Avis Technique 5+3/11-2156

Dalles de béton cellulaire autoclavé armé pour toitures étanchées

Toitures
Roof structure
Dach

Ne peuvent se prévaloir du présent Avis Technique que les productions certifiées, marque CSTbat, dont la liste à jour est consultable sur Internet à l'adresse :

www.cstb.fr

rubrique :

Produit de la Construction
Certification

Toiture Hebel

Titulaire : Xella BE nv
Département Xella Aircrete Systems
Kruibeeksesteenweg 24
BE-2070 Burcht

Usines : Xella BE nv
BE-2070 Burcht
(Anvers, Belgique)

Xella Baustoffe GmbH
DE-63755 Alzenau
(Bavière, Allemagne)

Xella Nederland BV Landgraaf
NL-6374 Landgraaf
(Limbourg, Pays Bas)

Distributeur : Xella BE nv
Département Xella Aircrete Systems
Kruibeeksesteenweg 24
BE-2070 Burcht

Tél. : 32 (0)3 250 47 00
Fax : 32 (0)3 250 47 07
Courriel : plans@xella.com
Internet : www.xella.be

Commission chargée de formuler des Avis Techniques
(arrêté du 21 mars 2012)

Groupe Spécialisé n° 5

Toitures, couvertures, étanchéités

Groupe Spécialisé n° 3

Structures, planchers et autres composants structuraux

Vu pour enregistrement le 2 juillet 2013

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : www.cstb.fr

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)
© CSTB 2013

Les Groupes Spécialisés n° 5 « Toitures, Couvertures, Étanchéités » et n° 3 « Structures, planchers et autres composants structuraux » ont examiné, les 28 mars et 18 mai 2011, le procédé Toiture Hebel fabriqué par le groupe Xella et commercialisé par la société Xella BE nv. Ils ont formulé, sur ce système, l'Avis Technique qui constitue une suite à l'Avis Technique 5+3/02-1659. Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France européenne.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Le système Toiture Hebel comprend des dalles en béton cellulaire autoclavé armé pour toitures :

- De dimensions :
  - épaisseur : 100 à 365 mm,
  - largeur : 600 mm pour l'usine de Burcht, 600 - 625 et 750 mm pour les usines d'Alzenau et de Landgraaf ;
  - longueur : 6 000 mm pour l'usine de Burcht, 6 500 mm pour l'usine d'Alzenau et 6 750 mm pour celle de Landgraaf ;
- Avec des joints longitudinaux de profil SYMÉTRIQUE (RAC), emplis de microbéton, à destination des toitures.

La masse volumique nominale du béton cellulaire constitutif des dalles est de 500, 550 ou 600 kg/m^3.

Les dalles de Toiture Hebel servent de support ou d'élément porteur à un système d'étanchéité :

- Dalles utilisées comme support : le revêtement d'étanchéité est indépendant ou semi-indépendant ;
- Dalles utilisées comme élément porteur : l'isolant support et le pare-vapeur sont associés à un revêtement d'étanchéité indépendant ou semi-indépendant ou adhérent.

  Les toitures inversées sont également revendiquées, toujours associées à un isolant de polystyrène extrudé dont le Document Technique d'Application vise favorablement son emploi sur un élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

  Le revêtement d'étanchéité en asphalte traditionnel peut être utilisé dans les conditions prévues au Dossier Technique. Ceux en asphalte non traditionnel, mixte sous asphalte, en feuilles bitumineuses ou en membrane synthétique, et les panneaux isolants éventuels, doivent bénéficier d'un Document Technique d'Application ([1]) visant l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

Les toitures sont classées selon leur destination :

- Toitures-terrasses et toitures inclinées inaccessibles, avec aires ou chemins de circulation éventuels ; les toitures-terrasses inaccessibles à rétention temporaire des eaux pluviales ne sont pas visées par le présent Avis Technique.
- Toitures inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique.
- Terrasses à zones techniques.
- Terrasses et toitures végétalisées.

Ces toitures étanchées peuvent être, selon la pente :

- soit des toitures-terrasses plates de pente 1 à 5 % (limites incluses),
- soit des toitures inclinées de pentes supérieures à 5 % ;

et comporter :

- des noues à pente nulle,
- des aires ou chemins de circulation, de pente 1 à 50 % (limites incluses),
- des zones techniques, de pente 1 à 5 % (limites incluses).

Les locaux sous toitures avec dalles de Toiture Hebel sont classés en faible ou moyenne hygrométrie ($\frac{W}{n} \leq 5$ g/m^3).

1.2 Identification

L'identification des dalles se fait comme précisé dans le Dossier Technique du demandeur.

Les éléments de fixation des dalles sont directement fournis par leurs fabricants, et leurs emballages permettent leur identification.

(1) Ou Avis Technique dans la suite du document.

2. AVIS

L'AVIS ne vaut que pour les fabrications de dalles de béton cellulaire autoclavé armé bénéficiant d'une certification CSTBat délivrée par le CSTB.

2.1 Domaine d'emploi accepté

Identique au domaine proposé par le Dossier Technique.

Les bâtiments prévus au Dossier Technique sont limités à R+1 lorsqu'ils sont situés en zones de sismicité 3 ou 4 selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

La flèche instantanée des dalles est limitée à l/400ème lorsque le pare-vapeur et/ou le support isolant et/ou le revêtement d'étanchéité sont :

- collés à l'EAC,
- collés à la colle à froid, ou à l'aide d'un système autoadhésif,

sur un complexe d'étanchéité apparent ou lorsqu'il est placé sous des terrasses et toitures végétalisées.

2.2 Appréciation sur le procédé

2.21 Satisfaction aux lois et règlements en vigueur et autres qualités d'aptitude à l'emploi

Stabilité

La résistance des dalles est normalement assurée pour les domaines d'emploi accepté ci-dessus, si la conception et la mise en œuvre des dalles sont conformes aux conditions prévues dans la description et dans le Cahier des Prescriptions Techniques (cf. le *paragraphe 2.3* de l'AVIS).

Résistance sismique

Pour les constructions situées en zones sismiques 3 ou 4 selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, la hauteur des bâtiments est limitée à R+1.

Sécurité au feu

Dans les lois et règlements en vigueur, les dispositions à considérer pour les toitures proposées ont trait à la tenue au feu venant de l'extérieur et de l'intérieur.

Vis-à-vis du feu venant de l'extérieur

Le comportement au feu des toitures mises en œuvre sous une protection lourde conformes à celles de l'arrêté du 14 février 2003 satisfait aux exigences vis-à-vis du feu extérieur (art. 5 de l'arrêté du 14 février 2003) ; le procédé avec d'autres protections rapportées n'est pas classé.

Le classement de tenue au feu des revêtements apparents pour toitures est indiqué dans les Documents Techniques d'Application particuliers aux procédés.

Vis-à-vis du feu intérieur

Les dispositions réglementaires à considérer sont fonction de la destination des locaux, de la nature et du classement de réaction au feu de l'éventuel isolant et de son support.

Le béton cellulaire autoclavé bénéficie du classement conventionnel M0 conformément à l'annexe 3 de l'arrêté du 21 novembre 2003 modifié.

Résistance au feu des dalles de profil SYMÉTRIQUE (RAC)

Les études et les quelques essais effectués sur le comportement des dalles en béton cellulaire en cas d'incendie, montrent que la Toiture Hebel est susceptible d'assurer les degrés coupe-feu usuellement demandés. Le comportement à chaud dépend des mêmes facteurs (comme enrobage, surdimensionnement des aciers, bielle d'appui) que pour les planchers en béton armé. Il appartient au fabricant de le justifier dans les conditions usuelles. Toutefois, pour les maisons individuelles (première famille) aucune justification n'est nécessaire.

Pour les toitures dimensionnées pour la résistance en flexion, on peut préjuger, en fonction de l'enrobage des armatures, les valeurs minimums de degré coupe-feu indiquées dans le *tableau 1* de la page suivante.

Tableau 1 – Degré CF des dalles de Toiture Hebel comportant le profil SYMÉTRIQUE (RAC)

u (1)	**Degré coupe-feu**
10 mm	½ h
20 mm	1 h
30 mm	1 ½ h
40 mm	2 h
(1) « u » représente la distance minimum entre l'axe de l'armature et la face inférieure de la dalle, compte tenu des tolérances admises.	

Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La mise en œuvre doit être réalisée conformément au Dossier Technique et au Cahier des Prescriptions Techniques.

Compte tenu des profondeurs d'appui minimums prévues, la pose peut normalement être effectuée sans lisse d'appui, sans entraîner de risques particuliers.

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

Le procédé ne dispose pas d'une Fiche de Données de Sécurité (FDS). L'objet de la FDS est d'informer l'utilisateur de ce procédé sur les dangers liés à son utilisation et sur les mesures préventives à adopter pour les éviter, notamment par le port d'équipements de protection individuelle (EPI).

Données environnementales et sanitaires

Il n'existe pas de FDES pour ce procédé. Il est rappelé que les FDES n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

Isolation thermique

Le béton des dalles de Toitures Hebel est par lui-même isolant ; la conductivité thermique utile du béton cellulaire autoclavé est déterminée à partir des Règles Th-U (fascicule 2/5 - version 2004). Les ponts thermiques linéaires des joints entre dalles est à prendre en compte conformément aux dispositions prévues dans les Règles Th-U (fascicule 4/5).

Pour les constructions neuves qui entrent dans le champ d'application de la Réglementation Thermique 2005, la paroi Toiture Hebel sur laquelle sera mis en œuvre des panneaux d'isolation thermique devra satisfaire aux exigences du tableau VIII du fascicule 1/5 « Coefficient Ubât » des Règles Th-U, qui définit le coefficient (Up) surfacique maximum admissible pour la paroi-toiture.

En terrasses et toitures végétalisées, dans le cas où une isolation thermique est requise en relevés, elle sera mise en œuvre selon la technique de la toiture inversée.

Les dalles de Toiture Hebel sans ajout d'une isolation thermique complémentaire ne peuvent être mises en œuvre que sur les ouvrages où la réglementation thermique n'est pas applicable.

Isolation acoustique

Les dalles de Toiture Hebel simplement complétées, s'il y a lieu, par des enduits appliqués en sous-face, sont à apprécier vis-à-vis des exigences d'isolation acoustique sur la base de la loi de masse expérimentale. En pratique, vu la faible masse des dalles, cette solution ne permet de satisfaire, ni aux exigences d'isolation entre logements ou entre locaux, ni à un isolement au bruit extérieur par les toitures.

Accessibilité en toitures des dalles

Les dalles de Toiture Hebel conviennent aux toitures :

- Toitures-terrasses et toitures inclinées inaccessibles, avec aires ou chemins de circulation ;
- Toitures inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique ;
- Terrasses à zones techniques ;
- Terrasses et toitures végétalisées.

Résistance au vent extrême des toitures étanchées

Lorsque le complexe d'étanchéité ne comporte pas de protection lourde, les dispositions prévues au Dossier Technique sont valables jusqu'à une dépression au vent extrême d'au plus 4 712 Pa selon les Règles V 65 avec modificatif n° 4 de février 2009, ou une valeur de dépression au vent extrême inférieure ou supérieure selon :

- Le Document Technique d'Application du support isolant ou de l'isolant inversé ;
- Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité ;
- L'Avis Technique du procédé de végétalisation des terrasses et toitures végétalisées.

Emploi en climat de montagne

Ce procédé d'élément porteur n'est pas revendiqué pour une utilisation en climat de montagne.

Emploi dans les régions ultrapériphériques

Ce procédé d'élément porteur n'est pas revendiqué pour une utilisation dans les départements d'outre-mer (DOM).

Flexibilité

Les déformations prises par les toitures sont :

- Pour les bâtiments industriels : la flèche instantanée, calculée conformément à l'Annexe A de la norme NF EN 12602 :2008, sous l'effet de la totalité des charges, poids propre des dalles compris, doit être inférieure ou égale à l/300ème de la portée.

  La flèche à long terme doit être inférieure ou égale à l/250ème de la portée.

  Ces dispositions ne concernent pas les systèmes d'étanchéité apparents et ceux placés sous les terrasses et toitures végétalisées associés à un collage à l'EAC ou à froid (système autoadhésif compris).
- Lorsque le complexe d'étanchéité, pare-vapeur ou support isolant ou revêtement d'étanchéité, utilise :
  - en système apparent :
    - □ le collage à l'EAC,
    - □ le collage à froid, système autoadhésif compris,
  - sous terrasses et toitures végétalisées :
    - □ le collage à l'EAC,
    - □ le collage à froid, système autoadhésif compris,

  la flèche instantanée des dalles est limitée à l/400ème.

2.22 Durabilité - Entretien

Concernant la protection contre la corrosion des armatures, l'expérience de la société Xella BE nv permet de prendre en considération une durabilité satisfaisante dans le cas d'emploi admis en toiture sur locaux classés à faible ou moyenne hygrométrie (tels que définis dans la norme FD P 84-204-3, référence DTU 43.1 P3). L'efficacité de la protection contre la corrosion est par ailleurs vérifiée expérimentalement selon l'EN 990.

Compte tenu d'un entretien normal, dans le cas d'emploi de complexes d'étanchéité sur :

- les dalles supports (revêtements indépendants toujours sous protection rapportée, ou semi-indépendants),
- sur un support isolant (avec pare-vapeur), ou en toiture inversée,

la durabilité des dalles de Toiture Hebel peut être estimée comparable à celle des supports fractionnés en maçonnerie traditionnelle de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1) revêtus de systèmes d'étanchéité bénéficiant d'un Document Technique d'Application.

Entretien et réparations

Les dalles peuvent réparées en cas de désordre accidentel sous l'assistance technique du titulaire.

2.23 Classements FIT

Se référer au Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité.

2.24 Fabrication et contrôle

La fabrication des dalles est effectuée dans trois usines du groupe Xella. Dans chaque usine, elle doit faire l'objet d'un autocontrôle systématique du fabricant dans le cadre d'une certification CSTBat délivrée par le CSTB.

Les dalles Toiture Hebel bénéficiant d'un certificat valide sont identifiables par la présence de la marque CSTBat.

Les éléments de fixation des dalles (non fournis) sont définis par leurs fiches techniques, et leurs fabricants attestent la conformité des fournitures à ces fiches.

2.25 Mise en œuvre des dalles

La mise en œuvre est faite par les entreprises de gros-œuvre qualifiées. Sous cette condition, elle ne présente pas de difficulté particulière. Le service technique de la société Xella BE nv apporte son assistance technique sur demande des utilisateurs, depuis la France pour les bâtiments d'habitation, depuis la Belgique pour les bâtiments industriels, tel qu'indiqué au *paragraphe 3.4* du Dossier Technique.

2.3 Cahier des Prescriptions Techniques

2.31 Conditions de conceptions et de calcul

Généralités

- Le dimensionnement des dalles est fait par le calcul en respectant les dispositions contenues dans la norme NF EN 12602 :2008.
- Les résistances des matériaux constitutifs (béton cellulaire et acier) à prendre en compte dans le dimensionnement, garanties par le fabricant, sont celles indiquées au *paragraphe 3* « Définition des matériaux » du Dossier Technique.
- En cas de trémie, le chevêtre en fer plat de section 50 × 5 mm permet de répartir sur les dalles adjacentes d'enchevêtrure une charge de 500 daN au plus.

Cas particuliers des toitures

- La pente maximum des aires ou chemins de circulation est : 50 %.
- Implantation des zones techniques :

  Les documents particuliers du marché (DPM) précisent, lorsqu'il y a en toiture des équipements qui justifient le traitement de la toiture en zone(s) technique(s), l'implantation et la surface de ces zones. La surface unitaire de la zone technique ou de chaque partie constituant chaque zone technique ne sera jamais inférieure à 200 m^2.

  La pente maximum des zones techniques est : 5 %.
- Attelages de fixation mécanique des panneaux isolants supports et des revêtements d'étanchéité :

  Il est rappelé que les attelages de fixation mécanique doivent être du type « solide au pas » qui empêche, en service, le désaffleurement de la tête de l'élément de liaison au-dessus de la plaquette lorsque la compression à 10 % de déformation de l'isolant support est inférieure à 100 kPa (norme NF EN 826).

  Cette disposition est applicable aux travaux neufs, comme en travaux de réfections sur dalles de Toiture Hebel existantes.
- Dans le cas de terrasses et toitures végétalisées, les charges de capacité maximale en eau (C.M.E.) du système de végétalisation devront être prises en compte. Ces charges sont indiquées dans l'Avis Technique du système.
- En cas de travaux de réfections du système d'étanchéité sur les dalles :

  Il est rappelé qu'il appartient au maître d'ouvrage ou à son représentant de faire vérifier au préalable la stabilité de l'ouvrage dans les conditions de la norme NF P 84-208 (référence DTU 43.5) vis à vis des risques d'accumulation d'eau.

Cas d'utilisation en zone sismique

Habitation

La toiture fonctionne en voûte de décharge dans son plan, voûte de largeur L égale à la largeur du plancher et de hauteur H égale à la portée du plancher, tant que le rapport L/H reste compris entre les deux bornes suivantes :

$$1 \leq \frac{L}{H} \leq 2$$

si $\frac{L}{H} < 1$, ce fonctionnement est admis à condition de limiter la hauteur à 0,7 L.

Le chaînage périphérique de ceinture du plancher doit être conçu et dimensionné conformément au paragraphe 9.5.3 de la norme NF EN 1998-1, sans que la section des armatures longitudinales constitutives ne descende en dessous de 4 ∅ 10 en zones de sismicité 2 et 3, et 4 ∅ 12 en zone de sismicité 4.

L'espacement des cadres du chaînage est limité à la moitié de la hauteur du plancher sans descendre en dessous de 100 mm.

En outre, la profondeur d'appui effectif « a » des dalles de béton cellulaire ne doit pas être inférieure à :

$$a \geq \frac{V_a}{1{,}8b \,.\, 0{,}75\, f_{tj} / \gamma_b}$$

avec :

V_a : effort tranchant sollicitant sous la combinaison d'actions accidentelles,

b : largeur d'application de la charge,

f_{tj} : résistance caractéristique à la traction du béton cellulaire des dalles,

1,8 = 1 / cos [Arc tg(3/2)],

γ_b = coefficient partiel de sécurité pris égal à 2.

Sauf justification précise sur la résistance du béton cellulaire, la relation précédente conduit à une profondeur d'appui effectif a ≥ Va/k,

avec :

Va = effort tranchant sollicitant exprimé en daN pour 1 m de largeur de plancher,

et

k = 4,00 kN/cm pour des dalles de M_{vn} = 400 kg/m^3

k = 5,40 kN/cm pour des dalles de M_{vn} = 500 kg/m^3

k = 6,75 kN/cm pour des dalles de M_{vn} = 600 kg/m^3

(les résistances caractéristiques du béton cellulaire ont été prises forfaitairement égales à 0,6 MPa, 0,8 MPa et 1,0 MPa respectivement pour les trois masses volumiques nominales citées).

Bâtiments industriels

Les dalles de toitures peuvent être utilisées en zone sismique, mais elles n'entrent pas dans le calcul de stabilité de l'ouvrage.

2.32 Conditions de fabrication

- L'épaisseur de la couche de protection contre la corrosion par latex-aqueux appliquée sur les armatures doit être supérieure ou égale à 0,030 mm.
- La distance des extrémités des barres longitudinales aux abouts des dalles doit être inférieure à 25 mm.
- Les tolérances maximales admises sur les dimensions de fabrication des dalles sont :
  - longueur : ± 5 mm,
  - largeur : ± 3 mm,
  - épaisseur : ± 3 mm,
  - différence entre les diagonales : 10 mm.
- Toutes les dalles doivent être affectées en usines d'une marque indélébile comportant les indications suivantes : usine productrice, longueur et charge admissible de la dalle. En outre, la marque CSTBat doit être apposée sur la face supérieure des dalles dans les conditions précisées dans le règlement technique de la certification.

2.33 Conception des ouvrages

a) Chaque réalisation doit faire l'objet d'une étude préalable portant en particulier sur la stabilité et l'isolation thermique conduite en fonction de l'implantation de la construction, conformément aux données de la réglementation en vigueur et à partir des caractéristiques figurant au Dossier Technique.

b) Cette étude aboutit obligatoirement à l'établissement, par Xella BE nv ou sous son contrôle, d'un plan de calepinage permettant de repérer les diverses dalles nécessaires à la réalisation de l'ouvrage par référence à la marque appliquée en usine sur ces dernières et de repérer les joints de dalles situés au droit des lignes d'appui des éléments porteurs.

Un exemplaire de ce plan doit obligatoirement être adressé à l'entreprise de pose avant exécution des travaux.

c) Pour la prise en compte des dalles dans la stabilité des ouvrages (contreventement), on se référera au *paragraphe 2.3431h* ci-après.

d) L'épaisseur des dalles doit être telle qu'il n'y ait pas de condensation à la sous-face de la toiture.

e) Sauf renformis localisés, la pente nécessaire à l'écoulement des eaux pluviales doit être donnée par les dalles elles-mêmes et/ou l'ossature support, sans interposition de quelque forme que ce soit.

La pente calculée en tout point de l'élément porteur en partie courante, en tenant compte de la déformation de la structure porteuse et des différentes charges (2), est au moins égale à 1 %. À défaut de justifications, ceci conduit à adopter en pratique une pente initiale de 3 % sur plan.

(2) Notamment dans le cas de charpente en béton, en métal ou en bois lamellé-collé.

Il est rappelé que les charges à prendre en compte sont :

1) Les charges permanentes :

- Pour l'ossature, outre le poids propre, le poids des dalles, des isolants éventuels, des revêtements d'étanchéité, des systèmes éventuels de protection lourde et des accessoires fixes (aérateurs, ventilateurs, etc.) ;
- Pour les dalles, outre le poids propre, le poids des isolants, des revêtements d'étanchéité et de leur protection lourde éventuelle.

2) Les charges climatiques et les charges d'entretien suivant la destination de la toiture (NF P 06-001), les effets de ces deux types de charges n'étant pas à cumuler.

Dans le cas des noues à pente nulle, les charges à prendre en compte sont celles indiquées ci-avant, en adoptant pour la charge climatique des eaux pluviales éventuelle pour pente nulle, la valeur forfaitaire de 0,50 kN/m^2 (cf. norme NF P 10-203-1, référence DTU 20.12 P1).

3) Les entrées et descentes d'eaux pluviales, et les trop-pleins éventuels, doivent être déterminés suivant les spécifications de l'annexe C de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1), et du paragraphe 8 de la norme FD P 84-204-3 (référence DTU 43.1 P3).

f) Les tolérances de planéité et d'état de surface sont conformes au paragraphe 5.8 de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1). Il est notamment rappelé les tolérances de planéité suivantes :

- La planéité générale est satisfaite si une règle de 2,00 m déplacée en tous sens ne fait pas apparaître de flèches de plus de 10 mm ;
- La planéité locale est satisfaite si une réglette de 0,20 m déplacée en tous sens ne fait pas apparaître de flèches de plus de 3 mm ;
- Le désaffleurement au droit des joints doit être ≤ 3 mm.

L'état de surface des dalles de Toiture Hebel doit être celui d'un parement courant de béton surfacé défini par la norme NF P 18-201 (référence DTU 21).

Cas des noues à pente nulle

Lorsque les dalles de Toiture Hebel reçoivent directement le revêtement d'étanchéité ou lorsqu'elles reçoivent des panneaux isolants non porteurs supports d'étanchéité, il doit y avoir une horizontalité telle qu'elles ne permettent en aucun cas de retenue d'eau de plus de 2 cm de profondeur.

g) Les dalles de Toiture Hebel doivent être désolidarisées de tout relief ou émergence non supporté par la toiture elle-même.

Les reliefs supports de relevés d'étanchéité doivent être solidaires des dalles (cf. le *paragraphe 2.3434* de la page 8 ci-après).

h) Un joint de dilatation doit être ménagé dans la toiture à chaque joint de dilatation de structure compte tenu du mode d'ancrage à la charpente défini au *paragraphe 2.3431* (ci-contre) et paragraphes suivants, il n'y a pas lieu d'en prévoir d'autres.

i) Le franchissement direct par les dalles de toitures des joints d'abouts entre éléments d'ossature est interdit.

À ce type de joints doivent correspondre, dans la toiture, un joint latéral ou un joint d'about entre dalles.

j) Lorsque la toiture est réalisée sur charpente autostable, des porte-à-faux peuvent être admis en rives de toitures conformément au *paragraphe 2.3432e2* de la page 7 ci-après.

Le support des dalles doit être conçu de manière à assurer une largeur minimale d'appui de :

- 60 mm, s'il s'agit de charpente métallique, en béton ou bois lamellé-collé ;
- 70 mm, dans le cas de murs en maçonnerie.

Compte tenu des tolérances de positionnement des dalles et des tolérances sur la distance entre appuis, cela conduit à prévoir des largeurs d'appui nominales supérieures à ces valeurs. Dans les cas courants, on peut raisonnablement prévoir les profondeurs d'appui minimales suivantes :

- sur ossature métallique ou en béton préfabriqué : 70 mm (pour assurer 60 mm réels) ;
- sur ossature en béton coulé sur place : 80 mm (pour assurer 60 mm réels) :
- sur maçonnerie porteuse : 90 mm (pour assurer 70 mm réels).

Les toitures placées dans des ossatures autostables doivent être butées par celles-ci sur tout leur pourtour.

k) Les dalles spéciales de largeur inférieure à la largeur standard ou comportant des coupes obliques, trous ou échancrures latérales font l'objet de fabrications particulières et son marquées en conséquence.

l) Des pénétrations de grandes dimensions, modulées à la largeur des dalles, peuvent être réservées à l'aide de dalles de longueur réduite reposant sur les dalles voisines par l'intermédiaire de chevêtres métalliques ; dans ce cas, les chevêtres utilisés doivent être protégés contre la corrosion et les dalles adjacentes doivent être prévues avec une armature renforcée pour supporter les charges complémentaires correspondantes.

2.34 Exécution des ouvrages

2.341 Généralités

La mise en œuvre doit être effectuée en suivant les repères portés sur le calepinage et les marques correspondantes appliquées par le fabricant sur les dalles.

Les percements exceptionnels, sur chantier, admissibles dans les dalles normales sont définis au Dossier Technique ; ils doivent être de dimensions et implantation telles qu'ils n'affectent en aucun cas, ni l'intégrité et la conservation des armatures, ni la résistance requise des dalles.

Dans tous les cas, les percements et découpes doivent être exécutés avec un matériel de découpe adapté, évitant toute dégradation des dalles.

2.342 Stockage et manutention

Étant donné la relative fragilité du matériau, toutes les précautions doivent être prises, lors des opérations de manutention, de stockage et de mise en place des dalles, pour éviter les épaufrures de ces dernières ; à cet effet, il y a lieu d'utiliser les pinces ou étriers de levage recommandés par les fabricants, ou un système présentant des garanties équivalentes.

Les épaufrures éventuelles doivent être réparées suivant la méthode définie par le service technique de Xella BE nv.

Afin d'éviter une reprise d'humidité excessive avant la pose du revêtement d'étanchéité, les dalles doivent être stockées sous abri ou protégées des intempéries et des remontées d'eau par le sol.

Elles peuvent être disposées soit de chant, soit à plat ; dans ce dernier cas, elles doivent être stockées dans la position qu'elles occuperont en œuvre ([3]).

2.343 Pose des dalles

2.3431 Sur charpente en béton

a) Généralités :

Les dalles sont enserrées dans un quadrillage de nervures en béton armé coulé *in situ*, liées de façon efficace aux poutres supports au moyen de cavaliers ancrés en partie supérieure de celles-ci. Les aciers filants des nervures sont placés sous ces cavaliers (cf. la *figure 1* de la page suivante).

Le quadrillage en béton armé a pour fonction de s'opposer aux efforts d'arrachement éventuels dus au vent et au glissement relatif des dalles sur la structure support.

b) Repos des dalles :

Les largeurs minimales d'appui sont celles indiquées au *paragraphe 2.33j* ci-contre.

c) Pose proprement dite des dalles :

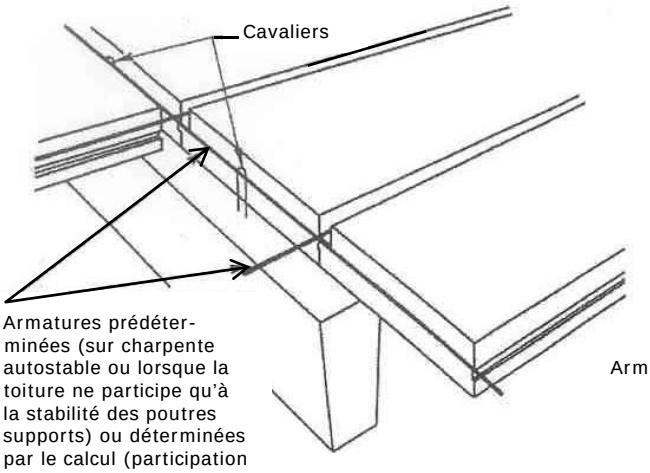
Les dalles sont mises en place soit parallèlement, soit perpendiculairement à la ligne de plus grande pente de la toiture. On veillera à ce qu'elles ne soient pas posées sens dessus dessous ([3]).

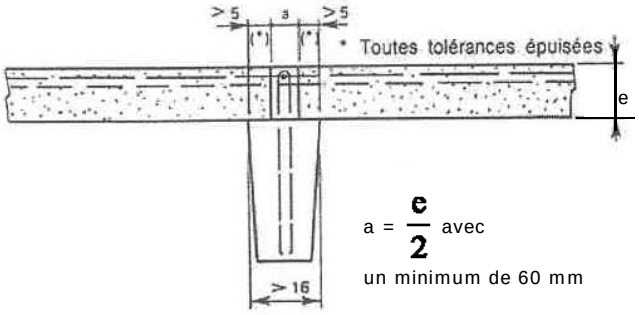
Les dalles d'une même rangée sont jointives :

- Pour les dalles d'épaisseur inférieure ou égale à 10 cm, les feuillures latérales doivent être telles qu'elles réservent, par juxtaposition des dalles, l'espace nécessaire au coulage d'une nervure de section minimale 16 cm^2 (joint latéral), de largeur supérieure ou égale à 35 mm ;
- Pour les dalles d'épaisseur supérieure, la profondeur des feuillures doit être portée à 5 cm, déterminant une nervure de section d'au moins 20 cm^2, de largeur supérieure ou égale à 35 mm.

Les dalles de deux rangées successives sont posées de façon à ménager dans l'axe du support une nervure (joint d'about), de largeur égale à la demi-épaisseur des dalles avec un minimum de 6 cm (cf. la *figure 1* de la page suivante).

