Avis Technique 21/15-54_V3

Annule et remplace les Avis Techniques 21/15-54_V2 et 21/15-54_V2.1

Module photovoltaïque rigide fixé au-dessus du revêtement d'étanchéité, en pose surimposée

Rigid photovoltaic module applied over roofing membrane, installed above the membrane

Soprasolar Fix Alu

avec modules :

RECxxxPE (xxx de 240 à 265 Wc) de la société REC

Titulaire : Société SOPRASOLAR SAS
62 Rue Transversale
FR-92233 GENNEVILLIERS

Tél. : 01 46 88 01 80
Fax : 01 46 88 01 89
E-mail : be@soprasolar.com
Internet : www.soprasolar.com

Groupe Spécialisé n° 21

Procédés photovoltaïques

Publié le 6 novembre 2019

Commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

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

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)
© CSTB 2019

Le Groupe Spécialisé n° 21 "Procédés photovoltaïques" de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques a examiné, le 10 juillet 2019, le procédé photovoltaïque "SOPRASOLAR FIX ALU", présenté par la société SOPRASOLAR SAS. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine. Il annule et remplace les Avis Techniques 21/15-54_V2 et 21/15-54_V2.1.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toitures-terrasses de pente conforme aux DTU 43.1 et 43.5 sur éléments porteurs et supports en maçonnerie avec panneaux isolants thermiques non porteurs EFIGREEN ALU + pour des mises en œuvre sous protection par dalles sur plots et revêtement d'étanchéité Sopralène Stick.

Il est destiné à la réalisation d'installations productrices d'électricité solaire sans nécessité d'ajout de lestage et sans perforation de la membrane d'étanchéité.

Il intègre :

- Un pare-vapeur conforme au Document Technique d'Application Sopralène Stick de la société SOPREMA,
- des panneaux isolants non porteurs en polyisocyanurate (PIR) à parement multicouches, d'épaisseur 40 à 120 mm en un lit ou d'épaisseur maximale 240 mm en deux lits, conforme au Document Technique d'Application EFIGREEN ALU+ de la société SOPREMA, collés à la SOPRACOLLE 300N ou fixés mécaniquement,
- un revêtement d'étanchéité bicouche bitumineux semi indépendant autoadhésif constitué d'une première couche SOPRASTICK SI et d'une deuxième couche SOPRALENE FLAM 180 AR conforme au Document Technique d'Application " Sopralène Stick " de la société SOPREMA,
- un système de montage permettant une mise en œuvre de modules photovoltaïques cadrés en toiture-terrasse,
- des modules photovoltaïques cadrés, de puissance comprise entre 240 Wc et 265 Wc, muni(s) d'un cadre en profils d'aluminium, dont les références sont indiquées en page de garde.

1.2 Identification

Les marques commerciales et les références des modules sont inscrites à l'arrière du module reprenant les informations conformément à la norme NF EN 50380 : le nom du module, son numéro de série, ses principales caractéristiques électriques ainsi que le nom et l'adresse du fabricant. Cet étiquetage fait également mention du risque inhérent à la production d'électricité du module dès son exposition à un rayonnement lumineux.

Les autres constituants sont identifiables par leur géométrie particulière et sont référencés, lors de leur livraison, par une liste présente sur les colis les contenant.

2. AVIS

Le présent Avis ne vise pas la partie courant alternatif de l'installation électrique, ni l'onduleur permettant la transformation du courant continu en courant alternatif.

2.1 Domaine d'emploi accepté

Domaine d'emploi proposé au *§ 1.2* du Dossier Technique, restreint aux dispositions énoncées dans le *§ 2.232* "Stabilité" du présent Avis.

2.2 Appréciation sur le produit

2.21 Conformité normative des modules

La conformité des modules photovoltaïques cadrés à la norme NF EN 61215 permet de déterminer leurs caractéristiques électriques et thermiques et de s'assurer de leur aptitude à supporter une exposition prolongée aux climats généraux d'air libre, définis dans la norme CEI 60721-2-1.

2.22 Aptitude à l'emploi

2.221 Fonction génie électrique

Sécurité électrique du champ photovoltaïque

- Conducteurs électriques

  Le respect des prescriptions définies dans la norme NF C 15-100 en vigueur, pour le dimensionnement et la pose, permet de s'assurer de la sécurité et du bon fonctionnement des conducteurs électriques.

