



3.3/18-958_V2

Valide du **02 novembre 2020**

au **31 juillet 2025**

Sur le procédé

HEXAPLI

Titulaire : Société **PIVETEAU BOIS**
Internet : www.piveteaubaos.com

Descripteur :

Les panneaux structuraux HEXAPLI sont des panneaux de grandes dimensions constitués de planches en bois massif de classe C24 et C18 séchées et calibrées. Les planches sont empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface. Les panneaux structuraux HEXAPLI comportent de 3 à 9 plis et sont destinés à la réalisation de planchers, de murs porteurs à fonction de contreventement.

Les panneaux HEXAPLI sont constitués de planches non collées à chants.

Les panneaux HEXAPLI ont les dimensions suivantes :

- Longueur jusqu'à 16 m ;
- Largeur jusqu'à 3,5 m ;
- Épaisseur de 60 à 360 mm.

Groupe Spécialisé n° 3.3 - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure

Famille de produit/Procédé : Panneaux structuraux en bois contrecollé-croisé, utilisés en mur et plancher.



Secrétariat : CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - email : secretariat.at@cstb.fr

www.ccfat.fr

AVANT-PROPOS

Les Avis Techniques et les Documents Techniques d'Application sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction des éléments d'appréciation sur la façon de concevoir et de construire des ouvrages au moyen de produits ou procédés de construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels. Au terme d'une évaluation collective, l'avis technique de la commission se prononce sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés relativement aux exigences réglementaires et d'usage auxquelles l'ouvrage à construire doit normalement satisfaire.

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	Cette 1 ^{ère} révision intègre les modifications suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Révision de la limitation en hauteur ; - Ajout de l'utilisation en support d'étanchéité de toiture terrasse ; - Ajout de l'utilisation en support de couverture. 	Loïc PAYET	Roseline BERNARDIN-EZRAN

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	8
1.1.	Définition succincte	8
1.1.1.	Description succincte	8
1.1.2.	Identification	8
1.2.	AVIS	8
1.2.1.	Domaine d'emploi accepté.....	8
1.2.2.	Appréciation sur le procédé	9
1.2.3.	Prescriptions Techniques	12
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	17
1.4.	Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé.....	19
1.4.1.	Données	19
1.4.2.	Conception	19
1.4.3.	Vérifications à l'ELU instantané	19
1.4.4.	Vérifications à l'ELU final	20
1.4.5.	Vérifications ELS	20
1.5.	Dimensionnement des murs	21
1.5.1.	Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales	21
1.5.2.	Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales	21
2.	Dossier Technique.....	23
2.1.	Données commerciales	23
2.1.1.	Coordonnées	23
2.2.	Description.....	23
2.3.	Domaine d'emploi	23
2.4.	Composition des panneaux.....	23
2.4.1.	Composition des lamelles	23
2.4.2.	Composition des plis.....	24
2.4.3.	Adhésifs utilisés	24
2.4.4.	Plis de parements.....	25
2.5.	Fabrication	25
2.6.	Contrôles de fabrication	25
2.6.1.	Contrôles internes	25
2.6.2.	Contrôles externes	25
2.7.	Identification du produit.....	25
2.7.1.	Identification	25
2.7.2.	Marquage.....	26
2.8.	Propriétés des panneaux HEXAPLI.....	26
2.8.1.	Propriétés mécaniques des panneaux HEXAPLI	26
2.8.2.	Autres caractéristiques physiques des panneaux	26
2.8.3.	Conditions d'usage – classe de service, durabilité, traitement	27
2.8.4.	Utilisation des panneaux HEXAPLI en vide sanitaire	27
2.9.	Jonctions des panneaux HEXAPLI	28
2.9.1.	Introduction	28
2.9.2.	Dispositions spécifiques aux composants métalliques.....	28
2.10.	Autres composants à base de bois à usage structural	28
2.11.	Dispositions constructives	28
2.11.2.	Assemblage des panneaux HEXAPLI entre eux	28

2.12. Dimensionnement – principes généraux.....	29
2.12.1. Principe de dimensionnement.....	29
2.12.2. Charges	29
2.12.3. Contribution à l'effort tranchant au niveau de l'appui	29
2.12.4. Facteur d'effet système k_{sys}	30
2.12.5. Facteur correctif de la résistance au cisaillement du bois k_{cr}	30
2.12.6. Configurations de chargement.....	30
2.12.7. Vérification à l'ELU final	30
2.12.8. ELS.....	30
2.12.9. Fonctionnement en modèle poutre.....	30
2.12.10. ELU.....	30
2.12.11. Conception des assemblages.....	31
2.13. Vérifications spécifiques aux planchers	31
2.13.2. Dimensionnement des panneaux HEXAPLI porteurs horizontaux	31
2.13.3. Vérifications ELS.....	33
2.14. Vérifications spécifiques aux murs.....	33
2.14.2. Dimensionnement des panneaux HEXAPLI porteurs verticaux.....	33
2.14.3. Vérifications ELS.....	34
2.14.4. Vérification des linteaux	34
2.14.5. Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur	35
2.15. Vérifications des ouvrages.....	35
2.15.1. Généralités	35
2.15.2. Contreventement global	35
2.15.3. Sismique	35
2.16. Sécurité incendie	36
2.16.1. Résistance et réaction au feu	36
2.16.2. Propagation du feu en façade.....	36
2.17. Acoustique	36
2.17.1. Exigences	36
2.17.2. Evaluations par essais	36
2.17.3. Exemples de solutions.....	36
2.18. Isolation thermique	39
2.18.1. Calcul des coefficients de transmission thermique surfacique des parois	39
2.18.2. Pare vapeur	39
2.19. Revêtements de façade.....	39
2.19.1. Étanchéité à l'eau	39
2.19.2. Bardages rapportés.....	39
2.19.3. ETICS	39
2.19.4. Autres revêtements de façade.....	39
2.20. Mise en œuvre.....	39
2.20.1. Plans de pose et d'exécution	39
2.20.2. Transport	40
2.20.3. Stockage sur chantier	40
2.20.4. Contrôles avant mise en œuvre	40
2.20.5. Sécurité	40
2.20.6. Stabilité provisoire.....	40
2.20.7. Levage.....	40
2.20.8. Dispositions complémentaires	40
2.21. Assistance technique	40
2.22. Résultats expérimentaux.....	40

2.23. Références	40
2.23.1. Données Environnementales	40
2.23.2. Autres références	40
2.24. Annexes du Dossier Technique.....	61
ANNEXE A Utilisation en support d'étanchéité	61
A1 DOMAINE D'EMPLOI	61
A1.1 Bâtiments/locaux	61
A1.2 Accessibilité de la toiture (cf. tableaux A1 à A3).....	61
A2 CONCEPTION EN PANNEAUX HEXAPLI	61
A2.1 Conception	61
A2.2 Pente des panneaux HEXAPLI	61
A2.3 Dimensionnement	61
A2.4 Complexe d'étanchéité.....	62
A3 COMPOSANTS DU COMPLEXE	62
A3.1 Pare-vapeur	62
A3.1.1 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées – hors cas de l'isolation inversée.....	62
A3.1.2 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées – cas de l'isolation inversée	62
A3.1.3 Toitures accessibles aux piétons et au séjour	62
A3.1.4 Positionnement du pare-vapeur	62
A3.2 Isolation	62
A3.2.1 Isolants supports d'étanchéité	62
A3.2.2 Isolation inversée	63
A3.3 Habillage ou plafond suspendu.....	63
A3.4 Revêtement d'étanchéité.....	63
A3.5 Végétalisation.....	63
A3.6 Equipements techniques	63
A3.6.1 Revêtement d'étanchéité en pose directe sur panneaux HEXAPLI.....	64
A3.6.2 Revêtement d'étanchéité en pose sur panneaux isolants.....	64
A4 CONFIGURATIONS DE TOITURES FROIDES VENTILEES NON ISOLEES	64
A4.1 Composition du complexe.....	64
A4.2 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées	64
A4.3 Toitures accessibles aux piétons et au séjour avec protection par dalles sur plots.....	64
A5 CONFIGURATIONS DE TOITURES CHAUDES ISOLEES SUR BATIMENTS CHAUFFES	64
A5.1 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées - isolation support d'étanchéité.....	65
A5.2 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées - isolation inversée.....	65
A5.3 Toitures accessibles aux piétons et au séjour – protection par dalles sur plots	65
A5.3.1 Composition du complexe	65
A5.3.2 Couche de protection de l'élément porteur jouant le rôle de pare-vapeur	65
A5.3.3 Isolation thermique support d'étanchéité	66
A5.3.4 Revêtement d'étanchéité	66
A5.3.5 Dispositions spécifiques pour l'évacuation des eaux pluviales	66
A5.3.6 Protections par dalles sur plots en béton ou en bois	66
A6 MISE EN OEUVRE.....	66
A6.1 Structure bois.....	66
A6.2 Protection des panneaux HEXAPLI en œuvre.....	67
A6.3 Complexe d'étanchéité.....	68
A6.4 Contrôle de l'hygrométrie des panneaux HEXAPLI	68
A7 POINTS SINGULIERS	68
A7.1 Reliefs	68
A7.1.2 Dimensionnement.....	69

A7.1.3	Relief assurant le rôle de garde-corps.....	69
A7.2	Relevés d'étanchéité.....	69
A7.3	Mise en œuvre du bardage et de l'habillage des têtes de murs.....	69
A7.4	Retombés d'étanchéité.....	69
A7.5	Joints de dilatation.....	69
A7.6	Evacuation des eaux pluviales.....	69
A8	DISPOSITIONS SPECIFIQUES EN CLIMAT DE MONTAGNE.....	70
A8.1	Conception.....	70
A8.2	Dimensionnement.....	70
A8.3	Choix et positionnement du pare-vapeur en climat de montagne.....	70
A8.3.1	Pare-vapeur en climat de montagne (hors cas des toits terrasses accessibles).....	70
A8.3.2	Couche de protection jouant le rôle de pare-vapeur en toits terrasses accessibles.....	70
A9	ASSISTANCE TECHNIQUE.....	70
ANNEXE B	Utilisation en support de couverture.....	100
B1	PRINCIPE ET DOMAINE D'EMPLOI.....	100
B1.1	Domaine d'emploi.....	100
B1.2	Couverture froide.....	100
B1.3	Couverture chaude.....	100
B2	CONCEPTION EN PANNEAUX HEXAPLI.....	100
B2.1	Conception.....	100
B2.2	Dimensionnement des panneaux HEXAPLI.....	101
B2.2.1	Dispositions pour les panneaux HEXAPLI.....	101
B2.2.2	Ouvertures, pénétrations dans les panneaux HEXAPLI.....	101
B2.3	Fixation du complexe de couverture.....	101
B3	DISPOSITIONS POUR LES COUVERTURES FROIDES EN CLIMAT DE PLAINE.....	101
B3.1	Couvertures froides visées en climat de plaine.....	101
B3.1.1	Liste des couvertures visées.....	101
B3.1.2	Mise en œuvre des couvertures froides en climat de plaine.....	102
B3.2	Pare vapeur.....	103
B3.3	Ecran de sous-toiture.....	103
B3.4	Isolation entre chevrons.....	103
B3.5	Isolation par technique « Sarking ».....	103
B3.5.1	Eléments de couvertures visées.....	103
B3.5.2	Mise en œuvre.....	103
B3.5.3	Points singuliers.....	103
B4	DISPOSITIONS POUR LES COUVERTURES CHAUDES EN CLIMAT DE PLAINE (Cf. Fig. B.28 et B.29).....	103
B5	DISPOSITIONS POUR LES COUVERTURES FROIDES EN CLIMAT DE MONTAGNE.....	104
B5.1	Constitution du complexe.....	104
B5.2	Couvertures associées.....	104
B5.3	Pare vapeur.....	104
B5.4	Isolation.....	104
B5.4.1	Isolation entre chevrons.....	104
B5.4.2	Sarking.....	104
B6	POINTS SINGULIERS.....	104
B6.1	Egouts.....	104
B6.2	Faitage.....	105
B6.3	Rives.....	105
B6.4	Noues et arêtiers.....	105
B7	MISE EN ŒUVRE.....	105
B7.1	Structure bois.....	105

B7.2	Protection des panneaux HEXAPLI	105
B7.3	Couverture	106
B7.4	Contrôle de la siccité des panneaux HEXAPLI	106
B8	ASSISTANCE TECHNIQUE	107

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n° 3.3 - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 09 juillet 2020, le procédé **HEXAPLI**, présenté par la Société Piveteau. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après. L'avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine.

1.1. Définition succincte

1.1.1. Description succincte

Les panneaux structuraux HEXAPLI sont des panneaux de grandes dimensions constitués de planches en bois massif de classe C24 et C18 séchées et calibrées. Les planches sont empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface. Les panneaux structuraux HEXAPLI comportent de 3 à 9 plis et sont destinés à la réalisation de planchers, de murs porteurs à fonction de contreventement.

Les panneaux HEXAPLI sont constitués de planches non collées à chants.

Les panneaux HEXAPLI ont les dimensions suivantes :

- Longueur jusqu'à 16,00 m ;
- Largeur jusqu'à 3,50 m ;
- Épaisseur de 60 à 360 mm.

1.1.2. Identification

Après fabrication selon le protocole décrit au §2.5 du Dossier Technique les panneaux sont identifiés de la façon suivante :

- Lieu de fabrication ;
- Caractéristiques du panneau (dimensions, volume et poids, type de panneau, nombre et épaisseur de plis, finition) ;
- Essences et résistance mécanique des lamelles ;
- Type de colle ;
- Référence de la commande (client, chantier, destination, numéro de commande, d'étiquette et de panneau).

1.2. AVIS

L'Avis porte uniquement sur le procédé tel qu'il est décrit dans le Dossier Technique joint, dans les conditions fixées aux Prescriptions Techniques (§1.2.3).

1.2.1. Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3.3, à savoir les utilisations dans les bâtiments industriels ou agricoles, bâtiments d'habitation de la 1^{ère} à la 4^{ème} famille, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après.

Les limitations du domaine d'emploi résultent du respect de la réglementation en vigueur applicable aux bâtiments, notamment vis-à-vis du Règlement de Sécurité pour la Construction.

Les panneaux structuraux HEXAPLI sont destinés à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 et en classes d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

L'Avis est formulé pour les utilisations en France européenne, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

Les éléments de levage ne sont pas visés par cet Avis Technique.

La mise en œuvre d'un système d'isolant thermique extérieure par enduit sur isolant sur les panneaux HEXAPLI doit faire l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois dans les limitations d'usage de celui-ci.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est à dire ceux pour lesquels $W/n > 5g/m^3$, avec :

- W = quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur du local par heure ;
- n = taux horaire de renouvellement d'air.

Précisions du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en mur et planchers

Pour la réalisation des planchers, le procédé est limité à la reprise de charges à caractère statique ou quasi-statique pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3, D1, H et I au sens de la norme NF EN 1991-1-1.

La conception des assemblages devra être effectuée suivant les prescriptions du paragraphe 1.2.3.1.5 du présent avis.

L'Avis est formulé en excluant la reprise des cloisons maçonnées ou fragiles. Les revêtements fragiles doivent être mis en place en pose désolidarisée.

Les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent Avis.

Les ouvrages enterrés en panneaux HEXAPLI sont exclus du domaine d'emploi.

Les entures de grandes dimensions n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent Avis.

L'utilisation des panneaux HEXAPLI en plancher sur vide sanitaire est à exclure des zones infestées par les termites en l'absence de procédé de barrière anti-termite sous Avis Technique visant les planchers bois en vide-sanitaire.

Précisions du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en support d'étanchéité de toitures-terrasses et toitures inclinées

Les panneaux structuraux HEXAPLI sont utilisés selon l'annexe A du dossier technique, en travaux neufs :

- Sur tous types de construction ;
- Au-dessus des locaux classés à faible ou moyenne hygrométrie selon l'Annexe B du NF DTU 43.4 P1-1 ;
- En France métropolitaine (hors DROM) en climat de plaine et de montagne ;
- En toitures :
 - Inaccessibles, avec chemins de circulation éventuels (pente $\leq 50\%$), sans rétention temporaire des eaux pluviales ;
 - Inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique (pente $\leq 50\%$) ;
 - Techniques et à zones techniques, sans chemin de roulement des appareils d'entretien de façades (pente $\leq 7\%$ en systèmes apparents et $\leq 5\%$ sous protection lourde) ;
 - Végétalisées (pente $\leq 20\%$) ;
 - Accessibles aux piétons et au séjour associées à une protection par dalles sur plots (pente $\leq 5\%$) uniquement visées sur les configurations de toitures chaudes isolées (hors isolation inversée) ;
- Sous des systèmes d'étanchéité :
 - En toitures froides (ventilée non isolée uniquement en bâtiment ouvert) ou en toitures chaudes ;
 - Avec un revêtement d'étanchéité indépendant, semi-indépendant ou adhérent, faisant l'objet d'un DTA ou Avis Technique validé en GS 5 pour l'emploi sur éléments porteurs bois ;
 - En apparent, sous protection lourde ou sous végétalisation ;
 - En asphalte ou mixte sous asphalte bénéficiant d'un Avis Technique, en feuilles bitumineuses ou en membrane synthétique bénéficiant d'un Document Technique d'Application.

Le procédé « Panneaux HEXAPLI » vise également les toitures-terrasses inversées (hors toitures accessibles aux piétons), lorsqu'il est associé à un panneau isolant de polystyrène extrudé bénéficiant d'un Document Technique d'Application.

Les pentes minimales sur plan des toitures inaccessibles, techniques et accessibles aux piétons sont dépendantes du critère de dimensionnement choisi :

- $\geq 3\%$, lorsque les panneaux HEXAPLI sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final $w_{net,fin}$ dû à toutes les charges, limité au $1/250^e$ de la portée ;
- $\geq 1,8\%$, lorsque les panneaux HEXAPLI sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final $w_{net,fin}$ dû à toutes les charges, limité au $1/400^e$ de la portée ;
- $\geq 1,6\%$, lorsque les panneaux HEXAPLI sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final $w_{net,fin}$ dû à toutes les charges, limité au $1/500^e$ de la portée ;
- $\geq 3\%$ et $\leq 20\%$ pour les terrasses et toitures végétalisées.

Précision du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en support de couverture

Les panneaux structuraux HEXAPLI sont utilisés selon l'annexe B du Dossier Technique, comme éléments porteur support de couverture plane, en France métropolitaine (hors DROM), y compris en zones sismiques, en construction neuve ou en rénovation.

Les panneaux HEXAPLI peuvent être utilisés en climat de plaine et de montagne. (Altitude > 900 m), au-dessus de locaux à hygrométrie faible et moyenne c'est-à-dire pour lesquels le rapport $W/n \leq 5$ g/m³, où W est la quantité de vapeur produite à l'intérieur du local par heure en g/m³ et n le taux de renouvellement de l'air.

Les panneaux HEXAPLI sont mis en œuvre sur des porteurs en béton ou maçonnés, métalliques ou en bois (structure ou panneaux CLT) suivant les préconisations du Dossier Technique.

Ils sont support d'isolation mise en œuvre entre chevrons ou en continu. Dans ce deuxième cas, on se référera aux prescriptions des Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application relatifs aux procédés « Sarking ». L'épaisseur minimale requise pour les sarking est de 80 mm.

1.2.2. Appréciation sur le procédé

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

Stabilité

La résistance et la stabilité du procédé sont normalement assurées dans le domaine d'emploi accepté sous réserve des dispositions complémentaires données aux Prescriptions Techniques (§1.2.3 ci-après et Annexe 1).

Sécurité en cas d'incendie

Résistance au feu

Conformément aux conditions prévues par l'Arrêté du 14 mars 2011 modifiant l'arrêté du 22 mars 2004 modifié relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, les panneaux HEXAPLI, qu'ils soient utilisés en tant que porteur vertical ou horizontal, sont à même de satisfaire des degrés de stabilité au feu dans les conditions précisées dans l'appréciation de laboratoire de résistance au feu AL 17-212_V2.

Conformément à l'Appréciation de Laboratoire au Feu N°AL 17-212_V2, la résistance au feu des panneaux HEXAPLI peut être soit déterminée par un calcul sur le panneau seul ou sur le panneau avec un écran de protection, soit assurée uniquement par un écran de protection.

Réaction au feu

Les panneaux HEXAPLI bruts bénéficient d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2, d0 selon la norme NF EN 13501-1. L'adéquation entre ce classement et les exigences réglementaires doit être examinée au cas par cas en fonction du type de bâtiment et de l'emplacement du panneau dans l'ouvrage.

Sécurité en cas d'incendie vis-à-vis du feu provenant de l'extérieur

Utilisation en toiture

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.

Utilisation en support de couverture

Selon l'arrêté du 14 février 2003 relatif à la performance des toitures et couvertures de toitures exposées à un incendie extérieur, les couvertures relèvent d'un classement de réaction au feu A1 dans le cas des tuiles, des ardoises naturelles, des ardoises et des plaques en fibres-ciment et des couvertures en feuilles et longues feuilles métalliques (sans prélaquage). Elles relèvent du classement propre à chaque produit dans le cas des bardeaux bitumés.

Sécurité en cas d'incendie vis-à-vis du feu intérieur

Les panneaux HEXAPLI font l'objet d'une appréciation de laboratoire permettant de considérer que les éléments respectent les dispositions en matière de protection des isolants non A2 vis-à-vis d'un feu intérieur pour les bâtiments d'habitation et les Établissements Recevant du Public (ERP). Lorsque le panneau est visible en sous-face, il fait office de plafond.

Propagation du feu aux façades

La propagation du feu en façade, les dispositions constructives permettant de limiter le risque de propagation du feu par les façades dont la participation à l'indice C+D (écran thermique, jonction façade/plancher) sont déterminées par application de l'Appréciation de Laboratoire au feu n° n°AL17-212_V2.

Dans le cas d'intégration de coffres de volet roulant, de modénatures de façade et/ou de brises soleil ou de spécifications complémentaires sur les côtes C+D vis-à-vis d'éléments non explicitement visés dans l'Appréciation de Laboratoire au feu n° n°AL16-196_V2, un Avis de chantier conformément à l'Arrêté du 22 mars 2004 modifié devra être réalisé.

Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour la manutention d'éléments préfabriqués de grandes dimensions. Une attention particulière doit être portée à la manutention des panneaux HEXAPLI destinés à la réalisation de murs munis d'ouvertures et transportés tels quels dans le cas où la phase de manutention génère des efforts nettement supérieurs à ceux subis par le panneau mis en œuvre dans l'ouvrage. Les points d'attaches conçus et prescrits par PIVETEAU BOIS ou par les bureaux d'études techniques référencés par le service d'assistance technique doivent être respectés sur chantier.

Lors des phases provisoires, et tant que l'ensemble des éléments nécessaires au contreventement définitif de l'ouvrage ne sont pas mis en œuvre, la stabilité des panneaux HEXAPLI, en position verticale ou horizontale, doit être assurée au moyen d'un étaielement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction. D'une manière générale, et quelle que soit la fonction du panneau HEXAPLI dans l'ouvrage, la mise en œuvre des panneaux HEXAPLI impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

Pose en zones sismiques

Le procédé HEXAPLI peut satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme sous réserve du respect des conditions précisées aux Prescriptions Techniques.

Sécurité en cas de séisme pour une utilisation en support de couverture

Selon la réglementation définie par :

- Le décret n° 2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique ;
- Le décret n° 2010-1255 portant sur la 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 HEXAPLI en support de couverture peut être mis en œuvre en respectant les prescriptions du Dossier Technique et de l'Annexe B 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 classes A, B, C, D et E.

Pour les couvertures plaques support de tuiles, tuiles métalliques et plaques bitumineuses, la limitation d'utilisation en zone sismique est donnée dans le DTA du procédé de couverture.

Pour les couvertures traditionnelles (petits éléments de couverture, plaques profilées en fibres-ciment, tôles métalliques nervurées, feuilles et longues feuilles métalliques et bardeaux bitumés), la limitation d'utilisation en zone sismique devra être déterminée selon les référentiels techniques appropriés.

Isolation thermique

Afin de vérifier le respect des réglementations thermiques en vigueur, pour les bâtiments neufs et existants selon le cas, les bâtiments équipés de ce procédé doivent faire l'objet d'études énergétiques. Ces études doivent tenir compte des caractéristiques des produits mis en œuvre, notamment lorsqu'ils sont sous Avis Technique ou Document Technique d'Application.

L'arrêté du 26 octobre 2010 (Réglementation Thermique 2012) n'impose pas d'exigences minimales sur la transmission thermique surfacique des parois. La transmission thermique surfacique des parois intervient comme donnée d'entrée dans le calcul du besoin bioclimatique (Bbio) et de la consommation globale du bâtiment pour lesquels l'arrêté fixe une exigence réglementaire.

La vérification du respect de la réglementation thermique s'effectue au cas par cas en utilisant les règles de calculs réglementaires (Th-BCE et Th-bât).

Les constructions existantes sont soumises aux dispositions de l'arrêté du 22 mars 2017, relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants, qui définit la résistance thermique totale minimum que la paroi doit respecter lorsqu'il est applicable.

Le procédé HEXAPLI présente une isolation thermique « moyenne » évaluée par le coefficient U de transmission surfacique calculable conformément aux règles Th-U, en prenant pour conductivité thermique utile du bois $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$, pour capacité thermique massique $C_p = 1600 \text{ J/kg.K}$. Ces valeurs correspondent à un résineux léger de classe mécanique C24 selon la norme NF EN 338 et dont la masse volumique moyenne, c'est-à-dire avec une teneur en humidité de 15 % selon la terminologie de la norme NF B 51-002, est $\leq 500 \text{ kg.m}^{-3}$.

Les panneaux HEXAPLI, peuvent nécessiter, selon leur emplacement dans l'ouvrage, la mise en œuvre d'une isolation thermique complémentaire. En toiture, le procédé HEXAPLI sans isolation thermique, ne peut être mis en œuvre que sur les bâtiments ouverts et auvents (ouvrages où la réglementation thermique n'est pas applicable).

Les valeurs et dispositions décrites dans les figures du Dossier Technique sont données à titre indicatif et n'ont pas été examinées par le GSn°3.3, une étude devra être réalisée au cas par cas. Sur les figures sont indiqués les isolants qui sont prescrits dans le DTU 31.2-P1-2 (CGM).

Un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du HEXAPLI exposée au climat intérieur (entre le panneau HEXAPLI et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de Sd (épaisseur de lame d'air équivalente) du pare-vapeur sera au minimum de 18m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90m le cas contraire.

Isolation acoustique

Les panneaux HEXAPLI seuls, qu'ils soient utilisés en tant que murs ou planchers, ne permettent pas toujours de satisfaire les exigences en vigueur en matière d'isolation acoustique entre logements dans les bâtiments d'habitation. L'atteinte des critères d'isolation fixés par la réglementation nécessite parfois la mise en œuvre de matériaux d'isolation acoustique ou d'ouvrages complémentaires par exemple un plafond suspendu.

L'efficacité du complexe ainsi constitué vis-à-vis de l'isolation acoustique dépend de la conception particulière du plafond et de sa suspension. Cette efficacité peut être jugée soit à partir d'essais après s'être assuré que la fréquence de résonance de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté est inférieure à 60 Hz.

Cette fréquence peut être calculée par la formule

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

Avec :

- f_0 = la fréquence de résonance en Hz ;
- m_1 = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plancher brut ;
- m_2 = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plafond rapporté ;
- K = le coefficient de raideur dynamique du dispositif de suspension du plafond ; il s'exprime en N/m et il correspond au rapport de la force, en N, à appliquer, au déplacement qui en résulte pour le dispositif de suspension, déplacement exprimé en mètres (m).

Ce coefficient K doit être rapporté à 1 m² de plancher. Dans le cas particulier d'utilisation de suspentes très courtes et rigides, réalisées en fers plats fixés sur les faces latérales des poutres en bois (voir DTU 25.41 « Ouvrages en plaques de parement en plâtre »), on ne peut pas connaître avec précision le coefficient de raideur dynamique K, ni de ce fait, la fréquence de résonance f_0 . Dans ce cas, seul un essai permet de déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté.

Étanchéité à l'eau et à l'air

Les panneaux HEXAPLI eux-mêmes ne sont pas destinés à jouer un rôle vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau ni de l'étanchéité à l'air.

Données environnementales

Il existe une Déclaration Environnementales (DE) pour ce procédé mentionné au paragraphe 2.23.1 du Dossier Technique. Il est rappelé que cette DE n'entre pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

Aspects sanitaires

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

1.2.2.2. Durabilité - Entretien

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les panneaux HEXAPLI aux classes d'emploi 1 et 2, leur durabilité face aux éléments fongiques peut être normalement assurée soit du fait de la durabilité naturelle de l'essence utilisée, soit par l'application d'un traitement de préservation dans les conditions fixées au § 2.8.3 des prescriptions techniques.

Le deuxième décret n° 2006-591 d'application de la loi n° 99-471 du 8 juin 1999 tendant à protéger les acquéreurs et propriétaires d'immeubles contre les termites et autres insectes xylophages » - dite loi termites, suivi par l'arrêté du 16 février 2010 modifiant l'arrêté du 27 juin 2006 relatif à l'application des articles R.112-2 et R. 112-4 du code de la construction et de l'habitation, vise la protection des bois et des matériaux à base de bois participant à la solidité des ouvrages et mis en œuvre lors de la construction de bâtiments neufs ou de travaux d'aménagement. Les panneaux HEXAPLI répondent à la réglementation en vigueur sous réserve des dispositions complémentaires données aux Prescriptions Techniques (§ 1.2.3.1.7 ci-après).

Utilisation en support d'étanchéité

Systèmes d'étanchéité : se reporter à leurs Documents Techniques d'Application, et à l'Avis Technique des terrasses et toitures végétalisées.

Concernant l'entretien du système d'étanchéité, se reporter à leurs Documents Techniques d'Application, à l'Avis Technique des procédés de végétalisation de toitures ou des dispositions conformes au DTU.

Utilisation en support de couverture

La durabilité du procédé HEXAPLI est assurée si, comme prévu, ces éléments sont réservés à la couverture de locaux à faible ou moyenne hygrométrie et si ces supports sont protégés de l'humidification lors de la pose (cf. Prescriptions Techniques).

Dans les conditions de pose prévues par l'Annexe B, et complétées par les Prescriptions Techniques, la durabilité des couvertures associées est comparable à celle des mêmes couvertures posées sur support traditionnel.

Concernant l'entretien du système de couverture, se reporter aux dispositions du DTU de la série 40 ou au document Technique d'Application dont relève la couverture.

Tous percements réalisés après le chantier, et quelque soient leurs dimensions, ne pourront être réalisés qu'après l'obtention de l'accord du bureau d'études de structure et/ou la Société PIVETEAU BOIS.

1.2.2.3. Fabrication et contrôle

La fabrication des panneaux HEXAPLI est assurée exclusivement par la société PIVETEAU BOIS sur le site de Sainte Florence. Le suivi de la production est effectué dans le cadre des procédures internes d'autocontrôle et fait l'objet d'un contrôle externe au moins deux fois par an par le FCBA.

1.2.3. Prescriptions Techniques

1.2.3.1. Conditions de conception et de calcul

Lorsque des panneaux HEXAPLI sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

- Soit de les considérer comme une succession de panneaux isolés les uns des autres. Il est alors nécessaire de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme libres en tête et encastrés en pied. Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m. Il est également nécessaire de s'assurer de la présence d'une lisse haute transmettant l'effort horizontal et de justifier la transmission de l'effort aux panneaux par cette lisse ;
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux. Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part. Les dispositifs de liaisons entre panneaux sont ceux indiqués au Dossier Technique.

La conception et le calcul des panneaux HEXAPLI sont à la charge du bureau d'études techniques référencé par le service d'assistance technique HEXAPLI qui doit également fournir un plan de pose complet.

PIVETEAU BOIS prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre en mettant notamment à disposition des acteurs de la construction une liste de bureau d'études techniques disposant de l'expertise requise pour le dimensionnement des panneaux HEXAPLI en respect des prescriptions techniques particulières du présent Avis et des normes en vigueur.

Un logiciel de prédimensionnement est tenu à disposition des bureaux d'étude par le titulaire afin de vérifier en phase définitive les éléments porteurs verticaux et horizontaux.

Les charges d'exploitation à prendre en considération dans les calculs sont celles précisées par la norme NF EN 1991 moyennant les limitations décrites §1.2.1.

1.2.3.1.1. Vérifications en phase définitive des éléments porteurs horizontaux

Les vérifications de la résistance sous l'effet du moment fléchissant et de l'effort tranchant peuvent être menées comme dit au §2.12 du Dossier Technique, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §2.12.8.3 du Dossier Technique. Il est tenu compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon l'Annexe 1 de la partie Avis.

La flèche finale ne pourra excéder $L/250$ où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux HEXAPLI.

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder $L/300$ où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux HEXAPLI.

En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 ou son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des éléments HEXAPLI les valeurs suivantes :

- Pour les planchers, la flèche active, pouvant nuire aux revêtements de sols rigides, ne doit pas dépasser :
 - Soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
 - Soit $L/500$ de la portée si celle-ci est $\leq 7,0$ m ; $0,7$ cm + $L/1\ 000$ de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m.
- Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limitée, par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :
 - Soit $L/350$ de la portée si celle-ci est $\leq 7,00$ m ;
 - Soit 1 cm + $L/700$ de la portée si celle-ci est supérieure à 7,00 m.

On appelle flèche active la part des déformations du plancher risquant de provoquer des désordres dans un ouvrage considéré généralement supporté (par exemple : cloison, carrelage, étanchéité etc...). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné.

Pour les éléments de toiture, la flèche nette finale due à toute les charges est limité conventionnellement à :

- $1/250^e$ de la portée pour une pente de 3 % minimale ;
- $1/400^e$ de la portée pour une pente de 1,8 % minimale (hors toitures terrasses végétalisées) ;
- $1/500^e$ de la portée pour une pente de 1,6 % minimale (hors toitures terrasses végétalisées).

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des charges ponctuelles.

1.2.3.1.2. Transmission des charges des éléments porteurs horizontaux à leurs appuis

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon le §2.13.2 du Dossier Technique.

1.2.3.1.3. Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul est donné dans §2.14.2 du Dossier Technique établi par le Demandeur. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, la charge verticale est considérée comme excentrée. Cet excentrement sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : $1/6$ de l'épaisseur du panneau ou l'excentricité réelle.

Lorsque les panneaux HEXAPLI utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions (cf. §2.14.4 du dossier technique établi par le Demandeur).

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique. Il convient de se reporter au §2.14.4 du Dossier Technique établi par le Demandeur pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

Pour les éléments porteurs verticaux, la longueur des porte-à-faux sera limitée à 20% de la longueur de la travée adjacente d'équilibre. La flèche admissible est de $L/500$, L étant la longueur du porte-à-faux.

1.2.3.1.4. Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales

Les vérifications de la résistance sous l'effet des contraintes cisaillement peuvent être menées comme dit au §2.12.10.1.2 du Dossier Technique, établi par le Demandeur en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §2.12.8.3 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

Les ancrages, reprenant les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales, sont dimensionnés pour ne reprendre que ces efforts. L'effort tranchant à la base des éléments porteurs verticaux est alors équilibré par des connecteurs dédiés à cet usage et n'intervenant pas dans l'équilibrage des efforts de soulèvement.

Lorsque des panneaux HEXAPLI munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

- Soit de les considérer comme une succession de panneaux isolés les uns des autres. Il est alors nécessaire de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme libres en tête et encastrés en pied. Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m. Il est également nécessaire de s'assurer de la présence d'une lisse haute transmettant l'effort horizontal et de justifier la transmission de l'effort aux panneaux par cette lisse ;
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux. Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part. Les dispositifs de liaisons entre panneaux sont ceux indiqués au Dossier Technique établi par le Demandeur.

1.2.3.1.5. Conception des assemblages et des liaisons

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux HEXAPLI entre eux ou des panneaux HEXAPLI à d'autres éléments de structure en matériaux bois doivent être choisis selon les prescriptions de la norme NF EN 14592 ou faire l'objet d'une Evaluation Technique Européenne. Les liaisons entre panneaux doivent être réalisées avec des éléments permettant la reprise des efforts de traction transversale (LVL, contreplaqué, panneau 3 plis), à l'exclusion du bois massif.

Les connecteurs mécaniques tridimensionnels devront être conformes aux paragraphe 2.3.3 du cahier du CSTB 3902-P2.

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés au regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et du paragraphe 2.12 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

Les organes de fixation métalliques de type tige utilisés pour l'assemblage de panneaux structuraux massifs bois entre eux ou avec d'autres éléments de l'ouvrage font l'objet :

- D'un marquage CE selon la NF EN 14592, lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- D'un ATE ou d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferrailage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1.

Pour la catégorie d'usage D1 :

- La capacité de l'assemblage entre panneaux adjacents vis-à-vis de la charge concentrée de la catégorie d'usage visée devra être justifié ;
- La distance entre les organes d'assemblage doit être de 30 cm maximum ;
- Le pianotage entre panneaux HEXAPLI est limité à la déformation acceptée par les éléments supportés ;
- Lorsque la charge concentrée correspond à une charge long terme au sens de la norme NF EN 1995-1-1/NA, il y a lieu de considérer la concomitance de cette charge avec les efforts de contreventement.

1.2.3.1.6. Utilisation en zone sismique

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux HEXAPLI doit être menée en suivant le principe de comportement de structure soit dissipatif (Classe de ductilité M) soit faiblement dissipatif (Classe de ductilité L) conformément à la norme NF EN 1998-1-1 (cf. §8.1.3 et §8.6 (2)P). Les effets des actions sont calculés sur la base de la méthode des forces latérales équivalentes du §4.3.3.2 ou de la réponse modale du §4.3.3.3 de la norme NF EN 1998-1-1. Le spectre de calcul est

déterminé à partir du spectre en appliquant un coefficient de comportement $q=2,0$ pour la classe DCM et $q=1,5$ pour la classe DCL.

Les critères de régularité en plan et en élévation de la norme NF EN 1998-1-1 (cf. §4.2.3) doivent être strictement respectés et faire l'objet d'une vérification. Toutefois, les bâtiments non-réguliers en élévation sont admis, en menant les justifications avec un coefficient de comportement abaissé de 20%.

Les coefficients de conversion correspondant à une classe de durée de chargement instantanée sont appliqués.

La conception de l'ouvrage suivant le principe de comportement de structure dissipatif (DCM) impose de porter la plus grande attention à la conception des assemblages entre panneaux (vis de liaison, équerres, etc.) au regard des efforts de cisaillement engendrés par l'action sismique. A ce titre, il convient :

- De hiérarchiser les zones de rupture dans les organes d'assemblage des panneaux en vérifiant la résistance suffisante des panneaux dont la rupture en cisaillement est considérée fragile ;
- D'exploiter la source de ductilité des organes d'assemblage des ancrages et équerres, la justification de la capacité résistante étant menée suivant les principes la norme NF EN 1995-1-1 au §8.2 en s'assurant que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage ; les organes de fixation de type broches, boulons et pointes lisses n'est pas admise ;
- De s'assurer que les connecteurs tridimensionnels mises en œuvre bénéficient d'un Agrément Technique Européen ou fassent l'objet d'un rapport d'essai de laboratoire (accrédité ISO 17025) réalisé selon la norme NF EN 12512 et démontrant d'un comportement cyclique qui satisfasse les critères fixés de la classe de ductilité M au §8.3(3)P de la norme NF EN 1998-1-1 ;
- De s'assurer que le dimensionnement des ancrages de panneaux est réalisé en appliquant les principes du dimensionnement en capacité de la norme NF EN 1998-1 en considérant un coefficient de sur-résistance pour l'ancrage $\gamma_{rd} = 1,3$ pour les murs formés d'un seul panneau continu et $\gamma_{rd} = 1,6$ pour les murs formés de plusieurs panneaux assemblés par des vis.

Les connecteurs mécano-soudés peuvent être mis en œuvre seulement si la justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux HEXAPLI est menée en suivant le principe de comportement de structure faiblement dissipatif (DCL). En classe DCM, les connecteurs mécano-soudés peuvent être utilisés uniquement pour l'assemblage des panneaux ne participant pas à la transmission des efforts sismiques.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux HEXAPLI utilisés en plancher doivent être organisés afin d'observer les points suivants :

- L'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- La fonction tirant-buton horizontal, assurée uniquement par les plis orientés dans le sens de l'effort à reprendre. La valeur de l'effort tirant-buton doit être déterminée par une étude sismique spécifique. Cet effort sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : 15 kN/ml ou l'effort de tirant-buton déterminée ;
- Par calcul la fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits ;
- Assurer la continuité du chaînage dans la direction transversale aux panneaux par rajout d'un élément reliant les panneaux.

La justification des panneaux utilisés en murs de contreventement en zone sismique doit être effectuée en :

- Menant les vérifications précisées au §2 de l'Annexe 1 ;
- Réalisant la fixation des panneaux au soubassement béton :
 - Soit par des tiges d'ancrage et/ou bêches, le dimensionnement étant réalisé selon les dispositions de la NF EN 1993-1-8 pour les boulons d'ancrage tendus ;
 - Soit par des chevilles bénéficiant d'une Evaluation Technique Européenne pour une utilisation en béton fissuré et sous sollicitation sismique (catégorie C2), le dimensionnement tenant compte des dispositions spécifiques de l'ETE pour cet usage ;
 - Considérer un diagramme d'interaction linéaire pour justifier les chevilles sous charges combinées de traction et de cisaillement.
- Afin d'éviter l'entrechoquement des ouvrages, la conception des joints de dilatation tiendra compte de l'isolant éventuel, de sa compressibilité et de l'épaisseur résiduelle conduisant à une surcote de la largeur du joint (cf. §2.11.1.8 du Dossier Technique).

1.2.3.1.7. Traitement de préservation

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du panneau HEXAPLI dans l'ouvrage d'une part, et à l'essence utilisée d'autre part, un traitement de préservation du bois peut être nécessaire. Il convient de respecter à cet égard les prescriptions des normes NF EN 335 et NF EN 350.

Conformément à la réglementation en vigueur, les panneaux HEXAPLI qui participent à la solidité des bâtiments devront être protégés par une durabilité conférée ou naturelle contre les insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire et en complément, contre les termites dans les départements dans lesquels a été publié un arrêté préfectoral pris par l'application de l'article L. 133-5. Les bâtiments neufs doivent être conçus et construits de façon à résister à l'action des termites et autres insectes xylophages. A cet effet doivent être mis en œuvre, pour les éléments participant à la solidité des structures, soit des bois naturellement résistant aux insectes ou des bois ou matériaux dérivés dont la durabilité a été renforcée, soit des dispositifs permettant le traitement ou le remplacement des éléments en bois ou matériaux dérivés.

1.2.3.1.8. Dispositions constructives générales

Lorsque les panneaux HEXAPLI sont utilisés pour la réalisation de bâtiments entrant dans le domaine d'application du DTU 31.2, c'est à dire d'une manière générale pour les bâtiments dont la structure principale porteuse est en bois, les dispositions non spécifiquement visées dans le cadre de cet Avis Technique doivent être conformes aux prescriptions du DTU 31.2 pour la conception, aux prescriptions des Eurocodes pour le calcul.

Un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du panneau HEXAPLI exposée au climat intérieur (entre le panneau HEXAPLI et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de Sd (épaisseur de lame d'air équivalente) du pare-vapeur sera au minimum de 18m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90m dans le cas contraire.

1.2.3.2. Conditions de fabrication

La fabrication des panneaux HEXAPLI faisant appel au collage à usage structural, elle nécessite un contrôle permanent des différents paramètres conditionnant la réalisation d'un collage fiable (température, humidité, temps de pressage, pression de collage, etc.).

Le suivi de la production est effectué :

Dans le cadre d'une procédure interne d'autocontrôle dont les étapes sont indiquées dans le §2.6.1 du Dossier Technique établi par le Demandeur. Les résultats sont consignés dans des fiches spécifiques pour les planches d'une part et panneaux HEXAPLI finis d'autre part indiquant notamment :

- La procédure de réception et le stockage des matières premières ;
- La conformité du bois au classement mécanique annoncé selon la norme NF EN 338. Une procédure écrite doit définir les moyens mis en œuvre pour assurer la conformité de la qualité des bois au cahier des charges définis dans le Dossier Technique établi par le Demandeur. Les bois utilisés doivent bénéficier d'un certificat visant à justifier de leur conformité aux normes en vigueur et en particulier concernant la classe de résistance annoncée ; l'essence des bois utilisée sera consignée au cahier des charges ;
- Les tolérances géométriques minimum à respecter pour les planches de bois ;
- Le taux d'humidité nominal des planches de bois avant assemblage des plis doit être compris entre 6 % et 15 % conformément à la norme NF EN 16351. Une procédure doit définir les contrôles, leur fréquence et leur enregistrement ;
- Le contrôle réalisé afin de s'assurer du bon encollage et du bon pressage conformément au Contrôle de Production en Usine ;
- Le contrôle visuel sur chaque élément fini.

L'ensemble des résultats ainsi que les dispositions prises en cas de résultat non conforme doivent être consignés sur un cahier ou sur des fiches de contrôle.

Un contrôle externe est réalisé sur les panneaux HEXAPLI par le FCBA permettant de vérifier la conformité des performances du panneau (valeur de résistance en cisaillement roulant notamment) et le bon suivi du CPU.

La synthèse de ce contrôle externe doit être transmise une fois par an au CSTB.

1.2.3.3. Conditions de mise en œuvre

1.2.3.3.1. Sollicitations perpendiculaires au sens porteur du panneau

Compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents au moyen des assemblages courants, les planchers composés de plusieurs panneaux adjacents doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur quatre côtés.

1.2.3.3.2. Manutention et stabilité provisoire

Le protocole de montage devra préciser les modes de manutention et des points de levage (type, nombre, résistance), au cas par cas ainsi que les dispositifs pour assurer leur stabilité provisoire. Ces éléments seront clairement identifiés sur les panneaux livrés sur chantier.

1.2.3.3.3. Plans d'exécution

Le bureau d'études devra fournir les plans d'exécution détaillés comprenant le calepinage et le sens des panneaux, les types et détails des ancrages en pied de panneaux et chaînages en tête de panneaux et tout autre détail nécessaire (traitement des ouvertures, etc...).

1.2.3.3.4. Mise en œuvre en toiture

La mise en œuvre des systèmes d'étanchéité est faite par les entreprises d'étanchéité qualifiées.

Sous cette condition, la mise en œuvre des systèmes d'étanchéité sur les panneaux HEXAPLI ne présente pas de difficulté particulière.

Les réservations et/ou percements sont réalisés exclusivement par le Lot charpente sous réserve de la validation par le BE structure. En aucun cas, les réservations et/ou percements ne sont réalisés par le lot Étanchéité ou par tout autre lot. Cette interdiction ne concerne pas la pose des attelages de fixation mécanique des systèmes d'étanchéité (supports isolants, kits des systèmes souples d'étanchéités fixés mécaniquement, par exemple).

1.2.3.4. Dispositions spécifiques à l'utilisation en tant que support d'étanchéité de toitures

1.2.3.4.1. 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 m².

1.2.3.4.2. Terrasses et toitures végétalisées

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 procédé de végétalisation.

Lorsque la pente est inférieure à 7 % sur plan, il n'est pas nécessaire de prendre en compte la charge complémentaire forfaitaire de 85 daN/m² pour le dimensionnement des panneaux structuraux HEXAPLI, puisque le fluage est pris en compte dans leur dimensionnement.

1.2.3.4.3. Terrasses accessibles aux piétons et au séjour

L'emploi en terrasses accessibles aux piétons et au séjour est prévu par l'Annexe A avec une constitution particulière du système d'étanchéité couche de protection/isolant/bicouche, protégé par des dalles sur plots, en respectant les prescriptions du paragraphe A5.3 de l'Annexe A.

Le maître d'ouvrage devra prévoir dans les DPM des descentes d'eau pluviales visibles par l'occupant et permettant ainsi de s'assurer de l'absence de pénétrations d'eau en points bas de la toiture (descente d'eau pluviale spécifique selon la figure A18 de l'Annexe A).

1.2.3.4.4. Attelages de fixation mécanique du système d'étanchéité

Résistance en compression

Lorsque la compression à 10 % de déformation de l'isolant support est inférieure à 100 kPa (norme NF EN 826), il est rappelé que les attelages de fixation mécanique des panneaux isolants supports, et/ou des kits des systèmes souples d'étanchéités fixés mécaniquement, 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.

Résistance à l'arrachement

Pour le calcul des densités de fixations des supports isolants ou des revêtements d'étanchéité fixés mécaniquement, la résistance caractéristique à l'arrachement à prendre en compte est celle de la fixation dans du bois massif conforme à la NF P 30-313 définie dans la fiche technique de la fixation, à épaisseur égale.

1.2.3.4.5. Cas de la réfection ultérieure du système d'étanchéité

a) Panneaux structuraux HEXAPLI : les études préalables prescrites au paragraphe 5 de la norme NF P 84-208 (référence DTU 43.5) doivent comprendre un contrôle de la teneur en humidité des panneaux en bois massifs contrecollés et la vérification de leur salubrité.

Ces études sont à la charge du maître d'ouvrage. Elles ne sont pas de la compétence du lot d'Étanchéité.

b) Systèmes d'étanchéité : l'emploi d'attelages de fixation mécanique pour la liaison des panneaux isolants, et/ou celle des kits des systèmes souples d'étanchéités fixés mécaniquement, doit être précédé d'une vérification systématique des valeurs d'ancrage des fixations envisagées, conformément au CPT Commun de l'e-Cahier du CSTB 3564 de juin 2006.

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.

1.2.3.4.6. Évacuation des eaux pluviales

L'implantation des dispositifs des évacuations des eaux pluviales et, lorsque prescrit, la vérification nécessaire des panneaux HEXAPLI sous le phénomène d'accumulation d'eau s'effectuent conformément à l'Annexe D du Cahier du CSTB 3814 de novembre 2019.

1.2.3.5. Prescriptions techniques dans le cas de l'utilisation en support de couverture

1.2.3.5.1. Conditions de conception et de calcul

1.2.3.5.1.1. Utilisation en zone sismique

Pour les couvertures relevant de la procédure de DTA, plaques support de tuiles, tuiles métalliques et plaques bitumineuses, la limitation d'utilisation en zone sismique est donnée dans l'Annexe B.

Pour les couvertures traditionnelles (petits éléments de couverture, plaques profilées en fibres-ciment, tôles métalliques nervurées, feuilles et longues feuilles métalliques et bardeaux bitumés), la limitation d'utilisation en zone sismique devra être déterminée selon les référentiels techniques appropriés.

1.2.3.5.1.2. Conditions de conception

La conception et le calcul des panneaux HEXAPLI utilisés en support de couverture doit être vérifié suivant les prescriptions du Dossier Technique établi par le Demandeur.

Le dimensionnement doit être réalisé en classe de service 2 pour les bâtiments ouverts.

Le maître d'œuvre doit définir les cas de charges à prendre en compte en couverture : Les principes de couvertures peuvent conduire à des cas de charges particuliers linéaires et/ou ponctuels pouvant intervenir sur le dimensionnement.

1.2.3.5.2. Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre de ce support relève de la compétence d'entreprises qualifiées, notamment des entreprises de charpente qualifiée. Elle ne présente pas de difficulté particulière. Elle nécessite le recours à des moyens de levage appropriés. La commande à dimensions, après étude de calepinage, peut faciliter la pose.

1.2.3.5.2.1. Mise hors d'eau

La mise hors d'eau des panneaux devra être immédiate.

Dans les conditions normales du chantier, la couverture sera exécutée à l'avancement. Si tel n'est pas le cas, un bâchage conforme aux dispositions du § B7.2 devra être assuré par l'entreprise ayant posé ces supports.

1.2.3.5.2.2. *Ventilation des couvertures froides*

Les panneaux HEXAPLI revêtus de couvertures en feuilles et longues feuilles métalliques, et en bardeaux bitumés, posés sur supports continus ventilés en sous face, nécessitent un contre-litonnage supplémentaire sur chantier afin de respecter les espaces de ventilation prévus par les DTU relatifs à ces couvertures.

1.2.3.5.2.3. *Butée en bas de pente pour retenir l'isolant*

Pour les pentes de couverture supérieures à 100%, il convient de réaliser un dispositif de butée en bas de pente. L'assistance technique du titulaire peut être requise à cet égard.

1.2.3.5.2.4. *Pare-vapeur*

La mise en place d'un pare-vapeur est prévue par le Dossier Technique dans les cas suivants :

- Lorsque le DTA du procédé de sarking et/ou de couverture le prévoit ;
- Lorsqu'une isolation est prévue ;
- Lorsqu'un écran souple de sous-toiture classé Sd1, certifié QB, est prévu (excepté en toiture froide non isolée sur bâtiment ouvert ventilé par l'air extérieur) ;
- En climat de montagne.

1.2.3.5.2.5. *Complexité de couverture*

Sous réserve du respect des dispositions de mise en œuvre prévues par l'Annexe B et du recours éventuel à l'assistance technique du fabricant, la réalisation de couvertures de forme complexe (rives biaisées, noues, arêtiers) peut être considérée favorablement.

1.2.3.5.2.6. *Finitions en plafond*

L'aspect régulier du plafond est tributaire du nivellement des appuis supports et du soin apporté à la pose des panneaux.

1.2.3.5.2.7. *Étanchéité à la neige poudreuse*

Lorsque l'étanchéité à la neige poudreuse est recherchée, il y a lieu de recourir à l'emploi d'un écran souple de sous-toiture certifié QB25 mis en œuvre conformément aux dispositions du NF DTU 40.29.

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 1.2.1) est appréciée favorablement.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe tient à attirer l'attention des utilisateurs du procédé HEXAPLI sur le fait que ses particularités nécessitent le recours, pour le dimensionnement des éléments, à un bureau d'études spécialisé.

Ce dimensionnement doit tenir compte, pour les différentes phases du projet, des exigences relatives à la stabilité des éléments d'une part et à la stabilité générale de l'ouvrage d'autre part, et des rigidités de l'ensemble des éléments participant au contreventement.

Dans le cas de l'association de structures de rigidités différentes, il est nécessaire d'en tenir compte pour la détermination des efforts de contreventement.

En outre, compte tenu de ce que les éléments HEXAPLI offrent des surfaces de prise au vent importantes lors de leur manutention, il est impératif d'une part de recourir aux précautions habituelles relatives à la manutention des éléments de grande dimension, d'autre part de cesser la mise en œuvre lorsque la vitesse du vent empêche la manutention aisée par deux personnes.

Il est rappelé que le DTU 31.2 préconise la mise en œuvre d'une coupure anti-capillarité en pied de panneaux fixés au soubassement.

Comme pour toutes les structures légères, les performances acoustiques de l'ouvrage doivent être vérifiées in situ. En effet, les outils de calcul ne permettent pas actuellement de prévoir la performance acoustique à la conception des constructions légères.

En l'absence de précision dans le Dossier Technique, il appartient au MOE en accord du détenteur de l'Avis Technique de prévoir une conception adaptée dans les locaux « humides » en particulier pour les Salles de Bain accessibles aux PMR.

En l'absence de précision dans le Dossier Technique, il appartient au MOE en accord du détenteur de l'Avis Technique de prévoir une conception adaptée à la mise en place de revêtement fragile en pose désolidarisée sur supports bois.

La nature du revêtement extérieur (cf. les référentiels techniques -DTU, DTA, Règles Professionnelles- dont ils relèvent) et le mode d'intégration des fenêtres et portes extérieures dans les parois verticales peuvent limiter les hauteurs admissibles des bâtiments réalisés avec le procédé.

Les caractéristiques des planchers CLT du présent Avis Technique répondent aux caractéristiques des planchers bois spécifiées :

- Dans le DTU 51.3 pour la pose directe des revêtements de sol ;
- Dans les Recommandations Professionnelles RAGE « Chapes et dalles sur planchers bois – neuf » pour la mise en œuvre des chapes relevant du DTU 26.2 ;
- Dans le DTU 51.3 pour la mise en œuvre des chapes relevant des Avis Techniques visant le support bois.

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 5.1

Les panneaux HEXAPLI ne remplissent pas la fonction d'écran de sous-toiture dont la présence ou non est stipulée dans les Avis Techniques, Documents Techniques d'Application ou DTU de la couverture associée aux panneaux.

La longueur projetée du rampant de couverture doit rester inférieure à la longueur projetée admise dans les DTU de la série 40.

Les intégrations électriques et la fixation d'objet n'ont pas fait l'objet d'une évaluation dans le cadre du présent avis technique.

Dans le cas où les panneaux HEXAPLI sont utilisés comme support de couverture chaude "VMZ Toiture Compacte" bénéficiant d'un DTA, seuls les locaux sous-jacents à faible et moyenne hygrométrie sont envisagés dans le cadre du présent Avis Technique.

Comme pour tous les procédés à base de bois, la fixation des lignes de vie est réalisée dans la charpente.

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 5.2

L'implantation des dispositifs des évacuations des eaux pluviales et, lorsque prescrit, la vérification nécessaire des panneaux HEXAPLI sous le phénomène d'accumulation d'eau s'effectuent conformément à l'Annexe D du Cahier du CSTB 3814 de novembre 2019.

Dans le cas de terrasses accessibles aux piétons, la conception de l'ouvrage devra prévoir des descentes d'eau pluviales visibles par les occupants des locaux des locaux ou autres systèmes décrit aux §1.2.3.4.3 et A.5.3.5.

La diminution du critère de fléchissement final $w_{net,fin}$ dû à toutes les charges du 1/250^e de la portée pour une pente de 3 % minimale, au 1/400^e de la portée pour une pente de 1,8 % minimale, a pour conséquence d'augmenter le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture d'environ 30 % et d'environ 50 % lorsque l'on passe au 1/500^e de la portée pour une pente de 1,6 % minimale.

Il incombe aux Maîtres d'œuvre de définir le responsable de la mesure de siccité des panneaux CLT en œuvre, avant application du procédé d'étanchéité de toiture.

A l'instar de tous les procédés de la famille panneaux bois à usage structurel, le dossier ne vise pas les seuils de porte-fenêtre donnant sur toitures-terrasses accessibles aux piétons et séjour.

La pente nulle n'est pas visée par le présent document.

Comme pour tous les procédés à base de bois, la fixation des lignes de vie est réalisée dans la charpente.

La protection contre les intempéries en phase travaux est définie dans l'Annexe A au paragraphe A6.2.

1.4. Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé

1.4.1. Données

Figure 1 : Coupe transversale d'un panneau 3 plis.

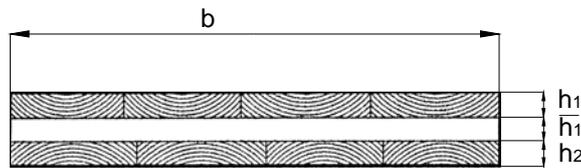
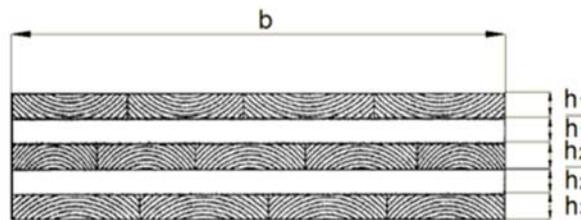


Figure 2 : Coupe transversale d'un panneau 5 plis.



Portée	L
Résistance caractéristique à la flexion	$f_{m,k}$
Résistance caractéristique à la traction	$f_{t,0,k}$
Résistance caractéristique au cisaillement roulant	$f_{R,k}$
Module d'élasticité moyen du bois	$E_{0,mean}$
Module de cisaillement moyen du bois	G_{mean}
Module de cisaillement roulant moyen du bois	$G_{R,mean}$
Coefficient de sécurité Bois	γ_m
Coefficient de modification	k_{mod}
Coefficient de déformation	k_{def}

Résistance de calcul à la flexion $f_{m,d} = k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_{m,l}$

Résistance de calcul à la traction $f_{t,d} = k_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_{m,l}$

Résistance de calcul au cisaillement $f_{R,d} = k_{mod} \times f_{R,k} / \gamma_{m,l}$

M_u : moment de flexion de calcul maximum à l'ELU

V_u : effort tranchant maximum de dimensionnement

1.4.2. Conception

Bien que les panneaux HEXAPLI eux-mêmes permettent la reprise locale de flexion transversale (sens perpendiculaire au fil des plis externes), compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents, les planchers doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur 4 côtés.

Lorsque les panneaux HEXAPLI utilisés comme planchers porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. §2.13.3.3 du dossier technique établi par le Demandeur).

Le dimensionnement est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon les valeurs définies pour le contreplaqué dans la norme NF EN 1995-1-1 et au §2.13.3 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

1.4.3. Vérifications à l'ELU instantané

Instantané – charges à court terme

Il convient que la rigidité efficace en flexion soit prise selon :

$$EI_{ef} = E_{flat,mean} \cdot I_{ef}$$

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^3 (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

En utilisant les valeurs moyennes de E et où :

$$A_i = b \cdot h_i$$

$$I_i = \frac{b \cdot h_i^3}{12}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_i = \left[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean,i} \cdot A_i \cdot \bar{h}_i}{L^2 \cdot G_{R,mean} \cdot b} \right]^{-1} \text{ pour } i = 1 \text{ et } i = 3$$

$$a_1 = \left(\frac{h_1}{2} + \bar{h}_1 + \frac{h_2}{2} \right) - a_2$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \bar{h}_1 + \frac{h_2}{2} \right) - \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \left(\frac{h_2}{2} + \bar{h}_2 + \frac{h_3}{2} \right)}{\sum_{i=1}^3 (\gamma_i \cdot A_i)}$$

$$a_3 = \left(\frac{h_2}{2} + \bar{h}_2 + \frac{h_3}{2} \right) + a_2$$

Les contraintes normales sont prises selon :

$$\sigma_{t,0,d}^i = \frac{\gamma_i \cdot a_i \cdot M_u}{I_{ef}}$$

$$\sigma_{m,0,d}^i = \frac{0,5 \cdot h_i \cdot M_u}{I_{ef}}$$

Vérification de la traction et flexion combinée des couches de bois :

$$\frac{\sigma_{t,0,d}^i + \sigma_{m,0,d}^i}{f_{m,0,d}} \leq 1$$

Vérification du cisaillement roulant :

$$\tau_{v,d} = \frac{V_u \cdot \gamma_i \cdot S_i}{I_{ef} \cdot b} \leq f_{R,d}$$

Avec :

Moment statique d'un pli au sein d'un section rectangulaire :

$$S_i = b \cdot h_i \cdot x_i$$

- b : largeur du panneau (mm)
- hi : épaisseur du pli (mm)
- xi : abscisse du barycentre du pli à l'axe de symétrie du panneau (mm)

Avec la valeur caractéristique de résistance au cisaillement roulant de 1,1 N/mm² pour les compositions de panneaux HEXAPLI avec des plis ayant un rapport entre largeur et épaisseur supérieure ou égale à 4 et 0,7 N/mm² pour les compositions de panneaux avec des plis ayant un rapport entre largeur et épaisseur inférieure à 4 conformément à la norme NF EN 16351. Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des surcharges pour ne pas mobiliser de manière importante les cisaillements entre panneaux adjacents. Les détails de jonctions entre panneaux sont indiqués dans les dispositions constructives 5 annexées au Dossier Technique établi par le Demandeur.

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon les principes énoncés dans le §2.13.2 du Dossier Technique Etabli par le Demandeur.

1.4.4. Vérifications à l'ELU final

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient $\psi_2 \cdot k_{def}$ approprié, puis être additionnée aux autres pour les vérifications.

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$$

$$G_{R,mean,fin} = \frac{G_{R,mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$$

- Avec GR,mean le module de cisaillement roulant moyen est pris égal à 50 MPa
- Avec $\psi_2 = 1$ pour les charges permanentes.

1.4.5. Vérifications ELS

1.4.5.1. Caractéristiques mécaniques Instantané (charge à court terme - instantanées)

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée au §1.3.

1.4.5.2. Caractéristiques mécaniques Final (charge à long terme - permanentes)

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient k_{def} approprié, puis être additionnée aux autres pour les vérifications.

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{o,mean}}{1 + k_{def}}$$

$$G_{R,mean,fin} = \frac{G_{R,mean}}{1 + k_{def}}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + k_{def}}$$

avec G_{mean} le module de cisaillement moyen du panneau HEXAPLI pris égal à 50 MPa.

1.4.5.3. Vérifications de flèche

Les vérifications des flèches doivent être menées en considérant d'une part la flèche générée par le moment fléchissant en considérant la rigidité efficace du panneau HEXAPLI et d'autre part la flèche générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du panneau HEXAPLI.

1.4.5.4. Vérifications flèche totale – absolue

La flèche finale ne pourra excéder $L/250$ où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux HEXAPLI.

1.4.5.5. Vérifications flèche instantanée

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder $L/300$ où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux HEXAPLI.

1.4.5.6. Vérifications flèche active (hors toitures-terrasses)

En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 ou son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des éléments HEXAPLI, les valeurs suivantes :

Pour les planchers, la flèche active, pouvant nuire aux revêtements de sols rigides, ne doit pas dépasser :

- Soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
- Soit $L/500$ de la portée si celle-ci est \leq à 7,0m ; $0,7 \text{ cm} + L/1\ 000$ de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m.

Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limitée, par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- Soit $L/350$ de la portée si celle-ci est \leq 7,00 m ;
- Soit $1 \text{ cm} + L/700$ de la portée si celle-ci est supérieure à 7,00 m.

On appelle flèche active la part des déformations du plancher risquant de provoquer des désordres dans un ouvrage considéré généralement supporté (par exemple : cloison, carrelage, ...). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné.

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux HEXAPLI.

1.5. Dimensionnement des murs

1.5.1. Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul de l'élançement du panneau HEXAPLI est effectué en considérant d'une part la longueur de flambement calculée de manière usuelle en fonction des conditions d'appuis (considérées comme des articulations), d'autre part le rayon de giration dont le calcul est donné dans §2.14.2 du Dossier Technique établi par le Demandeur. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, la charge verticale est considérée comme excentrée. Cet excentrement sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : $1/6$ de l'épaisseur du panneau ou l'excentricité réelle.

Lorsque les panneaux HEXAPLI utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions (cf. §2.14.4.2 du Dossier Technique établi par le Demandeur).

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique. Il convient de se reporter au §2.14.4 du Dossier Technique établi par le Demandeur pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

1.5.2. Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales

Lorsque des panneaux HEXAPLI sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

- Soit de les considérer comme une succession de panneaux isolés les uns des autres. Il est alors nécessaire de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme libres en tête et encastrés en pied. Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m. Il est également nécessaire de s'assurer de la présence d'une lisse haute transmettant l'effort horizontal et de justifier la transmission de l'effort aux panneaux par cette lisse et en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort ;
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux. Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part.