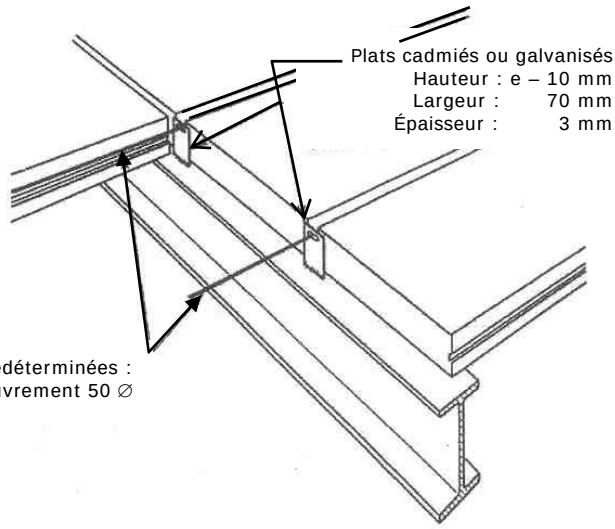
(3) La face supérieure est indiquée par la position des feuillures du joint latéral qui doivent se trouver en position haute. Les chanfreins des joints latéraux se trouvent en partie basse.

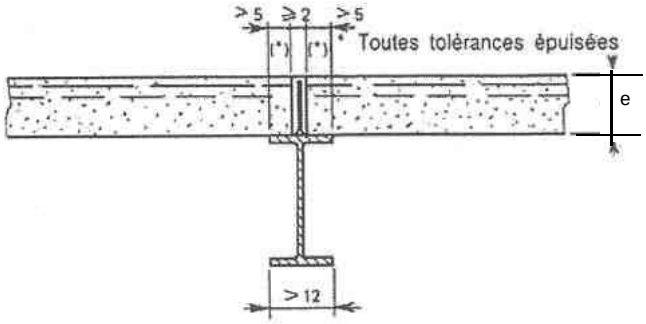




(cote en cm)

Figure 1





(cote en cm)

Figure 2

d) Liaison et ancrage :

Les cavaliers ∅ 6 assurant la liaison entre la toiture et l'ossature sont ancrés en face supérieure des poutres. Ils sont implantés avec un entraxe égal à la largeur des dalles.

Un acier ∅ 8 HA filant, placé dans les joints d'abouts de dalles, passe dans les boucles des cavaliers ci-dessus.

Un acier ∅ 6 ou 8 HA filant ([4]), placé dans tous les joints latéraux entre dalles, passe en dessous de l'acier ∅ 8 ci-dessus (cf. la *figure 1* ci-dessus).

e) Nervures de rives :

Les rangées de dalles en appui sur les poutres de rives doivent être liaisonnées à celles-ci par une nervure en béton armé de largeur égale à la demi-épaisseur des dalles avec un minimum de 60 mm, réalisée comme indiqué en *figure 4* de la page suivante.

Les aciers filants dans les joints latéraux entre dalles sont recourbés autour des aciers de la nervure ou parallèlement à ceux-ci afin d'obtenir un ancrage suffisant. Un matériau compressible et imputrescible, de 10 mm d'épaisseur minimale ([5]), est interposé en rive des nervures, c'est-à-dire entre la toiture et le mur.

f) Remplissage des nervures :

Les nervures latérales et d'about entre dalles sont remplies de microbéton dosé à 350 kg de ciment CPA ou CPJ 45 par m^3, avant coulage de ce dernier, il convient de nettoyer et d'humidifier les feuillures des dalles.

Le centrage correct des aciers filants dans ces nervures doit être assuré au moyen de cales de positionnement.

En particulier, lorsque les joints des dalles et comportent pas d'emboîtement pour éviter le cisaillement des joints et le décollement des nervures pendant la prise du microbéton, la circulation sur les toitures fraîchement liaisonnées demande des précautions (circulation au droit des appuis, chemin de planches ...). Ces précautions doivent être prises pendant au moins trois jours.

g) Cas de pose sur une charpente dont les poutres présentent un risque de déversement :

Compte tenu des dispositions de liaison précédentes, la toiture suffit en général pour éviter le risque de déversement des poutres supports.

h) Cas où les dalles sont prises en compte dans le contreventement de l'ouvrage :

Les dispositions définies aux *alinéas a* à *f* ci-dessus restent valables dans leur principe mais, dans ce cas, le quadrillage de béton armé ainsi que les dispositifs d'ancrage doivent être déterminés pour chaque réalisation en fonction des efforts à reprendre.

2.3432 Sur charpente métallique ou bois lamellé-collé autostable

a) Généralités :

La toiture en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ne participe pas à la stabilité au déversement des poutres supports, ni au contreventement de l'ouvrage.

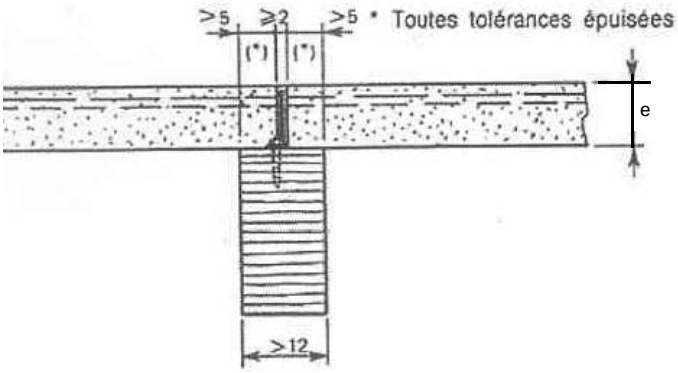
Il n'existe donc que des nervures en béton armé coulées dans une seule direction (joints latéraux entre dalles), liées de façon efficace aux poutres supports au moyen de fers plats, conformément à l'*alinéa d* de la page suivante.

Les liaisons ainsi créées ont pour fonction de s'opposer aux efforts d'arrachement éventuels dus au vent et au glissement relatif des dalles sur la charpente (cf. la *figure 2* ci-dessus).

b) Les largeurs minimales d'appui sont celles indiquées au *paragraphe 2.33j* ci-avant.

(4) ∅ 6 lorsque la charge admissible est de 1 kN/m^2. ∅ 8 lorsque la charge admissible est comprise entre 1 et 2,5 kN/m^2.

(5) L'épaisseur de ce matériau doit être déterminée compte tenu des mouvements prévisibles des joints considérés.



(cotes en cm)

Figure 3

c) Pose proprement dite des dalles :

Les dalles sont mises en place soit parallèlement, soit perpendiculairement à la ligne de plus grande pente de la toiture. On veillera à ce qu'elles ne soient pas posées sens dessus dessous.

Les dalles d'une même rangée sont jointives ; les feuillures latérales doivent répondre aux prescriptions définies selon l'épaisseur des dalles au *paragraphe 2.3431c* de la page 5 ci-avant :

- Pour les dalles d'épaisseur inférieure ou égale à 10 cm, les feuillures latérales doivent être telles qu'elles réservent, par juxtaposition des dalles, l'espace nécessaire au coulage d'une nervure de section minimale 4 × 4 cm (joint latéral) ;
- Pour les dalles d'épaisseur supérieure, la profondeur des feuillures doit être portée à 5 cm, déterminant une nervure de section 4 × 5 cm.

Les dalles de deux rangées successives sont posées de façon à ménager dans l'axe du support un joint d'about de largeur minimale égale à 2 cm rempli de microbéton.

d) Liaison et ancrage :

Les plats de 70 × 3 min de section minimale, utilisés pour assurer la liaison entre la toiture et la charpente, doivent être protégés contre la corrosion par galvanisation, cadmiage ou peinture bitumineuse.

Ils sont percés d'un trou oblong et sont implantés dans l'axe des poutres et dans celui de chacun des joints latéraux entre dalles.

Ils sont :

- Soudés sur la charpente métallique ;
- Tirefonés sur la charpente en bois lamellé-collé (tirefonds ∅ 10).

Un acier filant ∅ 6 ou 8 HA ([4]), disposé dans chacun des joints latéraux entre dalles, passe dans la lumière des plats (cf. les *figures 2 et 3*).

e) Rives :

1. Contre acrotère :

Avec nervures en béton armé

Les rangées de dalles en appui sur les poutres de rives sont liaisonnées à celles-ci par l'intermédiaire d'une nervure en béton armé de 6 cm de largeur minimale, ancrée sur celles-ci au moyen de fers plats : implantés dans l'axe de chacun des joints latéraux entre dalles :

- soudés sur la charpente métallique,
- tirefonés sur la charpente en bois lamellé-collé.

Les aciers de ces joints sont recourbés sur les aciers filant dans la nervure.

Un matériau compressible et imputrescible, de 10 mm d'épaisseur minimale ([5]) est interposé en rive des nervures, c'est-à-dire entre la toiture et le mur (cf. la *figure 25* du Dossier Technique).

Sans nervure en béton armé

Les rangées de dalles en appui sur les poutres de rives ont leur about prolongé jusqu'à la rive extérieure de celles-ci (cf. la *figure 26* du Dossier Technique).

La liaison entre la toiture et les poutres est réalisée au moyen de fers plats soudés sur celles-ci dans l'axe des joints latéraux entre dalles et noyés dans le microbéton placé dans le puits de 7 × 7 mm au ∅ 10, formé par des encoches pratiquées en rive de dalle.

Un matériau compressible et imputrescible, de 10 mm d'épaisseur minimale ([5]) est interposé en rive entre la toiture et le bardage.

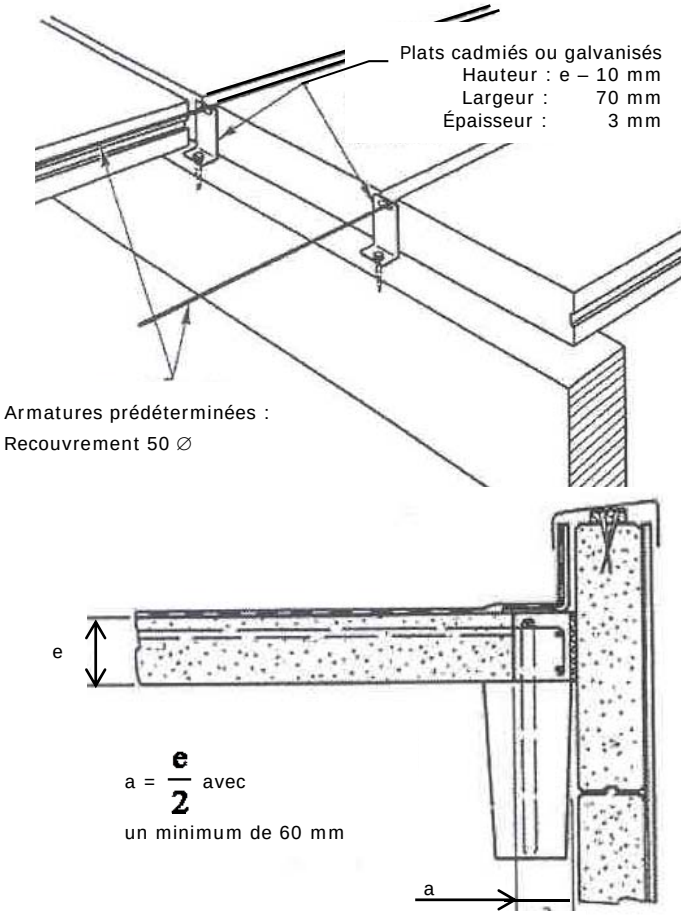


Figure 4 – Liaisonnement

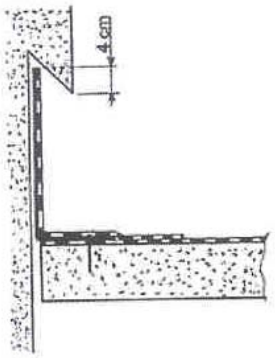


Figure 5 – Forme des reliefs

2. Avec porte-à-faux :

La liaison entre la toiture et la charpente est réalisée de la même manière que définie à l'*alinéa 1* précédent dans le cas où il n'existe pas de nervure de rive.

Si des dalles courantes sont utilisées, le porte-à-faux ne doit pas excéder 2 fois leur épaisseur.

Dans le cas contraire, les dalles doivent être dimensionnées en fonction des efforts appliqués en utilisant la méthode de calcul du Dossier Technique.

Un matériau compressible et imputrescible de 10 mm d'épaisseur minimale est interposé entre la toiture et la tête du mur ; il sert de support, côté extérieur, à un cordon de mastic d'étanchéité appliqué suivant la prescription du SFJF (cf. la *figure 27* du Dossier Technique).

(4) ∅ 6 lorsque la charge admissible est de 1 kN/m^2. ∅ 8 lorsque la charge admissible est comprise entre 1 et 2,5 kN/m^2.

(5) L'épaisseur de ce matériau doit être déterminée compte tenu des mouvements prévisibles des joints considérés.

f) Remplissage des nervures :

Les nervures latérales et d'about entre dalles sont remplies de microbéton. Avant coulage de ce dernier, il convient de nettoyer et d'humidifier les feuillures des dalles.

Le centrage correct des aciers filant dans ces nervures doit être assuré au moyen de cales de positionnement.

Pour éviter le cisaillement des joints et le décollement des nervures pendant la prise du microbéton, la circulation sur les toitures fraîchement liaisonnées doit être interdite pendant trois jours.

2.3433 Sur maçonnerie

a) Généralités :

Les dalles sont insérées dans un chaînage en béton armé coulé sur place.

b) Repos des dalles :

Les largeurs minimales d'appui sont celles indiquées au *paragraphe 2.33j* de la page 5 ci-avant.

2.3434 Reliefs supports de relevés d'étanchéité

a) Forme des reliefs :

Ils doivent comporter à leur partie supérieure un ouvrage étanche qui écarte les eaux ruisselant sur les éléments placés au-dessus d'eux afin d'éviter l'introduction des eaux pluviales derrière le relevé d'étanchéité. Le rejet d'eau recouvre d'au moins 40 mm la partie haute du relevé d'étanchéité (cf. norme NF P 10-203-1, DTU 20.12 P1) (cf. la *figure 5* de la page précédente).

b) Dispositions générales concernant les hauteurs minimales :

La hauteur minimale des reliefs revêtus d'étanchéité est de 100 mm au-dessus de la protection des parties courantes.

Cette hauteur est portée à 150 mm dans le cas des reliefs situés en bas de rampants de pente ≤ 20 % et 250 mm dans le cas de pente > 20 %.

c) Reliefs en maçonnerie de blocs de béton cellulaire autoclavé :

Les maçonneries doivent être réalisées en blocs de béton cellulaire autoclavé, d'une résistance à la compression, déterminée suivant les spécifications de la norme NF P 14-306, supérieure ou égale à 3 MPa, collés sur les dalles des parties courantes.

d) Reliefs en costières métalliques :

Les costières métalliques sont fixées sur les éléments porteurs (dalles ou nervures béton).

1. Nature :

Elles sont généralement réalisées en acier galvanisé (galvanisation Z 275 selon la norme NF EN 10346).

2. Dimensionnement des costières en acier galvanisé :

2.1 Hauteur maximale :

La hauteur maximale est de 300 mm au-dessus du revêtement d'étanchéité, sauf pour les costières en acier isolées thermiquement.

2.2 Épaisseur en fonction de la hauteur totale de la costière :

$h \leq 250$ mm : $e \geq 0{,}75$ mm,

$h \leq 400$ mm : $e \geq 1$ mm,

$h \leq 600$ mm : $e \geq 1{,}2$ mm.

2.3 Largeur de l'aile horizontale :

La largeur supportée de l'aile horizontale est de 100 mm au moins.

2.4 Longueur des éléments :

Les longueurs unitaires des éléments ne doivent pas dépasser 2 m.

3. Fixations :

Les costières métalliques doivent se recouvrir entre elles de 40 mm au moins. Les recouvrements des ailes verticales sont couturés à raison d'une fixation au moins tous les 200 mm par rivets à expansion en acier ou vis autoperceuses. L'aile horizontale doit être fixée à l'élément porteur (dalles ou nervures béton) en utilisant, suivant la nature de ce dernier, des chevilles et vis ou clous spéciaux recommandés par la société Xella BE nv.

Le nombre et les caractéristiques de ces fixations doivent être déterminés compte tenu des efforts qui seraient appliqués et de la résistance de ces fixations dans l'élément porteur. La fixation s'effectue en quinconce, dont une au droit de chaque recouvrement.

La résistance caractéristique de chaque fixation est d'au moins 100 N, la densité courante étant de 5 fixations au mètre linéaire.

e) Supports de relevés en panneaux isolants :

Quelle que soit la pente des parties courantes, les prescriptions de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1) sont applicables.

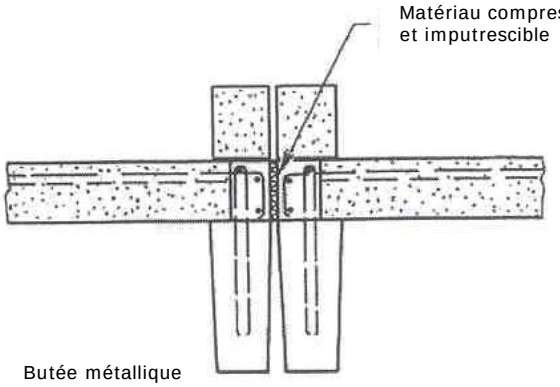


Figure 6a

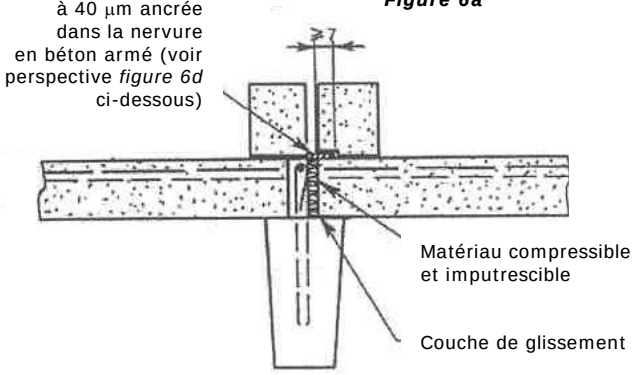


Figure 6b

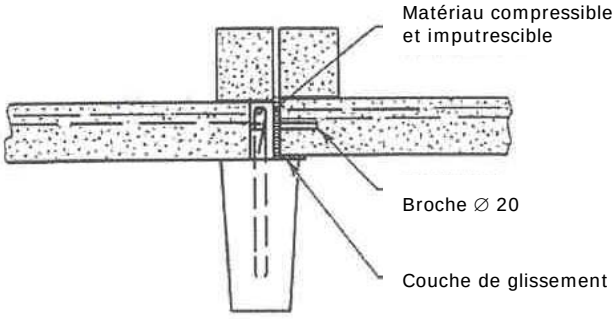


Figure 6c

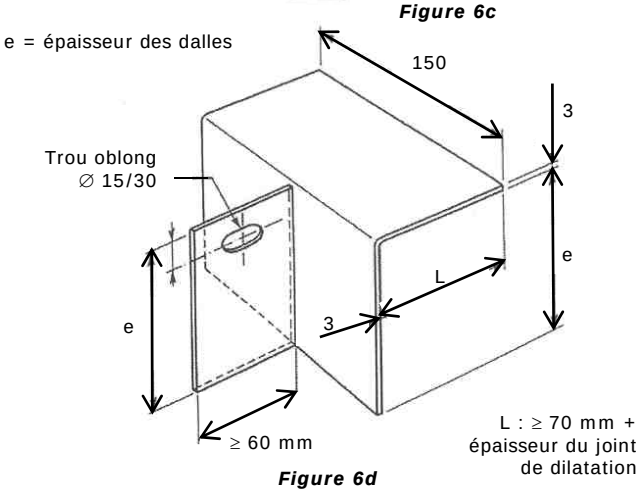


Figure 6d

Figures 6 – Joints de dilatation

2.3435 Joints de dilatation

Les joints de dilatation de la toiture coïncident avec ceux de la structure.

Deux cas sont à considérer :

- La structure comporte deux files de poutres situées de part et d'autre du joint de dilatation. Les toitures reposant sur chacune des files de poutres sont solidarisées avec celles-ci suivant les dispositions définies au *paragraphe 2.3431e* de la page 6 ci-avant.

  Les relevés sont réalisés suivant les dispositions définies au *paragraphe 2.3434c* ci-avant (cf. *figure 6a* de la page précédente).

- La structure ne comporte qu'une file de poutres au droit du joint de dilatation.

  Les toitures s'appuyant sur la file de poutres sont :

  - d'un côté du joint de dilatation, solidarisées avec la file de poutres suivant les dispositions définies au *paragraphe 2.3431e*,
  - de l'autre côté du joint de dilatation, désolidarisées de la file de poutres par une couche de glissement (exemple : 2 bandes en feuille de bitume modifié SBS BE 25 VV avec interposition d'un écran voile de verre renforcé 100 g/m^2),

  et maintenues :

  - par butée métallique partielle, galvanisée à 40 µm, ancrée dans la nervure en béton armé et prenant appui en partie supérieure de toiture (cf. la *figure 6b* de la page précédente),
  - ou par broche ∅ 20 galvanisée à 40 µm, ancrée dans la nervure en béton armé et coulissant dans un trou perforé à mi-épaisseur et dans l'axe des dalles (cf. la *figure 6c* de la page précédente).

Conclusions

Appréciation globale

Pour les fabrications bénéficiant d'un Certificat de qualification, l'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. *paragraphe 2.1*) et complété par le Cahier des Prescriptions Techniques, est appréciée favorablement.

Validité

Cinq ans, venant à expiration le 31 mars 2016.

Pour le Groupe Spécialisé n° 5
Le Président
Claude DUCHESNE

Pour le Groupe Spécialisé n° 3
La Présidente
Jean-Pierre BRIN

3. Remarque complémentaire des Groupes Spécialisés

Les toitures de pente nulle (0 %) ne font pas l'objet du présent Avis Technique.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 5
S. GILLIOT

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 3
N. RUAUX

Annexe - Méthode de calcul de la valeur théorique par excès de l'ouverture des joints de types 3 et 4

1. Conditions d'application de la méthode proposée

L'attention est attirée sur le caractère conventionnel du mode d'évaluation proposé ci-après, en l'absence de résultats expérimentaux et de mesures systématiques effectuées sur des réalisations existantes, qui seraient seuls susceptibles de mettre en évidence l'interaction des divers éléments constitutifs des constructions. Le fait de négliger de telles influences conduit donc nécessairement à une surévaluation de l'ouverture des joints.

Il est rappelé que la méthode de calcul proposée n'est pas applicable aux structures dans lesquelles les éléments porteurs situés de part et d'autre d'un joint sont en « continuité », au sens de la Résistance des Matériaux, c'est-à-dire lorsque ces éléments porteurs sont calculés en poutre continue sur appuis, avec ou sans adaptation.

Dans la pratique courante, la méthode s'applique à des ossatures réalisées à partir d'éléments préfabriqués en béton armé ou, plus souvent, en béton précontraint assemblés sur leurs appuis.

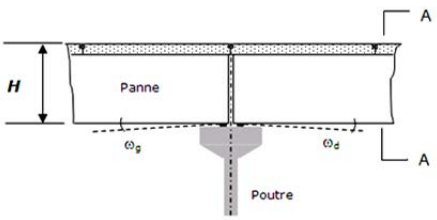


Figure 1.a

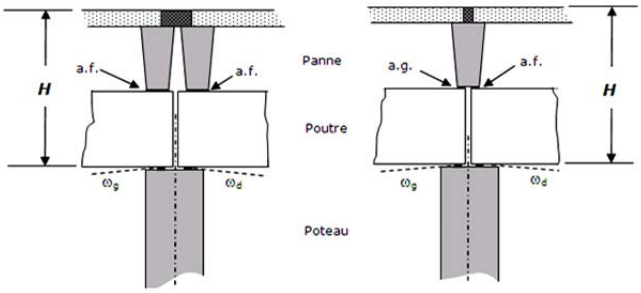


Figure 1.b *Figure 1.c*

a.f. : appui fixe
a.g. : appui glissant

Figure A1 – Hauteur « H » à considérer dans l'expression de « e »

2. Données et hypothèses

a) L'ouverture d'un joint est provoquée par les rotations d'appuis ω_g et ω_d des éléments porteurs implantés perpendiculairement au joint et situés de part et d'autre de celui-ci (cf. *figure A1*).

b) Les éléments porteurs ci-dessus sont supposés reposer sur les supports (poteaux pour les éléments porteurs principaux appelés poutres, poutres pour les éléments porteurs secondaires appelés pannes) par l'intermédiaire d'une articulation fixe, autorisant les rotations sous charges mais s'opposant à tout mouvement de translation susceptible d'augmenter l'ouverture du joint. Il y a lieu de s'assurer que cette dernière hypothèse de fixité en translation est bien vérifiée ; dans le cas contraire, le joint considéré devrait être assimilé à un joint de dilatation.

c) En aucun cas, il n'est tenu compte d'une éventuelle mise en continuité partielle des éléments porteurs, au droit de leurs appuis, du fait de l'intervention de la toiture constituée par les dalles en béton cellulaire enserrées dans une résille en béton armé.

d) Lorsque les éléments porteurs sont calculés sans tenir compte d'aucune continuité, mais qu'ils comportent néanmoins, à leurs extrémités, des armatures de liaisons susceptibles d'assurer un assemblage efficace entre deux éléments adjacents, il peut en être tenu compte dans l'évaluation des rotations d'appui aux conditions suivantes :

- Les dimensions du blocage entre abouts d'éléments préfabriqués sont suffisantes pour autoriser la mise en œuvre d'un béton sain ;
- Les armatures supérieures sortant en attente des éléments préfabriqués sont de classe B ou C, et ont une longueur et un façonnage tel que leur mise en continuité mécanique est assurée ;
- La section des éléments préfabriqués sur appuis des chapeaux est suffisante pour pouvoir équilibrer, avec un niveau de contrainte de traction dans les armatures n'excédant pas 0,8 f_{yk} , un moment fléchissant d'appui M_A au moins égal à 0,15 M_0 , M_0 étant le moment maximal en travée de l'élément porteur considéré, sous la combinaison caractéristique.

e) Les éléments de structure surmontant les éléments porteurs considérés dans l'évaluation de l'ouverture d'un joint sont supposés liés rigidement à ces derniers ; ils subissent donc sans aucune atténuation les mouvements qui leur sont imposés du fait des rotations d'appui des éléments porteurs.

3. Expression de l'ouverture d'un joint

$$e = (\omega_g + \omega_d) \cdot H$$

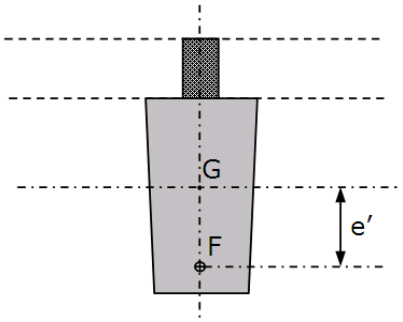
La hauteur « H » à considérer dans les divers cas est indiquée sur les *figures 1a, 1b, 1c* ci-contre.

4. Mode d'évaluation des rotations d'appuis des éléments porteurs

a) Les rotations d'appui des éléments porteurs sont évaluées par application des lois de la résistance des matériaux, en tenant compte des variations d'inertie éventuelle de ces pièces et de la répartition des charges.

b) Les sections résistantes à faire intervenir dans ce calcul sont les suivantes :

- Élément porteur ne supportant pas directement la toiture en béton cellulaire : section de l'élément porteur seul ;
- Élément porteur supportant directement la toiture en béton cellulaire : il est loisible d'adjoindre à la section de l'élément porteur celle du béton de blocage entre dalles qui le surmonte (cf. *figure A2*).



G : Centre de gravité de la section
F : Position de l'armature de précontrainte (éventuelle)
e' : Excentricité de la précontrainte

Figure A2 – Élément porteur en béton de type panne, avec béton de blocage entre dalles

Par ailleurs, le calcul est mené :

- Dans le cas du béton armé, en tenant compte des conséquences de la fissuration du béton (selon la norme NF EN 1992-1-1, section 7) ;
- Dans le cas du béton précontraint, en admettant (selon le paragraphe 7.3 de la norme NF EN 1992-1-1) :
  - qu'il n'y a pas fissuration du béton pour les pièces où, pour toutes les sections, sous la combinaison caractéristique de charges et pour la valeur caractéristique de la précontrainte, le béton est comprimé ou la valeur absolue de la contrainte de traction dans le béton reste inférieure à $f_{ct,eff}$;
  - qu'il y a fissuration du béton dans le cas contraire.

c) Les déformations à considérer dans l'évaluation des rotations d'appui sont limitées à la part des déformations totales qui se produisent après exécution du système d'étanchéité : les rotations résultantes sont désignées par « rotations d'appui actives ».

Dans les cas courants, compte tenu notamment des délais de mise en œuvre qui sont observés, les hypothèses suivantes peuvent être admises, quant aux déformations à prendre en compte dans les calculs pour les diverses actions :

- Poids propre des éléments porteurs en béton (principaux et secondaires) : 50 % des déformations de fluage ;
- Précontrainte : comme ci-dessus ;
- Poids propre des dalles en béton cellulaire : 75 % des déformations de fluage ;
- Système d'étanchéité : totalité des déformations de fluage ;
- Protection lourde éventuelle : totalité des déformations ;
- Charges d'exploitation permanentes : totalité des déformations ;
- Charges d'exploitation variables : déformations instantanées ;
- Charges climatiques : déformations instantanées.

  Toutefois, pour ce dernier type de charge, l'attention est attirée sur le fait que, dans certaines régions, la neige peut subsister sur les toitures des bâtiments pendant des délais importants : il doit donc en être tenu compte en ajoutant aux déformations instantanées une part des déformations de fluage (25 à 50 %).

5 Prise en compte de la fissuration du béton selon la norme NF EN 1992-1-1.

Selon la norme NF EN 1992-1-1 (section 7), le comportement d'un élément fléchi fissuré est intermédiaire entre celui d'un élément non fissuré et celui de ce même élément entièrement fissuré. La méthode utilisée consiste à effectuer les calculs d'un paramètre de déformation (courbure, rotation, flèche, etc.) dans l'une **et** l'autre de ces deux situations, puis à pondérer les deux résultats obtenus de la manière suivante :

$$\alpha = \zeta\, \alpha_{II} + (1 - \zeta)\, \alpha_{I} \quad \text{avec :}$$

- α : paramètre considéré ;
- α_I , α_{II} : valeurs de ce paramètre calculées respectivement pour la section non fissurée (α_I) et pour la section entièrement fissurée (α_{II}) ;
- ζ : coefficient de répartition donné par $\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2$ avec :
  - β : coefficient tenant compte de la durée ou de la répétition du chargement.
    - $\beta = 1$ si chargement unique de courte durée,
    - $\beta = 0{,}5$ si chargement de longue durée ou répété ;
  - σ_s : contrainte de traction de l'acier calculée en section fissurée ;
  - σ_{sr} : contrainte de traction de l'acier calculée en section fissurée lorsque la contrainte de la fibre de béton la plus tendue est égale à f_{ctm} ;
- $\zeta = 0$ lorsque la section n'est pas fissurée.