  Les câbles électriques utilisés ont une tenue en température ambiante de - 40 °C à 90 °C et peuvent être mis en œuvre jusqu'à une tension de 1000 V en courant continu, ce qui permet d'assurer une bonne aptitude à l'emploi des câbles électriques de l'installation.

- Protection des personnes contre les chocs électriques

  Les modules photovoltaïques cadrés sont certifiés d'une classe d'Application A selon la norme NF EN 61730, jusqu'à une tension maximum de 1000 V DC et sont ainsi considérés comme répondant aux prescriptions de la classe de sécurité électrique II jusqu'à 1000 V DC.

  Les connecteurs MC 4 de la société MULTICONTACT utilisés, ayant un indice de protection IP 67, sont des connecteurs débrochables avec système de verrouillage permettant un bon contact électrique entre chacune des polarités et assurant également une protection de l'installateur contre les risques de chocs électriques.

  L'utilisation de rallonges électriques (pour les connexions éventuelles entre modules, entre séries de modules et vers l'onduleur, ...) équipées de connecteurs de même fabricant, même type et même marque, permet d'assurer la fiabilité du contact électrique entre les connecteurs.

  La réalisation de l'installation photovoltaïque conformément aux guides UTE C 15-712 en vigueur permet d'assurer la protection des biens et des personnes.

  L'utilisation de cosses à œil en cuivre avec rondelles bimétal pour la liaison des cadres des modules et de raccord à serrage, à sertir ou à griffe (pour la liaison principale) pour un raccordement en peigne des masses métalliques permet d'assurer la continuité de la liaison équipotentielle des masses du champ photovoltaïque lors de la maintenance du procédé.

Sécurité par rapport aux ombrages partiels

Le phénomène de "point chaud" pouvant conduire à une détérioration du module est évité grâce à l'implantation de 3 diodes bypass sur chacun des modules photovoltaïques.

Puissance crête des modules utilisés

Les modules "RECxxxPE" sont de puissance crête comprise entre 240 Wc et 265 Wc par pas de 5 Wc.

2.222 Fonction Couverture

Stabilité

La stabilité du procédé est convenablement assurée sous réserve d'effectuer les vérifications suivantes :

- d'un calcul au cas par cas des charges climatiques appliquées sur la toiture, en tenant compte lorsque nécessaire des actions locales, pour vérifier que celles-ci n'excèdent pas :
  - 655 Pa sous charge de vent normale soit 1146 Pa en charge de vent extrême (*selon les règles NV65 modifiées*),
  - sous charge de neige normale (*selon les règles NV65 modifiées*) de :
    - 1000 Pa avec un lit d'isolant EFIGREEN ALU+ d'épaisseur 120 mm (*voir Tableau 2*),
    - 636 Pa avec deux lits d'isolant EFIGREEN ALU+ d'épaisseur 240 mm maximum (*voir Tableau 2*),
- dans le cas exclusivement d'une mise en œuvre en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant et sur des toitures présentant des pentes comprises entre les valeurs strictement supérieures à 10% et inférieures ou égales à 20 %, d'un dimensionnement du système de retenue des modules photovoltaïques effectué par SOPRASOLAR SAS en tenant compte du poids propre des modules photovoltaïques et de son système de montage et de la charge de neige du chantier considéré selon les règles NV 65 modifiées 2009.

Isolation thermique

L'arrêté du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012 (Réglementation Thermique 2012) n'impose pas d'exigence minimale 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 dossiers techniques des Documents Techniques d'Applications peuvent donner les résistances thermiques du panneau isolant certifiées par l'ACERMI pour l'année 2014. Il appartiendra cependant à l'utilisateur de vérifier que le certificat ACERMI est toujours valide ; faute de quoi, il y aurait lieu de se reporter aux Règles Th-U pour déterminer la résistance thermique utile de l'isolant.

Pour les constructions neuves qui entrent dans le champ d'application de la Réglementation Thermique 2005, la paroi dans laquelle est incorporé l'isolant support d'étanchéité devra satisfaire aux exigences du tableau VIII du fascicule 1/5 « Coefficient Ubât » des Règles Th-U, qui définit le coefficient (Up) surfacique maximum admissible pour la paroi-toiture.

Les constructions existantes sont soumises aux dispositions de l'arrêté du 3 mai 2007 et du 13 juin 2008, 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 calcul du coefficient de transmission surfacique Up (en W/(m².K)) de la paroi limitée à la surface du champ photovoltaïque, tenant compte des ponts thermiques intégrés, est indiqué au §9 du Dossier Technique.

