APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence : 2494_V4

(annule et remplace la version 2494_V3)

ATEx de cas a

Validité du 31/10/2023 au 31/10/2024

Copyright : Société ISOCAB France

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

A LA DEMANDE DE :

Société ISOCAB France
Z.I. de Grande Synthe
3 Rue Charles Fourier
CS 30142
FR-59792 Grande Synthe Cedex

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2494_V4

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de toiture étanchée INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) Toiture Plane.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 30 septembre 2020, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEx ci-dessous définie :

- demandeur : Société ISOCAB France
- technique objet de l'expérimentation : Toiture plane étanchée constituée :
  - d'un élément porteur en panneaux sandwich INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND) posés et fixés à la charpente métallique assurant seule la stabilité de l'ouvrage ;
  - d'un isolant support d'étanchéité, maintenu par fixations mécaniques préalables sur les panneaux sandwich ;
  - d'un complexe d'étanchéité monocouche à base de membrane en PVC-P, fixé mécaniquement aux panneaux sandwich.

  Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEx 2494_V4 et résumée dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée ;

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

*Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **31 octobre 2024**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulées au §4.*

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

1°) Sécurité

1.1 - Stabilité et sécurité des usagers

La stabilité de l'ouvrage est assurée par la structure du bâtiment. Les panneaux sandwich ne participent ni à la stabilité de la structure, ni la stabilisation locale des pannes. Les panneaux sandwich sont considérés relevant de la classe de construction III selon la norme NF EN 1993-1-3 § 2, correspondant aux éléments assurant uniquement le transfert de charges à la structure.

La tenue des panneaux sous les charges d'exploitation, considérant sa destination en toitures terrasses inaccessibles et techniques, et les sollicitations climatiques est satisfaisante et doit est justifiée au cas par cas en prenant en compte les données du dossier technique établi par le demandeur.

1.2 - Sécurité en cas d'incendie

La sécurité incendie n'est pas remise en cause par la technique utilisée.

- Vis-à-vis du feu venant de l'extérieur :
  Le classement $B_{ROOF}(t3)$ des complexes d'étanchéité sur cet élément porteur n'est pas connu. Dans le cas d'écran M0 en face extérieure, celui-ci doit être décrit dans le DTA du revêtement d'étanchéité en PVC-P, sinon il peut être remplacé par une protection par dallettes en béton ou par gravillons.
- Vis-à-vis du feu intérieur :
  Le classement de réaction au feu des panneaux sandwich INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND) est Bs1d0.

1.3 – Sécurité en cas de séisme

Selon la réglementation sismique définie par :

- Le décret n° 2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique ;
- Le décret n° 2010-1255 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français ;
- L'arrêté du 22 octobre 2010 modifié relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »,

Le procédé peut être mis en œuvre, en respectant les prescriptions du Dossier Technique sur des bâtiments de catégorie d'importance I, II, III et IV, situés en zone de sismicité 1 (très faible), 2 (faible), 3 (modérée) et 4 (moyenne), sur des sols de classe A, B, C, D et E.

1.4 - Sécurité des intervenants

Les reliefs constitués par les panneaux sandwich de bardage n'assurent pas la fonction de garde-corps. Il y aura lieu de prévoir des dispositifs de sécurité, individuels et/ou collectifs, sans fixation à travers la membrane d'étanchéité. L'action (poids) du dispositif de sécurité doit être prise en compte dans le dimensionnement des panneaux sandwich.

Il est rappelé que les palettes de panneaux isolant et de membranes d'étanchéité doivent être positionnées au droit des appuis de la structure.

2°) Faisabilité

Constance de fabrication
Les éléments font l'objet de DTA. Leur constance technique de fabrication est assurée dans ce cadre.

Mise en œuvre et assistance technique
La faisabilité de la mise en œuvre a été démontrée par des références réalisées à l'étranger et également en France.

La mise en œuvre de l'ouvrage de toiture (panneaux sandwich/isolant/étanchéité) doit être réalisée par une entreprise confiant en sous-traitance la partie pour laquelle elle n'est pas compétente ou par des entreprises en co-titularité : cf. § Risques de désordres.

La société ISOCAB France apporte systématiquement à l'entreprise de pose, son assistance technique, tant au niveau de la conception et du dimensionnement de l'ouvrage, qu'en phase de mise en œuvre.

3°) Risques de désordres

Le dimensionnement des panneaux, tenant compte de leur fluage et du gradient thermique fonction de la température intérieure, doit être supervisé par la société ISOCAB France.

Le risque de condensation dans la paroi sans être totalement exclu est faible et les conséquences limitées.

Dans le cas où le lot toiture (panneaux et complexe d'étanchéité) n'est pas confié à une entreprise sous-traitant la partie d'ouvrage pour laquelle elle n'est pas qualifiée ou à un groupement d'entreprises (cf. § Recommandations), l'entreprise de pose du complexe d'étanchéité risque de dégrader la surface des panneaux sandwich, ainsi que les dispositifs d'étanchéité à la vapeur d'eau. Cela conduirait à aggraver le risque de condensation dans la paroi et conduire à la dégradation les constituants métalliques (fixations, parements) remettant en cause la stabilité de la toiture.

En cas d'absence de communication entre l'entreprise « Structure » et l'entreprise « Toiture » en phase « Etudes », le dimensionnement de chaque ouvrage (structure et toiture) ne pourrait tenir compte des bonnes hypothèses de calcul, notamment :

- la charpente ne pourrait prévoir les réactions d'appui (position et action) transmisses par les panneaux ;
- le dimensionnement des panneaux ne pourrait tenir compte des largeurs exactes des appuis.

4°) Recommandations

Il est recommandé :

- Au Maître d'ouvrage, de confier le lot toiture (panneaux et complexe d'étanchéité) à une entreprise sous-traitant la partie d'ouvrage pour laquelle elle n'est pas qualifiée ou à un groupement d'entreprises (co-titularité) ;
- A l'entreprise de pose de demander systématiquement l'assistance technique de la société ISOCAB France, tant pour le dimensionnement du procédé que sa mise en œuvre ; en tenant compte des actions définies par les eurocodes et leur annexe nationale, le dimensionnement de l'ouvrage est entièrement réalisé selon la norme NF EN 14509 et son complément national ;
- A l'entreprise de pose, de respecter les dispositions du dossier technique concernant l'implantation des déversoirs, notamment dans le cas de panneaux sandwich posés de ferme à ferme et de noue à pente nulle où il est nécessaire d'avoir un déversoir à chaque milieu de portée ;
- Au maître d'œuvre de ne pas prévoir d'équipement particulier en toiture, notamment des panneaux photovoltaïques, non envisagés par le procédé ;
- A l'entreprise de pose, de questionner le fabricant de la membrane PVC-P sur le coefficient d'absorption solaire du coloris prévu qui doit être toujours inférieur à 0,7 ;
- A l'entreprise de pose de définir l'équipement de sécurité individuel et/ou collectif dans le respect de la Règlementation et de communiquer à la société ISOCAB, la charge de poids correspondant à prendre en compte dans le dimensionnement des panneaux sandwich ;
- A l'entreprise titulaire du lot « Toiture » ou aux entreprises co-titulaires, de formaliser la finalisation et la réception de l'ouvrage en panneaux sandwich, ses fixations et ses traitements de jonction (contact bande alu-butyle avec le butyle dans l'emboitement des panneaux et leur état), avant le démarrage de la pose de l'isolant support d'étanchéité recouvrant les panneaux sandwich.

5°) Rappel

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

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

- la sécurité est assurée,
- la faisabilité est réelle,
- les risques de désordres sont limités.

Fait à Champs sur Marne.
Le Président du Comité d'Experts,
Stéphane GILLIOT

P.O. Anouk MINON

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société ISOCAB France
Z.I. de Grande Synthe
3 Rue Charles Fourier
CS 30142
FR-59792 Grande Synthe Cedex

Définition de la technique objet de l'expérimentation : Toiture plane étanchée constituée :

- d'un élément porteur en panneaux sandwich INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND) posés et fixés à la charpente métallique assurant seule la stabilité de l'ouvrage ;
- d'un isolant support d'étanchéité, maintenu par fixations mécaniques préalables sur les panneaux sandwich ;
- d'un complexe d'étanchéité monocouche à base de membrane en PVC-P, fixé mécaniquement aux panneaux sandwich.

Domaine d'emploi : Locaux agro-alimentaires et frigorifiques à température intérieure de - 30 à + 40°C, à faible, moyenne et forte hygrométrie ou à pression de vapeur d'eau ≤ 15 mmHg, situés en climat de plaine.

Composants :

- Panneaux sandwich INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND) faisant l'objet du DTA 2/15-1665, y compris leurs fixations et leurs étanchéités de jonction ;
- Isolant support d'étanchéité en laine de roche ou en polyuréthanne, faisant l'objet d'un DTA visant la pose sur éléments porteur en TAN conformes au NF DTU 43.3 ;
- Membrane d'étanchéité monocouche en PVC-P faisant l'objet d'un DTA pour l'emploi sur support isolant en laine de roche ou en polyuréthanne, sur éléments porteurs en TAN conformes au NF DTU 43.3.

Mise en œuvre :

Les panneaux sandwichs sont posés directement sur les pannes ou fermes de la charpente bois, métallique ou béton avec inserts, dimensionnée selon l'Eurocode. Les étanchéités de jonction de panneaux, ainsi que les croisements de joints, sont réalisés selon le DTA INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND), par joint butyle ou bande alu-butyle en longitudinal et bande alu-butyle en transversale. Les différents plans d'étanchéité entre l'emboitement transversal et longitudinal sont reliés entre eux. Les étanchéités en points singuliers sont traitées de la même manière.

Les panneaux isolants support d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur DTA, en considérant les panneaux sandwich comme des TAN conformes au NF DTU 43.3.

Les membranes PVC-P sont mis en en œuvre en partie courant conformément à leur DTA, en considérant les panneaux sandwich comme des TAN conformes au NF DTU 43.3. En relief bas (hauteur ≤ 250 mm), il n'est pas nécessaire d'avoir de costière métallique, étant donné la rigidité des panneaux sandwich et leur liaison commune à la charpente. Le relevé en membrane PVC-P est remonté librement jusqu'à la tranche des panneaux de façade et fixé mécaniquement sous un profil U.

Dans le cas de panneaux sandwich de paroi verticale présentant une rupture thermique du parement intérieur, pour les reliefs hauts (> 250 mm et ≤ 1 200 mm), une costière métallique servant de renfort est positionnée directement sur les panneaux sandwich, fixée à la charpente et en tête de panneaux sandwich de façade. Le relevé en membrane PVC-P est remonté librement jusqu'à la tranche des panneaux de façade. La fixation en tête et en pied de relevé est complétée par une ligne de fixations intermédiaires tous les 500 mm au maximum.

L'évacuation de l'eau est réalisée par des déversoirs :

- Dans le cas de panneaux sandwich posés sur pannes (perpendiculaires à la noue) : respect de la norme NF DTU 43.3 ;
- Dans le cas de panneaux sandwich posés sur fermes (parallèles à la noue) et de noue à pente nulle : un déversoir à chaque milieu de portée.

Les descentes d'eaux pluviales sont maintenues par un encadrement métallique fixé au parement extérieur des panneaux de façade (épaisseur mini 0,75 mm).

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 2494_V4 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 35 pages.

Procédé de Toiture étanchée INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) Toiture Plane

« Dossier technique établi par le demandeur »

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

Datée du 13 octobre 2017

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEx 2494_V4.

Dossier de demande d'ATEx de type A

Procédé de Toiture Etanchée

INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) Toiture Plane

présenté par ISOCAB France

ATEx n° 2494_V4

A. Description

1. Principe

Le procédé INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) Toiture Plane est composé de panneaux sandwich utilisés comme élément porteur support de complexe d'étanchéité. Une isolation rapportée est mise en œuvre sur le parement extérieur du panneau sandwich, support d'une membrane d'étanchéité à base de membrane en PVC-P fixée mécaniquement sur le parement extérieur du panneau sandwich.

2. Domaine d'emploi

Le procédé est destiné aux toitures inaccessibles ou techniques, au sens de la norme NF P 84-206 (DTU 43.3), des locaux frigorifiques et agroalimentaires, à température positive ou négative (comprise entre – 30 et + 40°C) et à ambiances intérieures Ai1 à Ai6 selon la norme NF P75-401 (DTU 45.1), soumises à un effort ascendant de vent, calculé selon le cahier CSTB 3779 limité à 2 666 Pa.

L'ossature support des panneaux sandwich est toujours placée côté intérieur des locaux.

Les panneaux sandwich relèvent de la classe de construction III selon la norme NF EN 1993-1-3 § 2, correspondant aux éléments assurant uniquement le transfert de charges à la structure.

Ce type de toiture est utilisé en association avec des parois réalisées selon le DTA INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) dans lequel la mise en œuvre du procédé est réalisée sur une ossature intérieure.

Les bâtiments ne présentent pas de joints de dilatation de structure.

Les panneaux sandwiches INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) sont posés de pannes à pannes ou de fermes à fermes, c'est-à-dire dans le sens de la pente ou bien perpendiculairement à la pente.

La pente minimale sur plan est de 3% et maximale de 30%.

En locaux à température négative, les toitures ne présentent pas de pénétration ponctuelle.

Ces locaux abritent des activités variés où suivant les cas :

- La gestion de l'air intérieur est réalisée soit par une ventilation naturelle, soit par régulation de la température et/ou de l'humidité.
- Les activités génèrent des ambiances intérieures plus ou moins agressives.
- Les conditions d'exploitation peuvent nécessiter éventuellement des contraintes d'hygiène et de nettoyage.

Indépendamment des contraintes d'agressivité et de nettoyage, on définit du point de vue hygrométrique :

- Quatre types d'hygrométrie conventionnelle pour les locaux ventilés naturellement avec humidité non fixée en régime moyen pendant la saison froide :
  - Faible : $W/n \leq 2,5$ g/m^3
  - Moyenne : $2,5 < W/n \leq 5$ g/m^3
  - Forte : $5 < W/n \leq 7,5$ g/m^3

Où :

- W est égal à la quantité de vapeur produite à l'intérieur du local exprimée en grammes par heure.
- n est le taux de renouvellement d'air exprimé en mètres cube par heure.

- Quatre niveaux de pression de vapeur d'eau intérieure pour des locaux avec température ou humidité fixées et régulées :
  - Moins de 5 mmHg (666 Pa).
  - De 5 mmHg (666 Pa) à 10 mmHg (1333 Pa).
  - De 10 mmHg (1333 Pa) à 15 mmHg (1999 Pa).

Le procédé peut être mis en œuvre, du point de vue des règles parasismiques, en locaux agro-alimentaires et frigorifiques sur charpente métallique, bois et béton avec inserts métalliques, de bâtiments de catégorie d'importance I, II, III et IV, situés en zone de sismicité 1 (très faible), 2 (faible), 3 (modérée) et 4 (forte) sur des sols de classe A, B, C, D et E.

La sécurité des personnes doit être assurée conformément aux normes en vigueur.

Les locaux frigorifiques et agroalimentaires en climat de montagne ne sont pas visés par le présent dossier.

3. Eléments et matériaux

3.1 Panneaux sandwich INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND)

Panneaux conformes au Document Technique d'Application INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND) :

- d'épaisseur nominale minimale 100 mm;
- dont le parement F2 est au minimum en épaisseur de 0,75mm. Le parement F2, dans la nomenclature ISOCAB France, est le parement extérieur sur lequel l'étanchéité est fixée mécaniquement.
- Dont la géométrie des parements est nervurée des deux côtés (cf. figures 1 et 2).

Ils ne comportent pas d'insert avec oméga dans leur âme isolante.

Les caractéristiques mécaniques des panneaux sont données par leur Déclaration de Performances (DoP).

Le classement de réaction au feu des panneaux est Bs1d0, selon PV en cours de validité.

Les finitions intérieures et extérieures sont respectivement choisies selon l'ambiance intérieure et l'atmosphère extérieure conformément aux tableaux 5 et 6 du Document Technique d'Application INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND), sans tenir compte du complexe d'étanchéité.

Les performances de transmissions thermiques Uc des panneaux INDUSTRIAL Agro-alimentaires (IND) utilisés en toiture sont définies dans les tableaux suivants :

Tableau Uc selon Décision CTAT

	Epaisseur panneau [mm]	U_c [W/m².K]
Calcul réalisé sur la base d'une conductivité thermique de 0,025 W/m.K selon décision CTAT n°20 – option 2 du 20 février 1995)	100	0,246
	120	0,206
	140	0,177
	170	0,146
	200	0,124
	220	0,113

NB : R=1/U

3.2 Fixations des panneaux par vis traversantes

Les vis avec filetage sous tête et rondelles en acier galvanisé ou en acier inoxydable sont conformes aux DTU 40.35 et 43.3. En locaux à température négative, les fixations sont en acier inoxydable A2.

- Vis auto-taraudeuses :
  - Diamètre 6,5 mm pour fixation sur support bois ou support acier avec une épaisseur maximale de 2,5 mm,
  - Diamètre 6,3 mm pour fixation sur support acier d'une épaisseur de plus de 2,5 mm,
  - avec rondelle d'appui diamètre minimum 22 mm, munie en monobloc d'une rondelle d'étanchéité en EPDM.
- Vis auto-perceuses ∅ 5,5 mm à tête plate hexagonale ∅ 8 mm avec rondelle d'appui ∅ minimum 22 mm.

La longueur des vis en fonction du support et de l'épaisseur des panneaux est donnée au tableau 1 ci-après.

