

Systeme d'Integration Simplifiee sur bac de type T.A.N

Analyse comparative avec le DTU 40.35

Ce document a pour but de présenter une analyse du système d'Intégration Simplifiée développé par CENTROSOLAR France dans le cadre de son activité. Le système est destiné à une mise en œuvre sur des grands bâtiments en charpente métallique ou bois. Le système consiste à mettre en œuvre des modules cadrés de 990x1660 mm, disposés en format paysage, et maintenus par des rails en aluminium. Ces rails sont fixés sur des cavaliers eux-mêmes fixés au droit des pannes de charpente. L'étanchéité du bâtiment est assurée par un bac de couverture de type TAN (Tôle d'acier nervuré), mis en œuvre conformément au DTU 40.35.

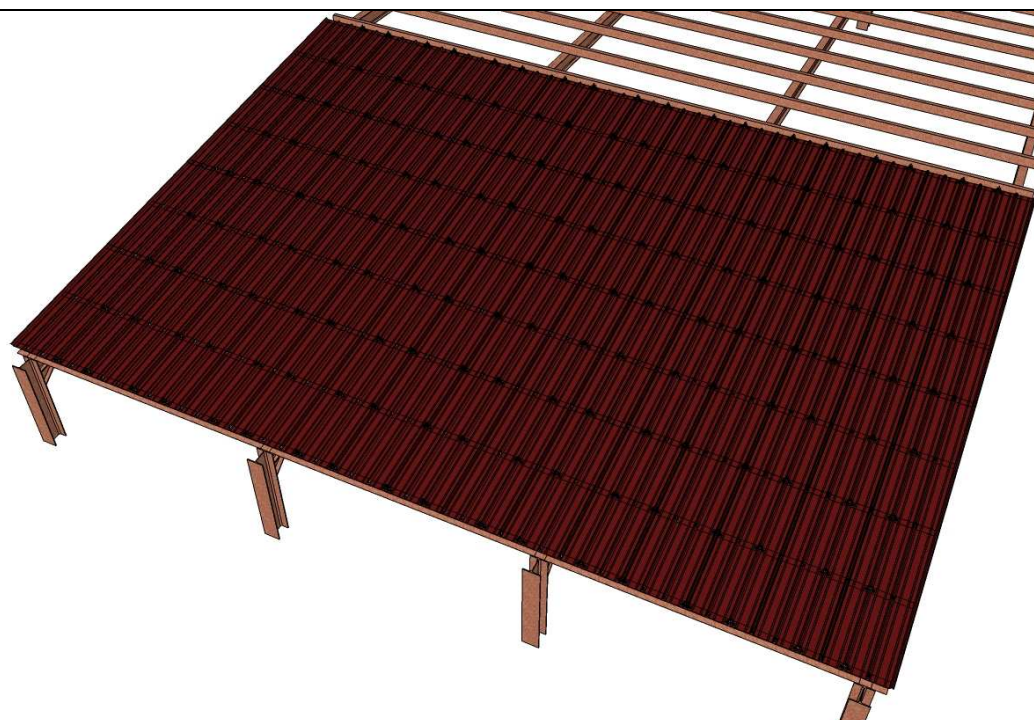
Le système développé par CENTROSOLAR France est garanti par :

- une mise en œuvre dont la technologie est directement tirée du DTU 40.35, ce qui permet de garantir un maintien et une étanchéité pérenne
- une justification des éléments structuraux du système en conformité avec les codes de calculs les plus avancés, à savoir les Eurocodes, afin de garantir une sécurité structurale optimale.

Le document suivant présente :

- en colonne de gauche, le mode opératoire de mise en œuvre du système, ainsi que la nature de ses composants.
- en colonne de droite, l'analyse du système en comparaison avec les préconisations du DTU 40.35, ainsi que les points d'analyse avancés.