Nota : Dans une pièce fléchie, $\left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right) = \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)$,
avec M_{cr} moment de fissuration.

Pour le problème considéré ici, il y a lieu de calculer la rotation ω_I avec l'inertie non fissurée, puis la rotation ω_{II} avec l'inertie entièrement fissurée, et en déduire la rotation cherchée en appliquant aux deux valeurs trouvées le coefficient de répartition ζ selon la formule ci-contre, en prenant $\beta = 0{,}5$ pour l'ensemble des actions, par souci de simplification. On donne ci-dessous à titre d'exemple, pour une section rectangulaire, les expressions pouvant servir au calcul des inerties et du moment de fissuration.

Calcul des inerties et du moment de fissuration pour une section rectangulaire

Soit une section rectangulaire donnée par la *figure A3* ci-dessous :

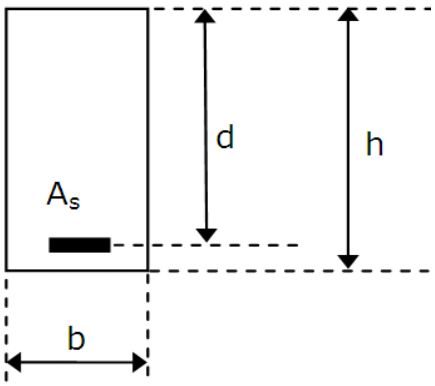


Figure A3 – Section rectangulaire en béton - Notations

On pose :

$$\rho = \frac{A_s}{b\,.\,d} \; ; \; \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

(avec E_s : module d'élasticité de l'acier = 200 000 MPa) ; $\eta = \frac{h}{d}$

En section non fissurée, les relations à utiliser sont les suivantes :

- Position de l'axe neutre : $\upsilon_r = \frac{\upsilon}{d} = \frac{\alpha_e \cdot \rho + \frac{\eta^2}{2}}{\alpha_e \cdot \rho + \eta}$

- Moment d'inertie : $I_I = bd^3 [\frac{\eta^3}{3} + \alpha_e . \rho - \upsilon_r^2] (\alpha_e . \rho + \eta)$

- Moment de fissuration : $M_{cr} = \frac{I_I}{h - \upsilon} f_{ctm}$

En section entièrement fissurée, les relations à utiliser sont les suivantes :

- Position de l'axe neutre : $x_r = \frac{x}{d} = \alpha_e . \rho [\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_e \cdot \rho}} - 1]$

- Moment d'inertie : $I_{II} = bd^3 [\frac{x_r^3}{3} + \alpha_e . \rho (1 - x_r)^2]$

6. Prise en compte du fluage selon la norme NF EN1992-1-1

Pour tenir compte du fluage, le module d'élasticité à long terme du béton est pris égal à :

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \quad \text{avec}$$

- E_{cm} : module sécant moyen du béton, donné directement par le tableau 3.1 de la norme NF EN 1992-1-1, en fonction de la classe de résistance du béton considéré ;
- $\varphi(\infty, t_0)$: coefficient de fluage à calculer conformément à la norme NF EN 1992-1-1, soit à partir des courbes de la clause 3.1.4, soit à partir des formules de l'annexe B. Ce coefficient est fonction de plusieurs paramètres, listés au *paragraphe 2* de la présente *annexe*.

7. Exemple : Cas d'une panne précontrainte avec prise en compte de la fissuration

La rotation d'appui active à faire intervenir dans les calculs d'ouverture de joints est la suivante :

$$\omega_A = \frac{l}{3 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{I,II}} (\frac{ql^2}{8} - k_p . F .e' - k_A M_A)$$

avec : $q = k_1 p_1 + k_2 p_2 + k_3 p_3 + k_4 p_4 + k_5 s_1 + k_6 s_2 + k_7 s_3$

Les notations sont les suivantes :

- l : portée de la panne ;
- $E_{c,eff}$: module à long terme du béton, calculé conformément au § 6 ;
- $I_{I,II}$: Inertie en section non fissurée, ou en section entièrement fissurée de la section constitutive de la pièce, selon le type de calcul mené, obtenue par la méthode décrite au § 5 ;
- q : charge fictive équivalente (rapportée à l'unité de longueur de la panne) pour le calcul de la rotation d'appui ;
- *F* : force de précontrainte caractéristique finale (après pertes totales) ;
- e' : excentricité de la précontrainte par rapport à la fibre neutre de la panne ;
- p_1 : poids propre de la panne ;
- p_2 : charge apportée par le système d'étanchéité ;
- p_3 : charge apportée par les dalles en béton cellulaire ;
- p_4 : charge apportée par la protection lourde ;
- s_1 : part quasi-permanente de la charge d'exploitation, au sens de la norme NF EN 1990, c'est-à-dire la charge d'exploitation totale affectée du coefficient ψ_2 donné au tableau A.1.1 de la dite norme ;
- s_2 : part variable de la charge d'exploitation, prise égale à la charge d'exploitation totale affectée du $(1 - \psi_2)$;
- s_3 : charge climatique ;
- M_A : moment de continuité partielle sur l'appui considéré (se référer au § 2.d de la présente *annexe*).
- k_1 à k_7 , k_p et k_A : coefficients, sans dimension, représentant la part de sollicitations produisant la rotation active à prendre en compte. En posant $\delta = \frac{\varphi(\infty, t_0)}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$ (voir le *paragraphe 6* de la présente *annexe*), les valeurs numériques de ces coefficients dans les cas courants sont les suivantes :

k_1	0,5 δ
k_2	δ
k_3	0,75 δ
$k_4 = k_5$	1
$k_6 = k_7$	1 - δ
k_p	0,5 δ
k_A	0 dans le cas d'une travée isolée ; 0,5 si appui de rive d'une travée en continuité sur l'autre appui ; 1,0 si appui voisin d'un appui de rive, en cas de continuité ; 1,5 si appui intermédiaire.

Dossier Technique
établi par le demandeur

A. Description

1. Principe

Le procédé Toiture Hebel est constitué de dalles armées en béton cellulaire autoclavé sans dalle rapportée collaborante. Les dalles peuvent être utilisées dans des bâtiments de toute nature. Elles peuvent être utilisées en toiture plate, inclinée ou courbe.

La pente minimum est supérieure ou égale à 1 % en versant. La pente des noues, si elle existe, est donnée par la charpente ou l'ossature, à l'exclusion de tous renformis. La pente nulle est admise en noues.

Les dispositions du présent Avis Technique :

- Sont valables pour les toitures des bâtiments d'usage courant, hormis celles sur locaux à température contrôlée inférieure à 0 °C, réalisées en France européenne en climat de plaine.
- Visent les toitures suivantes, classées selon leur destination :
  - toitures-terrasses et toitures inclinées inaccessibles, avec aires et chemins de circulation éventuels ;
  - toitures inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique ;
  - terrasses à zones techniques ;
  - terrasses et toitures végétalisées bénéficiant d'un Avis Technique.

Composition de la toiture étanchée

La toiture est composée, sur locaux à hygrométrie moyenne au plus ($\frac{W}{n} \leq 5$ g/m^3), des éléments suivants :

a) Un élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

b) Un isolant thermique complémentaire éventuel bénéficiant d'un Document Technique d'Application, sur pare-vapeur, sauf dans le cas :
   - de plaques de verre cellulaire selon leur Document Technique d'Application,

     et
   - de panneaux de polystyrène extrudé utilisés uniquement en toiture inversée.

c) Un revêtement d'étanchéité :
   - autoprotégé,

   ou
   - placé sous une protection lourde conforme à la norme NF P 84-204-1 (référence DTU 43.1 P1),

   ou
   - placé sous une terrasse et toiture végétalisée avec un procédé de végétalisation titulaire d'un Avis Technique,

   bénéficiant d'un Document Technique d'Application.

2. Identification des dalles

Les dalles sont identifiées par une inscription apposée à l'une de leurs extrémités de façon à pouvoir être lue lorsque la dalle est disposée normalement dans le sens qu'elle occupera en œuvre, comportant les indications suivantes :

- les dimensions de la dalle,
- le code de la dalle,
- le numéro de commande,
- la qualité du béton,
- l'usine productrice,
- la charge totale prévue à supporter à l'exception du poids propre.

3. Définition des matériaux

3.1 Béton cellulaire autoclavé

Se reporter au *tableau 1* ci-dessous.

Tableau 1 – Résistance caractéristique à la compression (béton à l'état sec)

ρ (kg / m^3)	f_{ck} (MPa)
400	2
500	3
600	4

avec :

ρ : masse volumique sèche,

f_{ck} : résistance caractéristique à la compression.

3.2 Armatures

Acier rond et lisse soudable, étiré, de limite élastique garantie 500 MPa.

Les diamètres nominaux après étirage des barres utilisées sont, en mm :

4,6 - 5,2 - 5,5 - 5,6 - 6,0 - 6,5 - 7,0 - 7,5 - 8,0 - 8,5 - 9,0 et 10,0.

3.3 Matériau de calfeutrement

Le calfeutrement à l'extrémité des dalles est réalisé à l'aide d'un matériau manufacturé d'épaisseur ≥ 20 mm, compressible et imputrescible, en bande ou découpé à partir de panneaux rigides.

Les documents particuliers du marché (DPM) indiquent, à destination du lot Gros-œuvre (ou Charpente), les caractéristiques à retenir pour le matériau de calfeutrement :

- Pour le calfeutrement à l'extrémité des dalles, selon l'exemple des *figures 8 - 14 - 18 - 23* ;
- Pour le calfeutrement du vide des joints de dilatation, selon l'exemple des *figures 19 - 20 ;*

telles que :

- des caractéristiques mécaniques (compression, …),
- un critère de réaction au feu particulier,
- une caractéristique thermique et/ou acoustique.

Remarque

La présence d'un matériau de calfeutrement à l'extrémité des dalles avec relief en costière métallique, entraîne l'emploi de panneaux supports isolants en plaques de verre cellulaire - de laine de verre ou de laine de roche, cf. le § 11.2 du Dossier Technique.

3.4 Longueurs maximums des dalles en fonction de la charge

Les longueurs maximales des dalles dépendent de l'épaisseur et des charges d'exploitation, des charges de capacité maximale en eau (C.M.E.) indiquées dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation des terrasses et toitures végétalisées, et charges permanentes indiquées dans les documents particuliers du marché (DPM).

Le service technique de Xella BE nv est à la disposition des utilisateurs de la façon suivante :

- En cas de bâtiments d'habitations : le bureau d'études se trouve à Saint-Savin, dans l'Isère (tél. 04 74 28 90 15) ;
- En cas de bâtiments industriels : le bureau d'études se trouve à Burcht, en Belgique (tél. 00 32 3 250 47 70).

4. Description des éléments des dalles

4.1 Les dalles : éléments courants

Dimensions des dalles :

- Largeur :
  - 60 cm (usine de Burcht),
  - 60, 62,5 et 75 cm (usines d'Alzenau et de Landgraaf).
- Épaisseur de 10,0 à 36,5 cm.
- Longueur :
  - 600 cm (usine de Burcht),
  - 650 cm (usine d'Alzenau),
  - 675 cm (usine de Landgraaf).

Les flancs longitudinaux des dalles sont munis d'un profil SYMÉTRIQUE (remplissage de microbéton) « RAC » (cf. *figure 1*). Les dalles de béton Toiture Hebel peuvent entrer dans le contreventement de la toiture.

Le poids des dalles à prendre en compte dans les calculs de l'ouvrage support est donné dans le *tableau 2* ci-dessous : les valeurs indiquées correspondant à une teneur en eau normale à l'équilibre et un pourcentage moyen d'armature.

Tableau 2 – Poids des dalles à prendre en compte dans les calculs (kN/m²)

Épaisseurs (mm)	M_{vn} 400	M_{vn} 500	M_{vn} 600
100			0,74
125			0,93
150		0,96	1,11
175		1,12	1,30
200	1,08	1,28	1,48
225	1,21	1,44	1,66
240	1,30	1,54	1,77
250	1,35	1,60	1,85
300	1,62	1,92	2,22
365	1,97	2,34	2,70

Percements : des percements sont possibles sur chantier, en accord avec le service technique de Xella BE nv, dans les éléments courants dans la mesure où ils n'affectent en aucun cas l'intégrité et la conservation des armatures.

4.2 Éléments spéciaux

Des éléments présentant les particularités ci-après peuvent être fabriqués à la demande.

4.21 Dalles de largeur inférieure à 60 cm, 62,5 cm ou 75 cm

Ces dalles servent à ajuster la largeur des toitures non modulées en 60 cm, 62,5 cm ou 75 cm. La largeur minimale est de 30 cm (cf. *figure 2*).

Dalles avec une largeur non-standard sont pourvus d'un profil que sur d'un côté longitudinale des dalles. L'autre côté est lisse.

4.22 Dalles comportant des trous et des échancrures latérales

L'armature des dalles peut être renforcée et disposée de manière à rendre possible le perçage de trous dans l'axe longitudinal des dalles (cf. *figure 3*).

Le diamètre du trou sera limité à 200 mm pour les éléments de largeur 60 cm et à 250 mm pour les éléments de largeur 75 cm. Il en va de même pour les découpes rectangulaires.

4.23 Dalles renforcées pour trémies

Suivant l'importance de l'ouverture à réaliser dans la toiture, les dalles juxtaposées peuvent être renforcées (ouverture correspondante à une dalle).

Dans le cas contraire il y aura lieu d'utiliser un chevêtre (cf. *figures 4 et 5*), cf. § 8.4 ci-après.

4.24 Dalles en porte-à-faux

Dans le sens longitudinal, le porte-à-faux sera limité à L/5, *L* désignant la longueur de la dalle, et dans le sens transversal à l/3 avec *l* désignant la largeur (cf. *figures 6*).

Pour des porte-à-faux plus importants, il y aura lieu de prévoir un dispositif de soutien.

4.25 Coupe en oblique

L'angle de coupe doit rester inférieur ou égal à 45° (cf. *figure 7*).

4.3 Accessoires de fixations et de clavetage (non fournis)

- **Fers plats galvanisés**, percés d'une lumière, soudés sur charpentes métalliques ou fixés par tirefonage sur charpentes en bois lamellé-collé.
- **Crochets galvanisés** accrochés à la semelle du profilé métallique (variable suivant épaisseur de la dalle).
- **Aciers ronds** pour béton armé dans les joints entre dalles.
- **Fers plats** 50 × 5 mm galvanisés pour chevêtres.
- **Clous spéciaux à tête plate**, en acier zingué de 100 mm de longueur (pour chevêtres, relevés, costières, ...) avec rondelles de répartition.
- **RAIL HALFEN de type 38/17** soudé (charpente métallique) ou coulé dans le support (charpente béton).
- **Fixations galvanisées 6D Structure métallique** :
  - charge admissible en M_{vn} 400 : 81 kg,
  - charge admissible en M_{vn} 500 : 96 kg,
  - charge admissible en M_{vn} 600 : 149 kg.
- **Fixations Inox KREMO 3 Structure métallique** :
  - charge admissible en M_{vn} 400 : 74 kg,
  - charge admissible en M_{vn} 500 : 153 kg,
  - charge admissible en M_{vn} 600 : 191 kg.
- **Fixations Inox KREMO 4 Structure Béton** :
  - charge admissible en M_{vn} 400 : 81 kg,
  - charge admissible en M_{vn} 500 : 96 kg,
  - charge admissible en M_{vn} 600 : 111 kg.

5. Descriptions des complexes d'étanchéité pour toitures

5.1 Pontages des joints entre dalles

La composition et la mise en œuvre des bandes de pontage sont faites selon le *tableau A,1* de l'*Annexe A* du Dossier Technique, ou selon le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité revendiquant son emploi sur support ou élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

5.2 Pare-vapeur

Dans le cas de panneaux isolants supports d'un revêtement d'étanchéité, un dispositif pare-vapeur bitumineux ou synthétique (§ 9.23 du Dossier Technique) doit être prévu.

La composition et la mise en œuvre des pare-vapeur bitumineux sont faites selon le *tableau 3* en haut de la page suivante, ou selon le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité revendiquant son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

Le Document Technique d'Application des plaques de verre cellulaire indique les cas où ce pare-vapeur n'est pas indispensable.

Les isolants de polystyrène extrudé pour toiture inversée ne nécessitent pas d'écran pare-vapeur.

Cas des reliefs en blocs de béton cellulaire autoclavé

Dans le cas d'un support isolant placé sous le revêtement d'étanchéité et lorsque le relief est en maçonnerie de blocs de béton cellulaire autoclavé, la continuité du pare-vapeur et des relevés doit être assurée de la façon suivante :

a) Cas d'un revêtement d'étanchéité à base d'asphalte ou bitumineux :

Une équerre bitumineuse (§ 9.24 du Dossier Technique) avec talon de 6 cm au minimum avec aile verticale dépassant d'une hauteur minimum de 6 cm le nu supérieur de l'isolant de partie courante, est soudée à plein horizontalement sur le pare-vapeur et verticalement, soit verticalement sur un relief non isolé (cf. *figure 32 a*), soit sur le panneau isolant vertical sur un relief isolé thermiquement (cf. *figure 32 b*).

Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité peut prévoir d'autres dispositions.

b) Cas d'un revêtement d'étanchéité synthétique :

La continuité du pare-vapeur sur les relevés est réalisée conformément au Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité synthétique (cf. l'exemple de la *figure 35*).

Tableau 3 – Constitution des écrans pare-vapeur bitumineux pour toitures avec dalles de Toiture Hebel

Hygrométrie des locaux	Pare-vapeur avec EAC sous protection lourde ou revêtement apparent	Pare-vapeur sans EAC sous protection lourde	Pare-vapeur sans EAC sous revêtement apparent
Cas courant (1)	Soit : EIF + feutre bitumé perforé (2) + EAC + BE 25 VV 50 faces grésées	Soit : EIF + écran perforé (2) + BE 25 VV 50 sous-face filmée, soudé en plein	Soit : EIF + écran perforé (2) + BE 25 VV 50 sous-face filmée, soudé en plein
	Soit : EIF + feutre bitumé perforé (2) + EAC refroidi + bitume élastomérique 35 Alu sous-face filmée, soudé en plein	Soit : BE 25 VV 50 sous-face grésée collé par plots de colle à froid (3), joints soudés	Soit : BE 25 VV 50 sous-face grésée collé par plots de colle à froid (3) (4), joints soudés
	Soit toute autre solution prévue dans le DTA du revêtement d'étanchéité	Soit toute autre solution prévue dans le DTA du revêtement d'étanchéité	Soit toute autre solution prévue dans le DTA du revêtement d'étanchéité

(1) Par cas courant, on entend les planchers hauts des locaux à faible ou moyenne hygrométrie.

(2) En périphérie et autour des émergences, le pare-vapeur est rendu adhérent sur une largeur de 0,50 m minimum par interruption du feutre bitumé perforé ou de l'écran perforé.

(3) Répartition et consommation de colle à froid selon le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.

(4) Dans les limites de pente et de dépressions au vent extrême du Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.

5.3 Support isolant éventuel

La composition et la mise en œuvre des panneaux isolants (§ 9.3 du Dossier Technique) sont faites selon le Document Technique d'Application des panneaux isolants revendiquant leur emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, sauf pour les panneaux de liège aggloméré expansé pur conformes à la norme NF B 57-054.

5.31 Cas des panneaux fixés mécaniquement

Sous un revêtement d'étanchéité autoprotégé, mis en œuvre en semi-adhérence ou en pleine adhérence, la répartition des attelages de fixation mécanique des panneaux isolants est faite selon :

- Soit le tableau 3 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1) avec des attelages de fixation mécanique de $R_{ns} \geq 900$ N déterminée selon le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Résistance au vent des isolants, supports de systèmes d'étanchéité de toitures » (*e-Cahier du CSTB* 3564 de juin 2006) :
  - en travaux neufs, selon la fiche technique de l'attelage : fixation de $Pk_{ft} \geq 1\,000$ N,
  - en travaux de réfections sur des anciennes dalles : fixation de $Pk_{réel} \geq 1\,286$ N, le $Pk_{réel}$ étant déterminé conformément à l'Annexe 4 du CPT Commun de l'*e-Cahier du CSTB* 3564 de juin 2006 (pour mémoire : $R_{ns} = 0{,}7 \times Pk_{réel}$).
- Soit selon le Document Technique d'Application des panneaux isolants.

5.32 Cas particuliers

a) Le domaine d'emploi des panneaux de liège normalisé est limité aux toitures inaccessibles, et aux terrasses à zones techniques, dont la somme des charges permanentes et d'exploitation ne dépasse pas 4,5 kN/m^2.

L'épaisseur maximum de la couche isolante en panneaux de liège est de 80 mm.

Les panneaux de liège sont mis en œuvre à l'EAC conformément au paragraphe 6.4.3 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1).

b) Sur panneaux isolants de compression à 10 % de déformation inférieure à 100 kPa (norme NF EN 826), les attelages de fixation mécanique sont dits solides au pas (cf. § 9.43c du Dossier Technique).

c) Les panneaux isolants sont de la Classe de compressibilité C (Guide UEAtc) :

- Sur les terrasses à zones techniques ;
- Sur les toitures inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples ;
- Dans les chéneaux ;
- Sur les terrasses et toitures végétalisées.

5.4 Revêtement d'étanchéité des parties courantes

La composition et la mise en œuvre du revêtement d'étanchéité (§ 9.1 du Dossier Technique) sont réalisées de la façon suivante :

5.41 Revêtement d'étanchéité mis en œuvre directement sur les dalles supports

5.411 Revêtement à base d'asphalte traditionnel

Cf. *tableau 4* en en haut de la page suivante.

Le revêtement d'étanchéité en asphalte traditionnel reçoit une protection meuble, sauf dans le cas des terrasses végétalisées (TTV). Le revêtement en asphalte traditionnel est exclu en système apparent sur support en dalles du procédé Toiture Hebel.

La pente du support est comprise entre 1 et 3 % (limites incluses). Le revêtement appliqué en partie courante et dans les noues est identique.

Les complexes d'étanchéité décrits ci-dessous sont conformes au tableau 5 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1) :

- Toitures inaccessibles, partie courante et chemins ou aires de circulation : revêtement 5 + 15 ;
- Terrasses à zones techniques : revêtement 5 + 15 ou 5 + 20 ;
- Terrasses végétalisées (TTV) : revêtement 5 + 15 + 20, ou 5 + 20 ou 15 + 25.

Ils peuvent également recevoir une isolation inversée, toujours sous une protection rapportée, dans les conditions du Document Technique d'Application des panneaux isolants de polystyrène extrudé visant leur emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

5.412 Autres revêtements à base d'asphalte

La composition et la mise en œuvre du revêtement en asphalte non traditionnel, ou mixte sous asphalte, sont faites selon :

L'Avis Technique des revêtements revendiquant leur emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, complété par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.413 Revêtements en feuilles bitumineuses

La composition et la mise en œuvre des revêtements bitumineux sont faites selon :

Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité bitumineux revendiquant son emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, complété par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.414 Revêtements en membrane synthétique

La composition et la mise en œuvre du revêtement synthétique sont faites selon :

- Le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Étanchéité de toitures par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatible avec le bitume » (*Fascicule du CSTB* 3502 d'avril 2004) ;
- Le Document Technique d'Application des revêtements synthétiques revendiquant leur emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ;

complétés par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

Tableau 4 – Cadre d'utilisation des dalles de Toiture Hebel en toitures-terrasses avec un revêtement en asphalte traditionnel

Support direct du revêtement d'étanchéité	**Revêtement d'étanchéité en asphalte traditionnel + protection rapportée** (1)		
	Toiture-terrasse inaccessible 1 % ≤ pente ≤ 3 %	**Terrasse à zone technique** 1 % ≤ pente ≤ 3 %	**Terrasse végétalisée (TTV)** 1 % ≤ pente ≤ 3 %
- Dalles de dalles cellulaire armé (2)	EdsF + AP1 + AS1	EdsF + AP1 + AS1 ou Edsf + AP5 + AG5	EdsF + AP1 + AS1 + double kraft ou EdsF + AG1 ou Edsf + AP5 + AG5 ou EdsF + AS2 + grille de verre + AG2
- Isolant support (3)	EdsF (4) + AP1 + AS1	EdsF (4) + AP1 + AS1 ou Edsf (4) + AP5 + AG5	EdsF (4) + AP1 + AS1 + double kraft ou EdsF + AG1 ou Edsf + AP5 + AG5 ou EdsF (4) + AS2 + grille de verre + AG2

(1) La protection rapportée n'est pas en asphalte.

(2) Des panneaux de polystyrène extrudé peuvent être mis en œuvre au-dessus de l'asphalte, sous la protection lourde, conformément aux dispositions de leur Document Technique d'Application visant les toitures inversées sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

(3) Panneaux isolants compatibles avec l'asphalte traditionnel, dont le Document Technique d'Application vise la destination d'emploi des toitures.

(4) L'EdsF peut être remplacé par une double couche de papier kraft.

5.42 Revêtement d'étanchéité sur un support de panneaux isolants ou avec un isolant inversé

La composition et la mise en œuvre du revêtement d'étanchéité sont faites selon :

- Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité ;
- Le Document Technique d'Application des revêtements synthétiques, et du Cahier des Prescriptions Techniques communes « Étanchéité de toitures par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatible avec le bitume » (*Fascicule du CSTB* 3502 d'avril 2004) ;
- Le Document Technique d'Application des panneaux supports isolants ;
- Le Document Technique d'Application des panneaux isolants inversés ;

revendiquant pour chacun d'entre eux, son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, et complétés par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.5 Ouvrages annexes

5.51 Étanchéité des reliefs : relevés

5.511 Reliefs

Les dispositions sont celles du paragraphe 7.1.1 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1), complétées par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.512 Isolation thermique éventuelle des reliefs

a) Cas des isolants surfacés bitume :

Les dispositions sont celles du paragraphe 7.1.2 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1). Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité, revendiquant son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, peut prévoir d'autres dispositions.

b) Cas des autres isolants :

La composition et la mise en œuvre des panneaux isolants sont faites selon :

- Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité revendiquant son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ;
- Le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Étanchéité de toitures par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatible avec le bitume » (*Fascicule du CSTB* 3502 d'avril 2004).

c) Cas particulier des terrasses et toitures végétalisées :

En terrasses et toitures végétalisées, dans le cas où une isolation thermique est requise en relevés, elle sera mise en œuvre selon la technique de la toiture inversée ou selon le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.

5.513 Relevés

a) Cas des revêtements d'étanchéité adhérents sur les relevés :

Les dispositions sont celles du paragraphe 7.1.3 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1). Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité, revendiquant son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, peut prévoir d'autres dispositions.

Pour les terrasses végétalisées établies sur un revêtement à base d'asphalte traditionnel, les dispositions sont celles du paragraphe 7.1.3.2.3 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1) complétées par l'Avis Technique du procédé de végétalisation des terrasses et toitures végétalisées.

b) Cas des autres revêtements sur les relevés :

La composition et la mise en œuvre des revêtements d'étanchéité sont faites selon :

- Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité revendiquant son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ;
- Le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Étanchéité de toitures par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatible avec le bitume » (*Fascicule du CSTB* 3502 d'avril 2004) ;

complétés par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.52 Ouvrages annexes

Les autres ouvrages, rives sans acrotères - bandes de rives insérées - joints de dilatation - ouvrages ne recouvrant pas de locaux - couronnements (de murs, dessus d'acrotères …) - évacuations d'eaux pluviales - traversées et pénétrations etc., sont réalisés conformément aux dispositions :

- De la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1) ;
- Du paragraphe 8 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1) ;
- Du Cahier des Prescriptions Techniques communes « Étanchéité de toitures par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatible avec le bitume » (*Fascicule du CSTB* 3502 d'avril 2004) ;

complétés par le Document Technique d'Application des revêtements d'étanchéité, et l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.6 Protection éventuelle du revêtement d'étanchéité

La protection rapportée est obligatoire dans les cas suivants :

- Au-dessus d'un revêtement en asphalte traditionnel à destination des toitures-terrasses inaccessibles et des terrasses à zones techniques ;
- Au-dessus d'un revêtement indépendant en feuilles bitumineuses ou en membrane synthétique ;
- Pour les toitures-terrasses avec une isolation inversée.

Les relevés d'étanchéité ne nécessitent pas de protection dure.

5.61 Revêtement à base d'asphalte traditionnel

a) Cas général :

- Toitures inaccessibles et aires et chemins de circulation :

  Les dispositions sont celles du paragraphe 6.6.3.1.2 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1) ;

- Terrasses techniques ou à zones techniques :

  Les dispositions sont celles du paragraphe 6.6.3.2.1.3 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1-1).

Cas particulier de la toiture inversée

Les dispositions sont celles des paragraphes 6.6.4.1 et 6.6.4.2 de la norme NF P 84-204-1-1 (référence DTU 43.1 P1), complétées par celles du Document Technique d'Application des panneaux isolants de polystyrène extrudé visant leur emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

b) Cas des terrasses végétalisées (TTV) :

La protection végétalisée, sur couches drainante et filtrante, est conforme à l'Avis Technique du procédé de végétalisation visant son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

Cas particulier de la toiture végétalisée

La protection végétalisée, avec couches drainante et filtrante, est réalisée conformément aux dispositions du Document Technique d'Application des panneaux isolants de polystyrène extrudé, et de l'Avis Technique du procédé de végétalisation, visant tous deux l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

5.62 Autres revêtements d'étanchéité

5.621 Autres revêtements à base d'asphalte

La composition et la mise en œuvre de la protection rapportée au-dessus du revêtement en asphalte non traditionnel, ou mixte sous asphalte, sont faites selon :

L'Avis Technique des revêtements revendiquant leur emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, complété par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.622 Revêtements en feuilles bitumineuses

La composition et la mise en œuvre de la protection rapportée au-dessus des revêtements bitumineux sont faites selon :

Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité bitumineux revendiquant son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé, complété par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

5.623 Revêtements en membrane synthétique

La composition et la mise en œuvre de la protection rapportée au-dessus du revêtement synthétique sont faites selon :

- Le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Étanchéité de toitures par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatible avec le bitume » (*Fascicule du CSTB* 3502 d'avril 2004) ;
- Le Document Technique d'Application des revêtements synthétiques revendiquant leur emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ;

complétés par l'Avis Technique du procédé de végétalisation dans le cas des terrasses et toitures végétalisées.