Tableau 1 – Capacité d'assemblage pour INDUSTRIAL Agroalimentaire (IND)

Longueur des vis (mm)		
Épaisseur du panneau (mm)	**Support acier**	**Support bois**
100	120	150
120	140	170
140	160	190
170	190	220
200	220	250
220	240	270

3.3 Fixation par tige filetée à travers le panneau

- Tige filetée M10 avec rondelle soudée en acier inoxydable A2 de diamètre 50mm et d'épaisseur 3 mm.
- Crapaud en acier S235JR45 sablé selon ISO 8501/1 SA 2.5, puis galvanisé selon NF EN 1275, épaisseur minimale 80 µm (568 g/m²).

3.4 Etanchéité en jonction de panneaux (cf. § 8.6)

3.41 Traitement des joints longitudinaux

Elles sont réalisées à partir de :

- Mastic butyle,
- Mastic silicone de qualité alimentaire bénéficiant du label SNJF.
- Bande aluminium-butyle.

La bande Alu-Butyle peut être remplacée par la bande Alutrix 600 de la société IRS-BTECH.

Les mastics butyles sont ajoutés dans les emboitements en fonction de l'ambiance intérieure (cf. Fig. 3).

Il convient de relier entre eux les différents plans d'étanchéité entre l'emboitement transversal et longitudinal (cf. Fig. 4 et 14).

3.42 Traitement des joints transversaux

Ils doivent être revêtus d'une bande Alu-Butyle côté complément d'isolation. Le pontage du pare-vapeur au droit des emboitements s'effectue par un recouvrement de 5 cm.

La bande Alu-Butyle peut être remplacée par la bande Alutrix 600 de la société IRS-BTECH.

En fonction de l'ambiance intérieure, un mastic butyle est appliqué entre le panneau et la charpente.

Il convient de relier entre eux les différents plans d'étanchéité entre l'emboitement transversal et longitudinal (cf. Fig. 4 et 14).

3.5 Isolation support d'étanchéité

Isolants faisant l'objet d'un Document Technique d'Application visant l'utilisation en toitures terrasses inaccessibles et techniques en tant que support d'étanchéité sur tôle d'acier nervurée (TAN), constitués de :

- Plaques de laine de roche d'épaisseur nominale 50 mm et de résistance thermique minimale 1,1 m^2.K/W ;
- Plaques de mousse polyuréthanne de type PIR d'épaisseur nominale 30 mm et de résistance thermique minimale 1,2 m^2.K/W.

Leurs fixations préalables sont définies dans leur DTA respectif.

Dans le cas d'une demande de classification au feu par l'extérieur Broof(t3), l'isolant support d'étanchéité est en laine de roche et ce classement est justifié par un Procès-Verbal d'essai.

3.6 Membrane d'étanchéité

Etanchéité apparente fixée mécaniquement faisant l'objet d'un Document Technique d'Application visant l'utilisation en étanchéité de toitures terrasses inaccessibles et techniques, sur tôle d'acier nervurée (TAN), constitués de membranes synthétiques en PVC-P d'épaisseur minimale 1,2 mm, de largeur de lé 1 m maxi, fixé mécaniquement, de couleur blanc ou gris clair (coefficient d'absorption α est inférieur ou égal à 0,7) ;

Si nécessaire, écran de classement de réaction au feu M0 référencé dans le Document Technique d'Application du revêtement synthétique défini ci-dessus.

A défaut d'écran, la protection peut être assurée par dallettes béton ou granulats. La charge supplémentaire de cette protection doit être prise en compte dans le dimensionnement des panneaux.

3.7 Costières métalliques de renfort

Costières métalliques en acier galvanisé au moins Z275, d'épaisseur minimale 3 mm, utilisées en renfort mécanique dans le cas de relief de hauteur supérieur à 250 mm.

3.8 Accessoires

Ils comprennent des profilés en tôle pliée de même nature et couleur que celle des parois pour les habillages d'angle. L'épaisseur de la tôle utilisée pour les accessoires est au minimum de 0,60 mm.

Les congés d'angle en PVC font partie des accessoires usuels dans le domaine d'emploi visé.

4 Fabrication

La fabrication des différents éléments est explicitée dans leur avis technique ou Document Technique d'Application respectif.

5 Contrôles de fabrication

Les contrôles de fabrication des différents éléments du procédé sont explicités dans leur avis technique ou Document Technique d'Application respectif.

6 Identification des éléments

Le conditionnement, le marquage, les conditions de transport, de manutention et de stockage des éléments ont explicités dans leur avis technique ou Document Technique d'Application respectif.

7 Fourniture

La fourniture des panneaux sandwich et des accessoires (profilé en tôle pliée, etc…) est assurée par la société ISOCAB France. Sur demande, elle peut également assurer la fourniture des accessoires (profilé en tôle pliée, etc…).

Les autres éléments, à savoir essentiellement : mastic et bande butyle, membrane d'étanchéité, isolant, et leurs fixations, sont directement approvisionnés par le poseur, en conformité avec la description qui en est donnée au Dossier Technique.

8 Mise en œuvre

8.1 Répartition des lots

La mise en œuvre du procédé INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) Toiture Plane doit être réalisée par un groupement d'entreprises (co-titularité), qualifiée(s) pour la pose des panneaux sandwich INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) et celle du complexe d'étanchéité (isolation support et membrane). L'annexe F liste les contrôles à réaliser avant de recouvrir les panneaux sandwich par l'isolant support d'étanchéité.

La mise en œuvre des panneaux sandwich et de leur étanchéité aux jonctions et en points singuliers doit être effectuée par une entreprise qualifiée en isolation frigorifique des locaux et bâtiments.

Celle du complexe d'étanchéité (isolant et membrane) doit être effectuée par une entreprise qualifiée en travaux d'étanchéité en feuilles synthétiques.

8.2 Assistance technique

La mise en œuvre est réalisée par des entreprises spécialisées et doit s'accompagner de précautions (transport, manutention, pose,…).

La société ISOCAB France SAS assure l'assistance technique systématique du client, tant en phase conception et dimensionnement du procédé, qu'en phase réalisation.

La Société ISOCAB France SAS met sur demande à la disposition des entreprises de pose des notices de montage détaillées.

8.3 Stockage sur la toiture

Les dispositions de stockage à prendre en compte doivent être conformes au § 6.1 du NF DTU 43.3 P1.1.

Les colis de panneaux ne sont pas stockés sur les panneaux déjà mis en œuvre sur la toiture. Les colis de complément d'isolation ainsi que les rouleaux de membranes sont stockés au droit d'un appui.

8.4 Dispositions relatives à l'ossature

L'ossature du bâtiment devra être calculée conformément aux règles en vigueur en tenant compte des charges transmises par les ouvrages d'enveloppe. Les panneaux sandwich ne participent ni à la stabilité générale des bâtiments, ni à la stabilité locale de la structure.

La structure doit être dimensionnée par le lot « Structure » en tenant compte notamment des largeurs de repos nécessaires aux panneaux sandwich et des réactions d'appuis, fournies par la société ISOCAB.

L'ossature métallique du bâtiment doit être fabriquée en respectant les tolérances de la classe 1 de fabrication de la norme NF EN 1090-2 et réalisée en respectant les tolérances de montage de classe 2 de la norme NF EN 1090-2.

L'ossature bois doit être conforme au NF DTU 31.1.

La mise en œuvre du procédé est prévue pour être exécutée sur des structures porteuses, en :

- Acier, dimensionnées conformément aux normes NF EN 1993-1-1 (octobre 2005) et NF EN 1993-1-1/NA (Août 2013). Dans ce cas, les valeurs limites maximales à prendre en compte pour les flèches ver-

ticales sont celles de la ligne « Toiture en général » du tableau 1 de la clause 7.2.1 (1) B de la NF EN 1993-1-1/NA (Août 2013) ;

- Bois, dimensionnées conformément aux normes NF EN 1995-1-1 (Octobre 2008) et NF EN 1995-1-1/NA (Mai 2010). Dans ce cas, les valeurs limites à prendre en compte pour les flèches sont celles figurant à l'intersection de la colonne «Bâtiments courants» et de la ligne « Éléments structuraux » du tableau 7.2 de la clause 7.2 (2) de la NF EN 1995-1-1/NA (Mai 2010) ;
- Béton avec inserts métalliques, dimensionnées conformément aux normes NF EN 1992-1-1 (Février 2015), NF EN 1992-1-1/NA (Mars 2016), et NF P10-203-1 (réf. DTU 20.12).

Les panneaux INDUSTRIAL Agroalimentaire (IND) sont mis en œuvre à l'avancement, la rive mâle du panneau à poser étant emboitée dans la rive femelle du panneau déjà posé.

Dans le cas d'une pose de ferme à ferme en bas de pente, il y aura un déversoir à mi-portée de chaque panneau. (Se reporter à l'annexe E du DTU 43.3).

8.5 Dispositions relatives aux panneaux

La mise en œuvre du panneau sandwiche s'effectue de panne à panne ou de ferme à ferme.

Pour la découpe de panneaux (uniquement en température intérieure local positive), l'utilisation de matériel chauffant les parements est proscrit (tronçonneuse) : elle peut nuire au revêtement des tôles. Les limailles/copeaux sont éliminés immédiatement des revêtements afin d'en éviter l'incrustation.

Les panneaux du procédé INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) sont posés avec la face, repérée F2 sur la tranche, côté extérieur du bâtiment.

La portée maximale d'utilisation revendiquée va de 3,5 m pour le panneau de 100 mm à 6,5 m pour le panneau de 220 mm (cf. §A3.1 de l'annexe A).

Une note de calcul est systématiquement établie par la société ISOCAB France. Elle indiquera, outre la performance du panneau, le nombre de fixations par largeur de panneau et par appui.

L'assemblage des panneaux sandwich s'effectue avec les fixations décrites au §3.2 (cf. Fig. 5, 6, 7, 15, 16 et 17). L'entreprise évitera le poinçonnement et l'écrasement du parement des panneaux par les vis et rondelles en utilisant des visseuses avec butée de profondeur.

Leur dimensionnement vis-à-vis des sollicitations climatiques et d'exploitation est défini en annexe A en fin de dossier technique.

8.6 Dispositions d'étanchéité des jonctions

L'entreprise dispose en jonction longitudinale des panneaux (cf. fig. 3) et en croisement de joints longitudinaux et transversaux (cf. fig. 4 et 14) les garnitures d'étanchéité indiquées dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2 – Etanchéité aux joints de panneaux

Caractéristiques climatiques du local		**Face intérieure local**	**Face extérieure local**
Locaux avec renouvellement d'air et humidité non fixée	Faible et moyenne hygrométrie	—	Mastic butyle+(*)
	Forte hygrométrie	Mastic butyle	Mastic butyle+(*)
Locaux avec température et humidité fixées et régulées	Moins de 5 mmHg	—	Mastic butyle+(*)
	Compris entre 5 et 10 mmHg	Mastic butyle	Mastic butyle+(*)
	Compris entre 10 et 15 mmHg	Mastic butyle	Mastic butyle+(*)
(*) : Mastic silicone s'il est nécessaire de réaliser l'étanchéité à l'eau liquide en phase de montage (cf. Fig. 3). Le mastic silicone est interrompu au droit des joints transversaux (cf. Fig. 4 et 14).			

Le mastic silicone doit être positionnée en finition extérieure dans la gorge prévue à cet effet lorsque les panneaux sont emboîtés.

Le mastic butyle doit être positionné en fond d'emboîtement de façon à ne pas être apparent. Il peut être remplacé par une bande Alu-Butyle ou la bande ALUTRIX 600 côté complément d'isolation.

Les joints transversaux (espace vide d'environ 15 mm) reçoivent toujours une mousse polyuréthanne injectée sur site et en face extérieure, une bande alu-butyle de 15 cm de largeur, avec un recouvrement sur chaque panneau d'au moins 5 cm.

Le poseur doit relier entre eux les différents plans d'étanchéité entre l'emboitement transversal (bande alu-butyle) et longitudinal (mastic butyle).

8.7 Dispositions d'étanchéité en points singuliers

Les ponts singuliers sont traités par la mise en place de compléments d'étanchéité selon le tableau 3 ci-après :

Tableau 3 – Etanchéité en points singuliers

Caractéristiques climatiques du local		**Face intérieure local**	**Face extérieure local**
Locaux avec renouvellement d'air et humidité non fixée	Faible et moyenne hygrométrie	—	Mastic butyle+(*)
	Forte hygrométrie	Mastic butyle	Mastic butyle+(*)
Locaux avec température et humidité fixées et régulées	Moins de 5 mmHg	—	Mastic butyle+(*)
	Compris entre 5 et 10 mmHg	Mastic butyle	Mastic butyle+(*)
	Compris entre 10 et 15 mmHg	Mastic butyle	Mastic butyle+(*)
(*) : Mastic silicone s'il est nécessaire de réaliser l'étanchéité à l'eau liquide en phase de montage cf. Fig. 3). Le mastic silicone est interrompu au droit des joints transversaux (cf. Fig. 4 et 14).			

Les étanchéités sont complétées par un cordon de mastic silicone intérieur :

- Pour des raisons sanitaires.
- Dans le cas de locaux soumis à un nettoyage intensif (cas de figure à adapter en fonction de la hauteur sous plafond)

8.8 Dispositions relatives à l'isolant support d'étanchéité

La mise en œuvre de l'isolant support d'étanchéité est conforme à la norme NF DTU 43.3 complétée par son Document Technique d'Application.

Le sens de pose des plaques d'isolant est indifférent par rapport au sens de pose des panneaux sandwich. Dans le cas d'une exigence sur la toiture de classement $B_{ROOF}(t3)$, les plaques d'isolant sont posées perpendiculairement aux panneaux sandwich (ce classement est justifié par un Procès-Verbal d'essai).

L'isolant rigide est fixé mécaniquement (fixations préalables) sur le parement supérieur du panneau sandwich présentant une épaisseur minimale de 0,75 mm.

8.9 Dispositions relatives à l'étanchéité

La mise en œuvre de la membrane d'étanchéité est conforme à la norme NF DTU 43.3 complétée par son Document Technique d'Application.

Le sens de pose des lés est indifférent par rapport au sens de pose des panneaux sandwich.

Les lés sont fixés sur le parement supérieur du panneau sandwich présentant une épaisseur minimale de 0,75mm.

La valeur Pk_{ft} est prise égale à celle obtenue sur une TAN en acier de nuance S 320GD, d'épaisseur ≥ 0,75 mm.

La valeur de Wadm indiquée dans le DTA de la membrane d'étanchéité est utilisée comme valeur de calcul aux états limites ultimes (ELU). La densité de fixations est déterminée selon le cahier du CSTB n° 3563.

9 Points singuliers

Le traitement des points singuliers est vu dans le cahier graphique à la fin du document.

9.1 Acrotère

a) Locaux à température négative - Acrotère isolée (cf. fig. 10)

L'acrotère est systématiquement isolé pour un local en température négative. Le panneau sandwich de paroi verticale présente toujours une rupture thermique du parement métallique intérieur.

Dans le cas d'acrotère de hauteur supérieure à 250 mm, une équerre métallique d'épaisseur 3 mm vient renforcer mécaniquement la jonction entre les panneaux de parois et de toiture. Cette équerre est fixée dans le parement de panneaux de toiture par vis et bridée sur toute l'épaisseur du panneau sandwich de façade par tige filetée et écrous.

Le panneau isolant vertical de même nature que l'isolant support d'étanchéité est fixé mécaniquement soit au parement des panneaux sandwich de façade (hauteur ≤ 250 mm), soit à l'équerre métallique de renfort (hauteur ≥ 250 mm).

b) Locaux à température positive

L'acrotère peut être non isolé (cf. fig. 8 et 18).

Dans ce cas, le parement du panneau sandwich vertical sert de support à l'étanchéité.

Les hauteurs de relevés sont celles prescrites par les normes NF DTU 43.3. Le relevé est traité sans costières métalliques, directement sur le parement des panneaux sandwich de façade.

Dans le cas de panneaux sandwich de paroi verticale présentant une rupture thermique du parement intérieur et d'acrotère de hauteur supérieure à 250 mm, une équerre métallique d'épaisseur 3 mm vient renforcer mécaniquement la jonction entre les panneaux de parois et de toiture. Cette équerre est fixée dans le parement de panneaux de toiture par vis et bridée sur toute l'épaisseur du panneau sandwich de façade par tige filetée et écrous.

S'il n'y a pas de coupure de thermique, les acrotères de hauteur supérieure à 250 mm sont traités par une costière conforme au NF DTU 43.3.

L'acrotère peut être isolé en respectant les prescriptions du a) ci-dessus.

Dans le cas de dépassement de la structure de l'ouvrage (ex. baïonnette), celle-ci est isolée sur sa périphérie par les panneaux sandwich verticaux et horizontaux en tête. Des cornières métalliques assurent la continuité des parements métalliques verticaux et horizontaux.

c) Relevé d'étanchéité en PVC-P

La mise en œuvre des feuilles d'étanchéité en PVC-P est réalisée selon leur Document Technique d'Application.

Des fixations mécaniques ponctuelles par plaquettes de répartition métalliques 82 x 40 mm et les vis adaptées à l'élément porteur (parement extérieur du panneau sandwich INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND), sont positionnées en pied de relevés (cf. *fig. 8*), dans la partie courante, à raison de 4 par mètre linéaire au minimum.

Pour des hauteurs ≤ 50 cm, les relevés sont libres, fixés mécaniquement en tête par un profil métallique en U, coiffant la tête des panneaux sandwich de façade et l'épaisseur d'isolant vertical.

Pour des hauteurs > 50 cm, la fixation mécanique en tête est complétée par une ligne de fixations intermédiaires, tous les 50 cm au maximum, dans l'équerre métallique de renfort (hauteur > 250 mm et ≤ 1 200 mm). La feuille est fixée en tête.

Une couvertine pentée et étanche à l'eau, écartant les eaux de ruissellement, est obligatoire en tête des relevés.

9.2 Débord de cloison en toiture (cf. Fig. 11, 12 et 20)

Pour les locaux à température négative, les débords de cloison séparatrice de cellules en toiture sont isolés soit par panneaux sandwich (cf. fig. 12 ou 20), soit par l'isolation support d'étanchéité (cf. fig. 11) et recouvert par la membrane d'étanchéité de la même manière que les reliefs en acrotère.