Accessibilité de la toiture

Le procédé photovoltaïque SOPRASOLAR FIX ALU constitué de modules verriers mis en œuvre sur une structure spécifique, convient aux :

- toitures-terrasses inaccessibles avec chemin de circulation ;
- terrasses techniques ou à zones techniques, avec leurs chemins d'accès.

Sécurité en cas de séisme

Les applications du procédé ne sont pas limitées compte tenu de la conception et de l'utilisation du procédé en France métropolitaine. Elles sont donc applicables pour toutes les zones et catégories de bâtiments, au sens de 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".

L'objectif de bon fonctionnement dans le cadre des bâtiments de catégorie d'importance IV n'est pas visé dans ce paragraphe.

Étanchéité à l'eau

La conception globale du procédé, ses conditions de pose prévues par le Dossier Technique permettent de considérer une étanchéité à l'eau satisfaisante.

Sécurité au feu

Les modules photovoltaïques ne sont pas destinés à constituer la face plafond de locaux occupés.

Aucune performance de comportement au feu n'a été déterminée sur ce procédé.

Sécurité des usagers

Sans objet.

Sécurité des intervenants

La sécurité des intervenants lors de la pose, de l'entretien et de la maintenance est normalement assurée. Des chemins de circulation sont proposés en dalles sur gravier ou sur non-tissé. Les rouleaux de revêtement d'étanchéité de plus de 25 kg seront portés par deux personnes.

2.223 Données environnementales et sanitaires

Aspects environnementaux

Il existe une FDES mentionnée au paragraphe C "Références" du Dossier Technique.

Il est rappelé que cette FDES n'entre pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du produit (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 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.

2.23 Durabilité - Entretien

La durabilité propre des composants, leur compatibilité, la nature des contrôles effectués tout au long de leur fabrication ainsi que le retour d'expérience permettent de préjuger favorablement de la durabilité du procédé photovoltaïque dans le domaine d'emploi prévu.

Dans les conditions de pose prévues par le domaine d'emploi accepté par l'Avis, en respectant le guide de choix des matériaux (*voir le Tableau 1*) et moyennant un contrat d'entretien conforme aux indications portées dans la notice de montage et au §12 du Dossier Technique, la durabilité de cette toiture peut être estimée comme satisfaisante.

2.24 Fabrication et contrôle

Les contrôles internes de fabrication systématiquement effectués dans les usines de fabrication permettent de préjuger favorablement de la constance de qualité de la fabrication du procédé photovoltaïque.

2.25 Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé photovoltaïque effectuée par des installateurs formés *(avertis des particularités de pose de ce procédé grâce à une formation obligatoire, disposant de compétences en étanchéité pour la pose du procédé en toiture et de compétences électriques pour la connexion électrique de l'installation photovoltaïque, complétées par une qualification et/ou certification pour la pose de procédés photovoltaïques)* permet d'assurer une bonne réalisation des installations.

2.3 Prescriptions Techniques

2.31 Prescriptions communes

Dans le cadre de la réfection, 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 du DTU 43.5 (norme NF P 84-208) vis-à-vis des risques d'accumulation d'eau.

Chaque mise en œuvre requiert une vérification des charges climatiques appliquées sur la toiture considérée, en tenant compte le cas échéant des actions locales, au regard des contraintes maximales admissibles du procédé.

Les modules photovoltaïques doivent être installés de façon à ne pas subir d'ombrages portés afin de limiter les risques d'échauffement pouvant entraîner des pertes de puissance et une détérioration prématurée des modules.

La réalisation de l'installation doit être effectuée conformément aux documents suivants en vigueur : norme électrique NF C 15-100, guides UTE C 15-712, guide « Installations solaires photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution et inférieures ou égales à 250kVA » édité dans les cahiers pratiques de l'association Promotelec et « Guide pratique à l'usage des bureaux d'étude et installateurs pour l'installation de générateurs photovoltaïques raccordés au réseau » édité par l'ADEME et le SER.

La continuité de la liaison équipotentielle des masses du champ photovoltaïque doit être maintenue, même en cas de maintenance ou de réparation.