6. Fabrication des dalles de Toiture Hebel

6.1 Préparation du béton cellulaire

Cette préparation comprend les phases suivantes :

- Broyage du sable au broyeur à boulets par voie humide ;
- Addition de la chaux, du ciment et de boues de recyclage ;
- Malaxage du mélange et incorporation de la poudre d'aluminium ;
- Mise en place des armatures dans les moules ;
- Coulage de la pâte dans les moules ;
- Levée de la pâte pendant environ ½ heure et durcissement dans le moule pendant 2 à 3 heures environ.

a) Pour l'usine de Burcht (Belgique) :

- Ouverture du moule, rotation de 90° et transport sur la paroi latérale de celui-ci ;
- Découpage des éléments au fil dans le sens longitudinal puis dans le sens transversal, réalisation des rainures et languettes ; marquage sur une extrémité des dalles ;
- Autoclavage à 190 °C sous 10,5 à 12 atmosphères pendant environ 10 heures.

b) Pour Alzenau (Allemagne) :

- Ouverture du moule et découpage au fil dans le sens transversal puis dans le sens longitudinal des dalles, réalisation des rainures et languettes ; marquage sur une extrémité des dalles ;
- Autoclavage à 190 °C sous 10,5 à 12 atmosphères pendant environ 10 heures.

c) Pour Landgraaf (Pays-Bas) :

- Ouverture du moule et découpage au fil dans le sens transversal puis dans le sens longitudinal des dalles ; marquage sur une extrémité des dalles ;
- Autoclavage à 190 °C sous 10,5 à 12 atmosphères pendant environ 10 heures ;
- Réalisation des rainures et languettes sur produit autoclavé.

6.2 Préparation des armatures

L'armature est constituée par une cage d'armature qui comporte des fers ronds longitudinaux soudés électriquement par points à des fers transversaux, à raison de deux en partie supérieure et en nombre variable en partie inférieure. La protection contre la corrosion est obtenue par trempage dans un bain de latex-aqueux. L'épaisseur de la couche de protection est comprise entre 30 µm et 80 µm.

La longueur des armatures est égale à celle de la dalle, diminuée de 40 mm pour l'usine de Burcht.

6.3 Conditionnement de stockage et manutention

Les dalles sont regroupées en principe par paquets, enveloppés le cas échéant par une housse plastique, cerclés puis stockés sur parc en plein air ou sous abri.

Toutes les précautions doivent être prises lors des opérations de manutention, de stockage et de mise en œuvre des dalles, pour éviter toutes épaufrures. À cet effet, il y a lieu d'utiliser les pinces adéquates.

6.4 Contrôle de fabrication

Les différentes étapes de la fabrication subissent un autocontrôle du fabricant et un suivi de ce contrôle dans le cadre de la certification CSTBat.

6.5 Transport et manutention

Le transport des paquets s'effectue par chariot élévateur à fourche.

7. Mise en œuvre des dalles, généralités

La mise en œuvre doit être effectuée en suivant les repères portés sur le plan de calepinage. Elle ne peut s'effectuer qu'à l'aide de pinces adéquates.

Les joints longitudinaux et/ou transversaux des dalles SYMÉTRIQUE (Rainures-À-Couler) (RAC) sont remplis de microbéton dosé à 350 kg/m^3 de ciment.

Condition préalable à la pose

Une vérification de la position du point de rosée dans le complexe complet de la toiture devra être effectuée, en fonction des conditions hygrothermiques des locaux sous toitures, de la résistance thermique utile des dalles prenant en compte les ponts thermiques des joints entre dalles (cf. § 10 du Dossier Technique), et de la résistance thermique utile des panneaux isolants lorsqu'ils existent.

Cette vérification est réalisée à l'investigation du maître d'ouvrage assisté de son maître d'œuvre.

7.1 Pose sur charpente métallique

7.11 Généralités

La toiture en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ne participe pas à la stabilité, ni au déversement des poutres supports, ni au contreventement de l'ouvrage.

Il n'existe donc que des nervures en béton armé coulées dans une seule direction (joints latéraux entre dalles avec le profil de type SYMÉTRIQUE - RAC). Elles sont liées de façon efficace aux poutres supports au moyen de dispositifs décrits ci-dessous.

Les liaisons ainsi créées ont pour fonction de s'opposer aux efforts d'arrachement éventuels dus au vent et au glissement relatif des dalles sur la charpente.

L'appui minimum des dalles sur la charpente est de 60 mm.

Les dalles sont mises en place soit parallèlement, soit perpendiculairement à la ligne de plus grande pente de la toiture.

7.12 Liaisons et ancrages des dalles courantes

7.121 Liaison par plats métalliques

Des plats métalliques soudés de 70 × 3 mm de section minimale sont utilisés pour assurer la liaison entre la toiture et la charpente. Ils doivent être protégés contre la corrosion par galvanisation, cadmiage ou peinture bitumineuse.

Ils sont percés d'un trou oblong et sont implantés soit dans l'axe des poutres et dans celui de chacun des joints latéraux entre dalles (cf. *figures 8*) ou désaxés (posés en oblique) (cf. *figures 9*).

Un acier filant, de diamètre 6 ou 8 mm est disposé dans chacun des joints latéraux entre dalles, passe dans la lumière des plats ou sous l'armature longitudinale.

7.122 Liaison par fixations 6D ou KREMO 3

La liaison des dalles de toiture à la charpente peut être assurée soit par une fixation 6D (cf. *figure 11*) clouée sur le côté de la dalle ou une fixation KREMO 3 (cf. *figure 12*). Dans ce cas, la fixation reste visible.

La dalle doit être décapée au droit de la fixation.

7.123 Liaison avec RAIL HALFEN et KREMO 4

La liaison des dalles de toiture à la charpente peut être assurée par des morceaux de RAIL HALFEN 38/17 de 20 cm soudés sur le profil métallique. La dalle est attachée au rail *via* une fixation KREMO 4 (cf. *figures 13*). La fixation est invisible.

La dalle doit être décapée au droit de la fixation.

Le RAIL HALFEN peut être soudé soit en usine ou sur chantier lors de la pose des dalles.

7.124 Liaisons et ancrages des dalles de rives

Les rangées de dalles en appui sur les poutres de rives sont prolongées jusqu'à la rive extérieure. Un matériau compressible et imputrescible de 20 mm au minimum d'épaisseur est interposé, en rive, entre les dalles de toiture et le bardage. La fourniture et la pose de ce matériau sont au lot Gros-œuvre (ou Charpente).

La liaison de la dalle de toiture à la charpente est réalisée au moyen de fers plats soudés sur celles-ci dans l'axe et noyés dans le microbéton placé dans le puits de 7 × 7 mm ou 10 mm, formé par des encoches pratiquées en rive de dalle. Si la dernière dalle est plus étroite ou présente un porte-à-faux, sa fixation à la charpente sera assurée par une tige filetée de diamètre 8 mm au minimum soudée sur la charpente et d'un fer plat de section 50 × 3 mm, longueur de 100 mm, foré d'un trou de diamètre 9 mm (cf. *figures 14*).

7.2 Pose sur charpente béton

7.21 Généralités

L'appui minimum des dalles sur la charpente est de 60 mm.

7.22 Liaisons et ancrages des dalles courantes

7.221 Liaisons par cavaliers

Les dalles sont enserrées dans un quadrillage de nervures en béton armé coulé *in situ*, liées de façon efficace aux poutres supports au moyen de cavaliers implantés soit dans l'axe des poutres et dans celui de chacun des joints latéraux entre dalles (cf. *figures 15 et 16*) ou désaxés (posés en oblique).

7.222 Liaison par RAIL HALFEN 38/17

La liaison des dalles de toiture à la charpente peut être assurée par l'insertion dans l'axe de la poutre supérieur d'un rail HALFEN 38/17 continu. La dalle est attachée au rail via une fixation inox KREMO 4 (cf. *figures 17*).

7.223 Liaisons et ancrages des dalles de rives

Les rangées de dalles en appui doivent être liaisonnées à celles-ci par une nervure en béton armé de largeur égale à la demi-épaisseur des dalles avec un minimum de 60 mm.

Les aciers filants dans les joints latéraux entre dalles sont recourbés autour des aciers de la nervure ou parallèlement à ceux-ci afin d'obtenir un ancrage suffisant. Un matériau compressible et imputrescible, de minimum 20 mm d'épaisseur minimale est interposé en rive, entre la toiture et le bardage (cf. *figures 18*). La fourniture et la pose de ce matériau est lot du Gros-œuvre (ou Charpente).

7.224 Remplissage des nervures

Les nervures latérales et d'about entre dalles sont remplies de microbéton dosé à 350 kg/m^3. Avant coulage de ce dernier, il convient de nettoyer et d'humidifier les feuillures des dalles.

Le centrage correct des aciers filants dans ces nervures doit être assuré au moyen de cales de positionnement.

En particulier, lorsque les joints des dalles ne comportent pas d'emboîtement pour éviter le cisaillement des joints et le décollement des nervures pendant la prise du microbéton, la circulation sur les toitures fraîchement liaisonnées demande des précautions (circulation au droit des appuis, chemin de planche etc.). Ces précautions doivent être prises pendant au moins trois jours.

7.225 Contreventement

Les dispositions définies aux *paragraphes* ci-dessus restent valables dans leur principe mais, dans ce cas, le quadrillage de béton armé ainsi que les dispositifs d'ancrage doivent être déterminés pour chaque réalisation en fonction des efforts à reprendre et déterminés par un bureau d'études béton.

7.226 Joint de dilatation

Les joints de dilatation de la toiture coïncident avec ceux de la structure.

Deux cas sont à considérer :

a) La structure comporte deux files de poutres situées de part et d'autre du joint de dilatation.

   Les toitures reposant sur chacune des files de poutres sont solidarisées avec celles-ci suivant les dispositions définies ci-dessus.

   Les joints saillants courants en toitures sont de dimensions conformes à celles de la norme NF P 10-203-1-1 (référence DTU 20.12 P1-1) (cf. *figures 19*).

b) La structure ne comporte qu'une file de poutres au droit du joint de dilatation.

   Les toitures s'appuyant sur la file de poutres sont (cf. *figures 20*) :

   - d'un côté du joint de dilatation, solidarisées avec la file de poutres suivant les dispositions définies ci-dessus,
   - de l'autre côté du joint de dilatation, désolidarisées de la file de poutres par une couche de glissement et maintenues :

     par butée métallique partielle, galvanisée à 40 µm, ancrée dans la nervure en béton armé et prenant appui en partie supérieure de toiture. La partie latérale de la butée est munie d'un plat métallique muni d'u trou oblong permettant le passage de l'armature.

   Les joints saillants courants en toitures sont réalisés suivant les paragraphes 7.4.3.3.1 et 7.4.3.3.2 de la norme NF P 10-203-1-1 (référence DTU 20.12 P1-1).

7.3 Pose sur charpente bois lamellé-collé

7.31 Généralités

La toiture en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ne participe pas à la stabilité, au déversement des poutres supports, ni au contreventement de l'ouvrage.

Il n'existe donc que des nervures en béton armé coulées dans une seule direction (joints latéraux entre dalles avec le profil de type SYMÉTRIQUE - RAC), liées de façon efficace aux poutres supports au moyen de fers plats ou autres dispositifs comme décrits ci-dessous.

Les liaisons ainsi créées ont pour fonction de s'opposer aux efforts d'arrachement éventuels dus au vent et au glissement relatif des dalles sur la charpente.

L'appui minimum des dalles sur la charpente est de 60 mm.

Les dalles sont mises en place soit parallèlement, soit perpendiculairement à la ligne de plus grande pente de la toiture.

7.32 Liaisons et ancrages des dalles courantes

7.321 Liaison par plats métalliques

Des plats métalliques tirefonés de 70 × 3 mm de section minimum sont utilisés pour assurer la liaison entre la toiture et la charpente. Ils doivent être protégés contre la corrosion par galvanisation, cadmiage ou peinture bitumineuse.

Ils sont percés d'un trou oblong et sont implantés soit dans l'axe des poutres et dans celui de chacun des joints latéraux entre dalles ou désaxés (posés en oblique) (cf. *figures 21*).

Un acier filant de diamètre 6 ou 8 mm, disposé dans chacun des joints latéraux entre dalles, passe dans la lumière des plats ou sous l'armature longitudinale (elle même passant par le trou oblong des plats).

7.322 Liaison avec RAIL HALFEN 38/17

La liaison des dalles de toiture à la charpente peut être assurée par des morceaux de rail HALFEN 38/17 de 20 cm tirefonés. La dalle est attachée au rail via une fixation inox KREMO 4 (cf. *figures 22*).

7.323 Liaisons et ancrages des dalles de rives

Les rangées de dalles en appui sur les poutres de rives sont prolongées jusqu'à la rive extérieure. Un matériau compressible et imputrescible de 20 mm minimum d'épaisseur est interposé, en rive, entre les dalles de toiture et le bardage. La fourniture et la pose de ce matériau est au lot Gros-œuvre (ou Charpente).

La liaison de la dalle de toiture, ou de couverture, à la charpente est assurée par une tige filetée de 8 mm minimum de diamètre tirefonée sur la charpente et d'un fer plat de section 50 × 3 mm, longueur de 100 mm, foré d'un trou de 9 mm (cf. *figure 23*).

7.4 Reliefs supports de relevés d'étanchéité

7.41 Forme des reliefs

Ils doivent comporter à leur partie supérieure un ouvrage étanche qui écarte l'eau ruisselant sur les éléments placés au-dessus d'eux afin d'éviter l'introduction d'eau derrière le relevé d'étanchéité. Le rejet d'eau recouvre d'au moins 40 mm la partie haute du relevé d'étanchéité (cf. le tableau 1 de la norme NF P 10-203-1-1, référence DTU 20.12 P1-1).

7.42 Dispositions générales concernant les hauteurs minimums

La hauteur minimum des reliefs revêtus d'étanchéité est de 100 mm au-dessus de la protection des parties courantes ou d'un revêtement autoprotégé. Dans le cas des terrasses et toitures végétalisées, elle est celle indiquée dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

Cette hauteur est portée à 150 mm dans le cas des reliefs situés en bas de rampants de pente ≤ 20 % et 25 cm dans le cas de pente > 20 %.

7.5 Reliefs

7.51 Nomenclature

Les reliefs comprennent selon la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1) :

- Les acrotères bas, dont la hauteur au-dessus de la protection de l'étanchéité ne dépasse pas 300 mm ;
- Les costières ou murets :
  - soit en bordure de la toiture le long d'un joint de gros-œuvre,
  - soit le long d'une émergence,
  - soit autour d'une trémie (lanterneau etc.) ;
- Les souches et murs de locaux divers ;
- Les canalisations et massifs ;
- Les reliefs divers.

7.52 Dispositions communes

7.521 Implantation - dimensionnement

Les dispositions sont celles du paragraphe 7.2.3.1 de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1).

7.522 Principe de réalisation des reliefs

a) Ils sont réalisés en maçonnerie de blocs de béton cellulaire autoclavé, lorsqu'ils sont supportés par les dalles Toiture Hebel.

b) On utilise des costières métalliques fixées mécaniquement aux dalles Toiture Hebel :
   - Costière de lanterneaux ;
   - Costière contre acrotère incorporé à un panneau de façade, ce panneau de façade pouvant être un élément de bardage de béton cellulaire autoclavé ;
   - Costière de joint de dilatation situé en pied de bâtiment, lorsque la façade en élévation est constituée d'un bardage démontable étanche descendant jusqu'au niveau de la protection du revêtement d'étanchéité de la toiture.

Lorsque les documents particuliers du marché (DPM) le prévoient, les reliefs peuvent être revêtus de panneaux isolants.

7.523 Forme des reliefs

Les dispositions sont celles du paragraphe 7.2.3.2.3 de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1).

Tableau 5 – Hauteur des reliefs

Types de toiture	Pente (%)	« H » (mm)
Inaccessibles	de 1 à 5	H ≥ 100
	> 5	H ≥ 100 cas général, et reliefs de noue située en pied de versants : - de pente ≤ 20 % : H ≥ 150 - de pente > 20 % : H ≥ 200
Zones techniques	de 1 à 5	≥ 100
Terrasses et toitures végétalisées	≥ 1	Selon l'Avis Technique du procédé de végétalisation

7.524 Hauteur des reliefs

Les dispositions sont celles du paragraphe 7.2.3.2.4 de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1), y compris pour la hauteur minimum « H » des reliefs rappelée dans le *tableau 5* ci-dessus :

Pour les acrotères préfabriqués associés à un système de gros-œuvre relevant d'un Avis Technique, la hauteur de la costière métallique est celle du paragraphe 7.2.3.2.4 de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1) :

- 150 mm et 200 mm lorsque la costière n'est pas isolée thermiquement ;
- 150 mm et 350 mm lorsque la costière est isolée thermiquement.

7.53 Conception des reliefs

7.531 Reliefs en blocs de béton cellulaire autoclavé

Les reliefs en maçonnerie de blocs de béton cellulaire autoclavé sont supportés par les dalles Toiture Hebel. Les blocs sont collés sur les dalles des parties courantes.

La résistance à la compression des blocs, déterminée suivant les spécifications de la norme NF P 14-306, est supérieure ou égale à 3 MPa.

7.532 Costières métalliques

Les costières métalliques sont fixées mécaniquement au gros-œuvre.

7.5321 Costière de lanterneau

Leur hauteur doit permettre la réalisation d'un relevé d'étanchéité présentant une hauteur « h » minimum conforme à celle rappelée au § 7.524 ci-dessus.

7.5322 Autres costières métalliques

Elles sont en acier galvanisé de classe de galvanisation au moins égale à Z 275 (norme NF EN 10346).

Leur hauteur doit permettre la réalisation d'un relevé d'étanchéité présentant une hauteur « h » minimum de :

- 150 mm dans le cas général ;
- 250 mm dans le cas particulier de reliefs de noue situés en pied de versants de pente > 20 %,

« h » étant la distance verticale entre le dessus de la protection des parties courantes au voisinage du relief et le dispositif écartant les eaux de ruissellement.

Par ailleurs, la hauteur de la costière au-dessus de la protection des parties courantes doit être inférieure :

- 200 mm lorsque la costière n'est pas isolée thermiquement ;
- 350 mm lorsque la costière est isolée thermiquement.

L'épaisseur minimum des costières est à :

- 0,75 mm lorsqu'elles sont de hauteur H ≤ 250 mm ;
- 1 mm pour une hauteur H ≤ 350 mm.

Elles doivent présenter une aile horizontale de largeur minimum de 100 mm.

La longueur des éléments de costière est limitée à :

- 2 m dans le cas des revêtement d'étanchéité en feuilles ;
- 1 m dans le cas de revêtement à base d'asphalte.

7.5323 Mise en œuvre

Les costières sont solidarisées aux dalles du procédé Toiture Hebel et désolidarisées de l'ouvrage adjacent éventuel. Les éléments sont posés avec un recouvrement minimum de 40 mm.

La liaison aux dalles se fait avec des fixations mécaniques, élément de liaison avec vis à pas spécial, destinées au béton cellulaire autoclavé en acier inoxydable austénitique, à raison de 3 fixations par mètre en quinconce.

La résistance caractéristique de ces fixations est déterminée selon le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Résistance au vent des isolants, supports de systèmes d'étanchéité de toitures » (*e-Cahier du CSTB* 3564 de juin 2006) :

- En travaux neufs : fixation de $Pk_{ft} \geq 1\,000$ N ;
- En travaux de réfections sur des anciennes dalles : fixation de $Pk_{réel} \geq 1\,286$ N, le $Pk_{réel}$ étant déterminé conformément à l'Annexe 4 du CPT Commun de l'*e-Cahier du CSTB* 3564 de juin 2006.

Les costières doivent rester désolidarisées de l'ouvrage adjacent éventuel.

Les ailes sont couturées par rivets à expansion en acier d'un diamètre minimum de 4,8 mm. Le couturage comprend au moins un rivet ou vis autoperceuse en tête de costière, l'espacement entre rivets étant au maximum de 200 mm.

8. Utilisations particulières des dalles Toiture Hebel

8.1 Toiture en pente ou courbe

8.11 Toiture en pente

Selon l'importance de la pente et le type de support, il y aura lieu de prévoir des cales d'arrêt afin de diminuer la charge, due au poids et au glissement des dalles, en pied de pente. Le système d'accrochage restera conforme aux points précédents.

8.12 Toiture courbe

Selon l'importance de la courbure de la toiture, il y aura lieu de prévoir un matériau compressible de type néoprène ou autre afin d'assurer un appui continu de la dalle sur le support. Le système d'accrochage restera conforme aux *paragraphes* précédents.

La pente des dalles du procédé Toitures Hebel est de 1 % au minimum ; cette pente peut être placée dans le sens longitudinal de la toiture, lorsque la courbure se trouve dans le sens transversal de la construction.

Il n'y a pas de limite (mini ou maxi) au rayon de la courbure, celui-ci étant défini dans les documents particuliers du marché (DPM) ; un « facettage » de la toiture est admis en fonction de ce rayon. La *figure 24* en fin de Dossier Technique donne un exemple pour une toiture courbe avec un rayon de 1,20 m.

8.2 Terrasses et toitures végétalisées

Les dalles de Toiture Hebel peuvent être utilisées comme support d'un système d'étanchéité avec végétalisation. Dans ce cas, les dalles seront calculées pour les rendre aptes à supporter les charges du complexe de végétalisation. La mise en œuvre du procédé de végétalisation sera conforme à l'Avis Technique du système.

8.3 Toitures inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples

Les dalles de Toiture Hebel peuvent être utilisées, sur toitures inaccessibles, comme support d'un système d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique. La mise en œuvre du procédé d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples sera conforme à l'Avis Technique du système.

8.4 Trémie des lanterneaux

La solution la plus simple consiste à prévoir des lanterneaux ayant la surface d'une ou de plusieurs dalles.

Si la longueur des lanterneaux est inférieure à celle des dalles, on peut envisager l'une des dispositions représentées sur les *figures 4 et 5*.

- La dalle interrompue repose sur un étrier fer plat 5 × 10 mm fixé par clouage aux dalles voisines : l'armature de ces dernières doit être renforcée pour reprendre ces surcharges. Cette solution s'utilise principalement dans les cas de dalles de faible portée et où la largeur du lanterneau correspond à la largeur d'une dalle.
- Deux plats métalliques posés de chant sur les poutres de la structure porteuse et deux cornières soudées à ces plats forment un cadre aux dimensions du lanterneau prévu les dalles interrompues prennent appui sur les cornières. Ce système est valable quelle que soit la portée des dalles. La largeur des ouvertures est alors modulée sur celles des dalles.

Les chevêtres utilisés doivent être protégés de la corrosion.

9. Matériaux pour les complexes de toiture

9.1 Revêtement d'étanchéité de partie courante

a) Asphalte traditionnel pour parties courantes de pente ≤ 3 % :

Les asphaltes sont ceux du paragraphe 5.3.1 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2).

b) Asphalte non traditionnel : revêtement à base d'asphalte dont l'Avis Technique vise favorablement son emploi sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

c) Mixte sous asphalte : revêtement avec feuille bitumineuse et couche à base d'asphalte dont l'Avis Technique vise favorablement son emploi sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

d) Feuilles d'étanchéité manufacturées :

- feuilles bitumineuses relevant de la norme NF EN 13707,
- membranes synthétiques relevant de la norme NF EN 13956,

dont le Document Technique d'Application vise favorablement son emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

Sur terrasses et toitures végétalisées, le revêtement d'étanchéité de partie et des relevés sont résistants à la pénétration des racines.

9.2 Écrans divers et sous-couches

9.21 Écrans d'indépendance

a) Revêtements en asphalte traditionnel :

Les écrans d'indépendance sont ceux du paragraphe 6.1 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2).

b) Autres revêtements d'étanchéité :

Les écrans d'indépendance sont cités dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité visant favorablement leur emploi sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

9.22 Écrans de semi-indépendance

a) Revêtement en asphalte traditionnel :

Les écrans de semi-indépendance sont ceux du paragraphe 6.2 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2).

b) Autres revêtements d'étanchéité :

Les écrans de semi-indépendance sont cités dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité visant favorablement leur emploi sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

9.23 Feuilles pour pare-vapeur

- Feuille de bitume modifié (BE 25 VV 50 mini) relevant de la norme NF EN 13970, épaisseur ≥ 2,5 mm et citée dans un Document Technique d'Application pour un emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ;
- Feuille synthétique relevant de la norme NF EN 13984, et citée dans un Document Technique d'Application pour un emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ;
- Feutre bitumé perforé (36 S VV HR) conforme à la norme NF P 84-313, perforations ∅ 40 mm - densité 120 g/m^2 - la face en contact avec le support est surfacée par une couche de paillettes d'ardoise ou tout autre dispositif anti-adhérent. Le feutre bitumé perforé est cité dans un Document Technique d'Application pour un emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé ;
- Écran perforé, perforations sur 15 % de la surface totale. L'écran perforé est cité dans un Document Technique d'Application pour un emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

9.24 Feuilles préfabriquées pour équerres de renfort, relevés, chéneaux etc.

a) Revêtement en asphalte traditionnel :

Les feuilles sont celles du paragraphe 5.5 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2), et doivent être citées dans un Document Technique d'Application de revêtement d'étanchéité bitumineuse visant favorablement un emploi :

- sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé,

et

- sur un revêtement en asphalte traditionnel de partie courante.

b) Autres revêtements d'étanchéité :

Les feuilles préfabriquées doivent être citées dans un Document Technique d'Application de revêtement d'étanchéité visant favorablement leur emploi sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

Le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité peut prévoir une autre solution d'étanchéité des reliefs, à l'aide d'un système d'étanchéité liquide par exemple.

c) Bande de pontage :

- Lorsque le revêtement d'étanchéité est apparent et comporte une autoprotection minérale ou métallique :

  Bande définie dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité visant l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

- Lorsque le revêtement d'étanchéité reçoit protection meuble :

  - feuille en bitume modifié par SBS type BE 35 à sous-face kraft ou granulés minéraux ou liège, citée dans un Document Technique d'Application de revêtement d'étanchéité visant l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé,
  - ou bande définie dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.

9.25 Matériaux pour protections rapportées éventuelles

a) Revêtement en asphalte traditionnel :

- Les granulats sont ceux du paragraphe 7.1 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2) ;
- Les dalles sont celles du paragraphe 7.2 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2), et les dalles en béton préfabriquées doivent bénéficier de la marque de qualité NF (norme NF EN 1339) ;
- La couche de désolidarisation est choisie parmi celles du paragraphe 7.6 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2), ou du Document Technique d'Application des panneaux isolants de la toiture inversée visant l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé

b) Autres revêtements d'étanchéité pour toitures inaccessibles, et terrasses à zones techniques :

Les matériaux sont ceux définis dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité, ou dans celui des panneaux isolants de la toiture inversée visant l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

c) Terrasses et toitures végétalisées :

La végétalisation, avec couches drainante et filtrante, est définie dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation visant l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

9.3 Matériaux pour l'isolation thermique

- Panneaux à base de liège aggloméré expansé pur conforme aux normes NF EN 13170 et NF B 57-054 ; les panneaux sont conformes au paragraphe 4.1 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2).
- Autres panneaux isolants : les panneaux sont définis dans leur Document Technique d'Application visant leur emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

9.4 Autres matériaux complémentaires

9.41 Enduits

- Enduit d'imprégnation à froid (EIF) : l'EIF est défini dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité visant son emploi sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.
- Enduit d'application à chaud (EAC) :
  - EAC utilisé pour le collage des panneaux isolants de liège normalisé : enduit conforme au paragraphe 3.2 de la norme NF P 84-204-1-2 (référence DTU 43.1 P1-2),
  - autres utilisations : l'EAC est défini dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité et/ou des panneaux isolants supports visant leur emploi sur dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

9.42 Colles à froid

- Pour le collage du pare-vapeur semi-indépendant : la colle mise en œuvre par plots ou cordons, doit être visée favorablement dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité pour un emploi sur élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.
- Pour le collage des panneaux isolants : la colle mise en œuvre par plots ou cordons, doit être visée favorablement dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité ou dans celui des panneaux isolants pour un emploi sur pare-vapeur bitumineux (élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé).
- Pour le collage du revêtement d'étanchéité : la colle mise en œuvre par plots ou cordons, doit être visée favorablement dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité pour un emploi sur support en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

9.43 Attelages de fixation mécanique

a) Pour la fixation des panneaux isolants : les attelages sont conformes au Cahier des Prescriptions Techniques communes « Résistance au vent des isolants, supports de systèmes d'étanchéité de toitures », *e-Cahier du CSTB* 3564 de juin 2006, et au Document Technique d'Application des panneaux isolants.

b) Pour les kits du système en feuilles souples d'étanchéité fixés mécaniquement : les attelages sont définis dans le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité visant son application sur l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé.

c) Les attelages sont dits « solides au pas ». Le terme solide au pas s'applique à un attelage composé d'un élément de liaison et d'une plaquette de répartition servant à assurer la fixation mécanique d'un isolant ou d'un revêtement d'étanchéité sur un support. Cet attelage est muni d'un dispositif permettant d'éviter, en service, le désaffleurement de la tête de l'élément de liaison (par exemple vis) de la partie supérieure de la plaquette de répartition.

Les attelages conformes à la norme NF P 30-317 répondent à cette caractéristique.

10. Détermination de la résistance thermique de la paroi

Les modalités de calcul de « $U_{bât}$ » ou coefficient de déperdition par transmission à travers la paroi-toiture sont données dans les Règles Th-Bât / Th-U.

Pour les calculs il faut prendre en compte :

- la conductivité thermique utile (λ_{UTILE}) du béton cellulaire autoclavé donnée dans le fascicule 2/5 « Matériaux » des Règles Th-U,

  et

- les ponts thermiques des joints entre dalles.

Exemple d'un calcul thermique avec toiture

Hypothèse de la construction de la toiture :

Bâtiment fermé et chauffé situé à Matignon (22) (zone climatique H2). Conformément à la condition préalable du § 7 ci-avant, le maître d'ouvrage a effectué une étude du point de rosée pour le complexe complet de la toiture. La conclusion de cette évaluation des transferts d'humidité est : la résistance thermique des composants situés au-dessus du pare-vapeur doit être supérieure à trois fois celle de la dalle.