9.3 Pénétrations (cf. Fig. 13)

Les pénétrations dans les toitures des locaux à températures négatives sont interdites.

Pour les locaux à températures positives, il convient de suivre les exemples de la norme NF DTU 43.3.

Dans tous les cas, il est nécessaire de contacter l'assistance technique ISOCAB France.

9.4 Evacuation des Eaux Pluviales (cf. Fig. 9 et 19)

L'évacuation des eaux pluviales est assurée par un système gravitaire, conformément au NF DTU 43.3, composé de déversoirs et de descentes d'eaux en façade.

Les descentes d'eau sont maintenues en façade selon les dispositions suivantes :

- Dans un parement extérieur d'épaisseur nominale 0,75 mm, les descentes d'eau peuvent être fixées mécaniquement directement dans le parement ;
- Dans le cas d'une utilisation d'un parement extérieur avec une épaisseur nominale strictement inférieure à 0,75 mm, il convient de reprendre la fixation des descentes d'eau sur l'ossature du bâtiment ;
- Dans tous les cas, un habillage en tôle d'acier laqué peut être réalisé pour cacher les tuyaux de descente d'eau.

Dans le cas de panneaux sandwich posés parallèlement à la noue, un déversoir doit être prévu à chaque milieu de portée, afin d'éviter le risque d'accumulation d'eau.

Les évacuations d'eaux pluviales par systèmes siphoïdes ne sont pas visées par le présent document.

10 Entretien et Réparation

L'entretien et la réparation concernant la toiture est réalisés conformément à l'annexe A du NF DTU 43.3 P1.1.

B. Résultats expérimentaux

Le procédé a fait l'objet des essais suivants :

Rapport d'essais :

- CSTC CAR n° 6047/1 : Industrial Agro-alimentaire (IND) 200 mm avec Coberlan N50 et Sikaplan 12G du 23/05/2006 ;
- CSTC CAR n° 10181 : Industrial Agro-alimentaire (IND) 100 mm avec Hardrock NU 2 et Sikaplan 12G du 02/11/2010 ;
- Rapport interne ISOCAB de mesure de température du parement extérieur sous complexe d'étanchéité ;
- Rapport d'étude hygrothermique du CSTB n° 26049284 du 10 novembre 2014.

C. Références

La Société ISOCAB produit les panneaux depuis 1989. La production totale en panneaux depuis le début est supérieure à 21 000 000 m² dont environ 95 % en agro-alimentaire.

Le procédé INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) Toiture Plane a fait l'objet à ce jour de 3 références en France représentant 13 000 m² en France. Plusieurs centaines de milliers de m² ont été réalisés en Europe et dans le monde.

Sommaire du Cahier Graphique

Photo – Montage du complexe de toiture
Figure 1 – Géométrie des parements
Figure 2 – Section du panneau INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND)
Figure 3 – Géométrie emboitement longitudinal et position joints

DISPOSITIONS EN LOCAUX A FAIBLE ET MOYENNE HYGROMETRIE
OU PRESSION DE VAPEUR INFERIEURE A 5 mmHg

Figure 4 – Croisement des joints
Figure 5 – Jonction extrémité sur ossature béton
Figure 6 – Jonction extrémité sur ossature métallique
Figure 7 – Jonction sur appui sur intermédiaire métallique
Figure 8 – Bas de pente avec rive en solin – Température intérieure local positive – hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Figure 9 – Bas de pente avec déversoir et boîte à eau gravitaire - Température intérieure local positive – hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Figure 10 – Acrotère - Température intérieure local négative - hauteur d'acrotère > 250 et ≤ 1 200 mm
Figure 11 – Dépassement d'une cloison en toiture
Figure 12 - Dépassement en toiture d'une cloison avec système de renfort
Figure 12bis - Dépassement en toiture d'une cloison avec système de renfort
Figure 13 – Traitement de pénétration

DISPOSITIONS EN LOCAUX A FORTE HYGROMETRIE
OU PRESSION DE VAPEUR COMPRISE ENTRE 5 et 15 mmHg

Figure 14 – Croisement des joints
Figure 15 – Jonction extrémité sur ossature béton
Figure 16 – Jonction extrémité sur ossature métallique
Figure 17 – Jonction sur appui sur intermédiaire métallique
Figure 18 – Bas de pente avec rive en solin – hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Figure 19 – Bas de pente avec déversoir et boîte à eau gravitaire – hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Figure 20 – Dépassement d'une cloison en toiture

Sommaire des Annexes

Dimensionnement de la toiture
Gradient thermique - poutre sur deux appuis (formules de calcul)
Gradient thermique – poutre sur trois appuis (formules de calcul)
Fluage – poutre sur 2 appuis (formules de calcul)
Fluage – poutre sur 3 appuis (formules de calcul)

Cahier graphique

Photo - Montage du complexe de toiture

Figure 1 – Géométrie des parements

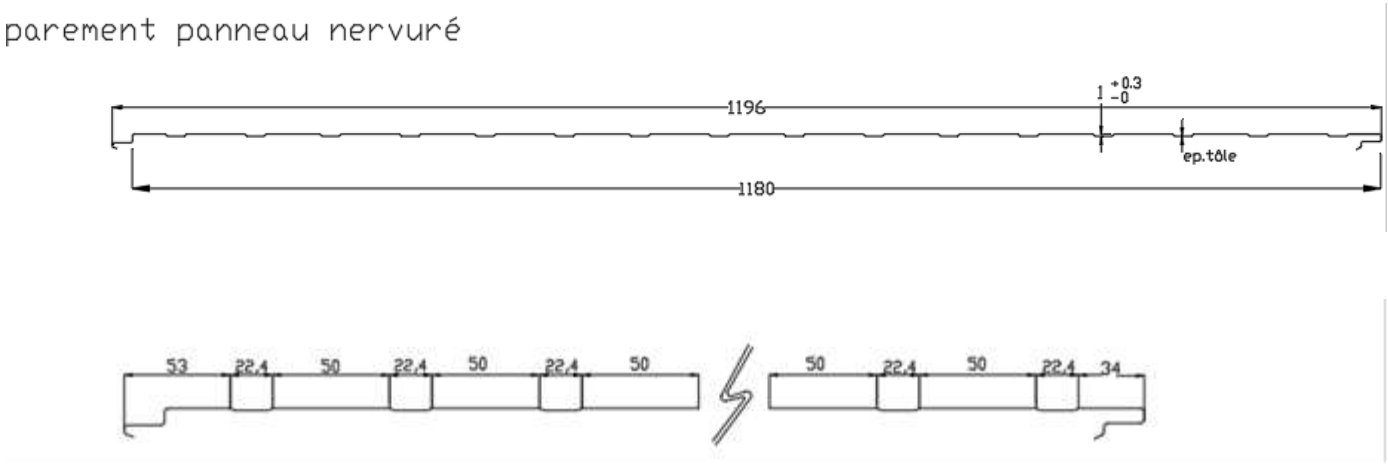


Figure 2 – Section du panneau INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND)

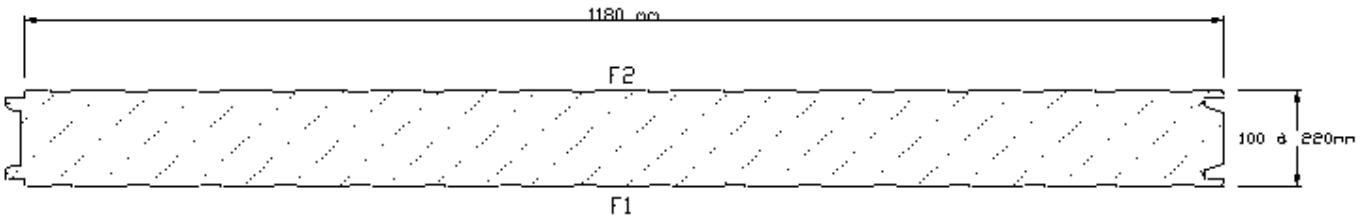
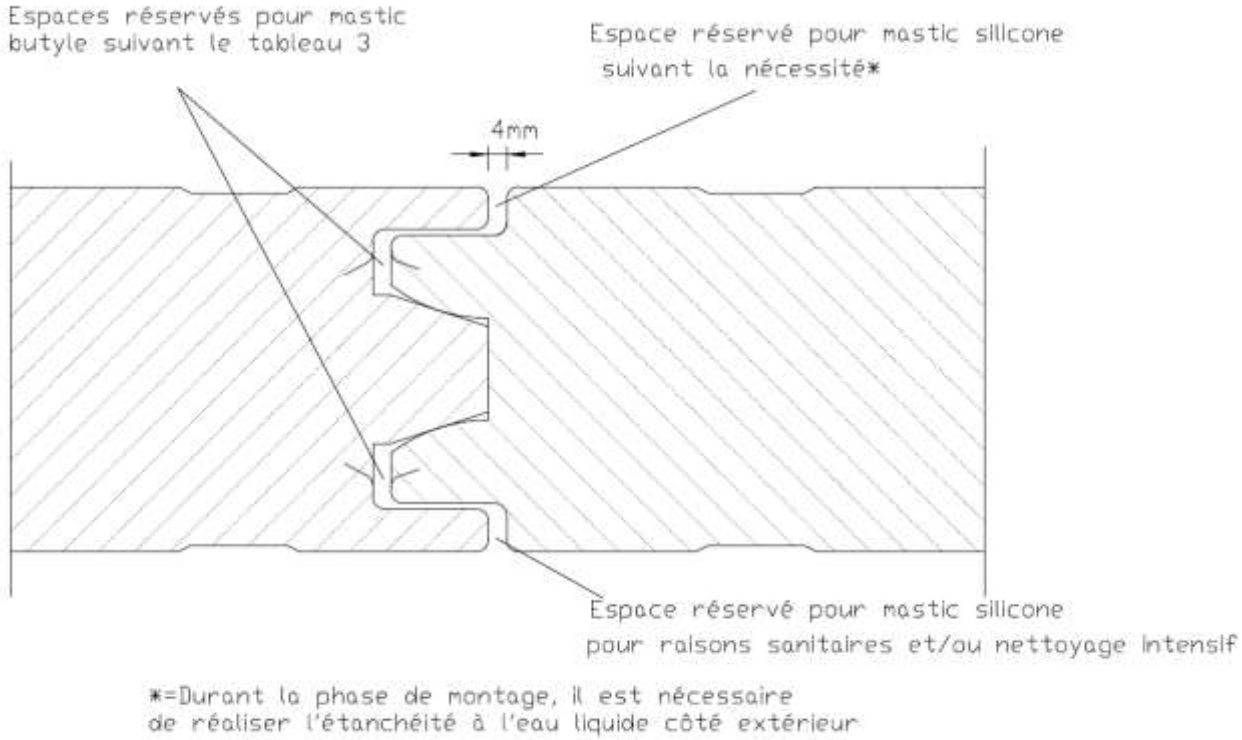


Figure 3 – Géométrie emboitement longitudinal et position des joints

Nota : Le mastic butyle, côté extérieur, peut être remplacé par une bande Alu-butyle collée sur la surface des parements extérieurs



DISPOSITIONS EN LOCAUX A FAIBLE ET MOYENNE HYGROMETRIE OU PRESSION DE VAPEUR INFERIEURE A 5 mmHg

Figure 4 – Croisement des joints
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

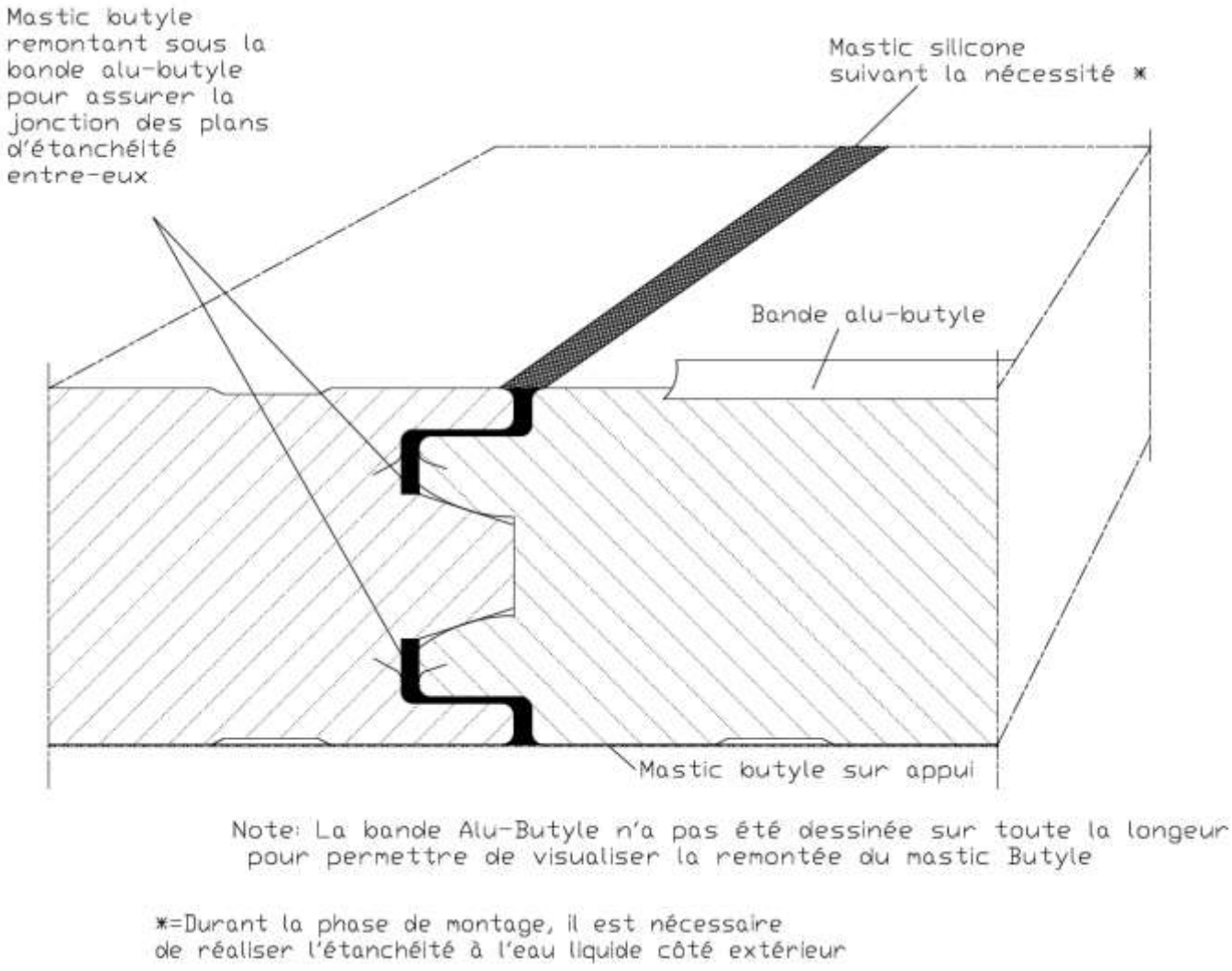


Figure 5 - Jonction extrémité sur ossature béton
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

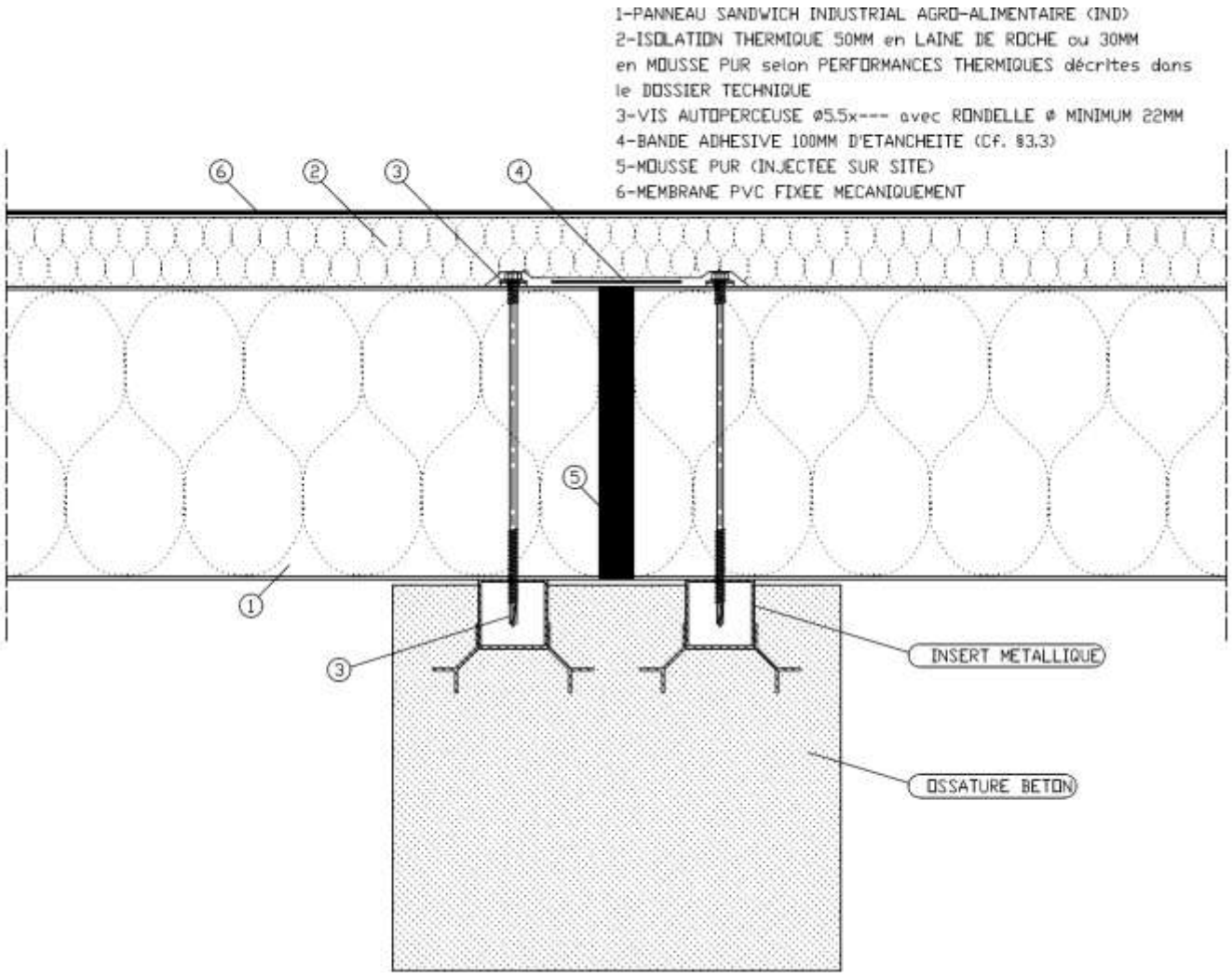


Figure 6 - Jonction extrémité sur ossature métallique
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