Phases de montage	Description du système et de ses composants	Comparaison du système avec le DTU 40.35 et compléments
1	<p>Mise en œuvre du bac acier en conformité avec le DTU 40.35, en zones de vent 1 à 4. Le bac est fixé en respect du DTU en veillant à ne pas le fixer au droit des cavaliers de fixation du système.</p> <p><u>A cet effet les conditions suivantes sont respectées :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - pente de couverture minimum de 5% avec nervures d'ondes avec une hauteur supérieure ou égale à 35 mm. Pente de couverture en adéquation avec la longueur des TAN (recouvrements ou non dans le rampant), la zone de vent et les conditions d'exposition du site. - La longueur du rampant est limitée à 40 m. - fixation du système sur pannes acier dont le profil à une épaisseur minimum de 1.5 mm, tout en respectant une surface d'appui mini de 40 mm - fixation du système sur pannes bois ayant une hauteur minimum de 80 mm, tout en respectant une surface d'appui mini de 60 m. - fixation en sommet d'onde avec vis autoperçuses + cavalier et rondelle d'étanchéité. - Densité de fixation minimum respectée en fonction de la zone de vent du projet et de la zone de couverture (partie courante et rives). La densité de fixation définitive sera même augmentée à hauteur de toutes les ondes du bac acier non pontées par le cavalier support développé par Centrosolar. Fixation dans les pannes de charpente. - nature des fixations adaptée aux phénomènes d'électrolytes, à la nature des TAN, aux ambiances extérieures - nature du bac adaptée au type de couverture : sans feutre anti-condensation et non ventilé (toiture chaude), avec feutre anti-condensation sous les TAN ventilé à cet effet suite à étude hygrométrique du bâtiment (toiture froide). - recouvrement des TAN adapté à la pente de couverture et à la zone de vent du projet. Un complément d'étanchéité peut être exigé dans la zone de recouvrement pour certaines pentes et zones de vent. - la TAN à une épaisseur minimum de 63/100^{ème}. Cette épaisseur sera retenue en fonction de la portée entre pannes pour reprendre les charges de chantier, ainsi que les charges de neige du projet. 	<p><u>DTU 40.35</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - § 4.4.2, tableau 1 : règles de mise en œuvre des TAN en fonction de la pente de couverture, de la hauteur des ondes et de la longueur des TAN - § 4.4.3 : longueur maximale du rampant en fonction de la hauteur des nervures des TAN - § 4.4.4.2 : conditions d'appui des TAN sur les pannes acier ou bois. - § 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5 : prise en compte des charges pour le dimensionnement des TAN à comparer avec les fiches techniques des fabricants. - § 5.1.2.1 : épaisseur minimale des TAN fixée à 63/100^{ème} - § 6.1.3 : recouvrements transversaux des TAN, avec ou sans complément d'étanchéité, en fonction des zones de vent et des pentes de couverture. - § 6.4.4.1, Tableau 5 : fixation par vis autoperçuse dans pannes bois et acier + cavalier en rondelle d'étanchéité en sommet d'onde. - § 6.1.4.3.1, Tableau 6 : répartition minimale des fixations dans les pannes en sommet d'ondes des TAN. - § 6.1.4.3.2 : Densité minimale des fixations. - § 6.5.1.2, § 6.6 et 6.7 : Nécessité du feutre régulateur de condensation en sous-face des TAN et dispositions techniques



2

Fixation des cavaliers de pontage des ondes des TAN en fonction du calepinage du système photovoltaïque. Chaque cavalier est réalisé à partir d'une tôle de 2 mm en acier inoxydable 1.4310 (AISI 301) brut ou peint (AISI 301 peint pour les conditions d'exposition extrêmes) pliée à froid. La hauteur sous cavalier est de 48 mm afin de garantir une mise en œuvre sur des ondes de TAN ayant une hauteur comprise entre 39 et 45 mm. La patte d'assise du cavalier assure leur appui sur 30 mm et est revêtue d'une gaine thermoplastique. La gaine thermoplastique évite tout risque de couple électrolytique avec un bac en acier galvanisé, tout en conférant au système une ductilité rotationnelle sous dilatation thermique (voir explications ci-après).

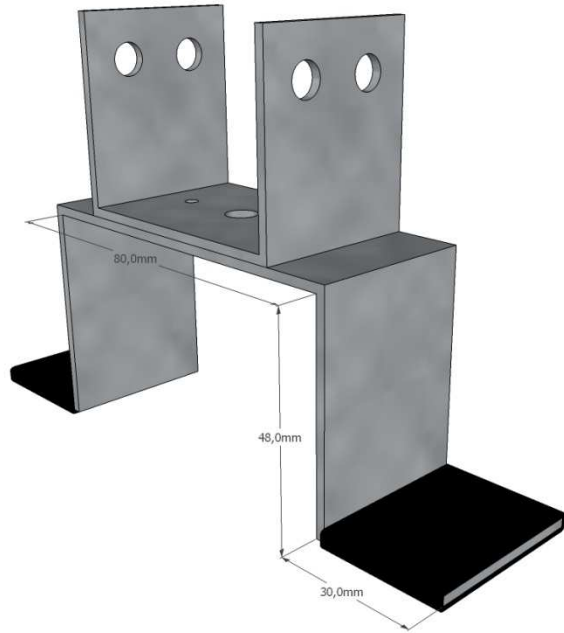
Une seconde référence de cavalier support sera disponible lorsque les efforts d'arrachement seront trop importants pour être repris par une seule vis de fixation. La technologie de ce cavalier est identique à celle du cavalier simple.

- Ce type d'organe de fixation est apparenté aux couvertures à double peau mentionnées au §1 « Domaine d'application » du DTU 40.35.