En présence d'un rayonnement lumineux, les modules photovoltaïques produisent du courant continu et ceci sans possibilité d'arrêt. La tension en sortie d'une chaîne de modules reliés en série peut rapidement devenir dangereuse ; il est donc important de prendre en compte cette spécificité et de porter une attention particulière à la mise en sécurité électrique de toute intervention menée sur de tels procédés.

2.32 Prescriptions techniques particulières

2.321 Livraison

La notice de montage et de câblage des modules photovoltaïques entre eux, un plan d'exécution - calepinage des plots SOPRASOLAR FIX ALU, un plan d'exécution - calepinage des rails SOPRASOLAR FIX ALU, un plan d'exécution - calepinage des modules photovoltaïques doivent être fournis avec le procédé pour chaque projet par la société SOPRASOLAR SAS.

Le système de traçabilité du titulaire permet de tracer les livraisons, de la production jusqu'aux chantiers livrés.

2.322 Installation électrique

Les spécifications relatives à l'installation électrique décrites au Dossier Technique doivent être respectées.

2.323 Mise en œuvre

Le procédé photovoltaïque peut-être installé sur toute la toiture, néanmoins les modules et leur système de montage doivent être positionnés en respectant des zones de sécurité et de circulation requises en fonction de l'entretien et de l'installation (*voir le § 8.52).*

Chaque mise en œuvre requiert une vérification des charges climatiques appliquées sur la toiture considérée, en tenant compte le cas échéant des actions locales, au regard des contraintes maximales admissibles du procédé.

La mise en œuvre est prévue pour être exécutée sur des structures porteuses en maçonnerie conformes à la norme NF P 10-203 (*DTU 20.12*) des types A, B, C.

Les règles de mise en œuvre décrites au Dossier Technique et les dispositions mentionnées au *§ 2.222*"Stabilité" doivent être respectées.

Il est également nécessaire de noter que :

- la mise en œuvre requiert une attention particulière concernant la soudure des plots SOPRASOLAR FIX ALU, la mise en place des "SpeedClip" et la mise en place du procédé.
- La toiture d'implantation doit présenter des versants de pente, imposée par la toiture, compris entre :
  - 0 et 10% dans le cas d'une mise en œuvre en travaux de réfection avec conservation de l'existant,
  - 0 et 20% (0° et 11,5°) dans le cas d'une mise en œuvre en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant,
  - Dans le cas de pentes comprises entre une valeur strictement supérieure à 10 % et inférieure ou égale à 20 %, la mise en œuvre des rails SOPRASOLAR FIX ALU doit obligatoirement être effectuée perpendiculairement à la pente et associée à un système de retenue des modules photovoltaïques.
- les attelages de fixation mécanique de l'isolant support ne sont pas autorisés sur :
  - les formes de pente en béton lourd ou léger, les voiles précontraints, les voiles minces préfabriqués, les corps creux avec ou sans chape de répartition, les planchers a chauffage intégré, les planchers comportant des distributions électriques noyées et les planchers de type D (DTU 20.12 - norme NF P 10-203) surmontés ou non d'une dalle de compression adhérente,
  - au-dessus des locaux à très forte hygrométrie $\left(\frac{W}{n} > 7{,}5\ g/m^3\right)$ selon DTU 40-36 annexe B3.

La mise en œuvre, ainsi que les opérations d'entretien, de maintenance et de réparation du procédé photovoltaïque doivent être assurées par des installateurs, formés aux particularités du procédé et aux techniques de pose.

En cas de bris de glace ou d'endommagement d'un module photovoltaïque, un remplacement de ce module défectueux réalisé dans les plus brefs délais.

2.324 Assistance technique

La société SOPRASOLAR SAS est tenue d'apporter son assistance technique à toute entreprise installant le procédé qui en fera la demande.

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté est appréciée favorablement.

Validité

Jusqu'au 29 janvier 2020.

Pour le Groupe Spécialisé n° 21
Le Président

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

La version V3 fait suite à une révision d'office modifiant le § 2.321 de l'Avis

La version consolidée V2 tient compte du changement de nom de la société SOLARDIS qui devient SOPRASOLAR SAS.

La version consolidée V1 tient compte de l'augmentation des distances de cheminement en toiture-terrasse et de l'ajout de la désignation des modules en page de garde.

Les applications de ce procédé, en climat de montagne (altitude > 900 m), ne sont pas concernées par le domaine d'emploi accepté par l'Avis.