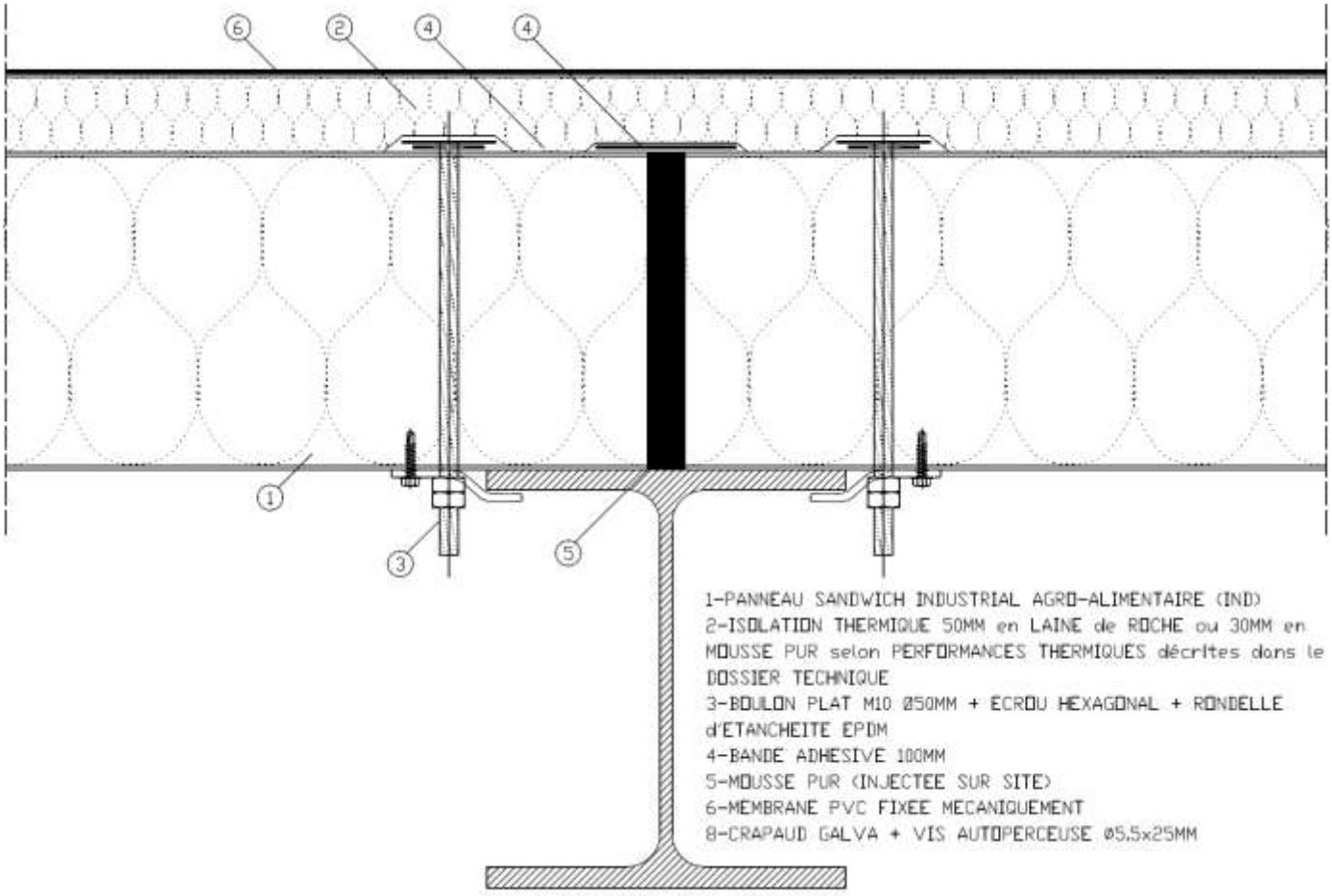


Figure 7 - Jonction sur appui intermédiaire métallique
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

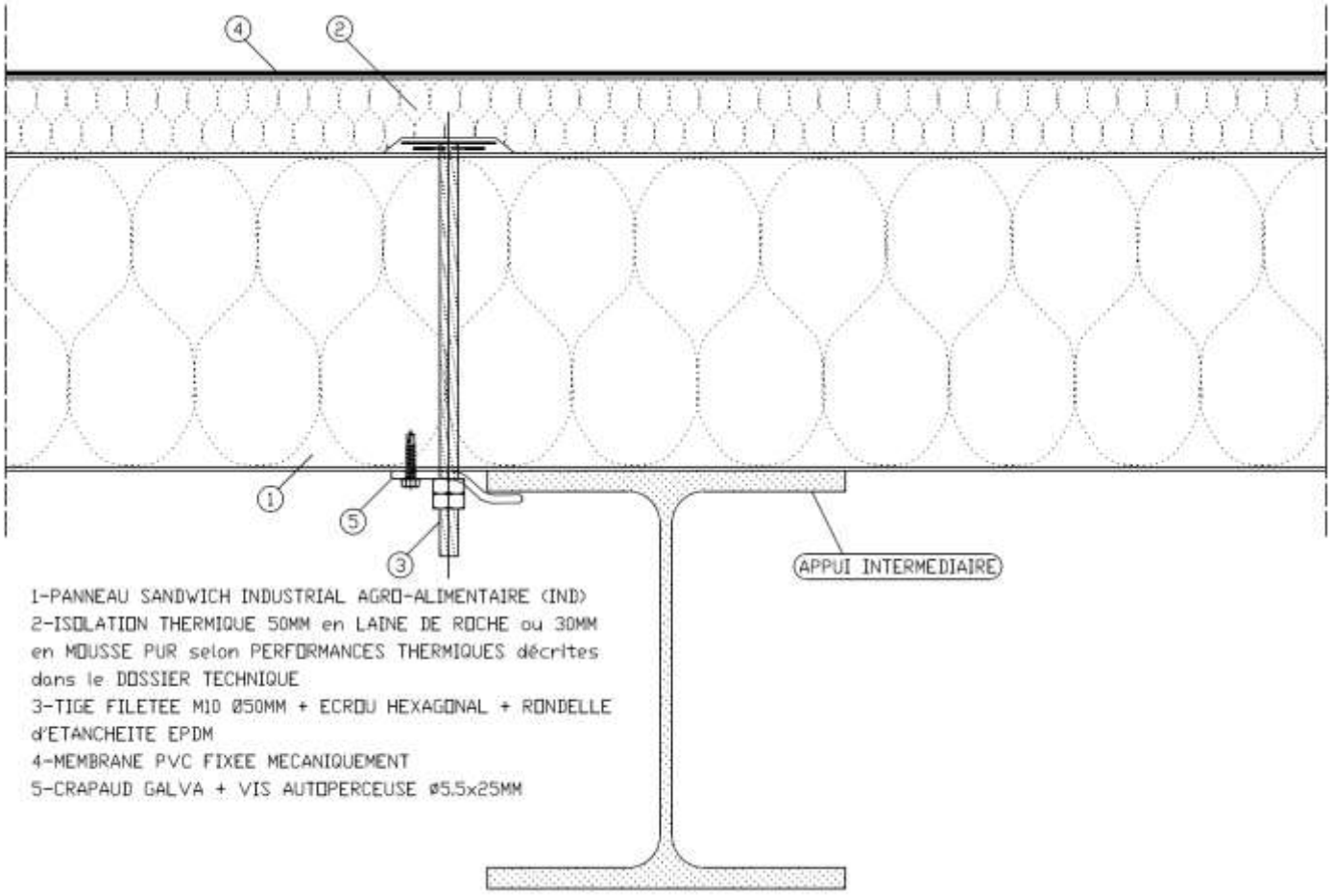


Figure 8 - Bas de pente avec rive en solin - Température intérieure local positive
Hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

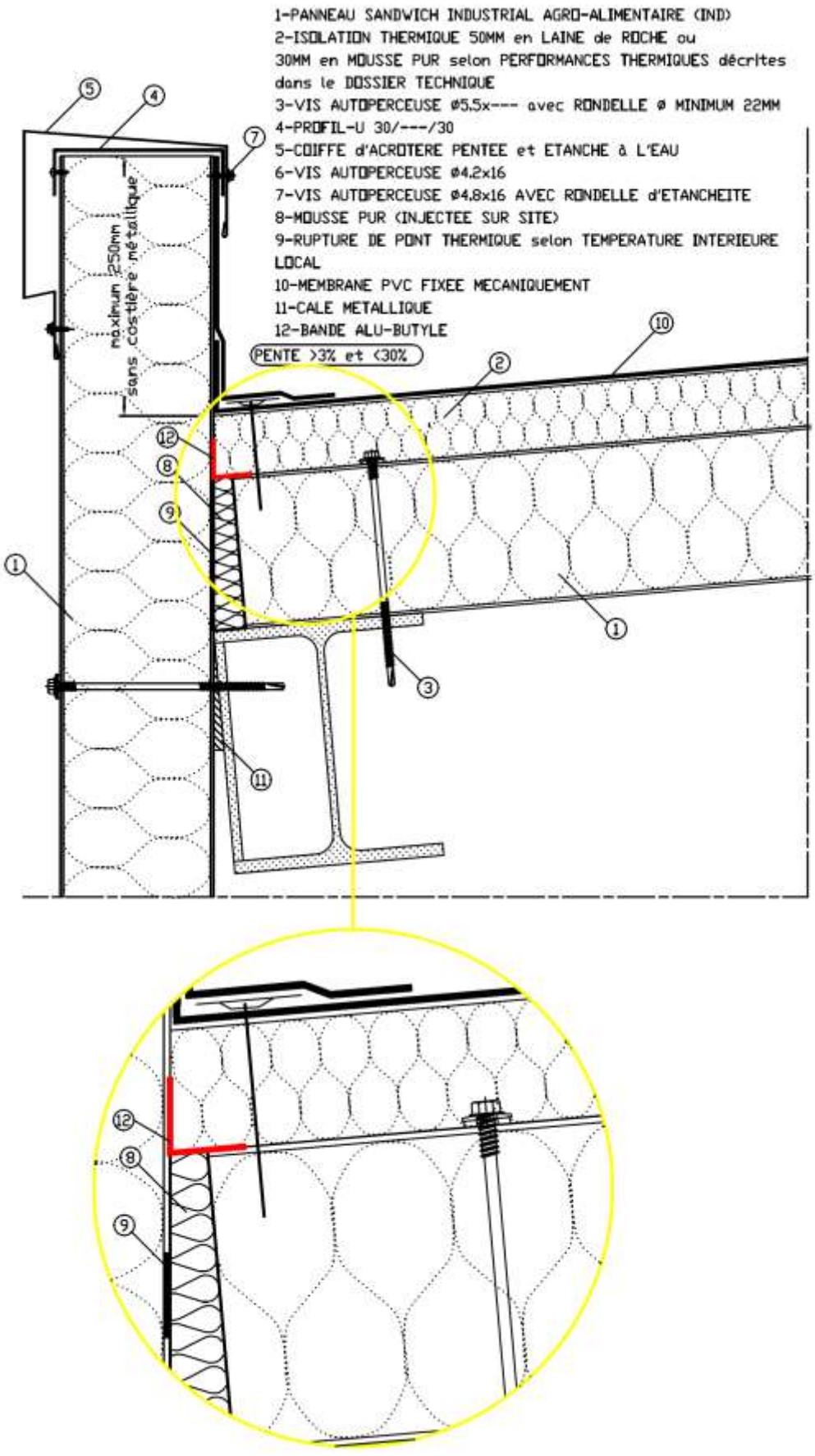


Figure 9 - Bas de pente avec déversoir et boîte à eau gravitaire - Température intérieure local positive
Hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

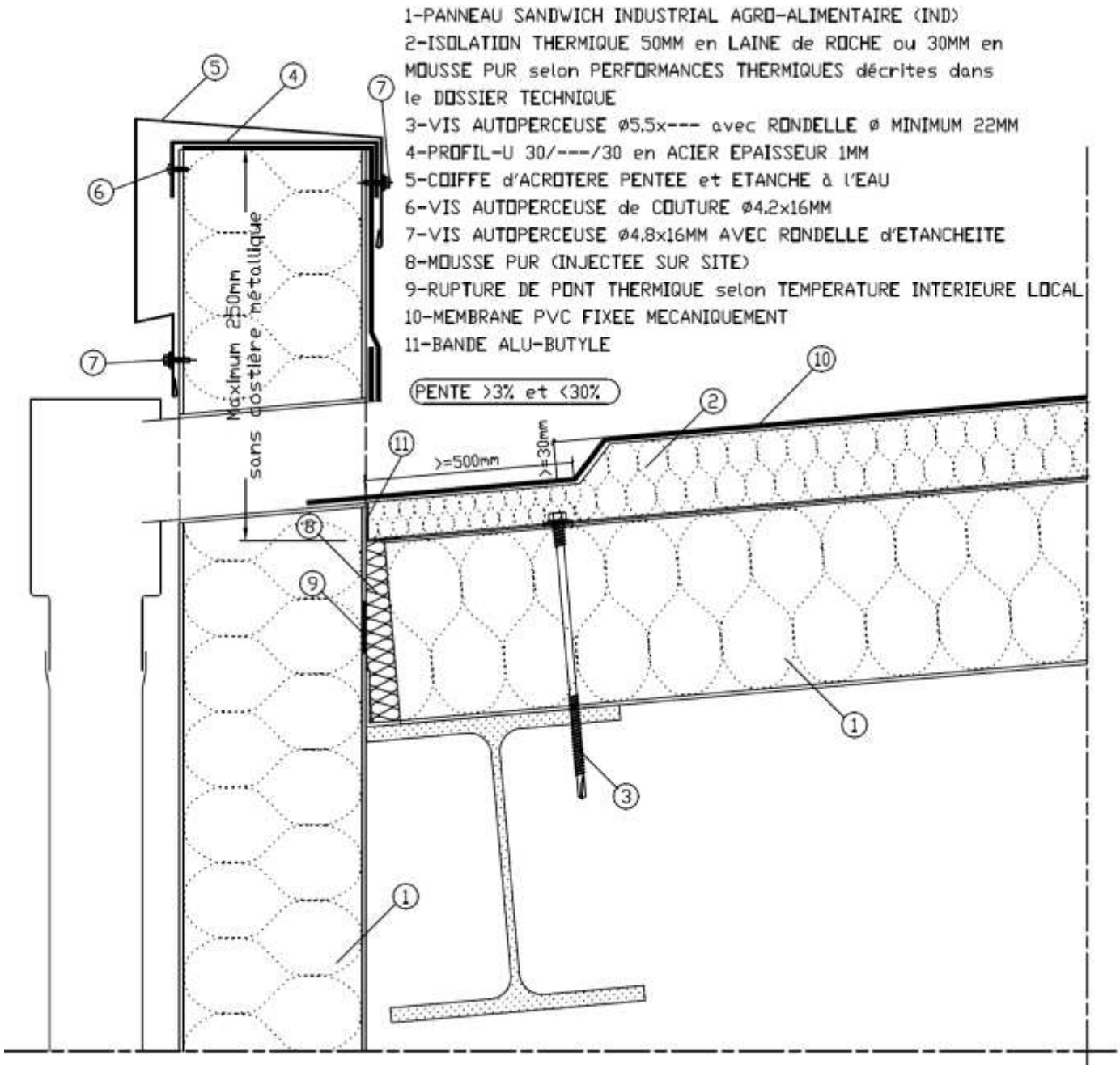


Figure 10 - Acrotère - Température intérieure local négative
Hauteur d'acrotère > 250 et ≤ 1 200 mm
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