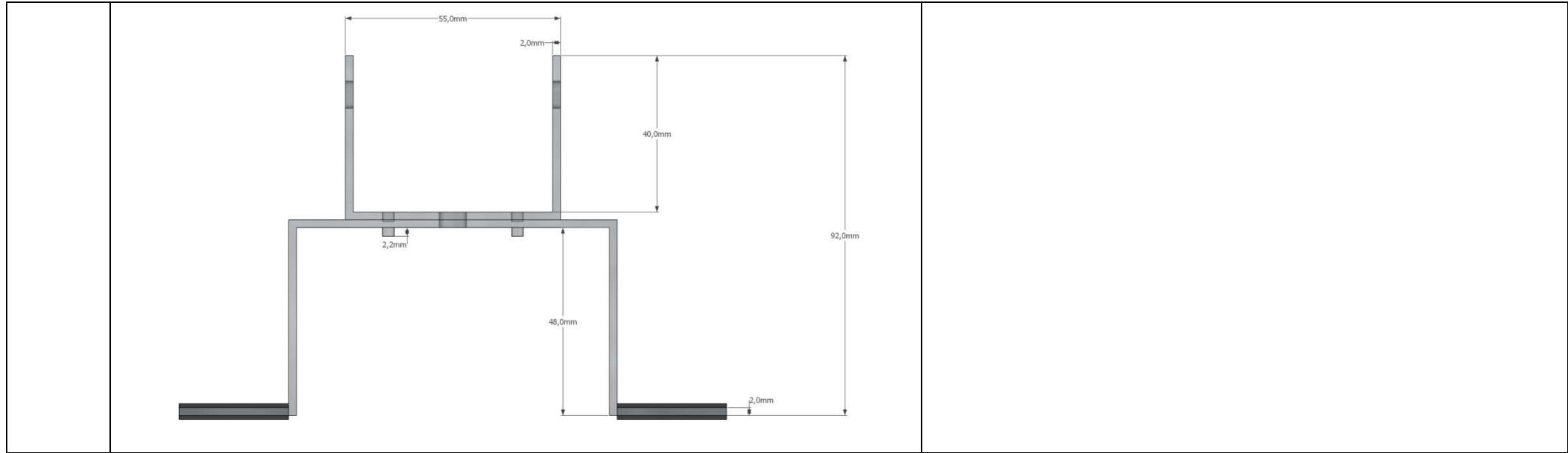
- Dans les systèmes double peau, ce cavalier peut être apparenté à une entretoise définie au § 5.3.2 du DTU 40.35. La zone d'appui de ce cavalier est respectée (30 mm de largeur), tout comme l'épaisseur minimale de la tôle utilisée (1.5 mm mini). La largeur du cavalier simple est de 36 mm, celle du cavalier double de 58mm. Le matériau du cavalier est en Inox afin de garantir sa pérennité dans le temps.

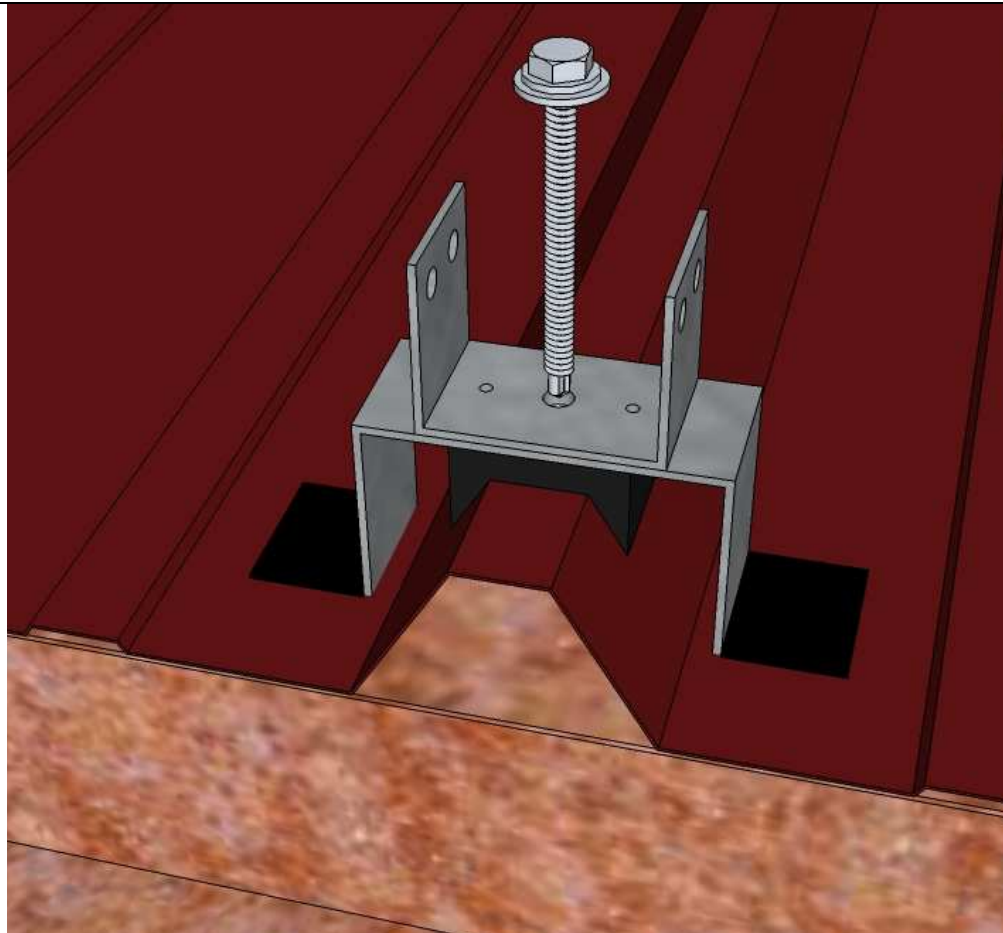
Les deux pièces composant le cavalier sont assemblées par clinchage, système d'assemblage ayant fait ses preuves dans l'industrie. Cette technique assure un bon assemblage des deux organes.

