 → 4,71	0,01	104	104
<u>Situation sismique</u>					
Larg. 25 cm	84	4 HA14 → 6,16	0,01	97	97
Larg. 30 cm	120	6 HA10 → 4,71	0,01	104	104



Élément « nervure béton 25 cm »



Élément « nervure béton 30 cm »

5.4. Entraxe des nervures Therm'OTEP-S et Therm'OTEP-L :

Dans la modélisation, les entraxes suivants sont recommandés pour prendre en compte des dimensions en stock des cages d'armatures et des blocs d'isolant :

Therm'OTEP-S :

	Standard	Réduit 1	Réduit 2	Réduit 3	Réduit 5
Valeur (cm)	84	69	54	47	Sur demande spéciale

Therm'OTEP-L :

	Standard	Réduit 1	Réduit 2	Réduit 3	Réduit 4
Valeur (cm)	120	90	75	60	Sur demande spéciale

En pratique, la modélisation initiale de l'ouvrage se fera en prenant un entraxe standard, dans les deux cas de figure Therm'OTEP-S et Therm'OTEP-L.

Rappel : la répartition entre les deux systèmes est donnée en général par l'étude thermique pour obtenir la performance thermique requise.

5.5. Conditions d'encastrement :

- Côté planchers : les « barres » unifilaires sont « accrochées » à la rive des planchers par un nœud localisé à l'axe du plancher avec encastrement parfait dans les 3 directions XYZ « bbbbbb ».
- Côté façades : les « barres » unifilaires sont « accrochées » à l'axe des façades au niveau de l'axe des planchers par un nœud et conditions suivantes :
 - Excentrement de la demi-épaisseur de la façade (soit 9 cm pour un voile béton de 18 cm) pour la prise en compte de l'accrochage réel au nu de la façade,
 - Avec rotule parfaite dans les 3 directions XYZ « bbblll ».

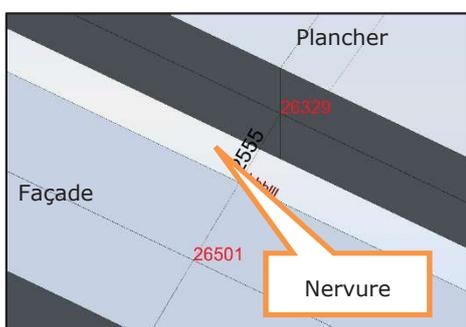
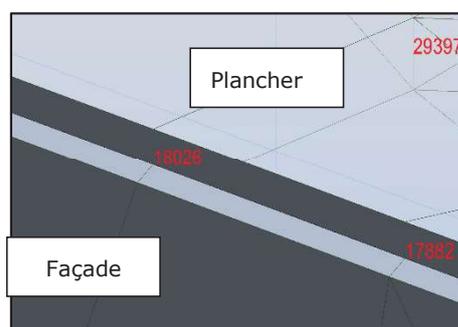


Schéma fonctionnement élément « barre »



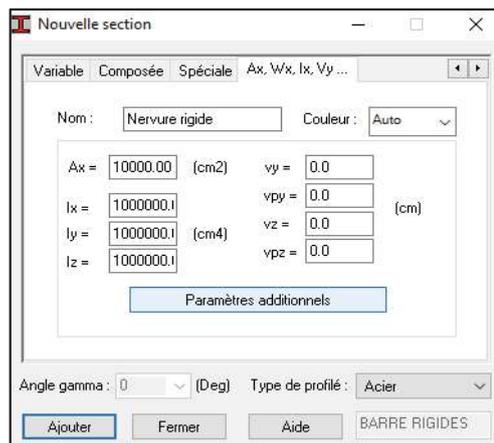
Modélisation sans rupteurs.

Ce modèle de calcul pour les nervures est stable et ne conduit généralement pas à des instabilités numériques dans le calcul.

5.6. Autre modélisation possible :

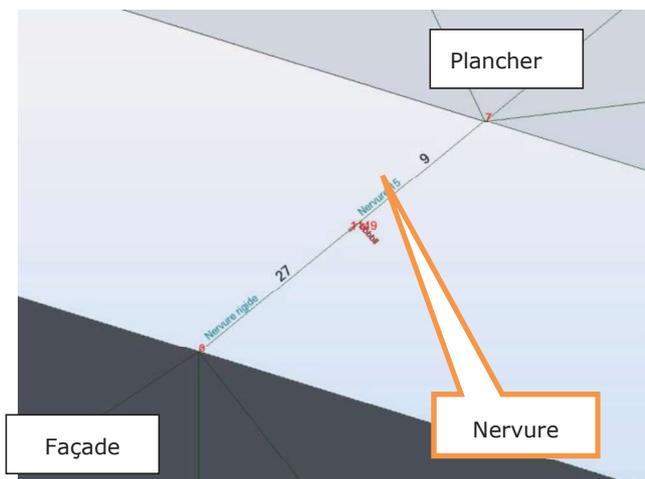
En variante de la modélisation des nervures décrite ci-avant, est aussi possible de modéliser la jonction voile plancher par barres :