Lorsque des panneaux HEXAPLI munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il doit être vérifié que la « membrure » supérieure du panneau est capable de transmettre l'effort horizontal en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort.

La capacité résistante au cisaillement des panneaux doit être justifiée lorsque ceux-ci sont soumis à des charges horizontales. La vérification consiste à s'assurer que les trois modes de ruptures potentiels ne sont pas atteints à l'ELU:

$$\tau_{1,d} = \frac{V_d}{b \cdot t} \leq f_{v,1,d} (N/mm^2) \text{ avec } f_{v,1,k} = 3,5 N/mm^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{V_d}{b \cdot t_{\min v,2,d}} \text{ avec } f_{v,2,k} = 5,0 N/mm^2$$

$$\tau_{3,d} = \frac{V_d \cdot h \cdot a}{\sum I_p} \leq f_{v,3,d} (N/mm^2) \text{ avec } f_{v,3,k} = 2,5 N/mm^2$$

Avec :

- b la largeur du panneau (mm)
- t l'épaisseur du panneau (mm)
- Vd effort tranchant agissant sur le panneau (N)
- t_{min} somme des épaisseurs des plis transversaux ou des plis longitudinaux, la plus petite des deux valeurs étant à retenir (mm)
- a largeur d'une planche (mm)
- I_p moment d'inertie polaire des sections croisées (mm⁴)
- h hauteur du panneau perpendiculaire à l'effort agissant horizontal (mm)

Les ancrages, reprenant les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales, sont dimensionnés pour ne reprendre que ces efforts. L'effort tranchant à la base des éléments porteurs verticaux est alors équilibré par des connecteurs dédiés à cet usage et n'intervenant pas dans l'équilibrage des efforts de soulèvement.

2. Dossier Technique

Issu du dossier établi par le titulaire

2.1. Données commerciales

2.1.1. Coordonnées

Titulaire :

Société PIVETEAU BOIS

La Vallée – BP 7 – Sainte Florence

FR-85140 Essarts-en-Bocage

Tél. : +33 2 51 66 01 88

Email : commercial@piveteau.com

Internet : www.piveteaubois.com.

2.2. Description

Les panneaux HEXAPLI sont des panneaux structurels de grandes dimensions - panneaux lamellés croisés ou CLT - constitués de lamelles en bois massif ou en bois massifs aboutées empilées en alternance de couches majoritairement croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface.

2.3. Domaine d'emploi

Le procédé HEXAPLI vise les utilisations dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1^{ère} à la 4^{ème} famille, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après.

Les limitations du domaine d'emploi résultent du respect de la réglementation en vigueur applicable aux bâtiments, notamment vis-à-vis du Règlement de Sécurité pour la Construction.

Les panneaux structuraux HEXAPLI sont destinés à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 et en classes d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

Les utilisations en France européenne, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, sont visées.

Les éléments de levage ne sont pas visés par cet Avis Technique.

La mise en œuvre d'un système d'isolant thermique extérieure par enduit sur isolant sur les panneaux HEXAPLI doit faire l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois dans les limitations d'usage de celui-ci.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est à dire ceux pour lesquels $W/n > 5g/m^3$, avec :

- W = quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur du local par heure ;
- n = taux horaire de renouvellement d'air.

Pour la réalisation des planchers, le procédé est limité à la reprise de charges à caractère statique ou quasi-statique pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3, et D1, H et I au sens de la norme NF EN 1991-1-1.

La conception des assemblages devra être effectuée suivant les prescriptions du paragraphe 1.2.3.1.5 de la partie Avis.

Il est exclu la reprise des cloisons maçonnées ou fragiles. Les revêtements fragiles doivent être mis en place en pose désolidarisée.

Les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent document.

Les ouvrages enterrés en panneaux HEXAPLI sont exclus du domaine d'emploi.

Les entures de grandes dimensions n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent document.

L'utilisation des panneaux HEXAPLI en plancher sur vide sanitaire est à exclure des zones infestées par les termites en l'absence de procédé de barrière anti-termite sous Avis Technique visant les planchers bois en vide-sanitaire.

2.4. Composition des panneaux

2.4.1. Composition des lamelles

Les panneaux HEXAPLI sont exclusivement composés de lamelles de bois (les panneaux à base de bois ne sont pas utilisés).

Les essences de bois utilisées pour la réalisation des lamelles constituant les panneaux HEXAPLI sont le Pin, le Douglas et l'Epicéa.

L'utilisation de bois recyclé n'est pas permise.

Les bois sont classés mécaniquement selon la norme NF EN 14081 et leur classe de résistance est déclarée selon la norme NF EN 338.

Des essais mécaniques ainsi que l'interprétation des résultats ont été réalisés par le FCBA sur des panneaux CLT HEXAPLI ainsi que sur des lamelles conformément à EN 16351. Des modules d'élasticité supérieurs à ceux retenus par EN338 ont été trouvés pour le Pin et pour le Douglas. Ainsi des valeurs de module d'élasticité supérieures sont déclarées pour le Pin ($E_{mean}=12000N/mm^2$)

et le Douglas ($E_{\text{mean}}=13000\text{N/mm}^2$) de classes de résistances égales à C24. Les modules d'élasticité retenus pour les planches de classe C18 ainsi que ceux pour l'Épicéa C24 sont ceux de la norme NF EN 338.

Les lamelles rabotées sont d'épaisseurs 20, 30 et 40 mm.

La largeur des lamelles rabotées est comprise entre 95 et 300 mm.

Les lamelles peuvent être rainurées pour réduire le tuilage et la fissuration. La profondeur maximale des rainures est de 90% de l'épaisseur et la largeur maximale est de 4mm. Les distances entre les rainures contiguës dans les lamelles et la distance entre les rainures et les chants des lamelles sont supérieures ou égales à 40 mm.

2.4.2. Composition des plis

Les plis sont constitués de planches en bois massif abouté dans le sens parallèle à leur fil selon la norme NF EN 16351, sauf lorsque la longueur de la planche correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci.

Les panneaux HEXAPLI intègrent des lamelles de classements mécaniques C18, C24. La gamme est constituée de lamelles C24 pour les lamelles orientées dans le sens des plis extérieurs du panneau et de lamelles C18 ou C24 pour les lamelles orientées perpendiculairement au sens des plis extérieurs du panneau. Toutes les planches d'un même pli appartiennent à la même classe de résistance. Les plis au sein d'un même panneau pouvant être de classements mécaniques différents, les propriétés mécaniques des lamelles sont considérées en fonction de leur orientation.

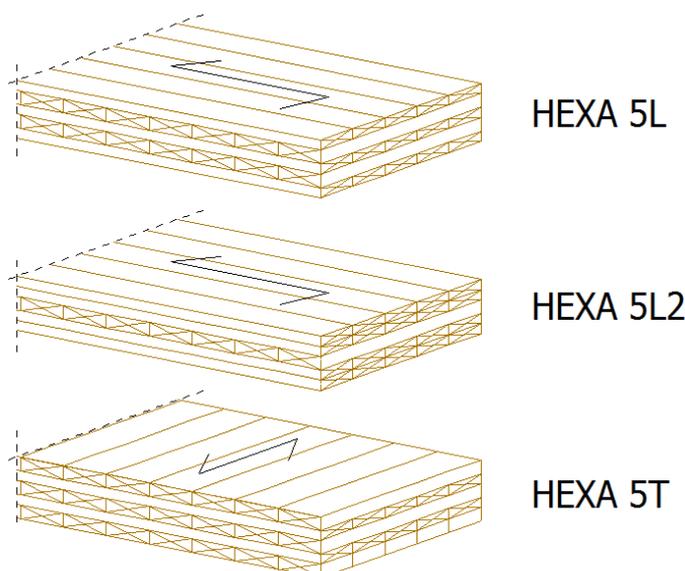
Les panneaux sont constitués de 3 à 9 plis de lamelles croisées à 90°. La configuration des plis (et couches) du panneau est symétrique (géométriquement et mécaniquement) par rapport au pli central. Les plis (ou couches) extérieurs des deux faces opposées des panneaux sont orientés dans la même direction.

Sur les panneaux T, les plis transversaux sont placés à l'extérieur.

Sur les panneaux L, les plis longitudinaux sont placés à l'extérieur.

Des configurations de panneaux L2 sont produites avec des couches contiguës collées parallèlement au fil. Ces configurations sont disponibles pour les panneaux 5, 7 et 8 plis. Conformément à la norme NF EN 16351, l'épaisseur de ces couches contiguës ne dépasse pas 90 mm.

Figure 1 – Exemples de configurations L, L2 et T pour des panneaux HEXAPLI 5 plis



Les dimensions des panneaux sont :

- Largeur maximale : 3,50 m ;
- Longueur maximale : 16,00 m ;
- Epaisseur : 60 à 360 mm.

Les lamelles ne sont pas collées sur chants par un collage structural, un collage non structural des chants peut être effectué.

2.4.3. Adhésifs utilisés

Les adhésifs utilisés pour la fabrication, aboutages et lamellation, sont des adhésifs polyuréthanes (PUR) mono composants de type I selon la norme NF EN 15425. Ils appartiennent tous à la gamme HBS de la société PURBOND. Ils ne contiennent ni solvant, ni formaldéhyde.

Pour l'aboutage :

- Purbond HB S 109 (Certificats FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/274, FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/275, FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/276 du 25/05/09) ;
- Purbond HB S 049 (Certificats FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/274, FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/275, FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/276 du 25/05/09).

Pour la lamellation :

- Purbond HB S 109 (Certificats FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/274, FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/275, FCBA n°LBO/GL/MP/403/09/276 du 25/05/09).

2.4.4. Plis de parements

Les panneaux HEXAPLI en Pin peuvent recevoir des plis de parement afin de modifier l'aspect visuel des panneaux conformément aux dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §1.8.5. Ainsi, un ou les deux plis extérieurs des panneaux sont réalisés en Epicéa en lieu et place du Pin. Les lamelles utilisées pour la production de ces panneaux sont conformes au §2.4.1, toutefois les modules d'élasticité des lamelles en Pin mises en œuvre dans ces panneaux sont ceux de l'EN338 afin de conserver la symétrie mécanique des panneaux.

2.5. Fabrication

Les panneaux HEXAPLI sont exclusivement produits par Piveteau Bois sur le site de Sainte-Florence conformément à la norme NF EN 16351 :

- L'humidité des bois est contrôlée ;
- Les planches sont classées mécaniquement conformément à EN 14081 ;
- En fonction de leur longueur et des dimensions des panneaux, les planches peuvent être aboutées selon la norme NF EN 16351 (La longueur des planches correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci. Les planches de longueur plus courte sont donc obligatoirement aboutées) ;
- Rabotage des lamelles et mise à longueur des lamelles en fonction des dimensions des panneaux ;
- Composition du panneau et encollage. Plusieurs panneaux peuvent être fabriqués simultanément, un film plastique est alors intercalé entre les différents panneaux ;
- Mise en presse hydraulique. Un pressage latéral est effectué pour supprimer les jeux entre lamelles. Le pressage vertical est ensuite effectué, la pression appliquée est supérieure ou égale à 6 bars. Le temps de presse est établi conformément à la fiche technique du fabricant d'adhésif ;
- Après stabilisation, les panneaux sont détourés, taillés et éventuellement poncés.

2.6. Contrôles de fabrication

2.6.1. Contrôles internes

La constance des performances est assurée grâce à un contrôle de production en usine mis en place conformément à la norme NF EN 16351.

Ce contrôle de production fait l'objet du manuel qualité « MQCLT ». Les paramètres ci-dessous font l'objet de contrôles avec enregistrements :

- Essences, dimensions, classes de résistances et humidité des lamelles ;
- Résistance à la flexion des aboutages et contrôle des modules d'élasticité ;
- Combinaison du panneau HEXAPLI (composition et orientation des plis) ;
- Date et numéro de production ;
- Heure de début et de fin de l'application de l'adhésif ;
- Heure de début et de fin du serrage, pression de serrage ;
- Résistance du collage par essais de délamination ;
- Contrôles dimensionnels sur les panneaux ;
- Marquage du panneau.

L'humidité relative de l'air, la température durant toutes les phases de collage et de stabilisation du produit sont contrôlées et enregistrées.

Les essais de contrôle de production en usine requis par NF EN 16351 sont effectués :

- Enregistrement en continu des conditions climatiques atelier ;
- Contrôle d'humidité individuel sur les lamelles ;
- Résistance à la flexion des aboutages (2 échantillons par poste au minimum) ;
- Résistance du collage par essais de délamination (2 échantillons par poste au minimum) ;
- Vérification des données géométriques à chaque changement de combinaison.

La procédure de traitement des non-conformités est documentée. Les non-conformités font l'objet d'une identification, elles sont enregistrées et font l'objet d'une mise en place d'actions correctives.

Les enregistrements sont conservés pendant au moins 10 ans.

2.6.2. Contrôles externes

La supervision du contrôle interne est effectuée par le FCBA qui audite le site de production deux fois par an.

2.7. Identification du produit

2.7.1. Identification

L'essence composant le panneau HEXAPLI est repérée par un code de lettres, PIN pour le Pin, DG pour le Douglas et EP pour l'Epicéa.

La gamme HEXAPLI est constituée de lamelles C24 pour les lamelles orientées dans le sens des plis extérieurs du panneau (sens x) et de lamelles C18 ou C24 pour les lamelles orientées perpendiculairement au sens des plis extérieurs du panneau (sens y). Les panneaux HEXAPLI (x:C24/y:C18) portent l'indice HEXA1, et les panneaux (x:C24/y:C24) portent l'indice HEXA2.

Ainsi à titre d'exemple un panneau HEXA1 PIN sera constitué de pin, de lamelles C24 pour les lamelles orientées dans le sens des plis extérieurs du panneau et de lamelles C18 pour les lamelles orientées perpendiculairement au sens des plis extérieurs du panneau.

2.7.2. Marquage

Les panneaux HEXAPLI font l'objet d'un marquage en sortie de production, ce marquage comporte notamment :

- Nom et adresse du site de production ;
- Identification et composition des panneaux (sections, essences, épaisseurs et nombres de plis, orientations et classements mécaniques des plis) ;
- Identification du produit pour assurer sa traçabilité.

2.8. Propriétés des panneaux HEXAPLI

2.8.1. Propriétés mécaniques des panneaux HEXAPLI

Les propriétés mécaniques des panneaux HEXAPLI sont déclarées conformément à la norme NF EN 16351 par détermination et déclaration des données géométriques et des propriétés pertinentes des couches.

Les propriétés mécaniques des couches sont données dans le *Tableau 1* disponible en annexe.

2.8.1.1. Coefficient partiel sur les matériaux γ_M

Les coefficients partiels de sécurité sont :

- $\gamma_M = 1,25$ pour les panneaux HEXAPLI ;
- $\gamma_M = 1$ pour les vérifications accidentelles.

2.8.1.2. Coefficient modificatif k_{mod}

Le dimensionnement est réalisé en appliquant le facteur de modification de résistance k_{mod} , fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les valeurs de k_{mod} retenues sont celles du bois massif données dans la norme NF EN 1995-1-1 – tableau 3.1.

Matériau	Classe de service	Classe de durée de chargement				
		Action permanente	Action long terme	Action moyen terme	Action court terme	Action instantanée
Bois massif	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
	2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1

2.8.1.3. Coefficient de déformation k_{def}

Les valeurs retenues pour k_{def} sont celles définies pour le contreplaqué dans la norme NF EN 1995-1-1.

Matériau	Classe de service	
	1	2
CLT	0,80	1,00

2.8.2. Autres caractéristiques physiques des panneaux

2.8.2.1. Masse volumique

La masse volumique caractéristique d'un panneau HEXAPLI est prise égale à $\rho_k = 1,1 \cdot \rho_{lay,k}$, où $\rho_{lay,k}$ est la masse volumique caractéristique de la classe de bois déclarée la plus faible d'une couche de bois du panneau HEXAPLI.

La masse volumique moyenne d'un panneau HEXAPLI est prise égale à $\rho_{mean} = \rho_{lay,mean}$, où $\rho_{lay,mean}$ est la masse volumique moyenne de la classe de bois déclarée la plus faible d'une couche de bois du panneau HEXAPLI.

2.8.2.2. Propriétés dimensionnelles

2.8.2.2.1. Dimensions corrigées

Les dimensions des panneaux HEXAPLI varient en fonction des variations d'humidité. Si l'humidité des panneaux diffère de l'humidité de référence (entre 6 et 15%) les dimensions corrigées doivent être déterminées.

Les variations dimensionnelles du panneau dans son plan sont très faibles du fait de la présence de planches disposées longitudinalement : elles sont de 0,02% pour 1% de variation d'humidité du bois.

Les variations dimensionnelles du panneau dans son épaisseur sont de 0,24% pour 1% de variation d'humidité du bois.

La dimension corrigée du panneau peut être calculée à partir de la dimension réelle :

$$a_{cor} = a_a (1 + k_{cor,a} (u_{réf} - u_a))$$

Où :

- a_{cor} est la dimension corrigée en mm ;
- a_a est la dimension réelle en mm ;

- $k_{cor,a}$ est le coefficient de rétractabilité perpendiculaire au fil pour une modification de la teneur en humidité comprise entre 6 et 25 % (inclus) ;
- $u_{réf}$ = 12 % est la teneur en humidité de référence en % ;
- u_a est la teneur réelle en humidité, mesurée conformément à l'Annexe G de la norme NF EN 16351, en %.
- Le facteur de rétractabilité pour des déformations induites par l'humidité est pris égal à :
- $k_{cor,90}$ = 0,0024 pour les déformations perpendiculaires au plan ;
- $k_{cor,0}$ = 0,0002 pour les déformations dans le plan.

2.8.2.2.2. Tolérances dimensionnelles

L'épaisseur corrigée de la section transversale \leq max (épaisseur nominale \pm 2 mm ou 2 % de l'épaisseur nominale).

La largeur des jeux entre lamelles est contrôlée, elle est inférieure ou égale à 6mm.

Dans le cas où le panneau HEXAPLI est usiné en usine et destiné à une utilisation directe sur chantier, ce sont les tolérances dimensionnelles et de planéité du DTU 31.2 P1-1 qui s'appliquent, elles sont alors de :

- Tolérances dimensionnelles :
 - Largeur : \pm 3 mm sur la cote nominale ;
 - Longueur : \pm 1 mm/m sur la cote nominale avec une limite à \pm 5 mm ;
 - Rectitude des bords \leq 1 mm/m ;
 - Faux équerrage : \leq 1 mm/m avec une limite à 8mm.
- Tolérances de planéité :
 - Lorsque l'on pose une règle de 2 m sur un endroit quelconque d'un panneau HEXAPLI, cet élément doit présenter une flèche inférieure ou égale à 5 mm.

2.8.2.3. Capacité calorifique massique

La capacité calorifique massique des panneaux HEXAPLI est de $C_p = 1,60$ kJ/kg.K.

2.8.2.4. Coefficient de conductivité thermique

Les panneaux HEXAPLI ont un coefficient de conductivité thermique $\lambda = 0,13$ W/m.K.

2.8.2.5. Facteur de résistance à la vapeur d'eau

Le facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau est $\mu = 50$ (sec) et $\mu = 20$ (humide) conformément aux règles Th U fascicule 2 pour les résineux légers de masse volumique moyenne.

2.8.2.6. Affaiblissement acoustique R_w

Les valeurs d'affaiblissement acoustique au bruit aérien R_w des panneaux HEXAPLI ont été calculées selon la norme NF EN 12354-1 :

Panneau	R_w (dB)
HEXAPLI 100	36 dB
HEXAPLI 120	38 dB
HEXAPLI 140	40 dB
HEXAPLI 160	41 dB
HEXAPLI 180	42 dB
HEXAPLI 200	43 dB
HEXAPLI 220	44 dB
HEXAPLI 240	45 dB
HEXAPLI 260	45 dB

Des exemples de compositions de parois permettant de satisfaire aux exigences réglementaires sont données au §2.17.

2.8.3. Conditions d'usage – classe de service, durabilité, traitement

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.2 « Conditions d'usage (cl. de service, durabilité, traitement) » s'appliquent.

Dans les cas où un traitement de préservation est nécessaire, celui-ci doit être réalisé après façonnage des panneaux HEXAPLI et après les éventuelles découpes réalisées sur les panneaux. Ce traitement est effectué par PIVETEAU BOIS ou par le titulaire du lot charpente conformément aux dispositions du §2.2 du Cahier 3802_P2 du CSTB.

Pour les panneaux HEXAPLI utilisés hors zones termitées, seuls les panneaux en Douglas peuvent être utilisés sans traitement de préservation complémentaire avec une proportion maximale d'auléâtre n'excédant pas 10 % (NF DTU 31-2). Cependant, un contrôle renforcé en phase chantier devra être réalisé par la maîtrise d'œuvre, afin de vérifier que les zones d'assemblages sont bien réalisées dans des zones qui ne sont pas constituées qu'avec de l'auléâtre. Dans le cas contraire, le risque doit être évalué et si besoin, le bois devra être traité ou les assemblages devront être surdimensionnés.

2.8.4. Utilisation des panneaux HEXAPLI en vide sanitaire

Hors zones infestées par les termites, il est nécessaire de se référer au DTU 51.3 pour l'utilisation des panneaux HEXAPLI en plancher sur vide sanitaire.

L'utilisation des panneaux HEXAPLI en plancher sur vide sanitaire est à exclure des zones infestées par les termites en l'absence de procédé de barrière anti-termite sous Avis Technique visant les planchers bois en vide-sanitaire.

2.9. Jonctions des panneaux HEXAPLI

2.9.1. Introduction

Les jonctions entre panneaux HEXAPLI font notamment entrer dans leur fonctionnement structural les composants suivants :

- Éléments de fixation de type tige (clous, vis, agrafes) et chevilles mécaniques ;
- Connecteurs métalliques plats ou tridimensionnels pour certains assemblages porteurs ;
- Panneaux à base de bois à usage structural utilisés pour la réalisation de liaisons entre panneaux HEXAPLI notamment.

Ces composants relèvent d'exigences ou de spécifications décrites ci-dessous.

2.9.2. Dispositions spécifiques aux composants métalliques

2.9.2.1. Compatibilité des organes métalliques

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3.1 « Compatibilité des organes métalliques » s'appliquent.

Compte tenu de son acidité naturelle, le Douglas ne doit pas être mis directement au contact de zinc, d'aluminium, de plomb et de certaines qualités d'inox (NF DTU 31-2 P1-2 – Mai 2019). Il ne présente aucun risque au contact de l'acier, de l'acier galvanisé, de l'acier peint et du cuivre.

2.9.2.2. Organes de fixation de type tige

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3.2 « Organes de fixation pour assemblages structuraux » s'appliquent.

2.9.2.3. Connecteurs métalliques tridimensionnels

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3.3 « Connecteurs métalliques tridimensionnels » s'appliquent.

2.10. Autres composants à base de bois à usage structural

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3.4 « Autres panneaux à base de bois à usage structural » s'appliquent.

2.11. Dispositions constructives

2.11.1.1. Généralités

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.1 « Généralités » s'appliquent.

2.11.1.2. Appuis des panneaux HEXAPLI

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.2 « Appuis des panneaux structuraux massifs bois » s'appliquent.

2.11.1.3. Longueur minimale d'appui

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.2.1 « Longueur minimale d'appui » s'appliquent.

2.11.1.4. Appui sur support bois

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.2.2 « Appui sur support bois » s'appliquent.

2.11.1.5. Appui sur support métallique

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.2.3 « Appui sur support métallique » s'appliquent.

2.11.1.6. Appui sur support béton

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.2.4 « Appui sur support béton » s'appliquent.

2.11.1.7. Calage des éléments

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.2.5 « Calage des éléments » s'appliquent.

2.11.1.8. Traitement des joints de dilatation

Un calfeutrement est réalisé sur toute la profondeur du joint de dilatation avec une couche de laine de roche souple à minima A2-s3,d0 et de masse volumique déclarée supérieure ou égale à 40 kg/m³. La laine de roche est compressée à 25 % de son épaisseur nominale à minima pour tenir compte des variations dimensionnelles de la structure.

2.11.2. Assemblage des panneaux HEXAPLI entre eux

2.11.2.1. Assemblage dans un même plan

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.3 « Assemblage des panneaux entre eux dans un même plan » s'appliquent.

2.11.2.2. Assemblage en angle

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.4 « Assemblage des panneaux en angle » s'appliquent.

2.12. Dimensionnement – principes généraux

2.12.1. Principe de dimensionnement

Le dimensionnement des panneaux HEXAPLI s'effectue selon la norme NF EN 1995-1-1 et son annexe nationale en tenant compte des dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB.

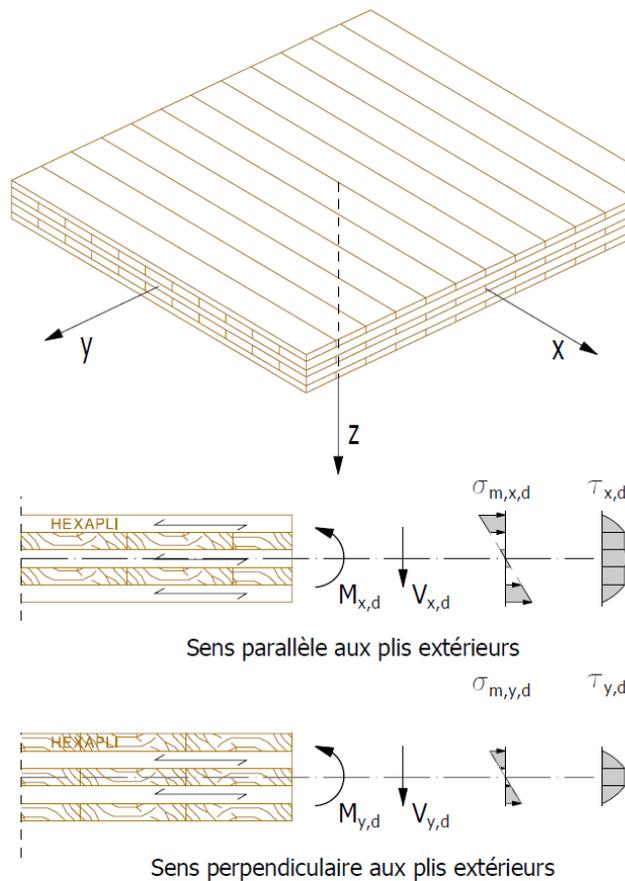
Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.1 « Principe » s'appliquent.

Une liste des bureaux d'études techniques disposant de l'expertise requise pour le dimensionnement des panneaux HEXAPLI est disponible sur demande sur le site de la société PIVETEAU BOIS. De plus, PIVETEAU BOIS met à disposition de ses clients un outil de pré dimensionnement afin de vérifier en phase définitive les éléments porteurs verticaux et horizontaux.

Les caractéristiques mécaniques et vérifications décrites dans le document sont identiques à celles décrites dans le Cahier 3802_P2 du CSTB et établies selon la convention suivante :

- Indice x = orientation des plis extérieurs des panneaux ;
- Indice y = orientation des plis perpendiculaires aux plis extérieurs des panneaux ;
- Indice z = orientation perpendiculaire aux plis du panneau (hors plan).

Figure 2 : Définition des directions porteuses sous sollicitations hors plan

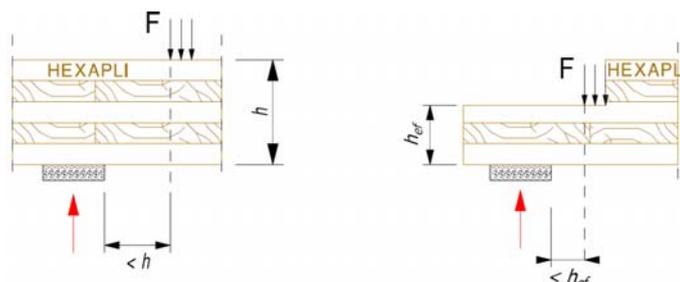


2.12.2. Charges

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.3 « Charges » s'appliquent.

2.12.3. Contribution à l'effort tranchant au niveau de l'appui

Conformément à EN 1995-1-1 (6.1.7(3)) la contribution à l'effort tranchant total d'une charge concentrée F agissant sur la face supérieure d'un panneau HEXAPLI et à une distance h ou h_{ef} à partir de l'extrémité de l'appui peut être négligée (voir Figure 3). Pour les panneaux dotés d'une entaille au niveau de l'appui, cette réduction de l'effort tranchant s'applique seulement lorsque l'entaille est du côté opposé à l'appui.

Figure 3 : Panneau avec entaille du côté opposé à l'appui

2.12.4. Facteur d'effet système k_{sys}

Il n'est pas pris en compte de coefficient d'effet système k_{sys} pour la détermination des propriétés mécaniques des panneaux HEXAPLI dans le présent avis technique.

2.12.5. Facteur correctif de la résistance au cisaillement du bois k_{cr}

Conformément au Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.6 « Facteur de correction de la résistance au cisaillement du bois k_{cr} » ; le coefficient k_{cr} est pris égal à 1 pour les panneaux HEXAPLI.

2.12.6. Configurations de chargement

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.7 « Configurations de chargement » s'appliquent.

2.12.7. Vérification à l'ELU final

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.9 « Vérifications à l'ELU final » s'appliquent pour la détermination de $E_{r,mean,fin}$; $G_{r,mean,fin}$ et $G_{xy,mean,fin}$.

2.12.8. ELS

2.12.8.1. Vérification ELS instantané

La vérification s'effectue en utilisant la rigidité efficace déterminée au paragraphe §2.12.9.1.

2.12.8.2. Vérification ELS final

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.10.2 « Caractéristiques mécaniques ELS Final (charge à long terme – permanentes) » s'appliquent pour la détermination de $E_{mean,fin}$; $G_{r,mean,fin}$ et $G_{xy,mean,fin}$.

2.12.8.3. Vérifications de flèche

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.10.3 « Vérifications de flèche » s'appliquent.

2.12.8.4. Calcul des déformations

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.11 « Calcul des déformations » s'appliquent.

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.5.12 « Déformations cumulées » s'appliquent.

2.12.9. Fonctionnement en modèle poutre

2.12.9.1. Calcul de la rigidité efficace des panneaux HEXAPLI

La rigidité efficace des panneaux HEXAPLI est obtenue en utilisant la théorie des poutres composites en flexion (méthode des γ) de l'Annexe B de la norme NF EN 1995-1-1 et en tenant compte de la raideur de glissement de cisaillement des plis transversaux agissant comme liaison entre les plis longitudinaux. Il est d'usage de considérer une largeur de panneau de 1m.

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.6.1 « Calcul de la rigidité efficace des panneaux de type CLT » s'appliquent.

2.12.10. ELU

2.12.10.1. Vérification ELU instantanée

2.12.10.1.1. Contraintes normales et de flexion

La contrainte combinée maximale est vérifiée au point de la section le plus éloigné de l'axe neutre conformément aux dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.6.2.1 « Vérification des contraintes normales et de flexion ».

2.12.10.1.2. Cisaillement roulant

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.6.2.2 « Vérification du cisaillement roulant pour les panneaux de type CLT » s'appliquent.

La résistance en cisaillement roulant $f_{r,k}$ est prise à $0,7N/mm^2$ pour les lamelles d'éclatement (ratio $b/t_l =$ largeur/épaisseur) inférieur à quatre, $1,1N/mm^2$ pour les lamelles d'éclatement supérieur ou égal à quatre.

2.12.10.1.3. Flexion sur chant avec risque de déversement

La vérification en flexion sur chant avec risque de déversement s'effectue selon la norme NF EN 1995-1-1 (6.3.3). L'éclatement relatif en flexion autour de l'axe x s'écrit :

$$\lambda_{rel,m,x} = \sqrt{\frac{f_{m,edge,x,k}}{\sigma_{m,x,ap,crit}}}$$

Avec :

- $\sigma_{m,x,ap,crit} = \frac{M_{x,crit}}{W_{x,ap}}$
- $W_{x,ap} = \frac{h_{xlam}^2 \cdot t_{xlam}}{6}$
- $M_{x,crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \cdot \sqrt{(E_{0,05} \cdot I_{y,ap}) \cdot (G_{tor,0,05} \cdot \frac{l_{tor,ap}}{3})}$
- $E_{y,0,05} = 5/6 \cdot E_{y,mean}$
- $G_{tor,0,05} = 5/6 \cdot G_{tor,mean}$
- $l_{tor,ef} = \frac{l_{tor,ap}}{3} = \frac{t_{xlam} \cdot h_{xlam}}{9} \cdot (1 - 0,6 \cdot \frac{t_{xlam}}{h_{xlam}})$
- $I_{y,ap} = \frac{t_{xlam}^3 \cdot h_{xlam}}{12}$
- $\sigma_{m,x,ap,crit}$ la contrainte de flexion critique apparente ;
- $W_{x,ap}$ le module d'inertie apparent selon l'axe fort x ;
- $l_{tor,ef}$ le moment d'inertie efficace en torsion ;
- $I_{y,ap}$ le moment d'inertie apparent selon l'axe y ;
- $E_{0,05}$ la valeur à 5 % du module d'élasticité moyen équivalent E_{mean} ;
- $G_{0,05}$ la valeur à 5 % du module de cisaillement moyen équivalent G_{mean} ;
- l_{ef} la longueur efficace de la poutre ;
- t_{xlam} l'épaisseur du panneau HEXAPLI ;
- h_{xlam} la hauteur du panneau HEXAPLI.

2.12.11. Conception des assemblages

2.12.11.1. Principe

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.8.1 « Principe » s'appliquent.

2.12.11.2. Assemblages bois/métal

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.8.2 « Cas des assemblages métal bois » s'appliquent.

2.12.11.3. Ancrages

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.8.3 « Cas des ancrages » s'appliquent.

2.12.11.4. ELS

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.8.4 « Calcul aux ELS » s'appliquent.

2.13. Vérifications spécifiques aux planchers

2.13.1.1. Application des règles de calcul

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.1 « Application des règles de calcul » s'appliquent.

2.13.1.2. Charges

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.2 « Charges » s'appliquent.

2.13.2. Dimensionnement des panneaux HEXAPLI porteurs horizontaux

2.13.2.1. Généralités

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.1 « Généralités » s'appliquent.

2.13.2.2. Contraintes normales, de flexion et de cisaillement

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.2 « Vérifications aux ELU des contraintes normales, de flexion et de cisaillement » s'appliquent.

En cas d'entaille au niveau de l'appui, les dispositions du paragraphe 2.13.2.5 s'appliquent pour la vérification en cisaillement.

2.13.2.3. Compression transversale

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.3 « Vérification aux ELU de la compression transversale » s'appliquent.

2.13.2.4. Cisaillement roulant sous charge concentrée

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.4 « Vérification du cisaillement roulant sous charge concentrée » s'appliquent.

2.13.2.5. Cisaillement d'un panneau HEXAPLI entaillé à l'appui

Pour les éléments HEXAPLI entaillés au niveau des appuis, il convient de calculer la contrainte de cisaillement au niveau de l'appui entaillé en utilisant la hauteur efficace réduite h_{ef} (prenant en compte l'orientation des plis à l'appui) et en tenant compte des prescriptions ci-dessous. La résistance au cisaillement $f_{v,d}$ sera minorée par le coefficient k_v , conformément à EN 1995-1-1 (6.5.2).

On vérifie :

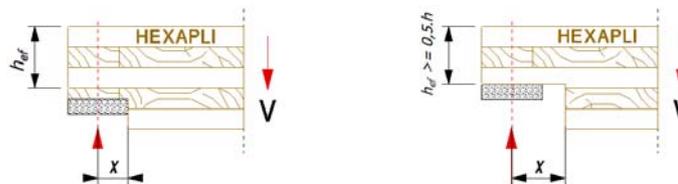
$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{r,d} \quad (1)$$

Pour les éléments HEXAPLI entaillés sur la face opposée à l'appui, $k_v = 1$.

Sinon :

$$k_v = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right.$$

Figure 4 : Panneau avec entaille du côté de l'appui



Avec :

- h est la hauteur de l'élément HEXAPLI en mm ;
- x est la distance entre la ligne d'action de la réaction de l'effort et le coin de l'entaille, en mm (voir Figure 4 : Panneau avec entaille du côté de l'appui) ;
- $\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$;
- $k_n = 4,5$.

Si l'équation (1) n'est pas vérifiée, il est nécessaire de renforcer les zones tendues avec des vis dimensionnées pour reprendre l'effort de traction transversale au niveau de l'appui $F_{t,z,d}$ engendré par l'effort de cisaillement :

$$F_{t,z,d} = 1,3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3]$$

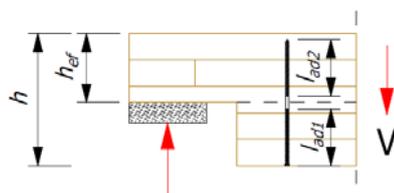
Les connecteurs de type tige utilisés vérifient les exigences du §2.9.2.2 et le paramètre d'arrachement $f_{ax,k}$ doit être précisé. Les connecteurs de type tige utilisables sont des vis entièrement filetées, des vis à double filetage, ou des tiges filetées. L'utilisation de vis sans filetage sous la tête est prohibée.

Les vis devront de plus vérifier les conditions suivantes :

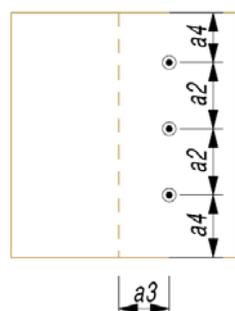
- Une résistance ultime à la traction de l'acier $f_{ub} \geq 600$ MPa et une résistance limite élastique de l'acier $f_{yb} \geq 480$ MPa ;
- La longueur des vis est adaptée à la configuration de l'entaille ($l_{ef} > 6d$).

Les conditions de pinces suivantes doivent être vérifiées :

Figure 5 : Conditions de pince pour un panneau entaillé à l'appui



a ₃	a ₂	a ₄
10d	5d	4d



La répartition des vis sur le rang doit être assurée, il convient de vérifier : $1 < a_2/a_4 < 5/4$.

Il convient de placer les vis au plus proche de l'entaille (au plus proche de la pince a_3).

Dimensionnement :

- La traction transversale d'anti-fendage ne peut être reprise que par le premier rang de vis. Il convient donc de n'utiliser que le premier rang de vis dans la vérification à l'arrachement de la partie fileté et dans la vérification en traction ;
- Le dimensionnement ci-dessous ne tient compte que de la traction transversale au niveau de l'entaille. En cas de combinaison d'efforts axiaux et latéraux, une étude particulière doit être réalisée ;
- Pour la vérification en arrachement, $F_{ax,k}$ est déterminée selon NF EN 1995-1-1 ou selon les données fabricant en retenant pour $l_{ef} = \min(l_{ad,1} ; l_{ad,2})$ avec $l_{ef} \geq 6d$.

2.13.3. Vérifications ELS

2.13.3.1. Vérification des flèches

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.5 « Vérifications aux ELS – Flèches » s'appliquent.

2.13.3.2. Vérification vibratoire

Cette vérification exclusive aux ouvrages de planchers est effectuée conformément au Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.6 « Vérifications aux ELS – Critère vibratoire ».

Concernant la souplesse, on considère le critère comme vérifié si :

$$W_{1kN} \leq W_{lim}$$

Avec :

- W_{1kN} (mm) Déformation du plancher sous charge unitaire d'1 kN ;
- W_{lim} Définie selon les classes I ou II du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.6.

2.13.3.3. Conception et dimensionnement des trémies

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7.1 « Principe » s'appliquent.

2.13.3.4. Réservations de faibles dimensions

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7.2 « Réservations de faibles dimensions » s'appliquent.

2.13.3.5. Vérification simplifiée des trémies

2.13.3.5.1. Réservations situées en bordure de panneau de plancher

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7.3 « Réservations situées en bordure de panneau de plancher - Principe de décomposition » s'appliquent.

2.13.3.5.2. Réservations intégralement comprises dans un même panneau de plancher

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7.4 « Réservations intégralement comprises dans un même panneau de plancher – Principe de report de charge » s'appliquent.

2.13.3.6. Modélisation avec des éléments finis

Afin de modéliser tout type de charge et de géométrie, l'utilisation d'un logiciel d'éléments finis est une autre méthode possible. Pour effectuer les vérifications réglementaires, il est nécessaire d'utiliser un logiciel permettant de prendre en compte le caractère orthotrope du CLT.

2.14. Vérifications spécifiques aux murs

2.14.1.1. Application des règles de calcul

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.1 « Application des règles de calcul » s'appliquent.

2.14.1.2. Charges

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.2 « Charges » s'appliquent.

2.14.2. Dimensionnement des panneaux HEXAPLI porteurs verticaux

2.14.2.1. Généralités

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.1 « Généralités » s'appliquent.

2.14.2.2. Charges perpendiculaires aux surfaces des panneaux HEXAPLI

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.2 « Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges perpendiculaires à la surface du panneau » s'appliquent.

2.14.2.3. Vérifications sous charges verticales

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.1 « Principes » s'appliquent.

2.14.2.3.1. Compression et flexion combinées

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.2 « Vérification des contraintes de compression et flexion combinées » s'appliquent.

2.14.2.3.2. Compression ou traction simple

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.3 « Vérification des contraintes de compression ou traction simple » s'appliquent.

2.14.2.3.3. Compression oblique

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.4 « Vérification des contraintes de compression oblique » s'appliquent.

2.14.2.3.4. Compression sous charge ponctuelle

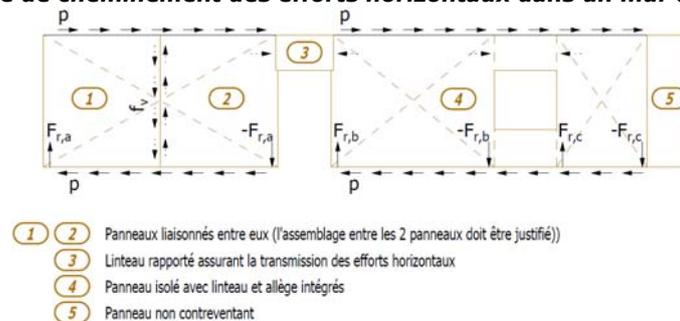
Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.5 « Vérification des contraintes sous charges verticales ponctuelles » s'appliquent.

2.14.2.4. Vérifications sous charges horizontales

2.14.2.4.1. Rôle de contreventement

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.4.1 « Principes » s'appliquent. Un exemple de cheminement des efforts est donné en Figure 6.

Figure 6 - Exemple de cheminement des efforts horizontaux dans un mur de contreventement



2.14.2.4.2. Cisaillement dans le plan

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.4.2 « Vérification de la résistance au cisaillement des panneaux CLT » s'appliquent.

2.14.2.4.3. Conception des ancrages en pieds

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.4.3 « Conception des ancrages en pied » s'appliquent.

2.14.2.4.4. Vérification des assemblages entre panneaux adjacents

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.4.4 « Vérification des assemblages entre panneaux adjacents » s'appliquent.

2.14.2.4.5. Efforts de traction-compression dus au renversement

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.4.5 « Efforts de traction-compression dus au renversement » s'appliquent.

2.14.3. Vérifications ELS

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.5 « Vérifications aux ELS – Flèches » s'appliquent.

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.6.3 « Vérifications à l'ELS du déplacement en tête de mur » s'appliquent.

Il convient d'utiliser la formule suivante pour le calcul de la déformation des ancrages $w_{H,A}$ du panneau sous l'effort de basculement qui dépend de la raideur des ancrages :

$$w_{H,A} = \frac{F_{d,horiz} H^2}{B^2 K_{ser,A}}$$

Où :

- $F_{d,horiz}$ l'effort de contreventement en tête de mur ;
- B la largeur du panneau ;
- H la hauteur du mur (du bâtiment) considéré.

2.14.4. Vérification des linteaux

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.6 « Vérifications des linteaux » s'appliquent.

2.14.4.1. Linteaux constitués de poutres rapportées

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.6.1 « Linteaux constitués de poutres rapportées » s'appliquent.

2.14.4.2. Linteaux intégrés dans les panneaux HEXAPLI

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.6.2 « Linteaux faisant partie intégrante du panneau » s'appliquent.

Dans le cas où un des poteaux n'est pas suffisamment large pour reprendre ces sollicitations (notamment le moment), on considère que le linteau est encastré d'un côté et appuyé de l'autre. C'est en général le cas en-dessous de 400mm.

2.14.5. Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.7 « Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur » s'appliquent.

2.15. Vérifications des ouvrages

2.15.1. Généralités

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.1 « Généralités » s'appliquent.

2.15.2. Contreventement global

2.15.2.1. Eléments porteurs horizontaux sous charges horizontale

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.2.1 « Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontale » s'appliquent.

Lorsque les panneaux de plancher HEXAPLI comportent des ouvertures, une justification spécifique doit être apportée afin de justifier de la raideur en plan du diaphragme.

Le diaphragme avec ouvertures est considéré comme rigide si lorsqu'il est modélisé avec sa flexibilité en plan effective, ses déplacements n'excèdent en aucun point les déplacements du diaphragme rigide de plus de 10 %. L'étude est alors effectuée selon la méthode décrite pour les diaphragmes pleins.

Dans le cas contraire, les zones avec ouvertures ne sont pas considérées dans le calcul du diaphragme, mais comme des zones opaques. Il est alors nécessaire de vérifier que ces zones et leurs jonctions permettent bien le transfert des efforts horizontaux.

2.15.2.2. Eléments porteurs verticaux sous charges horizontales

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.2.2 « Contribution au contreventement de la structure des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales » s'appliquent.

2.15.3. Sismique

2.15.3.1. Principes généraux

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.3.1.1 « Principes généraux » s'appliquent.

2.15.3.2. Comportement de structure faiblement dissipatif (DCL)

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.3.1.2 « Principe de dimensionnement en comportement de structure faiblement dissipatif (DCL) » s'appliquent.

2.15.3.3. Comportement de structure dissipatif (DCM)

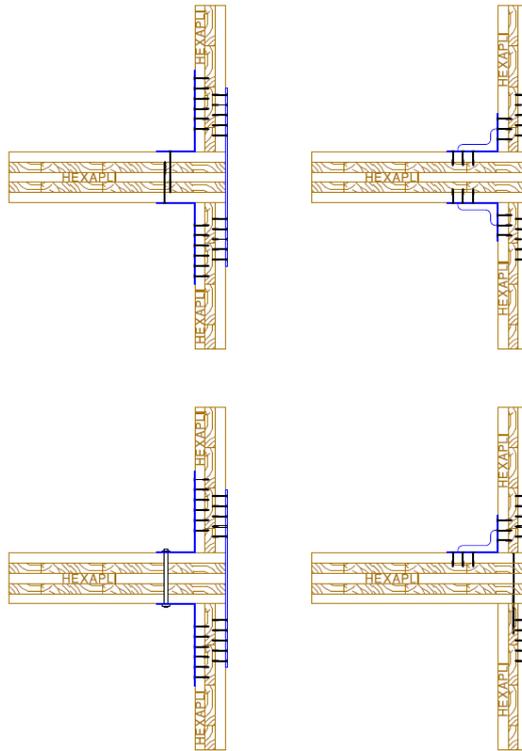
Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.3.1.3 « Principe de dimensionnement en comportement de structure dissipatif (DCM) » s'appliquent.

2.15.3.4. Exemples de solutions constructives

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.3.3 « Exemples de dispositions constructives » s'appliquent.

Des exemples de dispositions constructives sont proposés en Figure 7.

Figure 7 : Exemples de dispositions constructives assurant le transfert des efforts du niveau supérieur au niveau inférieur



2.16. Sécurité incendie

2.16.1. Résistance et réaction au feu

La résistance ainsi que la réaction au feu des panneaux HEXAPLI font l'objet de l'appréciation de laboratoire AL17-212_V2 réalisée par le CSTB.

2.16.1.1. Réaction au feu

La réaction au feu est exprimée selon les Euroclasses définies dans la norme NF EN 13501-1. Les panneaux HEXAPLI bénéficient d'un classement conventionnel D-s2, d0. Des produits bénéficiant de PV de classement en réaction au feu sur des supports bois et permettant d'améliorer la réaction au feu du panneau HEXAPLI peuvent être appliqués.

2.16.1.2. Résistance au feu

Il convient de se référer à l'appréciation de laboratoire AL17-212_V2.

2.16.2. Propagation du feu en façade

Il convient de se référer à l'appréciation de laboratoire AL17-212_V2.

2.17. Acoustique

2.17.1. Exigences

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.10.1 « Exigences » s'appliquent.

2.17.2. Evaluations par essais

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.10.2 « Evaluations par essais » s'appliquent.

2.17.3. Exemples de solutions

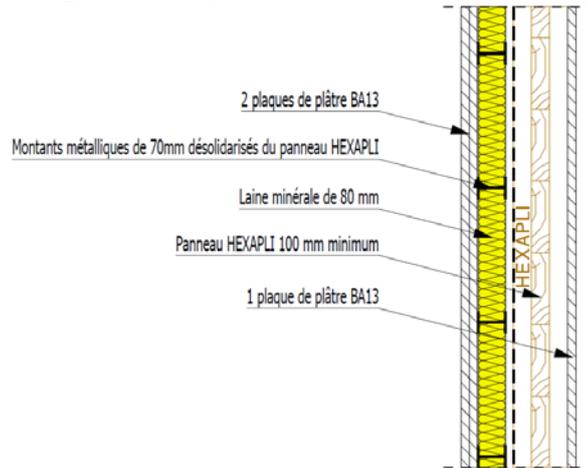
Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.10.3 « Exemples de solutions » s'appliquent.

Des exemples de solutions sont proposés ci-dessous :

Exemples de solutions acoustiques		
Parois intérieures	verticales	Doublage en plaques de plâtres sur tasseaux bois directement fixé au support ou sur ossature métallique avec matériau isolant.
Façade	Intérieur	Système de doublage similaire à celui d'une paroi
	Extérieur	Isolation thermique par l'extérieur
Planchers	Plancher	Revêtement de sol comprenant ou pas un système flottant (sec ou fluide) Ragréage gravier Chape béton désolidarisée
	Plafond	Plaques de plâtres suspendues avec matériau isolant
Mur/plancher	Murs filants	Les différents éléments sont vissés entre eux et la liaison est renforcée par des équerres d'assemblage. Des joints peuvent être utilisés entre les différents éléments.
	Planchers filants	

Des exemples de complexes ainsi que leurs performances issues de l'étude ACOUBOIS « Méthodes simplifiée et exemples de solutions acoustiques » V2.0 de juin 2014 sont donnés en en Figure 8, Figure 9 et Figure 10.

Figure 8 : Coupe verticale sur mur séparatif

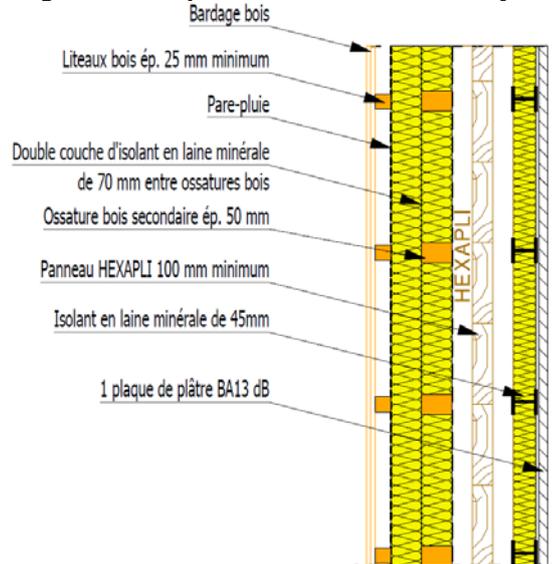


Coupe verticale sur mur séparatif

$$R_w(C;C_{tr}) = 62(-3;-10) \text{ dB}$$

$$R_w + C_{50-3150} = 51 \text{ dB}$$

Figure 9 : Coupe verticale sur mur de façade

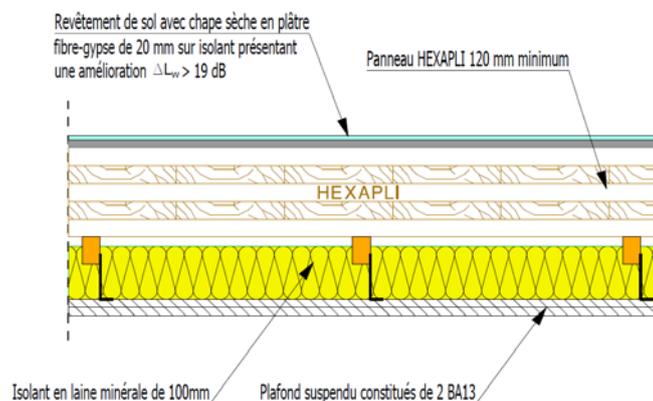


Coupe verticale sur mur de façade

$$R_w(C;C_{tr}) = 58(-7;-15) \text{ dB}$$

$$R_w + C_{tr50-3150} = 37 \text{ dB}$$

Figure 10 : Coupe horizontale sur plancher séparatif



Coupe horizontale sur plancher séparatif

$$R_w(C;C_{tr}) = 64(-3;-10) \text{ dB}$$

$$R_w + C_{50-3150} = 57 \text{ dB}$$

$$L_{n,w} = 51 \text{ dB}$$

2.18. Isolation thermique

2.18.1. Calcul des coefficients de transmission thermique surfacique des parois

Les panneaux HEXAPLI, peuvent nécessiter, selon leur emplacement dans l'ouvrage, la mise en œuvre d'une isolation thermique complémentaire. Les coefficients de transmissions thermiques des parois sont évalués comme ceci :

Coefficient de transmission thermique surfacique des parois HEXAPLI		
Parois verticales extérieures	Isolation extérieure	$U_p = \frac{1}{0,26 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \frac{\Psi_{chev}}{E_{chev}} + \frac{\chi_{patte}}{E_{patte} \times E_{chev}}$
	Isolation intérieure	$U_p = \frac{1}{0,26 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \frac{\Psi_{montant} L_{fract} \Psi_{fract}}{E_{montant} A_p}$
	Isolation mixte	$U_p = \frac{1}{0,26 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \frac{\Psi_{chev}}{E_{chev}} + \frac{\Psi_{montant} L_{fract} \Psi_{fract}}{E_{montant} A_p} + \frac{\chi_{patte}}{E_{patte} \times E_{chev}}$
Parois horizontales	Planchers bas sur vide sanitaire isolé sous chape	$U_p = \frac{1}{0,37 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}}$
	Planchers bas sur vide sanitaire isolé en sous face	$U_p = \frac{1}{0,37 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{L}\right) \Psi_j + n_f \chi_f$

Où :

- $R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$
- e_{CLT} : épaisseur du panneau CLT, en m
- Ψ_{chev} : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû aux chevrons support de bardage
- E_{chev} : entraxe entre chevrons support de bardage, en m
- $\Psi_{montant}$: coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû aux montants d'ossature de l'isolation intérieure
- $E_{montant}$: entraxe entre montants d'ossature de l'isolation intérieure, en m
- Ψ_{fract} : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû au dispositif de fractionnement de la lame d'air
- L_{fract} : linéaire total du dispositif de fractionnement de la lame d'air, en m
- A_p : surface totale de la paroi, en m^2
- χ_{patte} : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique dû à la patte de fixation du bardage
- E_{patte} : entraxe moyen entre pattes de fixation sur un chevron de bardage, en m
- l : largeur des panneaux isolants utilisés, en m
- L : longueur des panneaux isolants utilisés, en m
- Ψ_j : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû aux joints entre panneaux isolants
- n_f : densité de fixations par m^2
- χ_f : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique dû aux fixations métalliques

2.18.2. Pare vapeur

Concernant les murs extérieurs, un pare vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du panneau HEXAPLI exposée au climat intérieur (entre le panneau HEXAPLI et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de Sd du pare-vapeur sera au minimum de 18m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90m dans le cas contraire.

2.19. Revêtements de façade

2.19.1. Étanchéité à l'eau

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.12.1 « Étanchéité à l'eau » s'appliquent.

2.19.2. Bardages rapportés

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.12.2 « Revêtement des murs extérieurs au moyen de bardages rapportés » s'appliquent.

2.19.3. ETICS

La mise en œuvre d'un système d'isolant thermique extérieure par enduit sur isolant sur les panneaux HEXAPLI doit faire l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois dans les limitations d'usage de celui-ci.

2.19.4. Autres revêtements de façade

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.12.4 « Autres revêtements de façade » s'appliquent.

2.20. Mise en œuvre

2.20.1. Plans de pose et d'exécution

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §1.13 « Plans et documents de pose et d'exécution » s'appliquent.

2.20.2. Transport

Les panneaux de murs sont usuellement transportés en position verticale avec chevalet et les panneaux de planchers en position horizontale.

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.1 « Transport » s'appliquent.

2.20.3. Stockage sur chantier

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.2 « Stockage sur chantier » s'appliquent.

2.20.4. Contrôles avant mise en œuvre

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3 « Phase de mise en œuvre » s'appliquent.

2.20.5. Sécurité

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3.1 « Prévention des accidents et maîtrise des risques lors de la mise en œuvre et de l'entretien » s'appliquent.

2.20.6. Stabilité provisoire

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3.2 « Stabilité provisoire » s'appliquent.

2.20.7. Levage

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3.3 « Manutention » s'appliquent.

- Les points de levage sont conçus et dimensionnés par un bureau d'étude ou par Piveteau Bois en prenant en compte les contraintes induites par la toute la chaîne de manutention ;
- Les contraintes provoquées par le levage peuvent être supérieures à celles subies par l'élément en service dans l'ouvrage. Une attention particulière sera accordée aux panneaux HEXAPLI comprenant des ouvertures. Ils peuvent au besoin être renforcés par le biais d'entretoises pour renforcer le panneau lors du levage (bandes de panneaux lamellé croisé conservées pour le levage et découpées par la suite ou pièces de bois rapportées), renforts à dimensionner en fonction des efforts induits par le levage.

2.20.8. Dispositions complémentaires

- Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3.4 « Dispositions complémentaires relatives au montage » s'appliquent ;
- Par ailleurs, en phase provisoire, en cas de recours à des matériaux de construction nécessitant des phases de séchage tels que les complexes de chapes humides rapportées, les locaux doivent être ventilés pour éviter l'humidification des panneaux HEXAPLI constitutifs de la structure causée par l'évaporation de l'eau. Il convient d'assurer une ventilation naturelle ou mécanique pour assurer le renouvellement de l'air dans le bâtiment lors de cette phase, sensible, car le bâtiment n'est pas encore chauffé.

2.21. Assistance technique

La conception et le calcul des panneaux HEXAPLI ainsi que la fourniture d'un plan de pose complet de la structure sont à la charge du Bureau d'Études Techniques référencé par le service d'assistance technique HEXAPLI.

Le service d'assistance technique HEXAPLI fournit sur demande une assistance technique en phase de conception et de préparation à l'exécution de la structure.

Un logiciel de prédimensionnement est tenu à disposition des bureaux d'études afin de vérifier en phase définitive les panneaux HEXAPLI.

2.22. Résultats expérimentaux

- Essais de délamination des joints de collage – FCBA – n°403/17/7773 - n°403/17/7773/1 et n°403/17/7773/2.
- Essais de flexion 4 points sur lamelles et panneaux HEXAPLI – FCBA – Rapport d'essai n° 403-17-7773-3 / 403-17-7773-4 / 403-17-7773-5 / 403-17-7773-6 avec rapport d'interprétation.
- Appréciation de laboratoire AL 17-212_V2 du CSTB.
- PIBC-CERT / MBu 20/0388 - Réalisation d'essais de qualité de collage sur du CLT de composition mixte constitué de lamelles en pin non traité et épicea.
- PIBC-CERT / MBu 20/0387 - Réalisation d'essais de qualité de collage sur du CLT constitué de lamelles en pin traité par autoclave.

2.23. Références

2.23.1. Données Environnementales

Les panneaux HEXAPLI font l'objet d'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES).

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

2.23.2. Autres références

- Bâtiment de bureaux R+2 à Sainte Florence (85) – Utilisation des panneaux en murs et planchers avec fonction de contreventement. BET entreprise LCA.

- Maison médicale R+1 à La Chapelle Saint-Mesmin (45) – Panneaux HEXAPLI utilisés en murs et planchers - Surface : 1584 m² - BET entreprise LCA et bureau de contrôle Qualiconsult.
- Bâtiment de bureaux R+1 à Clermont-Ferrand (63) – Michelin - Panneaux HEXAPLI utilisés en murs et planchers - Surface : 1838 m² - BET Arborescence.
- Refuge de montagne de plain-pied Bergerie Vincendet à Bessans (73) – Panneaux HEXAPLI utilisés en murs - Surface : 217 m² - BET entreprise Altibois.
- Bâtiment habitation R+2 à Chanteloup-en-Brie (77) – Panneaux HEXAPLI utilisés en murs - Surface : 2102 m² - BET CBS-CBT.
- École de plain-pied à Villepinte (93) – Panneaux HEXAPLI utilisés en planchers - Surface : 292 m² - BET Sedime et bureau de contrôle Alpha contrôle.
- Bâtiment de bureaux R+2 pour l'entreprise ENGIE à Strains (93) – Panneaux HEXAPLI utilisés en planchers - Surface : 2785 m² - BET Pi conception.
- Lycée R+2 à Liffré (35) – Panneaux HEXAPLI utilisés en planchers - Surface : 3105 m² - BET entreprise Belliard.
- Lycée R+2 à Nort-sur-Erdre (44) – Panneaux HEXAPLI utilisés en planchers - Surface : 253 m² - BET entreprise Briand.
- Bâtiment commercial Ecodis R+2 à Saint-Nolff (56) – Panneaux HEXAPLI utilisés en murs et planchers - Surface : 586 m² - BET entreprise EMG.
- Restaurant universitaire R+1 La Courtaisière à La Roche-sur-Yon (85) – Panneaux HEXAPLI utilisés en murs et planchers - Surface : 1041 m² - BET Xylostructures.
- Extension d'un bâtiment de loisir de plain-pied à Saint-Pierre-en-Faucigny (74) – Panneaux HEXAPLI utilisés en murs - Surface : 204 m² - BET entreprise Mugnier Charpente.
- Bâtiment de bureaux R+1 pour l'entreprise Archiblock à Mauzé-sur-le-Mignon (79) – Panneaux HEXAPLI utilisés en murs et planchers - Surface : 788 m² - BET BA Bois.
- Bâtiment de bureaux R+6 à Angers (49) - Siège social de Podeliha - Panneaux HEXAPLI utilisés en planchers - Surface : 3500 m² - BET ASCIA - Chantier en cours.
- Bâtiment d'habitation R+17 Hypérion à Bordeaux (33) - Panneaux HEXAPLI utilisés en planchers - Surface : 5400m² - BET Setec - Chantier en cours.
- Bâtiment d'habitation R+5 à Champigny sur Marne (94) - Panneaux HEXAPLI utilisés en murs et planchers - Surface : 1600 m² - BET MEHA Charpentes.