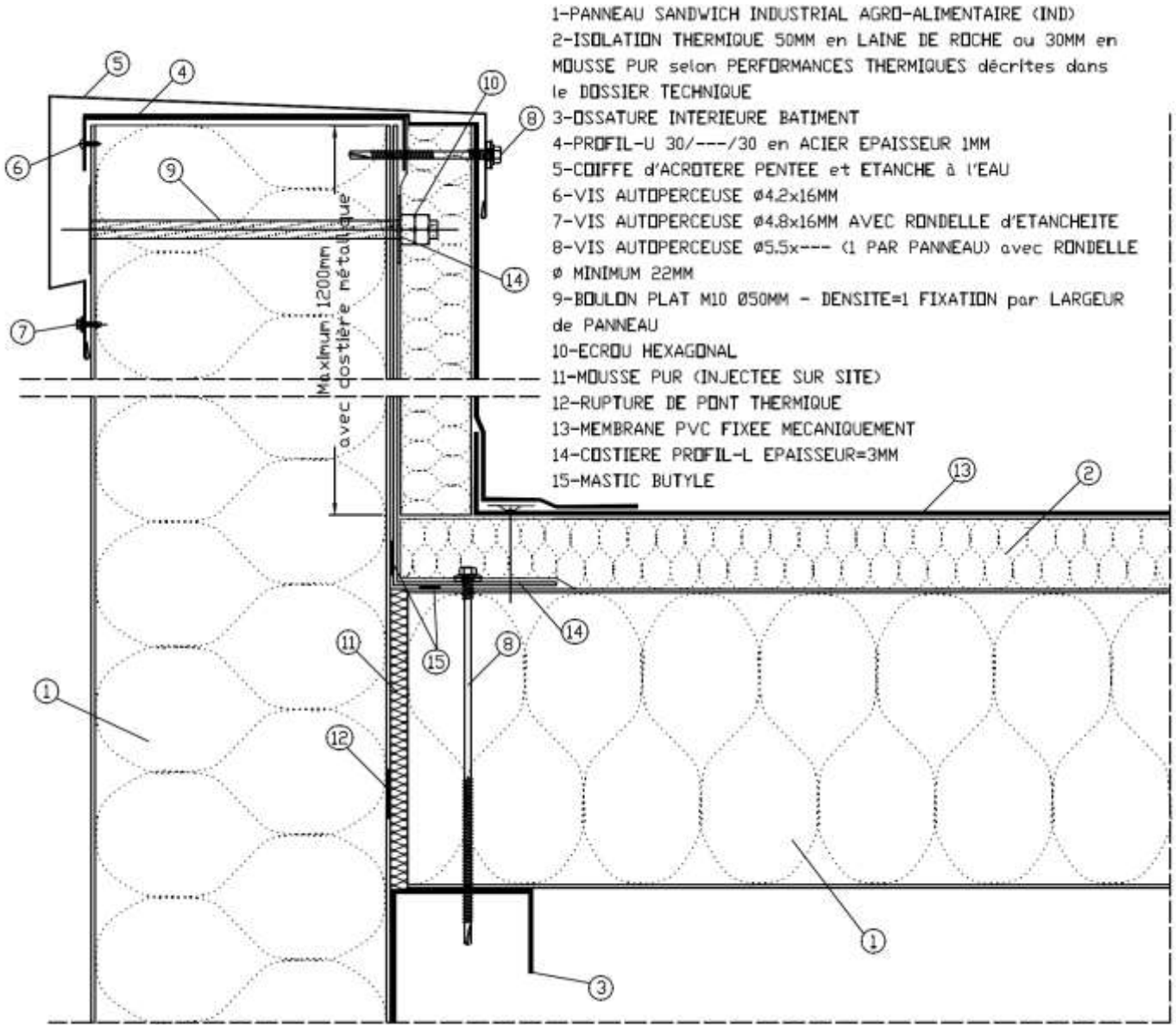


Figure 11 - Dépassement d'une cloison en toiture
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

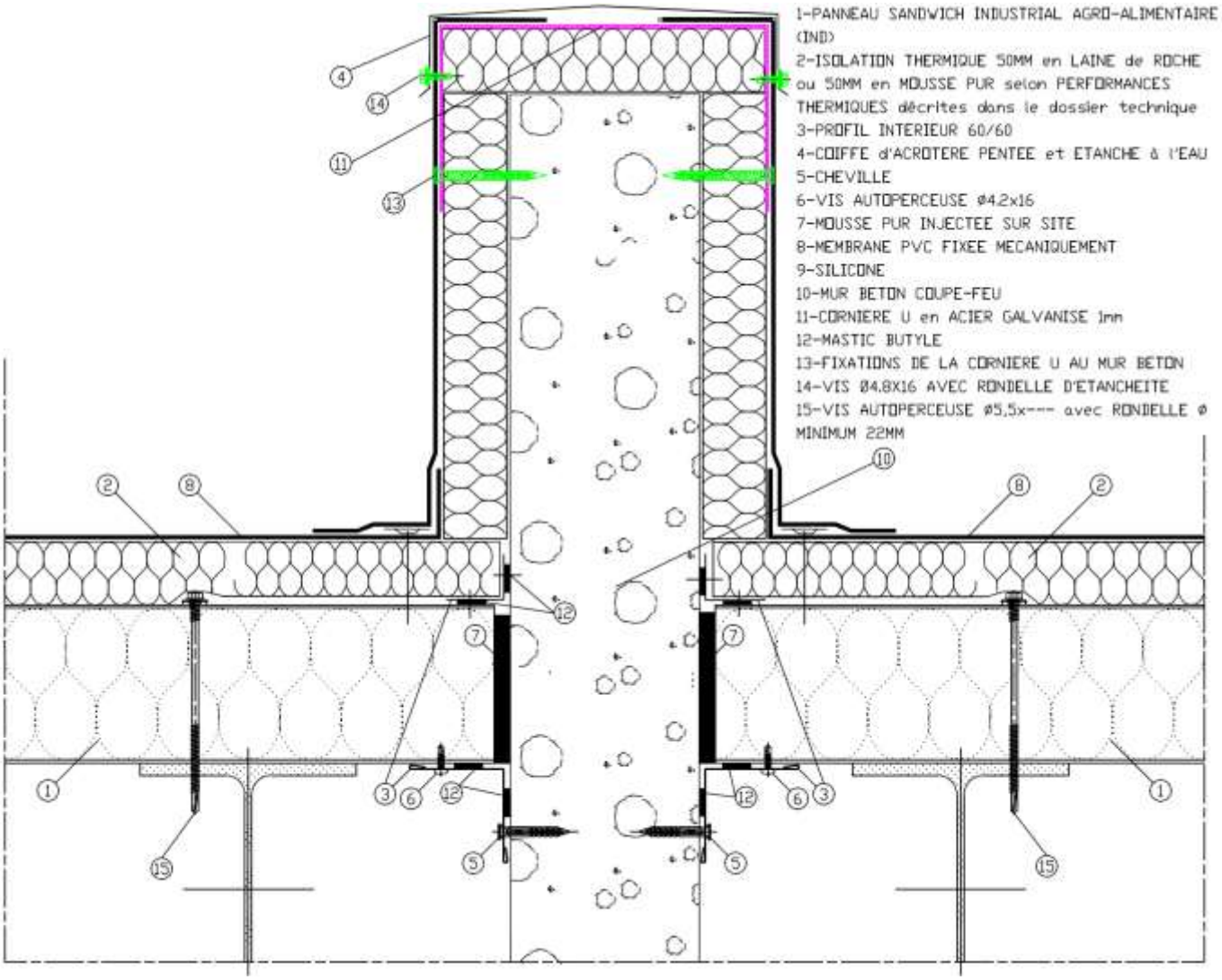


Figure 12 - Dépassement en toiture d'une cloison avec système de renfort
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

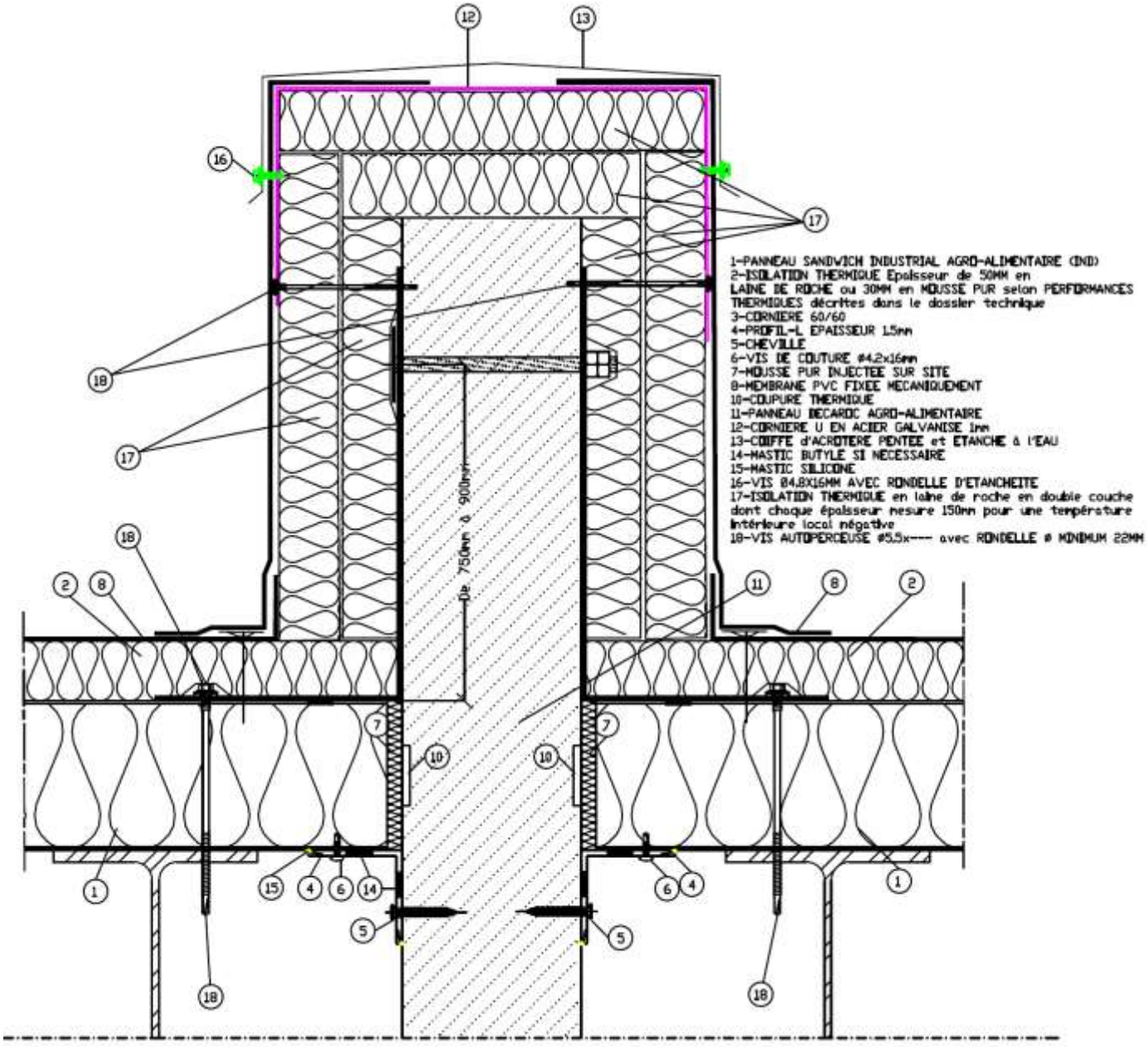


Figure 12bis - Dépassement en toiture d'une cloison avec système de renfort
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg

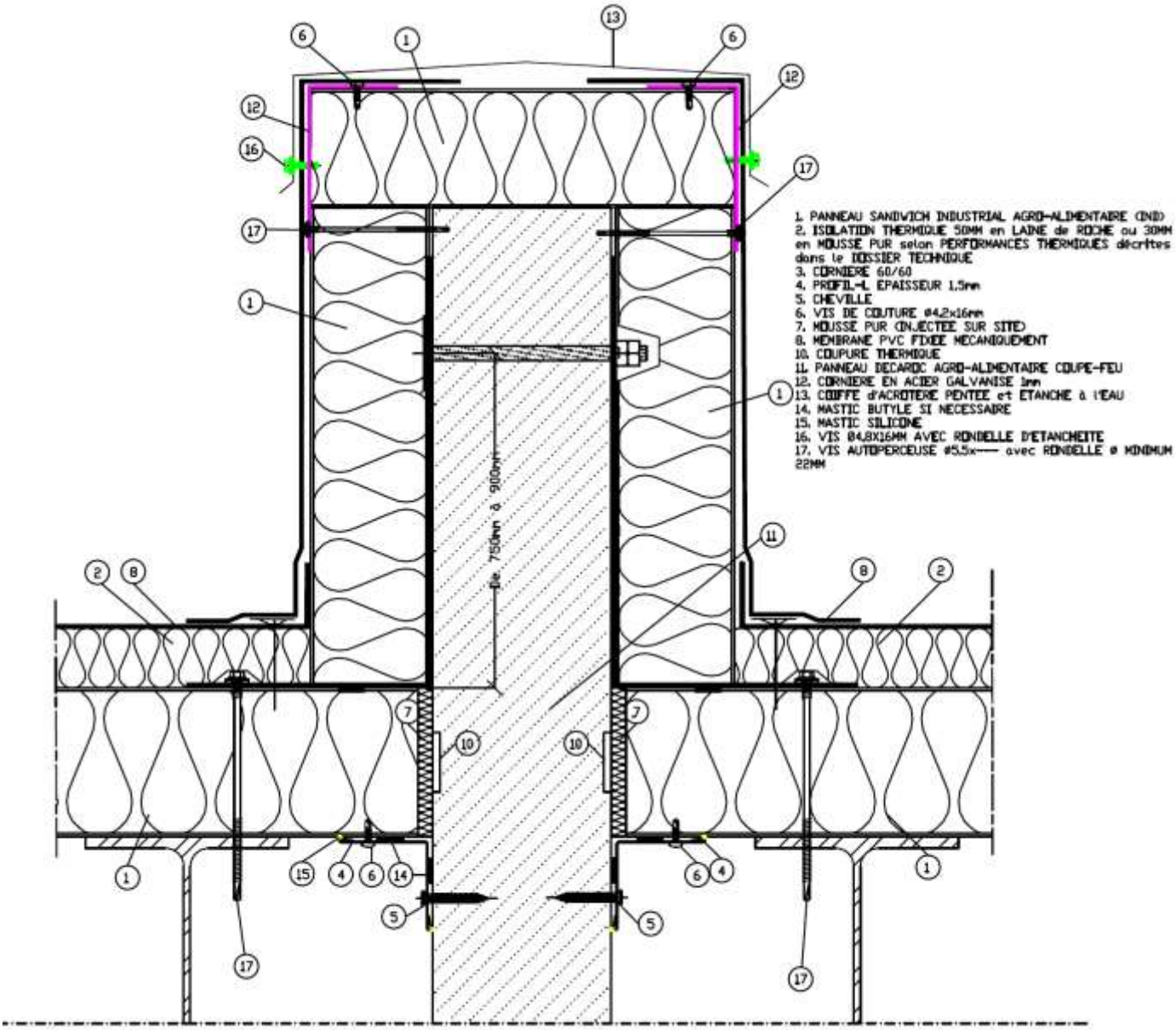
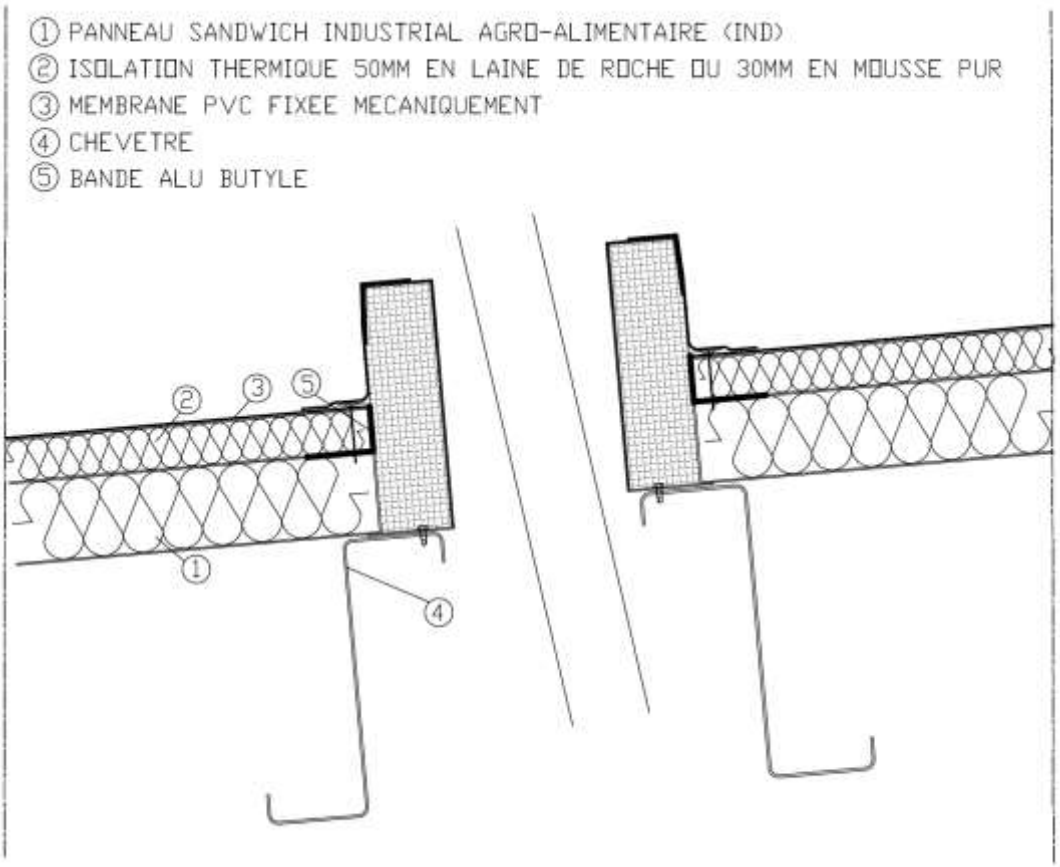
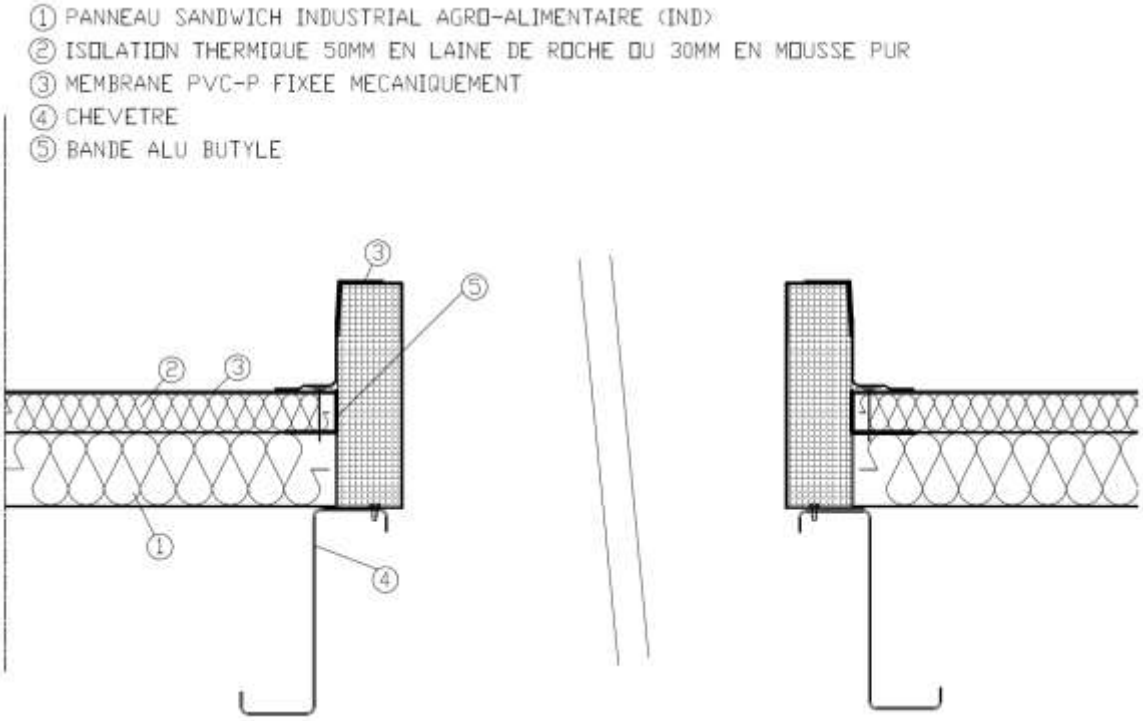