Les documents particuliers du marché (DPM) définissent les composants de la toiture :

- l'élément porteur en dalles de béton cellulaire autoclavé armé,
- le système d'étanchéité : le pare-vapeur, le support isolant et le revêtement d'étanchéité.

Tableau d'application de l'exemple		Résistances thermiques avec $Uc = \frac{1}{\Sigma R_{UTILE}}$
- toiture plane avec résistances superficielles (R_{si} + R_{se} = 0,14 m^2.K/W)	$\Rightarrow$	0,140 m^2.K/W
- dalles profil SYMÉTRIQUE (RAC) largeur 0,60 m - épaisseur 150 mm de M_{vn} 500 kg/m^3, et en prenant en compte les ponts thermiques liés aux joints des dalles : R_{UTILE} = 0,79 m^2.K/W - panneau support isolant avec R_{UTILE} = 2,80 m^2.K/W - étanchéité bitumineuse épaisseur 5 mm et pare-vapeur épaisseur 2,5 mm avec R_{UTILE} = 0,002 m^2.K/W	}	3,592 m^2.K/W
Coefficient de transmission surfacique global de la paroi-toiture : Up = 0,27 W/(m^2.K)		

11. Prescriptions particulières relatives aux dalles, au regard du risque d'incendie venant de l'intérieur

Selon l'annexe 3 de l'arrêté du novembre 2002 modifié, le béton cellulaire autoclavé bénéfice du classement conventionnel de réaction au feu M0.

11.1 Cas des dalles isolées thermiquement, sans costière métallique associée à un matériau de calfeutrement d'extrémité

En application des dispositions de l'article AM 8 § 1a modifié par l'arrêté du 6 octobre 2004, l'emploi de produits d'isolation au moins classés A2-s2, d0 (euroclasse) est possible sur les dalles de béton cellulaire autoclavé, sans disposition complémentaire pour le feu intérieur.

Cette disposition est valable pour les isolants :

- en plaques de verre cellulaire,
- de laine de verre, y compris ceux surfacés au bitume,
- de laine de roche, y compris ceux surfacés au bitume,

titulaires, au 28 mars 2011, d'un Document Technique d'Application du Groupe Spécialisé n° 5.

11.11 Bâtiments relevant l'article R 4216-24 du Code du travail, c'est-à-dire dont le plancher bas du dernier niveau est à plus de 8 mètres du sol extérieur

Les supports en dalles de béton cellulaire autoclavé armé revendiqués au Dossier Technique doivent être établis en conformité avec les exemples de solutions prévus par le « Guide de l'isolation thermique par l'intérieur des bâtiments d'habitation du points de vue des risques en cas d'incendie » *Cahier du CSTB* 3231 de juin 2000.

11.12 Toitures des bâtiments d'habitation soumis à l'article 16 de l'arrêté du 31 janvier 1986 modifié

Les supports en dalles de béton cellulaire autoclavé armé revendiqués au Dossier Technique doivent être établis en conformité avec les exemples de solutions prévus par le « Guide de l'isolation thermique par l'intérieur des bâtiments d'habitation du points de vue des risques en cas d'incendie » *Cahier du CSTB* 3231 de juin 2000.

11.13 Cas particulier des Établissements Recevant du Public (ÉRP) au regard du risque d'incendie venant de l'intérieur

Pour les établissements recevant du public, les supports en dalles de béton cellulaire autoclavé armé revendiqués au Dossier Technique doivent assurer l'écran thermique dans les conditions prévues dans le « Guide d'emploi des isolants combustibles dans les Établissements Recevant du Public ».

11.2 Cas des dalles isolées thermiquement, avec costière métallique associée à un matériau de calfeutrement d'extrémité

Lorsqu'il existe un matériau de calfeutrement à l'extrémité des dalles et un relief en costière métallique, selon les *figures 8 - 14 - 18 - 23* par exemple, les seuls isolants admis au-dessus des dalles de Toitures Hebel sont :

- En plaques de verre cellulaire ;
- De laine de verre, y compris ceux surfacés au bitume ;
- De laine de roche, y compris ceux surfacés au bitume ;

titulaires, au 28 mars 2011, d'un Document Technique d'Application du Groupe Spécialisé n° 5.

B. Résultats expérimentaux

En complément du précédent Avis Technique 5+3/02-1659 :

- Étude « Calculs thermiques pour dalles de toiture en béton cellulaire » du CSTB, n° DER/HTO 2007-306-RB/LS du 14 août 2007.
- Étude « Calcul de Toiture Hebel, en dalles de béton cellulaire autoclavé » du CSTB, n° 26039513 d'octobre 2012.
- Essais de résistance à la corrosion selon EN 990 n°05-2-1702-01 (MPA DRESDEN)

C. Références

C1. Données Environnementales et Sanitaires ([6])

Le procédé Toiture Hebel ne fait pas l'objet d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

Les données issues des FDES ont pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les produits (ou procédés) visés sont susceptibles d'être intégrés.

C2. Autres références

Les dalles de Toiture Hebel sont distribuées depuis une cinquantaine d'années en France et en Belgique. Plus de quatre cents mille mètres carrés de dalles Toiture Hebel ont été mises en France et en Belgique depuis 2002.

(6) Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet AVIS.

Annexe A - Pontages, préparation pour l'ouvrage d'étanchéité

Avec ou sans isolation thermique complémentaire, les joints d'about courants entre dalles ainsi que les joints latéraux et d'about de dalles coïncidant avec des joints de la structure support (abouts de poutres discontinues) sont pontés.

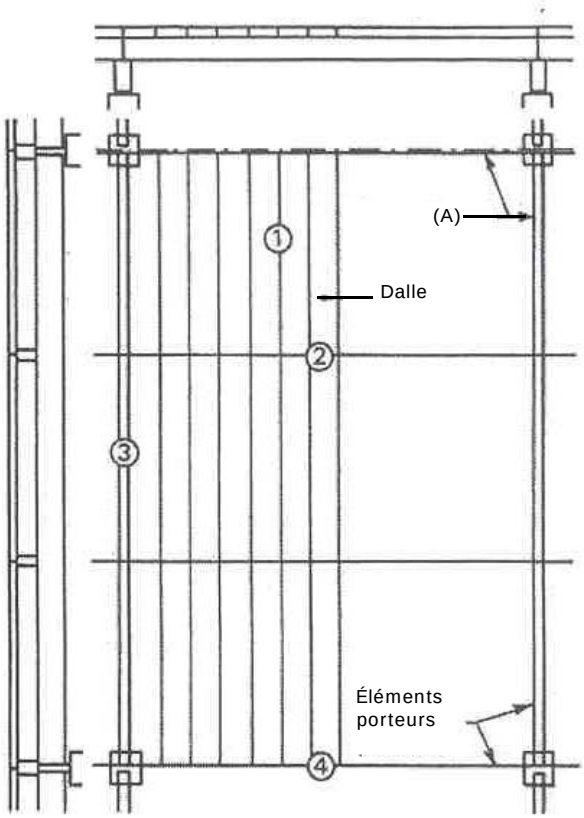
Trois types de pontages sont à utiliser en fonction de la valeur théorique par excès (+) de l'ouverture des joints ; ils sont définis dans le *tableau A,1* ci-dessous et les *figures A,1 et A,3* ci-après.

Les pontages sont fixés d'un côté sur les dalles au moyen de clous spéciaux à tête plate en acier zingué, de 50 mm de longueur minimale.

Ces dispositions sont illustrées sur les *figures A,2 et A,3*, donnant des exemples de charpentes dont les poutres, tant principales que secondaires, sont ou non en continuité.

En pratique, l'entreprise réalisant la structure n'a donc qu'à confirmer que l'ouverture théorique par excès des joints latéraux et d'abouts de dalles coïncidant avec des joints de structure est supérieure à 2 mm, inférieure ou non à 10 mm ou inférieure ou non à 20 mm.

Types de joints



(A) : Lignes d'appui d'éléments porteurs

Les éléments porteurs sont les éléments de la charpente (pannes ou poutres) supportant les dalles ; les lignes d'appuis correspondent aux lignes de poteaux de la structure

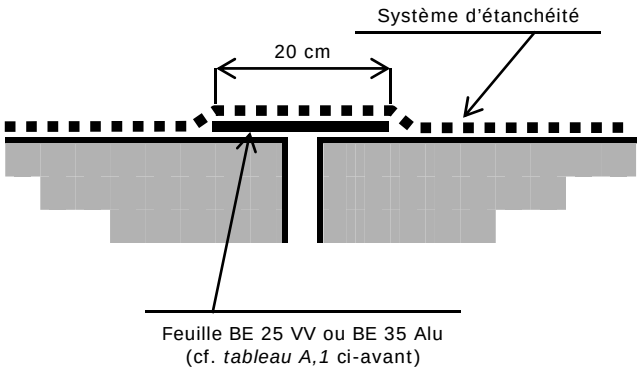
Figure A,0

Tableau A,1 – Type de joints

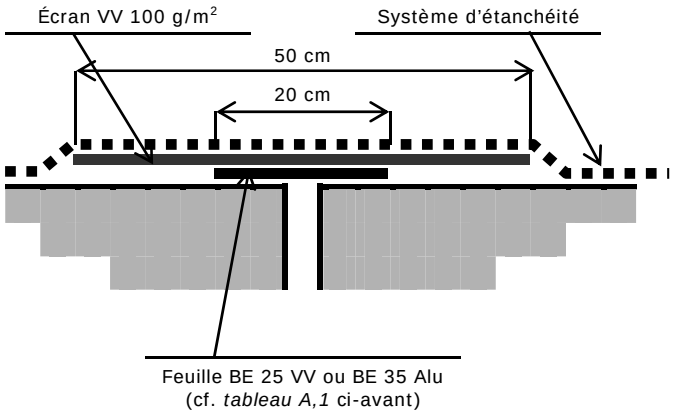
Types de joint	**Ouverture théorique du joint** (1)	**Type de pontage**
1. Joint latéral courant entre dalles et joint latéral coïncidant avec une ligne d'appui d'éléments porteurs si les éléments porteurs perpendiculaires au joint sont conçus pour travailler en continuité	≤ 1 mm	Pas de pontage
2. Joint d'about courant entre dalles et joint d'about entre dalles coïncidant avec une ligne d'appui d'éléments porteurs perpendiculaires au joint sont conçus pour travailler en continuité	≤ 2 mm	***Pontage de type A*** Bande de 20 cm de largeur : - en feuille de bitume modifié SBS BE 25 VV autoprotégée (en sous-face), lorsque le revêtement est autoprotégé par protection minérale ou métallique ; - en feuille de bitume modifié par SBS type BE 35 Alu à sous-face, kraft, granulés minéraux, liège, lorsque le revêtement d'étanchéité reçoit une protection meuble.
3. Joint latéral ou d'about entre dalles coïncidant avec une ligne d'appui d'éléments porteurs, autres que ceux visés en 1 et 2.	supérieure à 2 mm et ≤ 10 mm (1)	***Pontage de type B*** Mêmes dispositions que pour le ***type A*** avec, en plus, un écran complémentaire en voile de verre renforcé 100 g/m^2 de 50 cm de largeur, recouvrant la feuille BE 25 VV ou BE 35 Alu.
4. Joint latéral ou d'about entre dalles coïncidant avec une ligne d'appui d'éléments porteurs, autres que ceux visés en 1 et 2.	supérieure à 10 et ≤ 20 (1)	***Pontage de type C*** Bande de 20 cm de largeur en métal bitumé, zinc 5/10°, aluminium 5/10° ou tôle d'acier galvanisée 4/10°, avec écran complémentaire en voile de verre ou non-tissé de fibre synthétique 100 g/m^2 de 50 cm de largeur, recouvrant la bande métallique.
Lorsque la valeur théorique par excès est	> 20 mm	Le joint est traité comme un joint de structure.
(1) Il s'agit d'une valeur conventionnelle calculée suivant l'*Annexe* de l'AVIS intitulée « Méthode de calcul de la valeur théorique par excès de l'ouverture des joints de type 3 et 4 » et non de l'amplitude du mouvement du joint.		

Valeur théorique par excès de l'ouverture des joints :

a) Inférieure ou égale à 2 mm (pontage de ***type A***) :



b) Comprise entre 2 et 10 mm (pontage de ***type B***) :



c) Comprise entre 10 et 20 mm (pontage de ***type C***) :

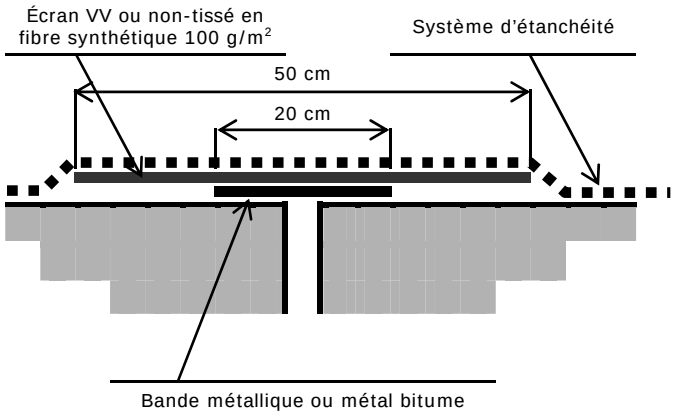
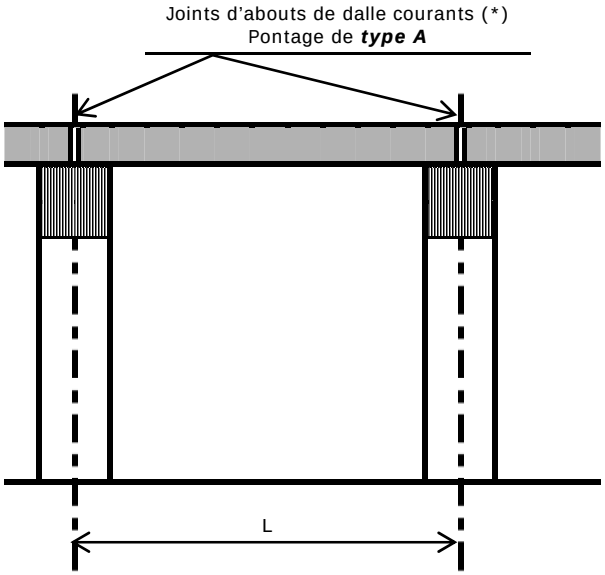
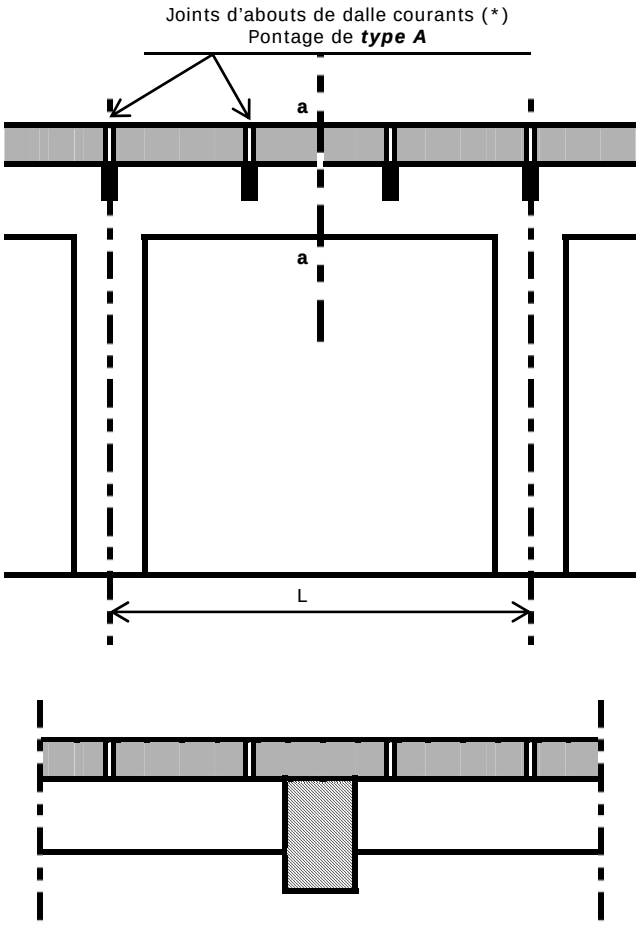


Figure A,1 – Pontage sur joints





Coupe a - a

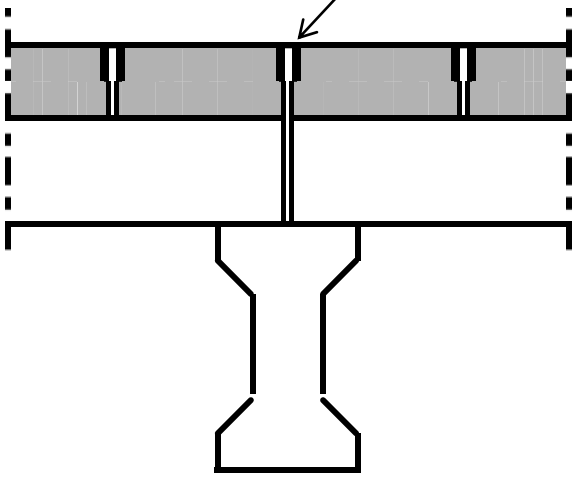
(*) L'expérience montre que les joints d'abouts de dalles courants ont une ouverture réelle inférieure à 2 mm

Figure A,2 – Charpente à poutres principales et éventuellement secondaires en continuité

Type 3 ou 4 :

Joint latéral de dalles coïncidant avec les joints des poutres secondaires

Pontage du ***type B*** ou ***C*** suivant l'ouverture théorique du joint (**), au-delà de 20 mm ce joint est traité en relief (***)

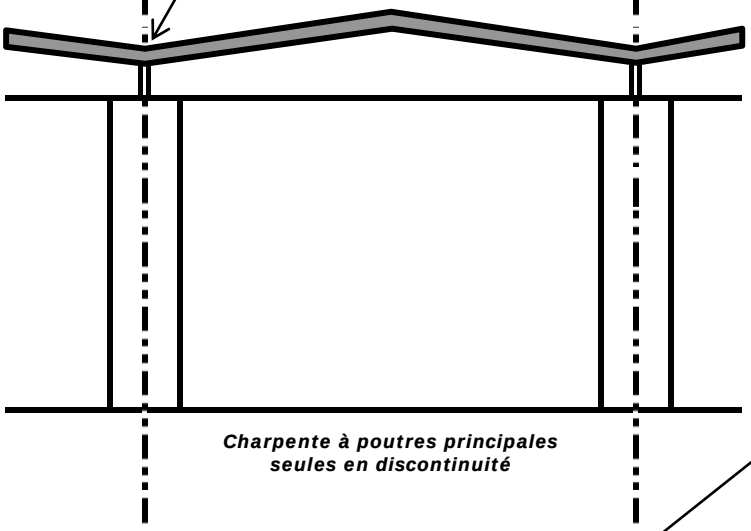


Coupe b- b

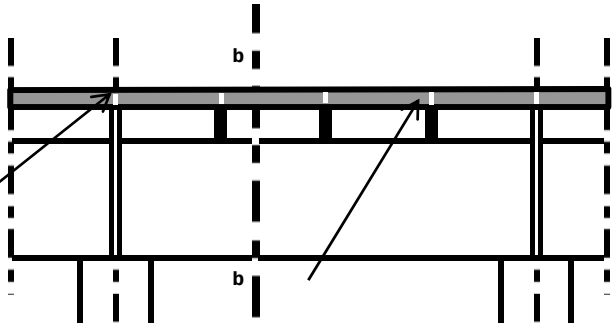
Type 3 ou **4 :**

Joints latéraux de dalle coïncidant avec les abouts de poutres

Pontage de ***type A*** ou ***C*** suivant l'ouverture théorique par excès du joint (**) au-delà de 20 mm, le joint est ponté en relief (***)



Charpente à poutres principales seules en discontinuité



Joint d'about de dalles coïncidant avec les joints des poutres. Pontage ***type B*** ou ***C*** suivant l'ouverture théorique par excès du joint (**), au-delà de 20 mm ce joint est traité en relief (***)

Joint d'about de dalle courant pontage ***type A***

Charpente à poutres principales et secondaires en discontinuité

(**) Les calculs effectués jusqu'ici sur la détermination de l'ouverture théorique par excès de ce type de jointes ont donné des valeurs inférieures à 20 mm. Les observations faites *in situ* montrent que l'ouverture réelle est en général sensiblement inférieure à l'ouverture calculée.

(***) Cas rencontré rarement pouvant néanmoins se présenter lorsque la structure comporte des poutres principales de très grande portée

Figure A,3 – Charpente à poutres principales et éventuellement secondaires en discontinuité

Figures du Dossier Technique

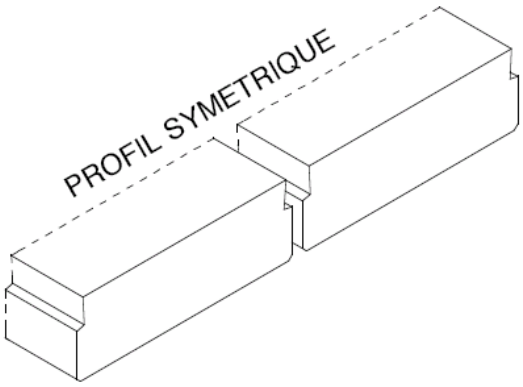


Figure 1 – Dalle de profil SYMÉTRIQUE (RAC) du procédé Toiture Hebel

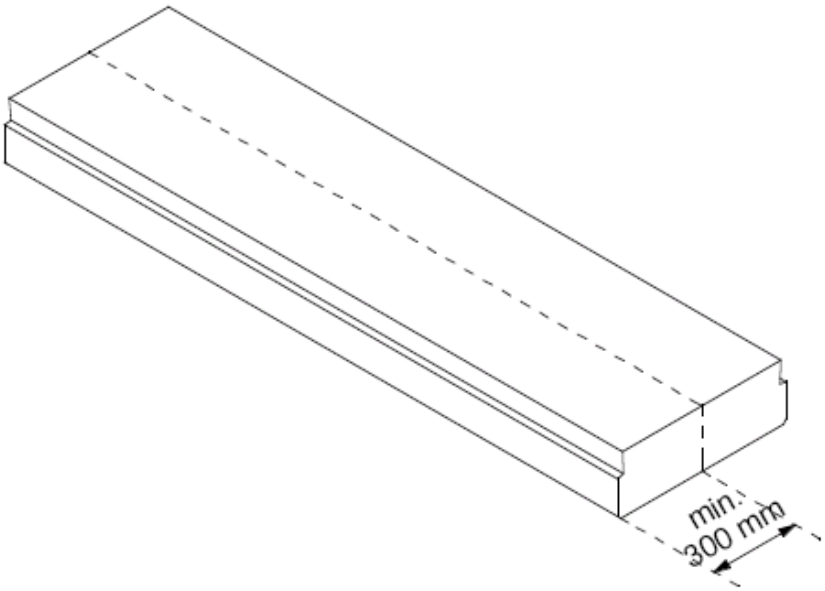


Figure 2 – Dalle de largeur non-standard, largeur 300 mm au minimum

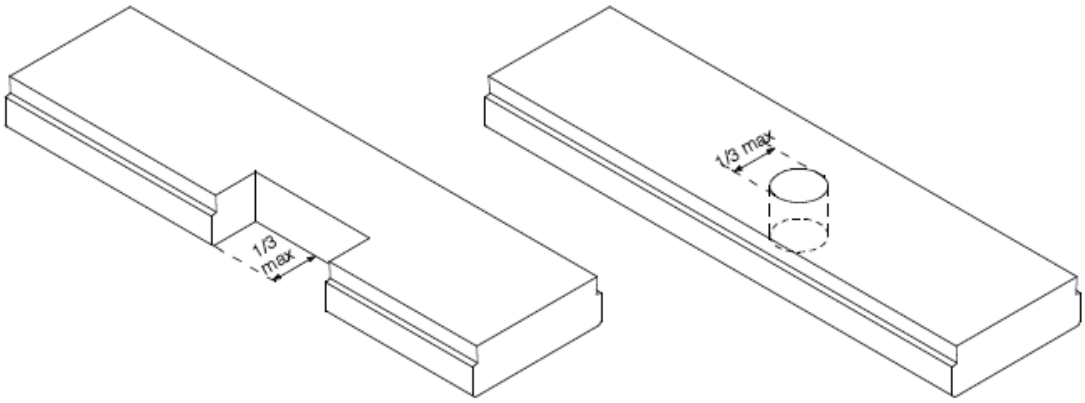


Figure 3 – Dalles comportant une échancrure latérale ou un trou

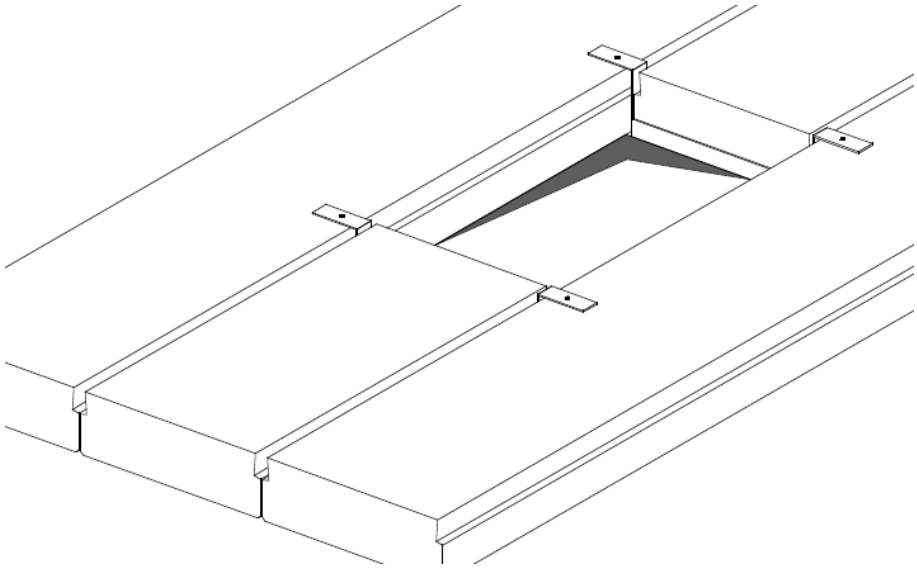


Figure 4 – Dalles renforcées pour trémie de largeur d'une dalle

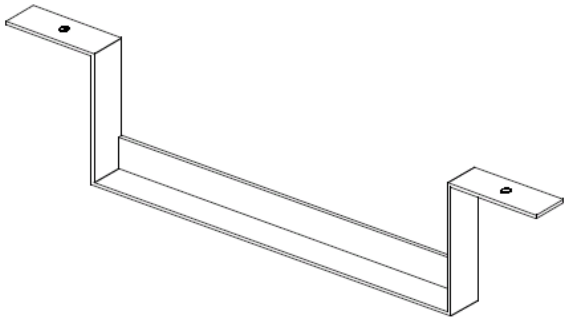


Figure 4 bis – Principe du chevêtre (non fourni)

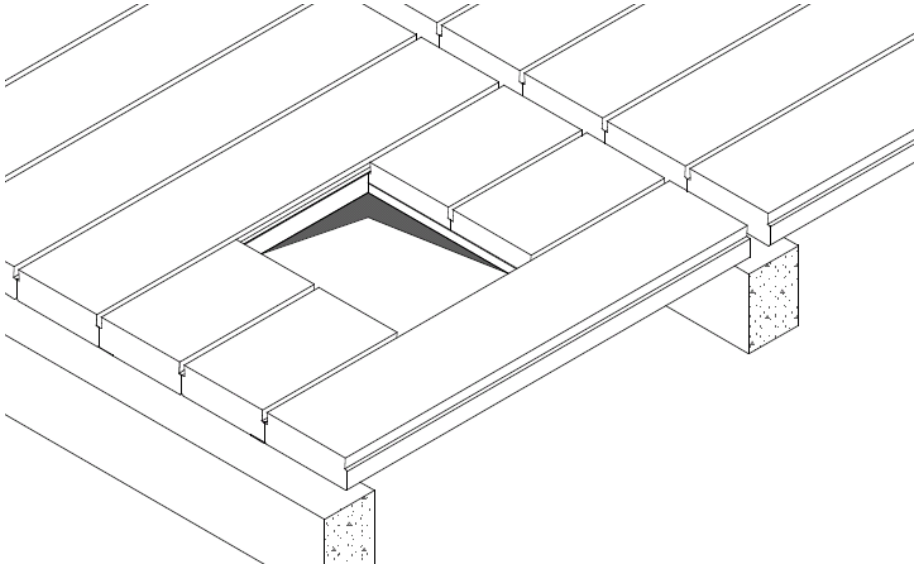
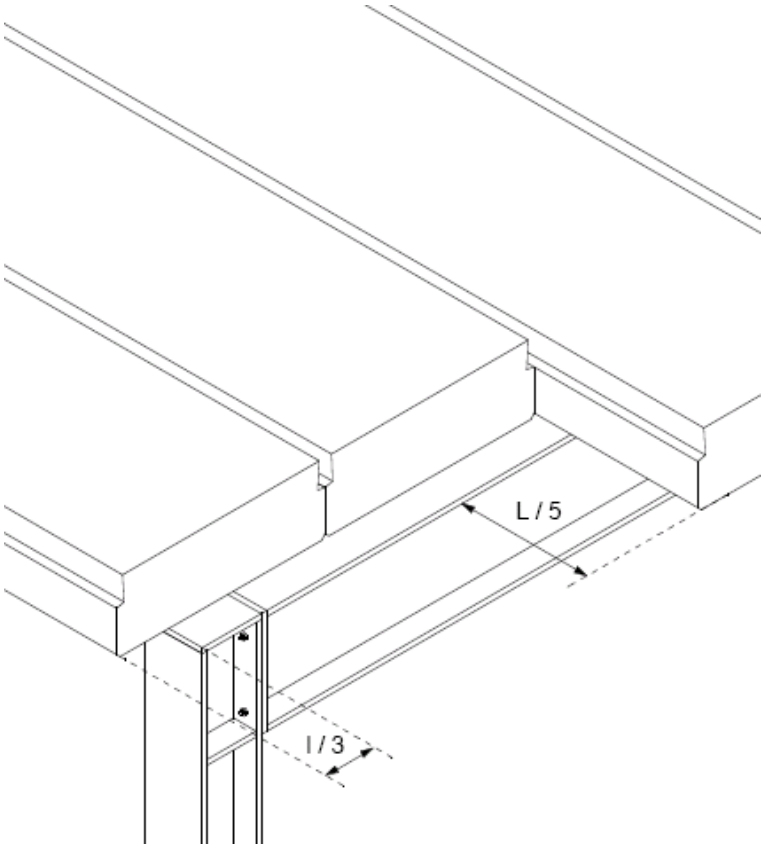
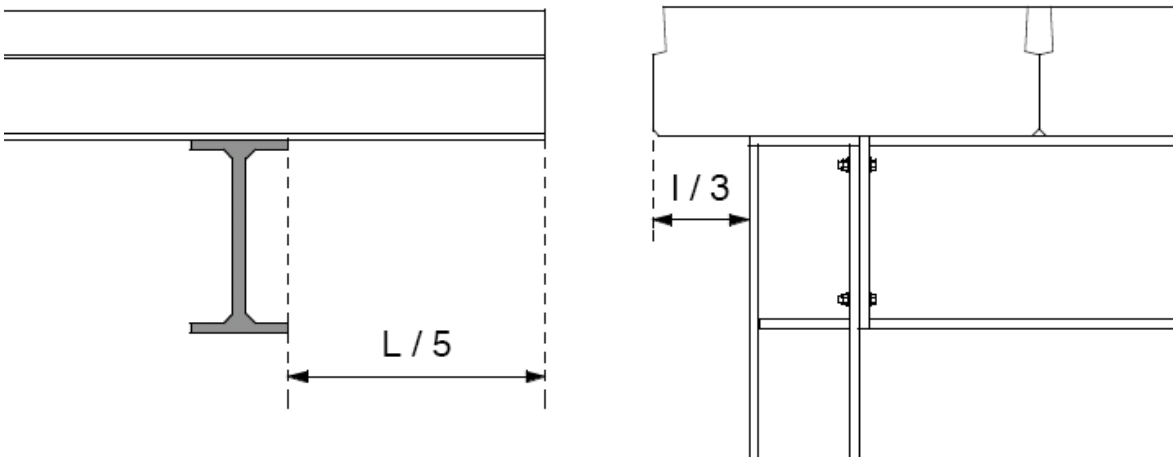