- 1 barre infiniment rigide ;
- 1 barre idem précédemment « nervure 25 » ou « nervure 30 » selon le rupteur ;
- Jonction entre les deux barres : rotule idem ci-avant « bbblll ».

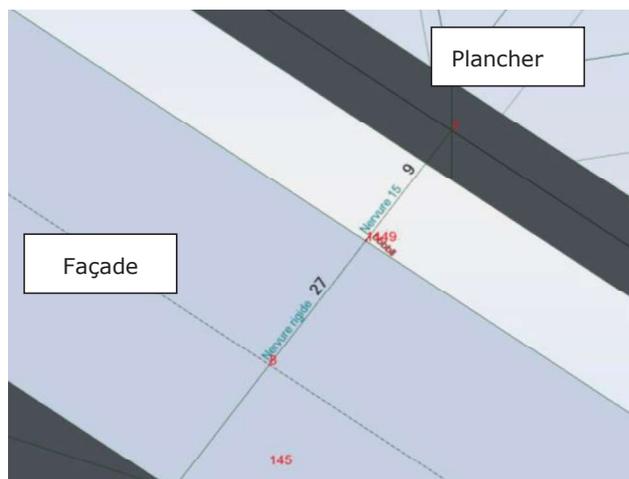


il
2

Élément « nervure rigide »



Représentation sans épaisseur des éléments



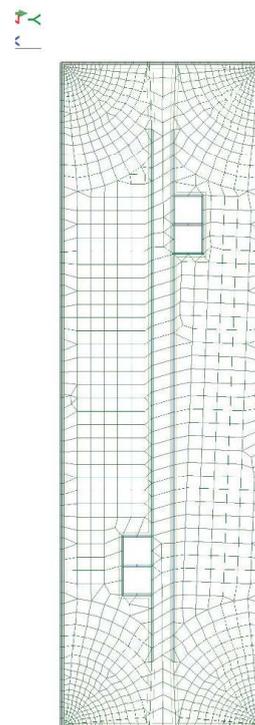
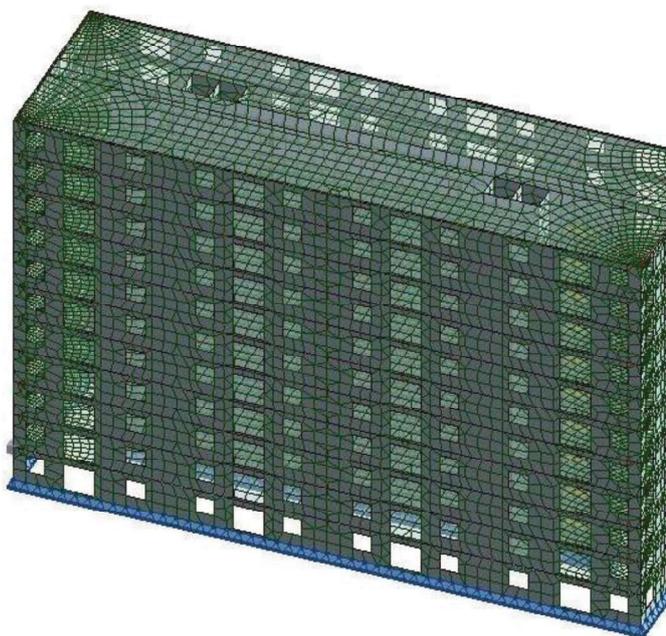
Représentation avec épaisseur des éléments

Cette modélisation variée fournit des résultats très similaires à la méthode de base exposée ci-avant.

6. MAILLAGE DES ELEMENTS FINIS.

Les modélisations sont en général réalisées avec le maillage Delaunay + raffinement Kang et « émetteurs utilisateurs » aux angles du bâtiment pour une évaluation la plus fiable possible des valeurs dans les nervures.

En partie courante, le maillage est choisi « régulier » pour des questions de rapidité de calcul avec un ordinateur « courant », communément utilisé par les bureaux d'études.