Figure 13 – Traitement de pénétration
Locaux à faible et moyenne hygrométrie ou pression de vapeur inférieure à 5 mmHg



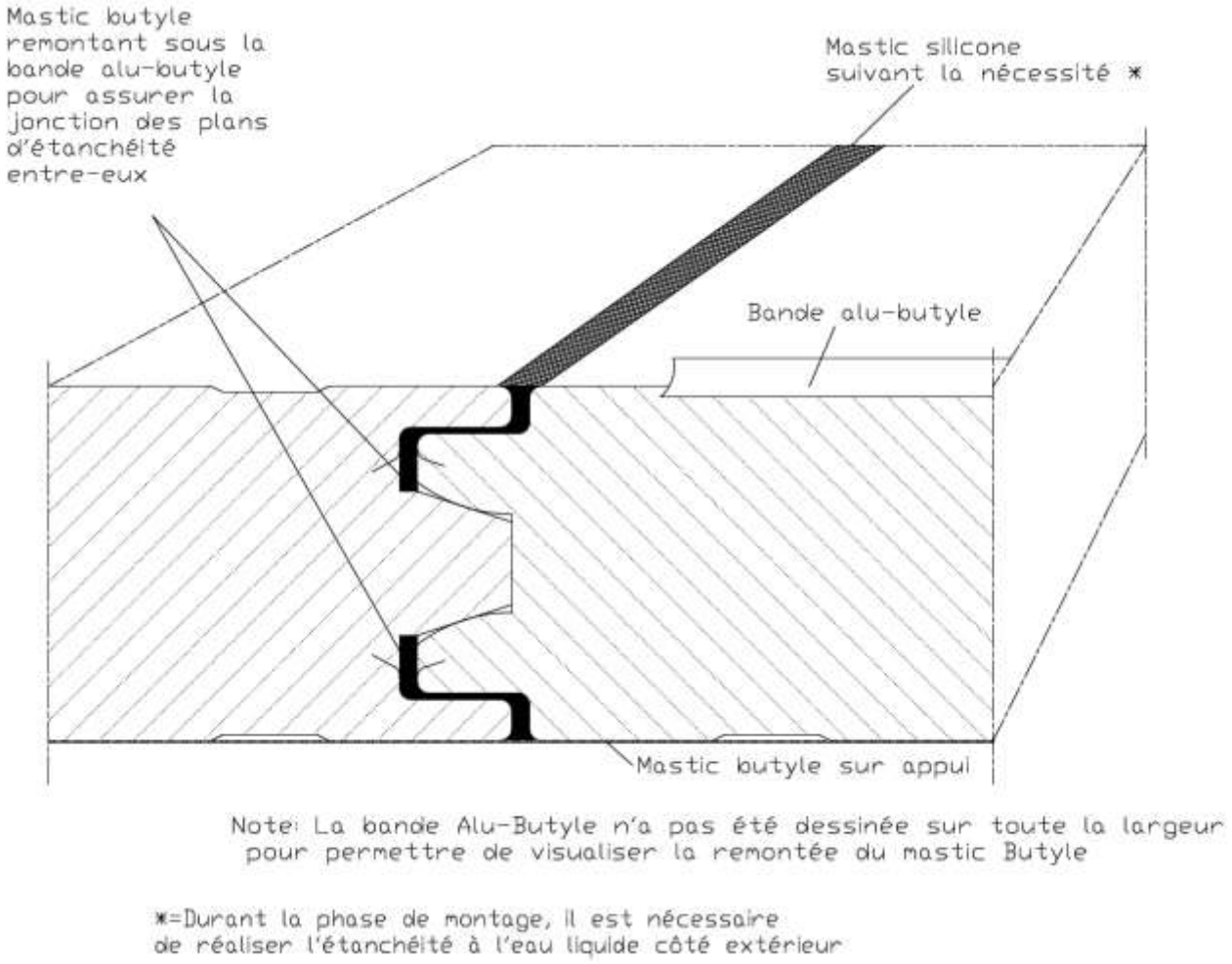
Coupe parallèle à la pente



Coupe perpendiculaire à la pente

DISPOSITIONS EN LOCAUX A FORTE HYGROMETRIE OU PRESSION DE VAPEUR COMPRISE ENTRE 5 et 15 mmHg

Figure 14 – Croisement des joints
Locaux à forte hygrométrie ou pression de vapeur comprise entre 5 et 15 mmHg



Note: La bande Alu-Butyle n'a pas été dessinée sur toute la largeur pour permettre de visualiser la remontée du mastic Butyle

*=Durant la phase de montage, il est nécessaire de réaliser l'étanchéité à l'eau liquide côté extérieur

Figure 15 - Jonction extrémité sur ossature béton
Locaux à forte hygrométrie ou pression de vapeur comprise entre 5 et 15 mmHg

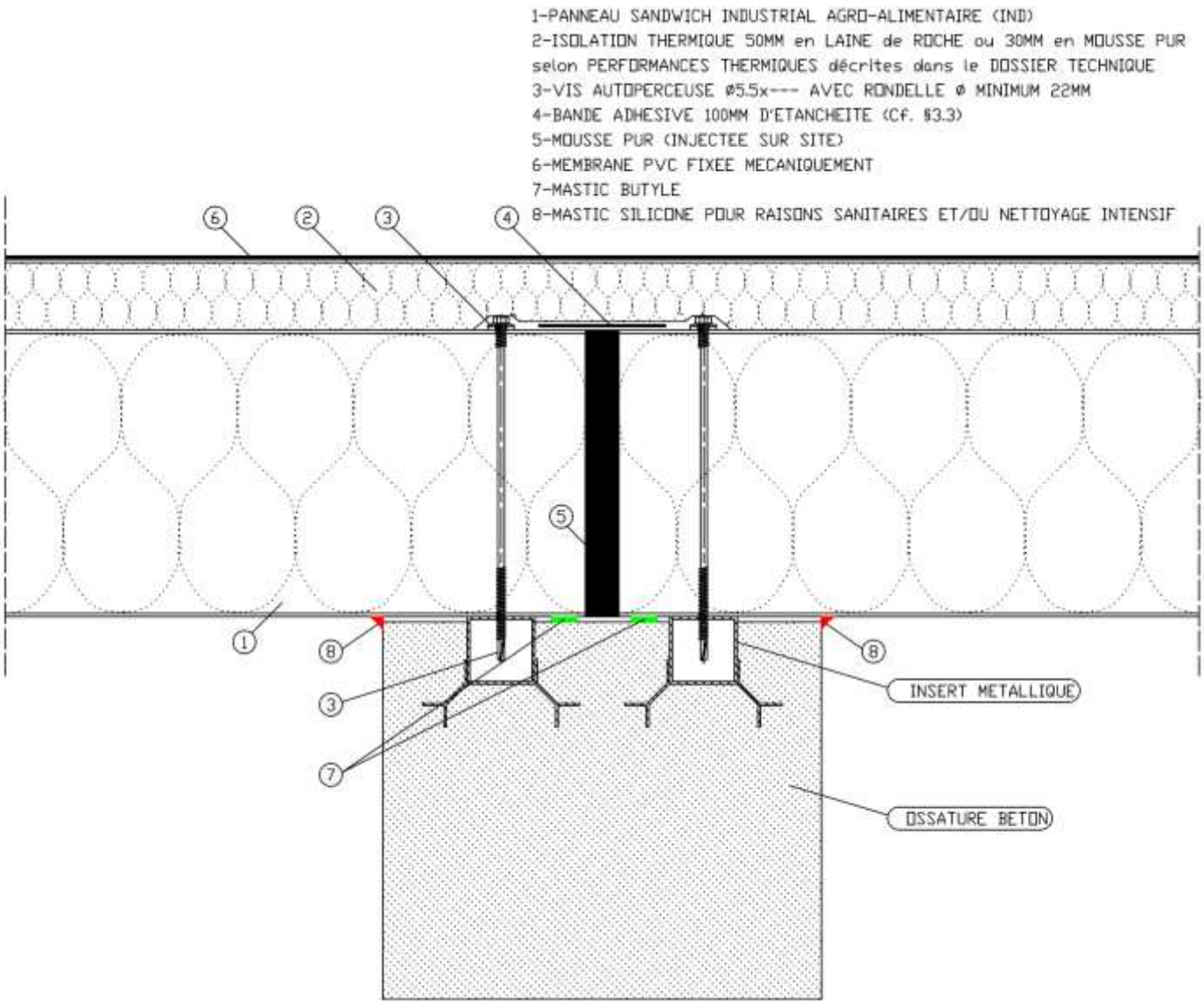
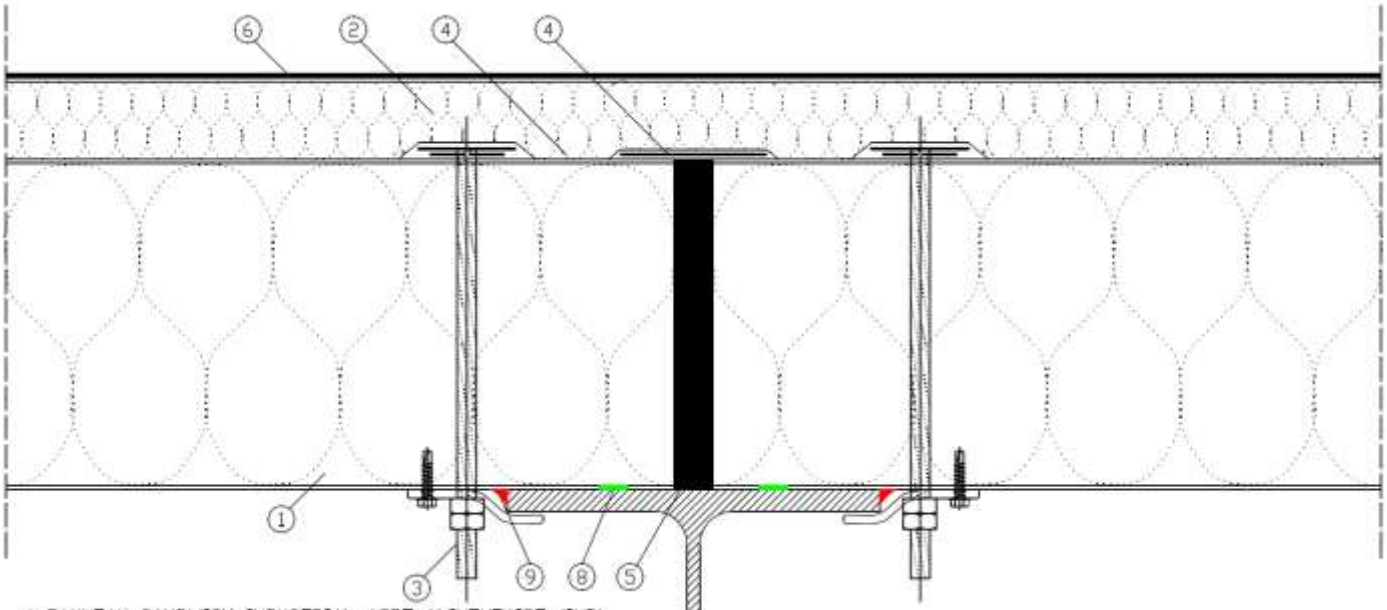


Figure 16 - Jonction extrémité sur ossature métallique
Locaux à forte hygrométrie ou pression de vapeur comprise entre 5 et 15 mmHg



1-PANNEAU SANDWICH INDUSTRIAL AGRO-ALIMENTAIRE (IND)
2-ISOLATION THERMIQUE 50MM en LAINE de ROCHE ou 30MM en MOUSSE PUR selon PERFORMANCES THERMIQUES décrites dans le DOSSIER TECHNIQUE
3-BOULON PLAT M10 Ø50MM + ECROU HEXAGONAL + RONDELLE d'ETANCHEITE EPDM
4-BANDE ADHESIVE 100MM
5-MOUSSE PUR (INJECTEE sur SITE)
6-MEMBRANE PVC FIXEE MECANIQUEMENT
7-CRAPAUD GALVA + VIS AUTOPERCEUSE Ø5.5x25MM
8-MASTIC BUTYLE
9-MASTIC SILICONE POUR RAISONs SANITAIRES ET/OU NETTOYAGE INTENSIF

Figure 17 - Jonction sur appui intermédiaire métallique
Locaux à forte hygrométrie ou pression de vapeur comprise entre 5 et 15 mmHg

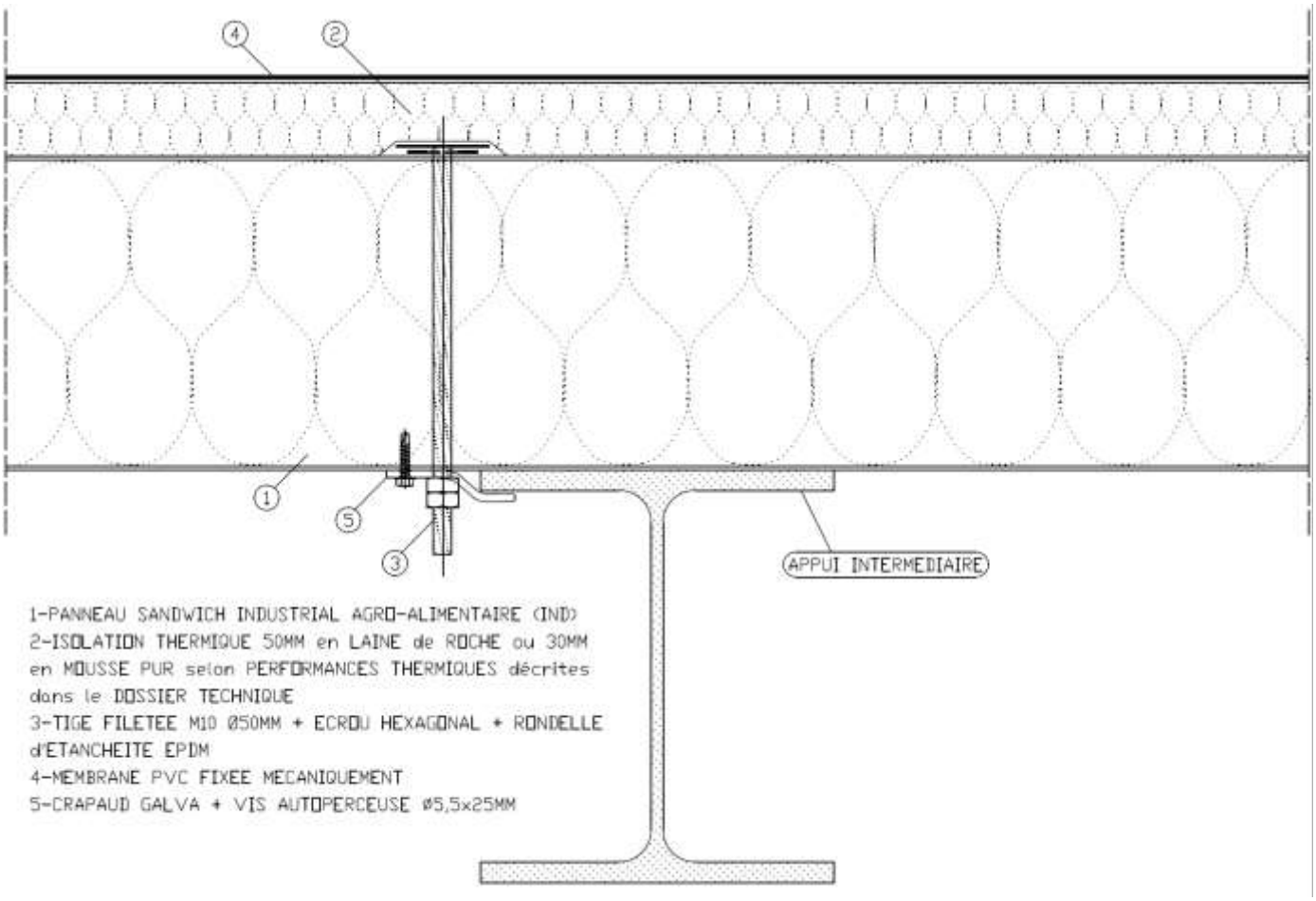


Figure 18 - Bas de pente avec rive en solin – hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Locaux à forte hygrométrie ou pression de vapeur comprise entre 5 et 15 mmHg