Figure 5 – Dalles renforcées pour une trémie de largeur de deux dalles

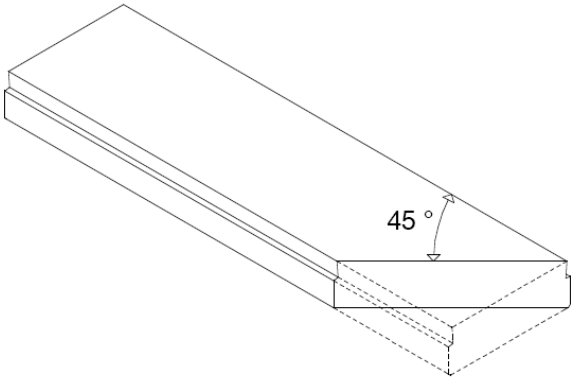


L : Longueur de la dalle l : largeur de la dalle



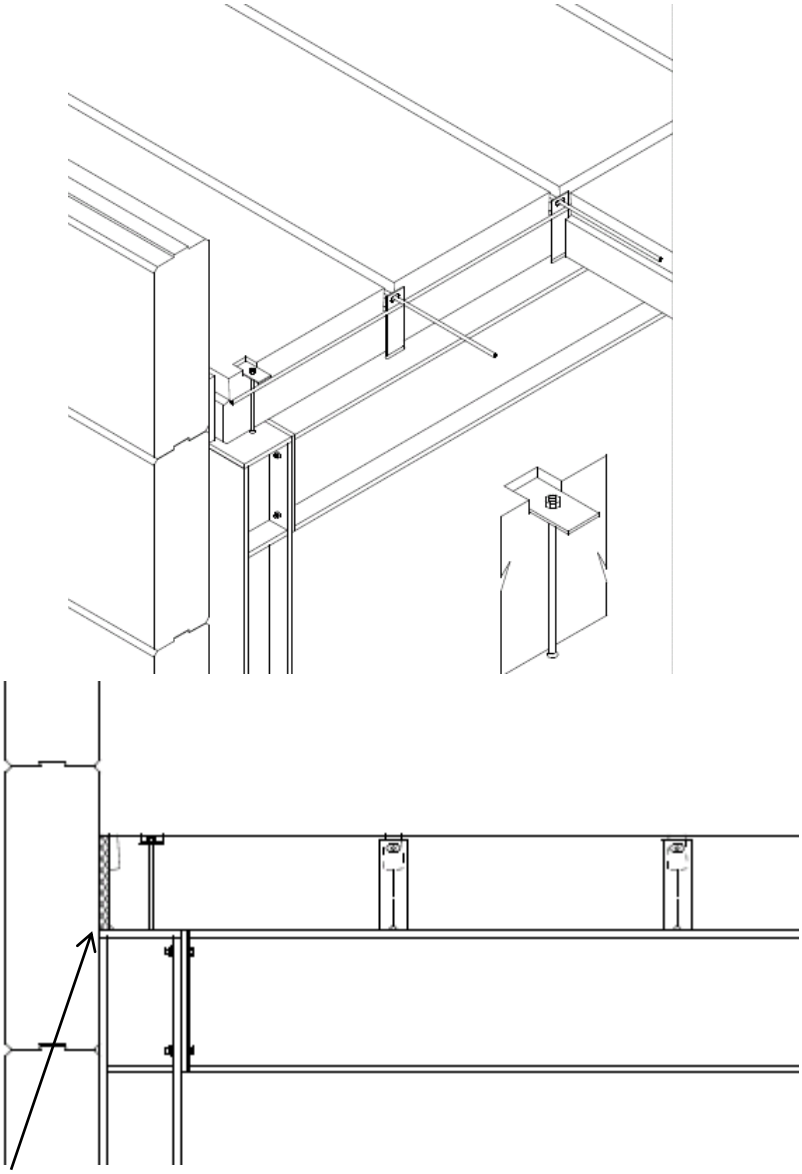
L : Longueur de la dalle l : largeur de la dalle

Figures 6 – Porte-à-faux d'une dalle



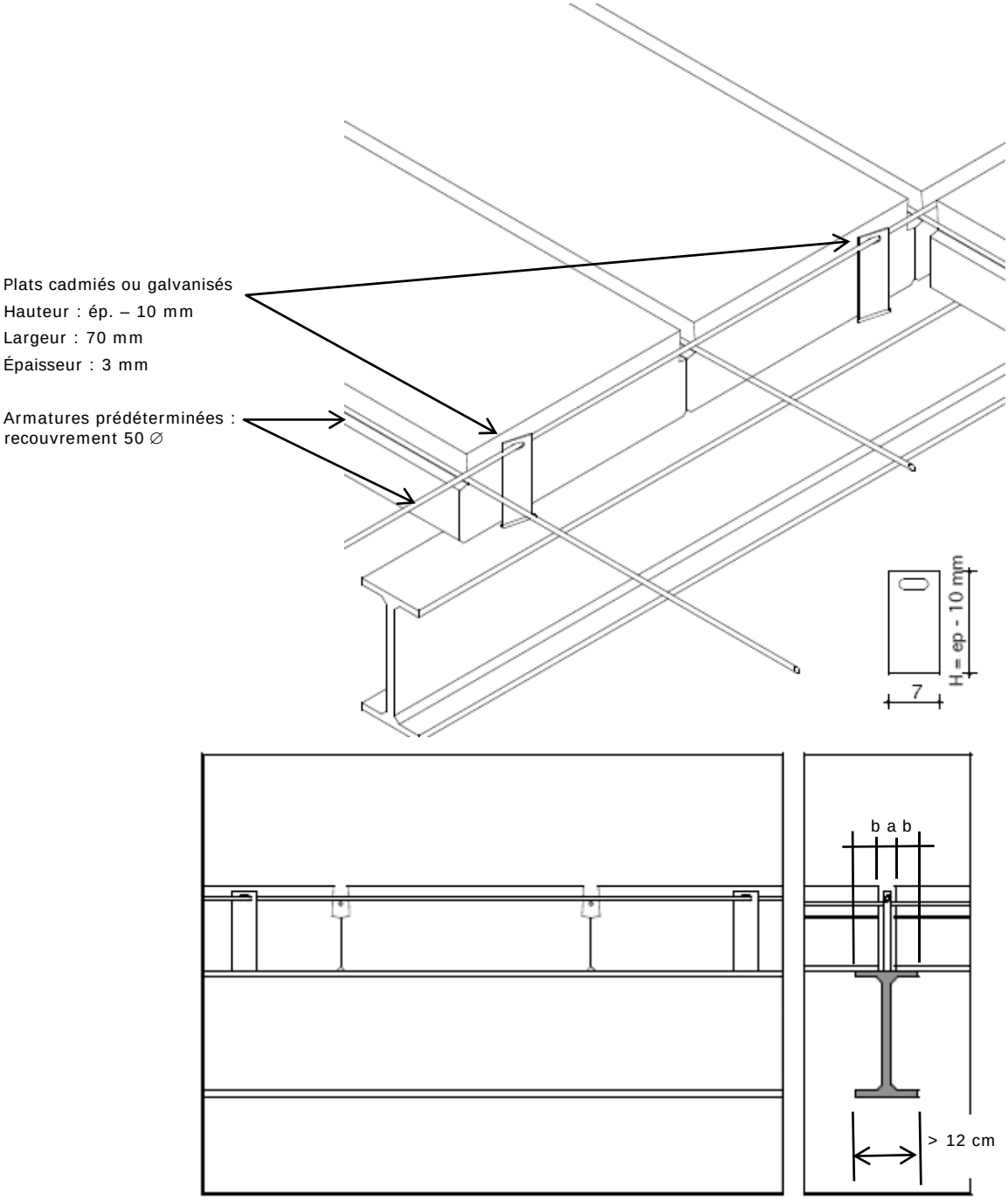
Angle de coupe ≤ 45 °

Figure 7 – Coupe oblique d'une dalle



Le calfeutrement d'extrémité, en matériau compressible et imputrescible d'épaisseur ≥ 20 mm,
est au lot du Gros-œuvre (ou Charpente) (matériau de calfeutrement non fourni)

Figures 8 – Liaisonnement des dalles à profil SYMÉTRIQUE (RAC) par fers plats et aciers ronds



Cotes : a ≥ 2 cm et b > 5 cm toutes tolérances épuisées

Figures 9 – Liaisonnement des dalles à profil SYMÉTRIQUE (RAC) par fers plats et aciers ronds

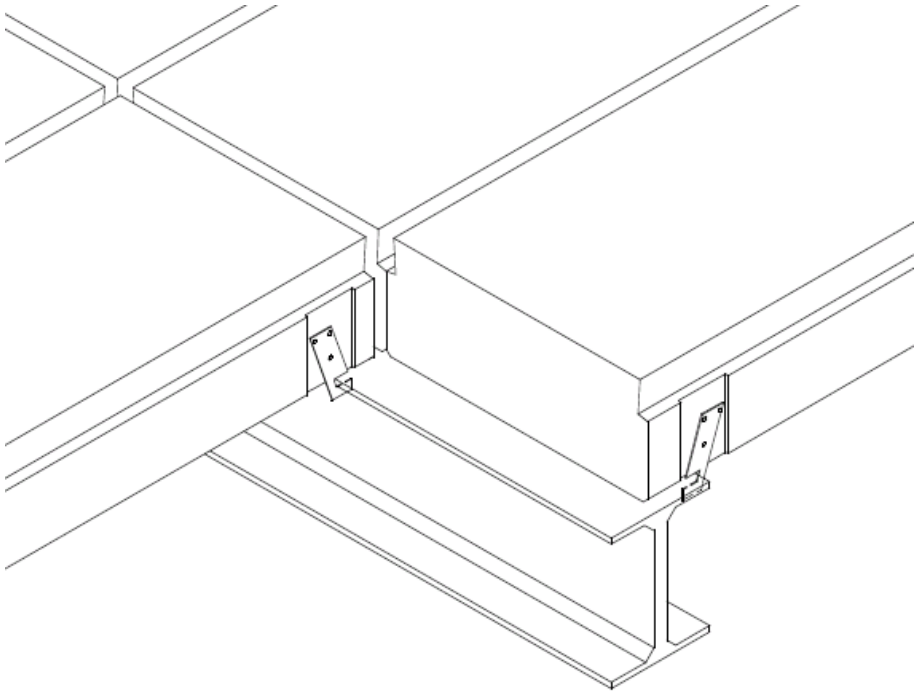


Figure 10 – Liaisonnement des dalles par crochets

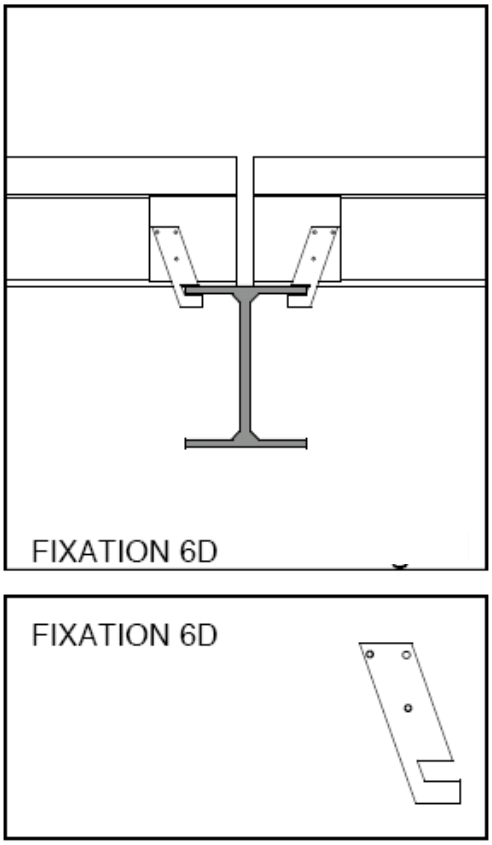


Figure 11 – Principe des fixations 6D

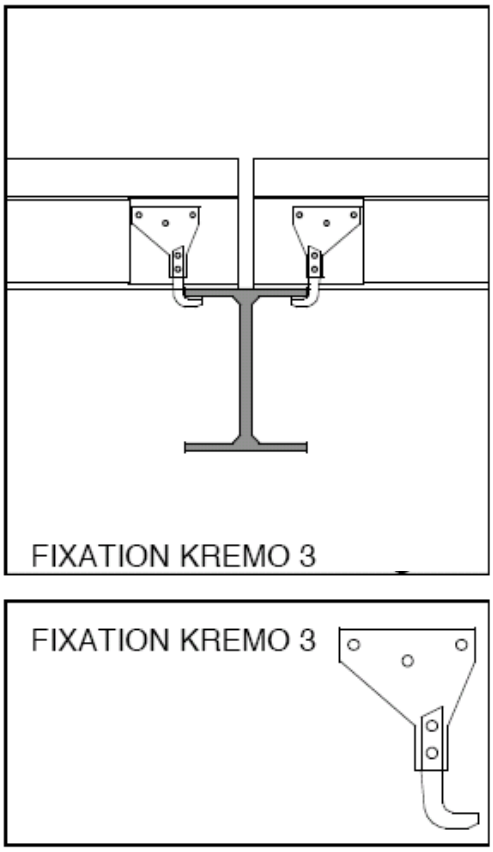
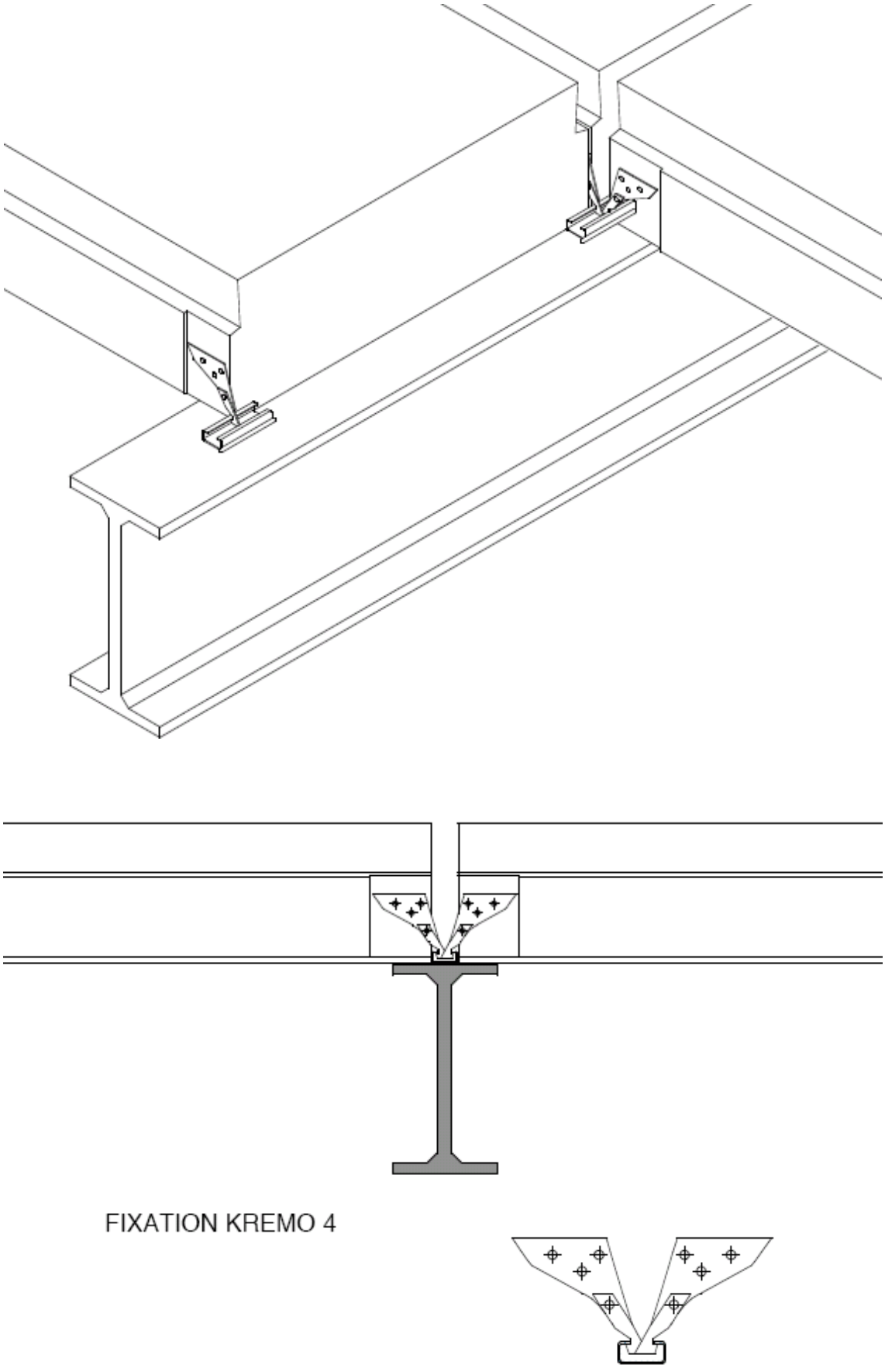
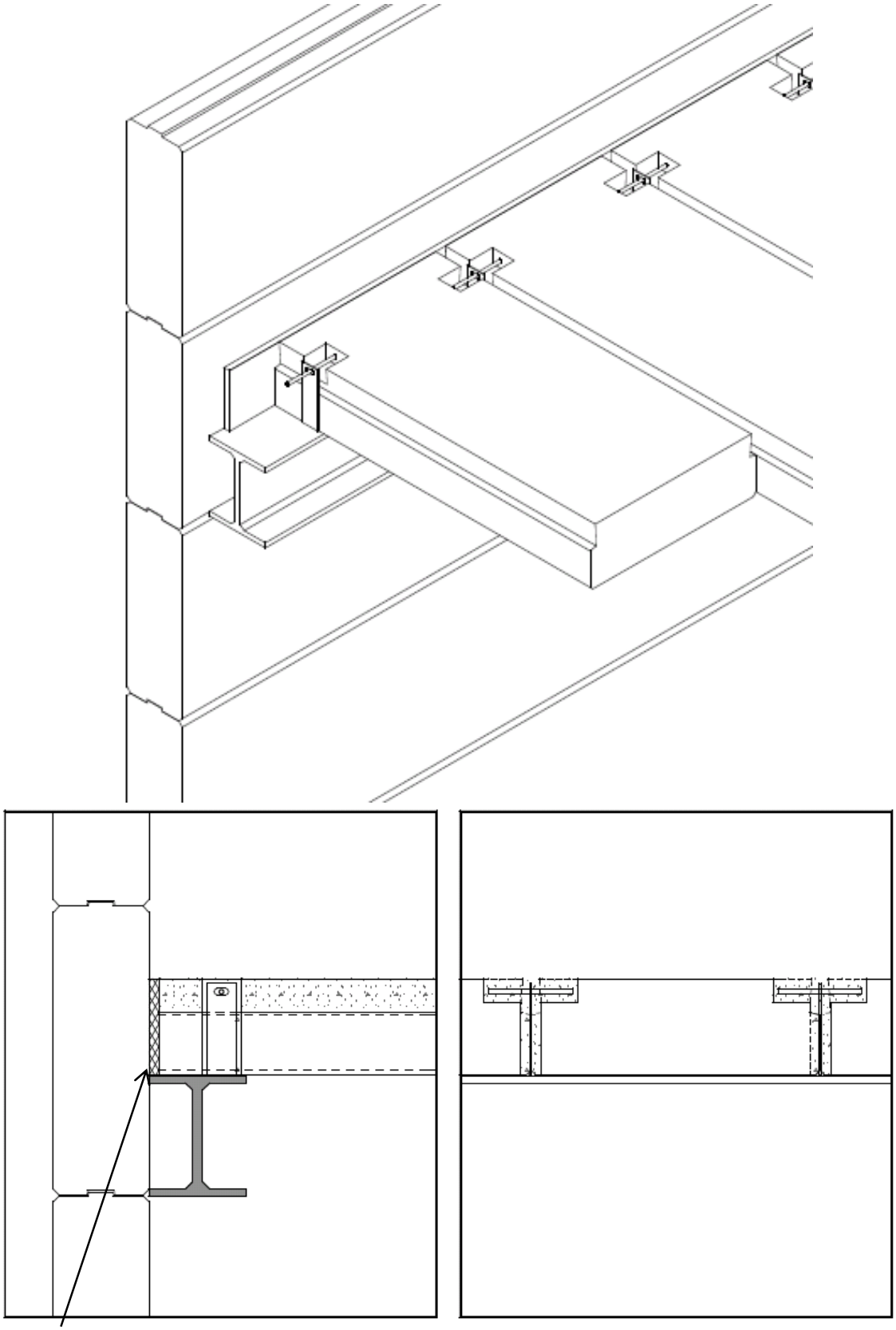


Figure 12 – Principe des fixations inox KREMO 3

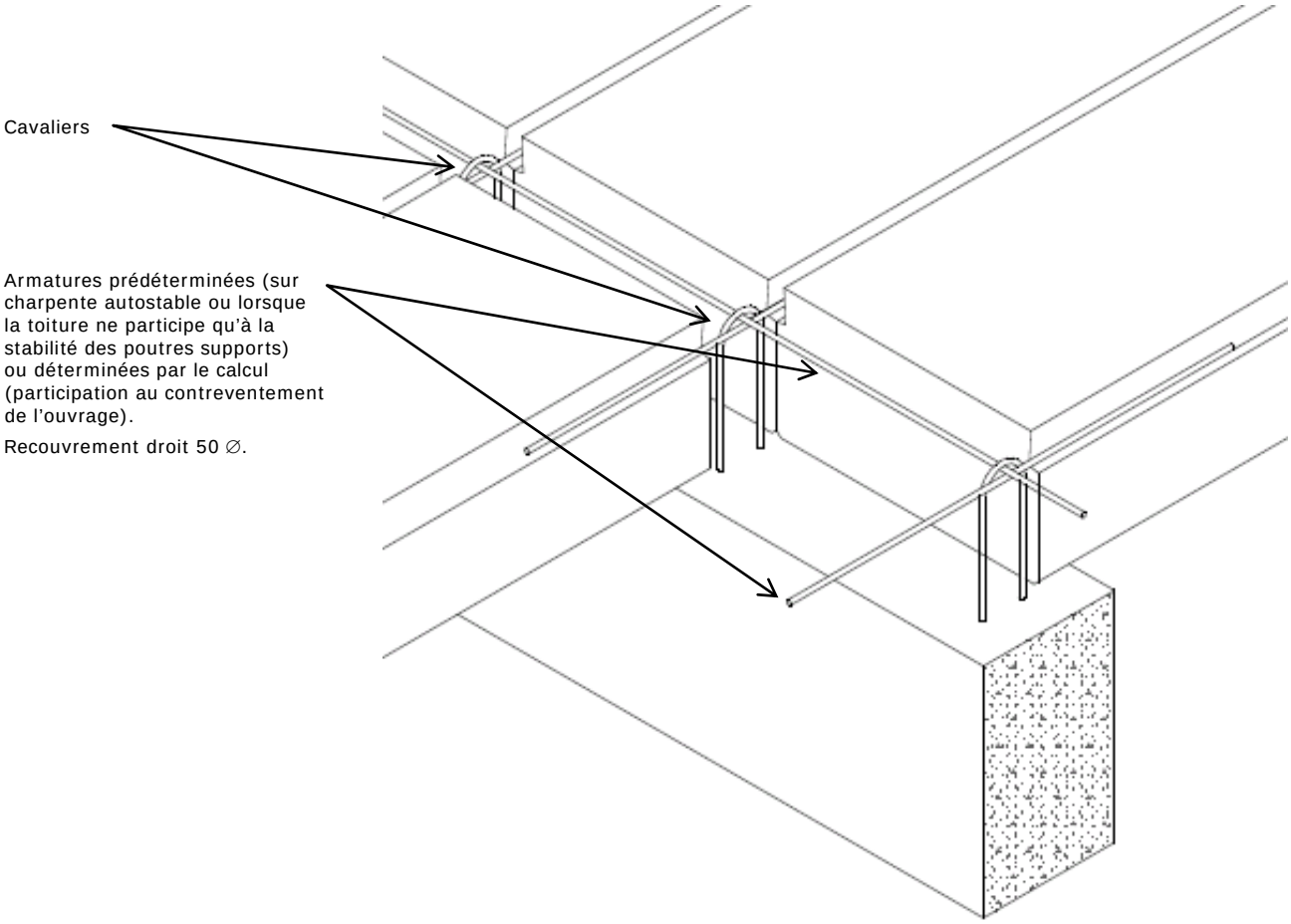


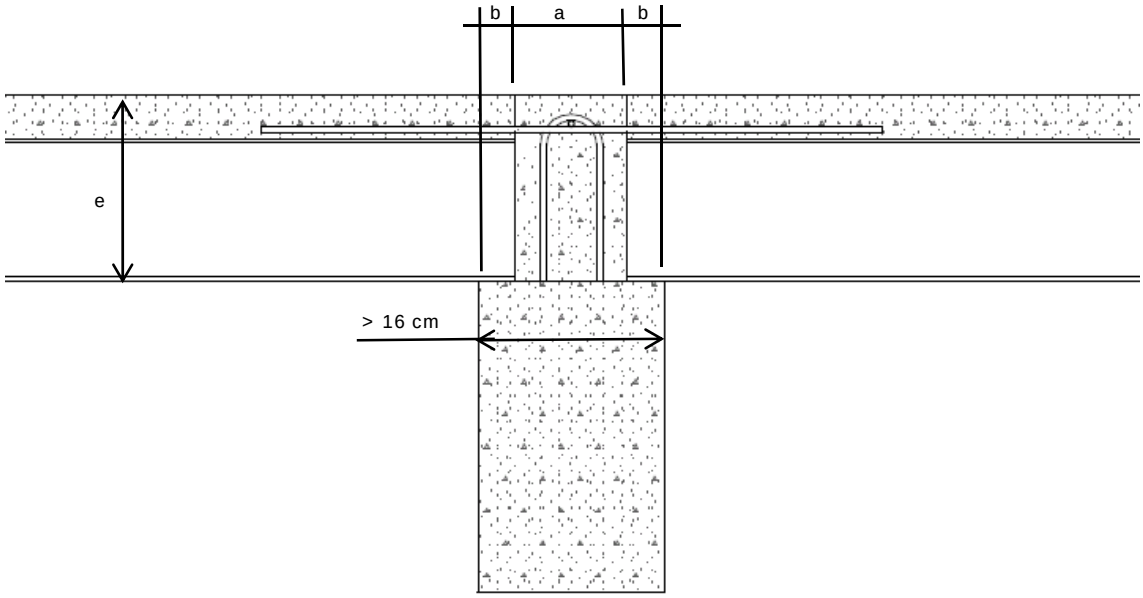
Figures 13 – Principe du liaisonnement avec RAIL HALFEN 38/17 ponctuel et fixation inox KREMO 4



Le calfeutrement d'extrémité, en matériau compressible et imputrescible d'épaisseur ≥ 20 mm,
est au lot du Gros-œuvre (ou Charpente) (matériau de calfeutrement non fourni)