Tableaux et figures du Dossier Technique

Tableau 1 : Propriétés mécaniques des couches des panneaux HEXAPLI

Caractéristiques mécaniques des couches en N/mm ²		
	C18	C24
$f_{m,x,k}$ $f_{m,y,k}$	18	24
$f_{m,edge,x,k}$ $f_{m,edge,y,k}$	17	20,5
$f_{t,x,k}$ $f_{t,y,k}$	10	14,5
$f_{t,z,k}$	0,4	
$f_{c,x,k}$ $f_{c,y,k}$	18	21
$f_{c,z,k}$	3	
$f_{v,k}$	3,4	4
$f_{r,k}$	Lamelles avec élancement ≥ 4 : 1,1 Sinon : 0,7	
$f_{v,xy,net,k}$ $f_{v,yx,net,k}$	5	
$f_{v,xy,gross,k}$ $f_{v,yx,gross,k}$	3,5	
$f_{v,tor,node,k}$	2,5	
$E_{x,mean}$ $E_{y,mean}$	9000	Epicéa : 11000 Pin : 12000 Douglas : 13000
$E_{z,mean}$	300	370
$G_{xz,mean}$ $G_{yz,mean}$	560	690
$G_{xy,mean}$ $G_{yx,mean}$ $G_{tor,mean}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{650}{1 + 2,6 \cdot \left(\frac{t_l}{b_l}\right)^{1,2}} \quad (1) \\ 450 \end{array} \right.$	
$G_{r,mean}$	50	
ρ_k	$1,1 \rho_{lay,k}$	
ρ_{mean}	$\rho_{lay,mean}$	

(1) t_l épaisseur des lamelles et b_l largeur des lamelles

Tableau 2 Propriétés mécaniques des panneaux HEXA1 (x:C24/y:C18) DOUGLAS

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXA1 dans la direction x - sens parallèle aux plis extérieurs - Essence : DOUGLAS																		
HEXA1 DOUGLAS		$E_{x,mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$																
		$G_{r,mean} = 50 \text{ N/mm}^2$																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								$A_{x,net} [\text{cm}^2]$	$I_{x,net} [\text{cm}^4]$	$W_{x,net} [\text{cm}^3]$	$I_{x,net} [\text{cm}]$	$I_{x,ef} [\text{cm}^4]$				
		Portées												2 m	4 m	6 m	8 m	
3	90	20	20	20							400	1733	578	2,08	1551	1684	1711	1721
	80	20	40	20							400	3733	933	3,06	2998	3516	3634	3677
	90	30	30	30							600	5850	1300	3,12	4640	5487	5682	5754
	100	30	40	30							600	7800	1560	3,61	5757	7155	7499	7627
	120	40	40	40							800	13867	2311	4,16	9525	12411	13176	13469
5	100	20	20	20	20	20					600	6600	1320	3,32	5293	6214	6423	6499
	120	20	30	20	30	20					600	10200	1700	4,12	7421	9322	9790	9965
	140	40	20	20	20	40					1000	21133	3019	4,60	14350	18859	20054	20512
	160	40	20	40	20	40					1200	30400	3800	5,03	20632	27125	28846	29505
	180	40	30	40	30	40					1200	40800	4533	5,83	23749	34473	37711	39001
5L2	160	60	40	60							1200	52800	5280	6,63	26866	42345	47558	49713
	180	70	40	70							1400	33600	4200	5,29	20551	28758	31236	32223
	200	80	40	80							1600	66133	6613	6,43	36958	54371	60237	62661
7	180	30	30	20	20	20	30	30			1000	35933	3993	5,99	20157	30004	33027	34238
	200	20	40	20	40	20	40	20			800	36267	3627	6,73	19516	29824	33086	34405
	220	30	30	30	40	30	30	30			1200	62400	5673	7,21	29723	48757	55476	58302
	240	40	30	30	40	30	30	40			1400	88867	7406	7,97	37282	65617	76727	81593
	260	40	40	30	40	30	40	40			1400	105667	8128	8,69	40381	74809	89242	95741
7L2	220	60	30	40	30	60					1600	80933	7358	7,11	39776	63729	72200	75764
	240	80	20	40	20	80					2000	111467	9289	7,47	59599	90556	100984	105293
	260	80	30	40	30	80					2000	138667	10667	8,33	60097	102646	119734	127290
	280	80	40	40	40	80					2000	169067	12076	9,19	61476	114801	139349	150872
8L2	300	80	30	80	30	80					2400	206400	13760	9,27	89031	152592	178118	189405
	320	80	40	80	40	80					2400	243200	15200	10,07	88270	165058	200407	217000
	300	40	30	30	30	40	30	30	40		1800	162600	10840	9,50	58088	111429	134947	145773
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	2000	198667	12417	9,97	68363	133419	163045	176888
9	340	40	40	40	30	40	30	40	40	40	2000	221867	13051	10,53	71269	144077	178784	195348
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	2000	258667	14370	11,37	73018	156439	200193	222101

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXA1 dans la direction y - sens perpendiculaire aux plis extérieurs - Essence : DOUGLAS																		
HEXA1 DOUGLAS		$E_{y,mean} = 9000 \text{ N/mm}^2$										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$																
		$G_{r,mean} = 50 \text{ N/mm}^2$																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								$A_{y,net} [\text{cm}^2]$	$I_{y,net} [\text{cm}^4]$	$W_{y,net} [\text{cm}^3]$	$I_{y,net} [\text{cm}]$	$I_{y,ef} [\text{cm}^4]$				
		Portées												1 m	2,75 m	2,95 m	3,50 m	
3	60	20	20	20							200	67	67	0,58				
	80	20	40	20							400	533	267	1,15				
	90	30	30	30							300	225	150	0,87				
	100	30	40	30							400	533	267	1,15				
	120	40	40	40							400	533	267	1,15				
5	100	20	20	20	20	20					400	1733	578	2,08	1314	1662	1671	1688
	120	20	30	20	30	20					600	4200	1050	2,65	2896	3953	3984	4044
	140	40	20	20	20	40					400	1733	578	2,08	1314	1662	1671	1688
	160	40	20	40	20	40					400	3733	933	3,06	2238	3424	3462	3536
	180	40	30	40	30	40					600	7800	1560	3,61	4008	6892	6998	7212
5L2	160	60	40	60							400	533	67	1,15				
	180	70	40	70							400	533	59	1,15				
	200	80	40	80							400	533	53	1,15				
7	180	30	30	20	20	30	30				800	12667	2111	3,98	6398	11166	11341	11694
	200	20	40	20	40	20	40	20			1200	30400	3800	5,03	13495	25844	26357	27406
	220	30	30	30	40	30	30	30			1000	26333	3292	5,13	10738	21909	22399	23407
	240	40	30	30	40	30	30	40			1000	26333	3292	5,13	10738	21909	22399	23407
	260	40	40	30	40	30	40	40			1200	40800	4533	5,83	14117	32180	33087	34989
7L2	220	60	30	40	30	60					600	7800	709	3,61	4008	6892	6998	7212
	240	80	20	40	20	80					400	3733	311	3,06	2238	3424	3462	3536
	260	80	30	40	30	80					600	7800	600	3,61	4008	6892	6998	7212
	280	80	40	40	40	80					800	13867	990	4,16	6353	11842	12070	12536
8L2	300	80	30	80	30	80					600	18600	1240	5,57	6245	14609	15029	15910
	320	80	40	80	40	80					800	29867	1867	6,11	8562	21999	22776	24443
9	300	40	30	30	30	40	30	30	30	40	1200	62400	5673	7,21	15861	44297	46032	49793
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	1200	74400	6200	7,87	16891	50613	52811	57632
	340	40	40	30	40	30	40	40	40	40	1400	105667	8128	8,69	20002	65950	69334	76947
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	1600	130133	9295	9,02	24246	80292	84486	93958

Tableau 3 - Propriétés mécaniques des panneaux HEXA1 (x:C24/y:C18) PIN

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXA1 dans la direction x - sens parallèle aux plis extérieurs - Essence : PIN																		
HEXA1 PIN		E _{x,mean} = 12000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		G _{mean} = 690 N/mm ²																
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{x,net} [cm ²]	I _{x,net} [cm ⁴]	W _{x,net} [cm ³]	i _{x,net} [cm]	I _{x,ef} [cm ⁴]				
														Portées				
3	60	20	20	20							400	1733	578	2,08	1564	1687	1713	1722
	80	20	40	20							400	3733	933	3,06	3044	3532	3641	3681
	90	30	30	30							600	5850	1300	3,12	4714	5513	5695	5762
	100	30	40	30							600	7800	1560	3,61	5873	7200	7521	7640
	120	40	40	40							800	13867	2311	4,16	9752	12511	13227	13499
5	100	20	20	20	20	20					600	6600	1320	3,32	5374	6242	6436	6507
	120	20	30	20	30	20					600	10200	1700	4,12	7578	9384	9820	9983
	140	40	20	20	20	40					1000	21133	3019	4,60	14704	19015	20133	20558
	160	40	20	40	20	40					1200	30400	3800	5,03	21142	27350	28960	29572
	180	40	30	40	30	40					1200	40800	4533	5,83	24516	34887	37931	39133
	200	40	40	40	40	40					1200	52800	5280	6,63	27890	42995	47923	49938
5L2	160	60	40	60							1200	33600	4200	5,29	21138	29074	31405	32324
	180	70	40	70							1400	48067	5341	5,86	28871	40796	44495	45980
	200	80	40	80							1600	66133	6613	6,43	38110	55102	60647	62913
7	180	30	30	20	20	30	30				1000	35933	3993	5,99	20852	30389	33234	34362
	200	20	40	20	40	20	40	20			800	36267	3627	6,73	20229	30237	33311	34542
	220	30	30	30	40	30	30	30			1200	62400	5673	7,21	30943	49586	55952	58597
	240	40	30	30	40	30	30	40			1400	88867	7406	7,97	38973	66954	77539	82109
	260	40	40	30	40	30	40	40	40		1400	105667	8128	8,69	42344	76517	90319	96437
	280	40	40	40	40	40	40	40			1600	130133	9295	9,02	51294	93421	110713	118430
7L2	220	60	30	40	30	60					1600	80933	7358	7,11	41308	64774	72801	76136
	240	80	20	40	20	80					2000	111467	9289	7,47	61647	91856	101713	105742
	260	80	30	40	30	80					2000	138667	10667	8,33	62593	104691	120992	128094
	280	80	40	40	40	80					2000	169067	12076	9,19	64335	117634	141238	152124
8L2	300	80	30	80	30	80					2400	206400	13760	9,27	92760	155646	179997	190606
	320	80	40	80	40	80					2400	243200	15200	10,07	92386	169137	203126	218802
9	300	40	30	30	30	40	30	30	30	40	1800	162600	10840	9,50	61031	114175	136730	146941
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	2000	198667	12417	9,97	71879	136847	165316	178389
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	40	2000	221867	13051	10,53	75087	148042	181486	197157
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	2000	258667	14370	11,37	77141	161297	203720	224537

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXA1 dans la direction y - sens perpendiculaire aux plis extérieurs - Essence : PIN																		
HEXA1 PIN		E _{y,mean} = 9000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		G _{mean} = 690 N/mm ²																
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{y,net} [cm ²]	I _{y,net} [cm ⁴]	W _{y,net} [cm ³]	i _{y,net} [cm]	I _{y,ef} [cm ⁴]				
														Portées				
3	60	20	20	20							200	67	67	0,58				
	80	20	40	20							400	533	267	1,15				
	90	30	30	30							300	225	150	0,87				
	100	30	40	30							400	533	267	1,15				
	120	40	40	40							400	533	267	1,15				
5	100	20	20	20	20	20					400	1733	578	2,08	1314	1662	1671	1688
	120	20	30	20	30	20					600	4200	1050	2,65	2896	3953	3984	4044
	140	40	20	20	20	40					400	1733	578	2,08	1314	1662	1671	1688
	160	40	20	40	20	40					400	3733	933	3,06	2238	3424	3462	3536
	180	40	30	40	30	40					600	7800	1560	3,61	4008	6892	6998	7212
	200	40	40	40	40	40					800	13867	2311	4,16	6353	11842	12070	12536
5L2	160	60	40	60							400	533	67	1,15				
	180	70	40	70							400	533	59	1,15				
	200	80	40	80							400	533	53	1,15				
7	180	30	30	20	20	30	30				800	12667	2111	3,98	6398	11166	11341	11694
	200	20	40	20	40	20	40	20			1200	30400	3800	5,03	13495	25844	26357	27406
	220	30	30	30	40	30	30	30			1000	26333	3292	5,13	10738	21909	22399	23407
	240	40	30	30	40	30	30	40			1000	26333	3292	5,13	10738	21909	22399	23407
	260	40	40	30	40	30	40	40			1200	40800	4533	5,83	14117	32180	33087	34989
	280	40	40	40	40	40	40	40			1200	52800	5280	6,63	14925	38813	40194	43157
7L2	220	60	30	40	30	60					600	7800	709	3,61	4008	6892	6998	7212
	240	80	20	40	20	80					400	3733	311	3,06	2238	3424	3462	3536
	260	80	30	40	30	80					600	7800	600	3,61	4008	6892	6998	7212
	280	80	40	40	40	80					800	13867	990	4,16	6353	11842	12070	12536
8L2	300	80	30	80	30	80					600	18600	1240	5,57	6245	14609	15029	15910
	320	80	40	80	40	80					800	29867	1867	6,11	8562	21999	22776	24443
9	300	40	30	30	30	40	30	30	30	40	1200	62400	5673	7,21	15861	44297	46032	49793
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	1200	74400	6200	7,87	16891	50613	52811	57632
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	40	1400	105667	8128	8,69	20002	65950	69334	76947
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	1600	130133	9295	9,02	24246	80292	84486	93958

Tableau 4 - Propriétés mécaniques des panneaux HEXA1 (x:C24/y:C18) EPICEA

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction x - sens parallèle aux plis extérieurs - Essence : EPICEA																		
HEXA1 EPICEA		E _{x,mean} = 11000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		G _{mean} = 690 N/mm ²																
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{x,net} [cm ²]	I _{x,net} [cm ⁴]	W _{x,net} [cm ³]	i _{x,net} [cm]	I _{x,ef} [cm ⁴]				
														Portées				2 m
3	60	20	20	20							400	1733	578	2,08	1577	1691	1714	1723
	80	20	40	20							400	3733	933	3,06	3091	3548	3649	3685
	90	30	30	30							600	5850	1300	3,12	4790	5539	5707	5769
	100	30	40	30							600	7800	1560	3,61	5994	7247	7543	7653
	120	40	40	40							800	13867	2311	4,16	9991	12613	13277	13528
5	100	20	20	20	20	20					600	6600	1320	3,32	5458	6270	6449	6514
	120	20	30	20	30	20					600	10200	1700	4,12	7743	9447	9851	10001
	140	40	20	20	20	40					1000	21133	3019	4,60	15078	19175	20213	20605
	160	40	20	40	20	40					1200	30400	3800	5,03	21680	27580	29074	29639
	180	40	30	40	30	40					1200	40800	4533	5,83	25338	35310	38154	39267
5L2	160	60	40	60							1200	33600	4200	5,29	21766	29399	31575	32426
	180	70	40	70							1400	48067	5341	5,86	29780	41305	44769	46146
	200	80	40	80							1600	66133	6613	6,43	39360	55858	61064	63168
7	180	30	30	20	20	20	30	30			1000	35933	3993	5,99	21599	30784	33443	34488
	200	20	40	20	40	20	40	20			800	36267	3627	6,73	20997	30661	33538	34679
	220	30	30	30	40	30	30	30			1200	62400	5673	7,21	32272	50444	56437	58896
	240	40	30	30	40	30	30	40			1400	88867	7406	7,97	40833	68349	78369	82632
	260	40	40	30	40	30	40	40			1400	105667	8128	8,69	44517	78306	91423	97143
7L2	220	60	30	40	30	60					1600	80933	7358	7,11	42978	65856	73412	76513
	240	80	20	40	20	80					2000	111467	9289	7,47	63869	93199	102454	106194
	260	80	30	40	30	80					2000	138667	10667	8,33	65346	106827	122279	128909
	280	80	40	40	40	80					2000	169067	12076	9,19	67524	120622	143182	153397
8L2	300	80	30	80	30	80					2400	206400	13760	9,27	96872	158836	181919	191823
	320	80	40	80	40	80					2400	243200	15200	10,07	96978	173440	205926	220636
9	300	40	30	30	30	40	30	30	30	40	1800	162600	10840	9,50	64302	117062	138562	148128
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	2000	198667	12417	9,97	75797	140461	167653	179916
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	40	2000	221867	13051	10,53	79357	152237	184273	199001
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	2000	258667	14370	11,37	81782	166475	207377	227027

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction y - sens perpendiculaire aux plis extérieurs - Essence : EPICEA																		
HEXA1 EPICEA		E _{y,mean} = 9000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		G _{mean} = 690 N/mm ²																
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{y,net} [cm ²]	I _{y,net} [cm ⁴]	W _{y,net} [cm ³]	i _{y,net} [cm]	I _{y,ef} [cm ⁴]				
														Portées				1 m
3	60	20	20	20							200	67	67	0,58				
	80	20	40	20							400	533	267	1,15				
	90	30	30	30							300	225	150	0,87				
	100	30	40	30							400	533	267	1,15				
5	120	40	40	40							400	533	267	1,15				
	100	20	20	20	20	20					400	1733	578	2,08	1314	1662	1671	1688
	120	20	30	20	30	20					600	4200	1050	2,65	2896	3953	3984	4044
	140	40	20	20	20	40					400	1733	578	2,08	1314	1662	1671	1688
	160	40	20	40	20	40					400	3733	933	3,06	2238	3424	3462	3536
5L2	180	40	30	40	30	40					600	7800	1560	3,61	4008	6892	6998	7212
	200	40	40	40	40	40					800	13867	2311	4,16	6353	11842	12070	12536
	160	60	40	60							400	533	67	1,15				
7	180	70	40	70							400	533	59	1,15				
	200	80	40	80							400	533	53	1,15				
	180	30	30	20	20	20	30	30			800	12667	2111	3,98	6398	11166	11341	11694
	200	20	40	20	40	20	40	20			1200	30400	3800	5,03	13495	25844	26357	27406
	220	30	30	30	40	30	30	30			1000	26333	3292	5,13	10738	21909	22399	23407
7L2	240	40	30	30	40	30	30	40			1000	26333	3292	5,13	10738	21909	22399	23407
	260	40	40	30	40	30	40	40			1200	40800	4533	5,83	14117	32180	33087	34989
	280	40	40	40	40	40	40	40			1200	52800	5280	6,63	14925	38813	40194	43157
	220	60	30	40	30	60					600	7800	709	3,61	4008	6892	6998	7212
8L2	240	80	20	40	20	80					400	3733	311	3,06	2238	3424	3462	3536
	260	80	30	40	30	80					600	7800	600	3,61	4008	6892	6998	7212
	280	80	40	40	40	80					800	13867	990	4,16	6353	11842	12070	12536
9	300	80	30	80	30	80					600	18600	1240	5,57	6245	14609	15029	15910
	320	80	40	80	40	80					800	29867	1867	6,11	8562	21999	22776	24443
	300	40	30	30	30	40	30	30	30	40	1200	62400	5673	7,21	15861	44297	46032	49793
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	1200	74400	6200	7,87	16891	50613	52811	57632
9	340	40	40	40	30	40	30	40	40	40	1400	105667	8128	8,69	20002	65950	69334	76947
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	1600	130133	9295	9,02	24246	80292	84486	93958

Tableau 5 - Propriétés mécaniques des panneaux HEXA2 (x:C24/y:C24) DOUGLAS

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction x - sens parallèle aux plis extérieurs - Essence : DOUGLAS																		
HEXA2 DOUGLAS		$E_{x,mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$																
		$G_{r,mean} = 50 \text{ N/mm}^2$																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								$A_{x,net} [\text{cm}^2]$	$I_{x,net} [\text{cm}^4]$	$W_{x,net} [\text{cm}^3]$	$i_{x,net} [\text{cm}]$	$I_{x,ef} [\text{cm}^4]$				
		Portées												2 m	4 m	6 m	8 m	
3	60	20	20	20							400	1733	578	2,08	1551	1684	1711	1721
	80	20	40	20							400	3733	933	3,06	2998	3516	3634	3677
	90	30	30	30							600	5850	1300	3,12	4640	5487	5682	5754
	100	30	40	30							600	7800	1560	3,61	5757	7155	7499	7627
	120	40	40	40							800	13867	2311	4,16	9525	12411	13176	13469
5	100	20	20	20	20	20					600	6600	1320	3,32	5293	6214	6423	6499
	120	20	30	20	30	20					600	10200	1700	4,12	7421	9322	9790	9965
	140	40	20	20	20	40					1000	21133	3019	4,60	14350	18859	20054	20512
	160	40	20	40	20	40					1200	30400	3800	5,03	20632	27125	28846	29505
	180	40	30	40	30	40					1200	40800	4533	5,83	23749	34473	37711	39001
5L2	160	60	40	60							1200	33600	4200	5,29	20551	28758	31236	32223
	180	70	40	70							1400	48067	5341	5,86	28028	40301	44224	45816
	200	80	40	80							1600	66133	6613	6,43	36958	54371	60237	62661
7	180	30	30	20	20	30	30				1000	35933	3993	5,99	20157	30004	33027	34238
	200	20	40	20	40	20	40	20			800	36267	3627	6,73	19516	29824	33086	34405
	220	30	30	30	40	30	30	30			1200	62400	5673	7,21	29723	48757	55476	58302
	240	40	30	30	40	30	30	40			1400	88867	7406	7,97	37282	65617	76727	81593
	260	40	40	30	40	30	40	40			1400	105667	8128	8,69	40381	74809	89242	95741
7L2	220	60	30	40	30	60					1600	80933	7358	7,11	39776	63729	72200	75764
	240	80	20	40	20	80					2000	111467	9289	7,47	59599	90556	100984	105293
	260	80	30	40	30	80					2000	138667	10667	8,33	60097	102646	119734	127290
	280	80	40	40	40	80					2000	169067	12076	9,19	61476	114801	139349	150872
8L2	300	80	30	80	30	80					2400	206400	13760	9,27	89031	152592	178118	189405
	320	80	40	80	40	80					2400	243200	15200	10,07	88270	165058	200407	217000
9	300	40	30	30	30	40	30	30	30	40	1800	162600	10840	9,50	58088	111429	134947	145773
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	2000	198667	12417	9,97	68363	133419	163045	176888
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	40	2000	221867	13051	10,53	71269	144077	178784	195348
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	2000	258667	14370	11,37	73018	156439	200193	222101

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction y - sens perpendiculaire aux plis extérieurs - Essence : DOUGLAS																		
HEXA2 DOUGLAS		$E_{y,mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm						
		$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$																
		$G_{r,mean} = 50 \text{ N/mm}^2$																
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								$A_{y,net} [\text{cm}^2]$	$I_{y,net} [\text{cm}^4]$	$W_{y,net} [\text{cm}^3]$	$i_{y,net} [\text{cm}]$	$I_{y,ef} [\text{cm}^4]$				
		Portées												1 m	2,75 m	2,95 m	3,50 m	
3	60	20	20	20							200	67	67	0,58				
	80	20	40	20							400	533	267	1,15				
	90	30	30	30							300	225	150	0,87				
	100	30	40	30							400	533	267	1,15				
	120	40	40	40							400	533	267	1,15				
5	100	20	20	20	20	20					400	1733	578	2,08	1191	1632	1644	1669
	120	20	30	20	30	20					600	4200	1050	2,65	2569	3854	3895	3978
	140	40	20	20	20	40					400	1733	578	2,08	1191	1632	1644	1669
	160	40	20	40	20	40					400	3733	933	3,06	1910	3303	3354	3455
	180	40	30	40	30	40					600	7800	1560	3,61	3344	6557	6695	6979
5L2	160	60	40	60							400	533	67	1,15				
	180	70	40	70							400	533	59	1,15				
	200	80	40	80							400	533	53	1,15				
7	180	30	30	20	20	30	30				800	12667	2111	3,98	5301	10611	10840	11310
	200	20	40	20	40	20	40	20			1200	30400	3800	5,03	11034	24251	24903	26266
	220	30	30	30	40	30	30	30			1000	26333	3292	5,13	8643	20403	21017	22312
	240	40	30	30	40	30	30	40			1000	26333	3292	5,13	8643	20403	21017	22312
	260	40	40	30	40	30	40	40			1200	40800	4533	5,83	11209	29457	30555	32926
7L2	220	60	30	40	30	60					600	7800	709	3,61	3344	6557	6695	6979
	240	80	20	40	20	80					400	3733	311	3,06	1910	3303	3354	3455
	260	80	30	40	30	80					600	7800	600	3,61	3344	6557	6695	6979
	280	80	40	40	40	80					800	13867	990	4,16	5259	11134	11424	12029
8L2	300	80	30	80	30	80					600	18600	1240	5,57	4899	13348	13856	14954
	320	80	40	80	40	80					800	29867	1867	6,11	6707	19733	20635	22637
9	300	40	30	30	30	40	30	30	30	40	1200	62400	5673	7,21	12135	39296	41275	45721
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	40	1200	74400	6200	7,87	12783	44372	46826	52416
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	40	1400	105667	8128	8,69	15073	56627	60244	68721
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	40	1600	130133	9295	9,02	18327	68786	73241	83727

Tableau 6- Propriétés mécaniques des panneaux HEXA2 (x:C24/y:C24) PIN

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction x - sens parallèle aux plis extérieurs - Essence : PIN																	
HEXA2 PIN		E _{x,mean} = 12000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm					
		G _{mean} = 690 N/mm ²															
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²															
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{x,net} [cm ²]	I _{x,net} [cm ⁴]	W _{x,net} [cm ³]	i _{x,net} [cm]	I _{x,ef} [cm ⁴]			
														Portées			
												2 m	4 m	6 m	8 m		
3	60	20	20	20						400	1733	578	2,08	1564	1687	1713	1722
	80	20	40	20						400	3733	933	3,06	3044	3532	3641	3681
	90	30	30	30						600	5850	1300	3,12	4714	5513	5695	5762
	100	30	40	30						600	7800	1560	3,61	5873	7200	7521	7640
120	40	40	40						800	13867	2311	4,16	9752	12511	13227	13499	
5	100	20	20	20	20	20				600	6600	1320	3,32	5374	6242	6436	6507
	120	20	30	20	30	20				600	10200	1700	4,12	7578	9384	9820	9983
	140	40	20	20	20	40				1000	21133	3019	4,60	14704	19015	20133	20558
	160	40	20	40	20	40				1200	30400	3800	5,03	21142	27350	28960	29572
	180	40	30	40	30	40				1200	40800	4533	5,83	24516	34887	37931	39133
200	40	40	40	40	40				1200	52800	5280	6,63	27890	42995	47923	49938	
5L2	160	60	40	60						1200	33600	4200	5,29	21138	29074	31405	32324
	180	70	40	70						1400	48067	5341	5,86	28871	40796	44495	45980
	200	80	40	80						1600	66133	6613	6,43	38110	55102	60647	62913
7	180	30	30	20	20	30	30			1000	35933	3993	5,99	20852	30389	33234	34362
	200	20	40	20	40	20	40	20		800	36267	3627	6,73	20229	30237	33311	34542
	220	30	30	30	40	30	30	30		1200	62400	5673	7,21	30943	49586	55952	58597
	240	40	30	30	40	30	30	40		1400	88867	7406	7,97	38973	66954	77539	82109
	260	40	40	30	40	30	40	40		1400	105667	8128	8,69	42344	76517	90319	96437
280	40	40	40	40	40	40	40		1600	130133	9295	9,02	51294	93421	110713	118430	
7L2	220	60	30	40	30	60				1600	80933	7358	7,11	41308	64774	72801	76136
	240	80	20	40	20	80				2000	111467	9289	7,47	61647	91856	101713	105742
	260	80	30	40	30	80				2000	138667	10667	8,33	62593	104691	120992	128094
280	80	40	40	40	80				2000	169067	12076	9,19	64335	117634	141238	152124	
8L2	300	80	30	80	30	80				2400	206400	13760	9,27	92760	155646	179997	190606
	320	80	40	80	40	80				2400	243200	15200	10,07	92386	169137	203126	218802
9	300	40	30	30	30	40	30	30	40	1800	162600	10840	9,50	61031	114175	136730	146941
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	2000	198667	12417	9,97	71879	136847	165316	178389
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	2000	221867	13051	10,53	75087	148042	181486	197157
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	2000	258667	14370	11,37	77141	161297	203720	224537

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction y - sens perpendiculaire aux plis extérieurs - Essence : PIN																	
HEXA2 PIN		E _{y,mean} = 12000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm					
		G _{mean} = 690 N/mm ²															
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²															
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{y,net} [cm ²]	I _{y,net} [cm ⁴]	W _{y,net} [cm ³]	i _{y,net} [cm]	I _{y,ef} [cm ⁴]			
														Portées			
												1 m	2,75 m	2,95 m	3,50 m		
3	60	20	20	20						200	67	67	0,58				
	80	20	40	20						400	533	267	1,15				
	90	30	30	30						300	225	150	0,87				
	100	30	40	30						400	533	267	1,15				
120	40	40	40						400	533	267	1,15					
5	100	20	20	20	20	20				400	1733	578	2,08	1219	1639	1651	1674
	120	20	30	20	30	20				600	4200	1050	2,65	2642	3878	3917	3994
	140	40	20	20	20	40				400	1733	578	2,08	1219	1639	1651	1674
	160	40	20	40	20	40				400	3733	933	3,06	1982	3333	3380	3475
	180	40	30	40	30	40				600	7800	1560	3,61	3486	6637	6768	7036
200	40	40	40	40	40				800	13867	2311	4,16	5488	11302	11578	12152	
5L2	160	60	40	60						400	533	67	1,15				
	180	70	40	70						400	533	59	1,15				
	200	80	40	80						400	533	53	1,15				
7	180	30	30	20	20	30	30			800	12667	2111	3,98	5535	10745	10961	11404
	200	20	40	20	40	20	40	20		1200	30400	3800	5,03	11548	24629	25250	26542
	220	30	30	30	40	30	30	30		1000	26333	3292	5,13	9078	20759	21345	22576
	240	40	30	30	40	30	40	40		1000	26333	3292	5,13	9078	20759	21345	22576
	260	40	40	30	40	30	40	40		1200	40800	4533	5,83	11802	30091	31149	33417
280	40	40	40	40	40	40	40		1200	52800	5280	6,63	12289	35707	37267	40702	
7L2	220	60	30	40	30	60				600	7800	709	3,61	3486	6637	6768	7036
	240	80	20	40	20	80				400	3733	311	3,06	1982	3333	3380	3475
	260	80	30	40	30	80				600	7800	600	3,61	3486	6637	6768	7036
280	80	40	40	40	80				800	13867	990	4,16	5488	11302	11578	12152	
8L2	300	80	30	80	30	80				600	18600	1240	5,57	5174	13642	14131	15182
	320	80	40	80	40	80				800	29867	1867	6,11	7079	20252	21129	23062
9	300	40	30	30	30	40	30	30	40	1200	62400	5673	7,21	12880	40433	42367	46674
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	1200	74400	6200	7,87	13597	45780	48188	53628
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	1400	105667	8128	8,69	16040	58695	62279	70604
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	1600	130133	9295	9,02	19488	71331	75753	86064

Tableau 7 - Propriétés mécaniques des panneaux HEXA2 (x:C24/y:C24) EPICEA

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction x - sens parallèle aux plis extérieurs - Essence : EPICEA																	
HEXA2 EPICEA		E _{x,mean} = 11000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm					
		G _{mean} = 690 N/mm ²															
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²															
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{x,net} [cm ²]	I _{x,net} [cm ⁴]	W _{x,net} [cm ³]	i _{x,net} [cm]	I _{x,ef} [cm ⁴]			
														Portées			
		2 m	4 m	6 m	8 m												
3	60	20	20	20						400	1733	578	2,08	1577	1691	1714	1723
	80	20	40	20						400	3733	933	3,06	3091	3548	3649	3685
	90	30	30	30						600	5850	1300	3,12	4790	5539	5707	5769
	100	30	40	30						600	7800	1560	3,61	5994	7247	7543	7653
5	120	40	40	40						800	13867	2311	4,16	9991	12613	13277	13528
	100	20	20	20	20	20				600	6600	1320	3,32	5458	6270	6449	6514
	120	20	30	20	30	20				600	10200	1700	4,12	7743	9447	9851	10001
	140	40	20	20	20	40				1000	21133	3019	4,60	15078	19175	20213	20605
	160	40	20	40	20	40				1200	30400	3800	5,03	21680	27580	29074	29639
5L2	180	40	30	40	30	40				1200	40800	4533	5,83	25338	35310	38154	39267
	200	40	40	40	40	40				1200	52800	5280	6,63	29001	43666	48294	50164
	160	60	40	60						1200	33600	4200	5,29	21766	29399	31575	32426
7	180	30	30	20	20	20	30	30		1000	35933	3993	5,99	21599	30784	33443	34488
	200	20	40	20	40	20	40	20		800	36267	3627	6,73	20997	30661	33538	34679
	220	30	30	30	40	30	30	30		1200	62400	5673	7,21	32272	50444	56437	58896
	240	40	30	30	40	30	30	40		1400	88867	7406	7,97	40833	68349	78369	82632
	260	40	40	30	40	30	40	40		1400	105667	8128	8,69	44517	78306	91423	97143
7L2	280	40	40	40	40	40	40	40		1600	130133	9295	9,02	53945	95654	112102	119322
	220	60	30	40	30	60				1600	80933	7358	7,11	42978	65856	73412	76513
	240	80	20	40	20	80				2000	111467	9289	7,47	63869	93199	102454	106194
	260	80	30	40	30	80				2000	138667	10667	8,33	65346	106827	122279	128909
8L2	280	80	40	40	40	80				2000	169067	12076	9,19	67524	120622	143182	153397
	300	80	30	80	30	80				2400	206400	13760	9,27	96872	158836	181919	191823
9	320	80	40	80	40	80				2400	243200	15200	10,07	96978	173440	205926	220636
	300	40	30	30	30	40	30	30	40	1800	162600	10840	9,50	64302	117062	138562	148128
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	2000	198667	12417	9,97	75797	140461	167653	179916
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	2000	221867	13051	10,53	79357	152237	184273	199001
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	2000	258667	14370	11,37	81782	166475	207377	227027

Caractéristiques géométriques des sections de panneaux HEXAPLI dans la direction y - sens perpendiculaire aux plis extérieurs - Essence : EPICEA																	
HEXA2 EPICEA		E _{y,mean} = 11000 N/mm ²										Valeurs calculées avec la méthode Gamma pour une largeur de panneau de 100cm					
		G _{mean} = 690 N/mm ²															
		G _{r,mean} = 50 N/mm ²															
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux								A _{y,net} [cm ²]	I _{y,net} [cm ⁴]	W _{y,net} [cm ³]	i _{y,net} [cm]	I _{y,ef} [cm ⁴]			
														Portées			
		1 m	2,75 m	2,95 m	3,50 m												
3	60	20	20	20						200	67	67	0,58				
	80	20	40	20						400	533	267	1,15				
	90	30	30	30						300	225	150	0,87				
	100	30	40	30						400	533	267	1,15				
5	120	40	40	40						400	533	267	1,15				
	100	20	20	20	20	20				400	1733	578	2,08	1249	1646	1657	1679
	120	20	30	20	30	20				600	4200	1050	2,65	2721	3903	3939	4011
	140	40	20	20	20	40				400	1733	578	2,08	1249	1646	1657	1679
	160	40	20	40	20	40				400	3733	933	3,06	2060	3362	3407	3495
5L2	180	40	30	40	30	40				600	7800	1560	3,61	3642	6720	6843	7093
	200	40	40	40	40	40				800	13867	2311	4,16	5743	11476	11737	12277
	160	60	40	60						400	533	67	1,15				
7	180	70	40	70						400	533	59	1,15				
	200	80	40	80						400	533	53	1,15				
	180	30	30	20	20	20	30	30		800	12667	2111	3,98	5793	10881	11085	11499
	200	20	40	20	40	20	40	20		1200	30400	3800	5,03	12122	25020	25608	26823
	220	30	30	30	40	30	30	30		1000	26333	3292	5,13	9564	21128	21685	22846
7L2	240	40	30	30	40	30	30	40		1000	26333	3292	5,13	9564	21128	21685	22846
	260	40	40	30	40	30	40	40		1200	40800	4533	5,83	12472	30755	31768	33925
	280	40	40	40	40	40	40	40		1200	52800	5280	6,63	13044	36683	38192	41488
	220	60	30	40	30	60				600	7800	709	3,61	3642	6720	6843	7093
8L2	240	80	20	40	20	80				400	3733	311	3,06	2060	3362	3407	3495
	260	80	30	40	30	80				600	7800	600	3,61	3642	6720	6843	7093
	280	80	40	40	40	80				800	13867	990	4,16	5743	11476	11737	12277
9	300	80	30	80	30	80				600	18600	1240	5,57	5484	13949	14418	15417
	320	80	40	80	40	80				800	29867	1867	6,11	7504	20801	21650	23504
	300	40	30	30	30	40	30	30	40	1200	62400	5673	7,21	13731	41642	43520	47668
	320	40	30	40	30	40	30	40	30	1200	74400	6200	7,87	14533	47283	49635	54898
	340	40	40	40	30	40	30	40	40	1400	105667	8128	8,69	17157	60924	64461	72596
	360	40	40	40	40	40	40	40	40	1600	130133	9295	9,02	20828	74080	78450	88539

Tableau 8 – Résistances caractéristiques des panneaux HEXA1 (x:C24/y:C18) ramenées à des sections massives

nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux	Valeurs de résistance caractéristiques [MPa]														Valeurs de rigidité moyenne [MPa]						Masses volumiques [kg/m ³]	
			A plat						A chant			Dans le plan du panneau					A plat			A chant			masse volumique caractéristique à considérer pour le calcul des connecteurs en résistance	masse volumique moyenne à considérer pour le calcul des charges permanentes
			flexion longitudinale	flexion transversale	compression perpendiculaire au panneau	traction perpendiculaire au panneau	cisaillement longitudinal	cisaillement transversal	flexion longitudinale	flexion transversale	cisaillement relatif à la flexion longitudinale	traction longitudinale	traction transversale	compression longitudinale	compression transversale	module d'élasticité longitudinal moyen	module d'élasticité transversal moyen	module de cisaillement moyen	module d'élasticité longitudinal moyen	module d'élasticité transversal moyen	module de cisaillement longitudinal	module de cisaillement transversal		
f _{m,0,k}	f _{m,90,k}	f _{c,90,k}	f _{t,90,k}	f _{v,0,k}	f _{v,90,k}	f _{m,0,k}	f _{m,90,k}	f _{v,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	E _{0,mean}	E _{90,mean}	G _{mean}	E _{0,mean}	E _{90,mean}	G _{0,mean}	G _{90,mean}	ρ _k	ρ _{mean}			
3	60	20 20 20	23,1	2,00	2,50	0,40	1,08	0,83	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	10590	333	50	7330	3660	460	187	350	420
	80	20 40 20	21,0	4,50	2,50	0,40	1,17	1,25	12,0	12,00	1,00	7,00	7,00	10,5	10,5	9620	1125	50	5500	5500	345	280	350	420
	90	30 30 30	23,1	2,00	2,50	0,40	1,08	0,83	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	10590	333	50	7330	3660	460	187	350	420
	100	30 40 30	22,5	2,88	2,50	0,40	1,11	1,00	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	10290	576	50	6600	4400	414	224	350	420
5	120	40 40 40	23,1	2,00	2,50	0,40	1,08	0,83	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	10590	333	50	7330	3660	460	187	350	420
	100	20 20 20 20 20	19,0	6,24	2,50	0,40	1,24	0,65	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	8710	1872	50	6600	4400	414	224	350	420
	120	20 30 20 30 20	17,0	7,88	2,50	0,40	1,28	0,70	12,0	12,00	1,00	7,00	7,00	10,5	10,5	7790	2625	50	5500	5500	345	280	350	420
	140	40 20 20 20 40	22,2	3,18	2,50	0,40	1,13	0,46	17,1	6,86	0,57	10,00	4,00	15,0	6,0	10160	682	50	7850	3140	493	160	350	420
	160	40 20 40 20 40	21,4	3,94	2,50	0,40	1,19	0,58	18,0	6,00	0,50	10,50	3,50	15,8	5,3	9790	984	50	8250	2750	518	140	350	420
5L2	180	40 30 40 30 40	20,1	5,20	2,50	0,40	1,21	0,62	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	9230	1444	50	7330	3660	460	187	350	420
	200	40 40 40 40 40	19,0	6,24	2,50	0,40	1,24	0,65	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	8710	1872	50	6600	4400	414	224	350	420
	160	60 40 60	23,6	1,13	2,50	0,40	1,05	0,63	18,0	6,00	0,50	10,50	3,50	15,8	5,3	10820	141	50	8250	2750	518	140	350	420
7	180	70 40 70	23,7	0,89	2,50	0,40	1,04	0,56	18,7	5,33	0,44	10,89	3,11	16,3	4,7	10870	99	50	8550	2440	537	124	350	420
	200	80 40 80	23,8	0,72	2,50	0,40	1,03	0,50	19,2	4,80	0,40	11,20	2,80	16,8	4,2	10910	72	50	8800	2200	552	112	350	420
	180	30 30 20 20 20 30 30	17,7	7,04	2,50	0,40	1,13	0,78	13,3	10,67	0,89	7,78	6,22	11,7	9,3	8130	2346	50	6110	4880	383	249	350	420
	200	20 40 20 40 20 40 20	13,1	10,26	2,50	0,40	1,13	0,95	9,6	14,40	0,80	5,60	8,40	8,4	12,6	5980	4104	50	4400	6600	276	336	350	420
	220	30 30 30 40 30 30 30	16,9	7,35	2,50	0,40	1,09	0,92	13,1	10,91	0,91	7,64	6,36	11,5	9,5	7730	2671	50	6000	5000	376	255	350	420
7L2	240	40 30 30 40 30 30 40	18,5	6,17	2,50	0,40	1,10	0,84	14,0	10,00	0,83	8,17	5,83	12,3	8,8	8480	2057	50	6410	4580	403	233	350	420
	260	40 40 30 40 30 40 40	17,3	7,24	2,50	0,40	1,12	0,84	12,9	11,08	0,92	7,54	6,46	11,3	9,7	7930	2507	50	5920	5070	372	258	350	420
	280	40 40 40 40 40 40 40	17,1	7,27	2,50	0,40	1,09	0,88	13,7	10,29	0,86	8,00	6,00	12,0	9,0	7820	2598	50	6280	4710	394	240	350	420
8L2	220	60 30 40 30 60	21,9	3,48	2,50	0,40	1,15	0,51	17,5	6,55	0,55	10,18	3,82	15,3	5,7	10030	791	50	8000	3000	502	153	350	420
	240	80 20 40 20 80	23,2	1,75	2,50	0,40	1,09	0,39	20,0	4,00	0,33	11,67	2,33	17,5	3,5	10640	292	50	9160	1830	575	93	350	420
	260	80 30 40 30 80	22,7	2,49	2,50	0,40	1,11	0,43	18,5	5,54	0,46	10,77	3,23	16,2	4,8	10410	479	50	8460	2530	531	129	350	420
9	280	80 40 40 40 80	22,2	3,18	2,50	0,40	1,13	0,46	17,1	6,86	0,57	10,00	4,00	15,0	6,0	10160	682	50	7850	3140	493	160	350	420
	300	80 30 80 30 80	22,0	3,19	2,50	0,40	1,17	0,56	19,2	4,80	0,40	11,20	2,80	16,8	4,2	10090	744	50	8800	2200	552	112	350	420
	320	80 40 80 40 80	21,4	3,94	2,50	0,40	1,19	0,58	18,0	6,00	0,50	10,50	3,50	15,8	5,3	9790	984	50	8250	2750	518	140	350	420
	360	40 40 40 40 40 40 40	17,3	6,87	2,50	0,40	1,14	1,10	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	7940	2517	50	6600	4400	414	224	350	420
9	320	40 30 40 30 40 30 40	17,5	6,59	2,50	0,40	1,11	1,12	15,0	9,00	0,75	8,75	5,25	13,1	7,9	8000	2470	50	6870	4120	431	210	350	420
	340	40 40 40 30 40 40 40	16,3	7,63	2,50	0,40	1,11	1,06	14,1	9,88	0,82	8,24	5,76	12,4	8,6	7450	2918	50	6470	4520	406	231	350	420
	360	40 40 40 40 40 40 40	16,0	7,78	2,50	0,40	1,12	1,13	13,3	10,67	0,89	7,78	6,22	11,7	9,3	7310	3025	50	6110	4880	383	249	350	420

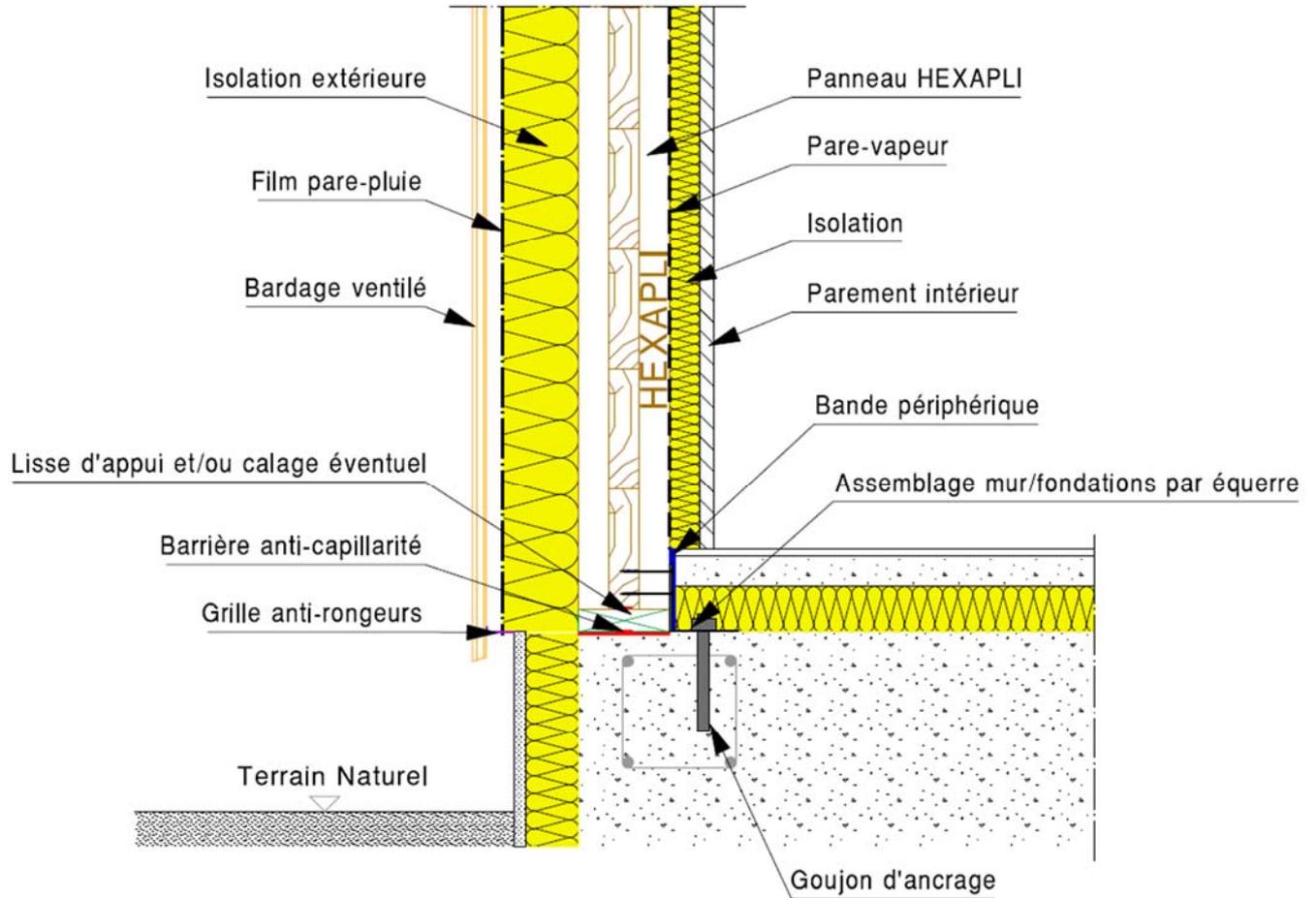
Note: Les propriétés sont calculées sur la base des propriétés mécaniques de l'Epicéa avec $E_{xmean} = 11000 \text{ N/mm}^2$ et $E_{ymean} = 9000 \text{ N/mm}^2$

Tableau 9 – Résistances caractéristiques des panneaux HEXA2 (x:C24/y:C24) ramenées à des sections massives

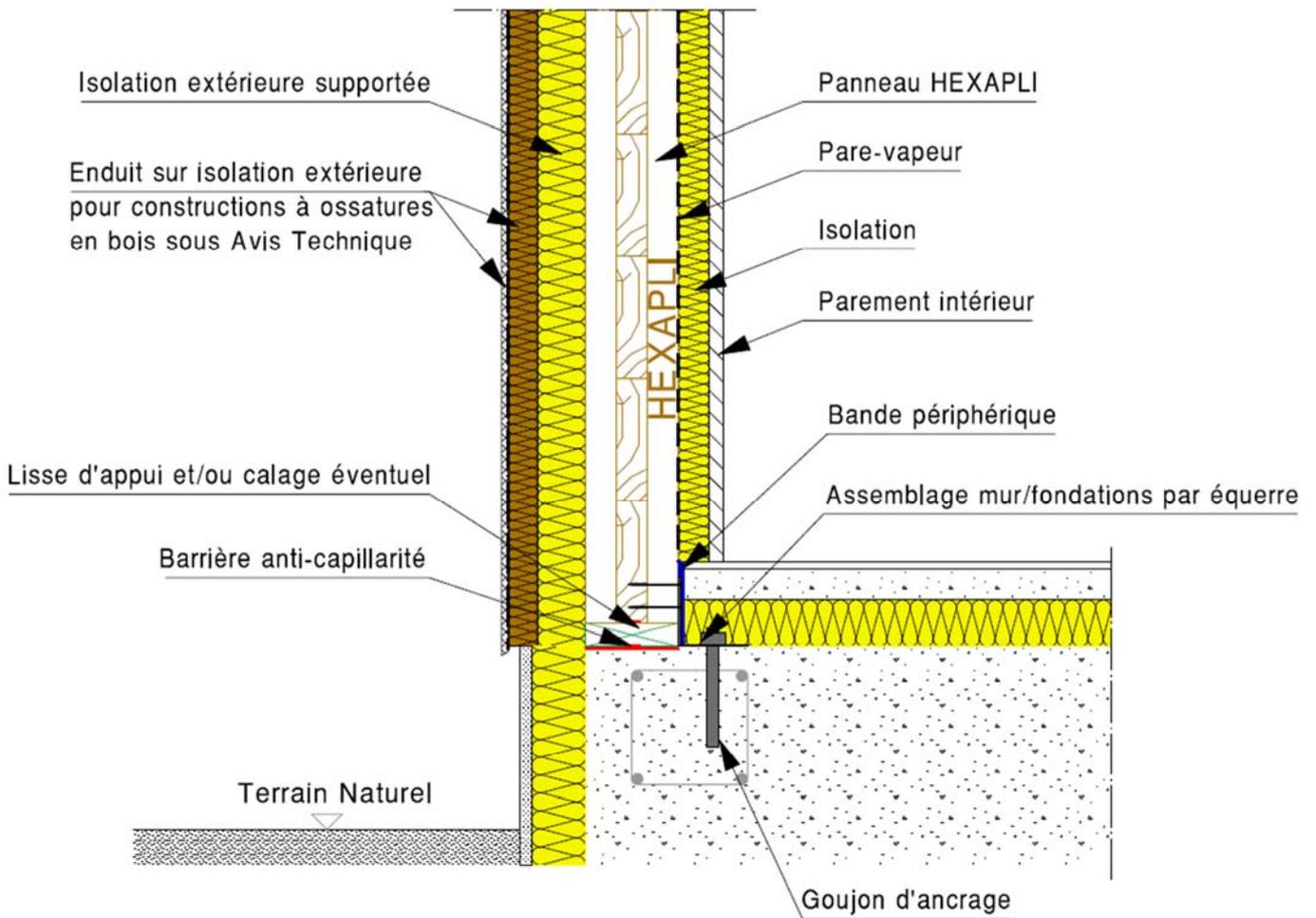
nb de plis	épaisseur totale (mm)	composition des panneaux	Valeurs de résistance caractéristiques [MPa]														Valeurs de rigidité moyenne [MPa]						Masses volumiques [kg/m ³]	
			A plat					A chant			Dans le plan du panneau				A plat			A chant			masse volumique caractéristique à considérer pour le calcul des connecteurs en résistance	masse volumique moyenne à considérer pour le calcul des charges permanentes		
			flexion longitudinale	flexion transversale	compression perpendiculaire au panneau	traction perpendiculaire au panneau	cisaillement longitudinal	cisaillement transversal	flexion longitudinale	flexion transversale	cisaillement relatif à la flexion longitudinale	traction longitudinale	traction transversale	compression longitudinale	compression transversale	module d'élasticité longitudinal moyen	module d'élasticité transversal moyen	module de cisaillement moyen	module d'élasticité longitudinal moyen	module d'élasticité transversal moyen			module de cisaillement longitudinal	module de cisaillement transversal
f _{m,0,k}	f _{m,90,k}	f _{c,90,k}	f _{t,90,k}	f _{v,0,k}	f _{v,90,k}	f _{m,0,k}	f _{m,90,k}	f _{v,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	E _{0,mean}	E _{90,mean}	G _{mean}	E _{0,mean}	E _{90,mean}	G _{0,mean}	G _{90,mean}	ρ _k	ρ _{mean}			
3	60	20 20 20	23,1	2,67	2,50	0,40	1,08	0,83	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	10590	407	50	7330	3660	460	230	350	420
	80	20 40 20	21,0	6,00	2,50	0,40	1,17	1,25	12,0	12,00	1,00	7,00	7,00	10,5	10,5	9620	1375	50	5500	5500	345	345	350	420
	90	30 30 30	23,1	2,67	2,50	0,40	1,08	0,83	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	10590	407	50	7330	3660	460	230	350	420
	100	30 40 30	22,5	3,84	2,50	0,40	1,11	1,00	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	10290	704	50	6600	4400	414	276	350	420
5	120	40 40 40	23,1	2,67	2,50	0,40	1,08	0,83	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	10590	407	50	7330	3660	460	230	350	420
	100	20 20 20 20 20	19,0	8,32	2,50	0,40	1,24	0,65	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	8710	2288	50	6600	4400	414	276	350	420
	120	20 30 20 30 20	17,0	10,50	2,50	0,40	1,28	0,70	12,0	12,00	1,00	7,00	7,00	10,5	10,5	7790	3208	50	5500	5500	345	345	350	420
	140	40 20 20 20 40	22,2	4,24	2,50	0,40	1,13	0,46	17,1	6,86	0,57	10,00	4,00	15,0	6,0	10160	834	50	7850	3140	493	197	350	420
	160	40 20 40 20 40	21,4	5,25	2,50	0,40	1,19	0,58	18,0	6,00	0,50	10,50	3,50	15,8	5,3	9790	1203	50	8250	2750	518	173	350	420
5L2	180	40 30 40 30 40	20,1	6,93	2,50	0,40	1,21	0,62	16,0	8,00	0,67	9,33	4,67	14,0	7,0	9230	1765	50	7330	3660	460	230	350	420
	200	40 40 40 40 40	19,0	8,32	2,50	0,40	1,24	0,65	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	8710	2288	50	6600	4400	414	276	350	420
	160	60 40 60	23,6	1,50	2,50	0,40	1,05	0,63	18,0	6,00	0,50	10,50	3,50	15,8	5,3	10820	172	50	8250	2750	518	173	350	420
7	180	70 40 70	23,7	1,19	2,50	0,40	1,04	0,56	18,7	5,33	0,44	10,89	3,11	16,3	4,7	10870	121	50	8550	2440	537	153	350	420
	200	80 40 80	23,8	0,96	2,50	0,40	1,03	0,50	19,2	4,80	0,40	11,20	2,80	16,8	4,2	10910	88	50	8800	2200	552	138	350	420
	180	30 30 20 20 20 30 30	17,7	9,38	2,50	0,40	1,13	0,78	13,3	10,67	0,89	7,78	6,22	11,7	9,3	8130	2867	50	6110	4880	383	307	350	420
	200	20 40 20 40 20 40 20	13,1	13,68	2,50	0,40	1,13	0,95	9,6	14,40	0,80	5,60	8,40	8,4	12,6	5980	5016	50	4400	6600	276	414	350	420
	220	30 30 30 40 30 30 30	16,9	9,79	2,50	0,40	1,09	0,92	13,1	10,91	0,91	7,64	6,36	11,5	9,5	7730	3264	50	6000	5000	376	314	350	420
	240	40 30 30 40 30 30 40	18,5	8,23	2,50	0,40	1,10	0,84	14,0	10,00	0,83	8,17	5,83	12,3	8,8	8480	2514	50	6410	4580	403	288	350	420
7L2	260	40 40 30 40 30 40 40	17,3	9,66	2,50	0,40	1,12	0,84	12,9	11,08	0,92	7,54	6,46	11,3	9,7	7930	3064	50	5920	5070	372	318	350	420
	280	40 40 40 40 40 40 40	17,1	9,70	2,50	0,40	1,09	0,88	13,7	10,29	0,86	8,00	6,00	12,0	9,0	7820	3175	50	6280	4710	394	296	350	420
	220	60 30 40 30 60	21,9	4,64	2,50	0,40	1,15	0,51	17,5	6,55	0,55	10,18	3,82	15,3	5,7	10030	967	50	8000	3000	502	188	350	420
	240	80 20 40 20 80	23,2	2,33	2,50	0,40	1,09	0,39	20,0	4,00	0,33	11,67	2,33	17,5	3,5	10640	356	50	9160	1830	575	115	350	420
8L2	260	80 30 40 30 80	22,7	3,32	2,50	0,40	1,11	0,43	18,5	5,54	0,46	10,77	3,23	16,2	4,8	10410	586	50	8460	2530	531	159	350	420
	280	80 40 40 40 80	22,2	4,24	2,50	0,40	1,13	0,46	17,1	6,86	0,57	10,00	4,00	15,0	6,0	10160	834	50	7850	3140	493	197	350	420
9	300	80 30 80 30 80	22,0	4,25	2,50	0,40	1,17	0,56	19,2	4,80	0,40	11,20	2,80	16,8	4,2	10090	909	50	8800	2200	552	138	350	420
	320	80 40 80 40 80	21,4	5,25	2,50	0,40	1,19	0,58	18,0	6,00	0,50	10,50	3,50	15,8	5,3	9790	1203	50	8250	2750	518	173	350	420
	300	40 30 30 30 40 30 30 30 40	17,3	9,15	2,50	0,40	1,14	1,10	14,4	9,60	0,80	8,40	5,60	12,6	8,4	7940	3077	50	6600	4400	414	276	350	420
	320	40 30 40 30 40 30 40 30 40	17,5	8,78	2,50	0,40	1,11	1,12	15,0	9,00	0,75	8,75	5,25	13,1	7,9	8000	3019	50	6870	4120	431	259	350	420
9	340	40 40 30 40 40 30 40 40 40	16,3	10,18	2,50	0,40	1,11	1,06	14,1	9,88	0,82	8,24	5,76	12,4	8,6	7450	3567	50	6470	4520	406	284	350	420
	360	40 40 40 40 40 40 40 40 40	16,0	10,37	2,50	0,40	1,12	1,13	13,3	10,67	0,89	7,78	6,22	11,7	9,3	7310	3697	50	6110	4880	383	307	350	420

Note: Les propriétés sont calculées sur la base des propriétés mécaniques de l'Epicéa avec E_{mean} = 11000 N/mm² et E_ymean = 11000 N/mm²

Figure 11 : Coupe verticale - Appui de mur isolé en local sec sur support béton avec bardage ventilé



La chape et le revêtement de sol représentés ne sont pas visés par l'avis technique HEXAPLI

Figure 12 : Coupe verticale - Appui de mur isolé en local sec sur support béton avec enduit sur ITE

La chape et le revêtement de sol représentés ne sont pas visés par l'avis technique HEXAPLI

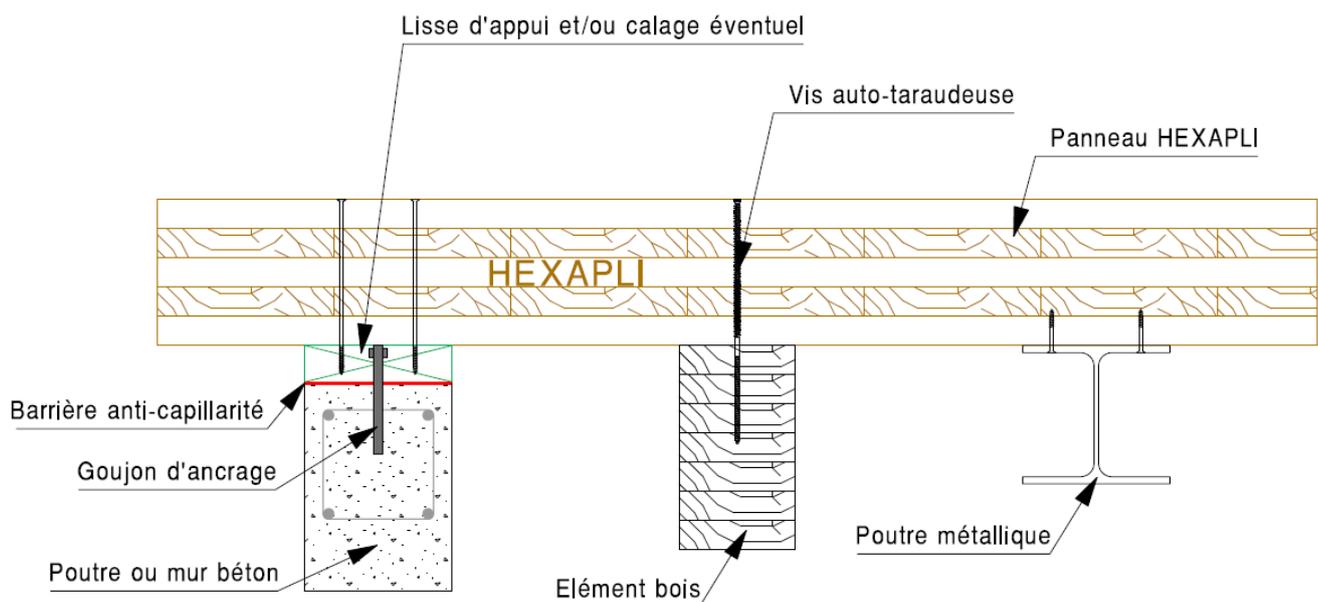
Figure 13 : Appuis usuels sur support béton, bois ou métallique

Figure 14 : Coupe horizontale sur angle de murs extérieurs

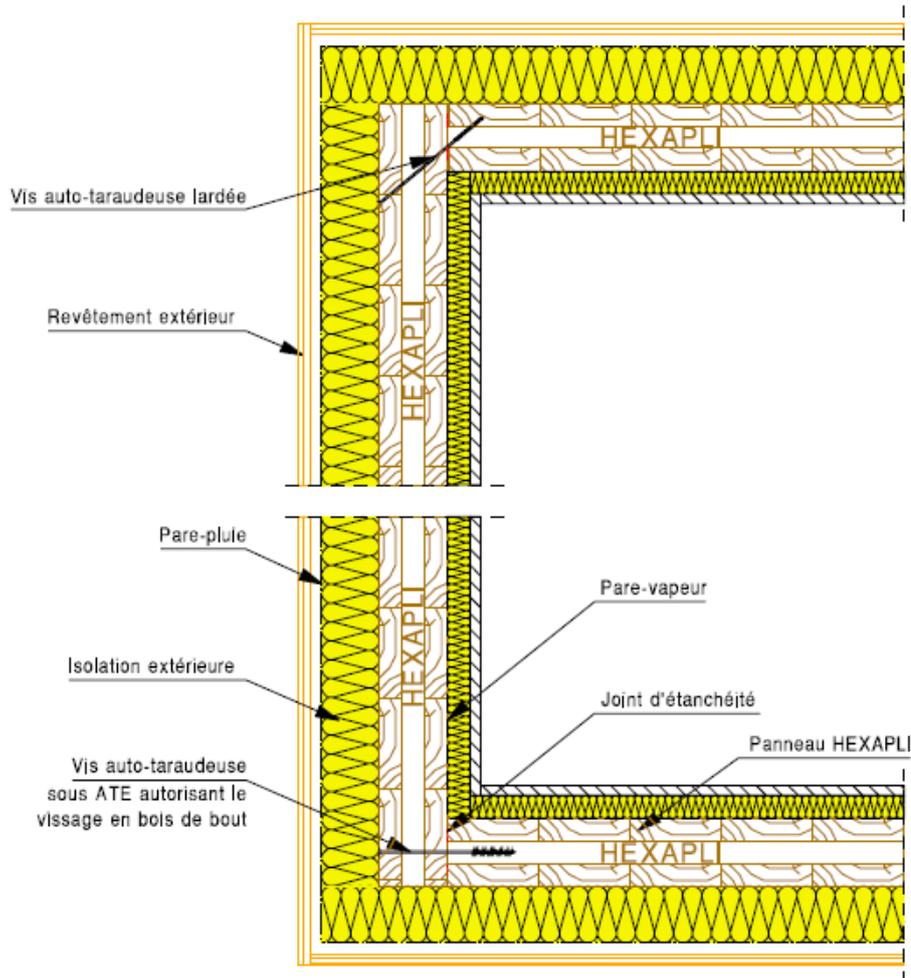


Figure 15 : Coupe horizontale sur liaison mur extérieur/mur de refend

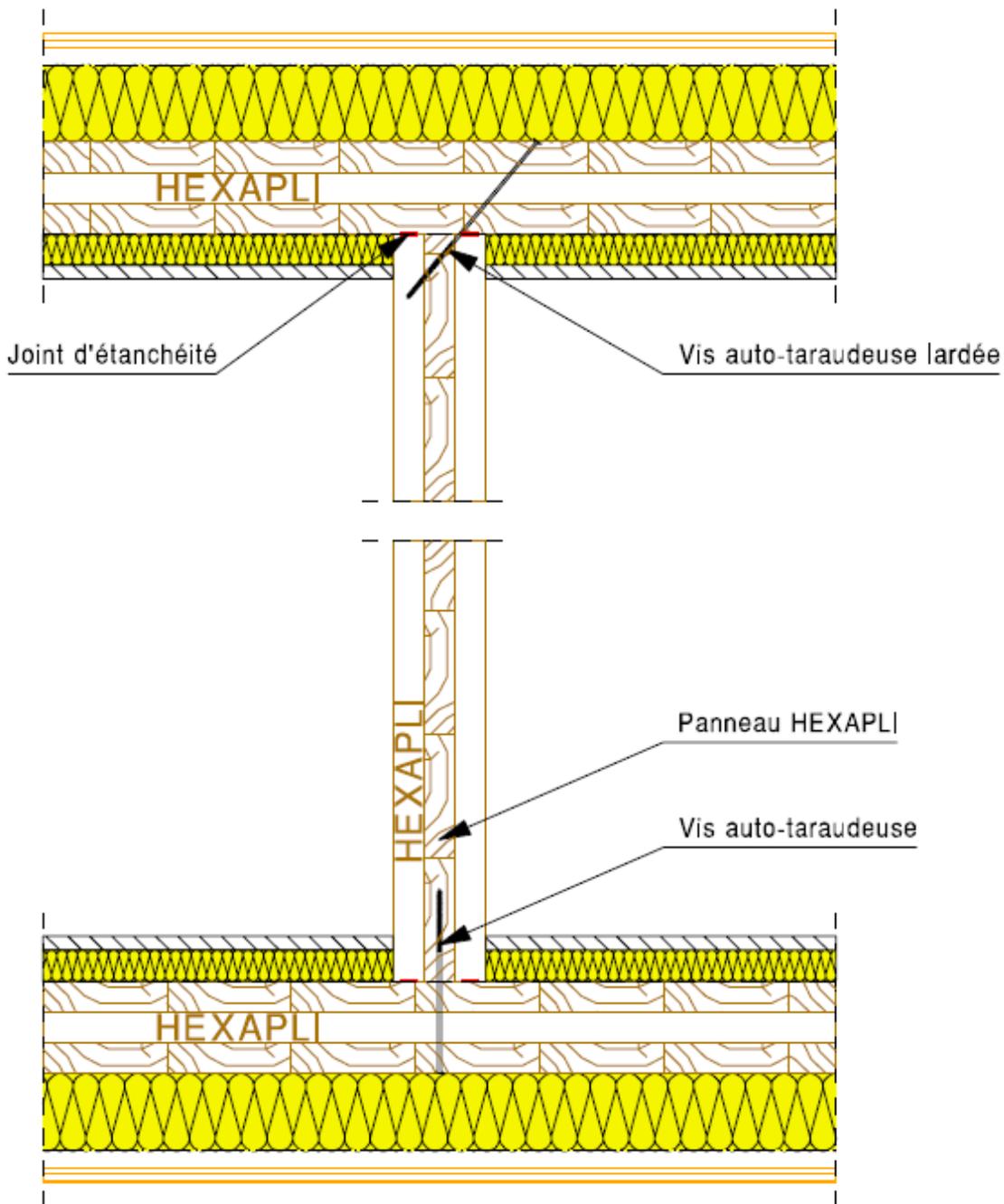


Figure 16 : Coupe verticale appuis de plancher sur mur filant

(appui sur cornière métallique à droite et sur muralière à gauche)