Le Groupe Spécialisé souhaite attirer l'attention sur la nécessité de mettre en œuvre le revêtement d'étanchéité conformément au Document Technique d'Application Sopralène Stick et au Document Technique d'Application des panneaux isolants non porteurs EFIGREEN ALU + en tenant compte des exceptions liées au procédé photovoltaïque SOPRASOLAR FIX ALU définies dans le Dossier Technique du demandeur. Dans le cas de la réfection avec conservation de l'existant, l'isolant présent sur la toiture doit être de classe de compressibilité C minimum ou B à 80°C et C à 60°C. Des sondages pour pouvoir apprécier la qualité d'ensemble de l'isolation thermique doivent être réalisés afin de s'assurer de cette disposition. Dans le cas où l'étude ne peut être menée ou que l'étude indique que l'isolant n'est pas de classe de compressibilité C minimum ou B à 80°C et C à 60°C, il conviendra d'effectuer une réfection sans conservation de l'existant.

Comme pour l'ensemble des procédés de ce domaine la mise en œuvre requiert une vérification des charges climatiques appliquées sur la toiture considérée, en tenant compte le cas échéant des actions locales, au regard des contraintes maximales admissibles du procédé.

Le Groupe Spécialisé souhaite attirer l'attention sur le fait qu'il conviendra d'apporter une attention particulière à la vérification des charges de vent normales en rive et en angle de toiture.

Le Groupe Spécialisé souhaite attirer l'attention sur le fait que les conditions de dimensionnement des éléments porteurs de la série 43 ne s'appliquent pas pour ce type de procédé.

Le Groupe Spécialisé souhaite également préciser que les préconisations relatives à l'installation électrique, conformes aux prescriptions actuelles des guides UTE C 15-712 en vigueur, nécessitent d'évoluer parallèlement aux éventuelles mises à jour de ce guide.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 21

Dossier Technique
établi par le demandeur

A. Description

1. Description générale

1.1 Présentation

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toitures-terrasses de pente conforme aux DTU 43.1 et 43.5 sur éléments porteurs et supports en maçonnerie avec panneaux isolants thermiques non porteurs EFIGREEN ALU + pour des mises en œuvre sous protection par dalles sur plots et revêtement d'étanchéité Sopralène Stick.

Il est destiné à la réalisation d'installations productrices d'électricité solaire sans nécessité d'ajout de lestage et sans perforation de la membrane d'étanchéité.

Il intègre :

- Un pare-vapeur conforme au Document d'Application Sopralène Stick de la société SOPREMA selon Tableau 3,
- des panneaux isolants non porteurs en polyisocyanurate (PIR) à parement multicouches, d'épaisseur 40 à 120 mm en un lit ou d'épaisseur maximale 240 mm en deux lits, conformes au Document Technique d'Application EFIGREEN ALU+ de la société SOPREMA, collés à la SOPRACOLLE 300N ou fixés mécaniquement,
- un revêtement d'étanchéité bicouche bitumineux semi indépendant autoadhésif constitué d'une première couche SOPRASTICK SI et d'une deuxième couche SOPRALENE FLAM 180 AR conforme au Document Technique d'Application " Sopralène Stick " de la société SOPREMA,
- un système de montage permettant une mise en œuvre de modules photovoltaïques cadrés en toiture-terrasse,
- des modules photovoltaïques cadrés, de puissance comprise entre 240 Wc et 265 Wc, muni(s) d'un cadre en profils d'aluminium.