Les paramètres du maillage préconisé sont les suivants :

Options de maillage

Méthodes de maillage | Paramètres de la méthode

Méthodes de maillage admissibles

Coons
 Delaunay
 Sélection automatique de la méthode de maillage

Génération du maillage

Automatique Utilisateur
 Taille de élément

1.00 (m)

Maillage éléments volumiques

Fin Gros

Maillage supplémentaire de la surface du solide

Options avancées

OK Annuler Aide

Options de maillage

Méthodes de maillage | Paramètres de la méthode

Paramètres de la méthode de Delauney

Maillage régulier
 Raffinement (Delaunay + Kang)
 Lissage du maillage

Émetteurs

Par défaut Q = 1.1
 Utilisateur H0 = 0.10 (m)

Description

Le maillage raffiné sera généré autour des émetteurs, d'autres zones sont couvertes de maillage complexe.



OK Annuler Aide

Options de maillage avancées

Méthodes de maillage admissibles

Coons Rare
 Delaunay Fréquente
 Automatique Recommandée

Utilisation : Recommandée

Génération du maillage

Automatique Utilisateur
 Taille de l'élément

1.00 (m)

Maillage éléments volumiques

Fin Gros

Maillage supplémentaire de la surface du solide

Paramètres de la méthode de Coons

Type de division

Triangles (contour triangulaire)
 Triangles et carrés (contour triangulaire)
 Carrés (contour rectangulaire)
 Triangles (contour rectangulaire)

Utilisation : Proposée

Éléments finis

Type (surfiques) : Triangle (3 noeuds)
 Type (volumiques) : Tétraèdres (4 noeuds)
 Utilisation : Recommandée

Paramètres de la méthode de Delaunay

Maillage régulier Kang
 Delaunay Delaunay + Kang

H0 = 0.10 (m)
 H max = 500.00 Q = 1.1

Émetteurs automatiques

Dans les points caractéristiques des panneaux
 Dans les noeuds d'appui
 Émetteurs utilisateur
 Lissage

Triangulation sur les bords

Nombre de niveaux : 1 2 3

Fin Gros

OK Annuler Aide

7. VERIFICATION DE LA RESISTANCE DES NERVURES.

Le calcul de l'ouvrage permet de vérifier que la capacité résistante des nervures n'est pas dépassée à l'ELS, à l'ELU et à l'ELA selon les combinaisons d'actions usuelles : en cisaillement, en compression et en traction.

Une fois le calcul de l'ouvrage terminé, le projeteur doit sortir les valeurs des efforts internes des éléments « barre » dans les différents cas de charge (combinaisons d'actions).

A partir des tableaux, le projeteur doit vérifier qu'aucune nervure n'est sollicitée par un effort supérieur à l'effort résistant donné par les tableaux ci-après.

NOTA : Dans les points singuliers (notamment dans les angles), il est possible de répartir les efforts sur plusieurs nervures :

- Efforts de cisaillement F_y ($V_{Ed,H}$): l'ensemble des liaisons d'un élément unitaire de mur sans dépasser la moitié de la longueur de la façade ;
- Efforts de traction F_x (N_{Ed}) → sur 5 nervures voisines.

Si tel est le cas, les nervures sont jugées correctement dimensionnées.

Si ce n'est pas le cas, le projeteur doit investiguer les emplacements où les valeurs sollicitantes dépassent les valeurs résistantes et agir soit sur l'entraxe des nervures soit sur les armatures dans les nervures selon le critère non respecté.

En cas d'effort ponctuel important, il est admis de pouvoir le répartir sur 5 nervures contigües.

Therm'OTEP-S - capacité résistante des nervures :

Armatures nervures	As (mm ²)	ELS		ELU		ELA	
		Effort de traction admissible (kN)	Effort de cisaillement admissible (kN)	Effort de traction admissible (kN)	Effort de cisaillement admissible (kN)	Effort de traction admissible (kN)	Effort de cisaillement admissible (kN)
4 X HA8	200	67	67	91	91	100	100
4 X HA10	314	93	105	127	143	140	157
4 X HA12	452	93	151	127	205	140	226
4 X HA14	616	93	206	127	280	140	308

Therm'OTEP-L - capacité résistantes des nervures :

Armatures nervures	As (cm ²)	ELS		ELU		ELA	
		Effort de traction admissible (kN)	Effort de cisaillement admissible (kN)	Effort de traction admissible (kN)	Effort de cisaillement admissible (kN)	Effort de traction admissible (kN)	Effort de cisaillement admissible (kN)
2 boucles HA8	201	67	67	91		100	
2 boucles HA10	314	105	105	143		157	
3 boucles HA10	471	157	157	214		235	