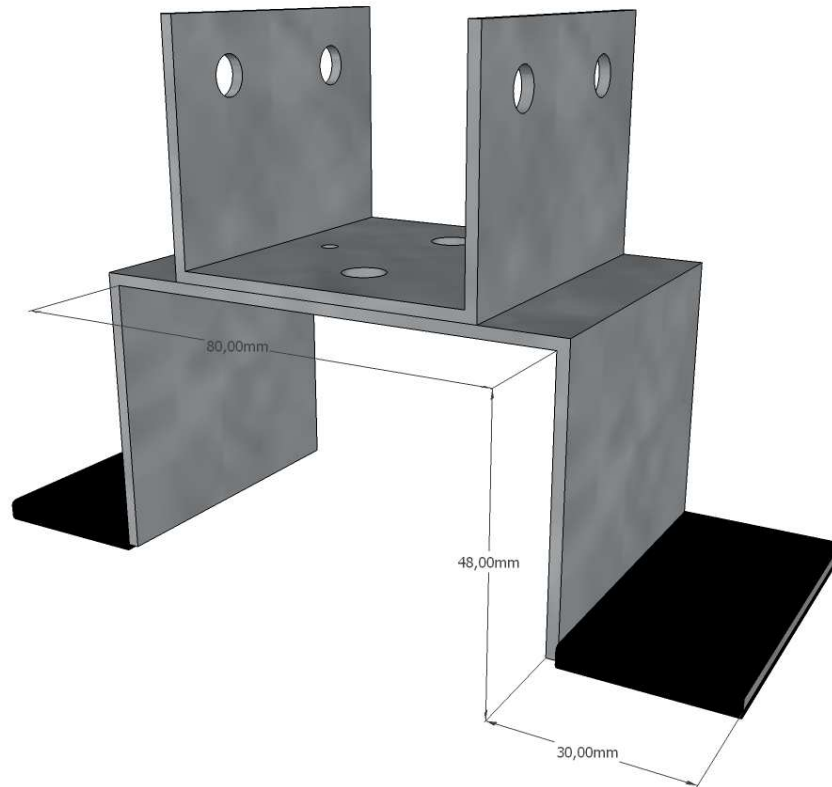
Ces cavaliers sont testés sous chargements climatiques extrêmes (pression et dépression extrême sur banc d'essai) dans un laboratoire



certifié.







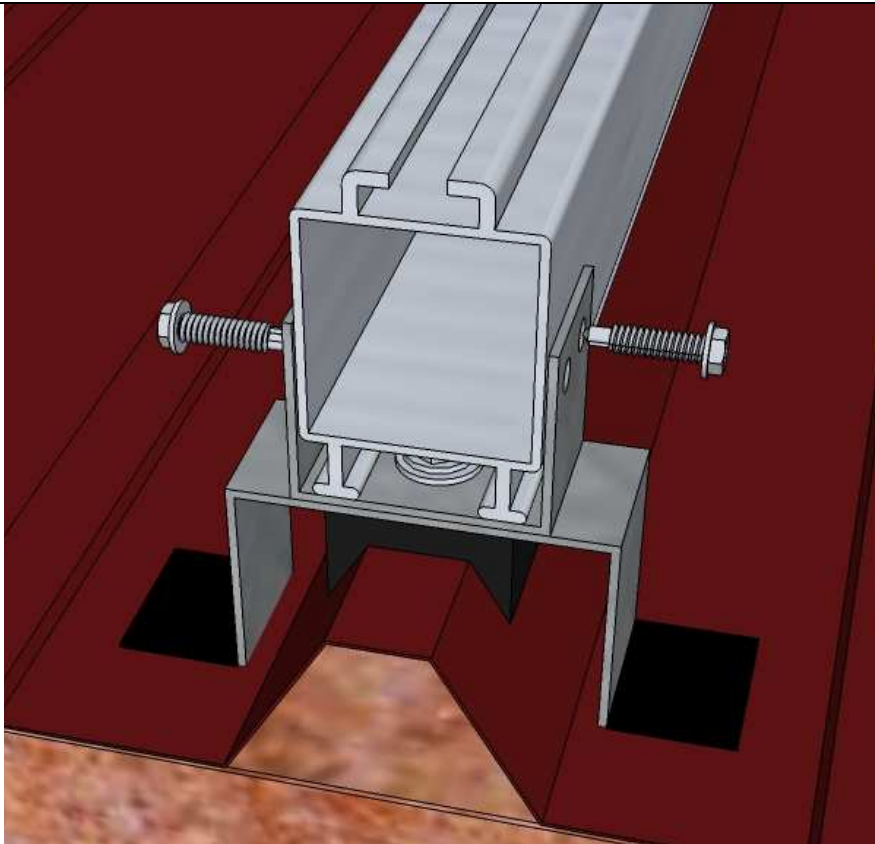
3

Le cavalier est adaptable à des hauteurs de nervures comprises entre 39 et 45 mm. Afin de garantir l'étanchéité entre le sommet de l'onde et le cavalier, une mousse d'étanchéité en EPDM à cellules fermées de densité 120kg/m^3 est mise en place au droit du perçage de fixation du cavalier, sur une largeur de 50 mm et la profondeur du cavalier (soit 36 mm). Ce joint à une épaisseur de 15 mm.

La mousse d'étanchéité utilisée est de type « Joint EPDM à cellules fermées ». Cette technologie de caoutchouc cellulaire étanche assure une bonne tenue au vieillissement. Grâce à sa largeur de 50 mm, il épouse parfaitement la largeur du sommet d'onde. Du fait du percement de ce joint par la vis de fixation du cavalier, on obtient alors une étanchéité supplémentaire autour de la vis car il épouse parfaitement son filetage.