1.2 Domaine d'emploi

- Utilisation en France métropolitaine :
  - pour des altitudes inférieures à 900 m (climat de plaine).
  - au-dessus de locaux à faible, moyenne, forte ou très forte hygrométrie (selon DTU 40-36 annexe B3) :
    - □ en se référant aux limites éventuelles propres aux éléments porteurs, aux Documents Techniques d'Application de l'isolant EFIGREEN ALU+ collé à la SOPRACOLLE 300N et du revêtement d'étanchéité Sopralène Stick,
    - □ sauf pour le cas où les panneaux isolants EFIGREEN ALU+ sont fixés mécaniquement pour lequel la très forte hygrométrie est exclue.
- Mise en œuvre :
  - sur toitures terrasses à pente nulle, plates ou inclinées, inaccessibles sans rétention d'eau temporaire, techniques ou à zones techniques :
    - □ en maçonnerie conformes au DTU 20.12 (norme NF P 10-203) des types A, B, C,
    - □ les toitures doivent être conformes aux prescriptions des DTU 43.1 (norme NF P 84-204-1-1) et 43.5 (norme NF P 84-208-1) dans le cas de travaux de réfection,
  - avec isolants thermiques non porteurs EFIGREEN ALU+ visant la mise en œuvre sous système dalles sur plots et de classe de compressibilité C (*selon UEAtc*) à 80°C,
  - sur des bâtiments neufs ou existants. Dans le cas de la rénovation avec conservation de l'existant, il conviendra de mettre en œuvre l'isolant EFIGREEN ALU+ :
    - □ uniquement sur un complexe isolant-étanchéité comportant un isolant non porteur de classe de compressibilité C minimum ou B à 80°C et C à 60°C,
    - □ uniquement par fixation mécanique en se référant au DTA de ce dernier. Les attelages de fixation mécanique de l'isolant support ne sont pas autorisés sur les formes de pente en béton lourd ou léger, les voiles précontraints, les voiles minces préfabriqués, les corps creux avec ou sans chape de répartition, les planchers à chauffage intégré, les planchers comportant des distributions électriques noyées et les planchers de type D (DTU 20.12 - norme NF P 10-203) surmontés ou non d'une dalle de compression adhérente.
- La toiture d'implantation doit présenter des versants de pente, imposée par la toiture, compris entre :
  - 0 et 10% dans le cas d'une mise en œuvre en travaux de réfection avec conservation de l'existant,
  - 0 et 20% (0° et 11,5°) dans le cas d'une mise en œuvre en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant. Dans le cas de pentes comprises entre une valeur strictement supérieure à 10 % et inférieure ou égale à 20 %, la mise en œuvre des rails SOPRASOLAR FIX ALU doit obligatoirement être effectuée perpendiculairement à la pente et associée à un système de retenue des modules photovoltaïques (*voir la Figure 18 à Figure 21).*
- Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :
  - de façon à positionner leurs plus grandes longueurs perpendiculairement aux rails SOPRASOLAR FIX ALU,
  - en respectant des zones de sécurité et de circulation requises en fonction de l'entretien et de l'installation (voir le *paragraphe 8.52 et Figure 12*),
  - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous vent normal (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 655 Pa soit 1146 Pa en charge de vent extrême (*selon les règles NV65 modifiées*),
  - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous neige normale (*selon les règles NV 65 modifiées*) n'excédant pas :
    - □ 1000 Pa avec un lit d'isolant EFIGREEN ALU+ d'épaisseur 120 mm (*voir Tableau 2*),
    - □ 636 Pa avec deux lits d'isolant EFIGREEN ALU+ d'épaisseur totale 240 mm (*voir Tableau 2*).
- En fonction des matériaux constitutifs du procédé, le *Tableau 1* précise les atmosphères extérieures permises.

2. Éléments constitutifs

Le procédé photovoltaïque "SOPRASOLAR FIX ALU" *(*voir *la Figure 3)* est l'association d'un module photovoltaïque cadré et d'un système de montage spécifique lui permettant une mise en œuvre en toiture-terrasse avec un complexe d'isolant-étanchéité composé d'un isolant EFIGREEN ALU+ et d'un revêtement d'étanchéité bicouche bitumineux semi indépendant autoadhésif constitué d'une première couche SOPRASTICK SI et d'une deuxième couche SOPRALENE FLAM 180 AR conformes au Document Technique d'Application "Sopralène Stick" de la société SOPREMA.

Tous les éléments décrits dans ce paragraphe font partie de la livraison du procédé assurée par la société SOPRASOLAR SAS.

2.1 Module photovoltaïque

Le module photovoltaïque *(*voir la *Figure 2)*, dont la dénomination commerciale est RECxxxPE, est fabriqué par la société REC. La dénomination commerciale se décline en fonction de la puissance crête "xxx" allant de 240 Wc à 265 Wc, par pas successif de 5 Wc.

Les modules photovoltaïques ne diffèrent que par la puissance.

2.11 Film polymère

- Composition *(dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques)* : à base de PET (Polyéthylène téréphtalate) entre deux couches de PVF (Polyfluorure de vinyle ou Tedlar®) avec un traitement spécifique de la surface intérieure pour permettre une meilleure adhérence de la résine encapsulante,
- Épaisseur : (0,295 ± 0,01) mm,
- Tension diélectrique maximum admissible : 1000 V.

2.12 Cellules photovoltaïques

Les cellules de silicium utilisées *(dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques)* sont fabriquées par la société REC Cells.