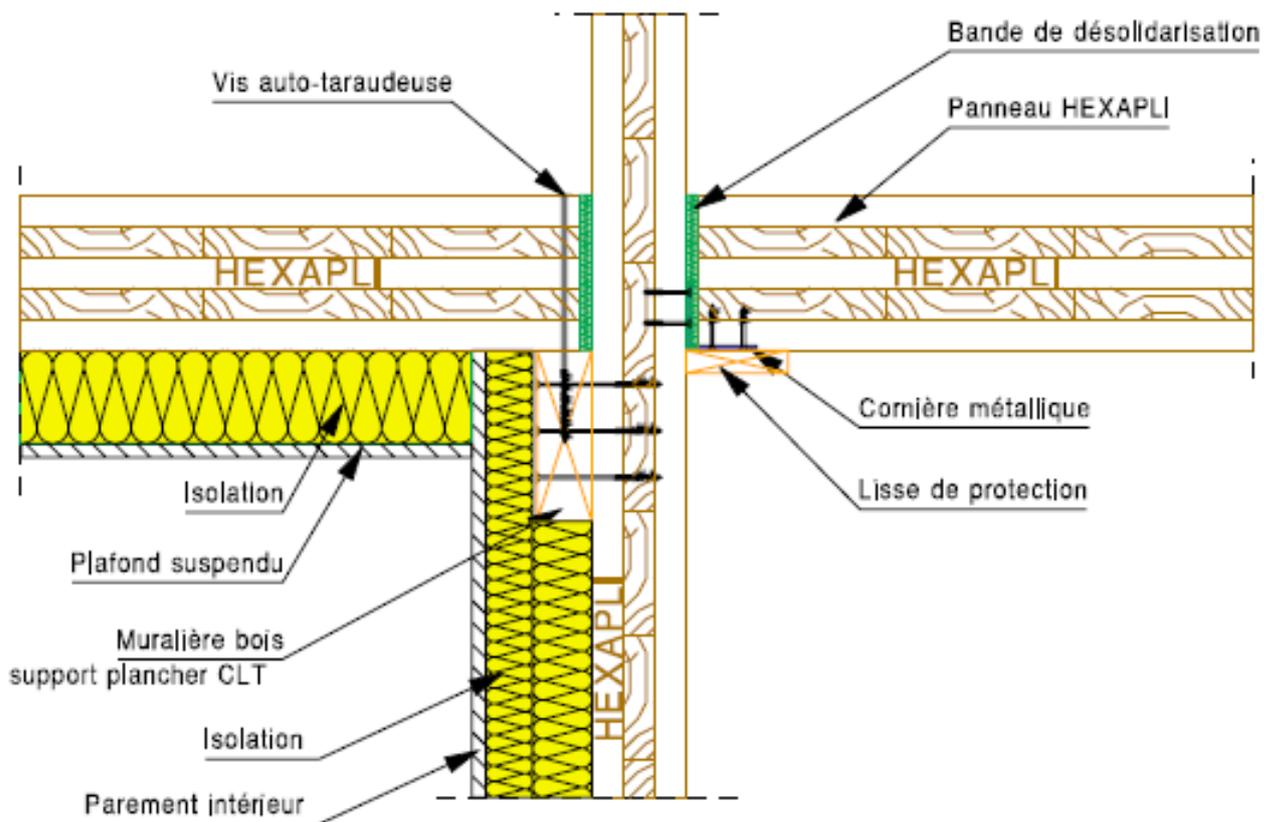
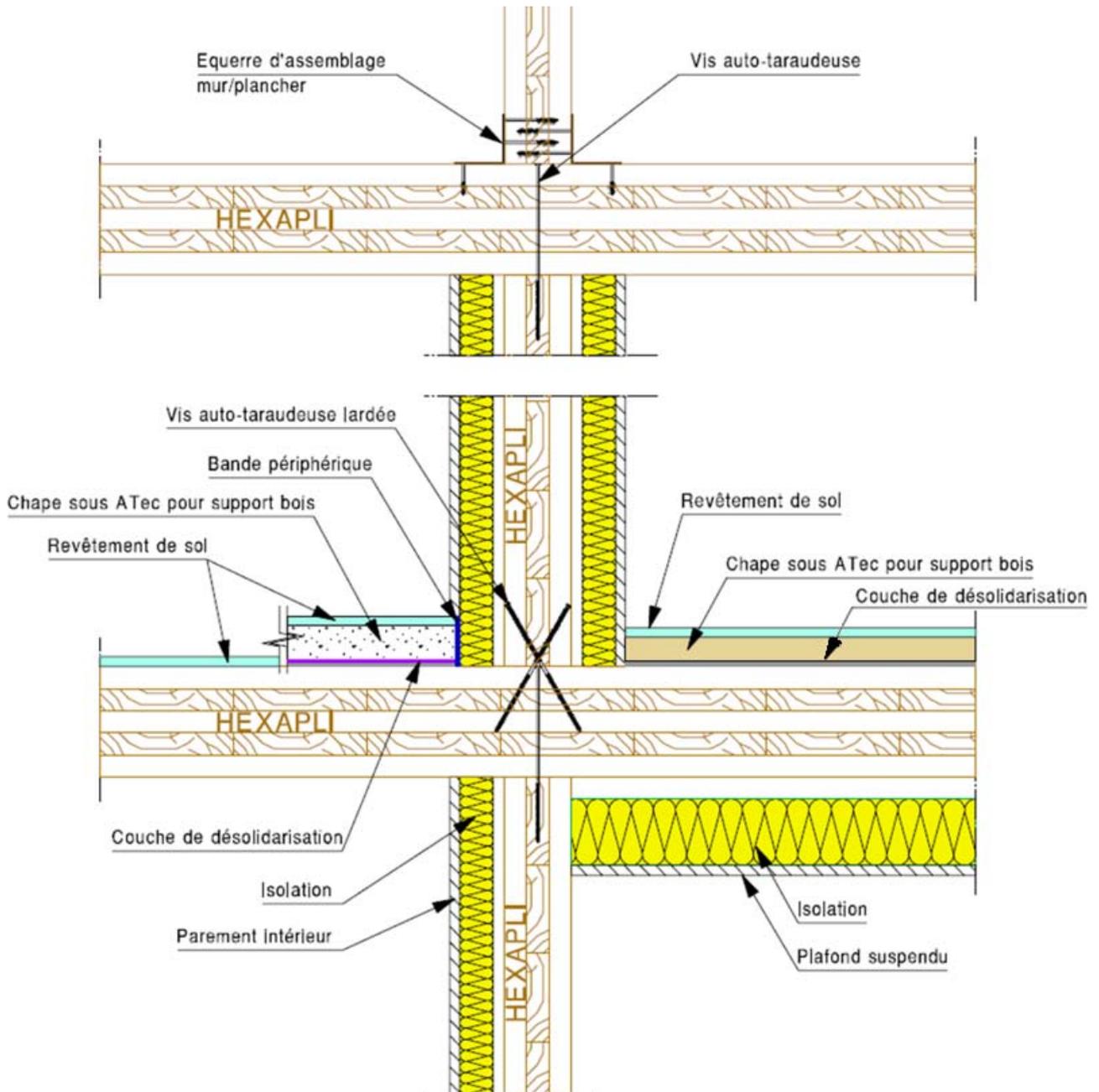
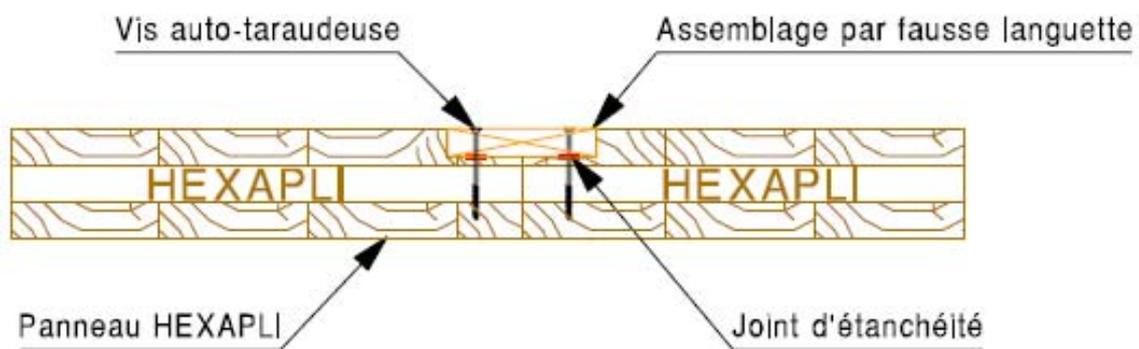


Figure 17 : Coupe verticale - appui de plancher filant sur mur CLT en local sec

La chape et le revêtement de sol représentés ne sont pas visés par l'avis technique HEXAPLI

Figure 18 : Coupe horizontale sur jonction de murs

NB: La fausse-languette peut également être mise en oeuvre sur les panneaux sans feuillure

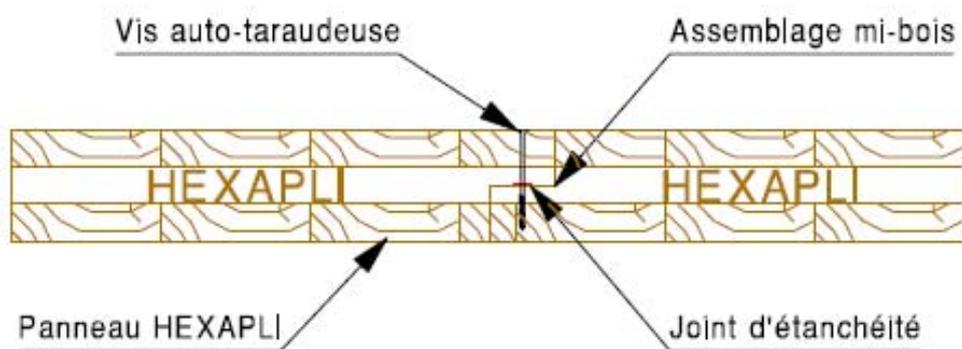
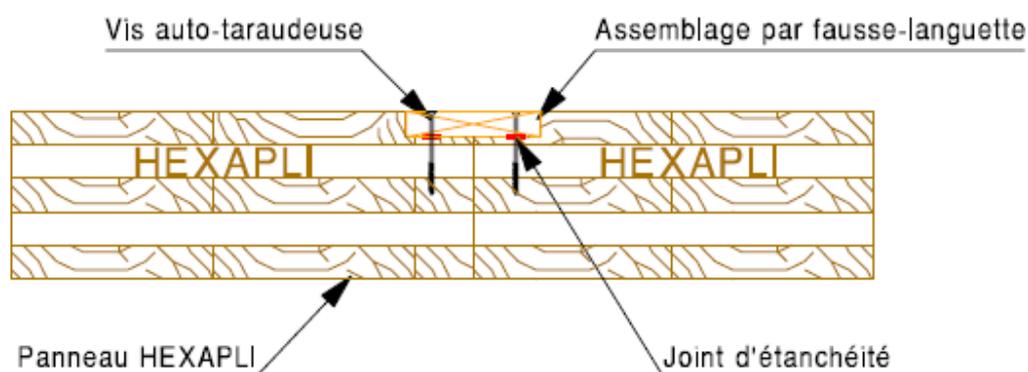
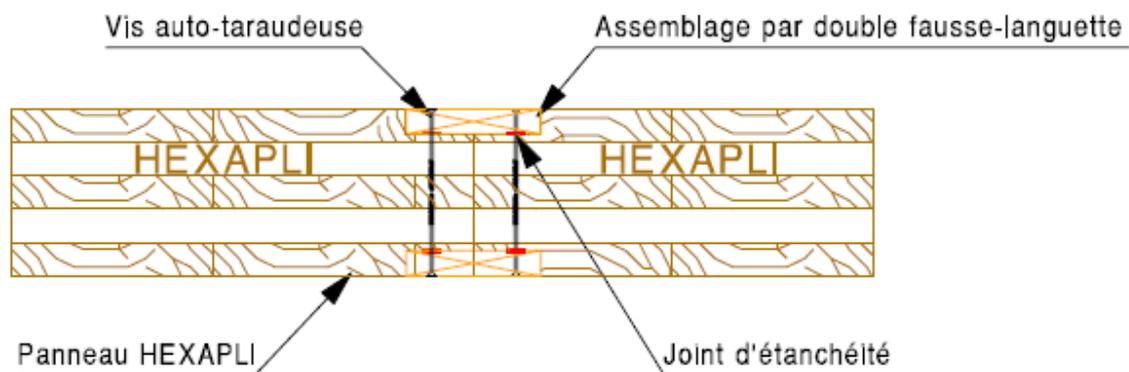


Figure 19 : Coupe verticale sur jonction de planchers



NB: La fausse-langnette peut également être mise en oeuvre sur les panneaux sans feuillure

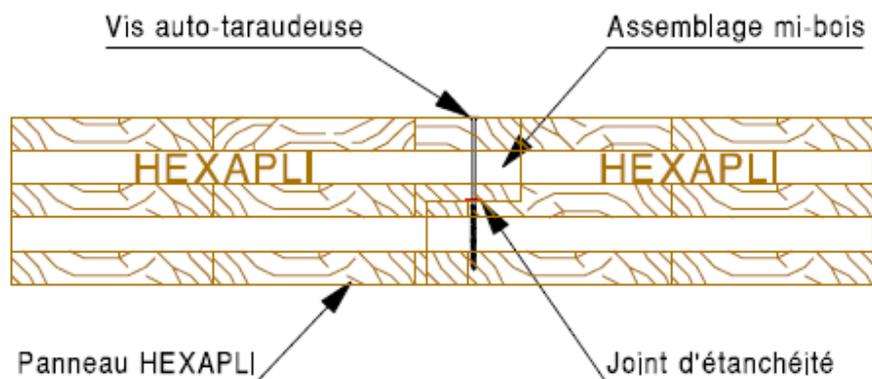


Figure 20 : Détail d'intégration des menuiseries extérieures – Pose en applique intérieure

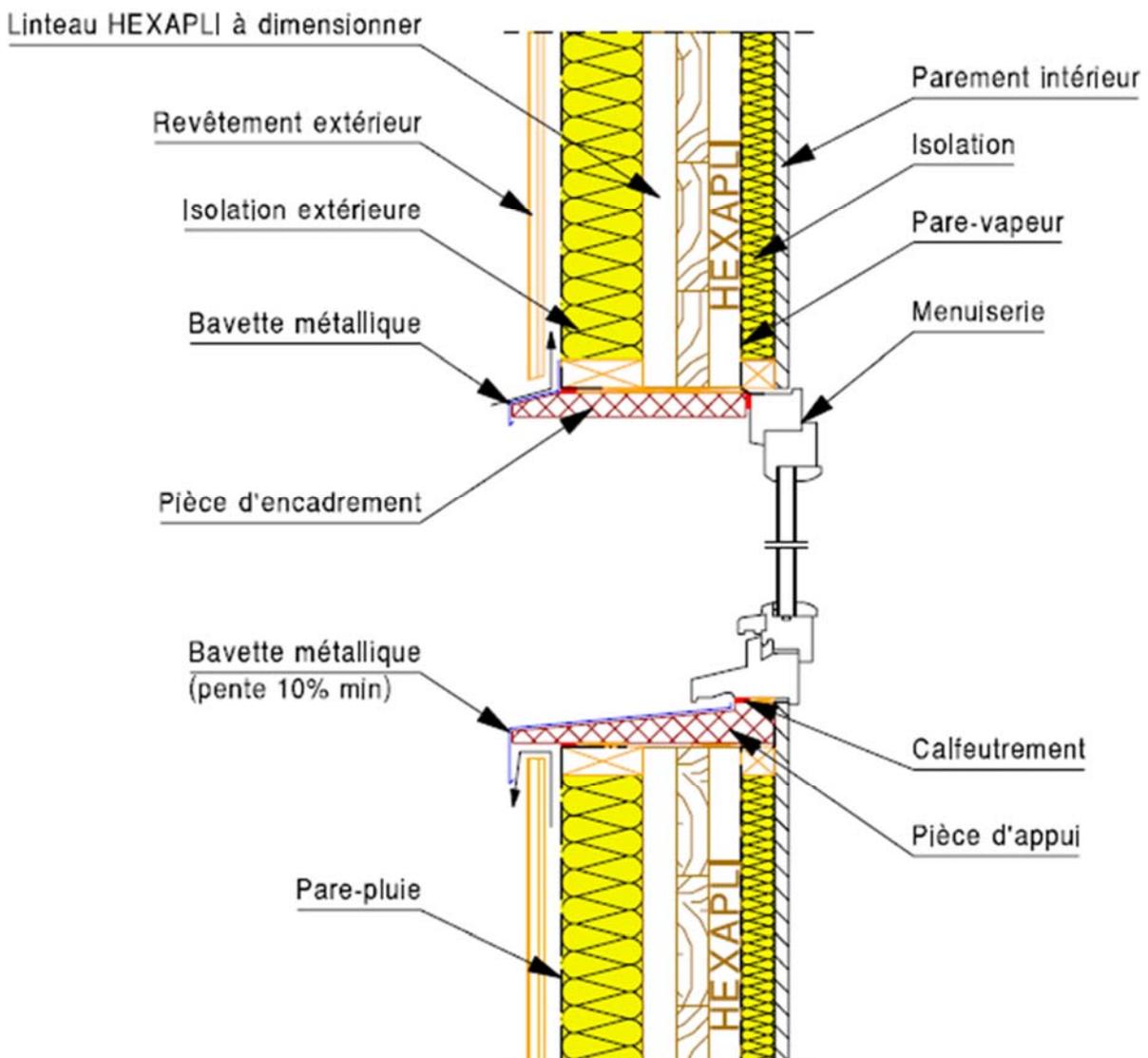
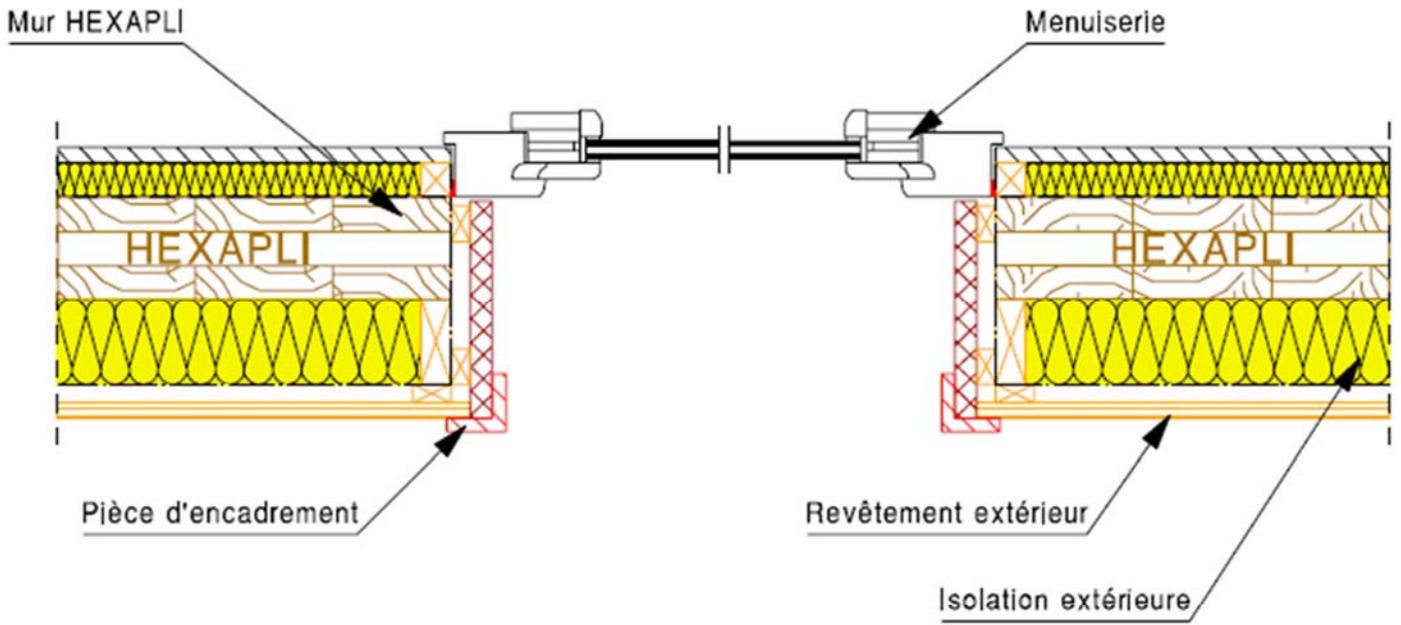
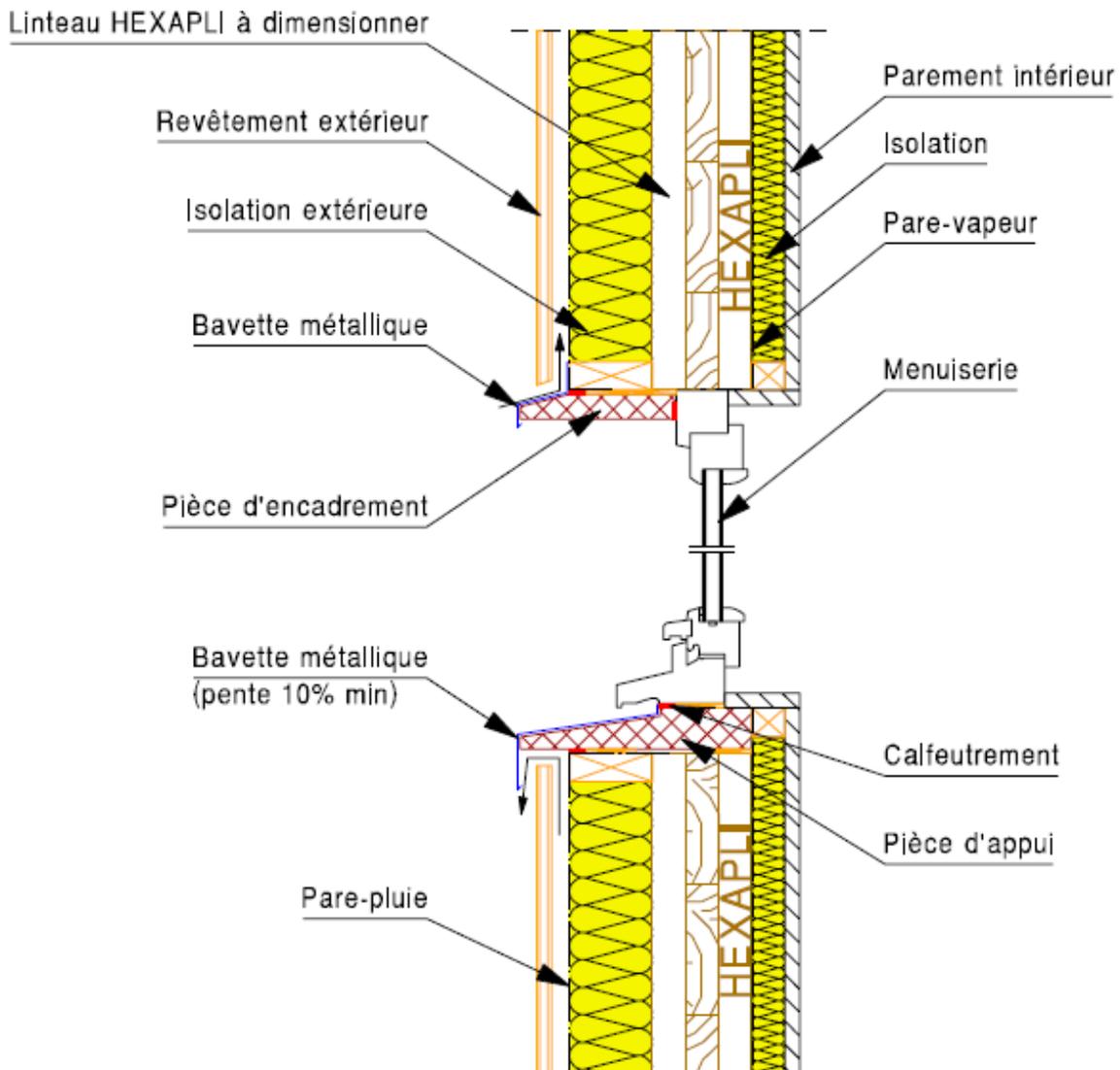
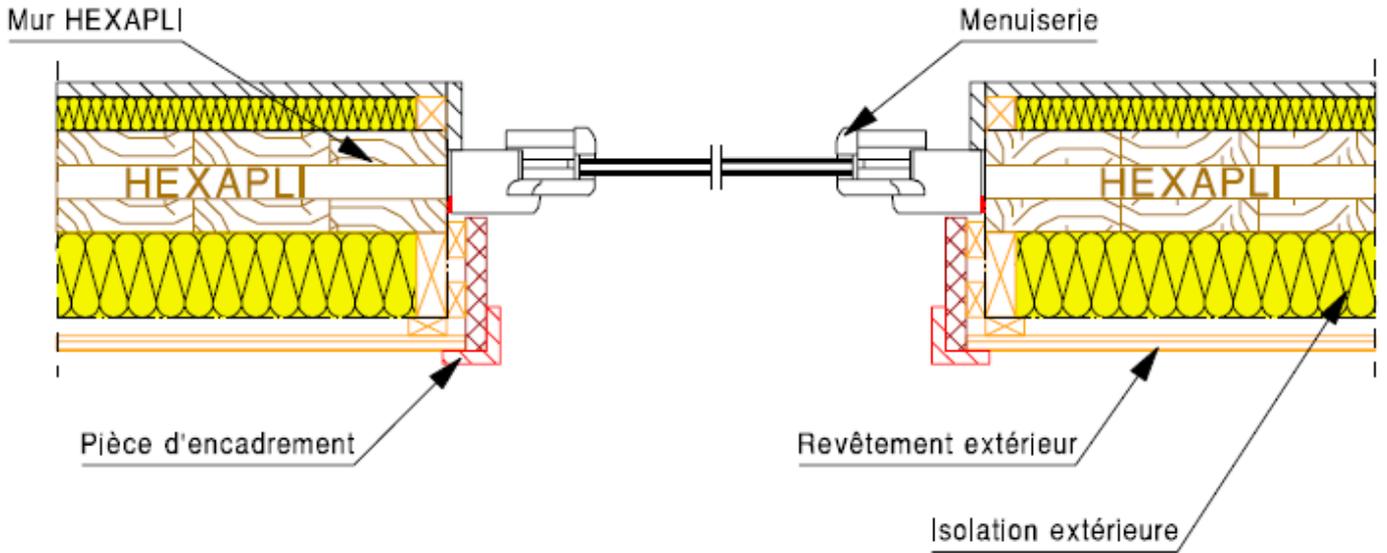


Figure 21 : Détail d'intégration des menuiseries extérieures – Pose en tunnel



2.24. Annexes du Dossier Technique

ANNEXE A Utilisation en support d'étanchéité

A1 DOMAINE D'EMPLOI

A1.1 Bâtiments/locaux

Les panneaux HEXAPLI sont utilisés comme élément porteur pouvant être support d'étanchéité de toiture terrasse, conformément au e-Cahier du CSTB 3814, en travaux neufs en bâtiments situés en France européenne (hors DROM), en climat de plaine ou de montagne. Des dispositions spécifiques s'appliquent en climat de montagne, il est nécessaire de se référer au paragraphe A8.

Les bâtiments sont :

- Soit avec locaux sous-jacents non chauffés ouverts sur l'extérieur, en association avec une toiture froide non isolée et une étanchéité sous protection lourde (hors terrasses accessibles aux piétons) ;
- Soit avec locaux sous-jacents chauffés, à faible et moyenne hygrométrie (rapport $W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$, où W est la quantité de vapeur produite à l'intérieur du local par heure en g/m^3 et n le taux de renouvellement de l'air), en association avec une toiture chaude isolée (isolant support d'étanchéité ou isolation inversée).

A1.2 Accessibilité de la toiture (cf. tableaux A1 à A3)

Sont visées les toitures :

- Inaccessibles avec chemins de circulation éventuels (pente $\leq 50 \%$), sans rétention temporaire des eaux pluviales ;
- Inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique (pente $\leq 50 \%$) ;
- Techniques et à zones techniques, sans chemin de roulement des appareils d'entretien de façades (pente $\leq 7 \%$ en systèmes apparents et $\leq 5 \%$ sous protection lourde) ;
- Végétalisées (pente $\leq 20 \%$).

Les toitures accessibles aux piétons et au séjour associées à une protection par dalles sur plots (pente $\leq 5 \%$) sont uniquement visées sur les configurations de toitures chaudes isolées (hors isolation inversée).

A2 CONCEPTION EN PANNEAUX HEXAPLI

A2.1 Conception

Les panneaux HEXAPLI peuvent être mis en œuvre de deux manières, illustrées en Figure A1 :

- Soit en pose dite « chevron » sur deux appuis ou plus avec porte à faux éventuel. Le panneau est placé dans le plan de toiture avec sa plus grande dimension perpendiculaire au faitage. Il repose sur des pannes (faitière, sablière et appuis intermédiaires éventuels tels que des pannes ou des murs) ;
- Soit en pose dite « panne » sur deux appuis ou plus avec porte à faux éventuel. Le panneau est placé dans le plan de toiture avec sa plus grande dimension parallèle au faitage et repose sur des arbalétriers, des pignons ou des murs avec des appuis intermédiaires éventuels.

Les panneaux HEXAPLI sont assemblés entre eux conformément aux dispositions du dossier technique.

A2.2 Pente des panneaux HEXAPLI

En toitures terrasses végétalisées (TTV), la pente assurée par l'élément HEXAPLI seul est comprise entre 3 et 20 % dans tous les cas.

Pour les toitures inaccessibles, techniques ou accessibles aux piétons et au séjour, la pente minimale assurée par l'élément HEXAPLI seul dépend de la limite de déformation choisie :

- $\geq 3 \%$, lorsque les panneaux sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final $w_{\text{net,fin}}$ dû à toutes les charges, limité au $1/250^{\text{ème}}$ de la portée ;
- $\geq 1,8 \%$, lorsque les panneaux sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final $w_{\text{net,fin}}$ dû à toutes les charges, limité au $1/400^{\text{ème}}$ de la portée (hors toitures terrasses végétalisées) ;
- $\geq 1,6 \%$, lorsque les panneaux sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final $w_{\text{net,fin}}$ dû à toutes les charges, limité au $1/500^{\text{ème}}$ de la portée (hors toitures terrasses végétalisées).

Les déformations sont calculées en tenant compte du fluage au travers du coefficient k_{def} défini dans le dossier technique.

Il convient de vérifier la déformation de la structure porteuse des panneaux HEXAPLI et de justifier que sa déformation est compatible avec les exigences de déformations détaillées ci-dessus.

A2.3 Dimensionnement

Le dimensionnement des panneaux HEXAPLI est réalisé conformément au dossier technique.

Il convient de prendre en compte l'effort de vent agissant sur la toiture, 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) pour réaliser le dimensionnement des panneaux HEXAPLI.

La conception de l'ouvrage de toiture-terrasse doit prendre en compte que les panneaux HEXAPLI reprennent en phase provisoire les actions dues au poids des matériaux nécessaires aux travaux d'étanchéité à stocker sur la toiture (charge d'exploitation établies selon l'Eurocode 5).

Les panneaux HEXAPLI peuvent comporter des réservations nécessaires au système d'étanchéité (lanterneaux ponctuels ou filants (bandes éclairantes ou voûtes d'éclairage) ; sorties de crosse ; pénétrations diverses et variées ; entrées d'eaux pluviales (EEP)). Ces percements et ouvertures dans les panneaux HEXAPLI doivent être justifiés mécaniquement conformément au dossier technique.

Il est par ailleurs nécessaire de justifier la reprise des efforts engendrés dans le cas d'éléments rapportés :

- Soit seuls les panneaux HEXAPLI reprennent les efforts, il est alors nécessaire de se référer au dossier technique ;
- Soit des moyens de renforts structuraux sont utilisés pour réaliser un chevêtre porteur.

A2.4 Complexe d'étanchéité

Le complexe d'étanchéité est dimensionné selon son Avis Technique ou Document Technique d'Application en tenant compte de l'effort de vent extrême au sens des NV65 modifiées.

Dans le cas de revêtements d'étanchéité ou d'isolants fixés mécaniquement, le panneau HEXAPLI est considéré comme un support en bois massif d'épaisseur équivalente, la résistance caractéristique des attelages de fixation mécanique de l'isolation support et/ou du revêtement d'étanchéité reste égale à celle obtenue selon la norme NF P 30-313 (Pk) dans du bois massif.

A3 COMPOSANTS DU COMPLEXE

A3.1 Pare-vapeur

Conformément au e-Cahier du CSTB 3814, la fonction pare-vapeur est réalisée comme suit :

A3.1.1 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées – hors cas de l'isolation inversée

En toitures inaccessibles, techniques et végétalisées, le pare-vapeur est constitué d'une feuille bitumineuse conformément aux Avis Techniques/DTA de revêtements d'étanchéité dont le domaine d'emploi inclut les éléments porteurs en bois ou les panneaux à base de bois. La mise en œuvre est effectuée conformément à ce document.

L'écran pare-vapeur bitumineux est placé sur les panneaux HEXAPLI et sous l'isolation thermique support d'étanchéité (aucun film assurant une fonction pare-vapeur ne doit être placé côté intérieur de la paroi).

L'écran pare-vapeur ne peut être considéré comme un revêtement d'étanchéité, ni comme une mise hors d'eau provisoire. Sa pose doit normalement précéder immédiatement la mise en œuvre des panneaux isolants.

A3.1.2 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées – cas de l'isolation inversée

Dans le cas de l'isolation inversée, le revêtement d'étanchéité disposé sur les panneaux HEXAPLI va assurer la fonction pare-vapeur. Il convient de tenir compte des caractéristiques thermiques des éléments placés côté intérieur sous le revêtement d'étanchéité pour valider leur impact conformément aux règles énoncées dans le paragraphe sur le positionnement du pare-vapeur ci-dessous.

A3.1.3 Toitures accessibles aux piétons et au séjour

En toitures accessibles aux piétons et au séjour avec protection par dalles sur plots, une couche de protection composée d'un revêtement d'étanchéité mono ou bicouche en bitume modifié est rapportée en surface du panneau HEXAPLI et fait office de pare-vapeur. Il convient de vérifier la règle de positionnement du pare-vapeur énoncée ci-dessous pour ce revêtement d'étanchéité.

A3.1.4 Positionnement du pare-vapeur

Il convient de vérifier, en climat de plaine et en zones non froides, la règle du 1/3 - 2/3 (1/3 maximum de résistance thermique avant le pare-vapeur (en dessous) ; 2/3 minimum de résistance thermique après le pare-vapeur (au-dessus)), en tenant compte des caractéristiques thermiques des éléments placés côté intérieur, sous l'écran pare-vapeur (panneaux structuraux, isolants acoustiques, habillage ou faux-plafond) et, en zones très froides et en climat de montagne (cf. § A8), la règle du 1/4 - 3/4 (1/4 maximum de résistance thermique avant le pare-vapeur (en dessous) ; 3/4 minimum de résistance thermique après le pare-vapeur (au-dessus)), en tenant compte des caractéristiques thermiques des éléments placés côté intérieur, sous l'écran pare-vapeur (panneaux structuraux, isolants acoustiques, habillage ou faux-plafond).

La valeur de lambda indiquée dans le dossier technique est utilisée pour calculer la résistance thermique des panneaux HEXAPLI. La résistance thermique des panneaux isolants support d'étanchéité est donnée par leur Avis Technique ou Document Technique d'Application. La résistance thermique des isolants placés en plafond suspendu est donnée pour l'épaisseur donnée dans le certificat ACERMI de l'isolant. A défaut de certificat ACERMI, il y aura lieu de se reporter aux Règles Th-U.

A3.2 Isolation

A3.2.1 Isolants supports d'étanchéité

Les panneaux isolants support d'étanchéité sont placés sur le pare-vapeur, lui-même appliqué sur les panneaux structuraux.

L'isolation support d'étanchéité peut être composée de :

- Panneau en laine de verre (MWG) non porteur support d'étanchéité (toitures inaccessibles uniquement) ;
- Panneau en laine de roche (MWR) non porteur support d'étanchéité (de classe B en toitures inaccessibles et de classe C en toitures techniques et végétalisées) ;

- Panneau en perlite expansée (EPB) non porteur support d'étanchéité ;
 - Panneau en polyuréthane ou polyisocyanurate (PUR/PIR) parementé support d'étanchéité ;
 - Panneau en polystyrène expansé (EPS) non porteur support d'étanchéité ;
 - Panneau en verre cellulaire (CG) non porteur support d'étanchéité
- bénéficiant d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant leur emploi sur élément porteur en bois ou sur panneaux à base de bois et pour la destination de toiture envisagée.

A3.2.2 Isolation inversée

L'isolation inversée est composée de panneaux en polystyrène extrudé (XPS) bénéficiant d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant leur emploi sur élément porteur en bois ou panneaux à base de bois, sous protection lourde (terrasses inaccessibles ou à zones techniques) et/ou sous végétalisation.

A3.3 Habillage ou plafond suspendu

La sous-face des panneaux HEXAPLI peut rester visible ou recevoir un habillage ou un plafond suspendu avec une isolation acoustique éventuelle. La résistance thermique de ces éléments doit être évaluée pour respecter les prescriptions énoncées pour le positionnement du pare-vapeur dans le paragraphe A3.1.4.

A3.4 Revêtement d'étanchéité

Le revêtement d'étanchéité consiste en une membrane bitumineuse ou synthétique bénéficiant d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant son emploi sur élément porteur en bois ou panneaux à base de bois :

- En apparent (revêtement d'étanchéité autoprotégé) ;
- Sous protection lourde (protections lourdes par granulats, dalles posées à sec, massifs en béton démontables pour zones techniques ou dalles sur plots conformément à la norme NF DTU 43.1) ;
- Sous végétalisation.

La réalisation du revêtement d'étanchéité doit se faire conformément à son Avis Technique ou à son Document Technique d'Application.

Les différents revêtements d'étanchéité admis sont détaillés en fonction de la destination et de la conception du complexe d'étanchéité dans les paragraphes A4 et A5.

A3.5 Végétalisation

Le procédé de végétalisation fait l'objet d'un Avis Technique/DTA visant son emploi sur élément porteur en bois ou panneaux à base de bois.

La réalisation de toiture-terrace végétalisée doit se faire conformément à l'Avis Technique/DTA (prise en compte de la charge de sécurité forfaitaire de 15 daN/m² définie par les Règles Professionnelles Toitures Terrasses et toitures végétalisées Edition n°3 de mai 2018) sans toutefois qu'il soit nécessaire de prendre en compte la surcharge de 85 daN/m², dès lors que :

- Le dimensionnement des panneaux HEXAPLI supports du complexe d'étanchéité est réalisé en considérant une charge permanente de végétalisation à capacité maximale en eau, indiquée dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation ;
- La vérification des déformations des panneaux HEXAPLI prend en compte leur fluage.

A3.6 Equipements techniques

Les équipements techniques peuvent être :

- Soit raccordés à la charpente du bâtiment conformément à la norme NF DTU 43.4 ;
- Soit positionnés sur des massifs en béton posés sur le revêtement d'étanchéité.

On s'assurera de la stabilité effective de ces massifs sous vent ascendant s'appliquant à l'équipement permanent. Afin de pouvoir effectuer les opérations d'entretien de la toiture et les éventuelles réfections, il est nécessaire de prévoir une hauteur minimale, h, entre le bas des équipements et la protection du revêtement d'étanchéité des parties courantes. Si les équipements sont fixes, cette hauteur est fonction de la longueur L d'encombrement horizontal de ces équipements :

- Si $L \leq 1,20$ m, $h = 0,40$ m ;
- Si $L > 1,20$ m, $h = 0,80$ m.

Si les équipements peuvent être démontés lors de la réfection, cette hauteur peut être ramenée à 0,30 m.

L'équipement est solidarisé à un ou plusieurs massifs en béton posés sur le revêtement d'étanchéité ou sa protection. Ce cas n'est possible que si chaque massif est transportable et l'équipement démontable, sans recours à des engins de levage (Est considéré comme transportable un massif de 90 kg maximum déplaçable par deux personnes. Est considéré comme démontable un équipement pouvant être démonté en éléments n'excédant pas chacun 90 kg.). De plus, l'implantation des massifs ne doit pas gêner l'écoulement des eaux de pluie. Chaque massif repose sur un matériau résilient adapté (polystyrène expansé ou polystyrène extrudé).

Il doit être dimensionné de la façon suivante :

- Sa plus petite dimension d'appui n'est pas inférieure à 0,40 m ;
- La pression au niveau du revêtement d'étanchéité est limitée dans les conditions ci-dessous.

A3.6.1 Revêtement d'étanchéité en pose directe sur panneaux HEXAPLI

Type de revêtement d'étanchéité	Pression admissible sous charge statique
Bicouche SBS modifié classé I2	60 kPa
Bicouche SBS modifié classé I3	120 kPa
Bicouche SBS modifié classé I4	200 kPa
Pour les autres revêtements bicouches APP, monocouches bitume, monocouches synthétiques et mixtes sous asphalte, la pression admissible est mentionnée dans l'Avis Technique ou le DTA du procédé	

Dans le cas d'un revêtement sous isolation inversée, la pression admissible est la plus petite des deux valeurs entre celle indiquée dans le tableau ci-dessus et celle indiquée dans le Document Technique d'Application du panneau isolant.

A3.6.2 Revêtement d'étanchéité en pose sur panneaux isolants

La pression admissible est la plus petite des deux valeurs suivantes :

- Celle indiquée dans le tableau ci-dessus ;
- Celle indiquée pour cette utilisation dans les documents d'application des panneaux isolants supports d'étanchéité.

La pression admissible est à comparer avec la somme non pondérée des contraintes appliquées, spécifiques à l'ouvrage, déterminées à partir de la norme NF P 06-001 et des Règles NV65 modifiées.

A4 CONFIGURATIONS DE TOITURES FROIDES VENTILEES NON ISOLEES

Les configurations de toitures froides ventilées non isolées ne sont admises que pour les ouvrages ouverts sur l'extérieur et non chauffés. Les panneaux HEXAPLI constituent le support direct du revêtement d'étanchéité et leur sous-face est en contact avec l'air extérieur. Le recours à un parement en sous-face des panneaux HEXAPLI est proscrit dans cette configuration pour assurer la bonne ventilation de la sous face des panneaux.

A4.1 Composition du complexe

Le complexe de l'intérieur vers l'extérieur est constitué ainsi :

- Panneau HEXAPLI ;
- Revêtement d'étanchéité ;
- Protection du revêtement d'étanchéité.

A4.2 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées

En toitures inaccessibles, techniques et végétalisées, le procédé d'étanchéité sous protection lourde doit être composé soit d'un :

- Revêtement d'étanchéité de toitures à base d'asphalte ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures à base d'asphalte et feuille en bitume modifié ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures en monocouche ou en bicouche à base de bitume modifié ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures en monocouche à base de membrane synthétique,

bénéficiant d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant son emploi sur support bois pour la destination de toiture (sous protection lourde ou sous végétalisée).

Des exemples de conceptions sont donnés des Figures A20 à A24.

A4.3 Toitures accessibles aux piétons et au séjour avec protection par dalles sur plots

Les toitures accessibles aux piétons et au séjour avec protection par dalles sur plots ne sont pas visées en configuration de toiture froide non isolée.

A5 CONFIGURATIONS DE TOITURES CHAUDES ISOLEES SUR BATIMENTS CHAUFFES

En toiture chaude isolée, les panneaux HEXAPLI reçoivent un écran pare-vapeur, une isolation rapportée (isolant support d'étanchéité ou isolation inversée), un revêtement d'étanchéité et sa protection lourde ou autoprotection. L'ensemble constitue la séparation entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur.

Les locaux sous-jacents sont chauffés, à faible et moyenne hygrométrie (rapport $W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$, où W est la quantité de vapeur produite à l'intérieur du local par heure en g/m^3 et n le taux de renouvellement de l'air).

Les solutions sont composées de produits visés par un Avis Technique formulé par le GS 5.2 pour l'emploi sur élément porteur en bois, que ce soit le film pare-vapeur, l'isolant, la membrane pare-vapeur ou la protection.

A5.1 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées - isolation support d'étanchéité

Le complexe de l'intérieur vers l'extérieur est constitué ainsi :

- Parement éventuel et isolation éventuelle en sous-face de panneau HEXAPLI ;
- Panneau HEXAPLI ;
- Pare-vapeur ;
- Isolant support d'étanchéité ;
- Revêtement d'étanchéité ;
- Protection éventuelle du revêtement d'étanchéité.

Il convient de se référer au paragraphe A3.1 pour le positionnement du pare-vapeur.

Des exemples de conceptions sont donnés des Figures A6 à A16 et des figures A25 à A28.

En toitures inaccessibles, techniques et végétalisées, le procédé d'étanchéité est composé soit d'un :

- Revêtement d'étanchéité de toitures à base d'asphalte ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures à base d'asphalte et feuille en bitume modifié ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures en monocouche ou en bicouche à base de bitume modifié ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures en monocouche à base de membrane synthétique.

Bénéficiant d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant son emploi sur élément porteur en bois ou panneaux à base de bois pour la destination de toiture (apparente, sous protection lourde ou végétalisée).

A5.2 Toitures inaccessibles, techniques et végétalisées - isolation inversée

En isolation inversée, l'isolation thermique est placée sur le revêtement d'étanchéité.

En fonction du procédé utilisé, une couche de séparation peut être mise en œuvre entre l'isolant et la couche de protection.

L'isolation inversée est impérativement mise en œuvre à l'avancement de l'étanchéité pour la protéger en phase travaux.

Le complexe de l'intérieur vers l'extérieur est constitué ainsi :

- Parement éventuel et isolation éventuelle en sous-face de panneau HEXAPLI ;
- Panneau HEXAPLI ;
- Revêtement d'étanchéité ;
- Isolant thermique inversée en panneaux en polystyrène extrudé (XPS) ;
- Couche de séparation éventuelle ;
- Protection de l'isolant.

Il convient de se référer au paragraphe A3.1 pour le positionnement du revêtement d'étanchéité jouant le rôle de pare-vapeur.

Des exemples de conceptions sont donnés des Figures A28 à A30.

En toitures inaccessibles, techniques et végétalisées, le procédé d'étanchéité est composé soit d'un :

- Revêtement d'étanchéité de toitures à base d'asphalte ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures à base d'asphalte et feuille en bitume modifié ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures en monocouche ou en bicouche à base de bitume modifié ;
- Revêtement d'étanchéité de toitures en monocouche à base de membrane synthétique.

Bénéficiant d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant son emploi sur élément porteur en bois ou panneaux à base de bois, sous isolation inversée.

A5.3 Toitures accessibles aux piétons et au séjour – protection par dalles sur plots

A5.3.1 Composition du complexe

Le complexe de l'intérieur vers l'extérieur est constitué ainsi :

- Parement éventuel et isolation éventuelle en sous-face de panneau HEXAPLI ;
- Panneau HEXAPLI ;
- Couche de protection du panneau jouant le rôle de pare-vapeur ;
- Isolation thermique support d'étanchéité ;
- Revêtement d'étanchéité.

Il convient de se référer au paragraphe A3.1 pour le positionnement du pare-vapeur.

Des exemples de conception sont donnés des Figures A17 à A19.

A5.3.2 Couche de protection de l'élément porteur jouant le rôle de pare-vapeur

Après le pontage des joints selon le paragraphe A6.1, les panneaux HEXAPLI reçoivent une couche de protection qui joue le rôle de pare-vapeur.

Cette couche de protection est constituée :

- Soit d'un revêtement monocouche en bitume modifié, faisant l'objet d'un Avis Technique/DTA en tant que revêtement d'étanchéité visant la pose directe sur supports à base de bois ou panneaux à base de bois. La feuille monocouche est mise en œuvre sur un enduit d'imprégnation à froid (EIF) par soudage au chalumeau à flamme en pleine adhérence, avec une largeur de recouvrement des lés conforme à son Avis Technique/DTA ;

- Soit d'un revêtement d'étanchéité bicouche en bitume modifié, utilisé sans autoprotection, faisant l'objet d'un Avis Technique/DTA visant les supports à base de bois ou panneaux à base de bois. Le revêtement bicouche est mis en œuvre sur EIF en adhérence totale par auto-adhésivité ou par soudage au chalumeau à flamme (avec une largeur minimale de recouvrement des lés de 6 cm).

La couche de protection est relevée aux acrotères et aux points singuliers, selon les prescriptions de son Avis Technique/DTA jusqu'au revêtement d'étanchéité, en respectant un recouvrement minimum de 6 cm.

A5.3.3 Isolation thermique support d'étanchéité

Sont admis les panneaux isolants thermiques faisant l'objet d'un Avis Technique/DTA pour l'emploi en pose libre sur éléments porteurs en maçonnerie, en terrasses accessibles avec protection par dalles sur plots, à base de :

- Polyuréthane de type PUR/PIR parementé ;
- Perlite expansée fibrée ;
- Polystyrène expansé ;
- Verre cellulaire.

Dans le cas d'un panneau isolant en verre cellulaire, la mise en œuvre est réalisée en pose collée à l'EAC conformément à son Avis Technique/DTA, avec une finition de la couche de protection, définie ci-dessus, grésée ou sablée.

A5.3.4 Revêtement d'étanchéité

Sont admis les procédés d'étanchéité faisant l'objet d'un Avis Technique/DTA pour l'emploi sur élément porteur en maçonnerie, sur support isolant défini ci-dessus, en terrasses accessibles avec protection par dalles sur plots, à base de :

- Revêtements bicouches en bitume modifié ;
- Revêtements monocouches en bitume modifié ;
- Revêtements monocouches en PVC-P.

A5.3.5 Dispositions spécifiques pour l'évacuation des eaux pluviales

Les descentes d'eaux pluviales doivent être visibles par l'occupant, permettant ainsi de les alerter d'une infiltration d'eau éventuelle. Elles sont traitées par un manchon relié à la couche de protection posée sur les panneaux HEXAPLI et par une descente reliée au revêtement d'étanchéité sous les dalles sur plots comme illustré dans l'exemple donné en Figure A18.

A5.3.6 Protections par dalles sur plots en béton ou en bois

Sont admises les protections en dalles sur plots définies dans l'Avis Technique ou le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.

A6 MISE EN OEUVRE

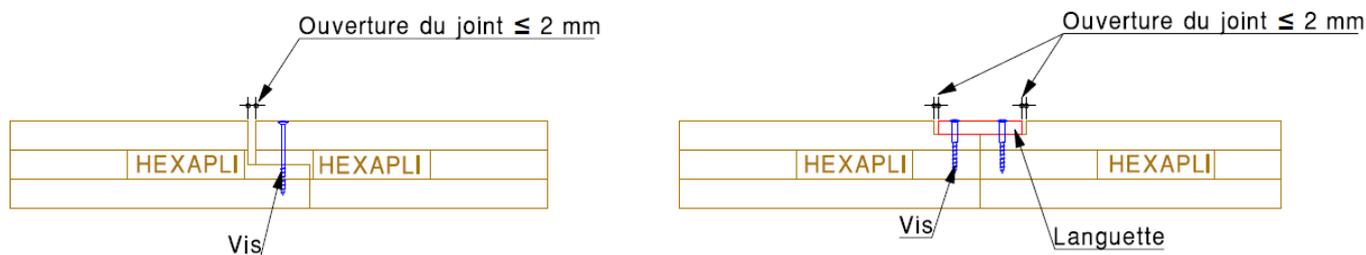
A6.1 Structure bois

Le titulaire du lot « structure bois » met en œuvre les panneaux HEXAPLI conformément aux dispositions prévues dans l'avis technique HEXAPLI. L'exécution des points singuliers (par exemple : acrotères, costières, reliefs de joints de dilatation) et la fourniture des matériaux nécessaires à leur réalisation, ainsi que les percements et réservations dans les panneaux structuraux, sont réalisés par l'entreprise titulaire de ce lot.

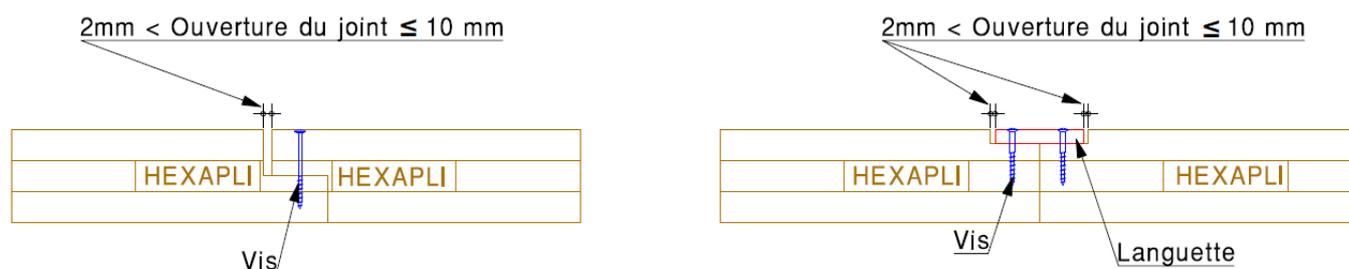
Le désaffleurement entre deux panneaux HEXAPLI d'un même plan ne doit pas excéder 2 mm.

Si l'ouverture de joint entre panneaux est inférieure ou égale à 2 mm alors il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre une bande de pontage.

Figure A31 – Cas où le pontage des joints est non nécessaire



Si l'ouverture des joints entre panneaux est comprise entre 2 et 10 mm, un pontage des joints est nécessaire. Ce pontage sera réalisé conformément au NF DTU 43.4.

Figure A32 – Cas où le pontage des joints est nécessaire

Une ouverture des joints entre panneaux supérieure à 10 mm n'est pas admise.

Les panneaux HEXAPLI en œuvre doivent recevoir une protection vis-à-vis du risque d'humidification selon le § A6.2.

En phase provisoire (cf. § 2.20.8), en cas de recours à des matériaux de construction nécessitant des phases de séchages et engendrant donc une phase d'évaporation d'eau dans le bâtiment (complexes de chapes humides rapportés par exemple) les locaux doivent être ventilés pour éviter l'humidification des panneaux HEXAPLI. Il convient d'assurer une ventilation naturelle ou mécanique du bâtiment pour assurer le renouvellement de l'air dans le bâtiment lors de cette phase.

A6.2 Protection des panneaux HEXAPLI en œuvre

Il est nécessaire de protéger les panneaux HEXAPLI vis-à-vis des intempéries par un ouvrage de protection provisoire imperméable en phase chantier.

La première solution consiste en une protection temporaire sous la forme d'un parapluie qui fonctionne sur le principe d'un coffrage, conçu, dimensionné et mis en œuvre par le lot « Structure ». Cette solution permet aux différents corps de métier de réaliser leur ouvrage sans intervenir sur l'ouvrage de protection (cf. § 8.2 du e-cahier CSTB 3814).

La seconde solution consiste en une protection par application de protections temporaires sous forme de lés fixées sur les panneaux HEXAPLI. Cette solution est réservée aux formes de couvertures rectangulaires ou carrées, de surface maximale 200 m².

Dans les autres cas de toiture, il convient d'utiliser une protection de type « parapluie ».

Les protections temporaires utilisables sont constitués d'écrans souples synthétiques à base de polyéthylène, polypropylène ou polyester, de type écrans pare-pluie conformes à la partie 1-2 du NF DTU 31.2.

Selon la durée de vieillissement selon l'annexe C de la norme NF EN 13859-2 (336 / 1 000 / 5 000 heures), ayant été appliquée pour obtenir le classement W1 de résistance à la pénétration de l'eau, les écrans souples doivent être remplacés par le titulaire du lot structure bois, à une fréquence de :

- 10 jours pour un écran vieilli 336 h ;
- 2 mois pour un écran certifiés QB38 "1000h" ;
- 4 mois pour un écran vieilli 5 000 h.

Mise en œuvre

Les protections temporaires sont posées perpendiculairement à la ligne de plus grande pente de la couverture. Les protections sont posées en lés successifs, du bas de pente vers le haut de pente. Le recouvrement minimum des lés des protections est de 10 cm. La jonction entre les lés est complétée avec une bande adhésive compatible avec l'écran souple au sens de l'annexe D de la partie 1-2 du NF DTU 31.2.

Les protections temporaires sont fixées aux panneaux HEXAPLI par des lignes de fixation (pointes ou des agrafes conformes à la partie 1-2 du NF DTU 31.2) d'entraxe 600 mm. L'entraxe entre pointes ou agrafes est de 300 mm maximum. Au droit de chaque pointe ou agrafe, sont mises en œuvre des pastilles adhésives de diamètre minimum 2,5 cm, compatibles avec l'écran souple.

Gestion des points singuliers

Il convient de protéger les chants des panneaux HEXAPLI exposés aux intempéries en descendant la protection temporaire de 10cm en dessous des chants des panneaux (cf. Fig. A3), ou en fixant la protection sous le panneau HEXAPLI si il est accessible, en assurant alors une cote de 10cm minimum par rapport au chant du panneau (cf. Fig. A2 avec débord de toiture). Dans le cas où la protection est descendue dans le plan du mur en bas de pente (cf. Fig. A2 sans débord de toiture), il convient de l'arrêter sur un tasseau jouant le rôle de goutte d'eau.

Dans le cas d'une surface en plan de toiture supérieure à 100m², et en l'absence de relief en bas de pente, il est nécessaire de mettre en œuvre une gouttière temporaire dimensionnée selon le DTU 60.11 P3 en bas de pente (cf. Fig. 2bis). La liaison entre la gouttière et la protection temporaire est complétée par une bande adhésive, compatible avec l'écran souple et le matériau de la gouttière. La gouttière est raccordée sur un réseau vertical, ou, à défaut, l'eau sera rejetée en façade avec un débord d'au moins 100 cm.

Les protections de section courante sont relevées au niveau des éventuels reliefs sur une hauteur minimale de 20 cm (cf. Fig. A3). La jonction entre la protection temporaire protégeant le relief et la protection temporaire de section courante est réalisée par la superposition de la protection du relief sur la protection de section courante avec un recouvrement vertical de 10cm minimum. La jonction entre les lés est complétée avec une bande adhésive compatible avec la protection.

Dans le cas de relief en bas de pente, sont réalisées dans les panneaux HEXAPLI des réservations permettant de recevoir des naissances et descentes d'eaux pluviales. Ces réservations doivent être justifiées mécaniquement conformément au dossier technique HEXAPLI.

Des évacuations d'eaux pluviales sont mises en œuvre dans ces réservations et fixées aux panneaux HEXAPLI. Les protections temporaires viennent recouvrir ces évacuations d'eaux pluviales. Le raccord est complété par une bande adhésive (cf. Fig. A5).

L'évacuation est raccordée à un réseau horizontal de tuyaux d'évacuation d'eau de pluie débouchant sur un réseau vertical, ou, à défaut, l'eau sera rejetée en façade avec un débord d'au moins 100 cm.

En cas de réservations dans les panneaux HEXAPLI, un panneau bois de type NF EN 13986 ou un panneau CLT dimensionné pour résister aux efforts de vents et aux passages éventuels est rapporté et fixé pour recouvrir la réservation. La protection temporaire est fixée sur le panneau de protection bois rapporté de la même manière qu'en section courante (cf. Fig. B4).

Il convient de contrôler les stagnations d'eaux éventuelles après chaque période d'intempéries et il est nécessaire le cas échéant d'évacuer l'eau accumulée au racleau en la dirigeant vers le bas de pente, ou dans le cas de présence de relief en bas de pente, en la dirigeant vers les descentes d'eaux pluviales.

Gestion de la protection

La protection, y compris les pointes ou agrafes de fixation, est déposée à l'avancement du chantier.

En cas d'interruption du chantier, la protection temporaire de l'ouvrage d'étanchéité recouvre celle des panneaux HEXAPLI sur au moins 10 cm. Dans le cas où la protection temporaire est abîmée, une réparation ponctuelle est réalisée, soit par empièvement avec le matériau d'origine, soit par bande adhésive en fonction de la taille de la zone concernée.

A6.3 Complexe d'étanchéité

Le titulaire du lot « étanchéité » réalise sur le panneau support HEXAPLI la mise en œuvre du pare-vapeur et du support isolant éventuel, du revêtement d'étanchéité, et de la protection éventuelle.

Les prescriptions de mise en œuvre du complexe d'étanchéité sont celles définies par leur Avis Technique ou Document Technique d'Application pour la pose sur éléments porteurs en bois ou panneaux à base de bois.

Une acceptation contradictoire du support est nécessaire, et les points suivants doivent être observés par le charpentier concernant les panneaux HEXAPLI :

- Planéité du plan de pose avec notamment limitation du désaffleurement entre deux panneaux < 2 mm et ouverture entre deux panneaux < 10 mm ;
- Rebouchage des perçages nécessaires au levage de diamètres supérieurs à 10mm dans les panneaux ;
- Désaffleur non admis pour les têtes de fixation des panneaux ;
- Respect des pentes prescrites pour les panneaux HEXAPLI ;
- Contrôle de l'hygrométrie des panneaux HEXAPLI selon le § A6.4.

La protection des panneaux HEXAPLI doit être reconstituée selon le § A6.2 en cours de chantier.

A6.4 Contrôle de l'hygrométrie des panneaux HEXAPLI

Afin de respecter les conditions de service des panneaux HEXAPLI, leur humidité, mesurée à 40 mm de la surface ou à mi épaisseur pour les panneaux d'épaisseur inférieure à 80 mm (cette profondeur doit être adaptée à +/- 5 mm s'il s'avère que la composition du panneau entraîne la présence d'un plan de collage à cette épaisseur), avec un humidimètre selon la norme NF EN 13183-2 : 2002, ne doit pas être supérieure à 20 % au moment de la mise en œuvre du complexe d'étanchéité. L'appareil de mesure sera du type humidimètre électrique à résistance équipé d'électrodes isolées et devra être calibré.

Un zonage délimitant sur plan des surfaces de 225 m² doit être réalisé. Sur chaque zone, un repérage des points de mesure doit être formalisé sur plan à raison d'un point tous les 5 m de chaque côté de la noue ou du bas de versant et 1 tous les 5 m environ en partie courante (soit une douzaine de mesures individuelles pour cette zone) :

1. Si, sur cette zone, la moyenne est < à 20 % avec au plus une valeur individuelle entre 20 et 25%, le support est admissible d'un point de vue de l'humidité ;
2. Si, sur cette zone, la moyenne est < à 20 % mais qu'aux moins deux valeurs individuelles sont comprises entre 20 et 25 %, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux HEXAPLI ;
3. Si, au moins une valeur individuelle est > à 25%, il est nécessaire de remplacer le/les panneaux HEXAPLI concernés et de refaire les mesures ;
4. Si, sur cette zone, la moyenne est > à 20% mais que toutes les valeurs individuelles sont < à 25%, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux HEXAPLI ;
5. Dans les autres cas, il est nécessaire de remplacer les panneaux HEXAPLI.

Les mesures d'humidité avant mise en œuvre du complexe d'étanchéité sont formalisées et transmises au maître d'œuvre avec les indications suivantes : plan de zonage, identification de la zone, référence du panneau HEXAPLI et de l'avis technique HEXAPLI, date, référence de l'instrument de mesure utilisé, essence des panneaux livrés, température sélectionnée et profondeur de pénétration.

Dans le cas où les mesures d'humidité des panneaux HEXAPLI ne sont pas concluantes, il est nécessaire de les protéger par une protection temporaire sous la forme d'un parapluie (cf. § 8.2 du e-cahier CSTB 3814) et de ventiler les panneaux HEXAPLI sur leurs deux faces. Le retour à une humidité admissible peut prendre un certain temps. Il est inutile de chauffer l'air à proximité des panneaux.

A7 POINTS SINGULIERS

A7.1 Reliefs

Les reliefs sont solidaires de l'élément HEXAPLI des parties courantes, ils peuvent être réalisés par des panneaux HEXAPLI continus (élément de mur filant par exemple), par des panneaux HEXAPLI rapportés, ou alors par des éléments en bois massif ou en contreplaqué conformes au DTU 43.4.

Aucune pièce telle que les équerrés structurelles de jonctions pour les panneaux HEXAPLI et les têtes de fixation ne doivent être présentes en saillie des panneaux HEXAPLI sous le complexe d'étanchéité. Il convient donc d'utiliser des systèmes de fixation adaptés ou de réaliser des défonçages dans les panneaux HEXAPLI pour noyer les systèmes de fixation.

La hauteur des reliefs est conforme au NF DTU 43.4 P1, complété lorsque la protection est réalisée par un complexe de végétalisation par les dispositions techniques prescrites dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation des terrasses et toitures végétalisées.

A7.1.2 Dimensionnement

Les reliefs doivent être dimensionnés pour résister aux effets du vent et des charges d'accumulation de neige définies 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) et 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.

Quelle que soit la sollicitation appliquée, les panneaux de relief doivent présenter une déformation maximale de 2 mm à une hauteur de porte-à-faux de 30 cm (mesurée à la surface du panneau bois structurel).

A7.1.3 Relief assurant le rôle de garde-corps

Le relief d'acrotère peut également assurer la fonction de garde-corps s'il justifie de sa résistance selon les normes NF P 01-012 et NF P 01-013 en cas de terrasses accessibles sans dépasser la déformation maximale en tête donnée ci-dessus. Le relief d'acrotère doit être dimensionné en respectant les actions et les critères de la norme NF P 01-013 et de l'Eurocode 1.

A7.2 Relevés d'étanchéité

Le pare-vapeur ou la couche de protection est relevé (équerre de pare-vapeur ou de couche de protection) pour permettre un recouvrement avec le revêtement d'étanchéité d'au moins 6 cm.

La hauteur minimale du relevé d'étanchéité au-dessus de la protection est conforme au NF DTU 43.4.

Conformément au NF DTU 43.4, les reliefs 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. La partie du dispositif formant larmier doit présenter un recouvrement d'au moins 4 cm par rapport à la partie haute du relevé d'étanchéité, et être en saillie de 4 cm minimum par rapport au support d'étanchéité. Pour les bandes porte-solin, la saillie peut être limitée à 1 cm.

Le relevé étanché est placé derrière un bardage étanche à l'eau ou un couronnement métallique façonné suivant les prescriptions du cahier des clauses techniques des DTU des Travaux de Couverture (cf. DTU série 40).

A7.3 Mise en œuvre du bardage et de l'habillage des têtes de murs

Le bardage étanche à l'eau et/ou l'habillage des têtes de murs est mis en œuvre par un bardeur. L'habillage des têtes de murs est réalisé selon le principe de la norme NF DTU 40.41 ou 40.44.