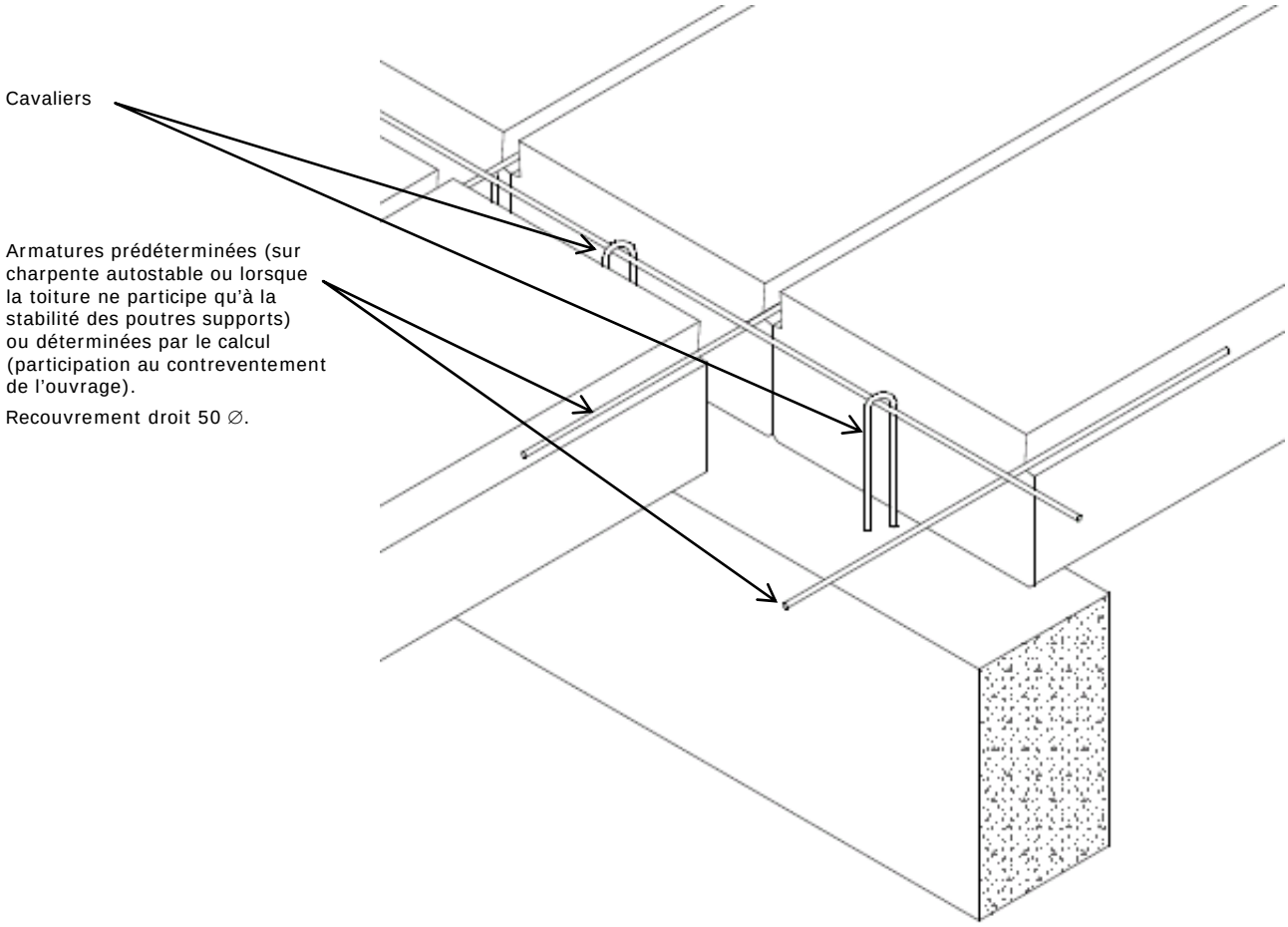
Figures 14 – Liaisonnement des dalles avec ancrage de rives

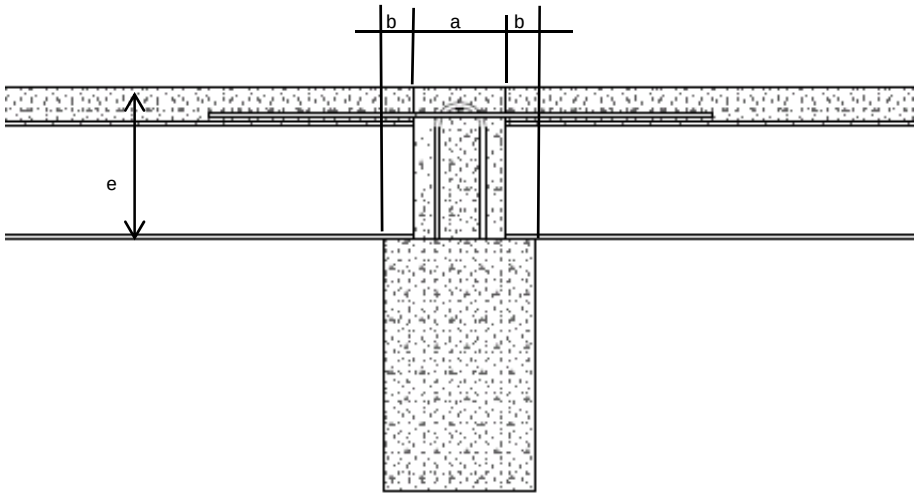




Cotes : a = $\frac{e}{2}$ avec un minimum de 6 cm et b > 5 cm toutes tolérances épuisées

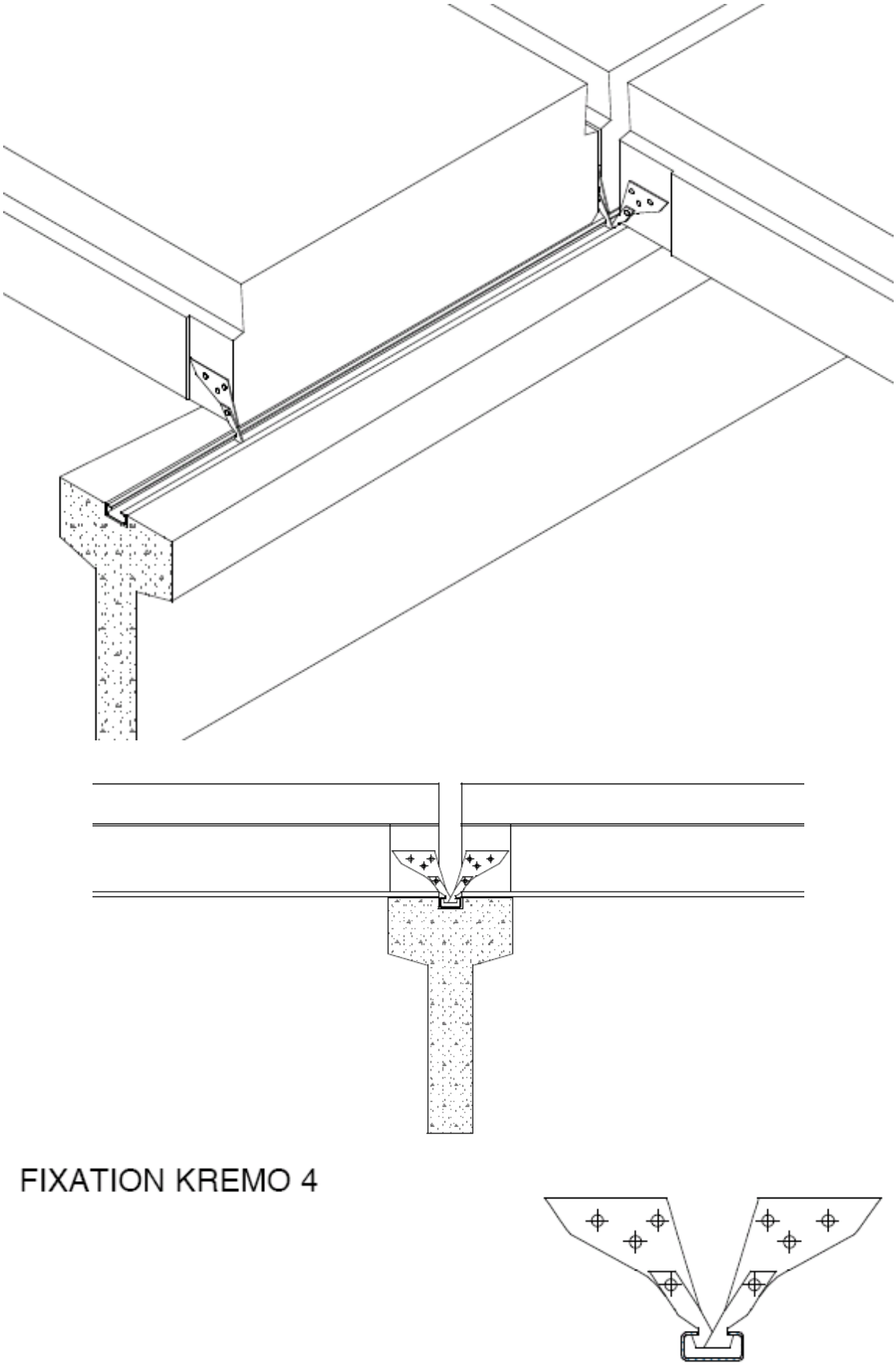
Figures 15 – Liaisonnement des dalles à profil SYMÉTRIQUE (RAC) par cavaliers



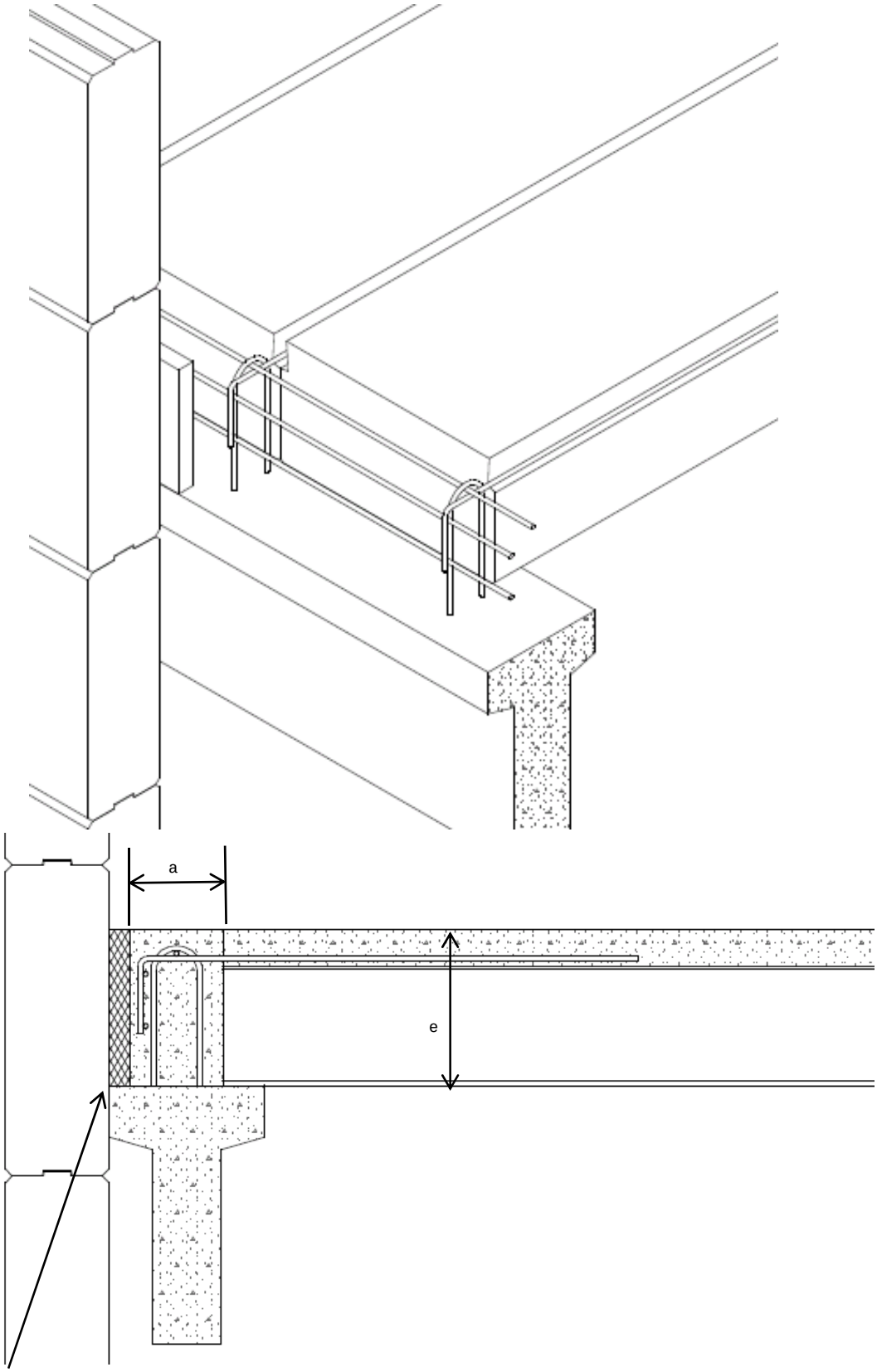


Cotes : a = $\frac{e}{2}$ avec un minimum de 6 cm et b > 5 cm toutes tolérances épuisées

Figures 16 – Liaisonnement des dalles à profil SYMÉTRIQUE (RAC) par cavaliers



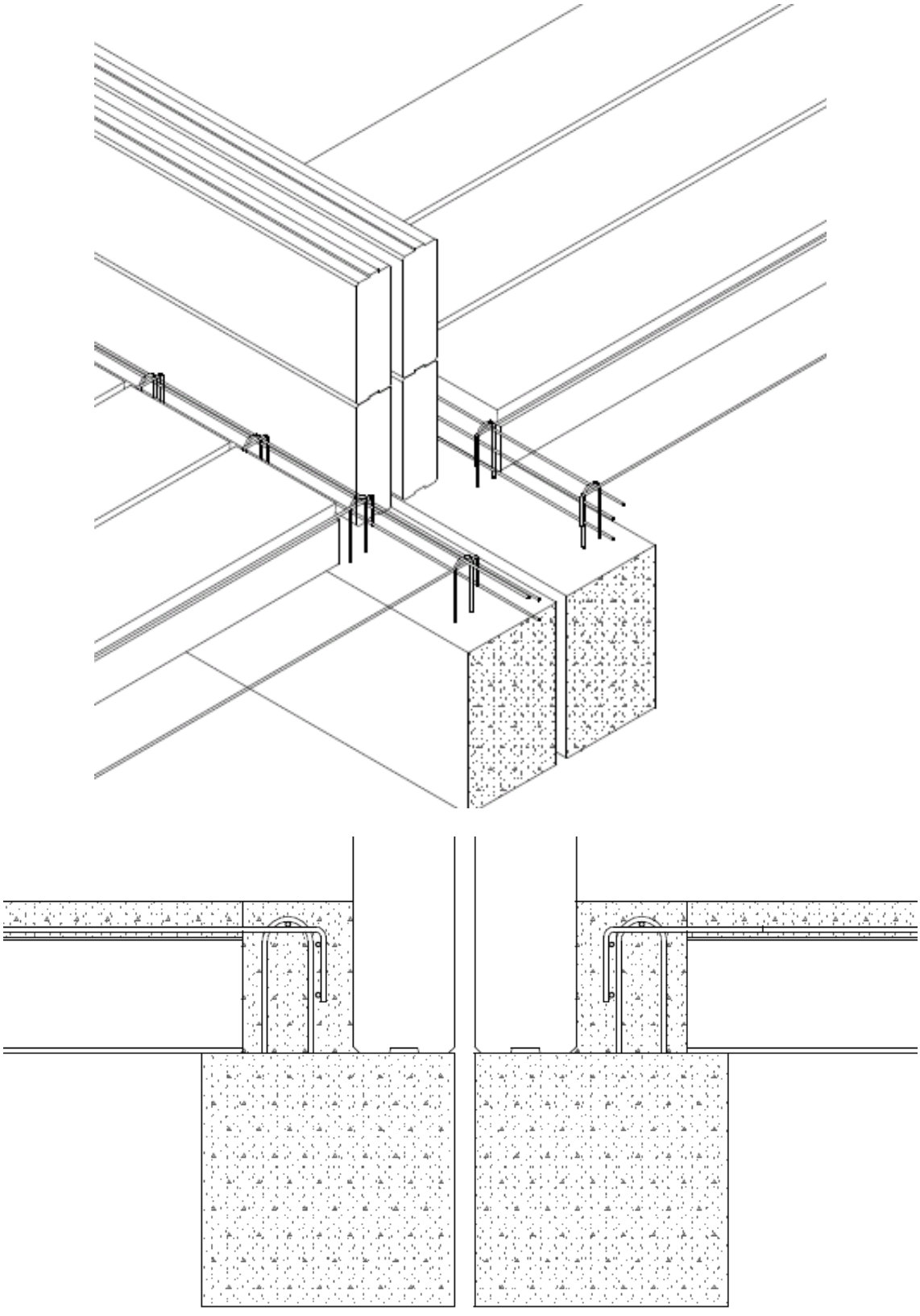
Figures 17 – Liaisonnement des dalles avec RAIL HALFEN 38/17 continu et fixation inox KREMO 4



Le calfeutrement d'extrémité, en matériau compressible et imputrescible d'épaisseur ≥ 20 mm, est au lot du Gros-œuvre (ou Charpente) (matériau de calfeutrement non fourni)

Cote : $a \geq \frac{e}{2}$ avec un minimum de 6 cm

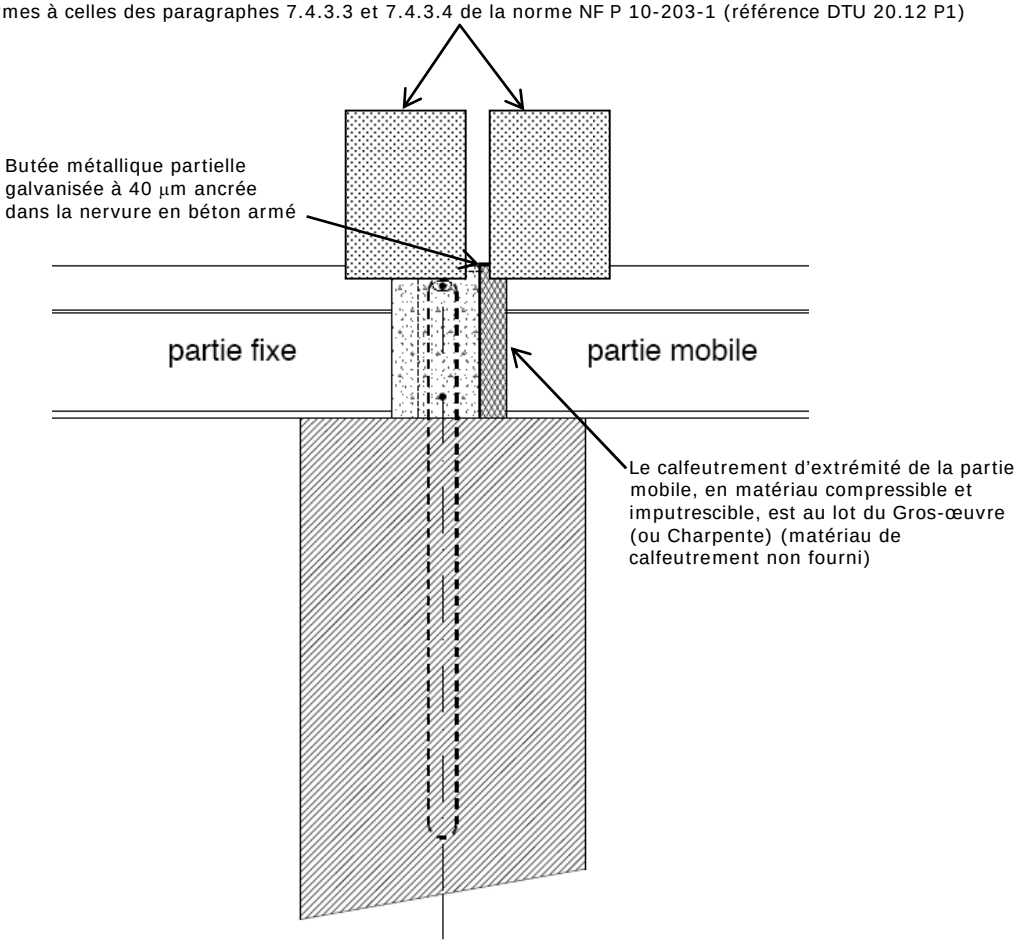
Figures 18 – Liaisons et ancrages des dalles de profil SYMÉTRIQUE (RAC) de rive

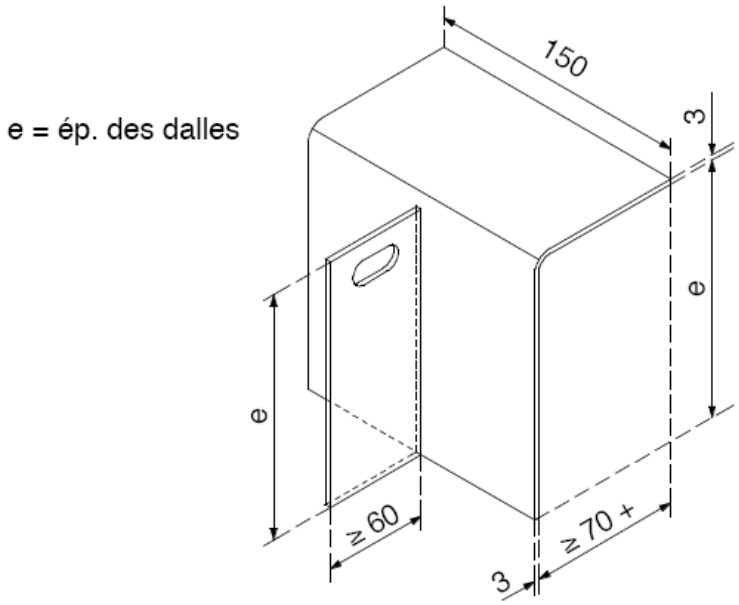


Les documents particuliers du marché (DPM) indiquent, à destination du lot Gros-œuvre (ou Charpente),
l'éventuelle présence d'un matériau de calfeutrement dans l'interstice du joint de dilatation (matériau de calfeutrement non fourni)

Figures 19 – Principe d'un joint de dilatation avec deux files de poutres

Le joint saillant courant est reconstitué de part et d'autre du joint par le lot Gros-œuvre. Les dimensions du joint saillant sont conformes à celles des paragraphes 7.4.3.3 et 7.4.3.4 de la norme NF P 10-203-1 (référence DTU 20.12 P1)

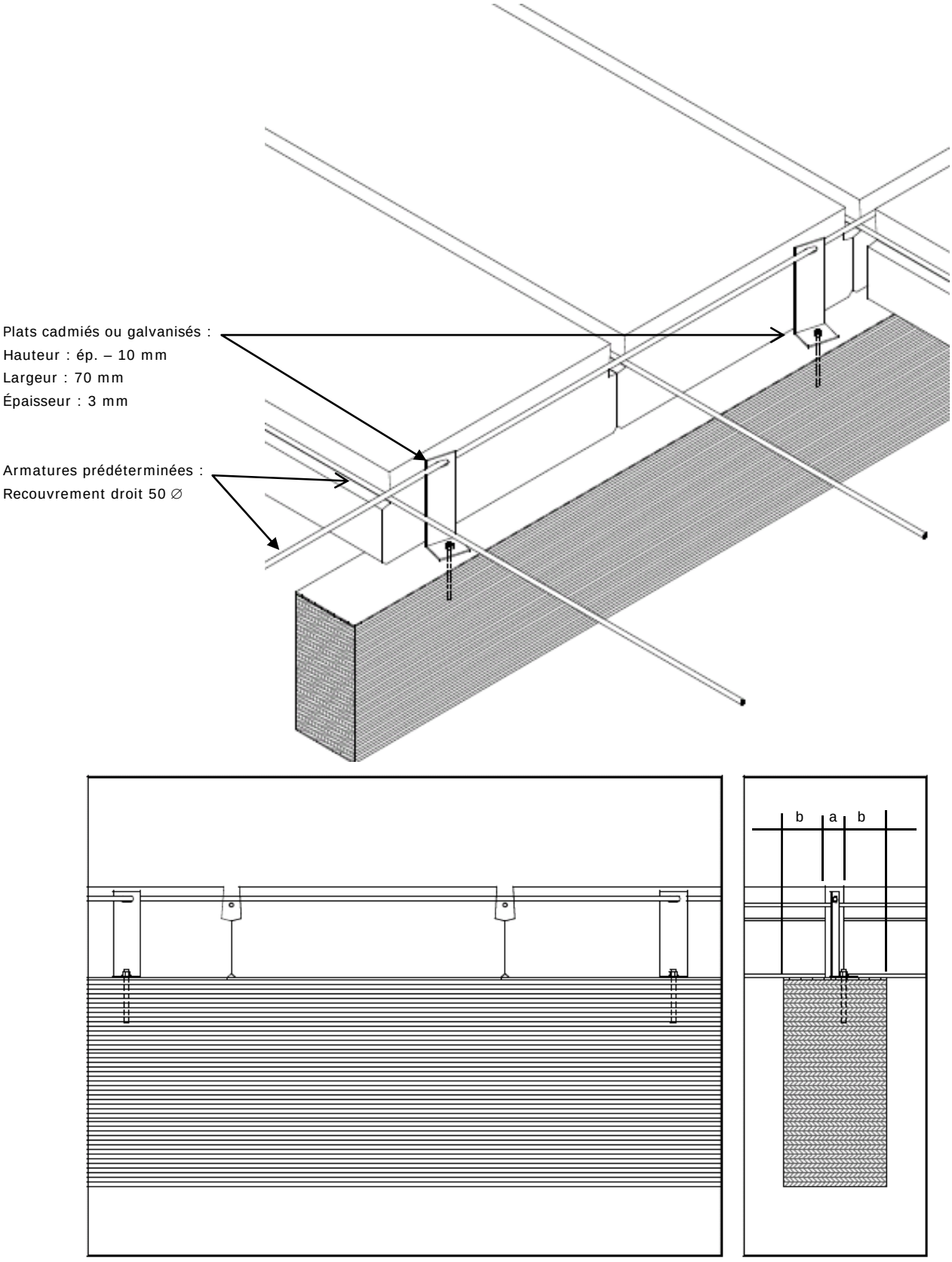




(Cotes en mm)

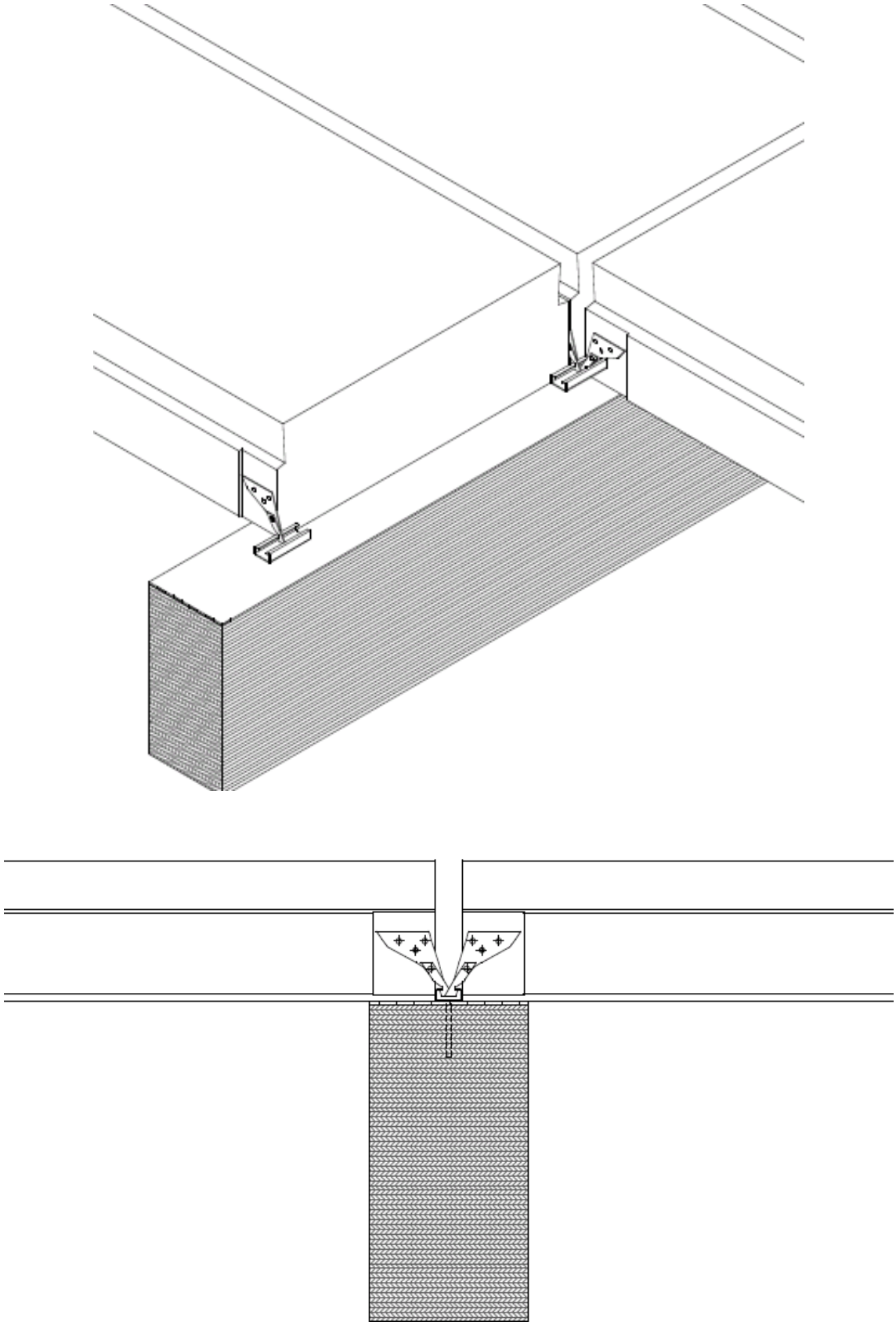
Vue en perspective de la butée métallique partielle galvanisée à 40 µm