Ce joint EPDM est mis en œuvre en usine sur le cavalier. Son étanchéité est garantie à un taux de compression très faible. La mise en œuvre du système lui garantit un taux de compression mini de 40%.

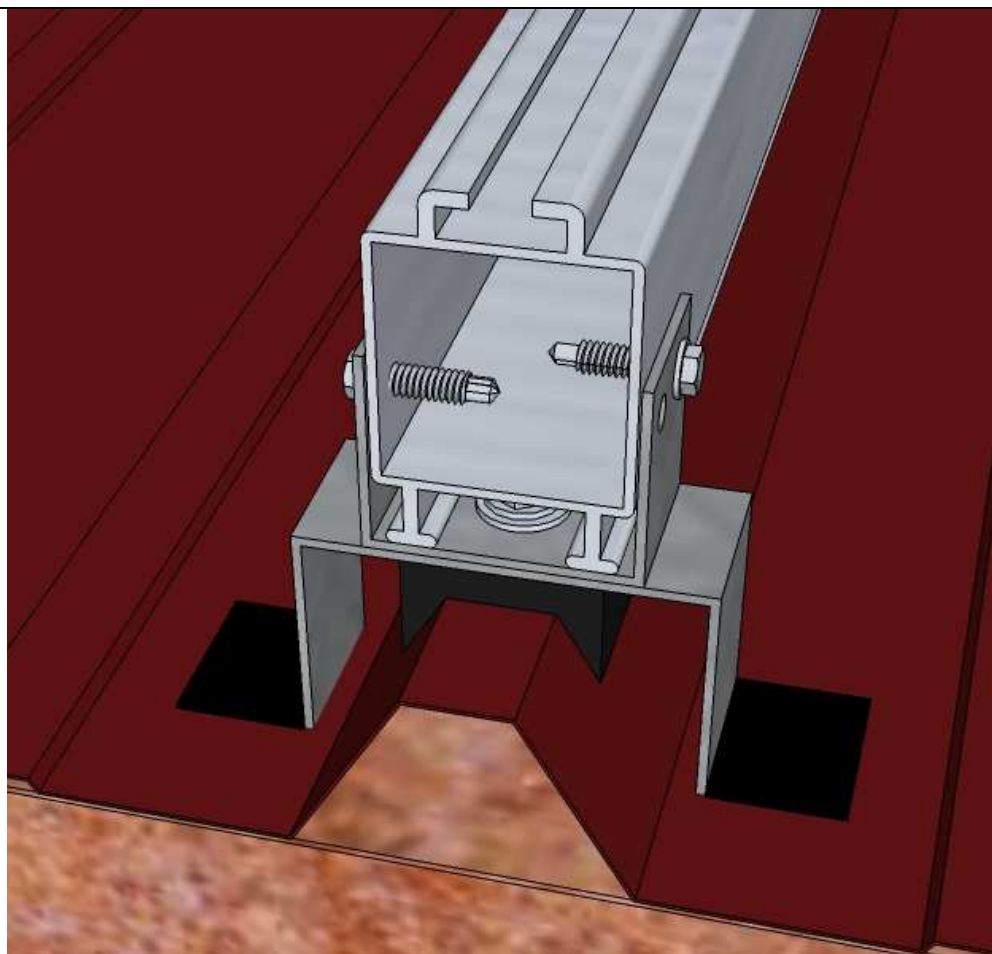
		<p>Cette valeur est garantie pour une hauteur mini d'onde de 39 mm.</p> <p>Ce joint n'est destiné qu'à éviter tout risque de pénétration d'eau entre le sommet de l'onde de la nervure du bac et la sous-face du cavalier, la venue d'eau par ce cheminement étant quasi inexistante.</p> <p>Des tests d'étanchéité très pénalisants permettent de valider cette conception étanche.</p>
4	<p>La fixation du cavalier est assurée par 3 types de vis selon la nature des pannes de fixation :</p> <p>- panne acier en I ou H : vis autoperçuseuse de 6 mm de diamètre et 105 mm de longueur (capacité d'assemblage maxi de 63 mm), avec tête Zamac et corps en acier cimenté zingué d'appellation ZACROVIS 12 TH12/2C de la société ETANCO. Cette vis reçoit un traitement de surface de type SUPRACOAT 2C permettant de satisfaire à 15 cycles Kesternich selon la NF EN 3231 (résistance à la corrosion). La résistance à l'arrachement Pk de la vis selon la NF P 30-310 est de 1000 daN dans un support de 6 mm d'épaisseur. La vis é été testée à la flexion avec succès selon le NF P 30-312.</p> <p>- panne acier en profilé mince : vis autoperçuseuse de 6.3 mm de diamètre et 85 mm de longueur (capacité d'assemblage maxi de 60 mm), avec tête Zamac et corps en acier cimenté zingué d'appellation ZACROVIS 6 TH8/2C de la société ETANCO. Cette vis reçoit un traitement de surface de type SUPRACOAT 2C permettant de satisfaire à 15 cycles Kesternich selon la NF EN 3231 (résistance à la corrosion). La résistance à l'arrachement Pk de la vis selon la NF P 30-310 est de 274 daN dans un support de 1.5 mm d'épaisseur. La vis é été testée à la flexion avec succès selon le NF P 30-312.</p> <p>- panne bois : vis autoperçuseuse de 6.5 mm de diamètre et 130 mm de longueur (capacité d'assemblage maxi de 75 mm), avec tête Zamac et corps en acier cimenté zingué d'appellation ZACROVIS BOIS TH12/2C de la société ETANCO. Cette vis reçoit un traitement de surface de type SUPRACOAT 2C permettant de satisfaire à 15 cycles Kesternich selon la NF EN 3231 (résistance à la corrosion). La résistance à l'arrachement Pk de la vis selon la NF P 30-310 est de 447 daN pour un ancrage de 50 mm dans un support bois en sapin. La vis é été testée à la flexion avec succès selon le NF P 30-312.