La paroi verticale au-dessus de l'étanchéité reçoit :

- Soit un bardage étanche à l'eau constitué de :
 - En panneaux de contreplaqués avec finition, posés à joints verticaux garnis ou revêtus d'un couvre-joint selon la norme NF DTU 41.2 ;
 - En lames et bardeaux de bois selon la norme NF DTU 41.2 ;
 - En plaques nervurées et ondulées en acier selon les recommandations professionnelles RAGE « Bardages en acier protégé et en acier inoxydable » de juillet 2014 ;
 - En plaques nervurées en aluminium selon les règles professionnelles SNPPA/CITAG/SNFA « bardage métallique » de janvier 1981 ;
 - A joints fermés bénéficiant d'un Avis Technique visant la mise en œuvre sur Construction à Ossature Bois (COB) de hauteur jusqu'à 18 m.
- Soit une protection étanche à l'eau constituée de :
 - Bardeaux bitumés selon la norme NF DTU 40.14 ;
 - Ardoises de fibres-ciment selon la norme NF DTU 40.13 ;
 - Feuilles de zinc supportées selon la norme NF DTU 40.41 ;
 - Feuilles d'acier inoxydable supportées selon la norme NF DTU 40.44.

A7.4 Retombés d'étanchéité

Il est également possible d'effectuer des retombés d'étanchéité conformément au DTU 43.4. Un exemple de conception est donné en Figure A8.

A7.5 Joints de dilatation

Les dispositions pour les terrasses inaccessibles, techniques et végétalisées sont définies dans le NF DTU 43.4, complétées par l'avis technique/DTA du revêtement d'étanchéité de toitures et dans le cas de toitures végétalisées, par l'Avis Technique du procédé de végétalisation. Des exemples de conceptions de joints de dilatation sont donnés en Figures A15, A16 et A27.

Un exemple de conception de joint de dilatation pour les terrasses accessibles aux piétons avec protection par dalle sur plots est détaillé en Figure A19.

Il est possible d'utiliser des procédés sous avis technique/DTA visant la pose sur support bois, il convient alors de se référer à l'avis technique/DTA du procédé du joint de dilatation pour effectuer la mise en œuvre.

A7.6 Evacuation des eaux pluviales

La répartition des entrées d'eaux pluviales (EEP) est réalisée conformément à l'Annexe D du e-Cahier du CSTB 3814.

A8 DISPOSITIONS SPECIFIQUES EN CLIMAT DE MONTAGNE

Les dispositions détaillées dans le présent dossier technique sont complétées par les dispositions détaillées dans ce paragraphe en climat de montagne.

A8.1 Conception

Il est nécessaire de se référer Document Technique d'Application des revêtements d'étanchéité.

Les prescriptions de pentes énoncées au paragraphe A2.2 du présent dossier technique sont appliquées.

A8.2 Dimensionnement

Le dimensionnement des panneaux HEXAPLI et de leur structure porteuse est effectué en prenant en compte les charges de neige selon les normes NF EN 1991-1-3 et -4.

Les charges d'exploitations nécessaires aux exigences de déneigement doivent être prises en compte lors du dimensionnement.

En cas de mise en œuvre d'un porte-neige, il est nécessaire de prendre en compte la transmission des efforts par le porte-neige sur la structure lors du dimensionnement.

A8.3 Choix et positionnement du pare-vapeur en climat de montagne

Il convient en zone de montagne de vérifier la règle des 1/4-3/4 en lieu et place de la règle des 1/3-2/3, (1/4 maximum de résistance thermique avant le pare-vapeur (en dessous) ; 3/4 minimum de résistance thermique après le pare-vapeur (au-dessus)), en tenant compte des caractéristiques thermiques des éléments placés côté intérieur, sous l'écran pare-vapeur (panneaux structuraux, isolants acoustiques, habillage ou faux-plafond).

A8.3.1 Pare-vapeur en climat de montagne (hors cas des toits terrasses accessibles)

En climat de montagne et hors cas des toitures accessibles aux piétons et au séjour, les dispositions concernant le pare-vapeur sont complétées de la disposition suivante. Le pare-vapeur mis en œuvre en climat de montagne est constitué d'une feuille de bitume élastomérique 35 Alu (feuille bitumineuse d'épaisseur minimale 3,5 mm d'épaisseur conforme à la norme NF P 84-316 et autoprotégée par feuille métallique).

A8.3.2 Couche de protection jouant le rôle de pare-vapeur en toits terrasses accessibles

Dans le cas des toitures accessibles aux piétons et au séjour en climat de montagne, les dispositions concernant la couche de protection jouant le rôle de pare-vapeur sont complétées des dispositions suivantes. Dans le cas d'un revêtement monocouche en bitume modifié, une feuille de bitume élastomérique 35 Alu est ajoutée sur la couche de protection monocouche. Dans le cas d'un revêtement d'étanchéité bicouche en bitume modifié, la seconde couche est en bitume élastomérique 35 Alu.

A9 ASSISTANCE TECHNIQUE

L'assistance technique est assurée par PIVETEAU BOIS, se référer au §2.21.

Tableau A.1 – Emploi en toitures inaccessibles, chemins de circulation et toitures à zones techniques ⁽¹⁾, en France européenne

Support direct du revêtement d'étanchéité	Revêtement d'étanchéité (4)				
	Systèmes apparents		Systèmes sous protection meuble		
	semi-indépendant	adhérent	indépendant	semi-indépendant	adhérent
Panneaux HEXAPLI penté (2)			OUI	OUI	OUI (5)
(8)+ Panneaux HEXAPLI penté (2) sous isolation inversée (6)			OUI	OUI	OUI (5)
(8)+ Panneaux HEXAPLI penté (2) (3) + pare-vapeur + support isolant (7)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI (5)

OUI : signifie pose possible, selon le Document Technique d'Application du support isolant et de celui du revêtement d'étanchéité. Les zones grisées correspondent à des exclusions d'emploi.

(1) Avec les dispositions du Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.
(2) La pente minimum des parties courantes dépend des critères de dimensionnement des panneaux porteurs (cf. § A2.2).
(3) En systèmes apparents : ≤ 7 % en zones techniques et ≤ 50 % pour les chemins de circulation ; sous protection meuble : pente ≤ 5 %.
(4) Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur Document Technique d'Application.
(5) Pontage des panneaux HEXAPLI selon les dispositions du § A6.1.
(6) Le Document Technique d'Application des panneaux de polystyrène extrudé visant l'emploi en toitures-terrasses indique les protections admises.
(7) Dans le cas d'un support isolant en verre cellulaire, on se reportera au Document Technique d'Application des plaques de verre cellulaire.
(8) Habillage ou plafond suspendu éventuel avec ou sans isolation (cf. § A3.3)

Tableau A.2 – Emploi en terrasses et toitures végétalisées ⁽¹⁾ en France européenne

Support direct du revêtement d'étanchéité	Revêtement d'étanchéité (3) (8)	
	semi-indépendant	adhérent
Panneaux HEXAPLI penté (2)	OUI	OUI (4)
(7)+ Panneaux HEXAPLI pente (2) sous isolation inversée (5)	OUI	OUI (4)
(7)+ Panneaux HEXAPLI pente (2)+ pare-vapeur + support isolant (6)	OUI	OUI (4)

OUI : signifie pose possible, selon le Document Technique d'Application du support isolant et de celui du revêtement d'étanchéité, et de l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

(1) Avec la protection végétalisée définie dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation.
(2) Les pentes maximales sont celles définies dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation avec pour valeur maximale 20 % et valeur minimale 3% (cf. §A2.2).
(3) Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur Document Technique d'Application.
(4) Pontage des panneaux HEXAPLI selon les dispositions du § A6.1.
(5) Le Document Technique d'Application des panneaux de polystyrène extrudé, complété par l'Avis Technique du procédé de végétalisation, indique les protections admises.
(6) Dans le cas d'un support isolant en verre cellulaire, on se reportera au Document Technique d'Application des plaques de verre cellulaire.
(7) Habillage ou plafond suspendu éventuel avec ou sans isolation (cf. § A3.3)
(8) L'indépendance peut être admise favorablement par l'Avis Technique du système de végétalisation de toiture étanchée.

Tableau A.3 – Emploi en terrasses accessibles avec dalles sur plots (1), en France européenne

Support direct du revêtement d'étanchéité	Revêtement d'étanchéité (2)		
	indépendant	semi-indépendant	adhérent
Panneaux HEXAPLI penté (4)			
(7)+ Panneaux HEXAPLI penté (4) sous isolation inversée (6)			
(7) + Panneaux HEXAPLI penté (4) + couche de protection (5-6) + support isolant (8)	OUI	OUI	OUI (3)

Les zones grisées correspondent à des exclusions d'emploi.

OUI : signifie pose possible, selon le Document Technique d'Application du support isolant et de celui du revêtement d'étanchéité.

(1) Avec le système de dalles sur plots du Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.
(2) Le revêtement d'étanchéité est mis en œuvre conformément à son Document Technique d'Application.
(3) Pontage des panneaux HEXAPLI selon les dispositions du § A6.1.
(4) La pente minimum des parties courantes dépend des critères de dimensionnement des panneaux porteurs (cf. § A2.2). La pente est de 5% maxi.
(5) La couche de protection adhérente est mise en œuvre conformément à son Document Technique d'Application. En variante, un revêtement d'étanchéité bicouche adhérent peut également être utilisé (cf. § A5.3).
(6) En climat de montagne, un aluminium bitumé (norme NF P84-310) est placé sur la couche de protection ou, en variante, le revêtement bicouche comprendra une seconde feuille de bitume élastomère 35 alu.
(7) Habillage ou plafond suspendu éventuel avec ou sans isolation (cf. § A3.3)
(8) Dans le cas d'un panneau isolant en verre cellulaire, la mise en œuvre est réalisée en pose collée à l'EAC conformément à son Avis Technique/DTA, avec une finition de la couche de protection, grésée ou sablée (cf. § A5.3).

Figure A1 - Types de pose des panneaux HEXAPLI

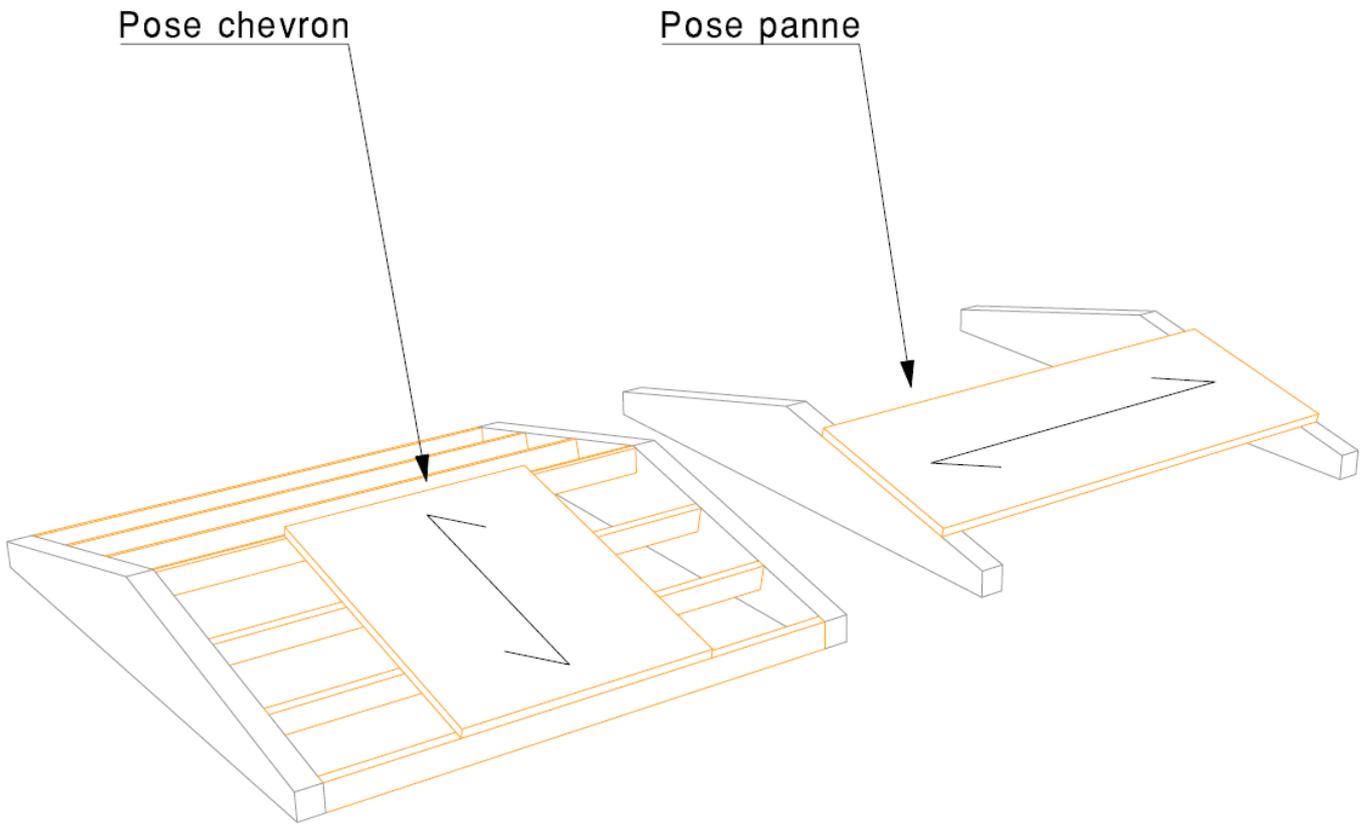


Figure A2 - Gestion de la protection temporaire en bas de pente

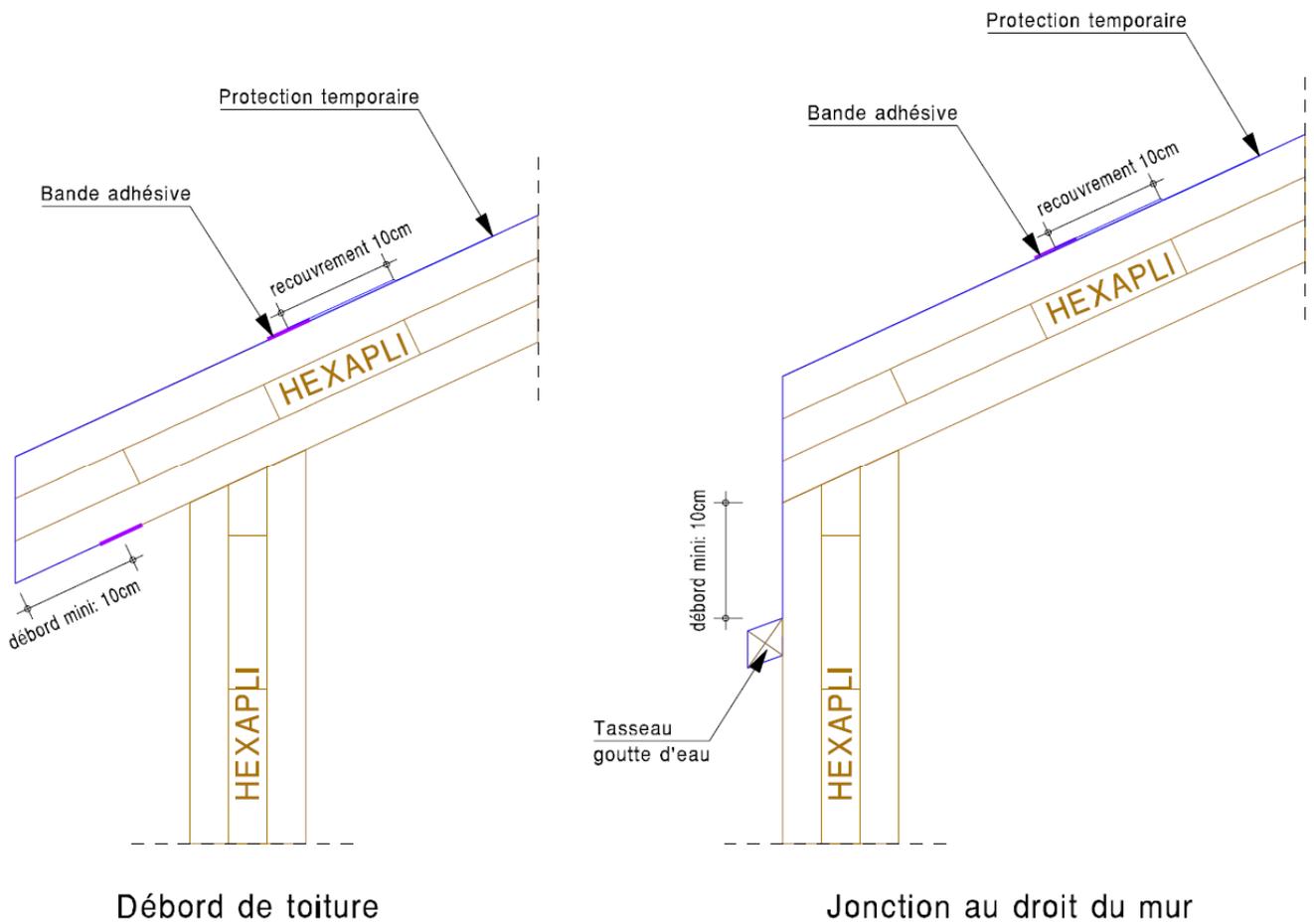


Figure A2bis - Mise en œuvre d'une gouttière en bas de pente de protection temporaire

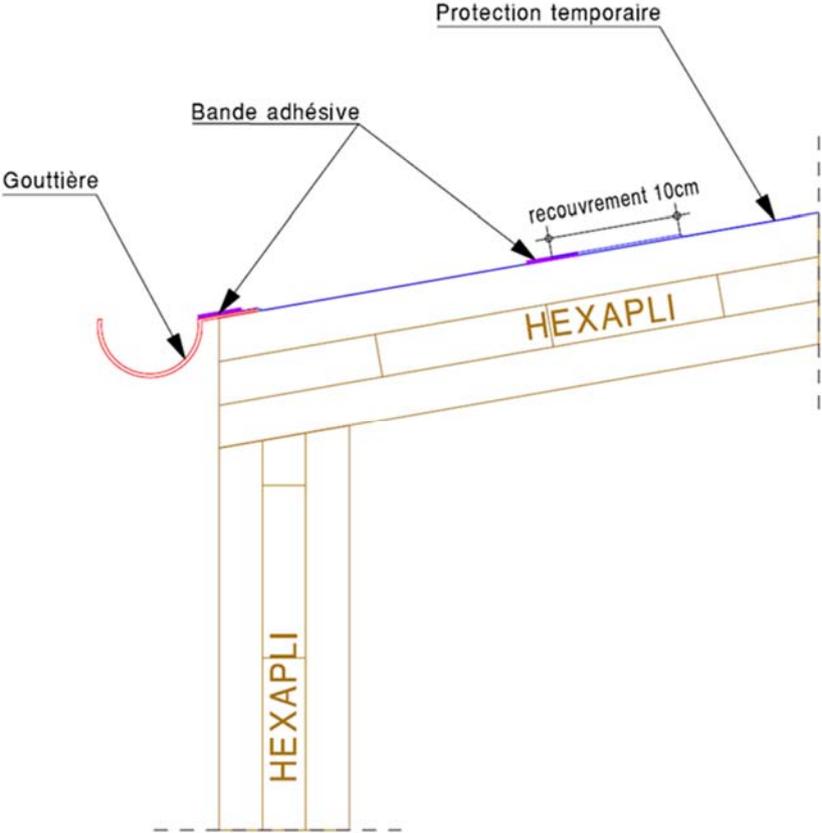


Figure A3 - Gestion d'un relief par protection temporaire

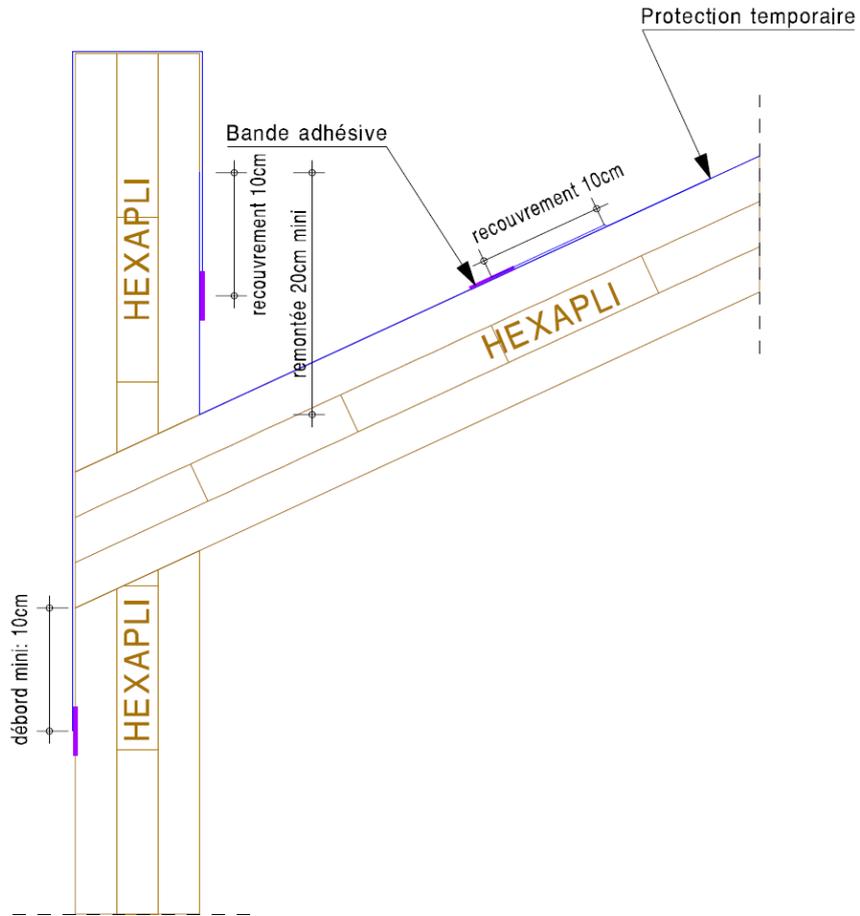


Figure A4 - Mise en œuvre de la protection temporaire en section courante

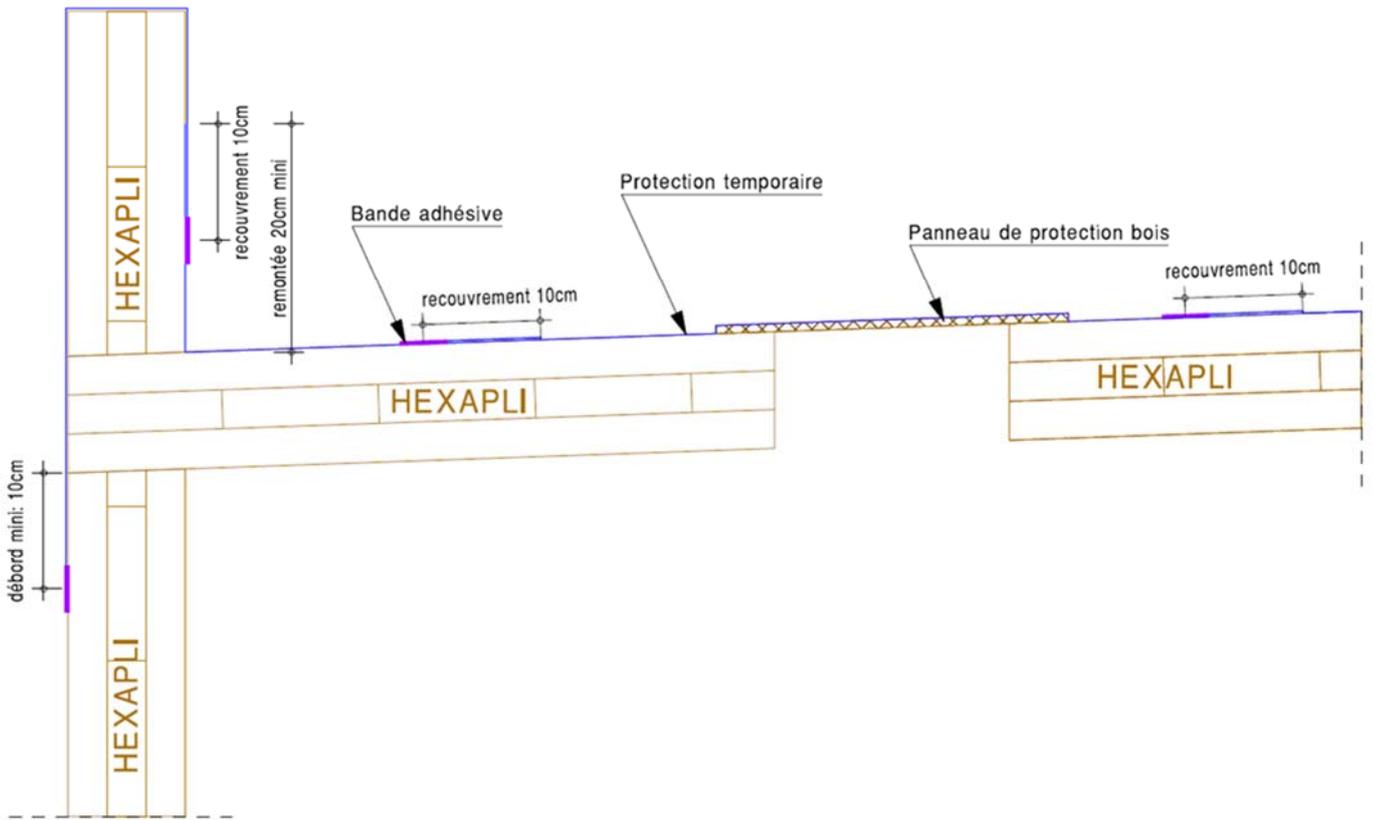


Figure A5 - Jonction de la protection avec une évacuation pluviale

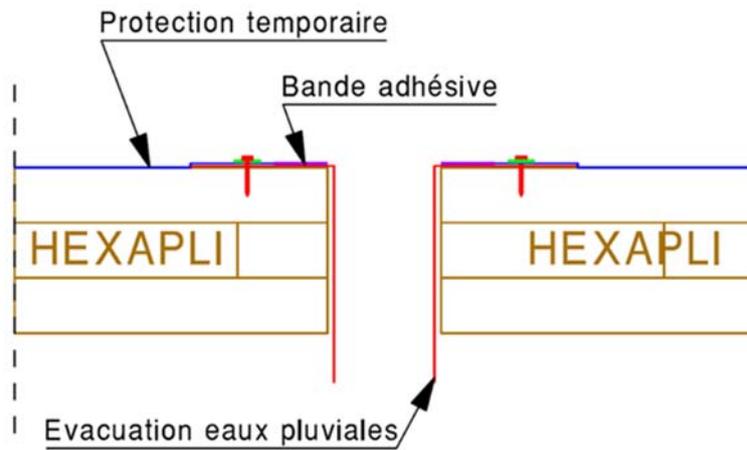
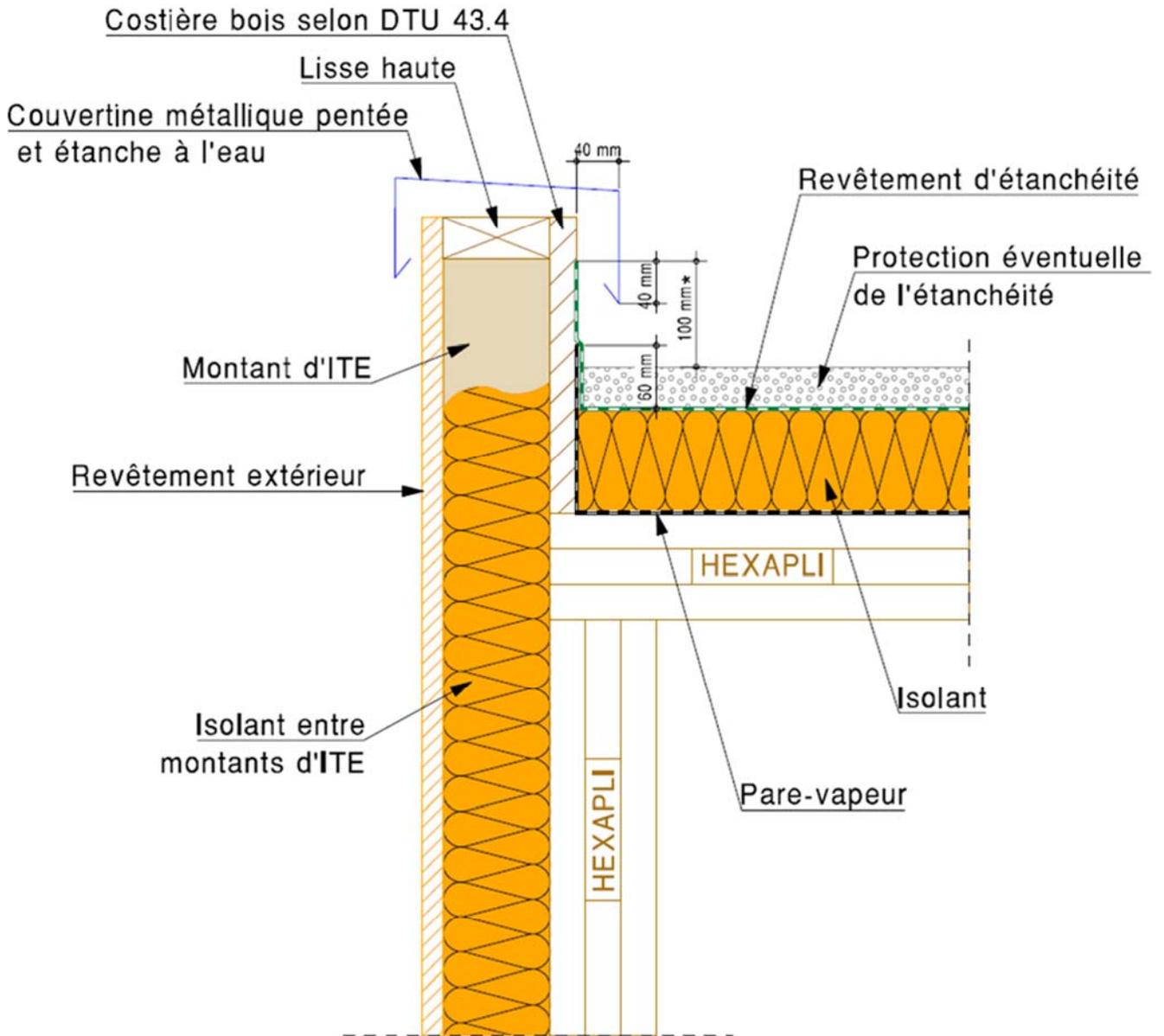
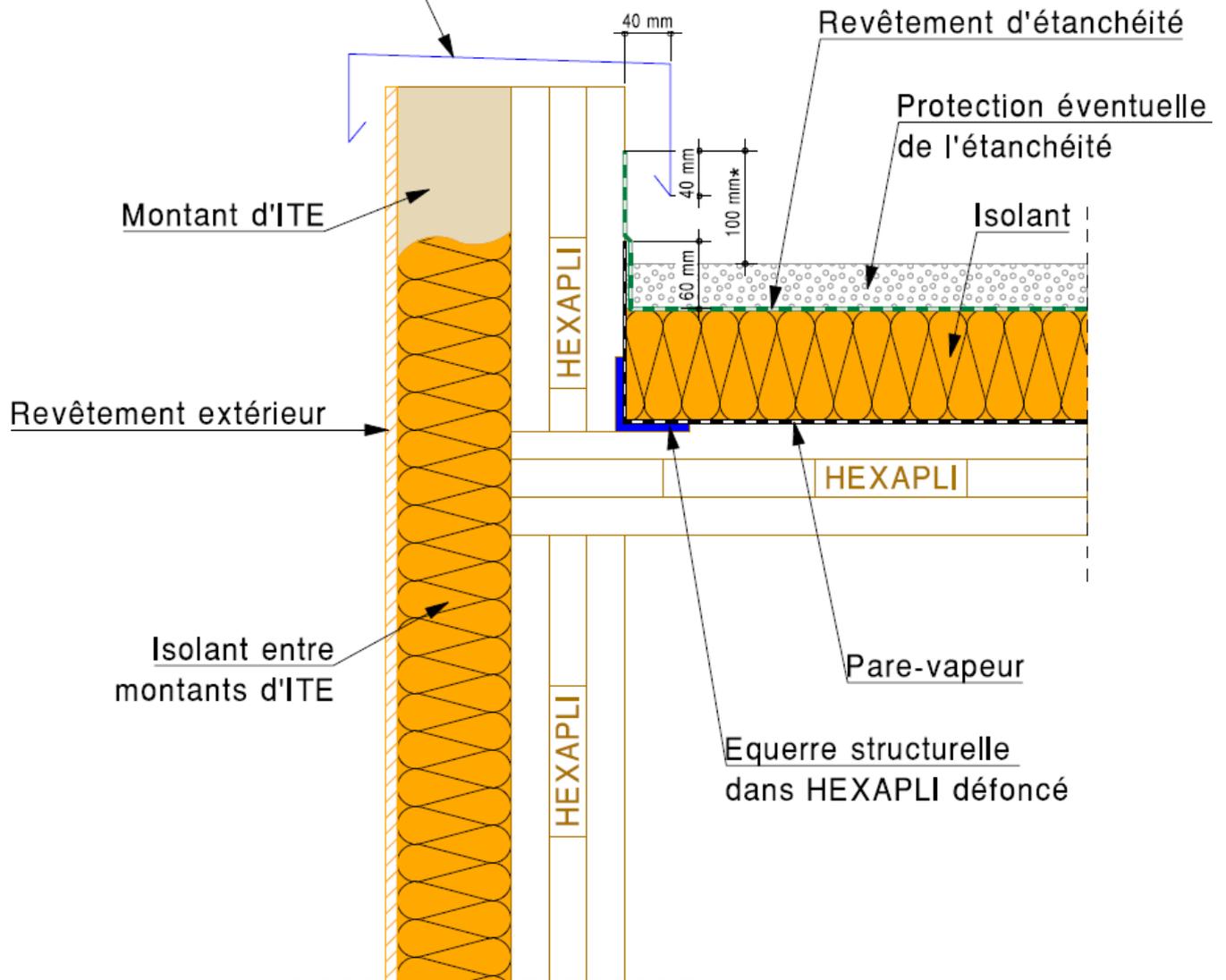


Figure A6 - Toiture chaude isolée inaccessible - Acrotère avec costière bois

* minimum, se référer au DTU 43.4 P1-1 § 8.2.3

Figure A7 - Toiture chaude isolée inaccessible - Acrotère en CLT

Couvertine métallique pentée
et étanche à l'eau



* minimum, se référer au DTU 43.4 P1-1 § 8.2.3

Figure A8 - Toiture chaude isolée inaccessible - Retombée d'étanchéité

Note : le garde-corps n'est pas représenté.

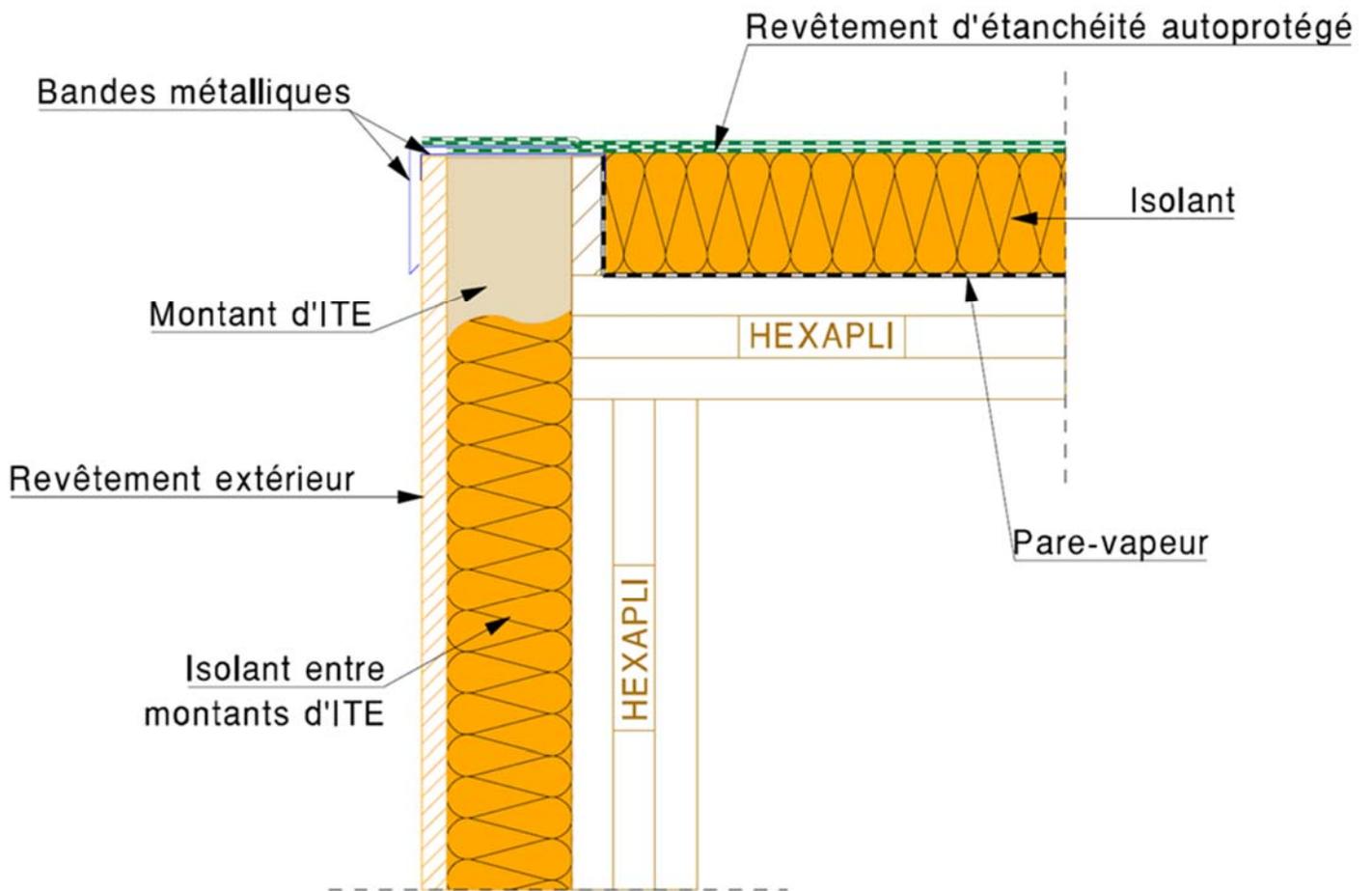


Figure A9 - Toiture chaude isolée inaccessible – Noue

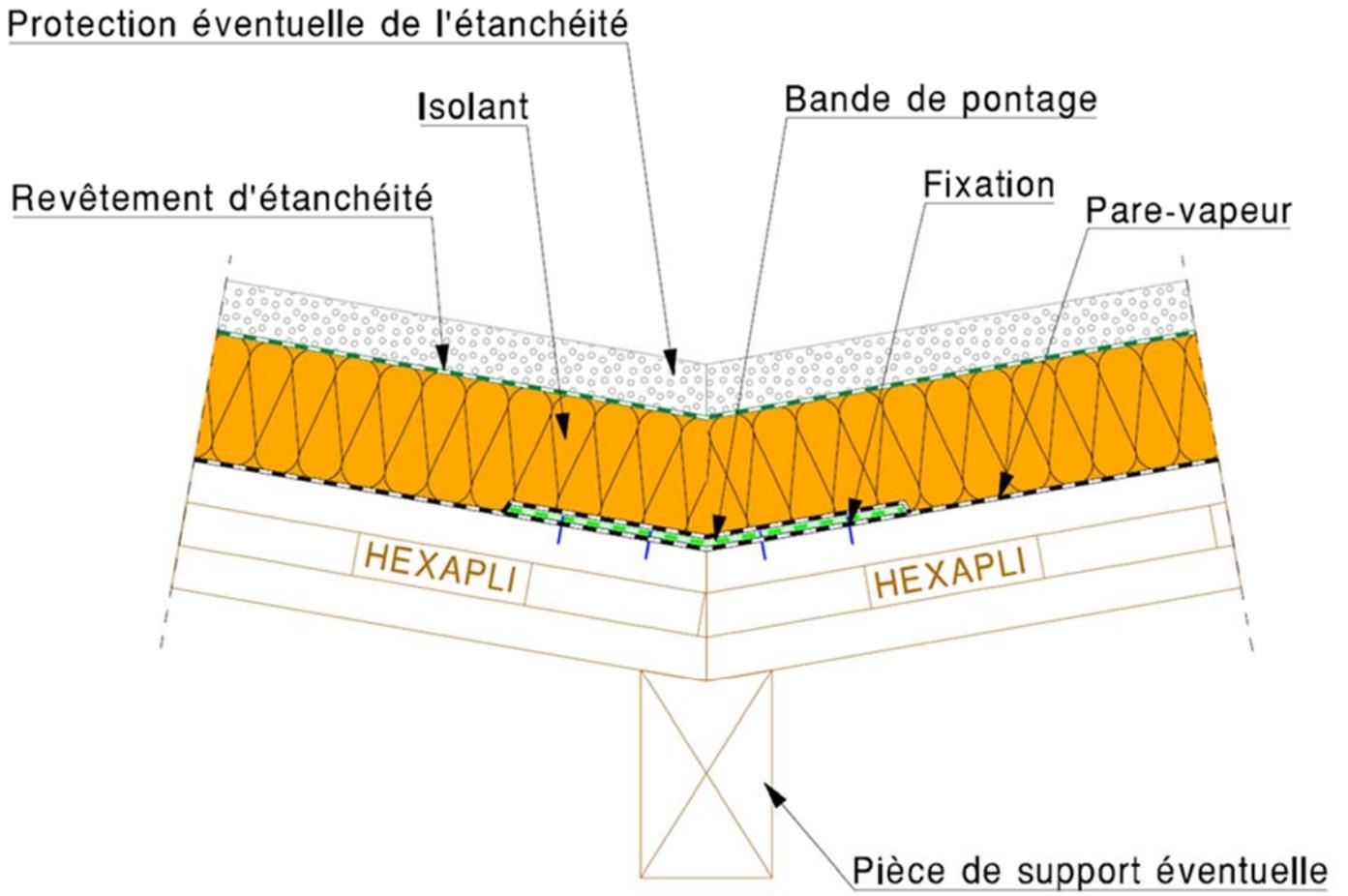


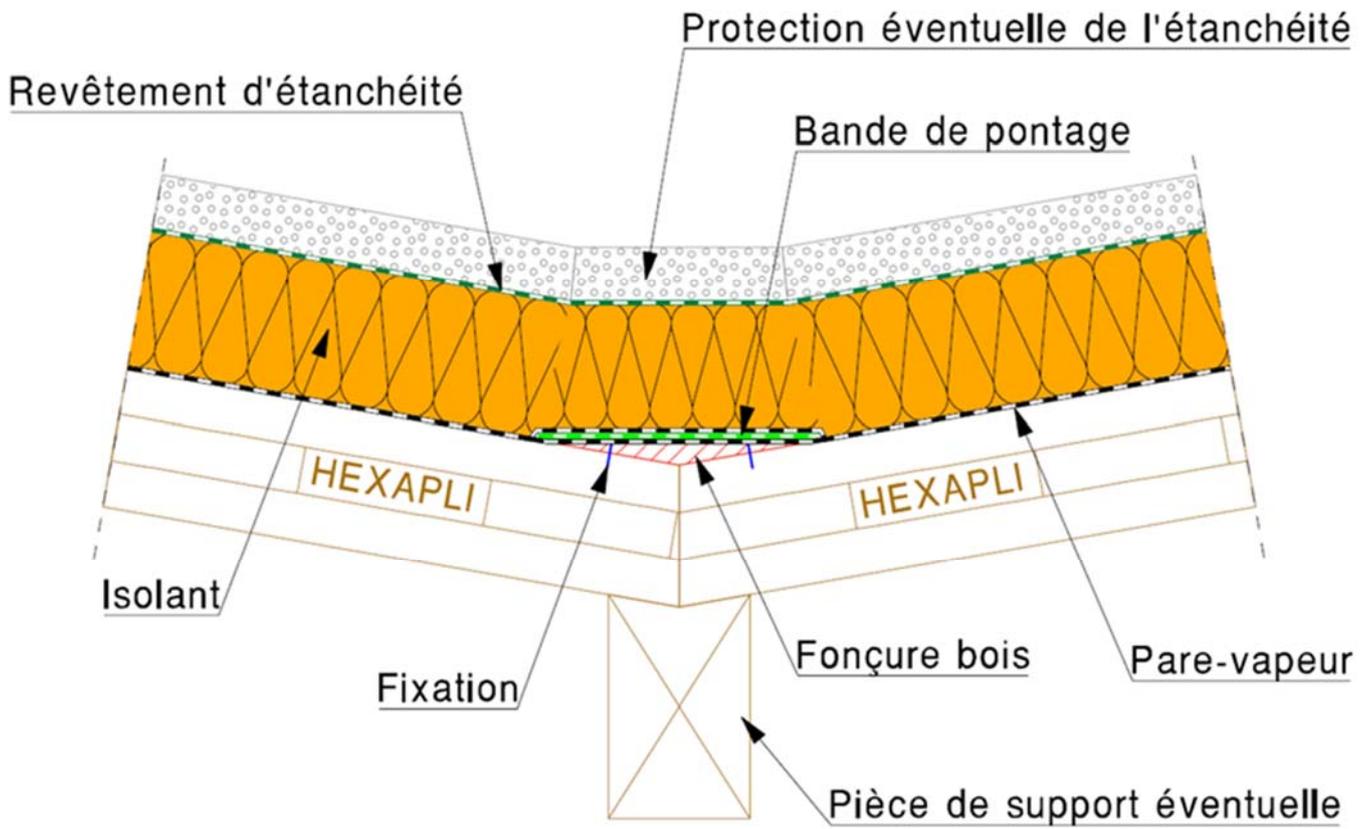
Figure A10 - Toiture chaude isolée inaccessible - Nœue avec fonçure

Figure A11 - Toiture chaude isolée inaccessible – Faîtage

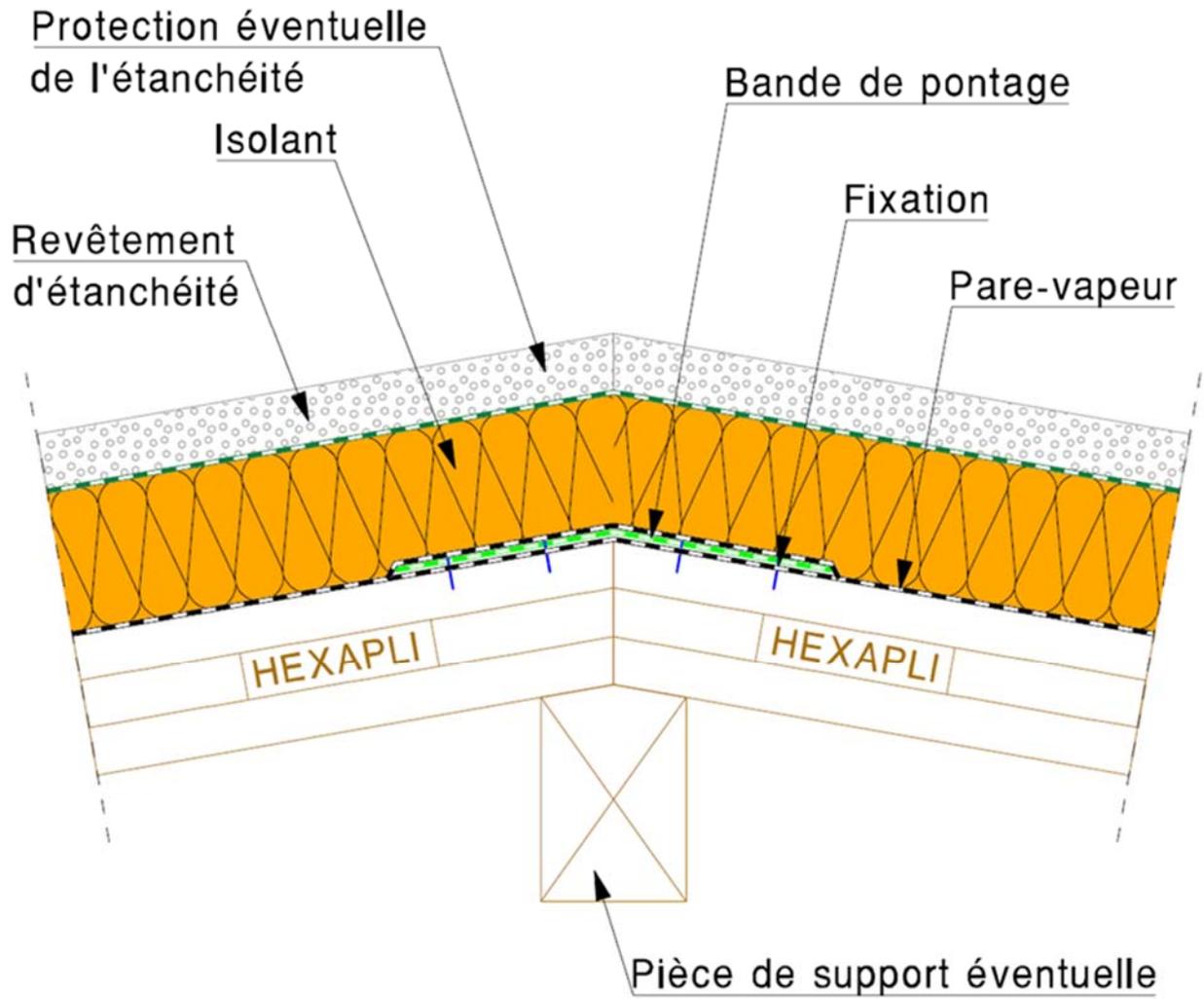


Figure A12 - Toiture chaude isolée inaccessible - Entrée d'eaux pluviales avec crapaudine
Coupe perpendiculaire à la pente

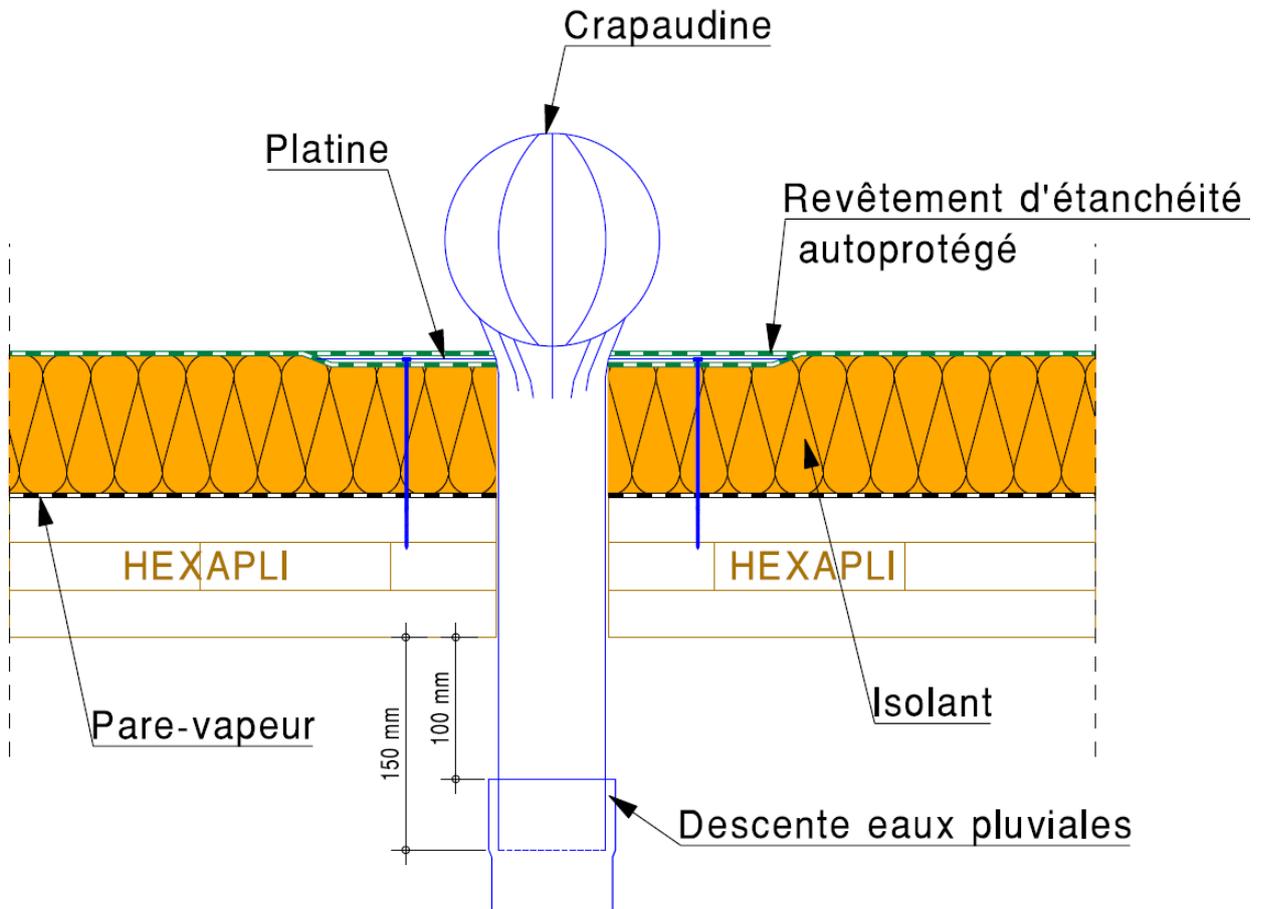


Figure A13 - Toiture chaude isolée inaccessible - Entrée d'eaux pluviales avec pare-gravier
Coupe perpendiculaire à la pente

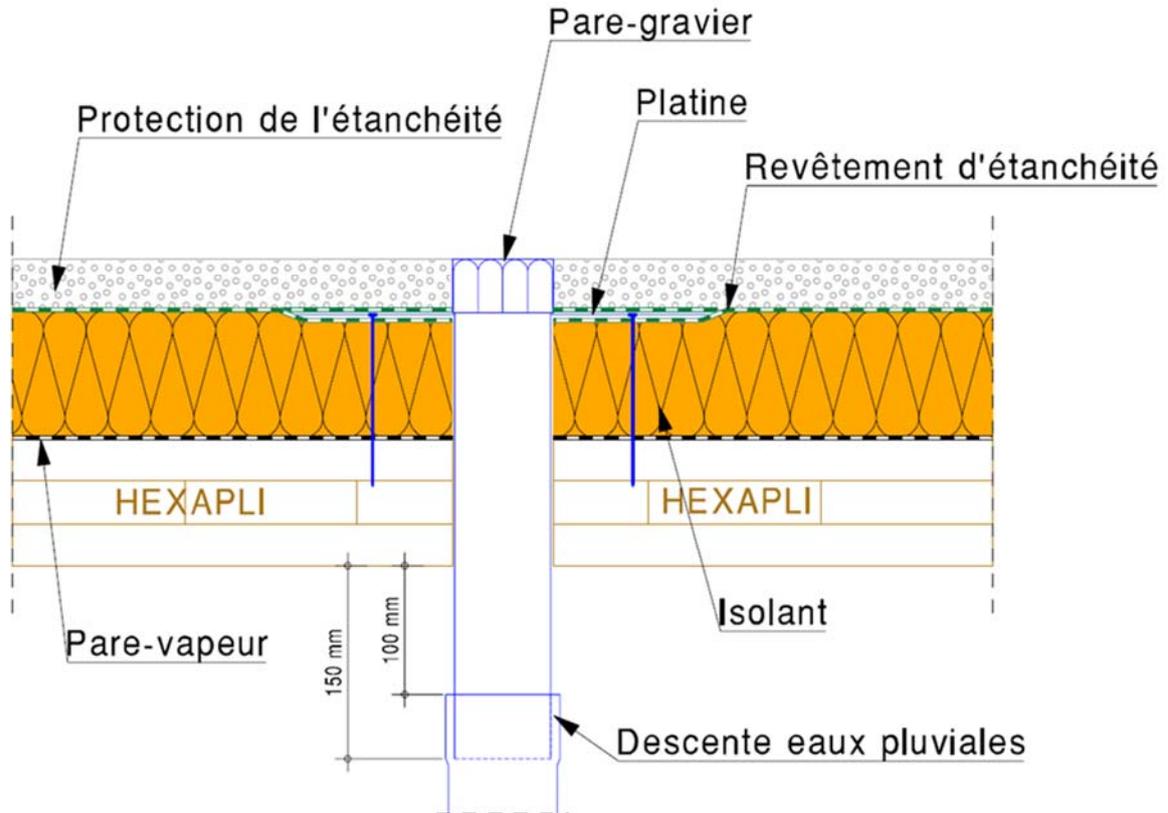
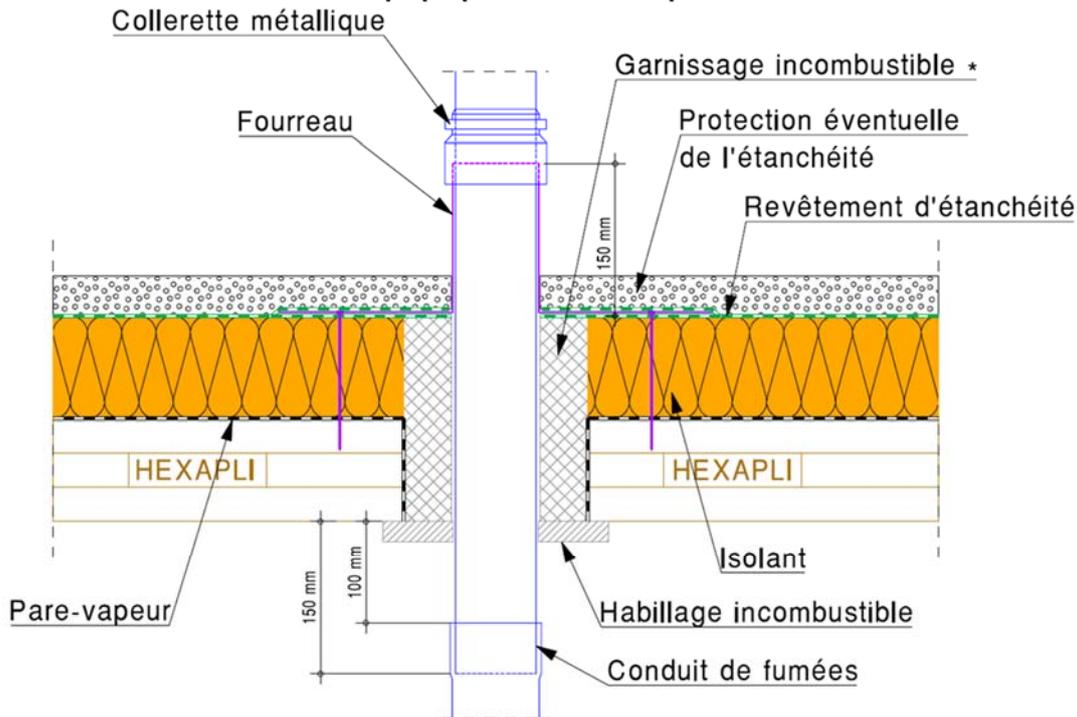
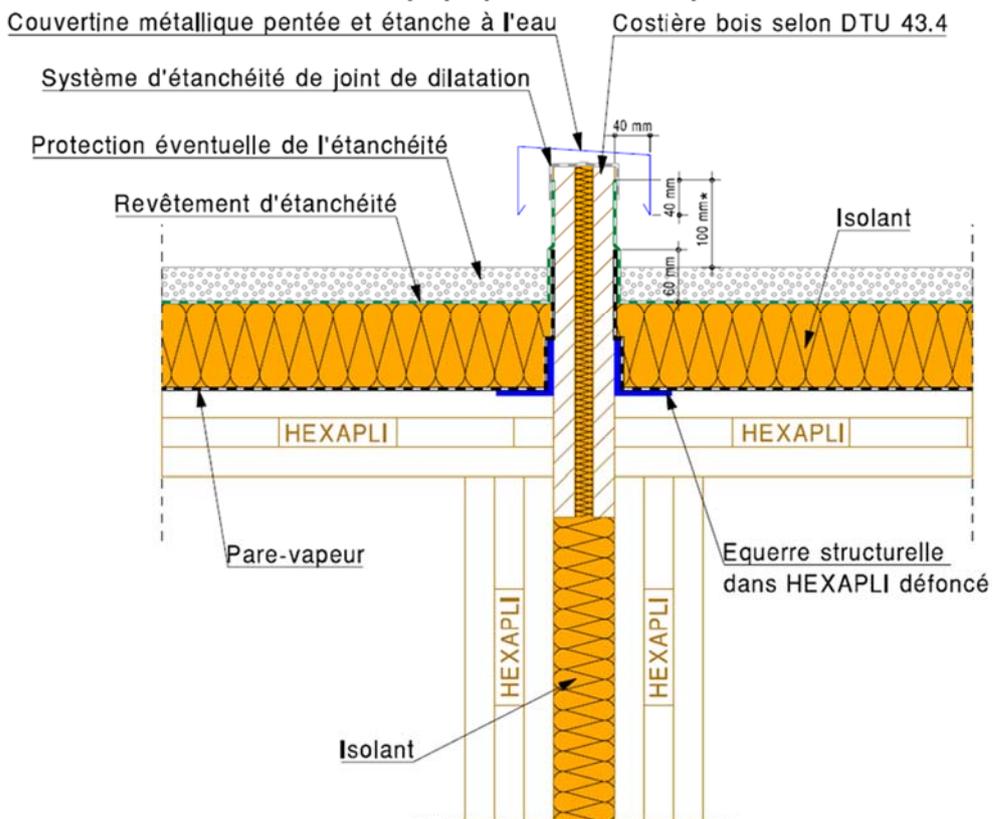


Figure A14 - Toiture chaude isolée inaccessible - Traversée de conduit de fumées
Coupe perpendiculaire à la pente



* Le garnissage incombustible utilisé est compatible avec le système d'étanchéité (ex : laine de roche)

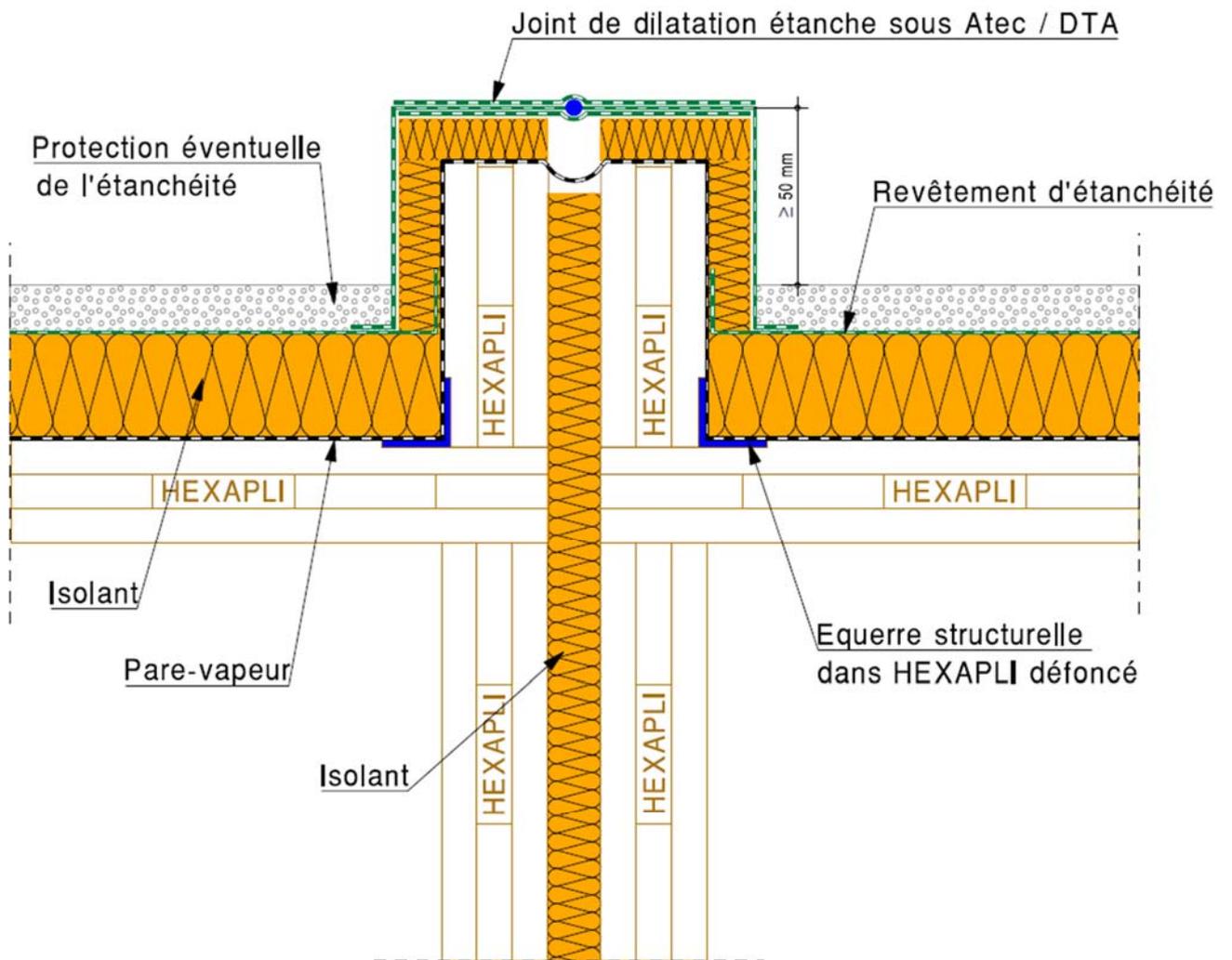
Figure A15 - Toiture chaude isolée inaccessible - Joint de dilatation avec costière bois
Coupe perpendiculaire à la pente



* minimum, se référer au DTU 43.4 P1-1 § 8.2.3

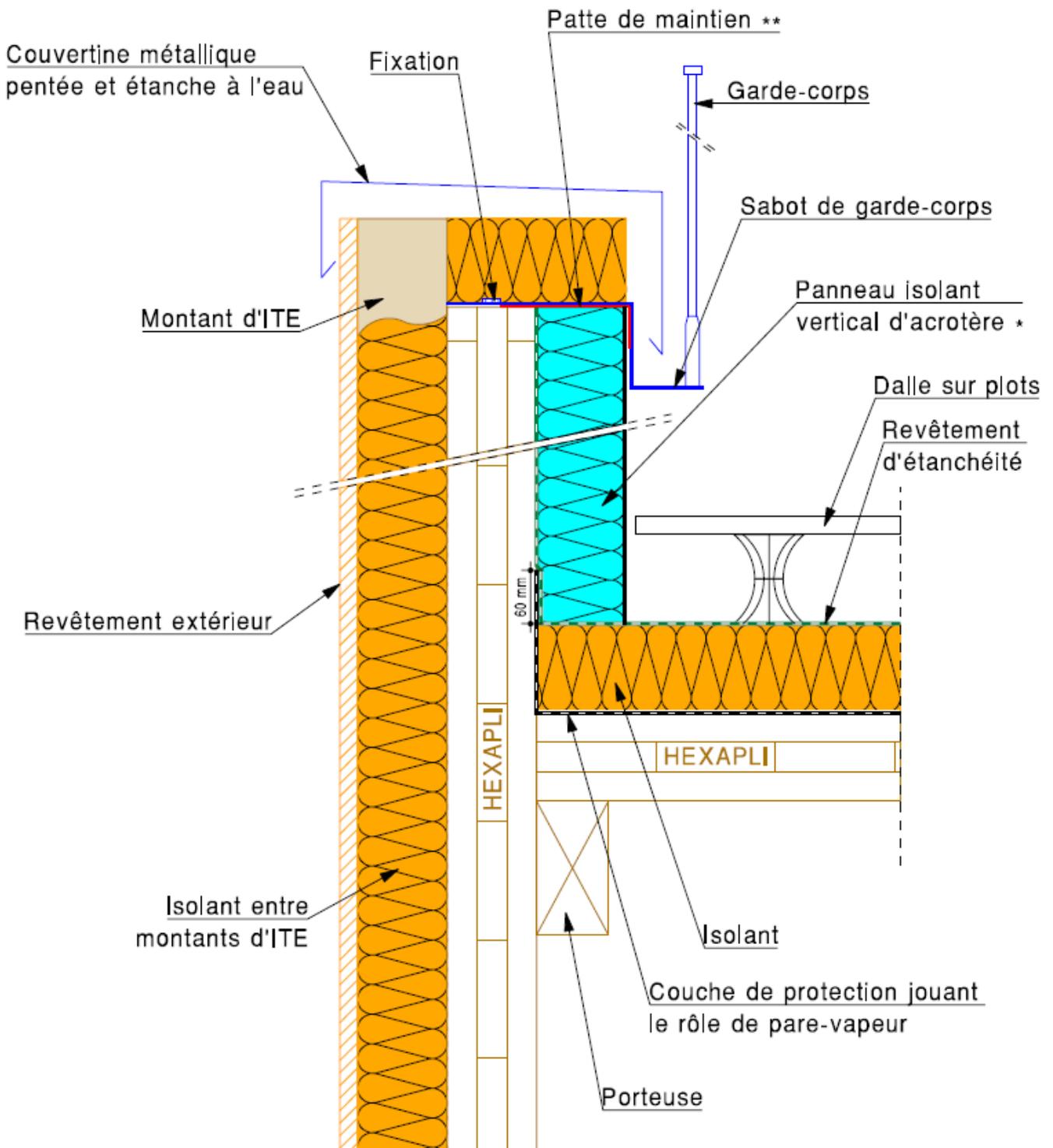
Applicable hors exigences sismiques

Figure A16- Toiture chaude isolée inaccessible - Joint de dilatation avec acrotères isolés en CLT
Coupe perpendiculaire à la pente



Lorsque l'ouvrage est en situation sismique, l'isolant utilisé pour combler le joint de dilatation est un isolant souple.