Figures 20 – Principe d'un joint de dilatation avec une seule file de poutres

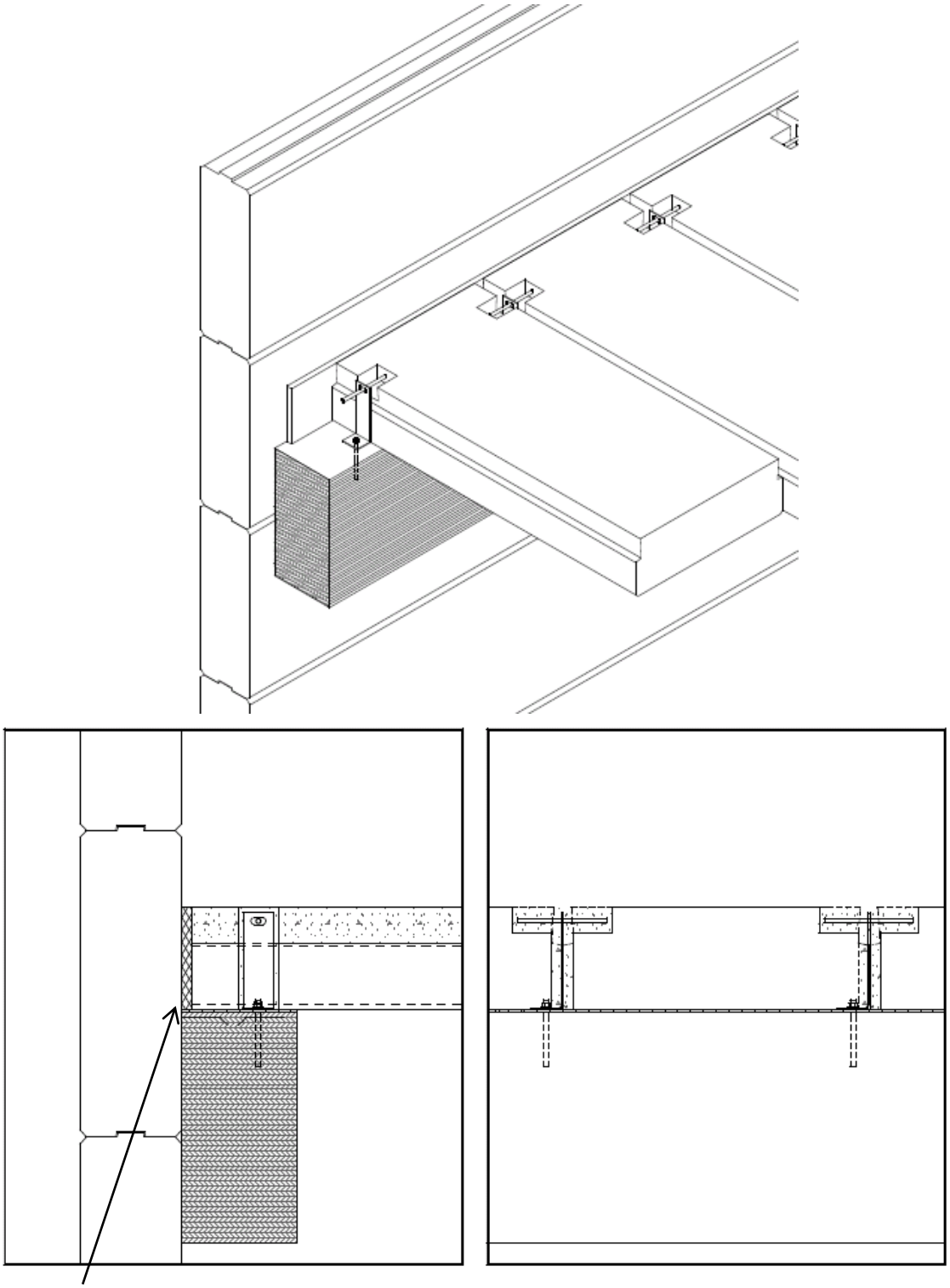


Cotes : a ≥ 2 cm et b > 5 cm toutes tolérances épuisées

Figures 21 – Liaisonnement des dalles à profil SYMÉTRIQUE (RAC) par fers plats fixés sur charpente en bois lamellé-collé et aciers ronds



Figures 22 – Principe de liaisonnement des dalles avec RAIL HALFEN 38/17 ponctuels et fixation inox KREMO 4 sur charpente en bois lamellé-collé



Le calfeutrement d'extrémité, en matériau compressible et imputrescible d'épaisseur ≥ 20 mm,
est au lot du Gros-œuvre (ou Charpente) (matériau de calfeutrement non fourni)

Figures 23 – Fixations ponctuelles des dalles avec par fers plats sur charpente en bois lamellé-collé

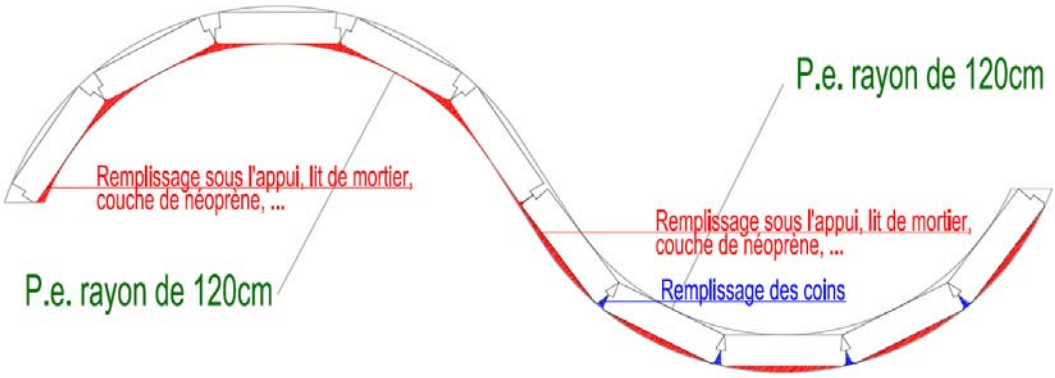


Figure 24 – Toitures courbes, exemple avec un rayon de 1,20 m

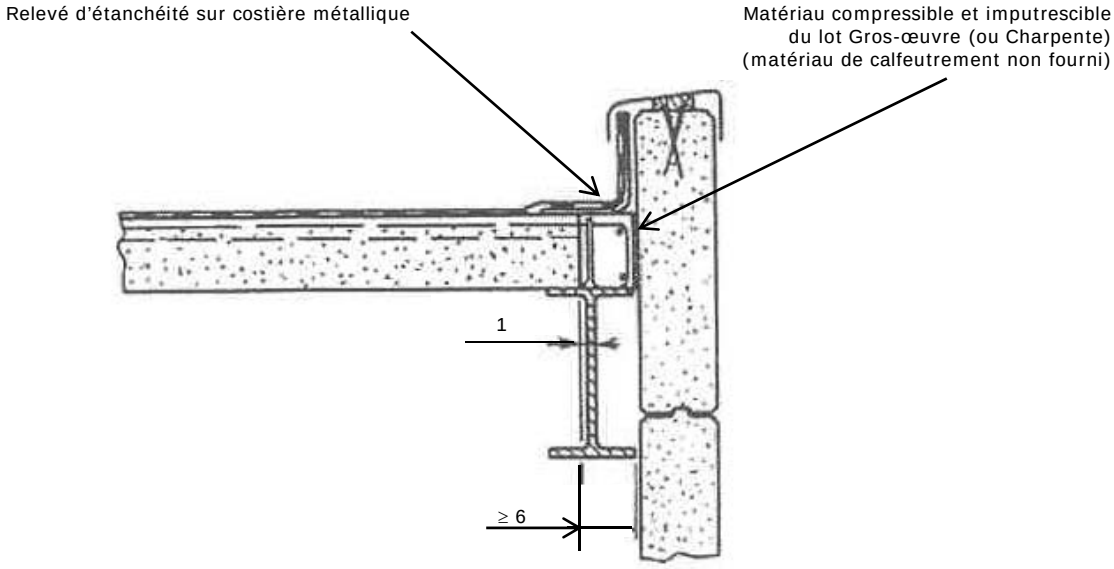


Figure 25 – Rive contre acrotère avec nervures en béton armé sur charpente métallique ou bois lamelle-collé autostable

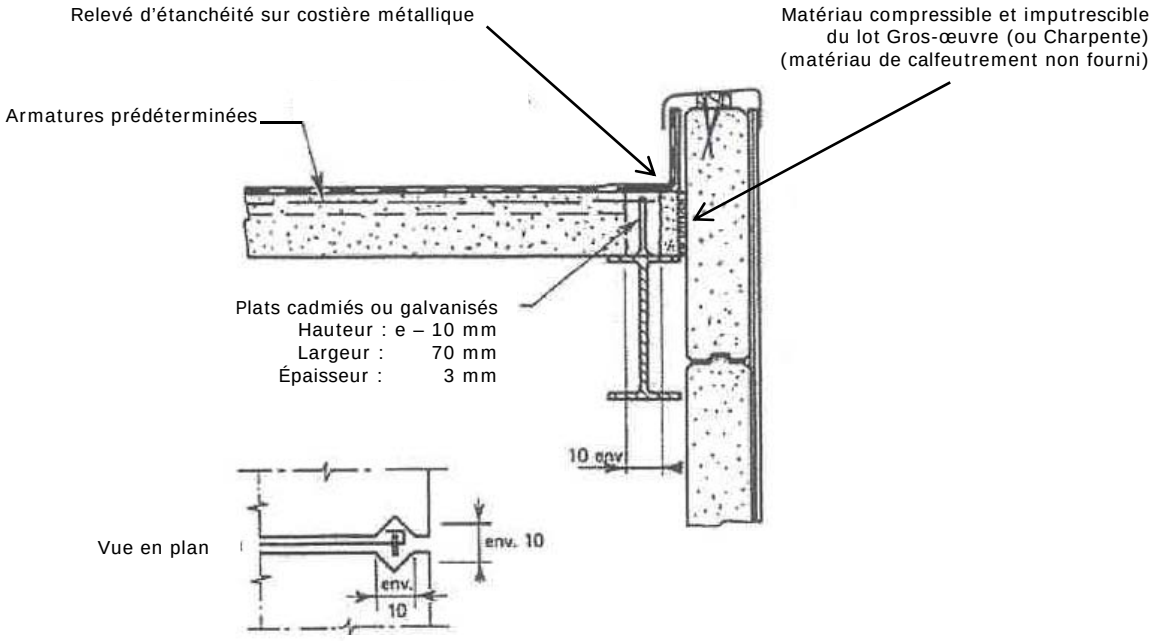


Figure 26 – Rive contre acrotère sans nervure en béton armé sur charpente métallique ou bois lamelle-collé autostable

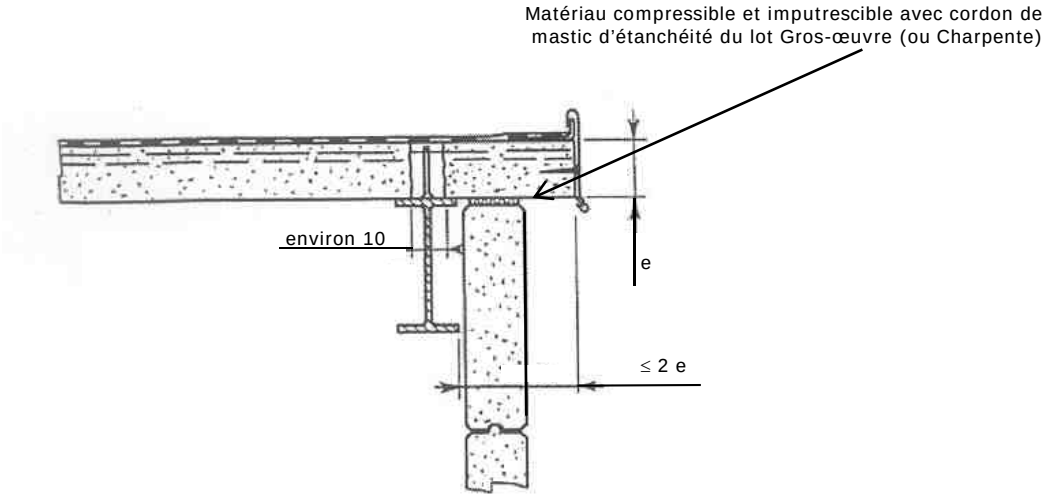
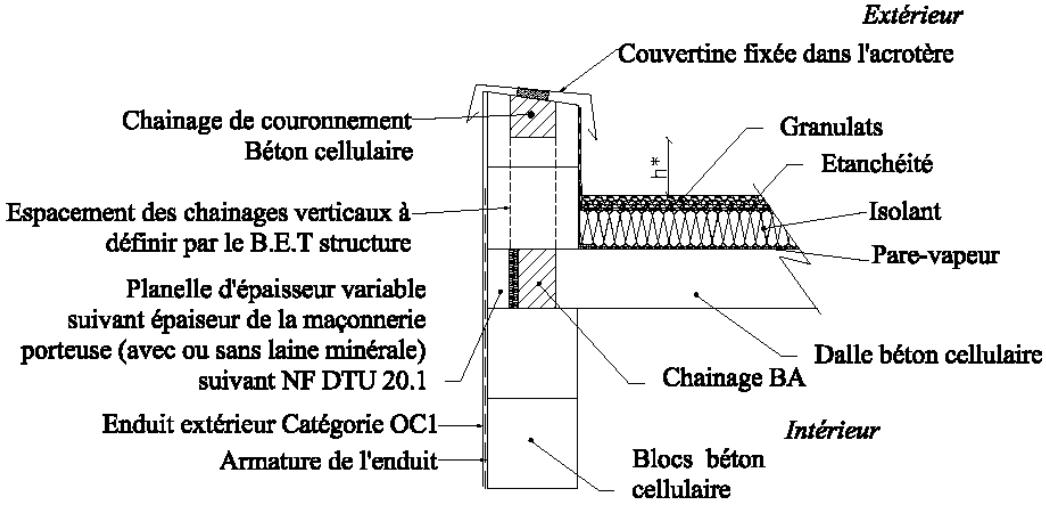
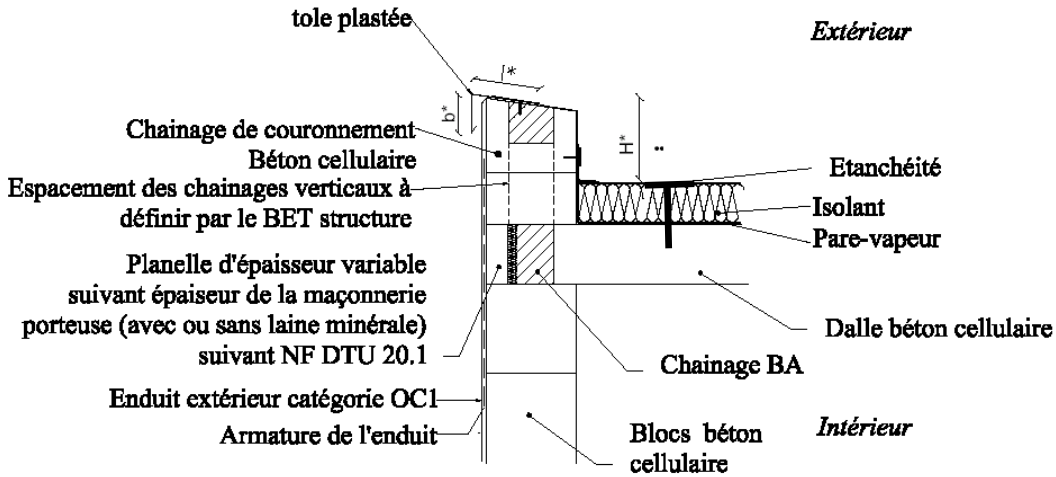


Figure 27 – Rive avec porte-à-faux sur charpente métallique ou bois lamellé-collé autostable



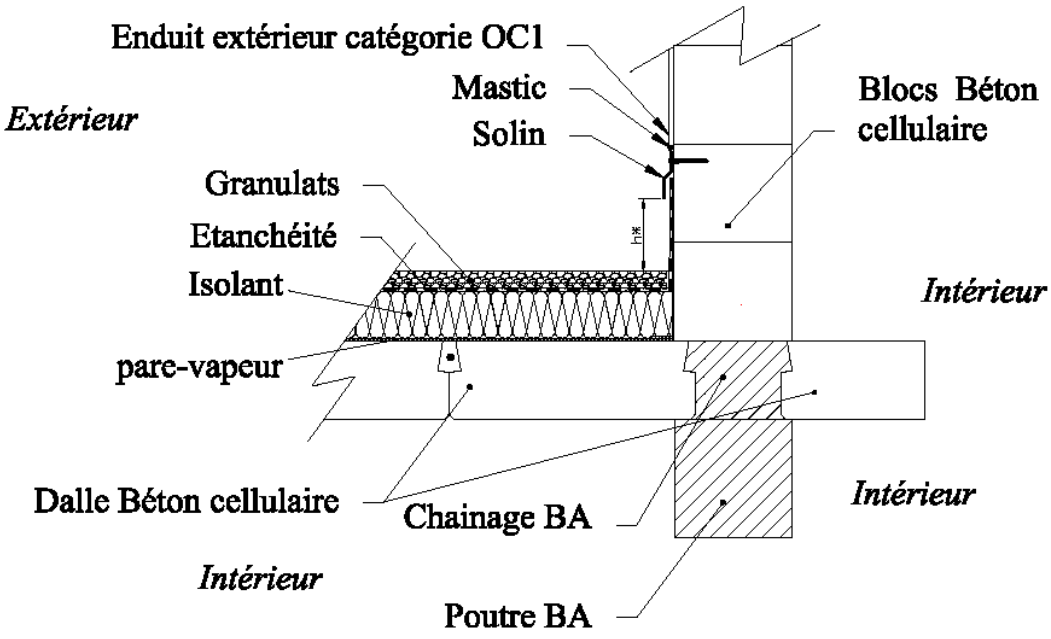
hauteur h* : selon le § 7.524 du Dossier Technique

Figure 28 – Coupe sur relevé d'étanchéité bitumineuse, avec acrotère en blocs de béton cellulaire autoclavé en terrasse inaccessible



hauteur h* : selon le § 7.524 du Dossier Technique
Exemple avec des panneaux isolants à finition soudable fixés mécaniquement selon leur DTA

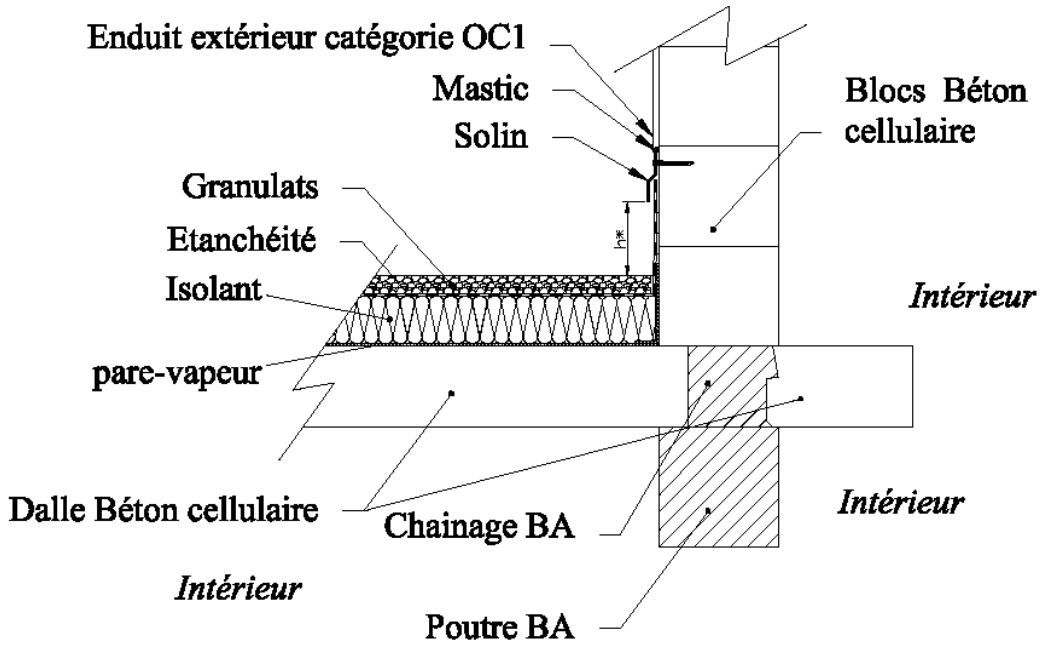
Figure 29 – Coupe sur relevé d'étanchéité bitumineuse en continuité sur l'acrotère en blocs de béton cellulaire autoclavé en terrasse inaccessible



hauteur h* : selon le § 7.524 du Dossier Technique

NB : La bande porte-solin doit bénéficier d'un Avis Technique

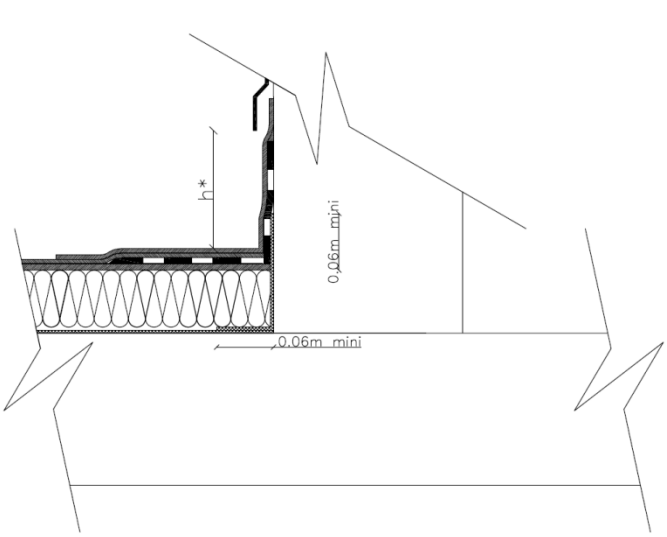
Figure 30 – Coupe transversale des dalles du procédé Toiture Hebel, avec mur de retrait d'étage terrasse inaccessible (exemple)

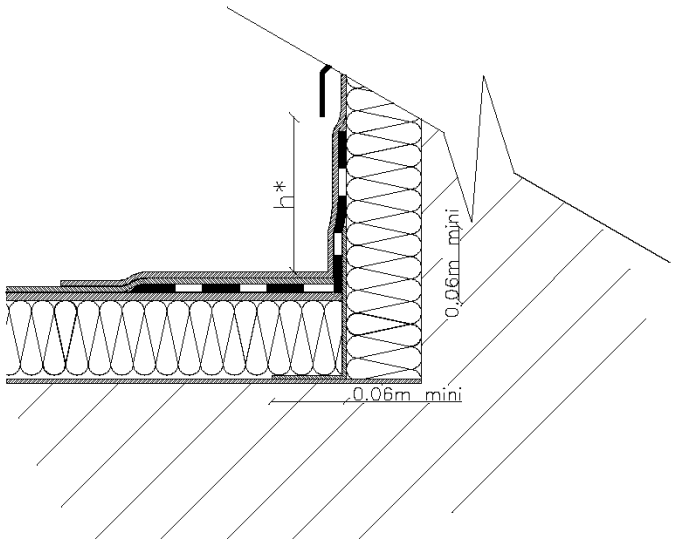


hauteur h* : selon le § 7.524 du Dossier Technique

NB : La bande porte-solin doit bénéficier d'un Avis Technique

Figure 31 – Coupe longitudinale des dalles du procédé Toiture Hebel, avec mur de retrait d'étage terrasse inaccessible (exemple)





hauteur h* : selon le § 7.724 du Dossier Technique

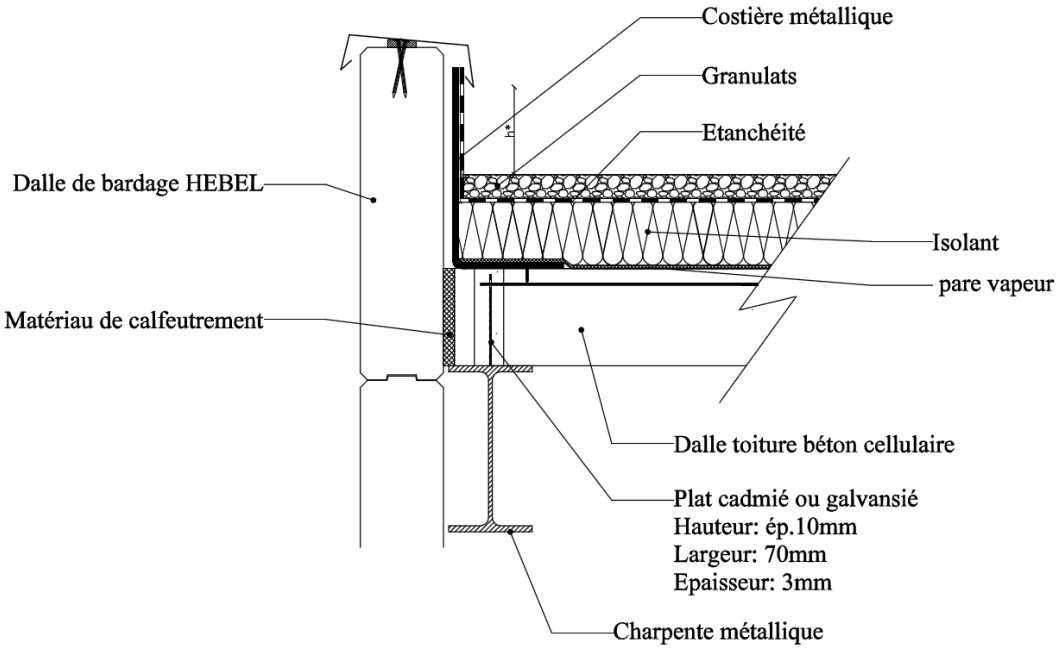
L'équerre bitumineuse est soudée à plein horizontalement sur le pare-vapeur et verticalement sur le relief préalablement revêtu d'EIF

Figure 32 a – Détail avec un relevé non isolé thermiquement

L'équerre bitumineuse est soudée à plein horizontalement sur le pare-vapeur et verticalement sur le panneau isolant

Figure 32 b – Détail avec un relevé isolé thermiquement

Figures 32 – Détails en pied de costière avec relevé d'étanchéité bitumineuse, et relief en blocs de béton cellulaire autoclavé



hauteur h* : selon le § 7.524 du Dossier Technique

Figure 33 – Coupe sur relevé d'étanchéité avec costière métallique et pare-vapeur bitumineux, et dalles de bardage de béton cellulaire HEBEL, en terrasse inaccessible

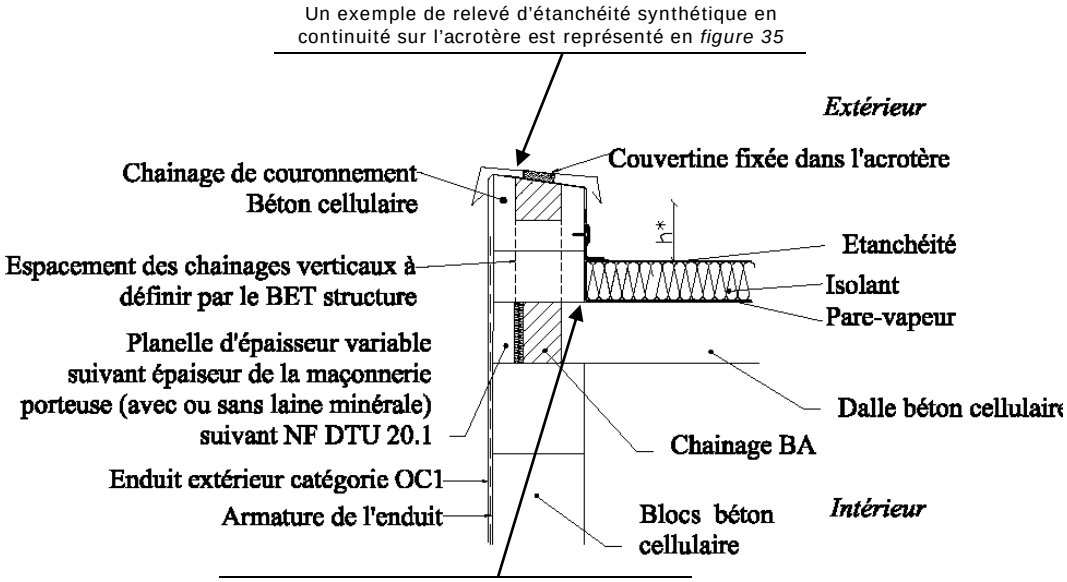


Figure 34 – Coupe sur relevé d'étanchéité synthétique, avec acrotère en blocs de béton cellulaire autoclavé en terrasse inaccessible

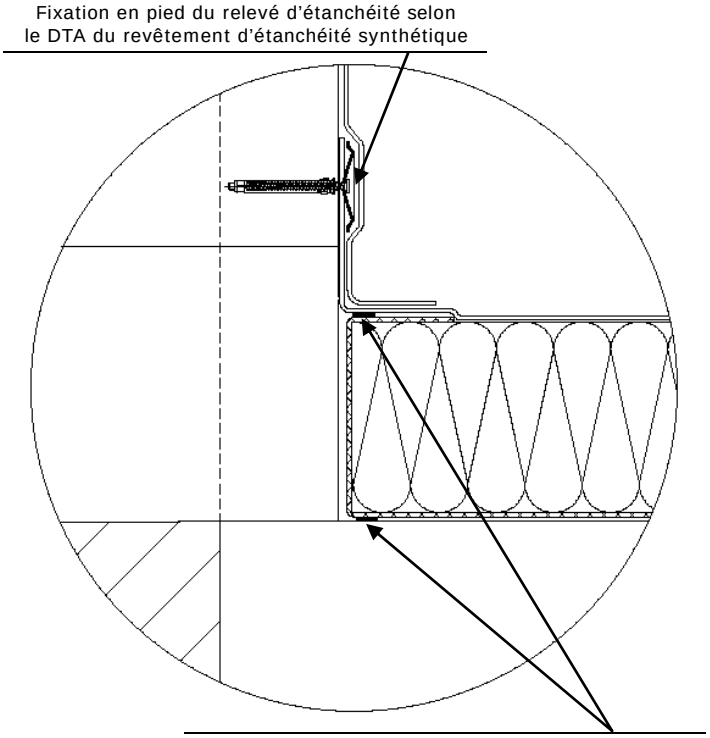


Figure 35 – Exemple, coupe sur relevé d'étanchéité synthétique, avec acrotère en blocs de béton cellulaire autoclavé

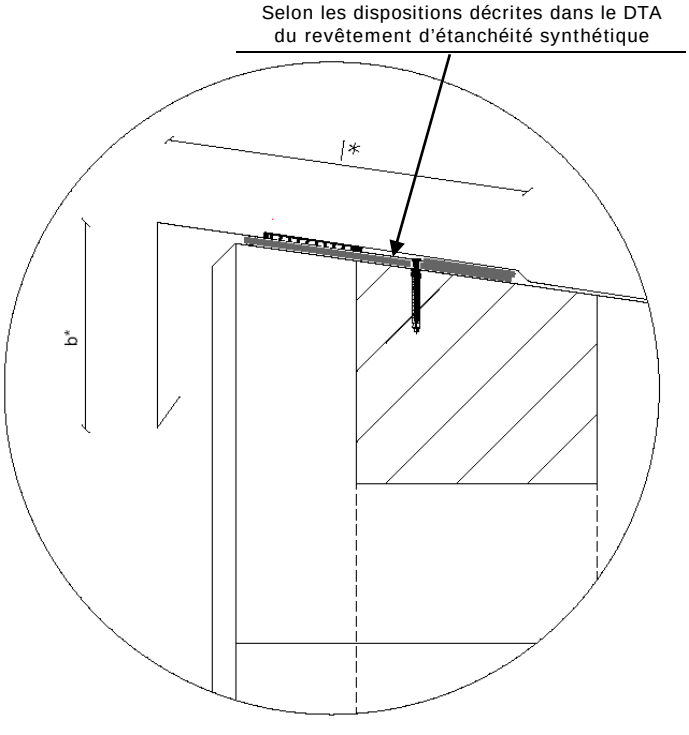


Figure 36 – Coupe sur le dessus du relevé synthétique, avec l'acrotère recouvert du revêtement d'étanchéité synthétique