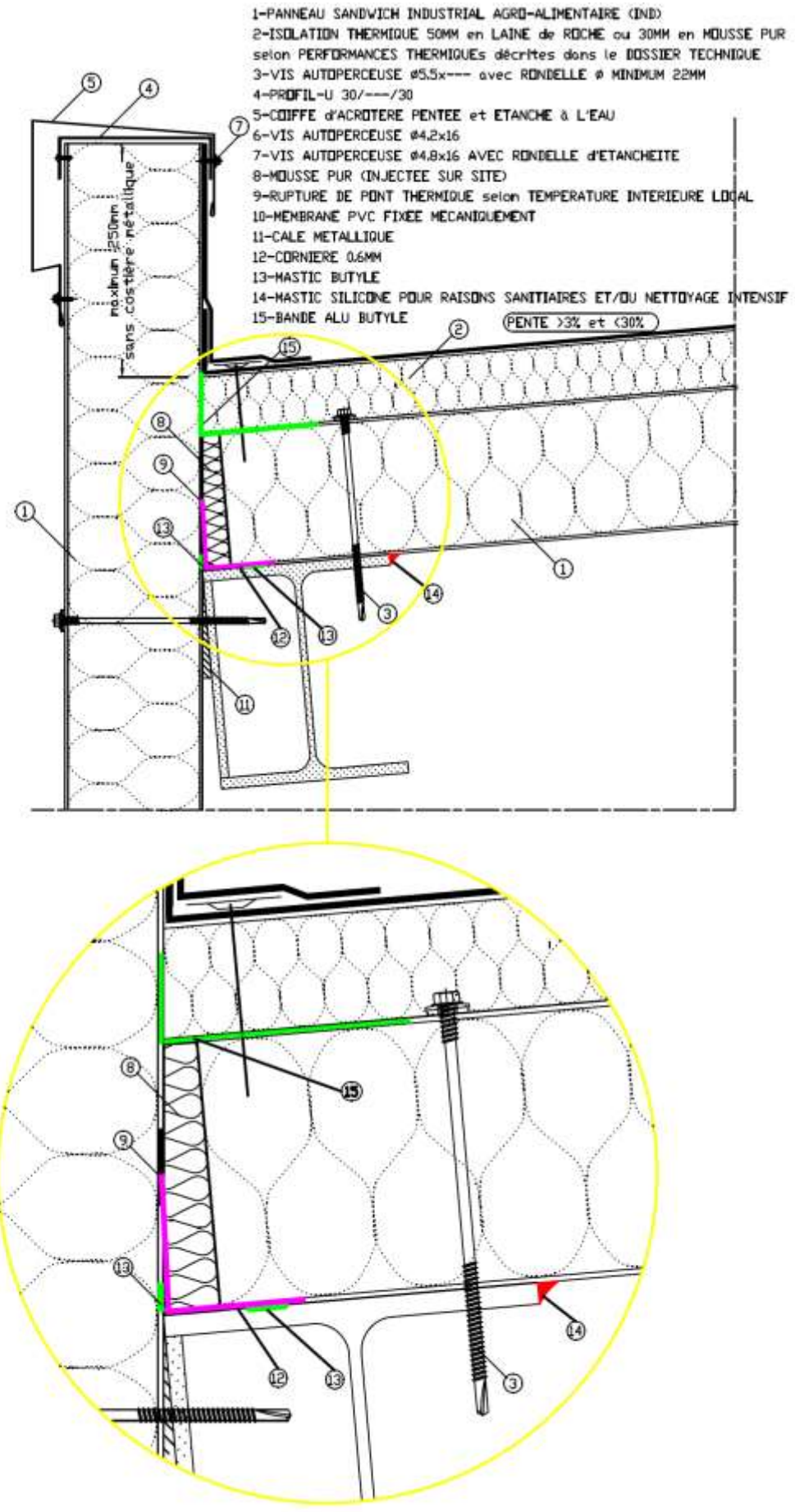


Figure 19 - Bas de pente avec déversoir et boîte à eau gravitaire – hauteur d'acrotère ≤ 250 mm
Locaux à forte hygrométrie ou pression de vapeur comprise entre 5 et 15 mmHg

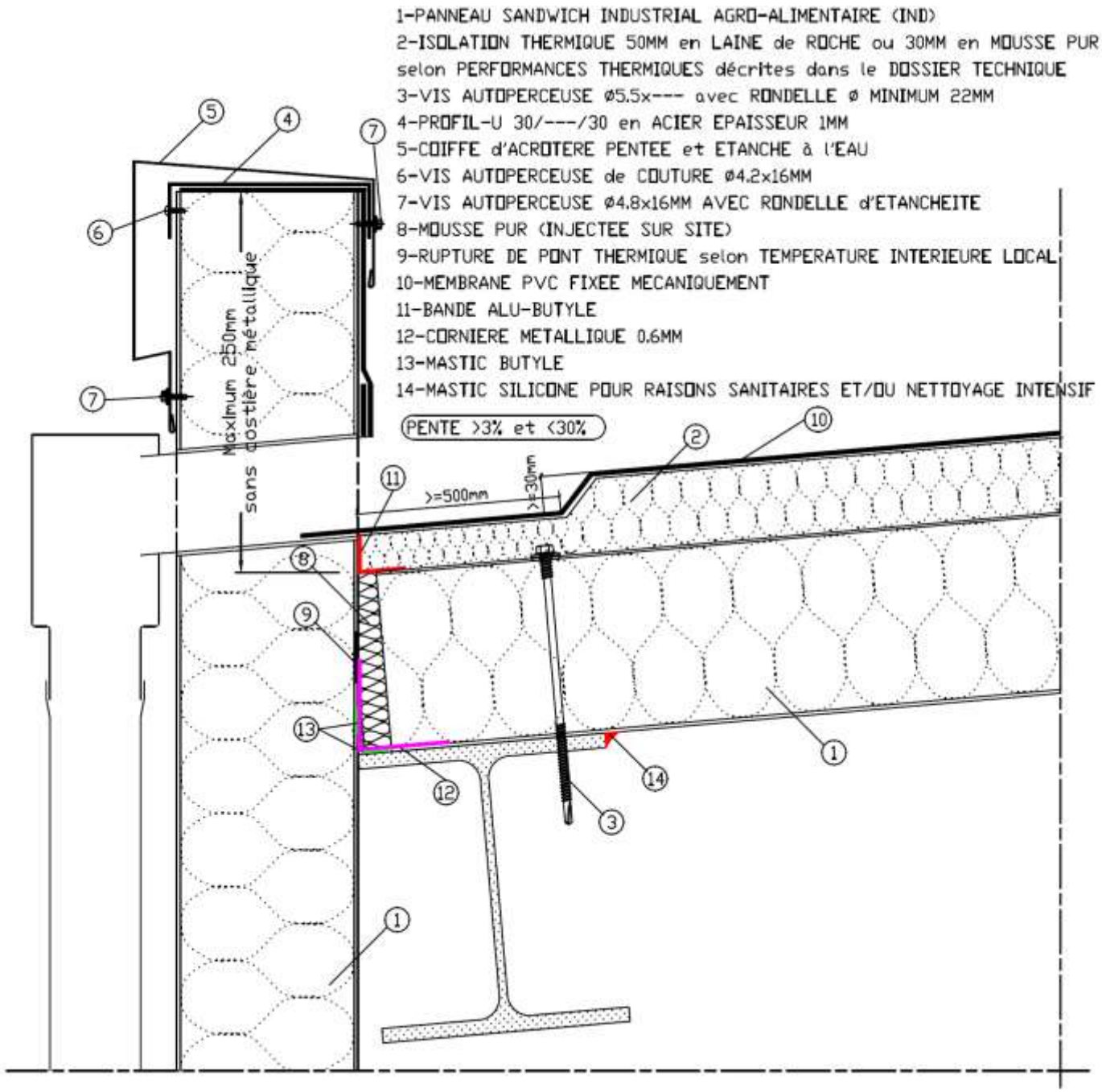
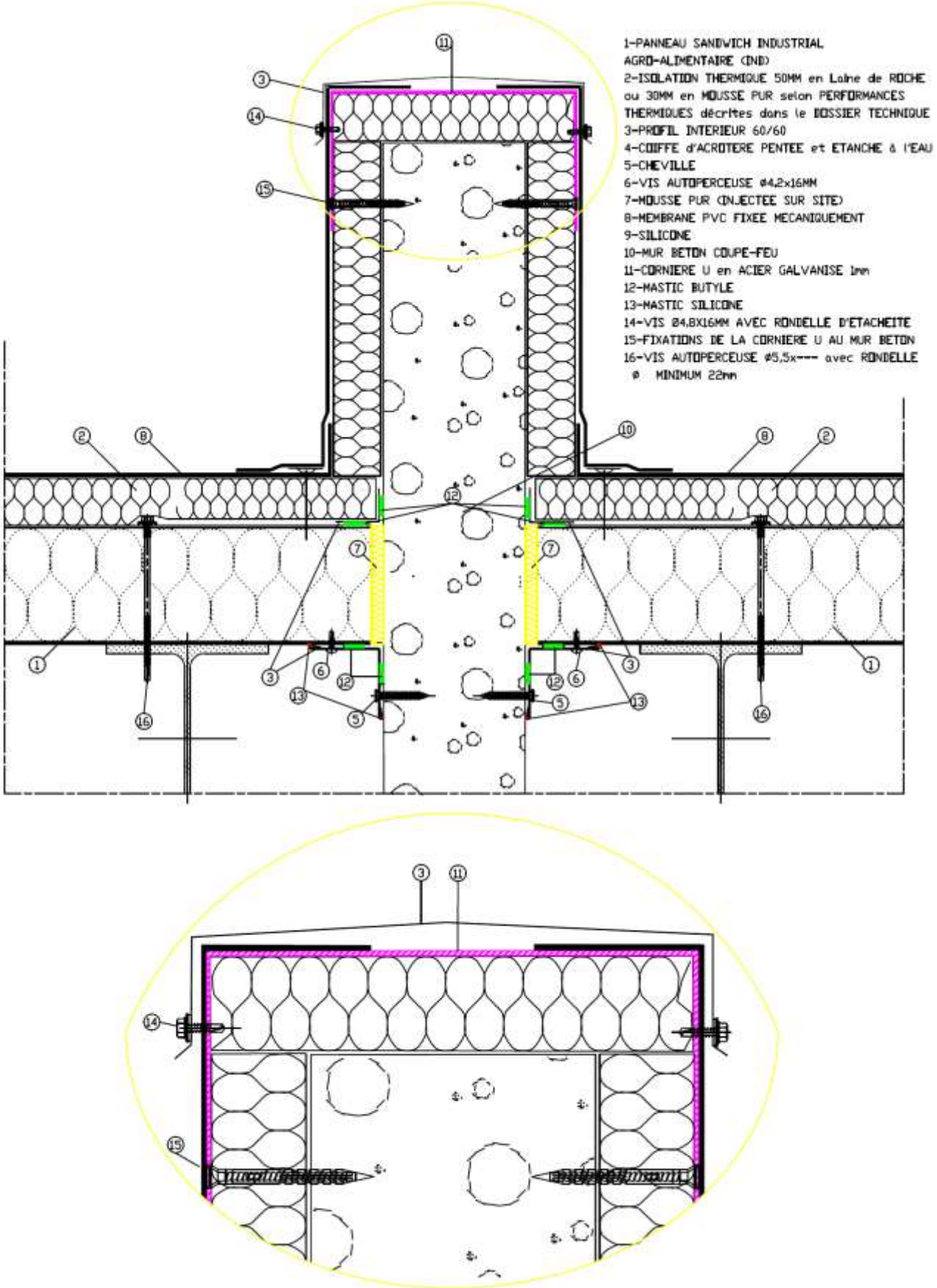


Figure 20 - Dépassement d'une cloison en toiture
Locaux à forte hygrométrie ou pression de vapeur comprise entre 5 et 15 mmHg



Annexe A - Dimensionnement de la toiture

A1 Calcul des actions

Les équipements et des éventuels éléments intérieurs (plafonds suspendus non isolés, luminaires, chemins de câbles, dispositifs d'extinction d'incendie,…) ne doivent pas être fixés aux panneaux sandwiches INDUSTRIAL Agro-alimentaires (IND), mais accrochés directement sur l'ossature.

A1.1 Action permanente G

Action permanente du poids propre, exprimée en daN/m^2 :

- Complexe d'étanchéité (Membrane PVC-P, isolant LR ou PU) : cf. DTA du produit concerné ;
- Panneaux sandwich : cf. DTA INDUSTRIAL Agro-Alimentaire (IND).

A1.2 Action du vent (ascendante et descendante) W

L'effort de vent agissant sur la toiture est calculé selon l'Eurocode 1 partie 1-4 (NF EN 1991-1-4 d'octobre 2010) et son annexe nationale NF EN 1991-1-4/NA de septembre 2012 (vent caractéristique calculé pour une période de retour de 50 ans, en l'absence d'information donnée par les DPM) :

- En respectant le cahier du CSTB 3779, pour le revêtement d'étanchéité ;
- En respectant le cahier du CSTB 3732, pour le panneau sandwich de toiture.

A1.3 Action due à la charge de neige S

Les charges de neige sont calculées selon l'Eurocode 1 partie 1-3 (NF EN 1991-1-3 d'octobre 2015) et son annexe nationale NF EN 1991-1-3/NA de juillet 2011.

A1.4 Action due à la charge d'exploitation Q

Sauf dispositions plus contraignantes indiquées par les D.P.M, les charges d'exploitation (également nommées charges d'entretien dans la norme NF DTU 43.3) à prendre en compte sont indiquées dans la norme NF P 06-111-2 (Juin 2004) et son amendement NF P 06-111-2/A1 (Mars 2009).

Ces charges sont les suivantes :

- Toitures-terrasses inaccessibles : 1,0 kN/m² ;
- Toitures-terrasses techniques ou zones techniques : 1,5 kN/m².

A1.5 Action due à la différence de pression intérieure/extérieure ΔP

Action répartie due à la différence de pression de part et d'autre de la toiture, exprimée en daN/m^2.

Des dispositifs d'équilibrage sont obligatoires en température négative pour compenser les variations de pression lentes et de faibles amplitudes dues aux variations de pression atmosphérique, aux variations de température et d'hygrométrie à l'intérieur de la chambre froide. Le nombre et les emplacements de ces dispositifs sont déterminés pour ne pas dépasser une sollicitation maximale de plus ou moins 20 daN/m^2 sur les panneaux. Les dispositifs doivent être en service avant la mise en froid du local.

A défaut de valeur donnée par les Documents particuliers du marchés (DPM), l'écart de pression est pris égal à ± 20 daN/m^2 (200 Pa) dans les locaux à température négative (< 0 °C), comme indiqué par le NF DTU 45.1 (Octobre 2001).

A1.6 Action due au gradient thermique

Le gradient thermique subi par le panneau sandwich est égale à la différence entre cette température et la température intérieure du local.

La valeur du gradient thermique peut être calculée pour un ouvrage spécifique par la société ISOCAB France SAS.

Température en été

Les températures sur le parement extérieur sont prises égales à celles indiquées au tableau ci-après :

Tableau A1 - Température maximale de surface du parement extérieur des panneaux sandwich

Epaisseur panneau INDUSTRIAL Agro-alimentaire (IND) [mm]	100	120	140	170	200	220
Membrane PVC-P blanche [°C]	25	27	29	30	31	32
Membrane PVC-P grise [°C]	38	40	42	44	45	46

Température en hiver avec neige

La température du parement extérieur est prise égale à 0°C en cas de charge de neige.

Température en hiver sans neige

La température du parement extérieur est prise égale à - 10°C.

A2 Dimensionnement du complexe d'étanchéité

La densité de fixations de la membrane PVC-P est déterminée conformément à son Document Technique d'Application.

La résistance caractéristique à l'arrachement de la vis de fixation dans le parement extérieur du panneau sandwich est prise égale la résistance caractéristique à l'arrachement d'un support en tôle S320GD de même épaisseur, obtenue selon la norme NF P 30-313.

L'utilisation du procédé est limité à effort ascendant du vent calculé selon le cahier CSTB 3779 d'au plus 2 666 Pa, soit 266,6 daN/m^2.

A3 Dimensionnement des panneaux sandwich support d'étanchéité

Les panneaux sandwich relèvent de la classe de construction 3 selon la norme NF EN 1993-1-3, correspondant aux éléments assurant uniquement le transfert de charges à la structure.