</p> <p>Chaque vis est munie d'une rondelle d'étanchéité sous sa tête ZAMAC. Cet élément est composé d'une rondelle en acier galvanisé + joint EPDM vulcanisé.</p>	<p>Analyse DTU 40.35 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - § 5.4.3 : chaque système de fixation doit être testé selon la PrXP P 30-310 afin de déterminer sa résistance caractéristique. Cette norme n'est aujourd'hui plus un projet expérimental mais a été homologuée. - § 5.4.4 : chaque système de fixations de longueur supérieure à 70 mm doit être testé en flexion selon la PrXP P 30-312 (norme homologuée à ce jour). - Annexe K, Tableau K.1 : les fixations en acier de cémentation avec revêtement métallique renforcé en sommet de nervure sont autorisées si elles répondent à une résistance à la corrosion sous 12 cycles Kesternich. La tête de vis en Zamac est autorisée. - Annexe K, Tableau K.2 : les rondelles d'étanchéité sous tête de vis peuvent être en acier galvanisé avec EPDM vulcanisé. <p>Analyse renforcée :</p> <p>L'effort d'arrachement ultime de chaque fixation est déterminé à l'ELU par un calcul selon les Eurocodes permettant d'obtenir l'effort d'arrachement le plus défavorable. Cette valeur est comparée à la valeur de Pk obtenue par essai, assortie d'un coefficient de sécurité γ_m conforme aux prescriptions du § 6.1.4.3.2 du DTU 40.35.</p> <p>La pression diamétrale exercée par la vis sur le bac est également vérifiée afin de garantir son maintien sous charges d'entraînement le long du bac (non flexion de la vis).</p> <p>Enfin, la vis est vérifié à l'arrachement sous rotation élastique du cavalier entraîné par les efforts horizontaux le long du rampant (calcul très sécuritaire car la ductilité de l'assemblage n'est pas considérée).</p>
5	<p>Les rails sont réalisés en aluminium EN AW-6106 T6.</p> <p>Il existe 2 types de rail selon les portées admissibles entre appuis (= cavaliers).</p> <p>Ils sont fixés sur les cavaliers par 2 vis autoperçuseuses de 6.3 mm de diamètre et 25 mm de longueur, en Inox A4, qui maintiennent le rail sur chacune de ses faces latérales.</p>	<p>Analyse DTU 40.35 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - § 6.4.2 : la structure secondaire (constituée par les rails) doit être vérifiée en respectant les prescriptions du § 4.1. Dans notre cas, les charges décrites sont prises en compte à partir de codes de calcul plus avancés (Eurocodes et non règles CM66 ou AL76 assorties des NV65-4).