Figure A17 - Toiture chaude isolée accessible - Acrotère isolé en CLT avec garde-corps
Coupe perpendiculaire à la pente



* panneau isolant vertical d'acrotère (ex: polystyrène extrudé) sous Atec / DTA comportant un parement de protection UV

** définies dans l'ATec / DTA du panneau isolant vertical d'acrotère

Figure A18 - Toiture chaude isolée accessible - Entrée des eaux pluviales avec crapaudine
Coupe perpendiculaire à la pente

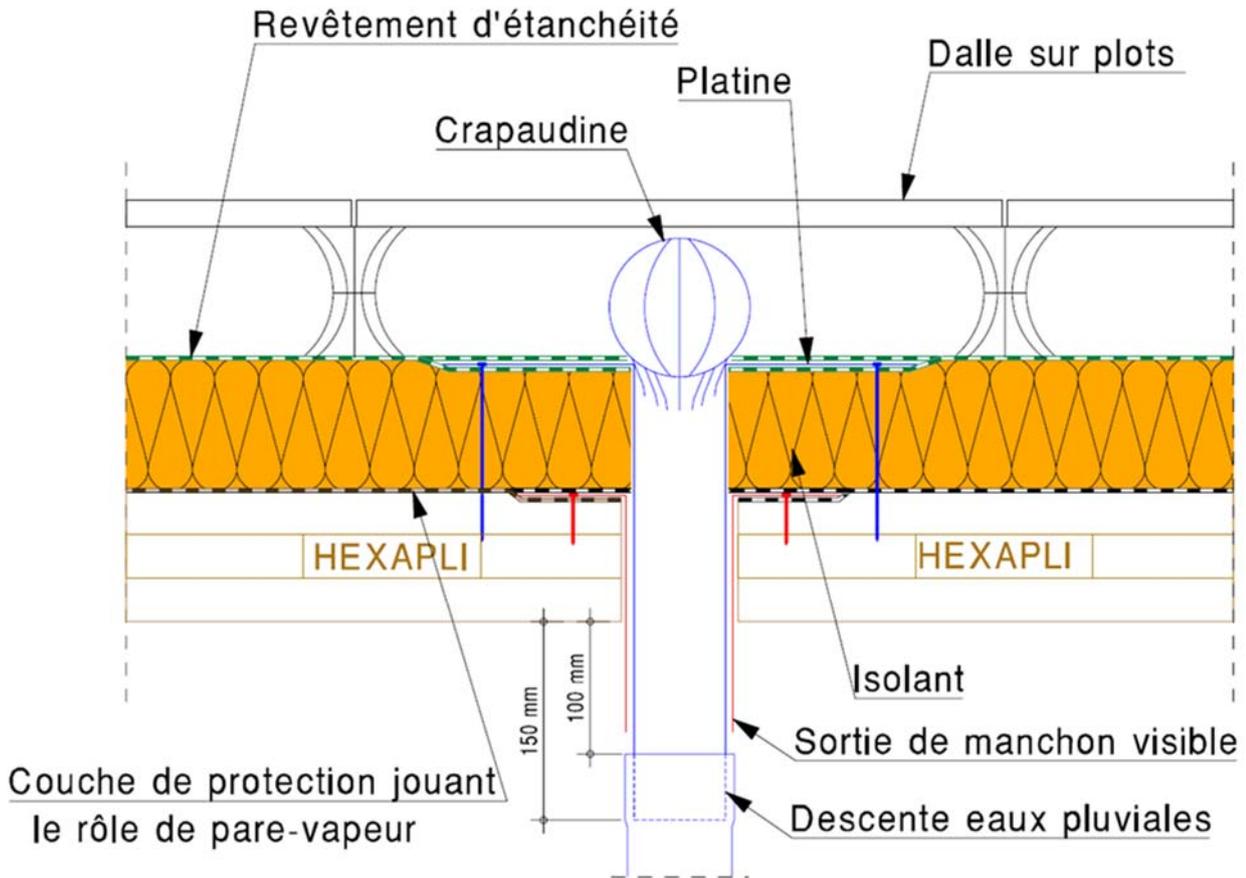
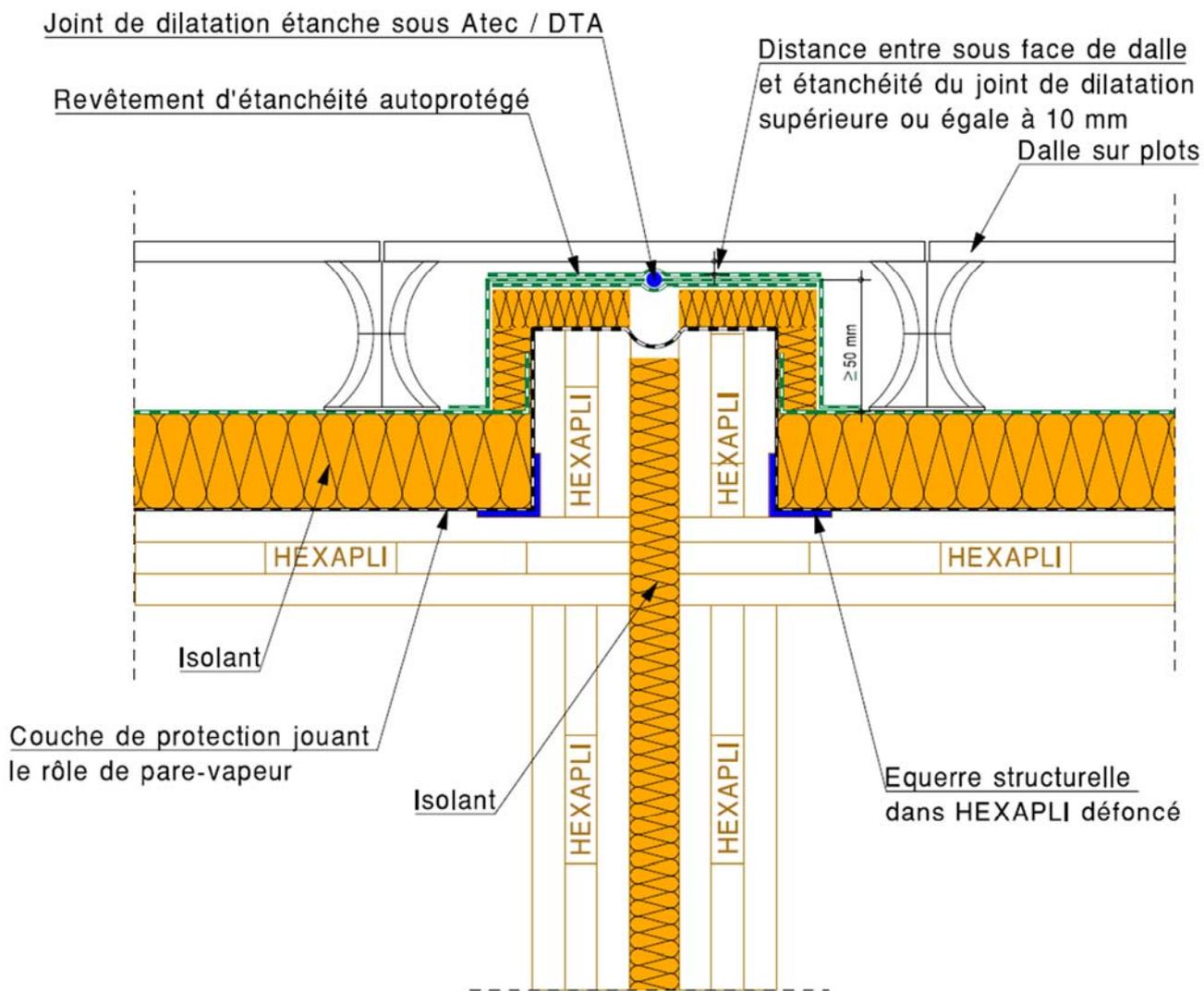
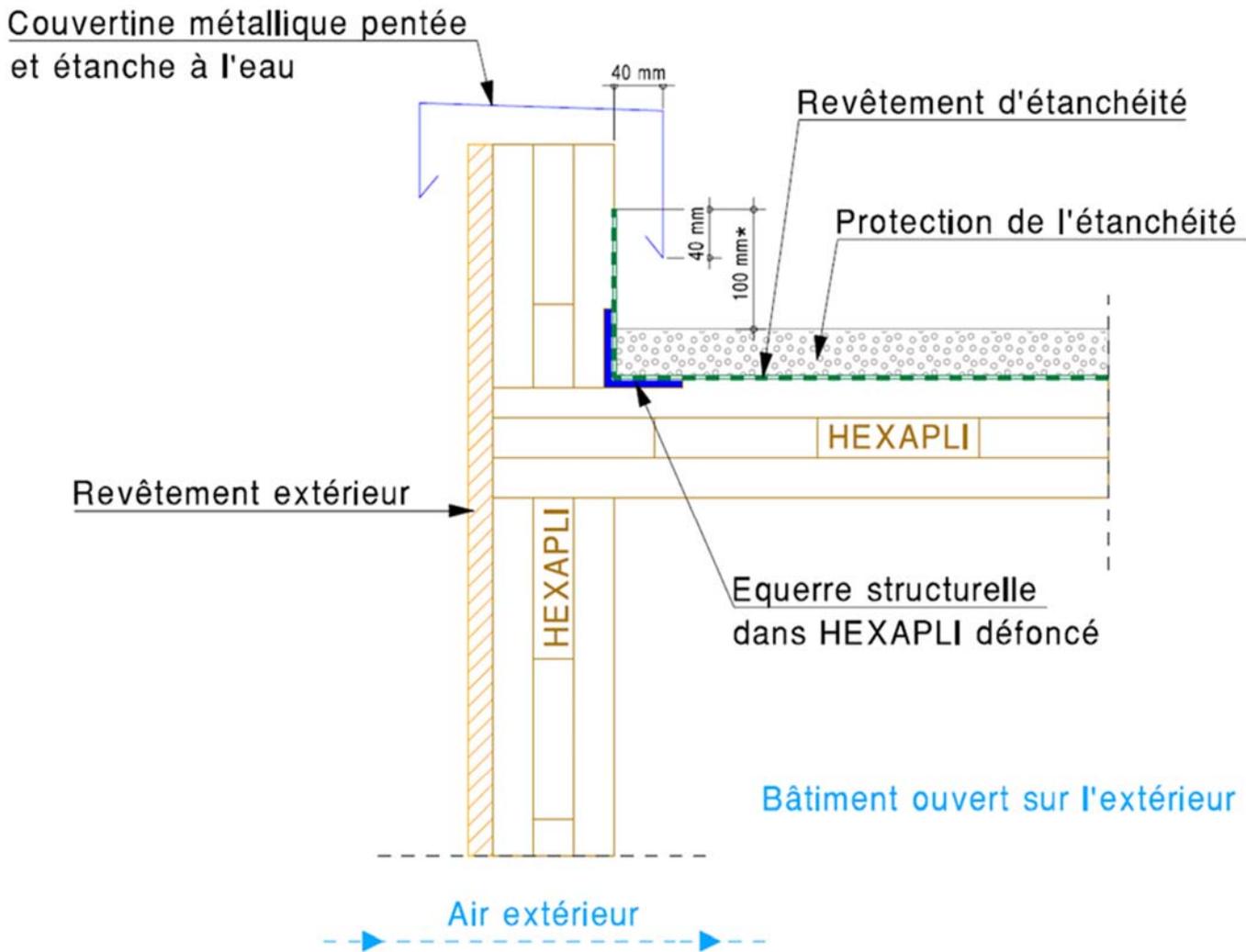


Figure A19 - Toiture chaude isolée accessible - Joint de dilatation
Coupe perpendiculaire à la pente



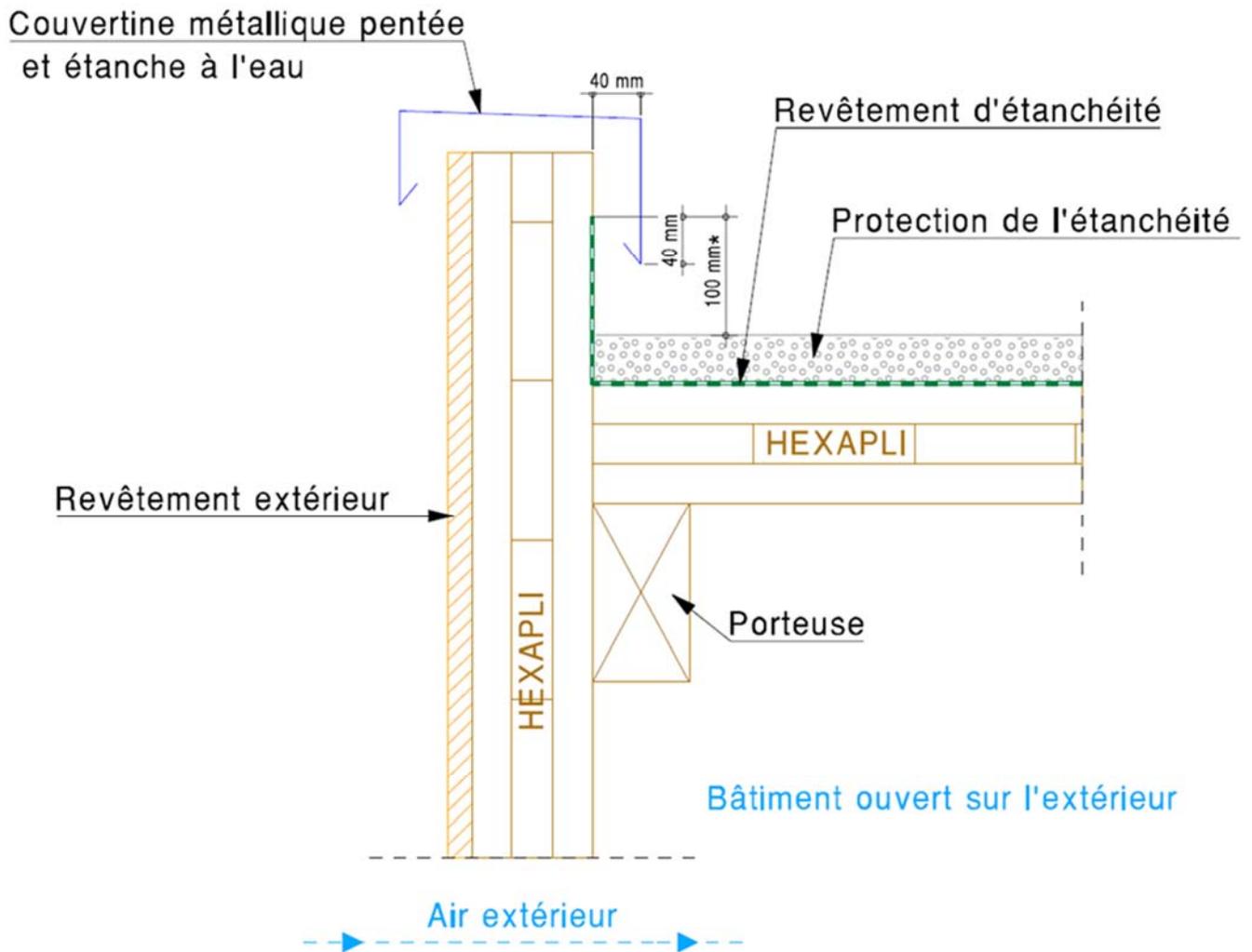
Lorsque l'ouvrage est en situation sismique, l'isolant utilisé pour combler le joint de dilatation est un isolant souple.

**Figure A20 - Toiture froide ventilée, non isolée et inaccessible - Acrotère en HEXAPLI
Coupe perpendiculaire à la pente**



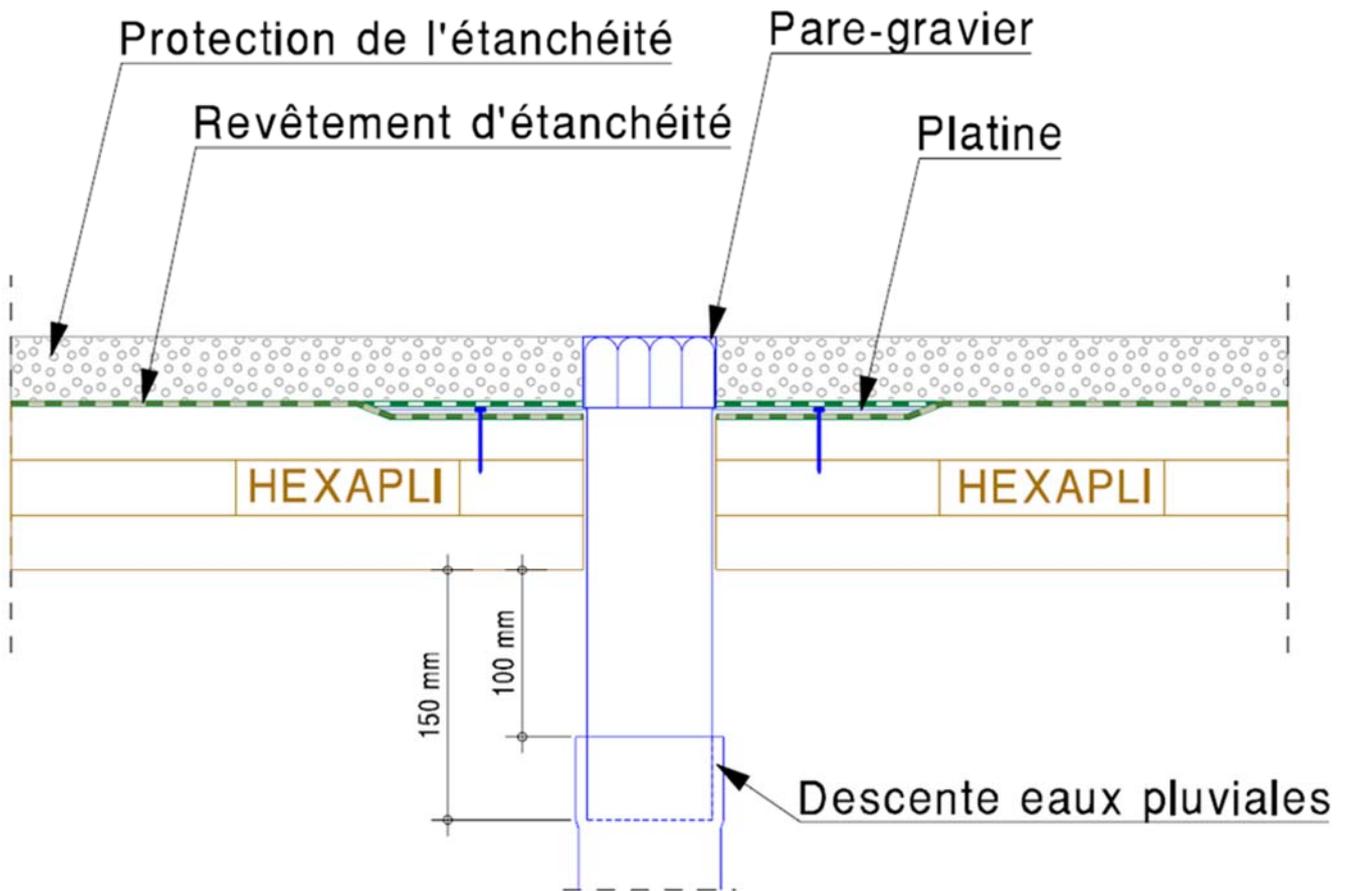
* minimum, se référer au DTU 43.4 P1-1 § 8.2.3

**Figure A21 - Toiture froide ventilée, non isolée et inaccessible - Acrotère en HEXAPLI filant
Coupe perpendiculaire à la pente**



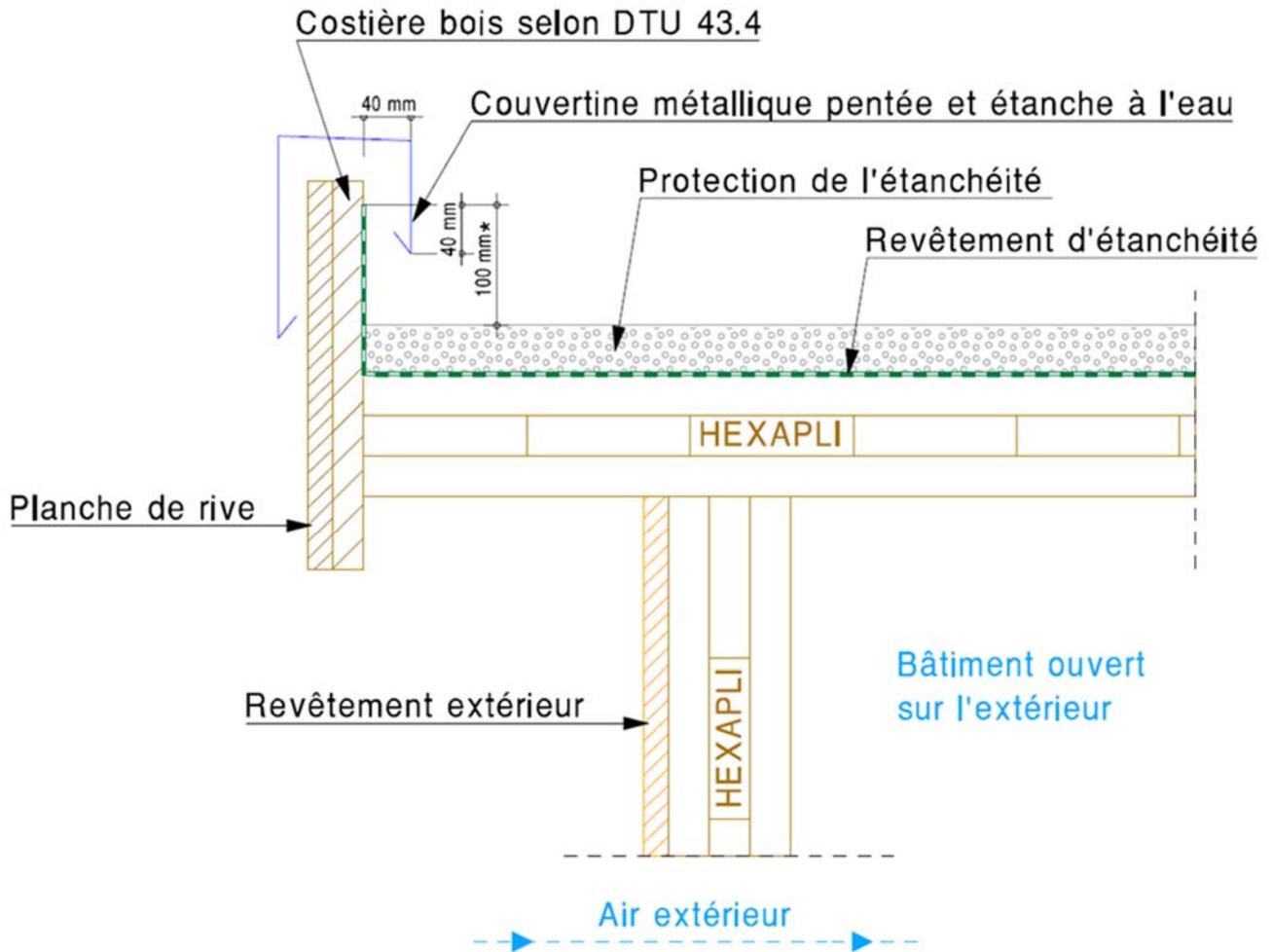
* minimum, se référer au DTU 43.4 P1-1 § 8.2.3

Figure A22 - Toiture froide ventilée, non isolée et inaccessible - Entrée d'eaux pluviales avec crapaudine
Coupe perpendiculaire à la pente



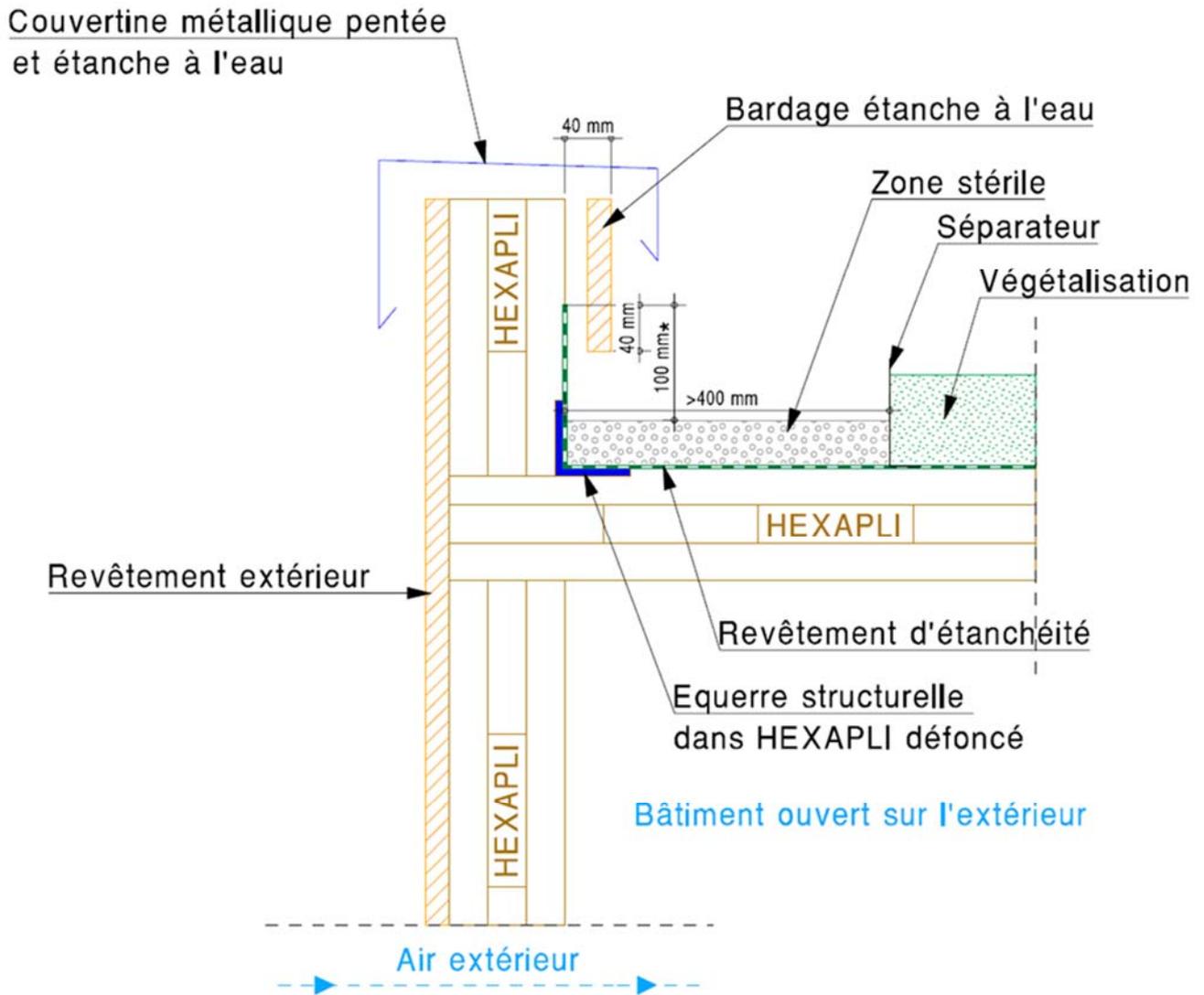
Bâtiment ouvert sur l'extérieur

**Figure A23 - Toiture froide ventilée, non isolée et inaccessible – Débord de toiture en HEXAPLI
Coupe perpendiculaire à la pente**



* minimum, se référer au DTU 43.4 P1-1 § 8.2.3

**Figure A24 - Toiture froide ventilée, non isolée et végétalisée – Acrotère en HEXAPLI
Coupe perpendiculaire à la pente**



* minimum, se référer au DTU 43.4 P1-1 § 8.2.3

Figure A25 - Toiture chaude isolée végétalisée - Acrotère en CLT
Coupe perpendiculaire à la pente

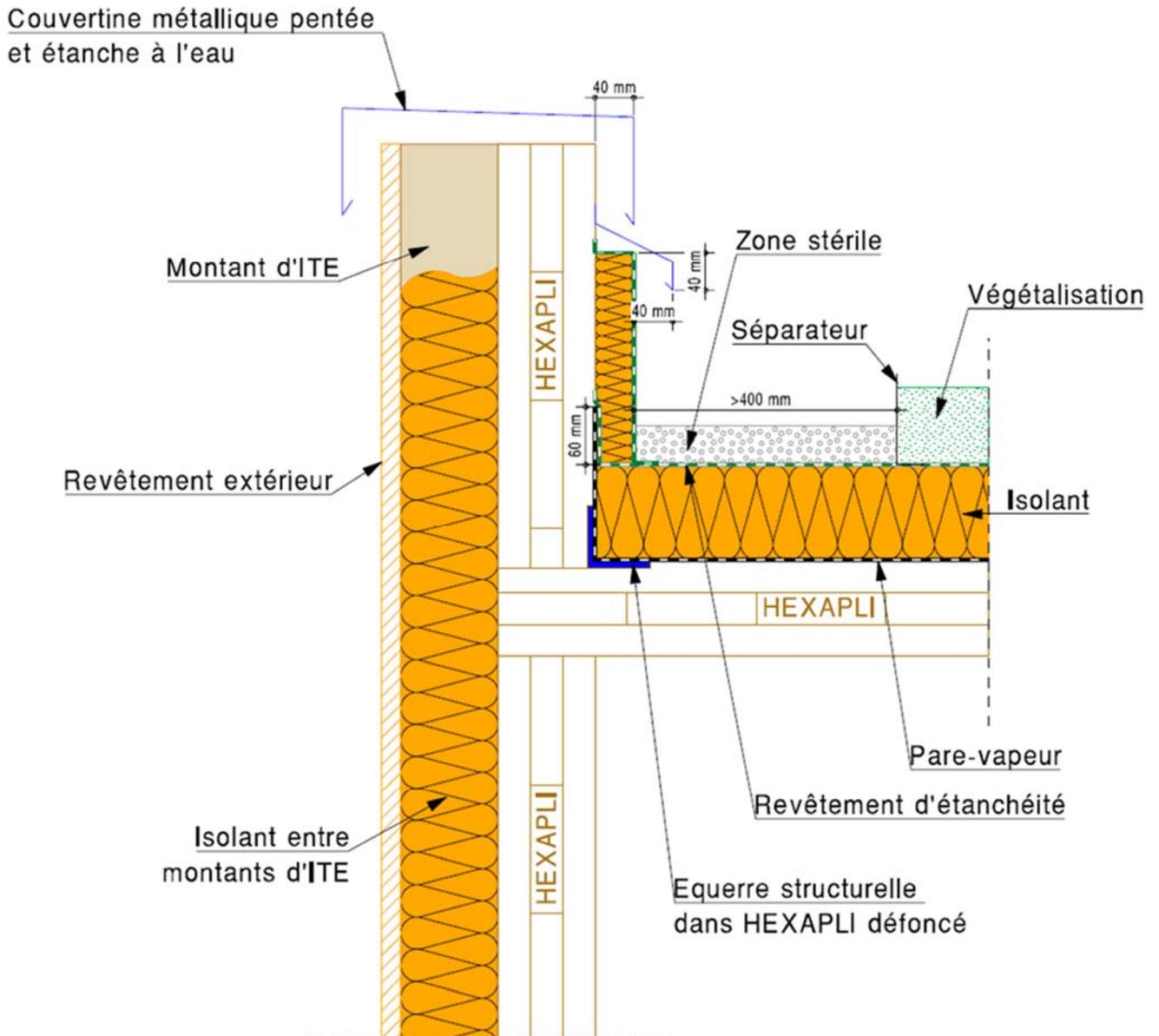


Figure A26 - Toiture chaude isolée végétalisée - Entrée d'eaux pluviales avec pare-gravier
Coupe perpendiculaire à la pente

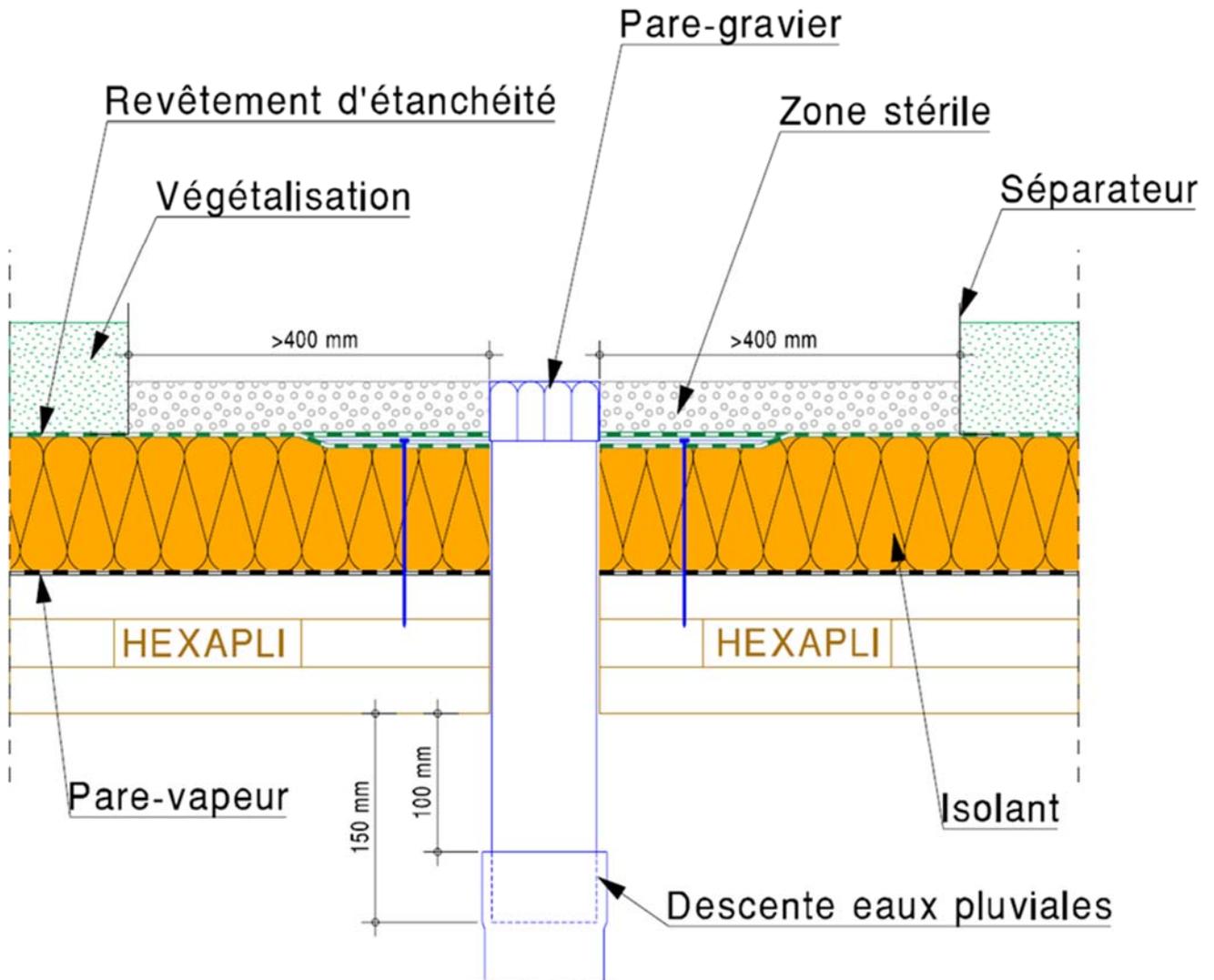
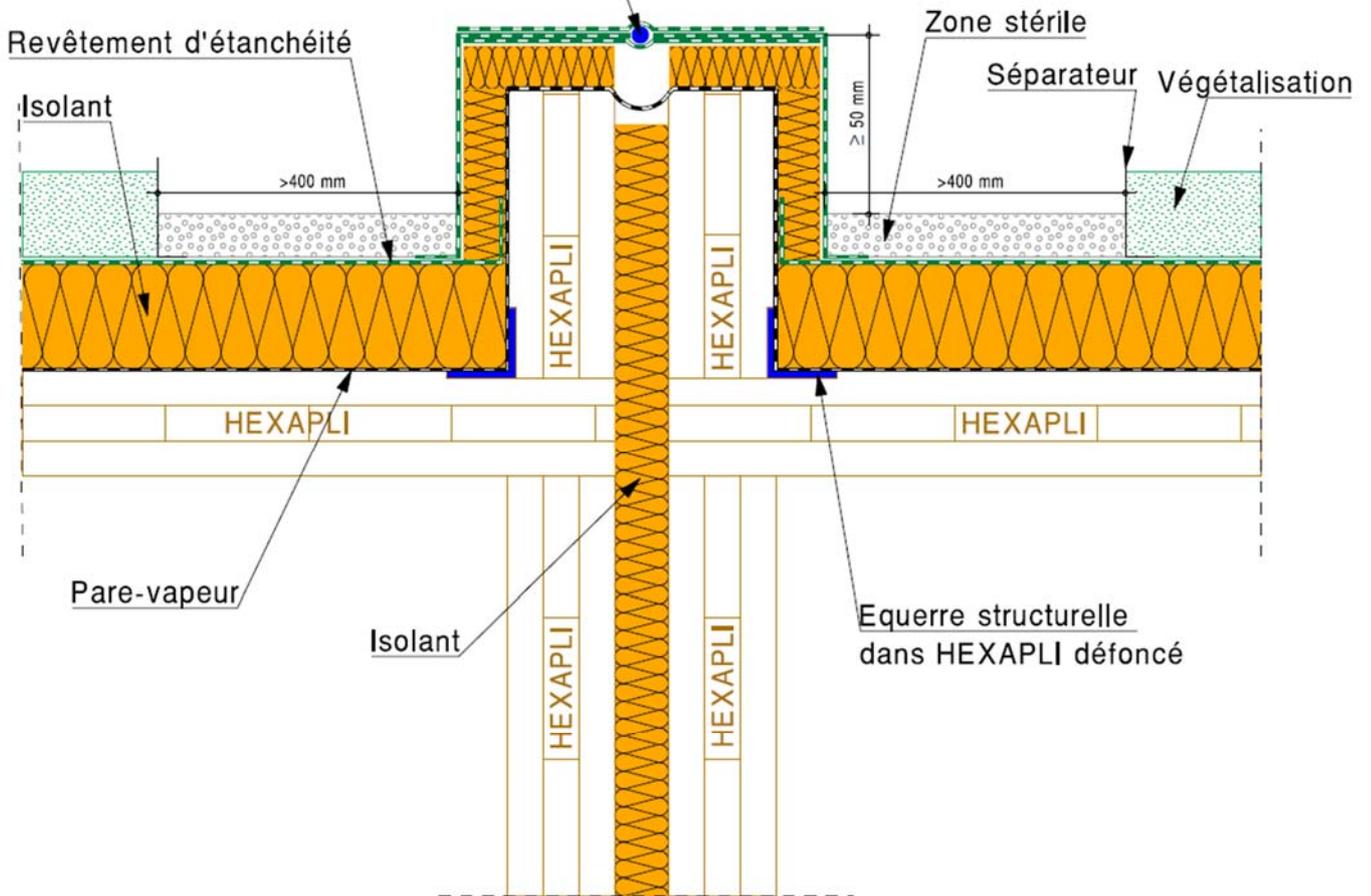


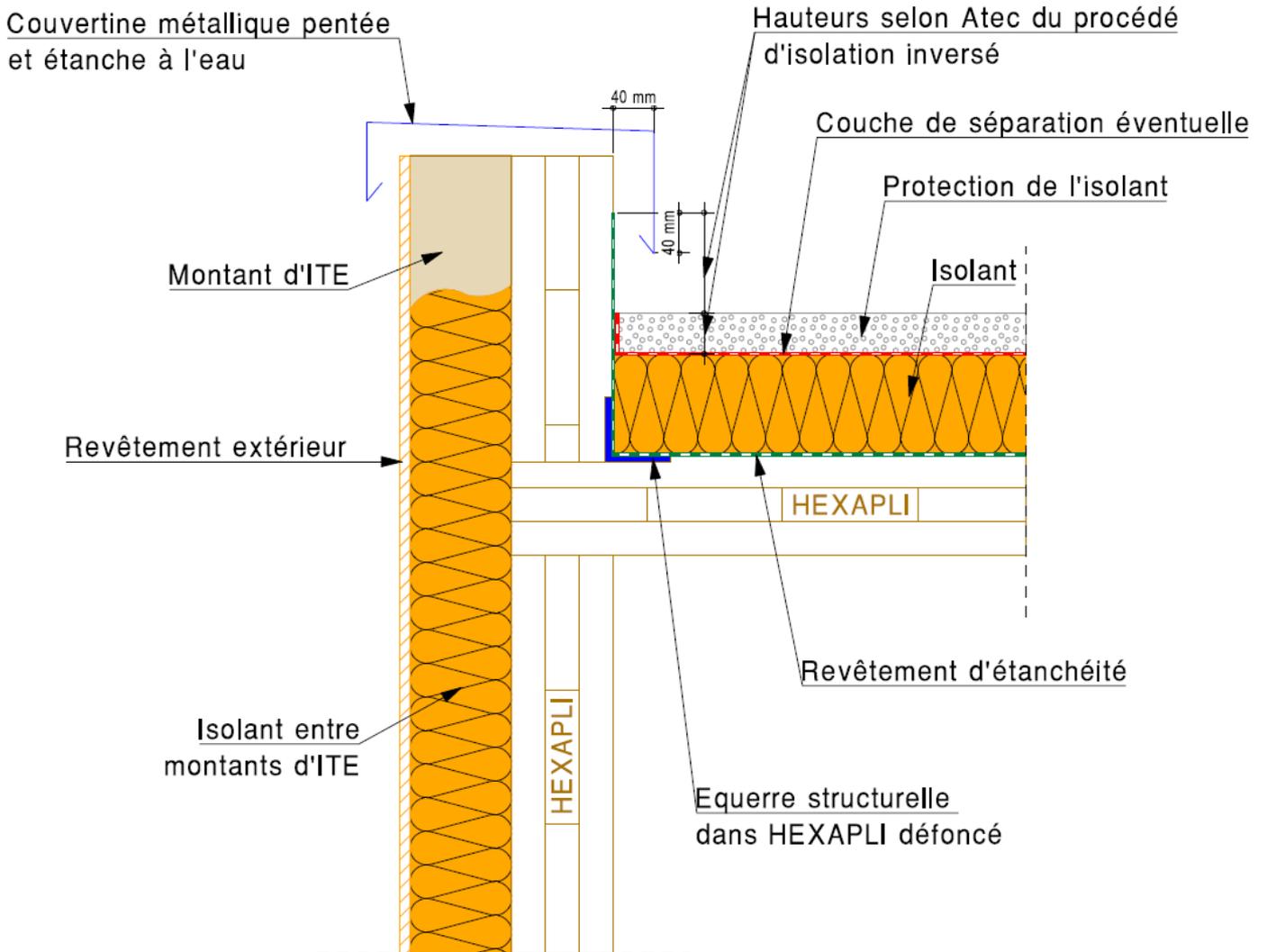
Figure A27 - Toiture chaude isolée végétalisée - Joint de dilatation
Coupe perpendiculaire à la pente

Joint de dilatation étanche sous Atec / DTA

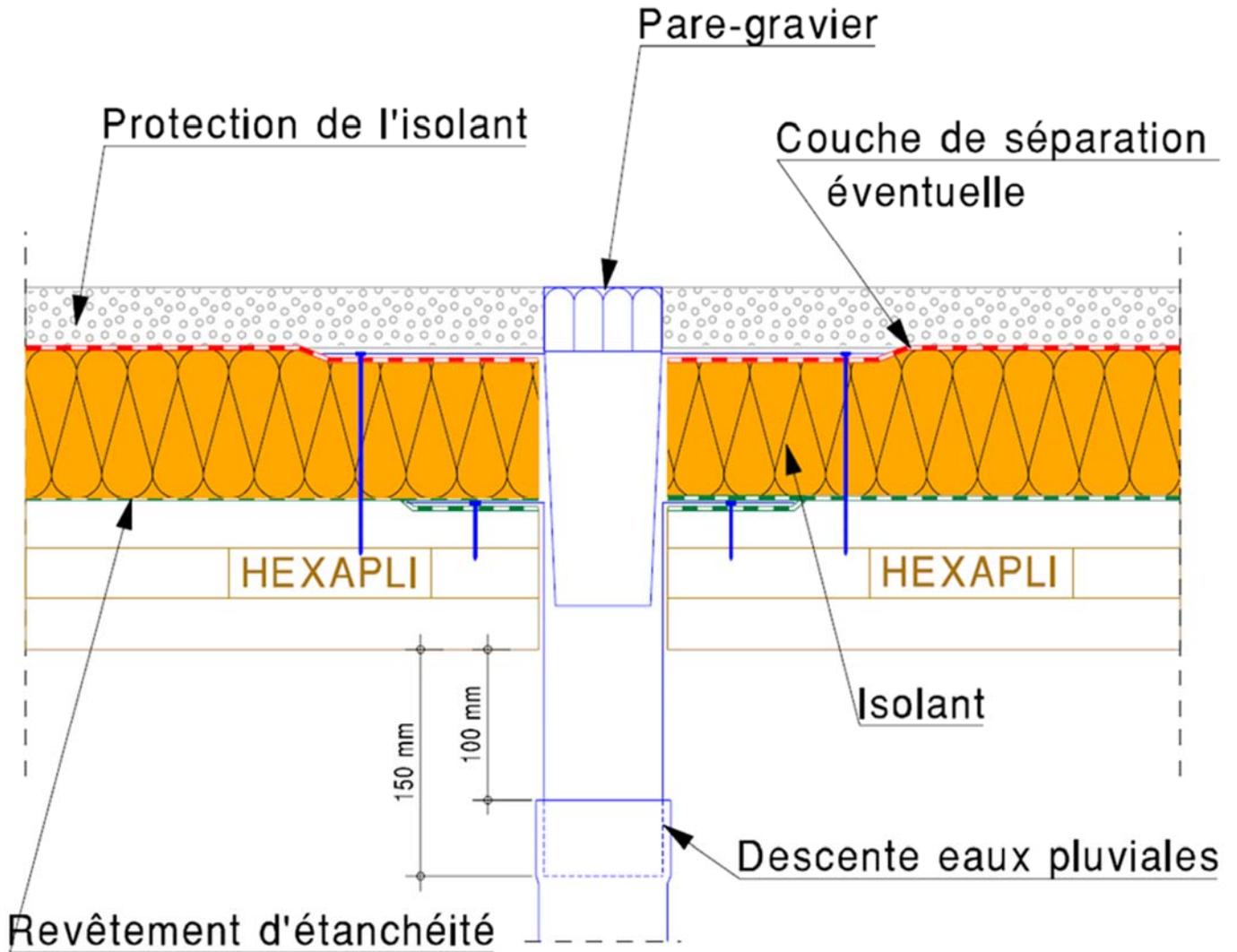


Lorsque l'ouvrage est en situation sismique, l'isolant utilisé pour combler le joint de dilatation est un isolant souple.

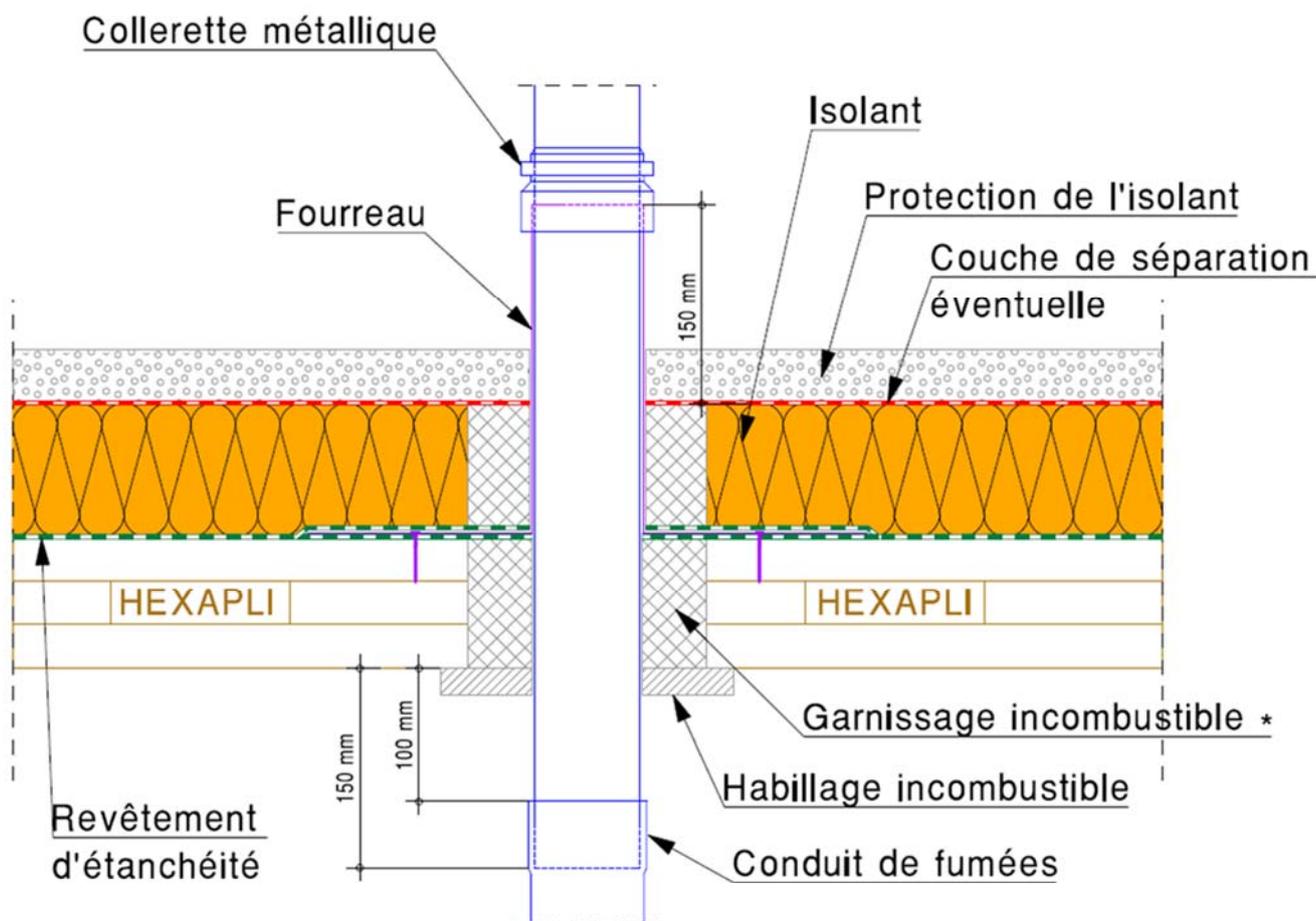
**Figure A28 - Toiture chaude isolée inaccessible - Acrotère en CLT - (Isolation inversée)
Coupe perpendiculaire à la pente**



**Figure A29 - Toiture chaude isolée inaccessible - Entrée d'eaux pluviales avec pare-gravier - (Isolation inversée)
Coupe perpendiculaire à la pente**



**Figure A30 - Toiture chaude isolée inaccessible - Traversée de conduit de fumées - (Isolation inversée)
Coupe perpendiculaire à la pente**



* Le garnissage incombustible utilisé est compatible avec le système d'étanchéité (ex : laine de roche)

ANNEXE B Utilisation en support de couverture

B1 PRINCIPE ET DOMAINE D'EMPLOI

B1.1 Domaine d'emploi

Les panneaux HEXAPLI sont destinés à l'utilisation en support de couverture plane ventilée (dite froide) ou de couverture non ventilée en sous-face (dite chaude, uniquement dans le cas particulier prévu aux § B1.3 et § B4), sur bâtiment de tous types, en construction neuve ou en rénovation, en France Métropolitaine (hors Départements et Régions d'Outre-Mer).

Ils sont réservés à la réalisation de locaux à faible ou moyenne hygrométrie en climat de plaine ou, uniquement en couverture froide, en climat de montagne (altitude > 900m).

Il est possible de mettre en œuvre, en couverture froide, des procédés de sarking sous Document Technique d'Application sur les panneaux HEXAPLI, l'isolant est alors posé en lit continu. Des dispositions spécifiques s'appliquent pour les procédés de sarking, il est nécessaire de se référer au § B3.5.

B1.2 Couverture froide

La couverture froide est caractérisée par la ventilation en sous-face de la couverture ou de son support continu par la réalisation d'une lame d'air ventilée sur l'extérieur.

Il est nécessaire de respecter les prescriptions de ventilation de la sous-face de la couverture prévues par les DTU et Atec/DTA (section et répartition des entrées et sorties d'air, épaisseur de lame d'air, etc.) du procédé de couverture utilisé.

Le complexe de l'intérieur vers l'extérieur en climat de plaine est constitué ainsi :

- Parement éventuel et isolation éventuelle en sous-face de panneau HEXAPLI (cf. § B3.2) ;
- Panneau HEXAPLI ;
- Pare-vapeur si pose d'un matériau isolant (cf. § B3.2) ;
- Isolant éventuel posé entre chevrons ou en lit continu dans le cas du sarking (cf. § B3.5) ;
- Ecran de sous-toiture lorsque nécessaire (cf. § B3.3) ;
- Lamme d'air ventilée sur l'extérieur ;
- Support de couverture continu ou discontinu ;
- Couverture.

Le complexe en climat de montagne est décrit dans le paragraphe B5.

B1.3 Couverture chaude

La couverture chaude est caractérisée par la pose de la couverture directement sur le complexe isolant sans réalisation d'une lame d'air ventilée.

La seule configuration envisagée dans le cadre du présent Avis Technique est la mise en œuvre sur les panneaux HEXAPLI du procédé « VMZ Toiture Compacte » bénéficiant d'un DTA en cours de validité. De plus, seul l'utilisation en climat de plaine est admise. Le procédé est mis en œuvre en respectant les dispositions prévues par le document technique d'application pour la pose sur support bois ou panneaux à base de bois.

Le complexe de l'intérieur vers l'extérieur est constitué ainsi :

- Parement éventuel (isolation en sous-face de panneau HEXAPLI exclue) ;
- Panneau HEXAPLI ;
- Feuille de bitume SBS ;
- Isolant FOAMGLAS® ;
- Membrane bitumineuse ;
- Ecran de désolidarisation ;
- Couverture VM ZINC PLUS® à joint debout.

Se reporter au Document Technique d'Application VMZ Toiture Compacte pour la description et la mise en œuvre des éléments constitutifs du complexe de couverture.

Conformément au DTA du procédé VMZ Toiture Compacte, les panneaux HEXAPLI ne peuvent pas recevoir d'isolation rapportée en sous-face.

B2 CONCEPTION EN PANNEAUX HEXAPLI

B2.1 Conception

Les plis extérieurs des panneaux HEXAPLI sont généralement orientés dans le sens de leur plus grande dimension.

Les panneaux HEXAPLI peuvent être mis en œuvre de deux manières, illustrées en Figure B1 :

- En pose dite « chevron » sur deux appuis ou plus avec porte à faux éventuel. Le panneau est placé dans le plan de toiture avec sa plus grande dimension perpendiculaire au faitage et repose généralement sur la panne faitière et la panne sablière avec des appuis intermédiaires éventuels tels que des pannes ou des murs ;
- Ou en pose dite « panne » sur deux appuis ou plus avec porte à faux éventuel. Le panneau est placé dans le plan de toiture avec sa plus grande dimension parallèle au faitage et repose sur des arbalétriers, des pignons ou des murs avec des appuis intermédiaires éventuels.

B2.2 Dimensionnement des panneaux HEXAPLI

B2.2.1 Dispositions pour les panneaux HEXAPLI

La conception et le calcul des panneaux HEXAPLI sont réalisés conformément à l'avis technique HEXAPLI.

Il est nécessaire de prendre en compte les charges surfaciques, linéaires ou ponctuelles engendrées par le support de couverture, la couverture et son isolation éventuelle, ainsi que les charges d'entretien et les charges provoquées par l'étape de mise en œuvre lors du dimensionnement.

Les panneaux HEXAPLI sont assemblés entre eux conformément aux dispositions de l'avis technique HEXAPLI.

La fixation des panneaux HEXAPLI sur la structure porteuse est effectuée conformément aux dispositions de l'avis technique HEXAPLI.

B2.2.2 Ouvertures, pénétrations dans les panneaux HEXAPLI

Les percements et ouvertures dans les panneaux HEXAPLI pour les conduits de fumées, conduits de ventilation, souches, fenêtre de toits, lanterneaux, doivent être justifiés mécaniquement. Un exemple de traitement de fenêtre de toit est donné en Figure B10.

Il est nécessaire de justifier la reprise des efforts engendrés par les éléments rapportés :

- Soit seuls les panneaux HEXAPLI reprennent les efforts, il est alors nécessaire de se référer à l'avis technique HEXAPLI ;
- Soit des moyens de renforts structuraux sont utilisés pour réaliser un chevêtre porteur.

Il convient de respecter la distance de sécurité par rapport aux matériaux combustibles conformément au DTU 24.1 pour l'implantation des conduits de fumées. Un exemple est donné en Figure B11.

B2.3 Fixation du complexe de couverture

Les fixations des éléments supports de couvertures en éléments bois rapportés sur les panneaux HEXAPLI (pannes, chevrons, etc.) sont conçues conformément aux dispositions des DTU ou ATec/DTA des éléments de couvertures. La fixation de ces éléments bois rapportés (pannes, chevrons, etc.) sur les panneaux HEXAPLI est justifiée conformément à l'avis technique HEXAPLI en respectant les préconisations données dans le § 2.9.2 « Dispositions spécifiques aux composants métalliques ».

Il convient de se référer au § B3.5 dans le cas du sarking.

En cas de pose directe (contrelattes support de liteaux, voliges ou de panneaux à base de bois support de couverture) sur panneau HEXAPLI, les fixations des éléments support de couvertures sur les panneaux HEXAPLI sont conçues conformément aux dispositions des DTU ou ATec/DTA des éléments de couvertures pour la fixation sur les éléments de structure bois en considérant le panneau HEXAPLI comme un support en bois massif d'épaisseur équivalente.

Il est possible d'avoir à augmenter l'épaisseur des panneaux HEXAPLI ou de la structure porteuse pour respecter les longueurs minimales de pénétration exigées pour les ancrages.

B3 DISPOSITIONS POUR LES COUVERTURES FROIDES EN CLIMAT DE PLAINE

B3.1 Couvertures froides visées en climat de plaine

B3.1.1 Liste des couvertures visées

Les éléments HEXAPLI peuvent être associés :

- Aux différents types de couvertures posés sur supports discontinus (liteaunages) :
 - Ardoises naturelles (DTU 40.11) ;
 - Ardoises en fibres-ciment (DTU 40.13) ;
 - Tuiles de terre cuite à emboîtement et à glissement (DTU 40.21) ;
 - Tuiles de terre cuite à emboîtement à pureau plat (DTU 40.211) ;
 - Tuiles canal de terre cuite (DTU 40.22) ;
 - Tuiles plates de terre cuite (DTU 40.23) ;
 - Tuiles plates en béton (DTU 40.25) ;
 - Tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (DTU 40.24) ;
 - Tuiles planes en béton à glissement et à emboîtement longitudinal, (DTU 40.241).
- Aux différents types de couvertures posés sur éléments continus (voligeage jointif ou sur panneaux supports conformes aux DTU concernés) :
 - Ardoises naturelles (NF DTU 40.11) ;
 - Bardeaux bitumés, (DTU 40.14) ;
 - Tuiles canal de terre cuite, (DTU 40.22) ;
 - Grands éléments en feuilles et longues feuilles de zinc, d'acier inoxydable étamé, de cuivre ou de plomb (série DTU 40.4*).
- Aux couvertures sur lambourdes ou pannes :
 - Tôles d'acier nervurées (DTU 40.35) ;
 - Tôles d'aluminium nervurées (DTU 40.36) ;
 - Plaques profilées en fibres-ciment (DTU 40.37).
- Aux couvertures discontinues sous Avis Techniques ou DTA posées sur liteaux ou voliges:
 - Tuiles et feuilles métalliques ;
 - Plaques bitumineuses.

Il est nécessaire de consulter les DTU ou ATec/DTA respectifs des éléments de couverture pour vérifier notamment :

- La pente minimale admise par les éléments de couverture, cette pente pouvant être modifiée par la pose ou non d'un écran de sous-toiture ;
- Le besoin de création d'une lame d'air ventilée en sous-face de la couverture ou de l'écran de sous-toiture éventuel et les dispositions concernant sa conception ;
- La longueur projetée maximale du rampant de couverture.

B3.1.2 Mise en œuvre des couvertures froides en climat de plaine

B3.1.2.1 Couvertures en ardoises

La conception et la pose des couvertures en ardoises sont réalisées conformément aux prescriptions du DTU 40.11 pour les ardoises naturelles et du DTU 40.13 pour les ardoises en fibres-ciment. La pose directe des ardoises sur les panneaux HEXAPLI n'est pas admise. La pose s'effectue en couverture froide ventilée, les liteaux sont posés sur des contre-lattes parallèles à la pente.

B3.1.2.2 Couvertures en bardeaux bitumés

La conception et la pose des couvertures en bardeaux bituminés sont réalisées conformément aux prescriptions du DTU 40.14. La pose directe des bardeaux sur panneaux HEXAPLI n'est pas admise. La pose des bardeaux bituminés s'effectue en couverture froide ventilée sur un support continu conforme au DTU 40.14, posé sur des contre-lattes parallèles à la pente.

B3.1.2.3 Couvertures en tuiles

La conception et la pose des couvertures en tuiles sont réalisées conformément aux prescriptions des DTU de la série 40.2*. La pose directe des tuiles sur les panneaux HEXAPLI n'est pas admise. La pose s'effectue en couverture froide ventilée sur support continu ou discontinu conformément aux DTU de la série 40.2* visant le type de tuile concerné et posé sur des contre-lattes parallèles à la pente, de sorte qu'il subsiste un espace minimal de 2 cm entre la tuile et le panneau HEXAPLI.

B3.1.2.4 Couvertures en plaques métalliques nervurées

La conception et la pose des couvertures en plaques métalliques nervurées sont réalisées conformément aux prescriptions des DTU 40.35 et DTU 40.36 en couverture froide ventilée. La pose directe sur panneaux HEXAPLI n'est pas admise.

Cas du complexe avec un isolant

Les plaques nervurées reposent sur des éléments de type pannes conformes au DTU correspondant et fixées sur des chevrons parallèles à la pente à travers des contrelattes d'épaisseur minimale 4 cm, pour permettre de maintenir une lame d'air continue d'épaisseur suffisante.

Il est fait le choix pour collecter l'eau provenant de la condensation de systématiser le recours à un écran de sous toiture certifié QB25 et classé Sd1. Il est mis en œuvre en pose tendue sur les chevrons, au contact de l'isolant thermique et sans ventilation en sous-face de l'écran. L'écran, certifié QB25 et classé Sd1, est hautement perméable à la vapeur d'eau (HPV) et est mis en œuvre conformément aux dispositions du DTU 40.29.

Cas de complexe sans isolation

Les plaques nervurées reposent sur des éléments de type pannes conformes au DTU correspondant et fixées sur des chevrons parallèles à la pente d'épaisseur minimale 4cm pour permettre de maintenir une lame d'air continue d'épaisseur suffisante.