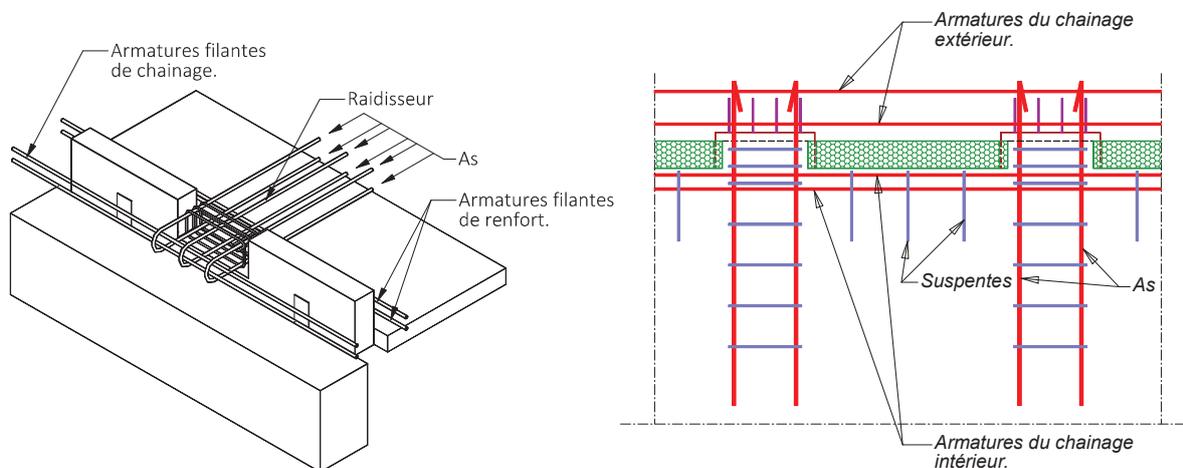
Ces valeurs prennent les hypothèses les plus courantes suivantes :

- Dalles de 20 cm minimum ;
- Béton chantier : C25/30.

Un recalcul complet de l'ouvrage est nécessaire, suivi par une nouvelle analyse montrant que tous les efforts dans les nervures sont inférieurs aux limites ci-avant.

8. ARMATURES DE CHAINAGE.

Dispositions minimales des armatures dans les chaînages des planchers, le long des bords porteurs et non-porteurs équipés de rupteurs thermiques de la gamme Therm'OTEP :



Les sections d'armatures minimales à respecter sont les suivantes :

- Armatures minimales du chaînage extérieur selon les règlements en vigueur :

CATEGORIE D'IMPORTANCE	ZONE DE SISMICITE			
	1	2	3	4
I Bâtiments avec activité humaine réduite (ex: bâtiments agricoles).				
II Maison Individuelle (plancher sur VS).				
II Maison Individuelle (plancher autre que sur VS).				
II Bâtiments courants (ex: habitations, bureaux, parkings, bâtiments de hauteur < 28m)				
III Bâtiments avec activité humaine importante (ex: écoles, salles de réunion, bâtiments de hauteur > 28m).				
IV Bâtiments d'importance vitale pour la protection civile (ex: hôpitaux, casernes, centrales électriques).				

- o Zones « en vert » : 1.2 cm² soit 3 HA8 ou 2HA10 ;
- o Zones « en rouge » : 3.0 cm² soit 4 HA10.

- Armatures minimales du chaînage intérieur aux rupteurs :
 - Cas où les armatures dans les nervures sont 3 boucles HA10 → 2HA10 filants et ancrés au-delà de la dernière nervure ;
 - Cas où les armatures dans les nervures sont 4 boucles HA10 ou plus : $A_s/2$ (A_s = section d'aciers dans la nervure).

La section d'armatures du chaînage intérieur doit être équivalente à celle du chaînage extérieur calculé par le BET du chantier.