- § 6.4.3, e) : l'assemblage du rail sur le support peut être effectué par vis auto-perçuseuse
- § 6.4.7 : les assemblages et fixations doivent être vérifiés par le calcul et faire l'objet d'une étude particulière en tenant compte des excentricités des charges. Dans notre cas, ces points sont respectés.

Analyse renforcée :

- La vérification des rails en aluminium est effectuée selon les règles Eurocode 9 (NF EN 1999). L'assemblage du rail sur les cavaliers par vis auto-perçuseuse est vérifié en considérant la résistance propre de la vis, la pression diamétrale qu'elle génère sur l'acier Inox du cavalier et la paroi du rail aluminium, ainsi que la résistance de la section nette de matière du cavalier et du rail sollicitée. Ces calculs sont menés en respect du coefficient de sécurité structural propre aux Eurocodes, à partir des combinaisons de dimensionnement de l'Eurocode 0 (NF EN 1990) et des charges définies par l'Eurocode 1 (NF EN 1991). La tenue des rails est éprouvée par des tests réalisés en soufflerie dans un laboratoire certifié.

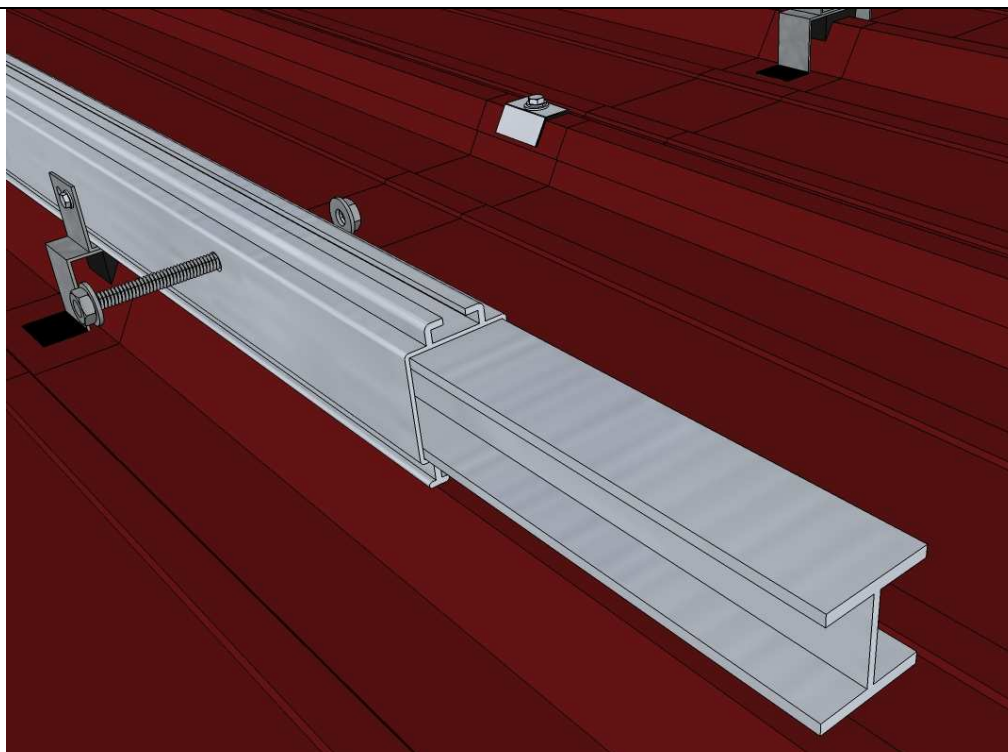


6

Les rails ont une longueur de 3057 mm et porte deux à deux 3 modules photovoltaïques. La connexion entre les rails est assurée par des éclisses de continuité pénétrant de 200 mm en extrémité de chaque rail. Un jeu de dilatation de 15 mm entre les rails est prévu. Cette dilatation n'est bloquée ni par les modules puisqu'aucun module ne pontage ce joint, ni par les vis et boulons de fixation.

CPT 3194 :

Les dispositions constructives adoptées pour permettre la libre dilatation des rails en aluminium sont issues du Cahier du CSTB n°3194 traitant des règles de conception des ossatures métalliques des bardages rapportés. A cet effet, la longueur des rails est limitée à 3 m et aucun pontage du joint de dilatation n'est autorisé. De plus, le cavalier de fixation offre une ductilité rotationnelle telle que la dilatation des rails sera absorbée sans efforts parasites dans les fixations.



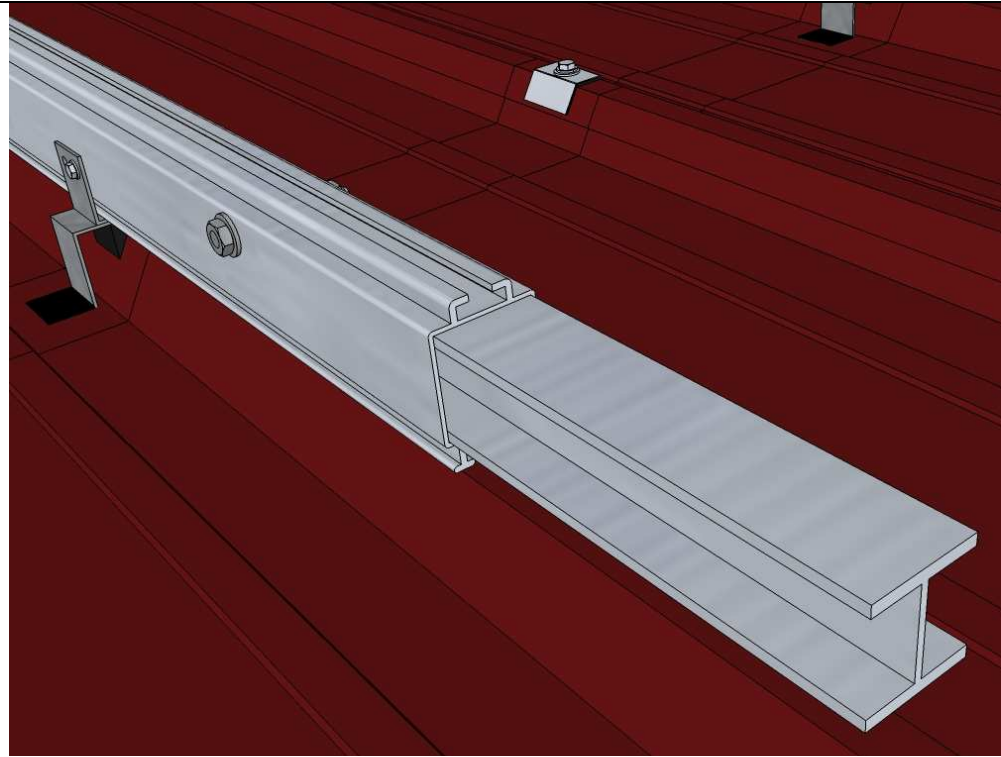
(présence de la gaine thermoplastique en pied du cavalier + hauteur d'onde autorisant une légère rotation).