Il est fait le choix pour collecter l'eau provenant de la condensation de systématiser le recours à un écran de sous toiture certifié QB25. Il est mis en œuvre en pose directe sur les panneaux HEXAPLI conformément aux dispositions du DTU 40.29 pour la pose sur support continu ventilé en sous-face.

B3.1.2.5 Couvertures en feuilles métalliques

La conception et la pose des couvertures en feuilles métalliques sont réalisées conformément aux prescriptions de la série de DTU 40.4*. La pose s'effectue sur support bois continu en couverture froide ventilée. La pose directe sur panneaux HEXAPLI n'est pas admise sauf dans le cas traité à l'alinéa ci-dessous.

Dans le cas d'un bâtiment ouvert sur l'extérieur où les conditions climatiques en sous face de panneau HEXAPLI sont comparables aux conditions climatiques extérieures (par exemple tribunes, hangars ouverts non chauffés, etc.), la pose directe du revêtement de couverture en feuille métallique sur les panneaux HEXAPLI est admise sous réserve d'utiliser un système sous Avis Technique / Document Technique d'Application tel que « Delta VMZINC® » ou « Système Rheinzink® - Joint debout associé à Delta® - Trela Plus, support ventilé », et d'appliquer les dispositions prévues par ces documents pour la mise en œuvre sur supports en bois ou panneaux à base de bois. Ces procédés mettent en œuvre des écrans de séparation ou d'interposition qui permettent d'évacuer l'eau de condensation et d'empêcher le contact direct des feuilles en zinc avec le Douglas dans le cas des panneaux HEXAPLI Douglas. Le recours à un parement en sous-face des panneaux HEXAPLI est proscrit dans cette configuration pour assurer la bonne ventilation de la sous face des panneaux. Des exemples de conception sont donnés en Figures B18 et B19.

B3.1.2.6 Couvertures en tuiles métalliques

La conception et la pose des couvertures en tuiles métalliques sont réalisées en couverture froide ventilée conformément aux prescriptions des ATec / DTA des procédés, les liteaux étant posés sur des contre-lattes parallèles à la pente. La pose directe sur panneaux HEXAPLI n'est pas admise.

B3.1.2.7 Couvertures en plaques ondulées fibres-ciment

La conception et la pose des ouvertures en plaques ondulées fibres-ciment sont réalisées conformément aux prescriptions du DTU 40.37. La pose directe sur panneaux HEXAPLI n'est pas admise. La pose s'effectue sur support discontinu de type pannes posées sur des chevrons parallèles à la pente, en couverture froide ventilée.

Pour les procédés destinés à recevoir des tuiles uniquement avec fonction d'aspect il convient de se référer aux ATec / DTA des procédés de plaques fibres-ciment support de tuiles correspondants.

B3.2 Pare vapeur

La mise en œuvre d'un écran pare-vapeur est obligatoire lors du recours à des matériaux isolants dans le complexe de couverture.

Le pare-vapeur est conforme au DTU 31.2 ou au DTU 43.4 et mis en œuvre conformément au DTU correspondant.

En couverture froide ventilée et en climat de plaine, il est nécessaire d'utiliser un pare-vapeur de $S_d \geq 18$ m.

La pare-vapeur est positionné sur la face extérieure des panneaux HEXAPLI. En cas d'isolation en sous-face des panneaux HEXAPLI, il convient en climat de plaine de vérifier en limite la règle du 1/3 - 2/3, (1/3 maximum de résistance thermique avant le pare-vapeur (en dessous) ; 2/3 minimum de résistance thermique après le pare-vapeur (au-dessus)). La valeur de lambda indiquée dans l'avis technique HEXAPLI est utilisée pour calculer la résistance thermique des panneaux HEXAPLI.

B3.3 Ecran de sous-toiture

Sous des éléments de couverture tels que des petits éléments discontinus des DTU de la série 40.1- et 40.2 ou des éléments sous ATec ou DTA, un écran de sous-toiture est mis en œuvre selon les prescriptions de ces documents. S'il n'est pas rendu obligatoire par ces documents, il peut être prescrit par les DPM.

Il est fait le choix de systématiser le recours à un écran de sous-toiture sous les couvertures en plaques métalliques nervurées, les dispositions sont précisées dans le paragraphe correspondant (cf. § B3.1.2.4).

Il convient de se référer au DTU 40.29 pour le choix et la mise en œuvre de l'écran de sous-toiture.

B3.4 Isolation entre chevrons

Les panneaux HEXAPLI sont support continu de l'isolant qui peut être posé entre chevrons ou en lit continu selon un procédé de sarking sous Document Technique d'Application.

Dans le cas d'une isolation posée entre chevrons, tous les types d'isolants peuvent être utilisés conformément au Cahier du CSTB 3560_V2 et AT/DTA spécifique du GS 20, en pouvant éventuellement être posés en plusieurs couches. Lorsque la pente est supérieure à 100 %, il est nécessaire d'avoir recours à une entretoise pour bloquer l'isolant à l'égout.

Dans le cas de couverture froide, il est possible d'ajouter un complément d'isolation en sous-face de panneau CLT. Le positionnement du pare-vapeur doit alors être étudié conformément au § B3.2.

B3.5 Isolation par technique « Sarking »

Avec un procédé de sarking, l'isolant est posé en lit continu sur les panneaux HEXAPLI. Des contre-lattes sur lesquels sont fixés les éléments supports de couverture sont fixés au travers de l'isolant dans les panneaux HEXAPLI par des vis. Dans ce cas, les panneaux HEXAPLI ont une épaisseur minimale de 80 mm.

B3.5.1 Eléments de couvertures visées

Il est nécessaire de se référer à l'avis technique/DTA du procédé de sarking mis en œuvre pour obtenir les éléments de couverture visés par le procédé.

B3.5.2 Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé sarking sur les panneaux HEXAPLI est effectuée conformément aux dispositions de l'avis technique/DTA du procédé sarking.

Il convient d'appliquer les préconisations pour la fixation sur les éléments de structure bois en considérant le panneau HEXAPLI comme un support en bois massif d'épaisseur équivalente. Il est par ailleurs nécessaire de respecter les dispositions pour la densité des fixations.

B3.5.3 Points singuliers

Des exemples de conceptions avec des procédés sarking sont donnés des Figures B20 à B23.

A l'égout, des chevrons rapportés sont utilisés en cas de débord de toiture comme illustré en Figure B20.

Le débord en rive latérale est traité par une échelle de toit, constituée d'entretoises (fausses-pannes) et d'un chevron de rive comme illustré en Figure B23.

B4 DISPOSITIONS POUR LES COUVERTURES CHAUDES EN CLIMAT DE PLAINE (Cf. Fig. B.28 et B.29)

La réalisation de couverture chaude en climat de plaine est uniquement visée avec la mise en œuvre du procédé VMZ Toiture Compacte bénéficiant d'un Document Technique d'Application. Il convient de mettre en œuvre ce procédé en respectant les dispositions prévues par l'avis technique pour la pose sur support bois ou panneaux à base de bois.

Les panneaux FOAMGLAS® sont mis en œuvre sur les panneaux HEXAPLI selon les dispositions de mise en œuvre sur voliges, frises ou planches en bois massif (cf. § 4.2311 de l'Avis Technique VMZ Toiture Compacte).

La membrane bitumineuse est conforme aux exigences du DTA toiture compacte et mise en œuvre sur les panneaux bois conformément aux dispositions prévues dans son DTA pour cet usage.

Les panneaux FOAMGLAS sont collés à l'EAC exempt de bitume oxydé conformément à l'Avis Technique VMZ Toiture Compacte. Par ailleurs, l'attention est attirée sur le fait que le DTA du procédé VMZ Toiture Compacte ne prévoit pas de chemins de circulation provisoires ou permanents, ni de dispositifs d'ancrage, de ligne de vie ou d'autres équipements. Le maître d'ouvrage devra en tenir compte et prévoir d'autres dispositions en cas de présence en toiture d'équipements dont la surveillance ou l'entretien doivent être assurés régulièrement.

Dispositions spécifiques au traitement de l'égout

Les plaques isolantes de FOAMGLAS® sont maintenues par une butée basse constituée par une cornière en acier galvanisée Z 275 revêtue d'un E.I.F. La membrane bitume est rabattue et soudée sur cette butée.

Une deuxième cornière en acier galvanisé peut être ajoutée par fixation sur la première cornière pour servir d'élément raidisseur pour la tenue de la bande d'égout VM ZINC, en particulier dans le cas de la réalisation d'un débord de couverture.

B5 DISPOSITIONS POUR LES COUVERTURES FROIDES EN CLIMAT DE MONTAGNE

Il convient de se référer au « Guide des couvertures en climat de montagne du CSTB de Juin 2011 » pour la conception des couvertures en climat de montagne.

B5.1 Constitution du complexe

La conception des complexes est effectuée selon le principe de la double toiture ventilée avec réalisation d'une étanchéité complémentaire sur support continu comme décrit dans le guide des couvertures en climat de montagne.

Des complexes de couvertures mettant en œuvre des panneaux HEXAPLI en climat de montagne sont donnés en exemples en Figures B24 à B27.

B5.2 Couvertures associées

Les éléments de couvertures admis en climat de montagne sont décrits dans le Guide des couvertures en climat de montagne du CSTB de Juin 2011.

B5.3 Pare vapeur

La mise en œuvre d'un écran pare-vapeur est obligatoire lors du recours à des matériaux isolants dans le complexe de couverture.

Le pare-vapeur est conforme au guide des couvertures en climat de montagne (juin 2011), au NF DTU 31.2 ou au NF DTU 43.4 et mis en œuvre conformément au DTU correspondant.

Il est nécessaire d'utiliser un pare vapeur avec une valeur de $S_d \geq 90$ m en climat de montagne.

Le pare-vapeur est positionné sur la face extérieure des panneaux. Lorsqu'une isolation en sous-face est prévue, il convient en climat de montagne de vérifier en limite la règle du 1/4 - 3/4, (1/4 maximum de résistance thermique avant (en dessous) ; 3/4 minimum de résistance thermique après (au-dessus) du pare-vapeur). La valeur de λ indiquée dans l'avis technique est utilisée pour calculer la résistance thermique des panneaux HEXAPLI.

B5.4 Isolation

Les panneaux HEXAPLI sont support continu de l'isolant qui peut être posé entre chevrons ou en lit continu selon un procédé de sarking sous DTA visant le climat de montagne.

B5.4.1 Isolation entre chevrons

Dans le cas d'une isolation posée entre chevrons, tous les types d'isolants peuvent être utilisés conformément au Cahier du CSTB 3560_V2 et AT/DTA du GS 20 visant l'utilisation en climat de montagne en pouvant éventuellement être posés en plusieurs couches. Lorsque la pente est supérieure à 100 %, il est nécessaire d'avoir recours à une entretoise pour bloquer l'isolant à l'égout.

Il est possible d'ajouter un complément d'isolation en sous-face de panneau CLT. Le positionnement du pare-vapeur doit alors être étudié attentivement conformément au § B5.3.

B5.4.2 Sarking

Il est nécessaire de se conformer aux dispositions de l'avis technique/DTA du procédé de sarking, visant favorablement l'emploi en climat de montagne, vis-à-vis des dispositions spécifiques à respecter en climat de montagne. Dans ce cas, les panneaux HEXAPLI ont une épaisseur minimale de 80 mm.

B6 POINTS SINGULIERS

Il convient de se référer aux dispositions des DTU ou aux ATec/DTA concernés pour la réalisation des points singuliers. Des exemples de détails adaptés ci-dessous sont présentés en annexe.

B6.1 Egouts

Les chevrons sont généralement prolongés pour constituer le débord de toiture à l'égout, ce qui permet de limiter la hauteur du complexe en débord et réduire les ponts thermiques comme illustré dans les exemples donnés en Figures B5, B12, et B16. Des planches de rives sont rapportées pour empêcher l'exposition directe du complexe d'isolation et assurer son maintien.

Un exemple de traitement de chéneau est donné en Figure B9. Il convient par ailleurs de prendre les dispositions nécessaires pour assurer la ventilation à l'égout si nécessaire.

B6.2 Faitage

Les panneaux HEXAPLI peuvent être posés sur une pièce d'appui ou non au niveau du faitage.

Certains éléments de faitage nécessitent au faitage la présence d'une pièce complémentaire en bois (lisse de rehausse) fixée mécaniquement à la charpente. Cet élément sera fixé directement sur les panneaux HEXAPLI ou sur la structure rapportée sur les panneaux HEXAPLI et sa fixation sera justifiée en conséquence.

Il convient par ailleurs de prendre les dispositions nécessaires pour assurer la ventilation par le faitage si nécessaire.

Des exemples de conceptions de faitages sont donnés en Figures B6, B13 et B17.

B6.3 Rives

Le débord en rives latérale est traité par une échelle de toit, constituée d'entretoises de rive et d'un chevron de rive comme illustré dans les exemples donnés en Figures B8 et B15. Cette conception permet de limiter la hauteur du complexe et de réduire les ponts thermiques.

B6.4 Noues et arêtiers

Les panneaux HEXAPLI peuvent être posés sur une pièce d'appui ou non au niveau des arêtiers. Les arêtiers sont réalisés de manière similaire aux faitages.

Le profil et la pente de la noue sont fonction de la configuration de toiture, de la pente et de la quantité d'eau à évacuer. Un support bois continu (voligeage, fourrure, etc.) est réalisé en fond de noue pour constituer le support du couloir métallique qui est relevé sous les éléments de couverture. Il est par ailleurs nécessaire de respecter le recouvrement entre les éléments de couverture et le couloir métallique préconisé par le DTU ou ATEC/DTA de l'élément de couverture comme illustré dans les exemples donnés en Figures B7 et B14.

Selon le référentiel technique dont relève la couverture, si la pente de la noue est inférieure ou égale à 15 %, la noue doit être encaissée.

Il convient par ailleurs de prendre les dispositions nécessaires pour assurer la ventilation au niveau de la noue ou de l'arêtier dans le cas d'une couverture froide.

B7 MISE EN ŒUVRE

B7.1 Structure bois

Le titulaire du lot structure bois met en œuvre les panneaux HEXAPLI conformément aux dispositions prévues dans l'avis technique HEXAPLI ainsi que les éventuels pannes et chevrons.

Les percements et réservations dans les panneaux structuraux, sont réalisés par l'entreprise titulaire du lot structure bois.

Le désaffleurement entre deux panneaux HEXAPLI d'un même plan ne doit pas excéder 2 mm.

Les jeux entre panneaux ou entre panneaux et éléments de jonctions rapportés de type languette ne doivent pas excéder 5mm.

En phase chantier, les panneaux HEXAPLI mis en œuvre doivent recevoir une protection provisoire vis-à-vis du risque d'humidification selon le § B7.2.

Durant cette phase chantier provisoire (cf. § 2.20.8), en cas de recours à des matériaux de construction nécessitant des phases de séchages et engendrant donc une phase d'évaporation d'eau dans le bâtiment, les locaux doivent être ventilés pour éviter l'humidification des panneaux HEXAPLI. Il convient d'assurer une ventilation naturelle ou mécanique du bâtiment pour assurer le renouvellement de l'air dans le bâtiment lors de cette phase.

B7.2 Protection des panneaux HEXAPLI

Il est nécessaire de protéger les panneaux HEXAPLI vis-à-vis des intempéries par un ouvrage de protection provisoire imperméable en phase chantier.

La première solution consiste en une protection temporaire sous la forme d'un parapluie qui fonctionne sur le principe d'un coffrage, conçu, dimensionné et mis en œuvre par le lot « Structure ». Cette solution permet aux différents corps de métier de réaliser leur ouvrage sans intervenir sur l'ouvrage de protection (cf. § 8.2 du e-cahier CSTB 3814).

La seconde solution consiste en une protection par application de protections temporaires sous forme de lés fixées sur les panneaux HEXAPLI. Cette solution est réservée aux formes de couvertures rectangulaires ou carrées, de surface maximale 200 m².

Dans les autres cas de toiture, il convient d'utiliser une protection de type « parapluie ».

Les protections temporaires utilisables sont constitués d'écrans souples synthétiques à base de polyéthylène, polypropylène ou polyester, de type écrans pare-pluie conformes à la partie 1-2 du NF DTU 31.2.

Selon la durée de vieillissement selon l'annexe C de la norme NF EN 13859-2 (336 / 1 000 / 5 000 heures), ayant été appliquée pour obtenir le classement W1 de résistance à la pénétration de l'eau, les écrans souples doivent être remplacés par le titulaire du lot structure bois, à une fréquence de :

- 10 jours pour un écran vieilli 336 h ;
- 2 mois pour un écran certifié QB38 "1000h" ;
- 4 mois pour un écran vieilli 5 000 h.

Mise en œuvre

Les protections temporaires sont posées perpendiculairement à la ligne de plus grande pente de la couverture. Les protections sont posées en lés successifs, du bas de pente vers le haut de pente. Le recouvrement minimum des lés des protections est de 10 cm. La jonction entre les lés est complétée avec une bande adhésive compatible avec l'écran souple au sens de l'annexe D de la partie 1-2 du NF DTU 31.2.

Les protections temporaires sont fixées aux panneaux HEXAPLI par des lignes de fixation (pointes ou des agrafes conformes à la partie 1-2 du NF DTU 31.2) d'entraxe 600 mm. L'entraxe entre pointes ou agrafes est de 300 mm maximum. Au droit de chaque pointe ou agrafe, sont mises en œuvre des pastilles adhésives de diamètre minimum 2,5 cm, compatibles avec l'écran souple.

Gestion des points singuliers

Il convient de protéger les chants des panneaux HEXAPLI exposés aux intempéries en descendant la protection temporaire de 10cm en dessous des chants des panneaux (cf. Fig. B3), ou en fixant la protection sous le panneau HEXAPLI si il est accessible, en assurant alors une cote de 10cm minimum par rapport au chant du panneau (cf. Fig. B2 avec débord de toiture). Dans le cas où la protection est descendue dans le plan du mur en bas de pente (cf. Fig. B2 sans débord de toiture), il convient de l'arrêter sur un tasseau jouant le rôle de goutte d'eau.

Dans le cas d'une surface en plan de toiture supérieure à 100m², et en l'absence de relief en bas de pente, il est nécessaire de mettre en œuvre une gouttière temporaire dimensionnée selon le DTU 60.11 P3 en bas de pente (cf. Fig. 2bis). La liaison entre la gouttière et la protection temporaire est complétée par une bande adhésive, compatible avec l'écran souple et le matériau de la gouttière. La gouttière est raccordée sur un réseau vertical, ou, à défaut, l'eau sera rejetée en façade avec un débord d'au moins 100 cm.

Les protections de section courante sont relevées au niveau des éventuels reliefs sur une hauteur minimale de 20 cm (cf. Fig. B3). La jonction entre la protection temporaire protégeant le relief et la protection temporaire de section courante est réalisée par la superposition de la protection du relief sur la protection de section courante avec un recouvrement vertical de 10cm minimum. La jonction entre les lés est complétée avec une bande adhésive compatible avec la protection.

Dans le cas de relief en bas de pente, sont réalisées dans les panneaux HEXAPLI des réservations permettant de recevoir des naissances et descentes d'eaux pluviales. Ces réservations doivent être justifiées mécaniquement conformément à l'avis technique HEXAPLI.

Des évacuations d'eaux pluviales sont mises en œuvre dans ces réservations et fixées aux panneaux HEXAPLI. Les protections temporaires viennent recouvrir ces évacuations d'eaux pluviales. Le raccord est complété par une bande adhésive.

L'évacuation est raccordée à un réseau horizontal de tuyaux d'évacuation d'eau de pluie débouchant sur un réseau vertical, ou, à défaut, l'eau sera rejetée en façade avec un débord d'au moins 100 cm.

En cas de réservations dans les panneaux HEXAPLI, un panneau bois de type NF EN 13986 ou un panneau CLT dimensionné pour résister aux efforts de vents et aux passages éventuels est rapporté et fixé pour recouvrir la réservation. La protection temporaire est fixée sur le panneau de protection bois rapporté de la même manière qu'en section courante (cf. Fig. B4).

Il convient de contrôler les stagnations d'eaux éventuelles après chaque période d'intempéries et il est nécessaire le cas échéant d'évacuer l'eau accumulée au racleau en la dirigeant vers le bas de pente, ou dans le cas de présence de relief en bas de pente, en la dirigeant vers les descentes d'eaux pluviales.

Gestion de la protection

La protection, y compris les pointes ou agrafes de fixation, est déposée à l'avancement du chantier. Le composant du complexe de toiture mis en œuvre sur les panneaux HEXAPLI est posé de préférence du haut de pente vers le bas de la pente. En cas d'interruption du chantier, la protection temporaire de l'ouvrage de couverture, installée par le titulaire du lot couverture recouvre celle des panneaux HEXAPLI sur au moins 10 cm.

Dans le cas où la protection temporaire est abîmée, une réparation ponctuelle est réalisée, soit par empiècement avec le matériau d'origine, soit par bande adhésive en fonction de la taille de la zone concernée.

B7.3 Couverture

Le titulaire du lot couverture met en œuvre la couverture, le support de couverture (litesaux, voliges, panneaux à base de bois, selon le référentiel dont relève la couverture, DTU de la série 40.1, 40.2 ou 40.4 ou AT/DTA) et éventuellement l'isolation.

Il est nécessaire de procéder à une réception contradictoire du support portant notamment sur les points suivants :

- Respect de la pente de la toiture et de la planéité du support ;
- Rebouchage des perçages nécessaires au levage de diamètres supérieurs à 10mm dans les panneaux ;
- Jeux et désaffleurs entre les panneaux ;
- Siccité des panneaux HEXAPLI selon le § B7.4.

La protection des panneaux HEXAPLI doit être assurée selon le § B7.2 en cours de chantier.

B7.4 Contrôle de la siccité des panneaux HEXAPLI

Conformément au e-Cahier du CSTB 3814, afin de respecter les conditions de service des panneaux HEXAPLI, leur humidité, mesurée à 40 mm de la surface ou à mi épaisseur pour les panneaux d'épaisseur inférieure à 80mm (cette profondeur doit être adaptée à +/- 5 mm s'il s'avère que la composition du panneau entraîne la présence d'un plan de collage à cette épaisseur), avec un humidimètre selon la norme NF EN 13183-2 : 2002, ne doit pas être supérieure à 20 % au moment de la mise en œuvre du complexe de couverture. L'appareil de mesure sera du type humidimètre électrique à résistance équipé d'électrodes isolées et devra être calibré.

Un zonage délimitant sur plan des surfaces de 225 m² doit être réalisé. Sur chaque zone, un repérage des points de mesure doit être formalisé sur plan à raison d'un point tous les 5 m de chaque côté de la noue ou du bas de versant et 1 tous les 5 m environ en partie courante (soit une douzaine de mesures individuelles pour cette zone) :

- 1. Si, sur cette zone, l'humidité moyenne est < à 20 % avec au plus une valeur individuelle entre 20 et 25%, le support est admissible d'un point de vue de l'humidité ;

- 2. Si, sur cette zone, l'humidité moyenne est $<$ à 20 % mais qu'au moins deux valeurs individuelles sont comprises entre 20 et 25 %, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux HEXAPLI ;
- 3. Si, au moins une valeur individuelle est $>$ à 25%, il est nécessaire de remplacer le/les panneaux HEXAPLI concernés et de refaire les mesures ;
- 4. Si, sur cette zone, l'humidité moyenne est $>$ à 20% mais que toutes les valeurs individuelles sont $<$ à 25%, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux HEXAPLI ;
- 5. Dans les autres cas, il est nécessaire de remplacer les panneaux HEXAPLI.

Les mesures d'humidité avant mise en œuvre du complexe de couverture sont formalisées et transmises au maître d'œuvre avec les indications suivantes : plan de zonage, identification de la zone, référence du panneau HEXAPLI, date, référence de l'instrument de mesure utilisé, essence des panneaux livrés, température sélectionnée et profondeur de pénétration.

Dans le cas où les mesures d'humidité des panneaux HEXAPLI ne sont pas concluantes, il est nécessaire de les protéger par une protection temporaire sous la forme d'un parapluie (cf. § 8.2 du e-cahier CSTB 3814) et de ventiler les panneaux HEXAPLI sur leurs deux faces. Le retour à une humidité admissible peut prendre un certain temps. Il est inutile de chauffer l'air à proximité des panneaux.

B8 ASSISTANCE TECHNIQUE

L'assistance technique est assurée par PIVETEAU BOIS, se référer au §2.21.

Figure B1 - Types de pose des panneaux HEXAPLI

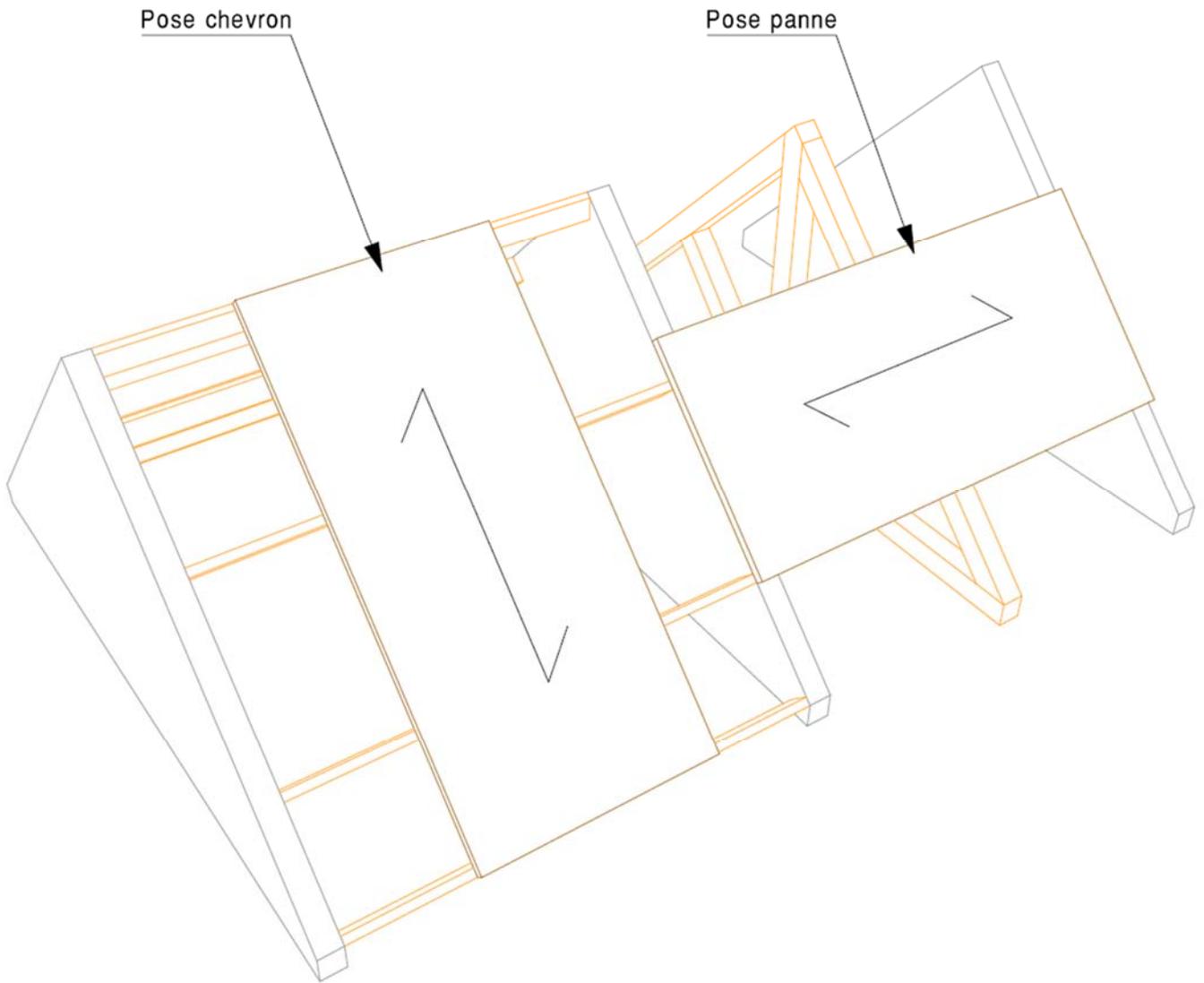


Figure B2 - Gestion de la protection temporaire en bas de pente

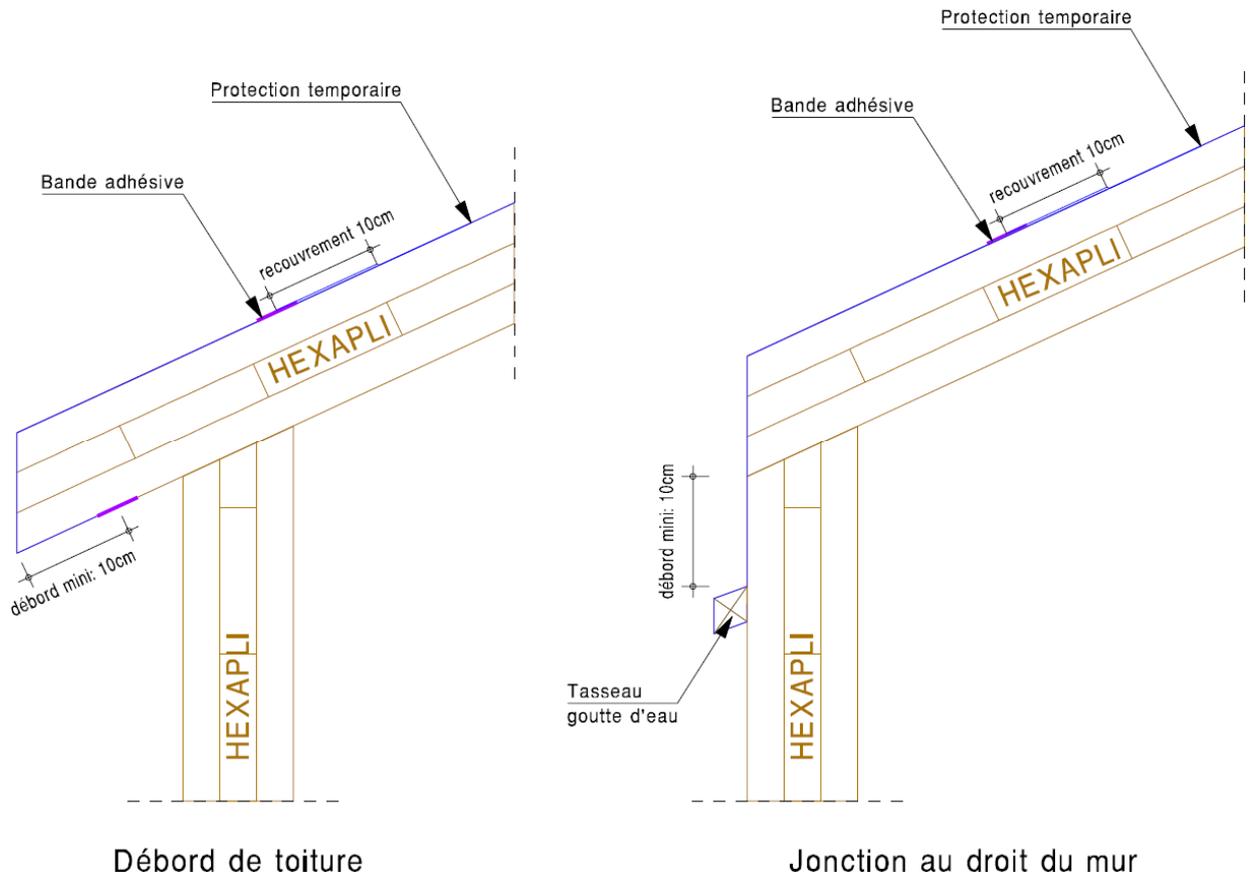


Figure B2bis - Mise en œuvre d'une gouttière en bas de pente de protection temporaire (surfaces $\geq 100 \text{ m}^2$)

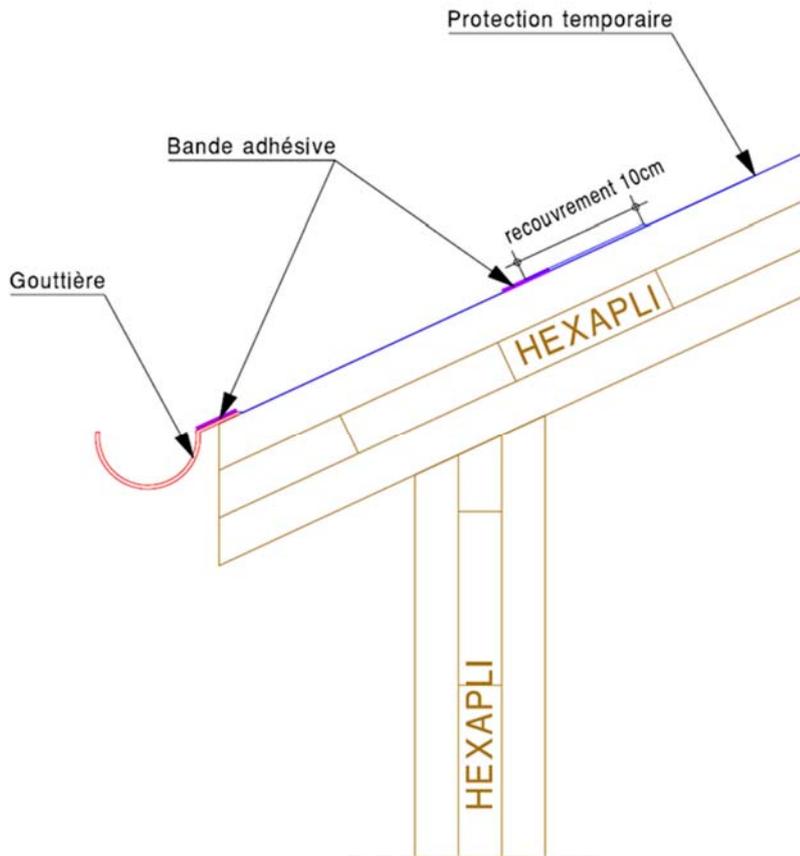


Figure B3 - Gestion d'un relief par protection temporaire
 Ce chéneau présente une pente au moins égale à 5 mm par mètre
 Des ouvertures permettent l'évacuation de l'eau.

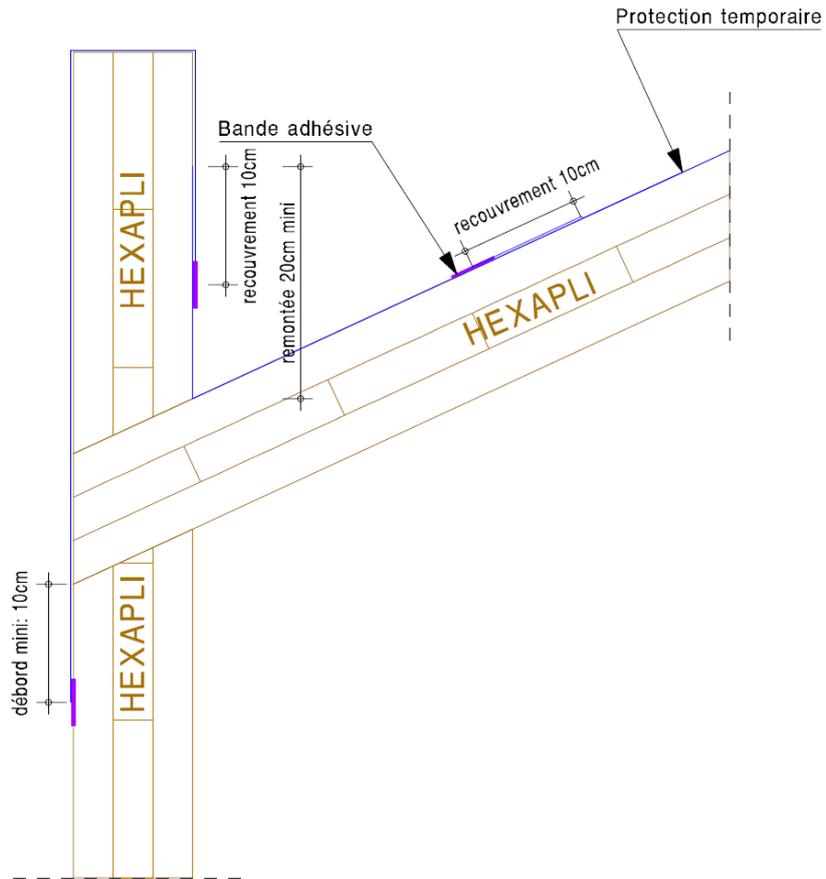


Figure B4 - Mise en œuvre de la protection temporaire en section courante

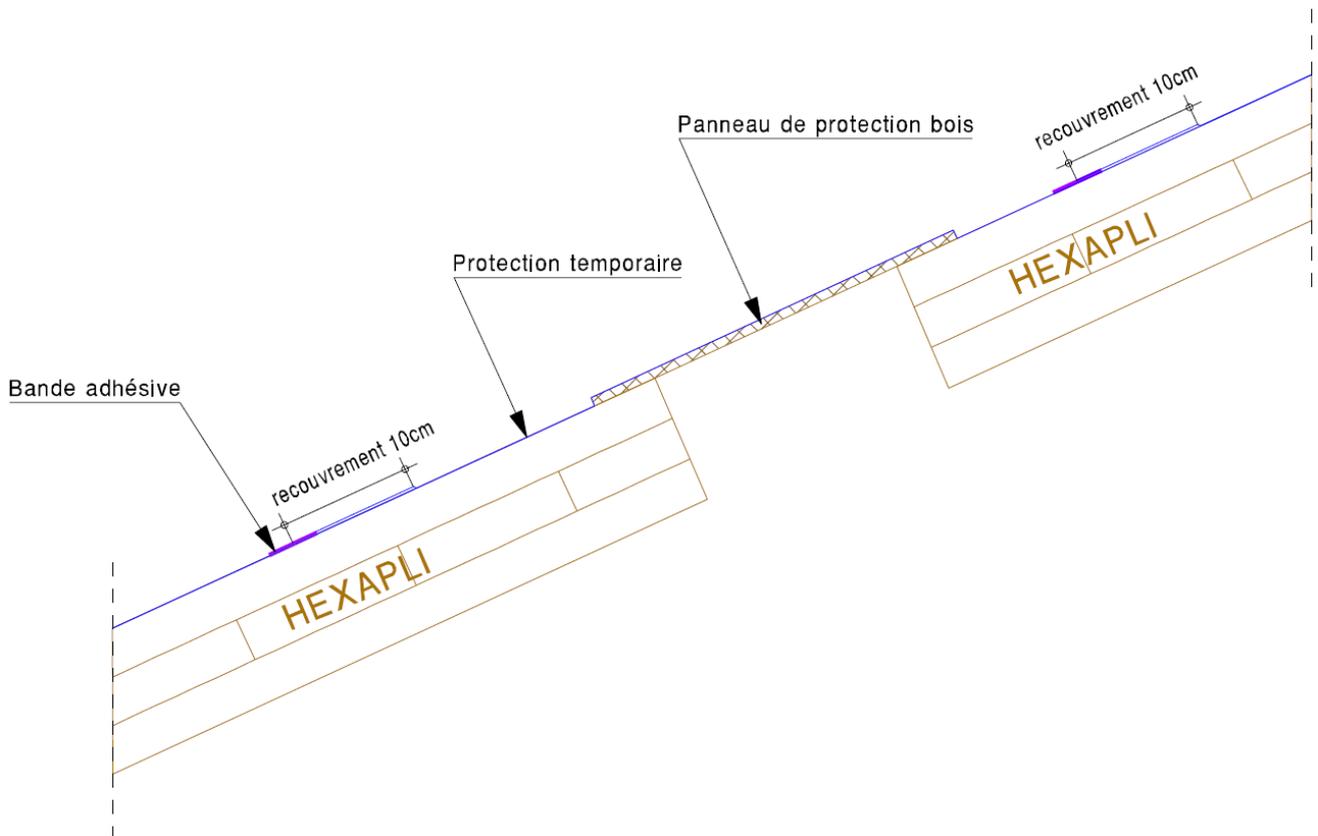
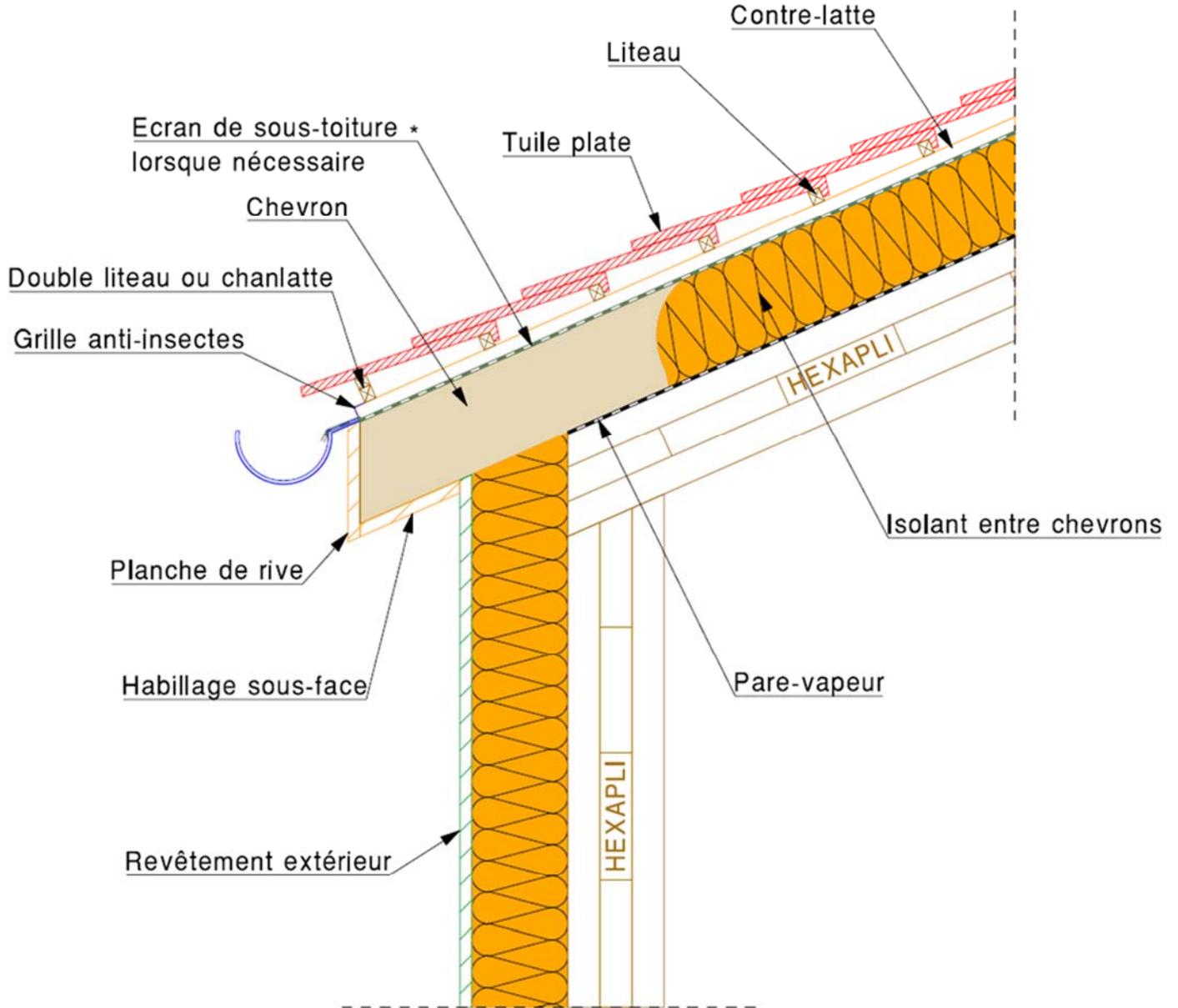
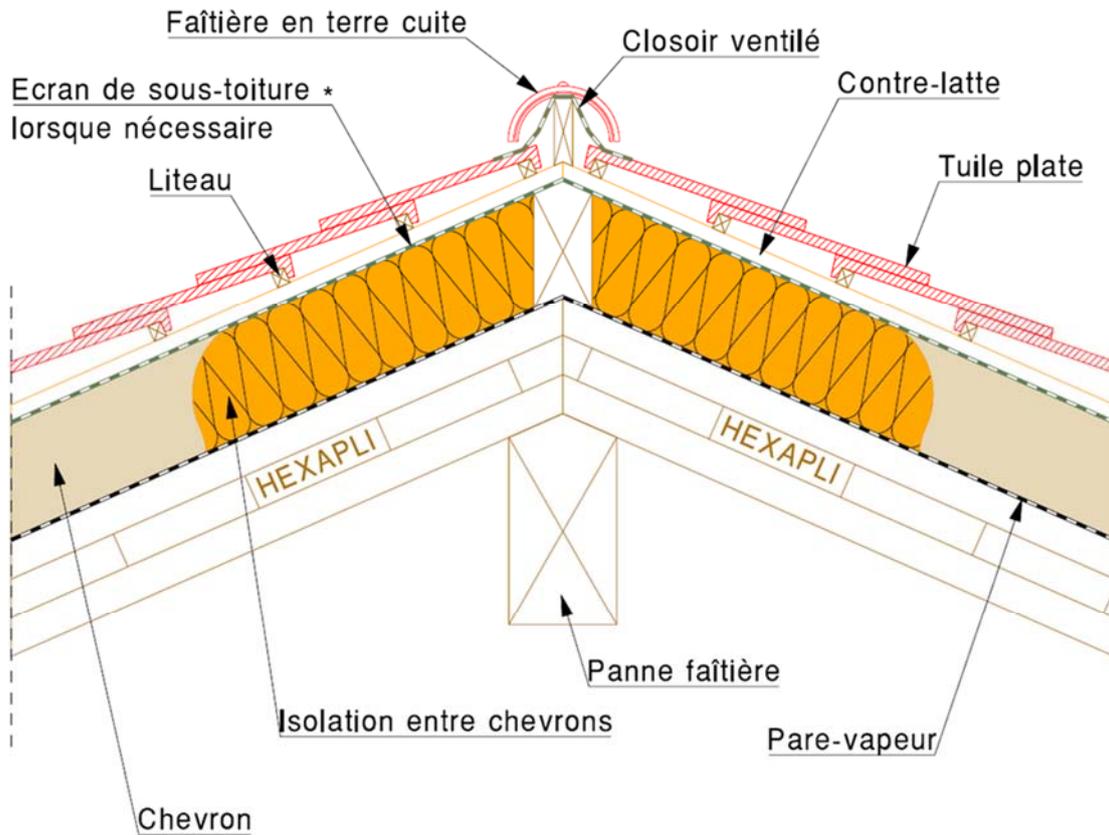


Figure B5 - Couverture froide en tuile - Débord à l'égout
Pare-vapeur non représenté en mur



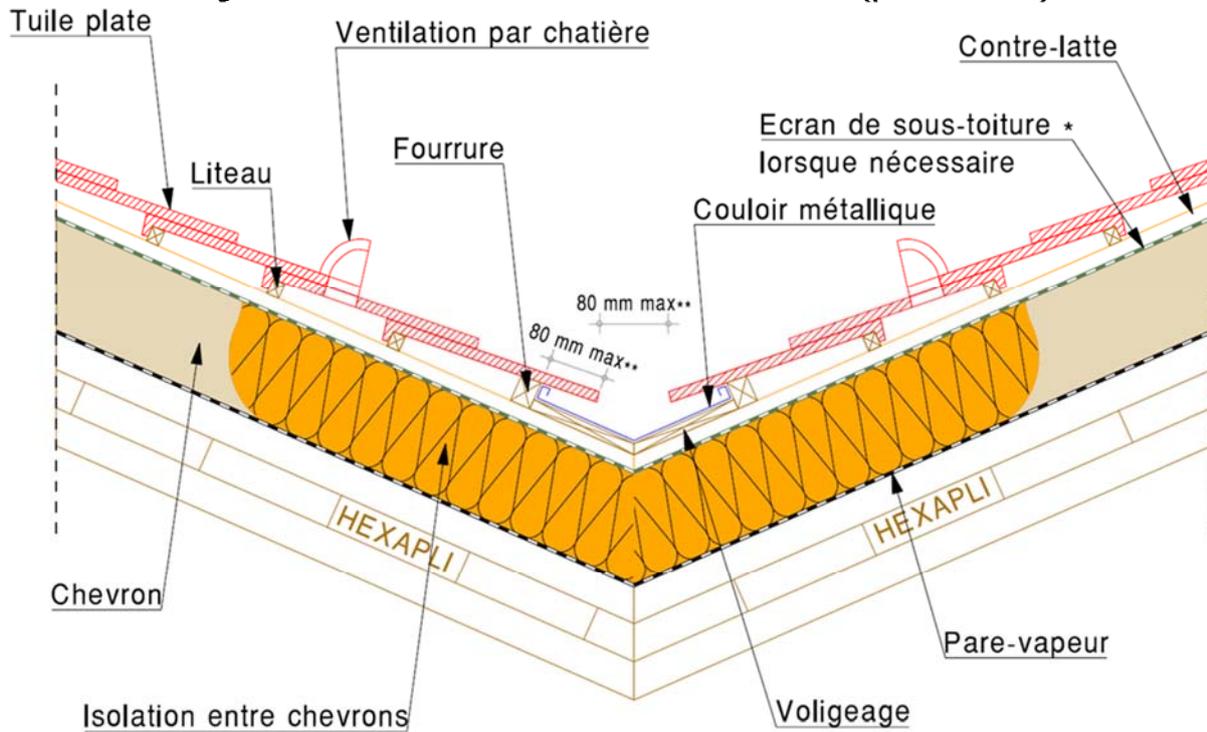
* classé Sd1 et certifié QB

Figure B6 - Couverture froide en tuile - Faitage ventilé



* classé Sd1 et certifié QB

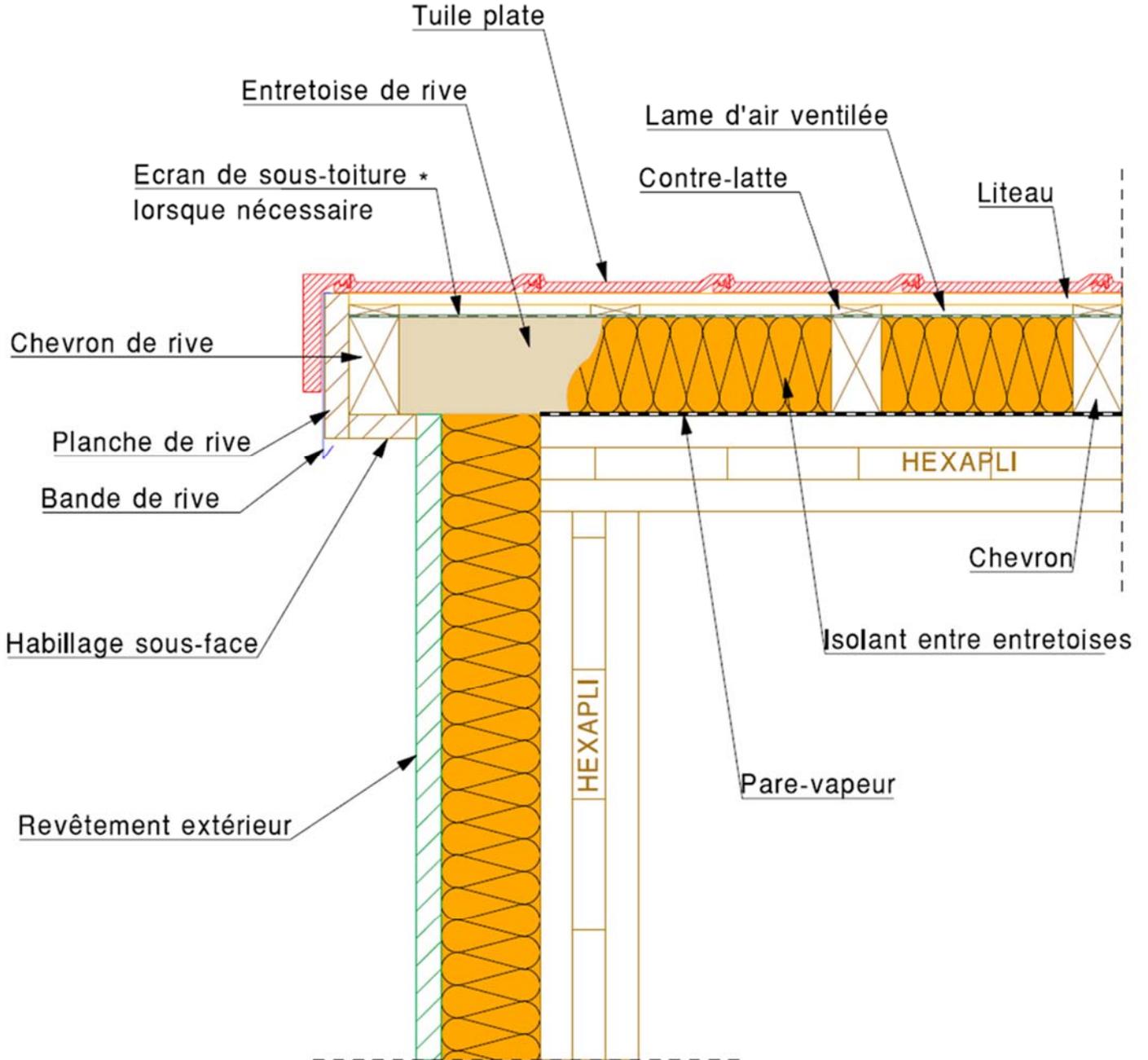
Figure B7 - Couverture froide en tuile - Détail sur noue (pente > 15 %)



* classé Sd1 et certifié QB

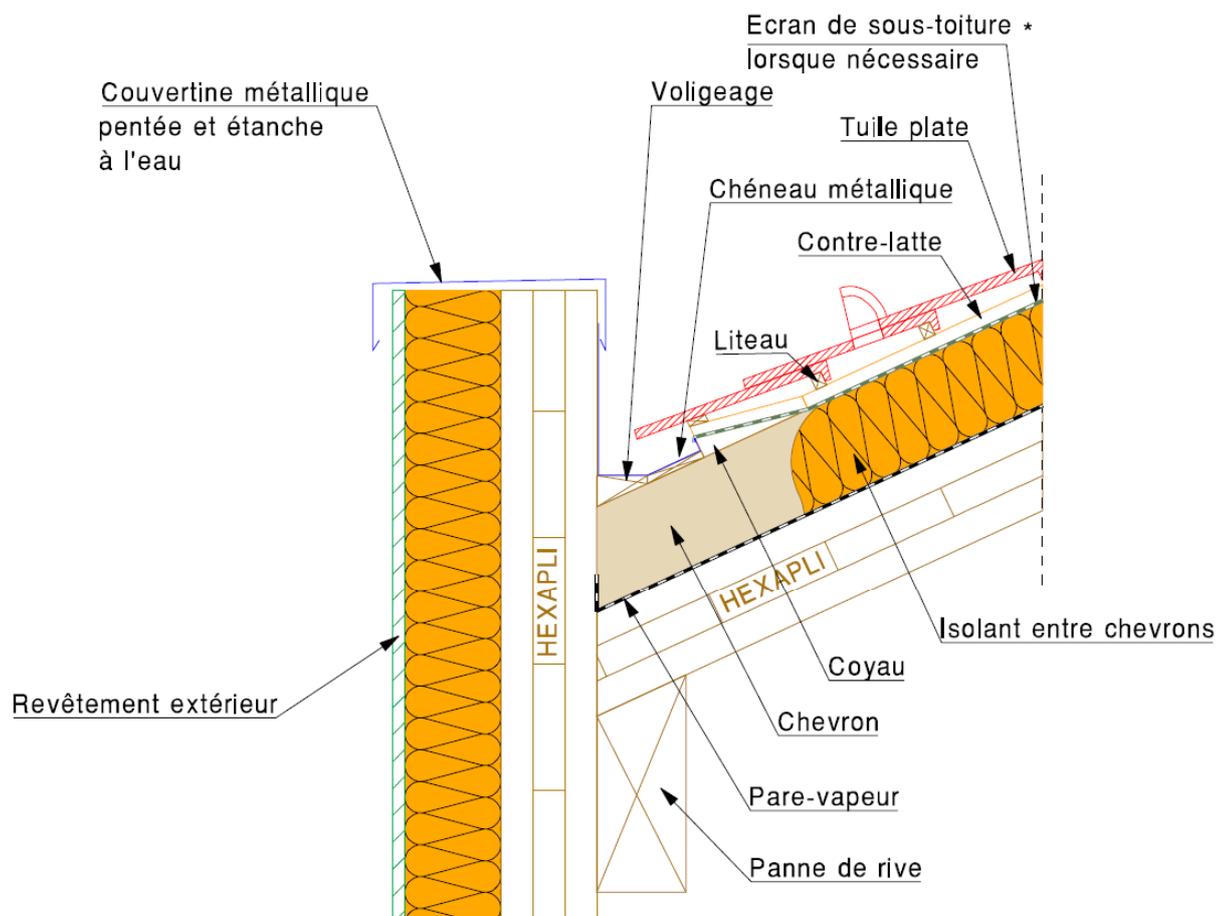
** Se référer au DTU de la couverture

Figure B8 - Couverture froide en tuile - Débord en rive
Pare-vapeur non représenté en mur



* classé Sd1 et certifié QB

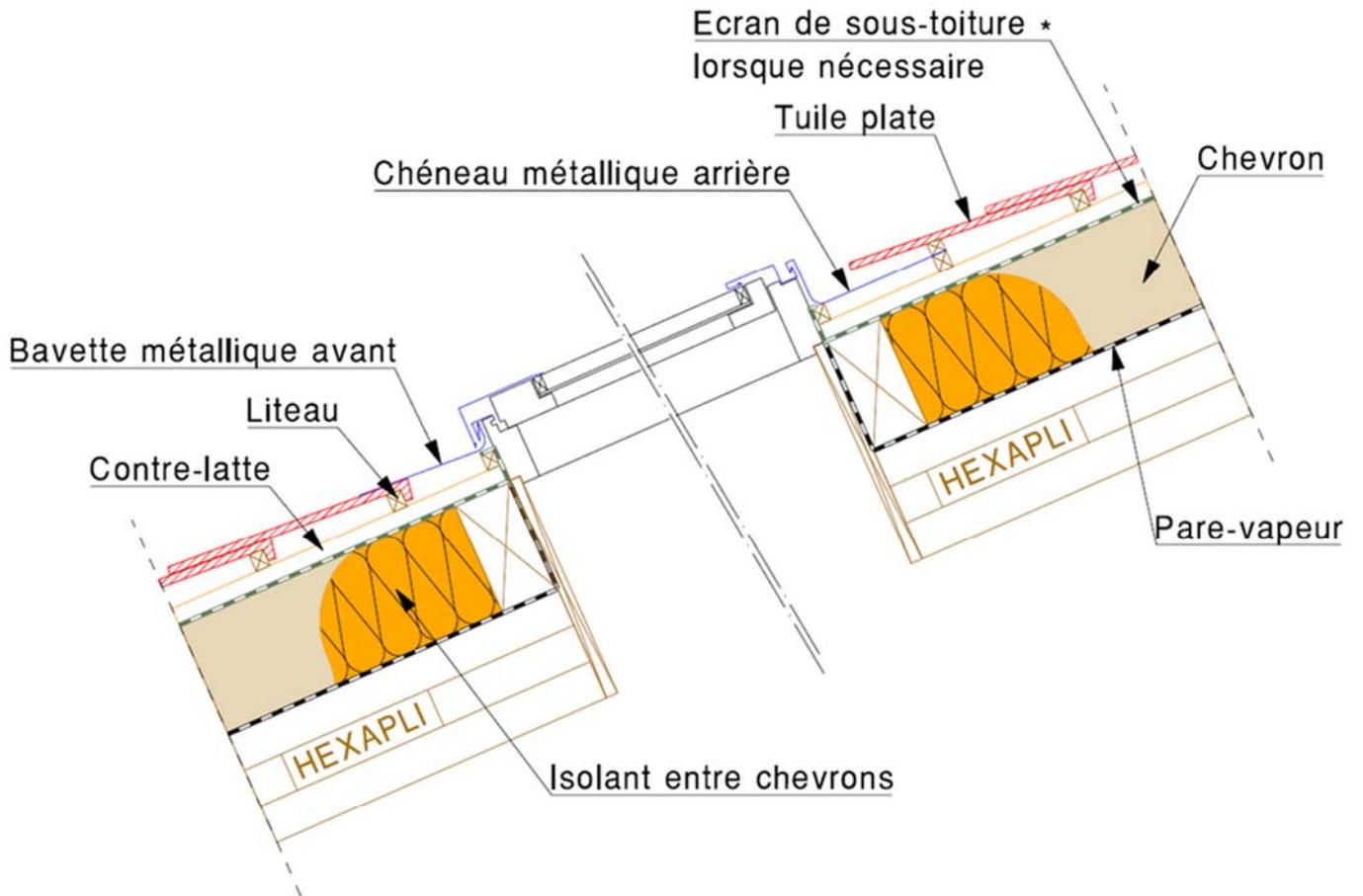
Figure B9 - Couverture froide en tuile – Chéneau
Pare-vapeur non représenté en mur



* classé Sd1 et certifié QB

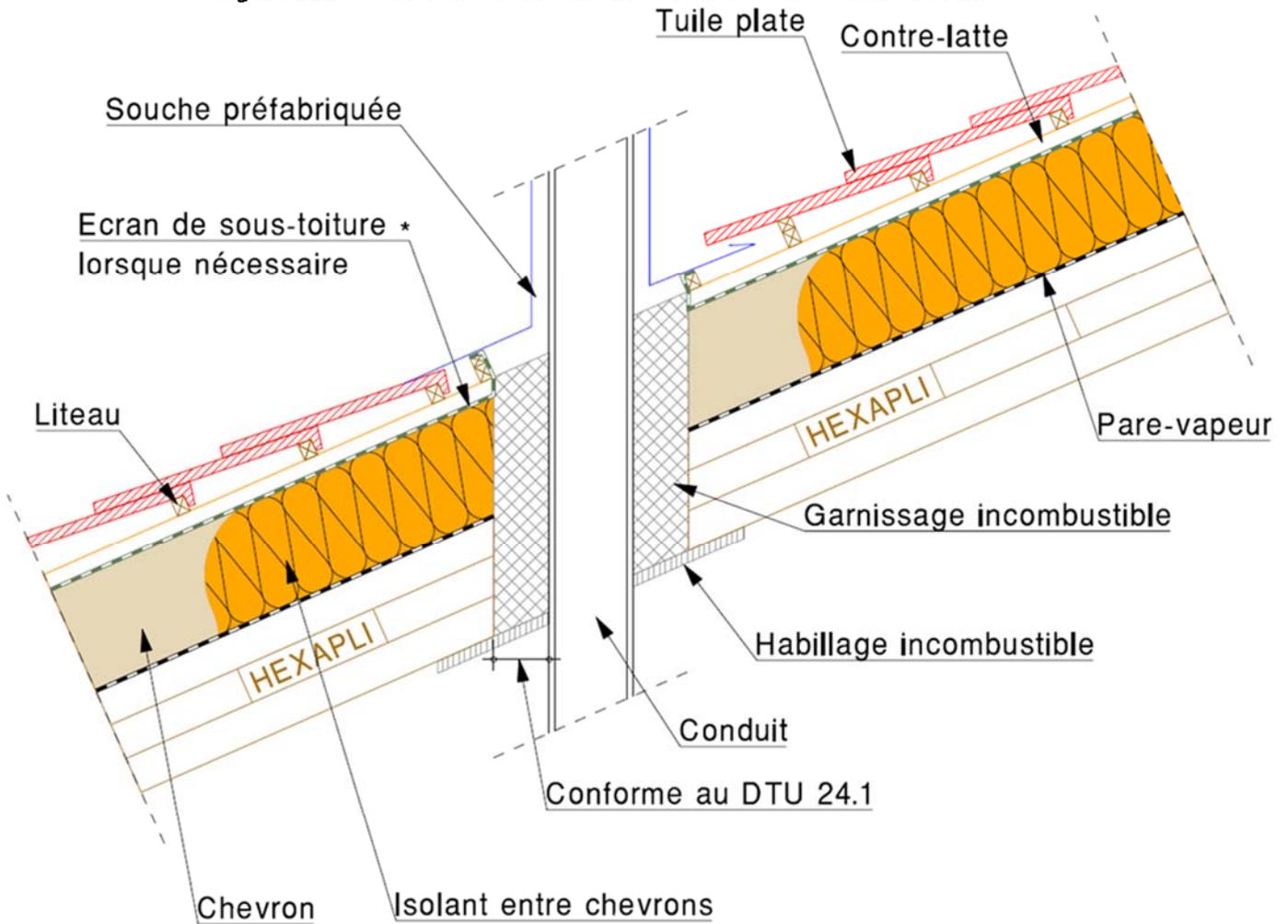
Le chéneau est en pente et présente des ouvertures pour l'évacuation de l'eau

Le traitement de l'écran de sous-toiture au raccordement avec le chéneau est réalisé conformément au DTU 40.29