A3.1 Portées maximales d'utilisation en fonction de l'épaisseur du panneau

Les panneaux sandwich présentent une portée maximale admissible selon leur épaisseur de :

	Epaisseur panneau [mm]					
	100	120	140	170	200	220
Portée maximale admissible [m]	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	6,5

A3.2 Dimensionnement selon NF EN 14509

A3.21 Caractéristiques des panneaux

Tableau A2 – Caractéristiques mécaniques des panneaux selon la norme NF EN 14509

Epaisseur panneau [mm]	Epaisseur parement [mm]	Flexibilité			
		e [mm]	Bs [N.mm²/mm]	Gc [N/mm²]	Ac [mm²/m]
100	Ext. 0,75 Int. 0,50	99,048	549667,164	3,8	98750
120		119,048	794395,819	3,8	118750
140		139,048	1084060,560	3,6	138750
170		169,048	1602812,820	3,3	168750
200		199,048	2222671,280	3,0	198750
220		219,048	2692080,350	2,8	218750

Où :

- E est la distance entre les centres de gravité des parements en mm ;
- Bs est la rigidité de flexion calculé selon le § A 3.5.2 de la norme NF EN 14509 ;
- Gc est le module de cisaillement de l'âme en mousse polyuréthane en N/mm^2 ;
- Ac est l'aire de la section transversale de l'âme en mousse polyuréthane en mm^2/m ;

A3.22 Exemple de prise en compte du fluage sous poids propre G + neige S

Le coefficient de fluage forfaitaire issu de la norme NF EN 14509 (φ_{100000} = 7 à 100000h et φ_{2000} = 2,4 à 2000h) est à prendre en compte simultanément :

- φ_{2000} pour les charges de courtes durées (ex la neige) ;
- φ_{100000} pour les charges de longue durée (charge permanente…)
- Résistance : $1.35\ S_G + 1.0\ \Delta S_G(\varphi_{100000}) + 1.5\ S_S + 1.0\ \Delta S_S(\varphi_{2000})$
  avec :
  - S_G : un moment, ou un effort tranchant, ou une réaction d'appui relatif aux actions permanentes G
  - ΔS_G : la variation de moment, ou d'effort tranchant, ou de réaction d'appui relatif au fluage des actions permanentes G
    ΔS_G est égal à la différence des sollicitations décrites ci-dessus dues aux actions permanentes seules avec un module de cisaillement G' puis avec un module G' corrigé par (1+φ)
    $\Delta S_G = S_G' - S_{S(G'/(1+\varphi))}$ selon sollicitations prise en compte
  - S_S : un moment, ou un effort tranchant, ou une réaction d'appui relatif aux actions variables S
  - ΔS_S : la variation de moment, ou d'effort tranchant, ou de réaction d'appui relatif au fluage des actions variables S
    ΔS_S est égal à la différence des sollicitations décrites ci-dessus dues aux actions variables seules avec un module de cisaillement G' puis avec un module G' corrigé par (1+φ)
    $\Delta S_S = S_{SG'} - S_{S(G'/(1+\varphi))}$ selon sollicitations prises en compte
- Flèche : $1.00\ f_G + \Delta f_G(\varphi_{100000}) + 1.0\ f_S + 1.0\ \Delta f_S(\varphi_{2000})$
  avec :
  - f_G : la flèche relative aux actions permanentes G
  - Δf_G : la variation de flèche relative au fluage des actions permanentes G
    Δf_G est égal à la différence des flèches dues à G seul avec un module de cisaillement G' puis avec un module G' corrigé par (1+φ)
    $\Delta f_G = f_{G'} - f_{(G'/(1+\varphi))}$
  - F_S : la flèche relative aux actions variables S ;
  - Δf_S : la variation de flèche relative au fluage des actions variables S :
    Δf_S est égal à la différence des flèches dues aux actions variables seules avec un module de cisaillement G' puis avec un module G' corrigé par (1+φ)
    $\Delta f_S = f_{SG'} - f_{S(G'/(1+\varphi))}$

A3.23 Résistance des fixations

La valeur de calcul de résistance de fixation (cf. DTA 2/15-1665) est prise égale à :

- Tiges filetées M10 avec rondelle soudée en acier inoxydable A2 de diamètre 50mm et d'épaisseur 3 mm + crapaud : 200 daN/pièce à l'ELS et 300 daN/pièce à l'ELU.
- Fixation par vis auto-taraudeuse avec rondelle ∅ 22 mm minimum : 250 daN à l'ELS et 350 à l'ELU avec tôle de 0,75mm.

Pour le dimensionnement de l'effort agissant sur les fixations, il convient d'utiliser l'annexe I des règles RAGE concernant les panneaux de couverture.

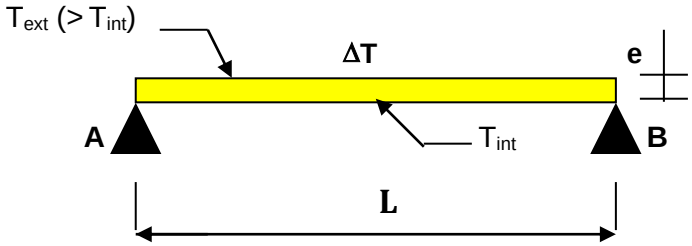
A3.24 Critères de dimensionnement

- Température intérieure bâtiment ;
- Température parement extérieur du panneau sandwich, sous le complexe d'étanchéité, selon § A1.6 ;
- Critère de flèche en charge descendante = 1/250ème de la portée avec prise en compte du fluage ;
- Critères de flèche en charge ascendante selon NF EN 14509 et son complément national XP P34-900/CN ;
- Coefficients de combinaisons d'actions selon NF EN 14509 et son complément national XP P34-900/CN ;
- Facteurs de charge selon NF EN 14509 et son complément national XP P34-900/CN ;
- Coefficients de sécurité matériaux selon NF EN 14509 et son complément national XP P34-900/CN ;
- Gradient thermique
- Fluage
- Pente = comprise entre 3 % et 30 %
- Eléments nécessaires aux combinaisons d'actions définies dans :
    - la norme NF EN 1991-1-1 (mars 2003) ;
    - la norme NF P 06-111-2 (Juin 2004) et son amendement NF P 06-111-2/A1 (Mars 2009) ;
    - et l'annexe A du guide « European recommendations for the Determination of Loads and Actions on Sandwich Panels » de l'ECCS ;

○ Annexe B - Gradient thermique - Poutre sur 2 appuis

Gradient thermique : ΔT = Text-Tint

Poutre sur 2 appuis rigides $k_r = \infty$



Réactions d'appui :

$$R_A = R_B = 0$$

Diagramme d'effort tranchant

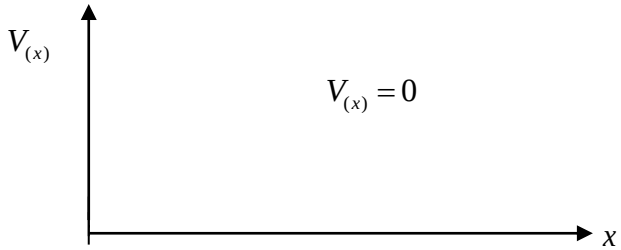
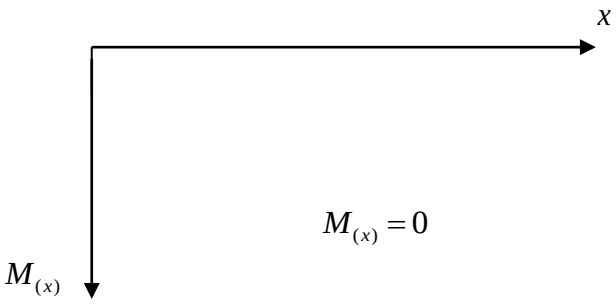
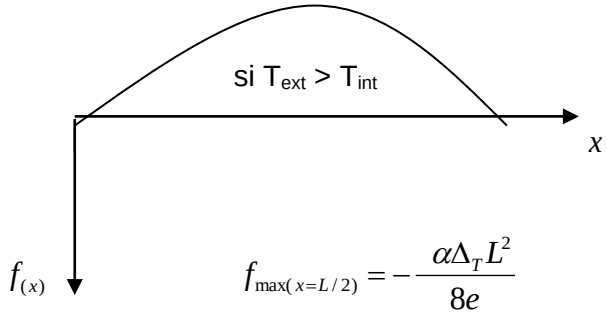


Diagramme de moment fléchissant



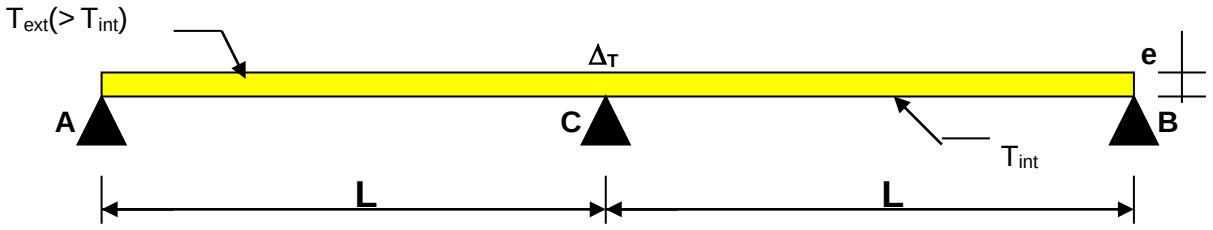
Déformée : $f_{(x)} = \left(\frac{\alpha \Delta_T}{2e}\right)\left(x^2 - Lx\right)$

Avec α le coefficient de dilatation thermique du parement.



Annexe C - Gradient thermique - Poutre sur 3 appuis

Poutre sur 3 appuis à 2 travées égales : ($k_r = \infty$)



$$K_k = \left(\frac{3B_s}{G_c A_c L^2} \right)$$

Réaction d'appui

En rive

$$R_A = R_B = \frac{3}{2}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{B_s \alpha \Delta_T}{eL} \right)$$

Sur appui central

$$R_C = -3\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{B_s \alpha \Delta_T}{eL} \right)$$

Effort tranchant

Sur appui de rive

$$V_{(x=0)} = \frac{3}{2}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{B_s \alpha \Delta_T}{eL} \right)$$

A gauche de l'appui central

$$V_{(x=L-\varepsilon)} = \frac{3}{2}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{B_s \alpha \Delta_T}{eL} \right)$$

Moment de flexion

Sur appui central

$$M_C = \frac{3}{2}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{B_s \alpha \Delta_T}{e} \right)$$

A mi-travée

$$M_{(x=L/2)} = \frac{3}{4}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{B_s \alpha \Delta_T}{e} \right)$$

Déformée

Pour $0 \le x \le L$

$$f(x) = \frac{\alpha \Delta_T}{2e}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left[-\frac{x^3}{2L} + x^2(1+K_k) - x\left(\frac{L}{2} + K_k L \right) \right]$$

Flèches

$$f_{(x=L/2)} = -\left(\frac{1+4K_k}{1+K_k} \right)\left(\frac{\alpha \Delta_T L^2}{32e} \right)$$

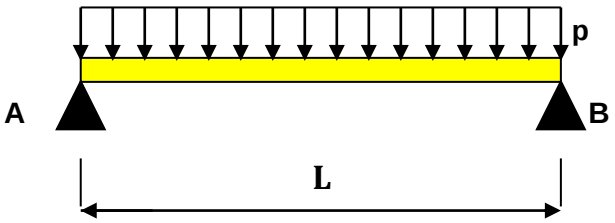
$$f_{max} = -\left(\frac{1.1+4K_k}{1+K_k} \right)\left(\frac{\alpha \Delta_T L^2}{32e} \right)$$

Annexe D - Fluage - Poutre sur 2 appuis

Le coefficient de fluage forfaitaire issu de la norme NF EN 14509 (φ_{100000} = 7 pour le PUR/PIR rigide à 100000h) est à prendre en compte pour le calcul.

Poutre sur 2 appuis rigides : $k_r = \infty$

Chargement uniformément réparti



Réactions d'appui

$$R_A = R_B = \frac{pL}{2}$$

Diagramme d'effort tranchant

$V_{(x)}$ $\qquad V_{(x)} = \frac{pL}{2} - px$

$V_{\max(x=0)} = \frac{pL}{2}$

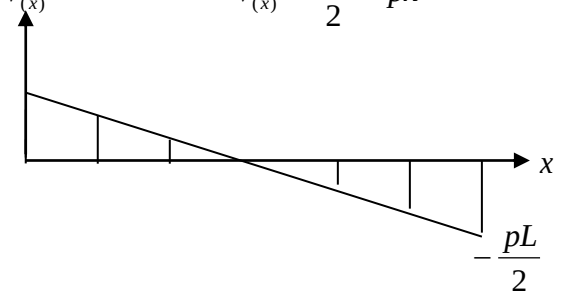
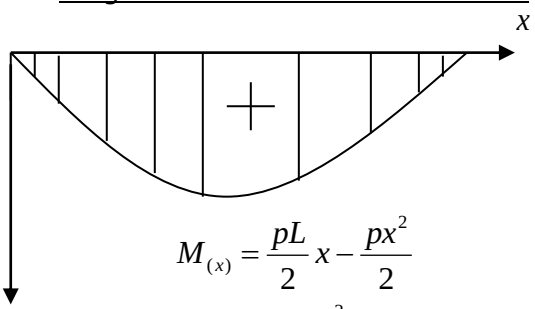


Diagramme de moment fléchissant

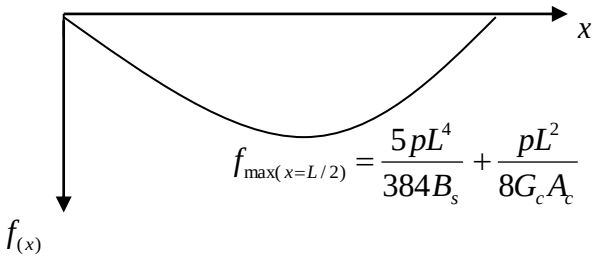


$$M_{(x)} = \frac{pL}{2}x - \frac{px^2}{2}$$

$M_{(x)}$ $\qquad M_{\max(x=L/2)} = \frac{pL^2}{8}$

Déformée et flèches

$$f_{(x)} = \frac{px}{24B_s}\left(L^3 - 2Lx^2 + x^3\right) + \frac{1}{G_c A_c}\left(\frac{pL}{2}x - \frac{p}{2}x^2\right)$$



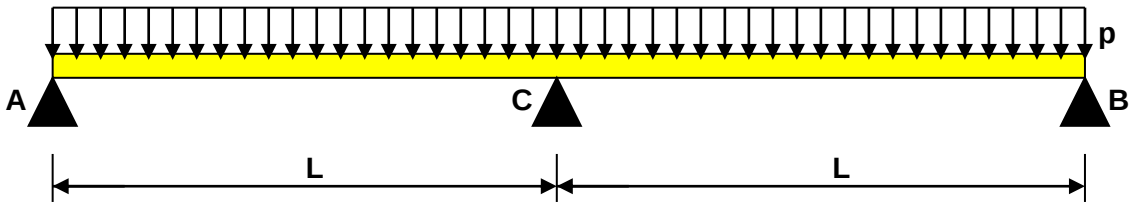
$$f_{\max(x=L/2)} = \frac{5pL^4}{384B_s} + \frac{pL^2}{8G_c A_c}$$

Annexe E - Fluage - Poutre sur 3 appuis

Le coefficient de fluage forfaitaire issu de la norme NF EN 14509 (φ_{100000} = 7 pour le PUR/PIR rigide à 100000h) est à prendre en compte pour le calcul.

Poutre sur 3 appuis à 2 travées égales ($k_r = \infty$)

Chargement uniforme



$$K_k = \left(\frac{3B_s}{G_c A_c L^2} \right)$$

Réaction d'appui

En rive

$$R_A = R_B = pL\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{3}{8} + \frac{1}{2}K_k \right)$$

Sur appui central

$$R_C = 2pL\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{5}{8} + \frac{1}{2}K_k \right)$$

Effort tranchant

Au droit de l'appui de rive

$$V_{(x=0)} = pL\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{3}{8} + \frac{1}{2}K_k \right)$$

A gauche de l'appui central

$$V_{(x=L-\varepsilon)} = -pL\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{5}{8} + \frac{1}{2}K_k \right)$$

Moment de flexion

A $x = L/8$ de l'appui A

$$M_{(x=L/8)} = \frac{pL^2}{8}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{5}{16} + \frac{7}{16}K_k \right)$$

Sur appui central

$$M_C = -\frac{pL^2}{8}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)$$

A $x = L/2$ de l'appui A

$$M_{(x=L/2)} = \frac{pL^2}{8}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{1}{2} + K_k \right)$$

A $x = 13L/20$ de l'appui A

$$M_{(x=13L/20)} = \frac{pL^2}{8}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(\frac{52}{200} + \frac{91}{100}K_k \right)$$

Maximum en travée

$$M_{\left(x=\left(\frac{L}{1+K_k}\right)\left(\frac{3}{8}+\frac{K_k}{2}\right)\right)} = \frac{pL^2}{128}\left(\frac{(3+4K_k)^2}{(1+K_k)^2} \right)$$

Déformée

Pour $0 \le x \le L$

$$f_{(x)} = \frac{p}{B_s}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left[\frac{x^4}{24}(1+K_k) - x^3 L\left(\frac{1}{16} + \frac{K_k}{12} \right) - x^2 L^2\left(\frac{K_k}{6} + \frac{K_k^2}{6} \right) + xL^3\left(\frac{1}{48} + \frac{5K_k}{24} + \frac{K_K^2}{6} \right) \right]$$

Flèche

Pour $x = L/2$

$$f_{(x=L/2)} = \frac{pL^4}{48B_s}\left(\frac{1}{1+K_k} \right)\left(2K_k^2 + \frac{21}{8}K_k + \frac{1}{4} \right)$$

Annexe F – Contrôles en cours d'exécution

Cette annexe liste les contrôles à réaliser sur la partie d'ouvrage avant la pose de l'isolant support d'étanchéité, autant pour l'entreprise de pose des panneaux sandwich, que pour l'entreprise de pose du complexe d'étanchéité.

Avant de recouvrir les panneaux, il y a lieu de vérifier :

- La présence et l'état des bandes alu-butyle en jonction transversale, et si necessaire, en jonction longitudinale de panneaux sandwich (cf. fig. 4 et 14) ainsi que leur croisement ;
- La présence et l'état des bandes alu-butyle en périphérie de la toiture (cf. fig. 8 ou 18) ou des costières métalliques de renfort (cf. fig. 10) fixées en pied et en tête ;
- La présence et l'état des bandes alu-butyle en périphérie des traversées de toiture (cf. fig. 13) ;
- La présence et l'état des cornières 60/60 collées au mastic butyle entre panneaux sandwich et cloison, au droit des débords de cloisons (cf. fig. 11, 12, ou 20) ;
- La présence des profils U en tête des panneaux sandwich de façade (cf. fig. 8, 9, 10, 18 et 19)
- Le nombre de fixation des panneaux par appui ;
- La position et les dimensions des ouvertures dans les panneaux sandwich de façade permettant l'évacuation des eaux pluviales ;

Fin du rapport