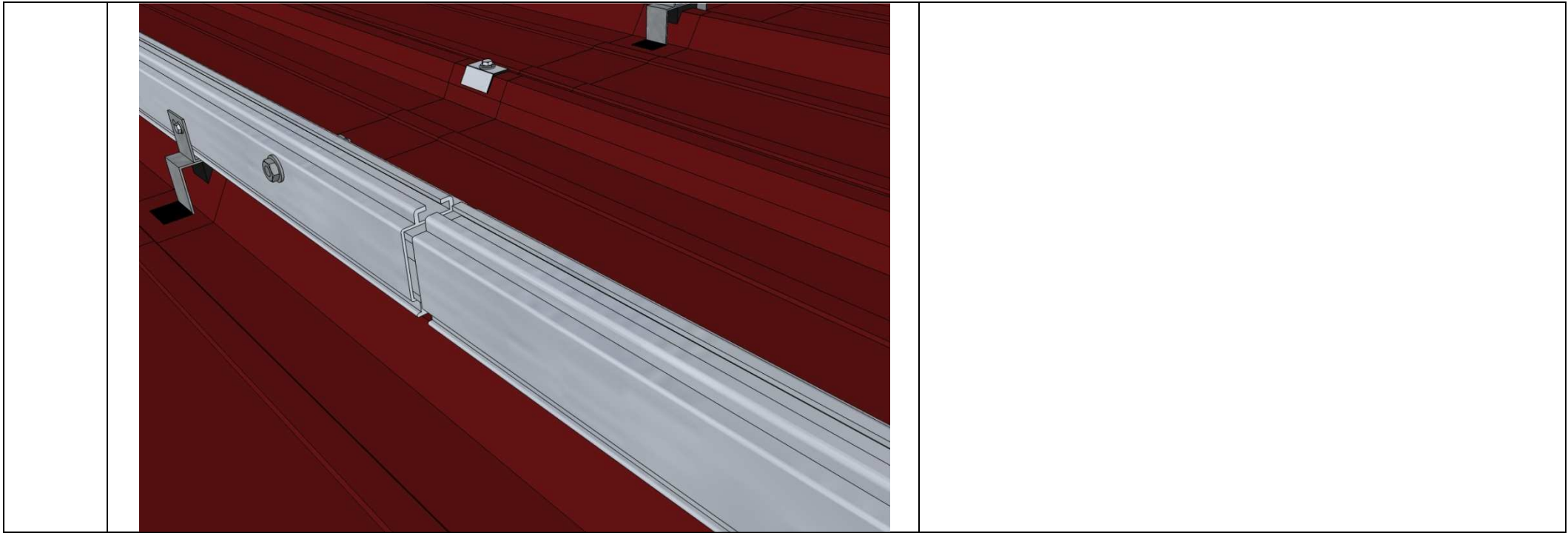
Analyse renforcée :

Les caractéristiques mécaniques de chaque éclisse sont supérieures ou égales à celles des rails ce qui permet de garantir leur résistance mécanique quelque soit leur position sur le champ.

La forme de l'éclisse en I permet de couturer le rail au cavalier même si cette couture est réalisée au niveau de l'éclissage sans perturber les mouvements de dilatation.

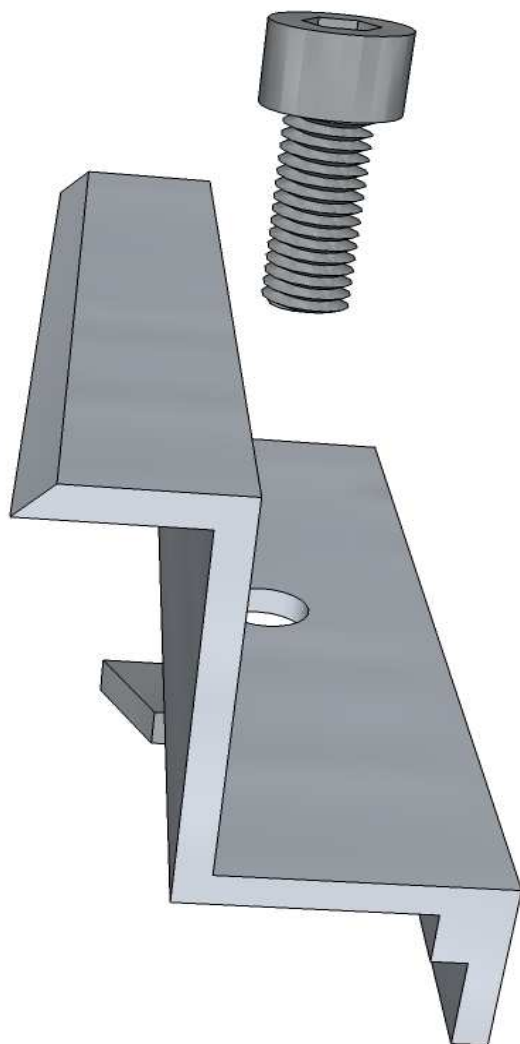
Le jeu de 0.5 mm entre le rail et l'éclisse (jeu de coulissement) est pris en compte dans le calcul de la déformée des rails.





7

Les pinces de maintien des modules PV sont fixées par des vis CHC et plaquette tête marteau prise dans la gorge supérieure du rail. Le serrage est contrôlé au couple.



Le maintien des modules, ainsi que leur résistance intrinsèque, sont éprouvés par des tests en pression et dépression réalisés dans un laboratoire certifié.