Figure B10 - Couverture froide en tuile - Fenêtre de toit

* classé Sd1 et certifié QB

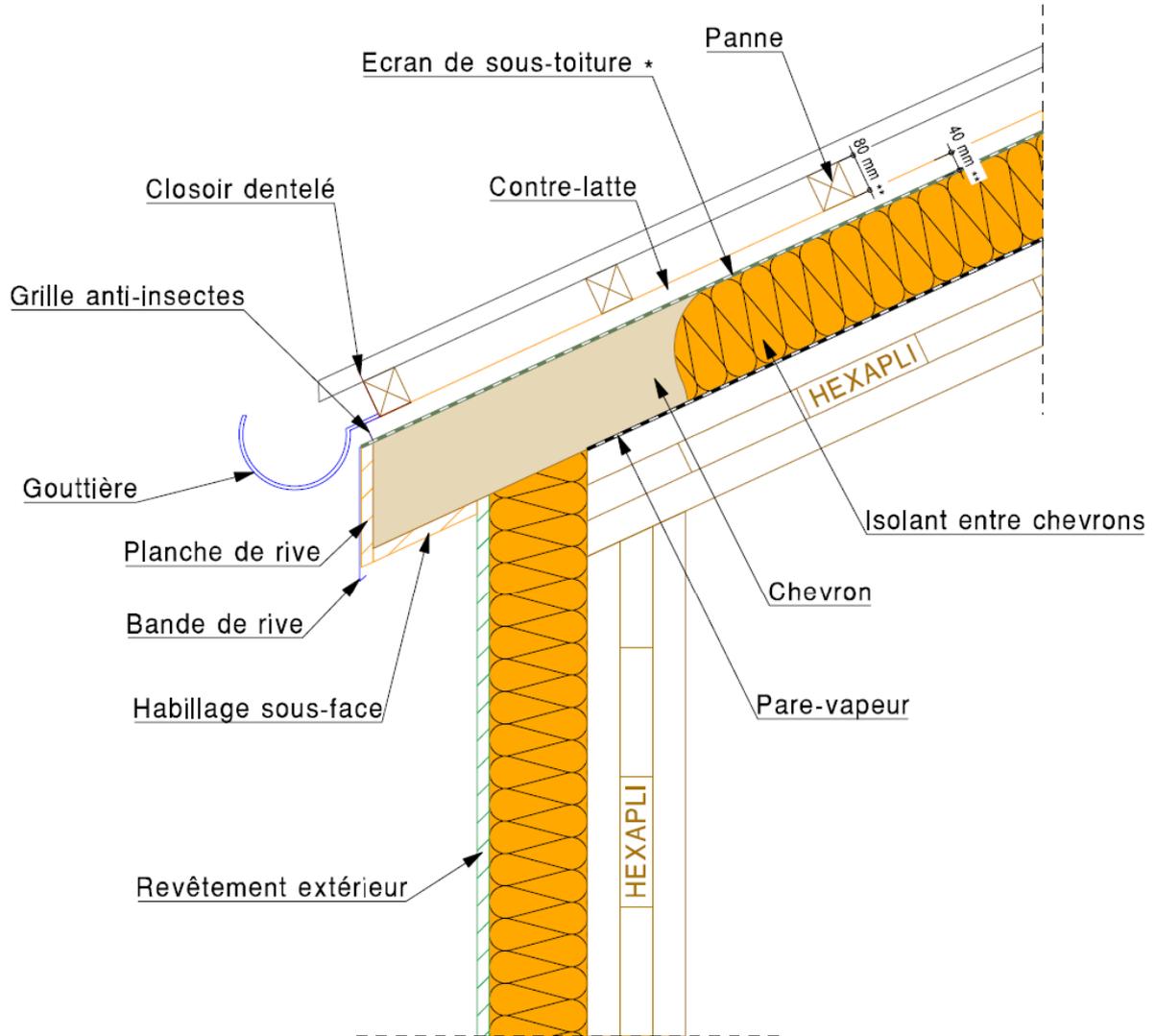
Le déflecteur en amont de la pénétration n'est pas représenté (cf. NF DTU 40.29)

Figure B11 - Couverture froide en tuile - Traversée de conduit de fumée

* classé Sd1 et certifié QB

Le déflecteur en amont de la pénétration n'est pas représenté (cf. NF DTU 40.29)

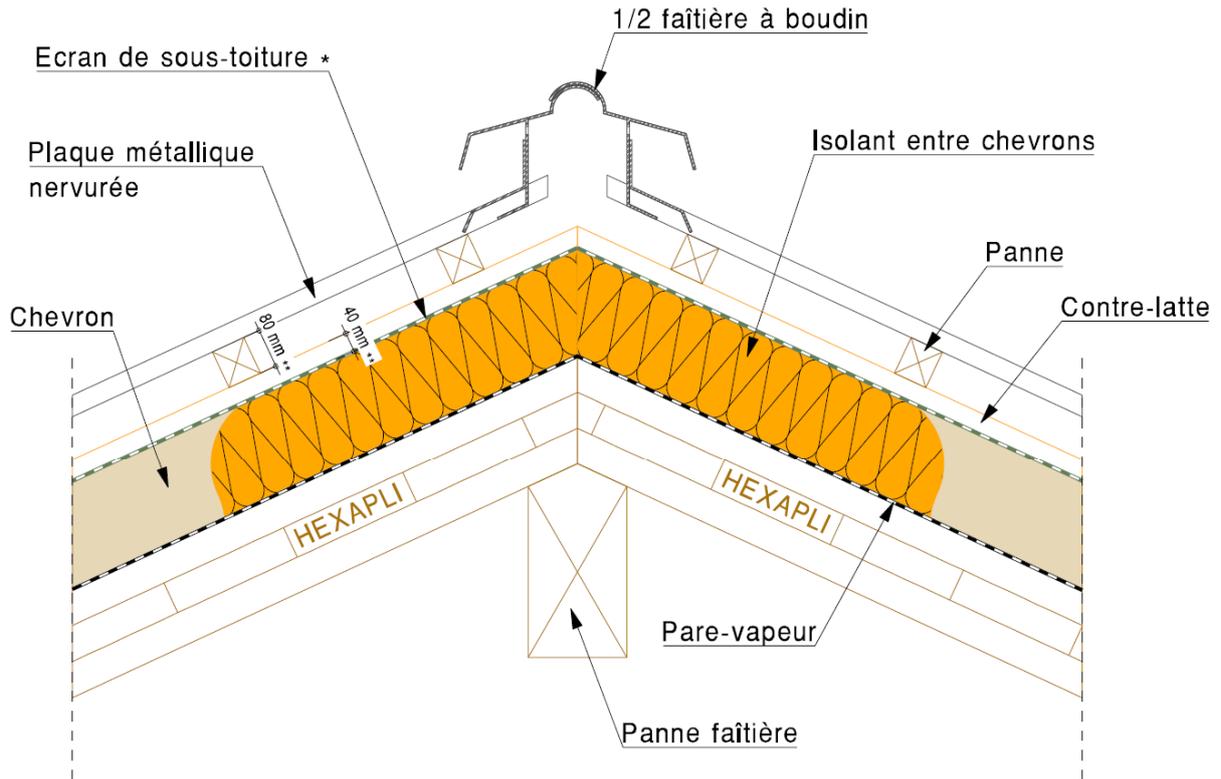
Figure B12 – Couverture froide en tôle métallique - Débord à l'égout
Pare-vapeur non représenté en mur



* classé Sd1 et certifié QB

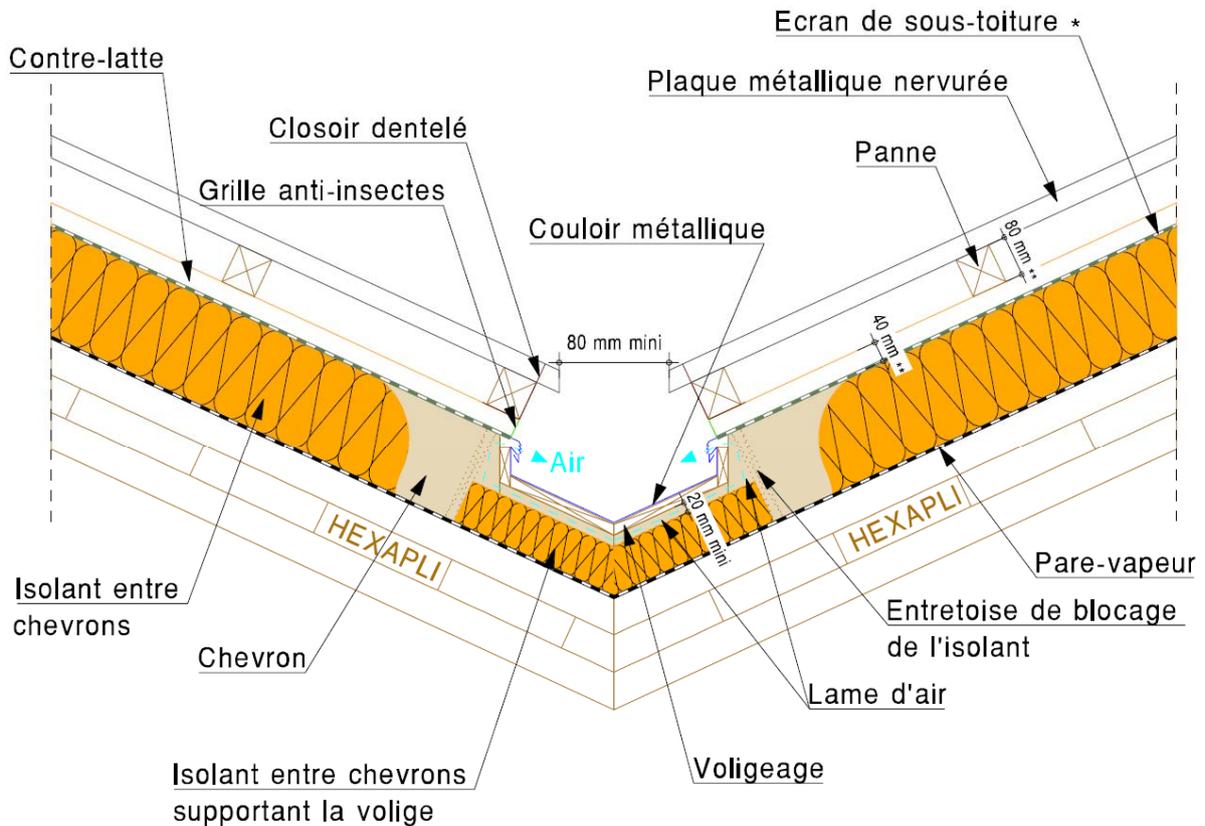
** conformément aux DTU 40.35 / 40.36

Figure B13 – Couverture froide en tôle métallique - Faitage ventilé



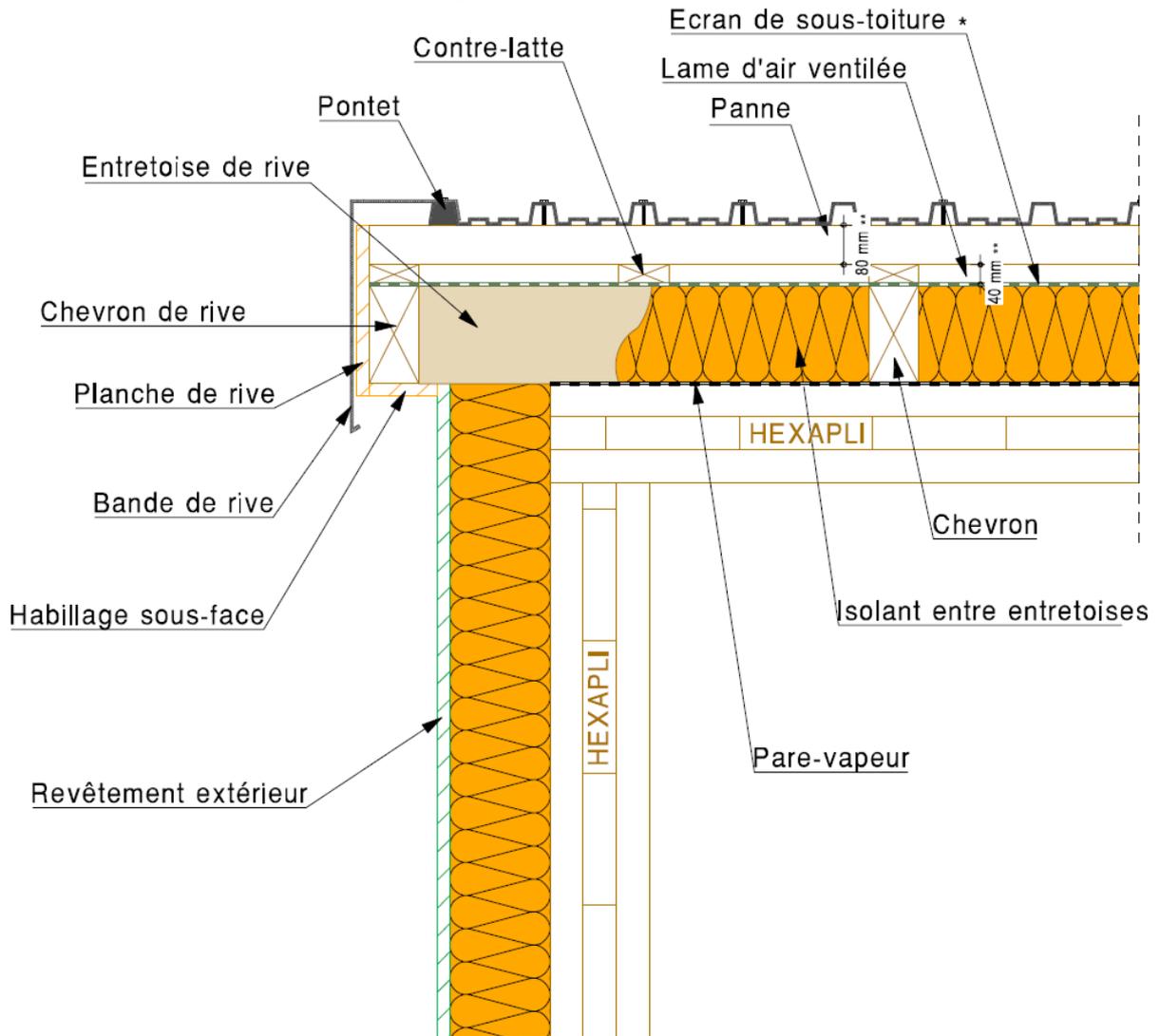
* classé Sd1 et certifié QB
 ** conformément aux DTU 40.35 / 40.36

Figure B14 – Couverture froide en tôle métallique - Nœud



* classé Sd1 et certifié QB
 ** conformément aux DTU 40.35 / 40.36

Figure B15 – Couverture froide en tôle métallique - Débord en rive
Pare-vapeur non représenté en mur



* classé Sd1 et certifié QB

** conformément aux DTU 40.35 / 40.36

Figure B16 – Couverture froide en feuille métallique - Débord à l'égout
Pare-vapeur non représenté en mur

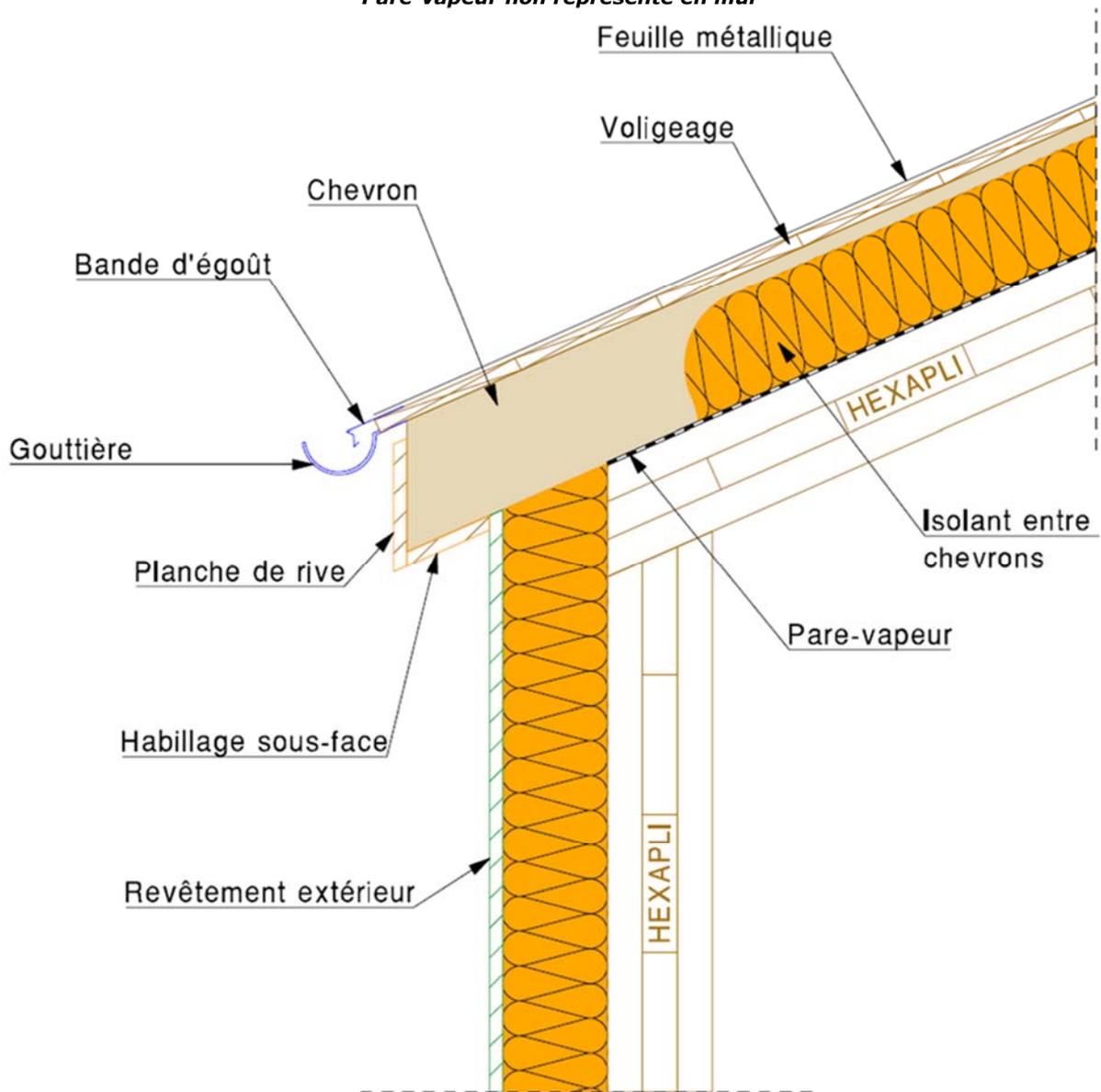
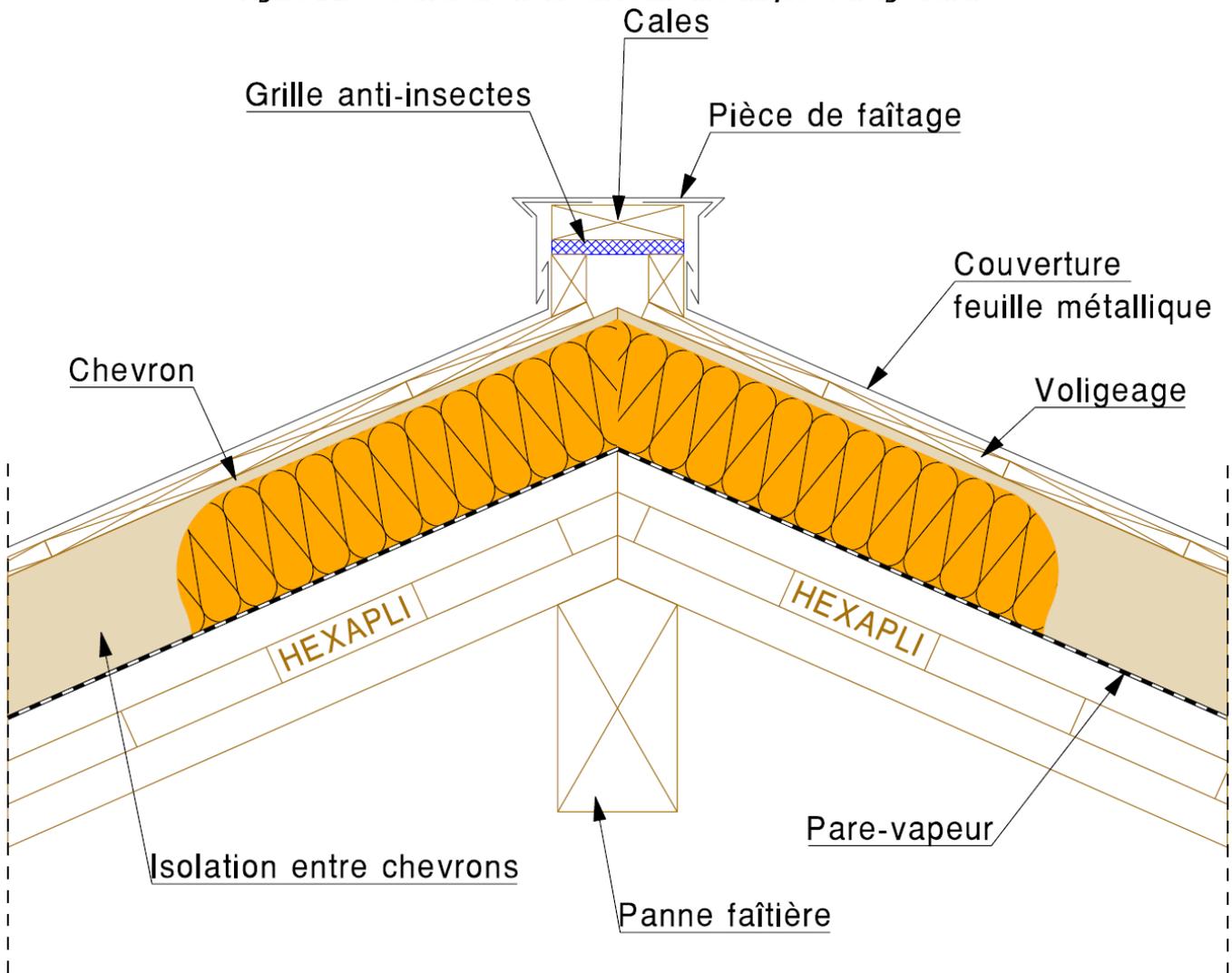


Figure B17 – Couverture froide en feuille métallique - Faîtage ventilé



**Figure B18 – Couverture froide en feuille métallique – Egout sur bâtiment non isolé ouvert sur l'extérieur
Pare-vapeur non représenté en mur**

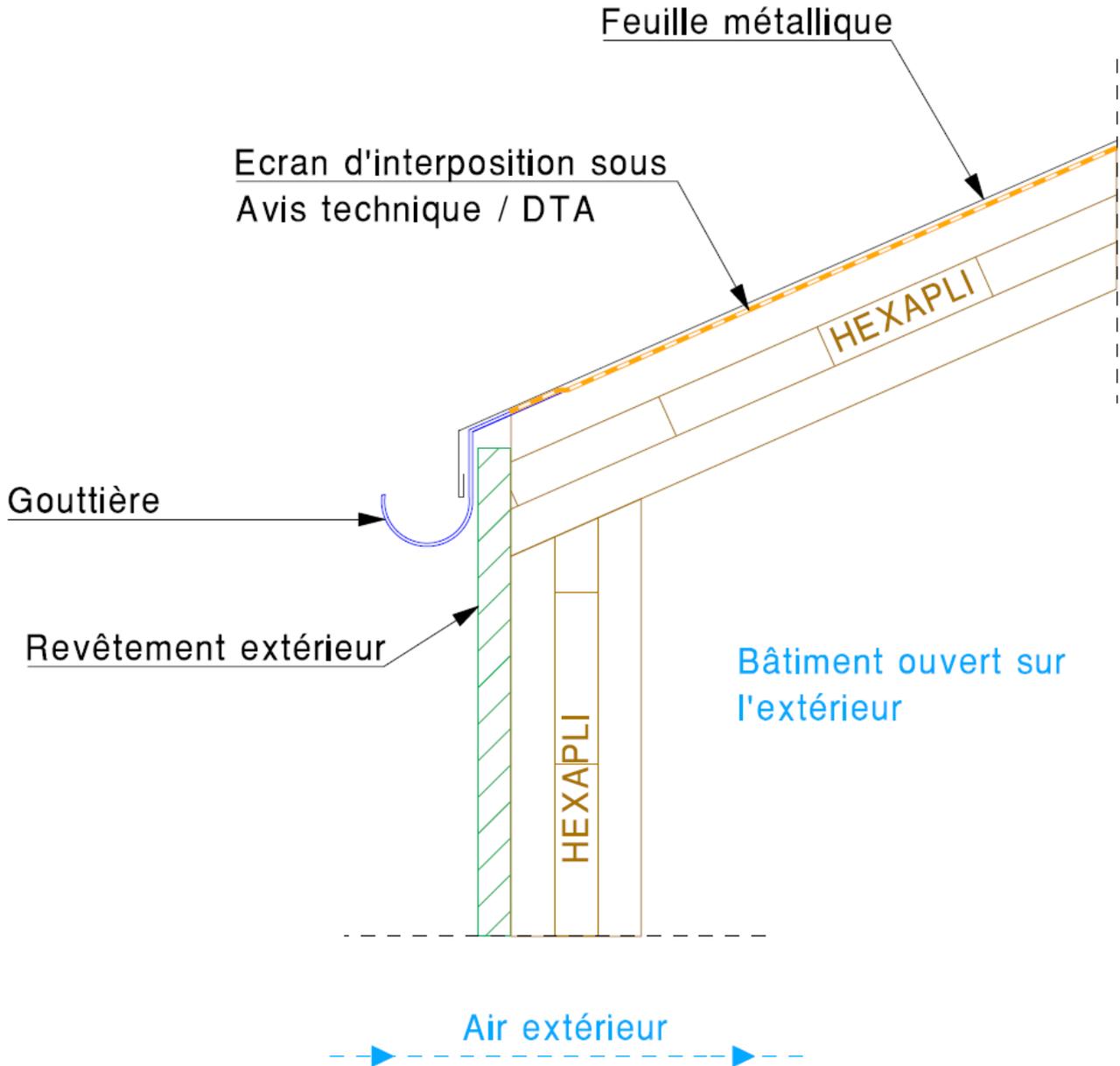


Figure B19 – Couverture froide en feuille métallique – Faitage sur bâtiment non isolé ouvert sur l'extérieur

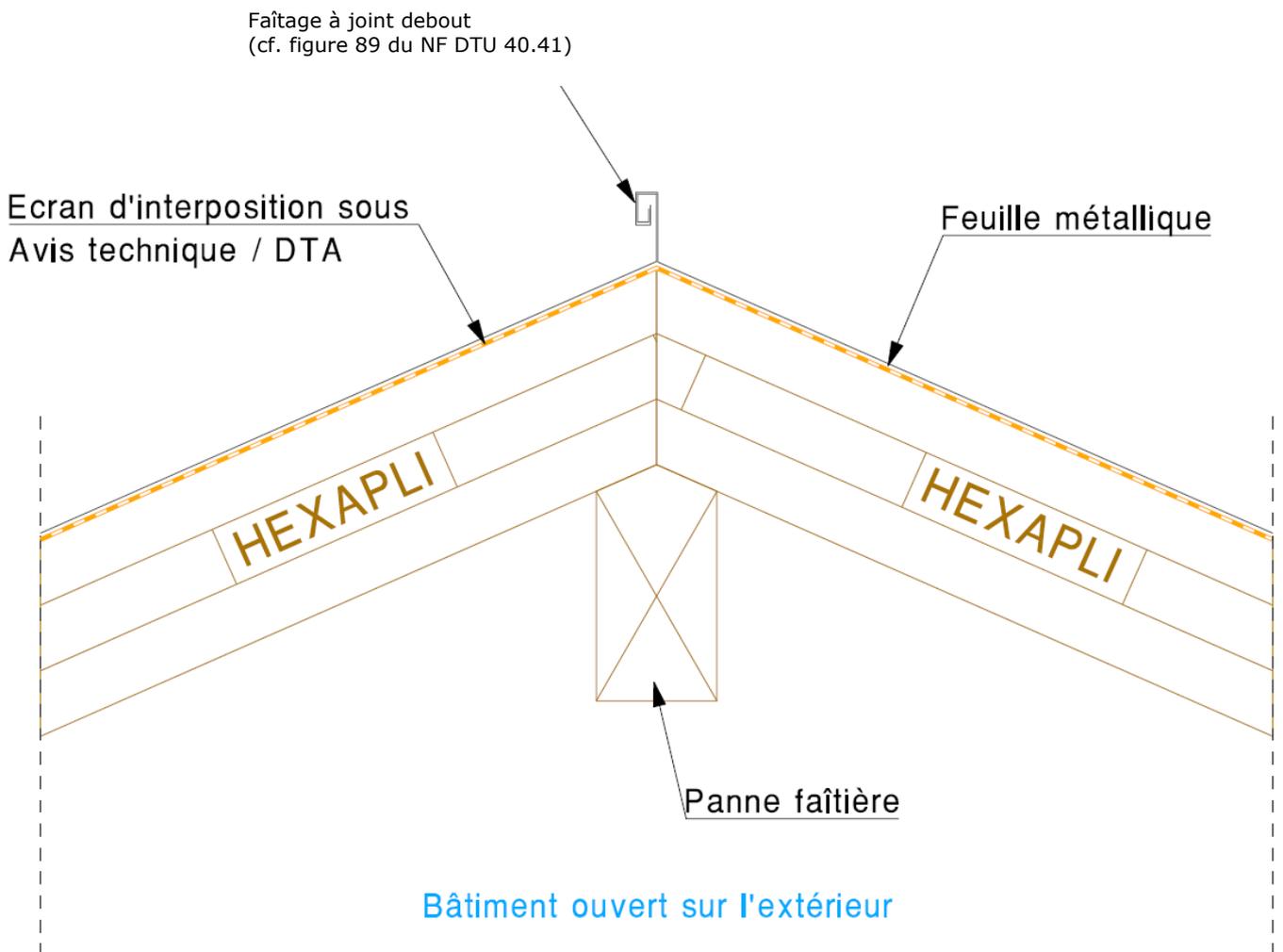
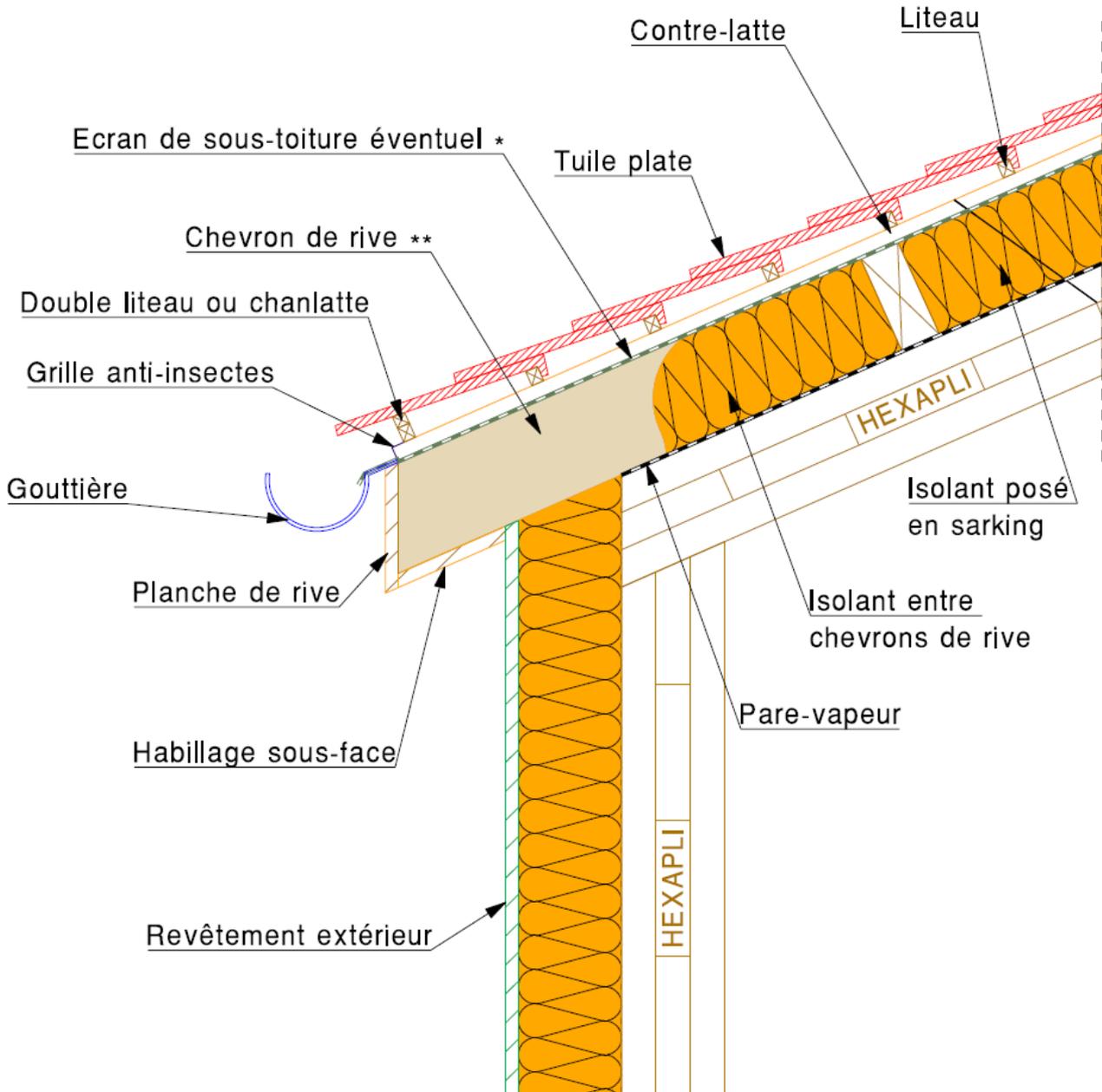


Figure B20 – Sarking - Couverture froide en tuile - Débord à l'égout
Pare-vapeur non représenté en mur



* classé Sd1 et certifié QB

** chevron constitutif de l'échelle de toit permettant le débord de toiture

Figure B21 - Sarking - Couverture froide en tuile - Faitage ventilé

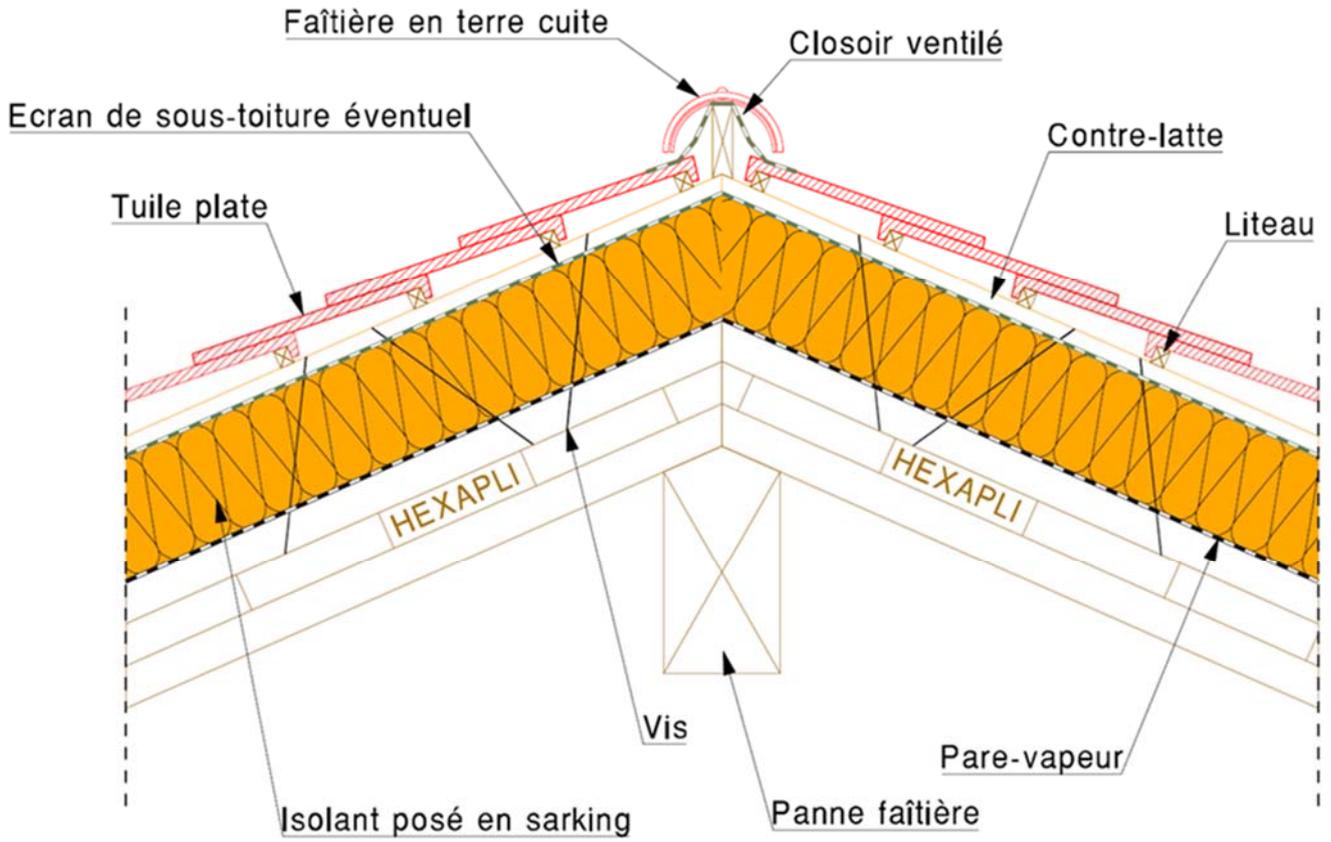
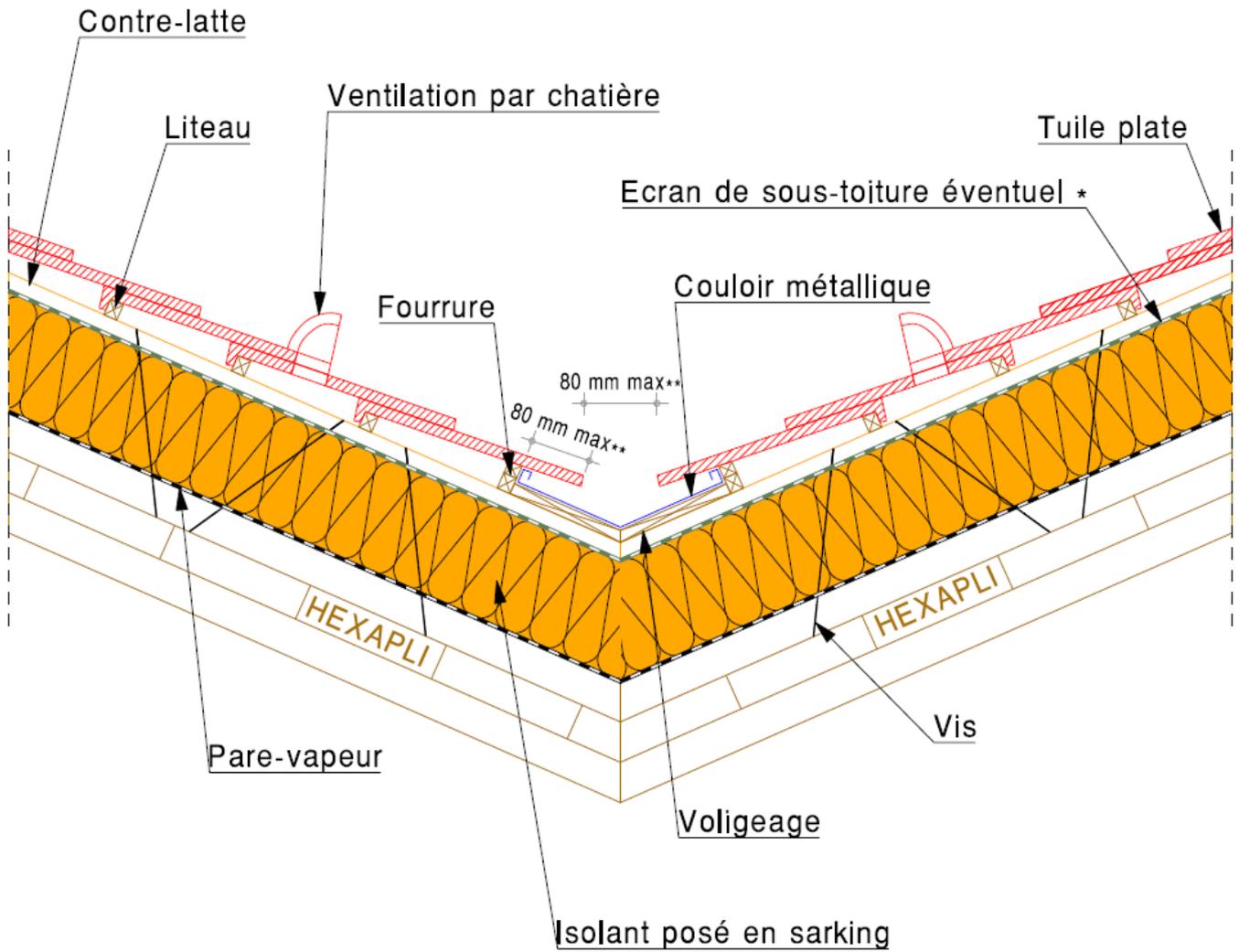
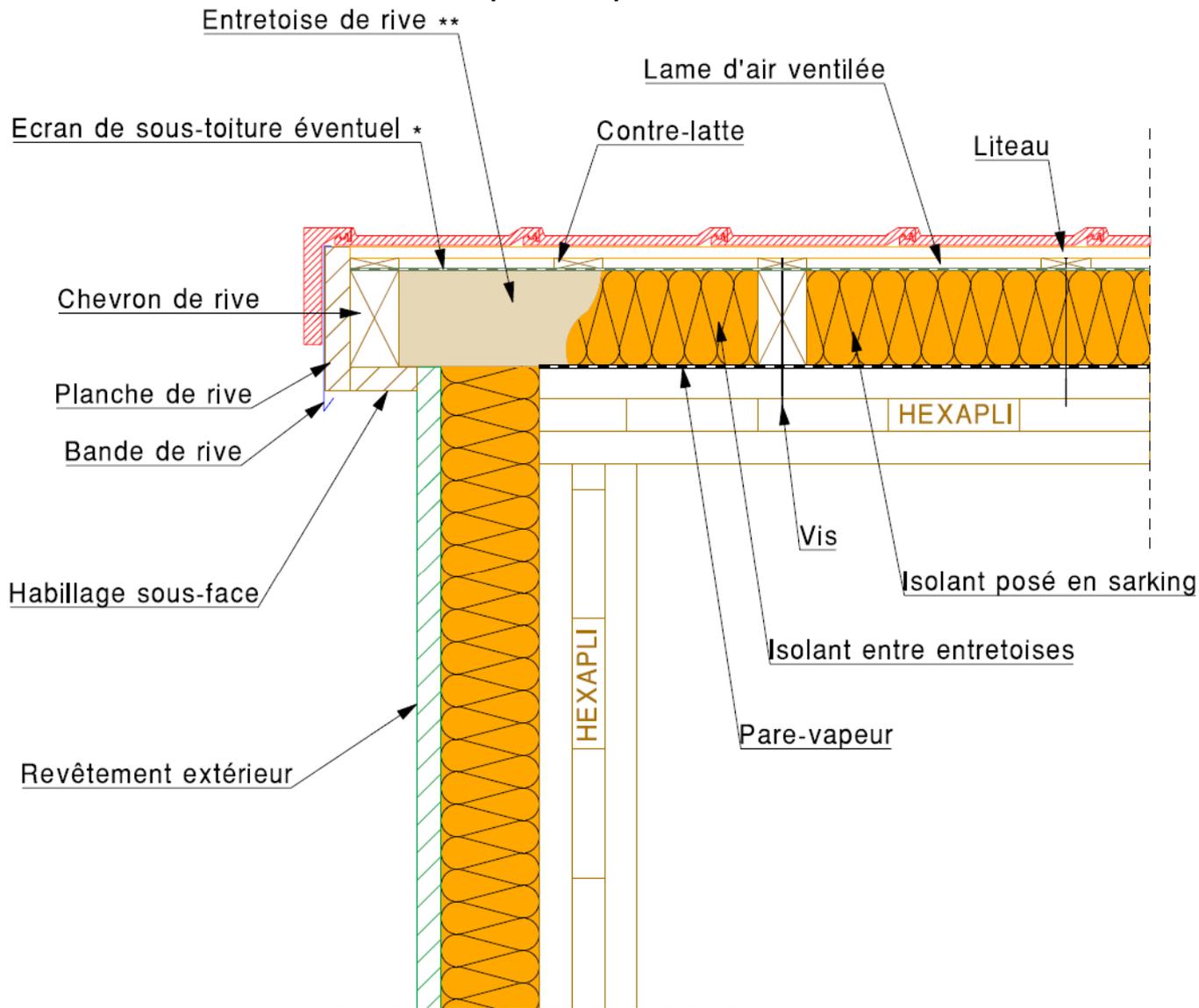


Figure B22 - Sarking - Couverture froide en tuile - Noue (pente > 15 %)

* classé Sd1 et certifié QB

** Se référer au DTU du revêtement de couverture

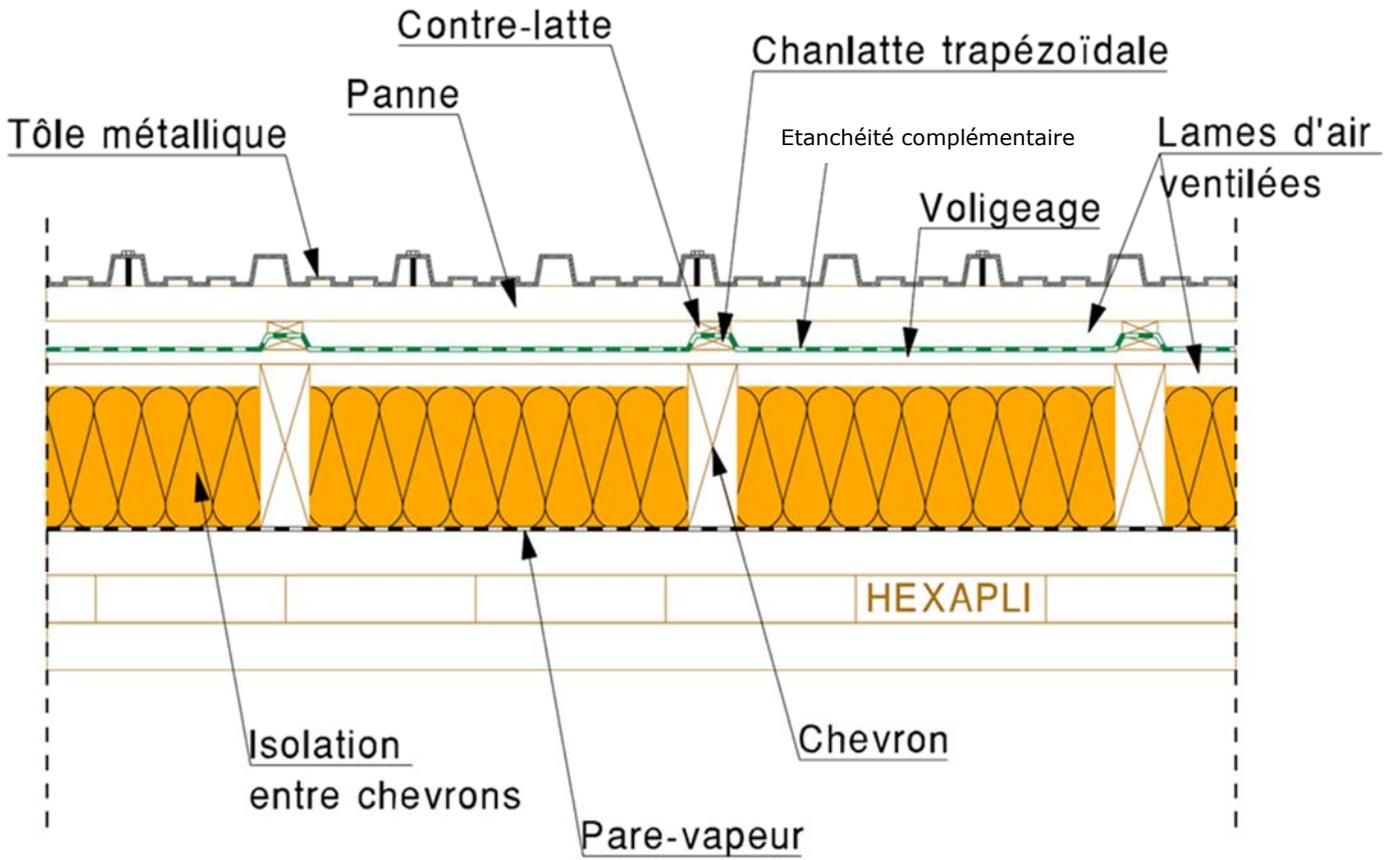
Figure B23 - Sarking - Couverture froide en tuile - Débord en rive
Pare-vapeur non représenté en mur



* classé Sd1 et certifié QB

** entretoise constitutive de l'échelle de toit permettant le débord de toiture

Figure B24 - Climat de montagne – Couverture froide - Coupe de principe



**Figure B25 - Climat de montagne – Couverture froide en tôle métallique - Débord à l'égout
Pare-vapeur non représenté en mur**

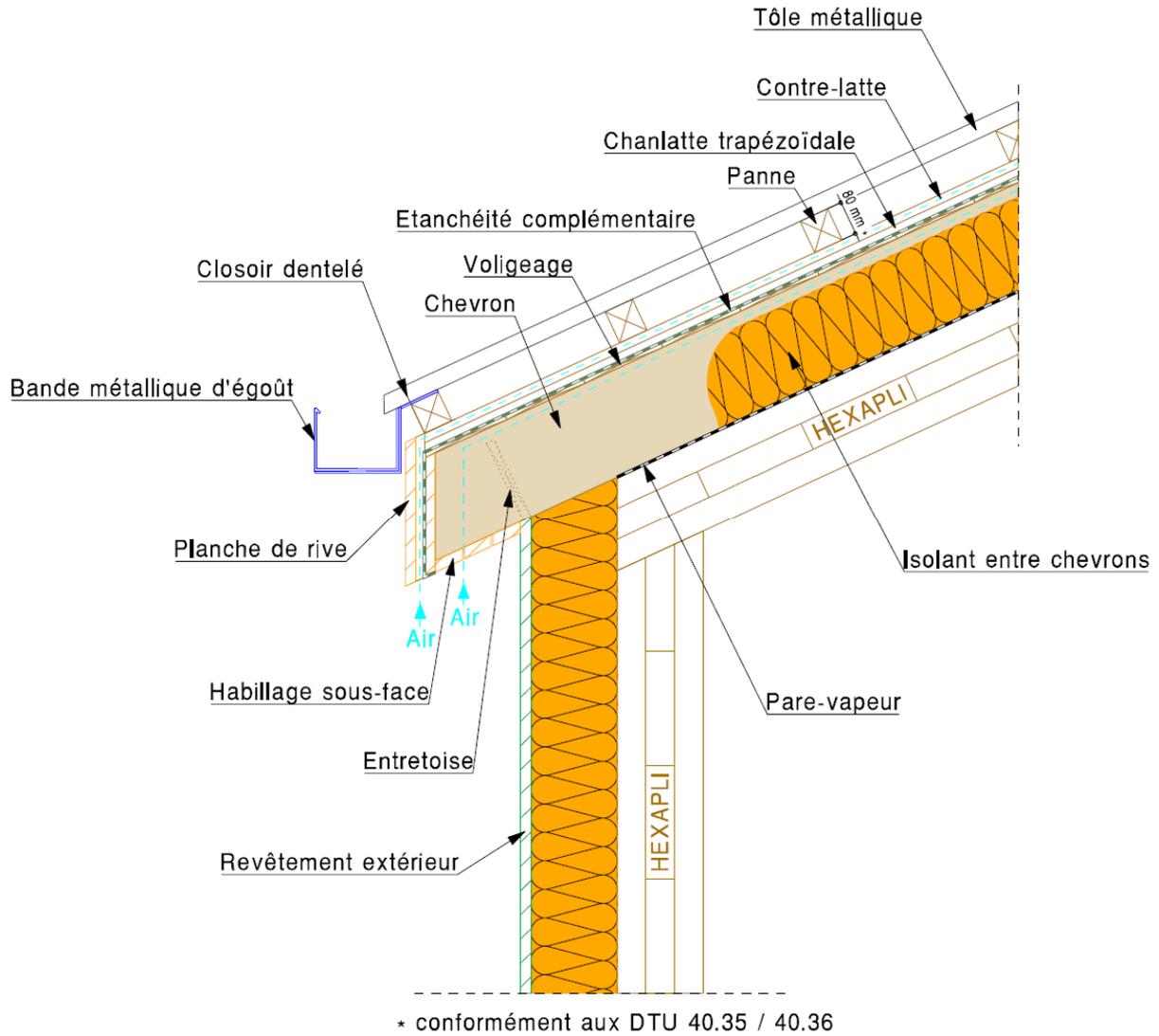
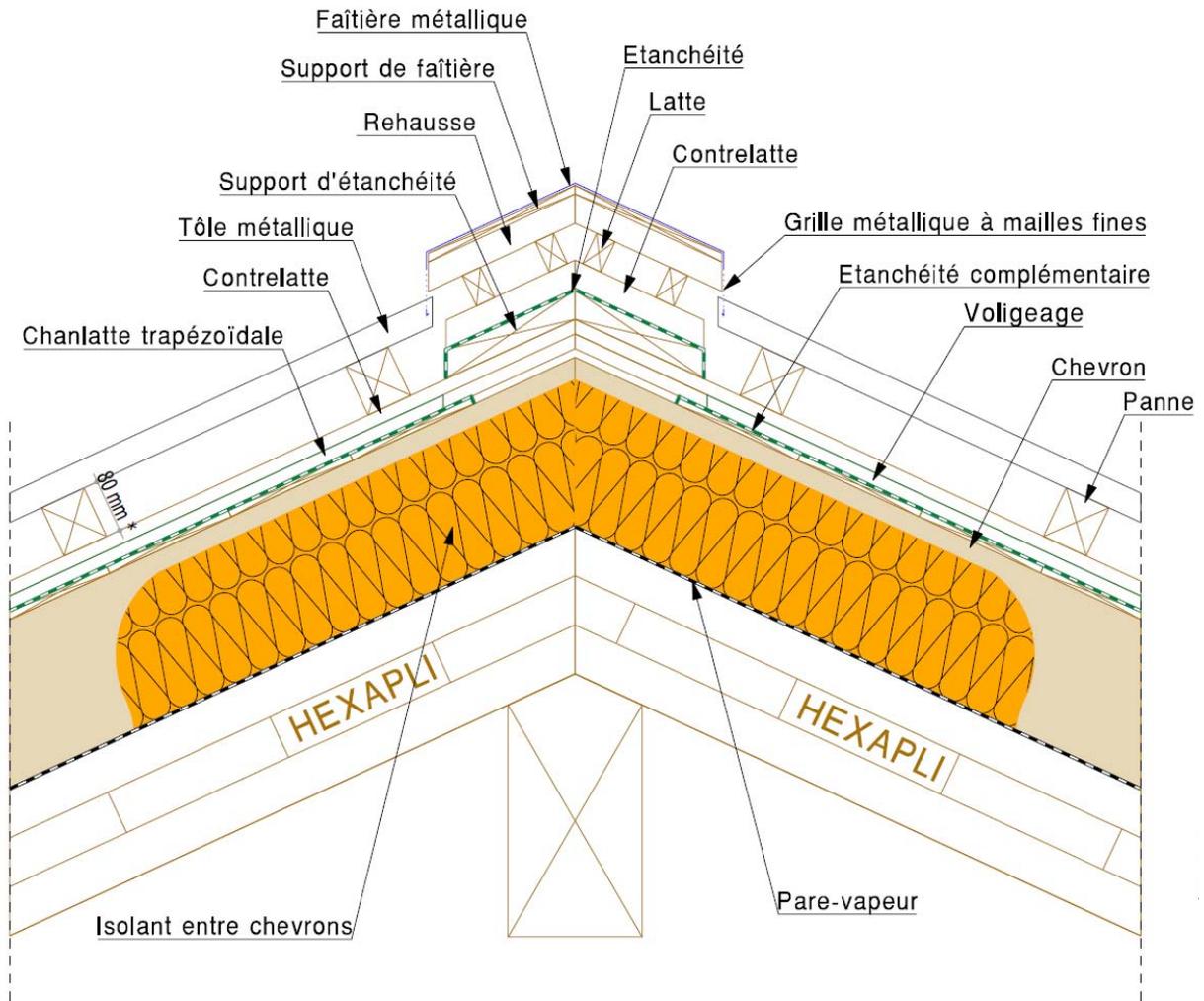


Figure B26 - Climat de montagne – Couverture froide en tôle métallique- Faitage



* conformément aux DTU 40.35 / 40.36

Figure B27 - Climat de montagne – Couverture froide en tôle métallique - Débord en rive
Pare-vapeur non représenté en mur

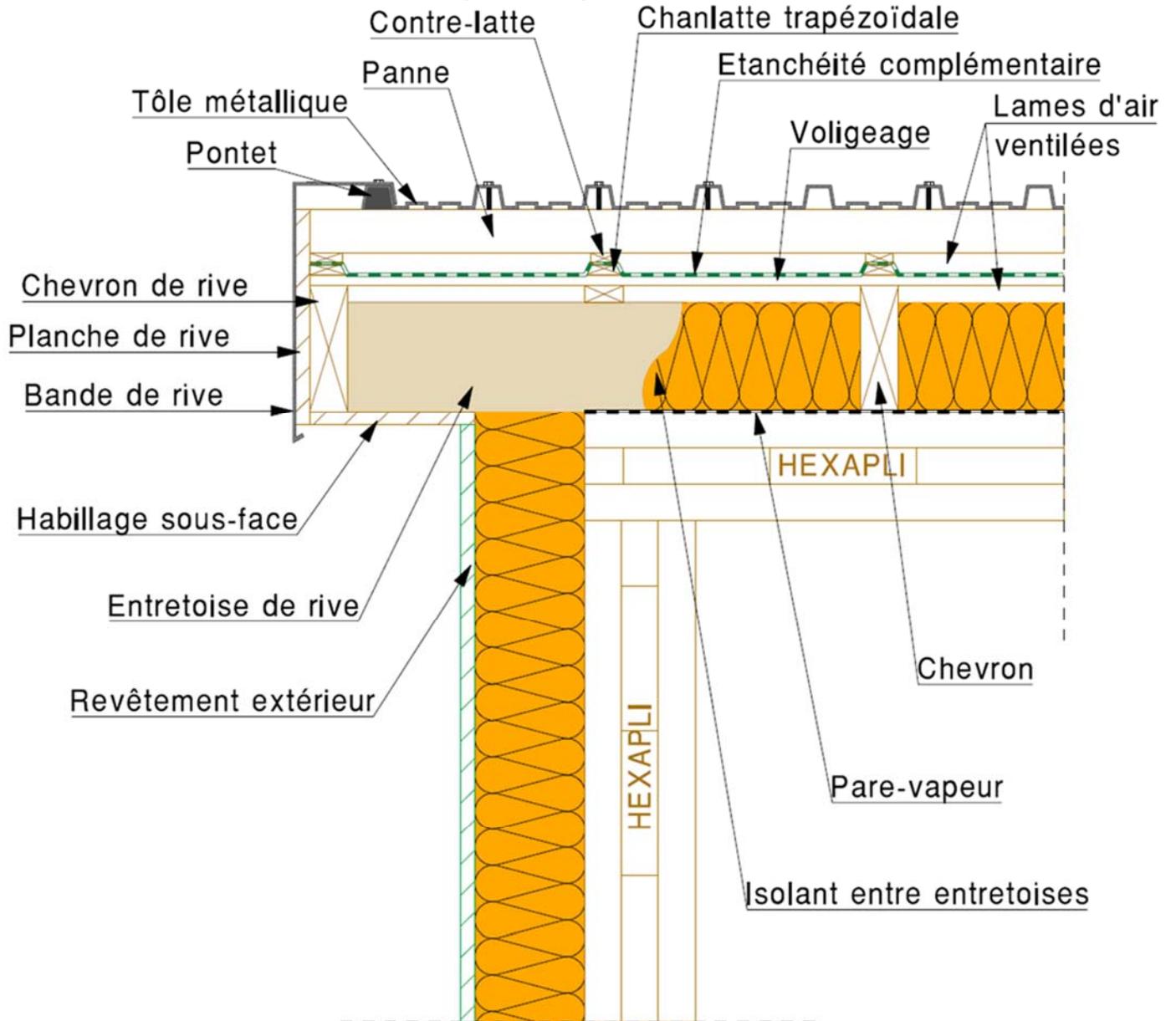


Figure B28 - Débord de couverture chaude à l'égoût - VMZ Toiture Compacte sur HEXAPLI
Pare-vapeur non représenté en mur

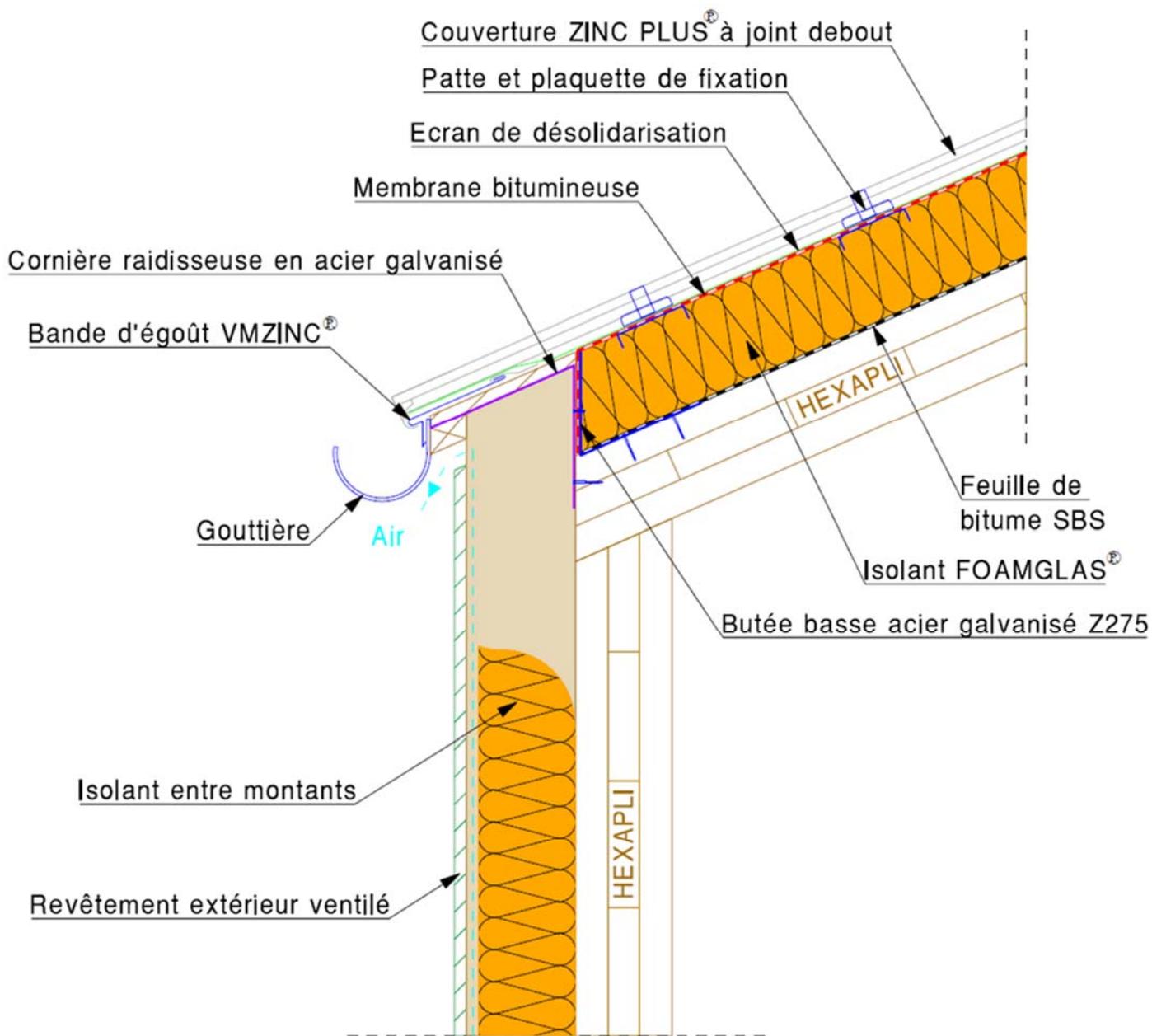
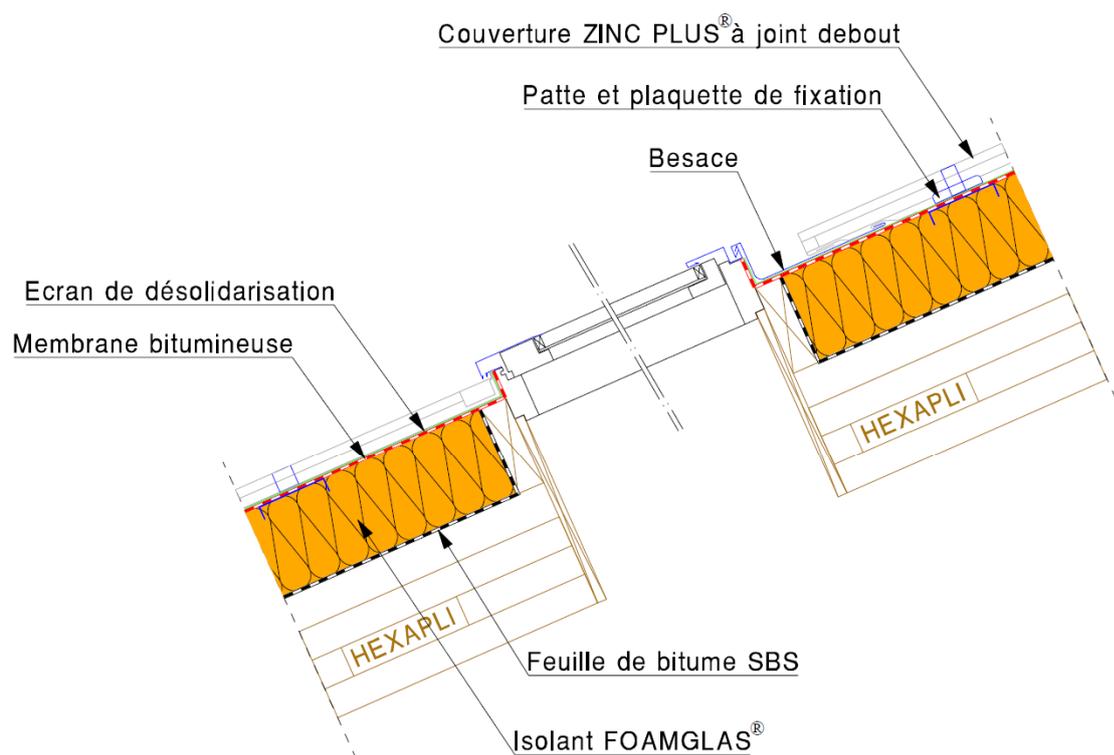


Figure B29 - Implantation en couverture chaude d'une fenêtre de toit - VMZ Toiture Compacte sur HEXAPLI

NOTE : un jeu entre les relevés en zinc et les reliefs est à ménager pour permettre la dilatation et le retrait des feuilles sans que le lanterneau ne soit un point de blocage de la dilatation des feuilles métalliques