9. CALCULS POUR EXECUTION.

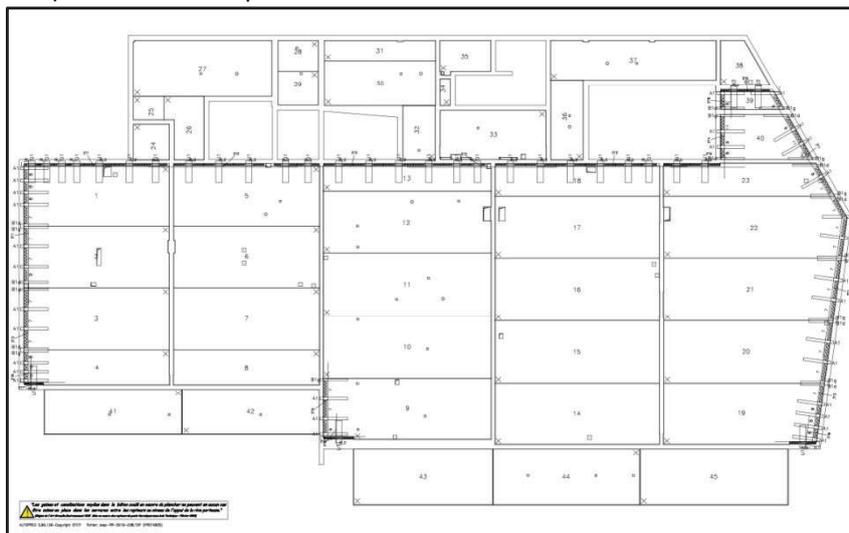
La modélisation par la méthode des éléments finis a pour seul but la détermination des efforts sollicitants dans les nervures en béton et de vérifier que ces efforts ne dépassent pas les efforts résistants des nervures.

La disposition finale des nervures, le calepinage des nervures et des prédalles, les dispositions d'armatures dans les nervures et dans / sur prédalles sont impérativement réalisés par OTEP.

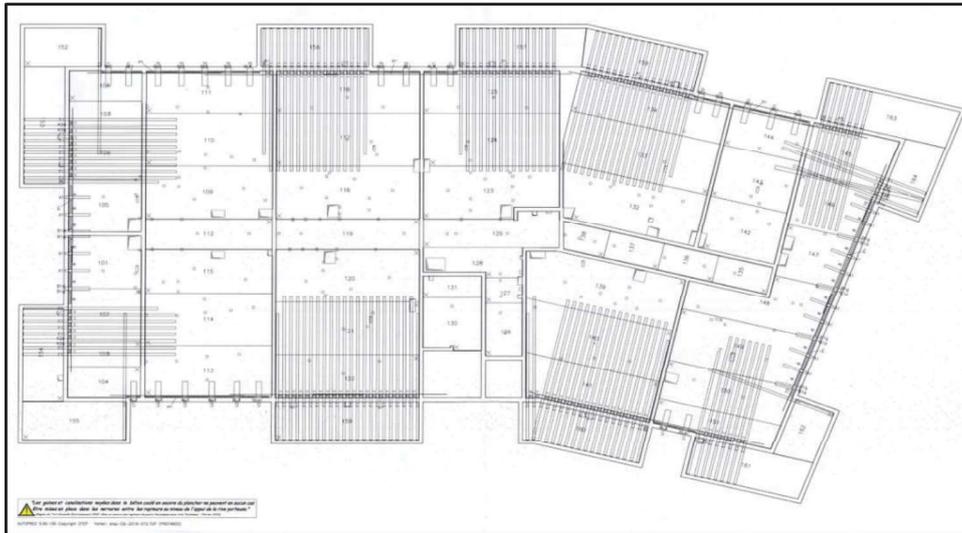
Préconisations générales de disposition des rupteurs thermiques Therm'OTEP-S et Therm'OTEP-L.

Exemple de plan traité par le logiciel AUTOPRED d'OTEP :

Les rupteurs thermiques seront de préférence disposés le long des façades en dehors des points singuliers (angles notamment). Dans la mesure du possible, il faut éviter de disposer des rupteurs thermiques en vis-à-vis de balcons pour des questions de disposition des armatures de ces balcons.



Balcons en angle : Les angles des bâtiments comportant des balcons d'angle seront traités de préférence de manière traditionnelle (i.e. sans rupteur) afin de minimiser les efforts dans les balcons (écartement de la façade aux angles). Dans ce cas, il sera réalisé une liaison plancher / façade traditionnelle sur une longueur de 1 m minimum dans les deux directions.



Exemple de plan traité avec AUTOPRED : bande pleine aux 4 angles du plancher → disposition correcte.

10. DEFORMATION DES BALCONS.

La déformation des balcons est supérieure en présence des nervures béton qu'avec une liaison traditionnelle continue.

Aussi, après disposition des rupteurs thermiques au droit des balcons - si cela ne peut pas être évité - le BET devra vérifier la déformation des balcons en présence des nervures selon plan OTEP.