- Technologie des cellules : polycristalline,
- Dimensions : (156 ± 0,5) mm x (156 ± 0,5) mm.

Au nombre de 60, ces cellules sont connectées en série et réparties en 6 colonnes de 10 cellules selon la configuration suivante :

- distance minimale entre cellules horizontalement : (2 ± 0,5) mm,
- distance minimale entre cellules verticalement : (2 ± 0,5) mm,
- distance minimale au bord horizontalement : (16 ± 0,2) mm,
- distance minimale au bord verticalement : (24,2 ± ,2) mm.

2.13 Collecteurs entre cellules

Les collecteurs entre cellules photovoltaïques (dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques) sont en Etain / Plomb.

2.14 Intercalaire encapsulant

Résine *(dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques)* à base d'EVA (Ethyl Vinyl Acétate) de 0,5 mm d'épaisseur permettant d'encapsuler les cellules entre le film polymère et le vitrage.

2.15 Vitrage

- Nature (*dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques*) : verre trempé extra clair conforme à la norme EN 12150 avec une couche antireflet,
- Facteur solaire: 91,5 % à 91,8%,
- Coefficient de transmission thermique Ug : 6 W/(m².K),
- Épaisseur : (3,2 ± 0,2) mm,
- Dimensions : (1657 ±1,5 × 983 ±1,5) mm.

2.16 Constituants électriques

2.161 Boîte de connexion

Une boîte de connexion du fabricant ZHENJIANG TONGLIN ELECTRIC Co, Ltd, de dénomination commerciale TL-Box026-F15D3P est collée avec du silicone *(dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de formuler des Avis Techniques)* en sous-face du module. Elle présente les dimensions hors-tout suivantes : (90 x 90 x 15) mm.

Cette boîte de connexion est fournie avec 3 diodes bypass (voir *§ 2.162*) et permet le raccordement aux câbles qui assureront la connexion des modules. Elle est remplie d'un mastic silicone.

Elle possède les caractéristiques suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Indice de protection : IP67,
- Tension de système maximum : 1000 V DC entre polarités,
- Courant maximal admissible (*intensité assignée*) : 10 A,
- Plage de température : - 40 °C à + 100 °C.

2.162 Diodes bypass

3 diodes bypass (*dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques*) sont implantées dans chaque boîte de connexion des modules.

Chacune de ces diodes protègent une série de 20 cellules.

Elles permettent de limiter les échauffements dus aux ombrages sur le module en basculant le courant sur la série de cellules suivante et évitent ainsi le phénomène de "point chaud".

2.163 Câbles électriques

Les modules sont équipés de deux câbles électriques *(dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques)* de 1,5 m pour la polarité négative et 1,2 m pour la polarité positive dont la section est de 4 mm². Ces câbles se trouvent à l'arrière du module, en sortie de la boîte de connexion, et sont équipés de connecteurs adaptés (voir *§ 2.164*).

Ces câbles ont notamment les spécifications suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Plage de température ambiante maximum : - 40 °C à 90 °C,
- Courant maximum admissible (intensité assignée) de 30 A,
- Tension assignée : 1000 V,
- Double isolation,
- Certificat selon les spécifications 2Pfg1169 : 2007.

Tous les câbles électriques de l'installation *(en sortie des modules et pour les connexions entre séries de modules et vers l'onduleur)* sont en accord avec la norme NF C 15-100 en vigueur, aux guides UTE C 15-712 en vigueur et les spécifications des onduleurs *(longueur et section de câble adaptées au projet)*.

2.164 Connecteurs électriques

Les connecteurs électriques utilisés sont de types MULTICONTACT de type 4 (MCT4).

Ce sont des connecteurs débrochables avec système de verrouillage de la société MULTICONTACT, préassemblés en usine aux câbles des modules. De marque et de type MULTICONTACT de type 4 (MCT4), ces connecteurs sont certifiés par le TÜV et ont les caractéristiques suivantes :

- Indice de protection électrique IP 67,
- Classe II de sécurité électrique,
- Tension assignée de 1000 V,
- Courant maximum admissible (intensité assignée) de 30 A,
- Plage de température de - 40 °C à + 90 °C,
- Résistance de contact < 0,5 mΩ.

Des deux câbles sortant du module, celui dont la polarité est positive est muni d'une fiche femelle tandis que celui dont la polarité est négative est muni d'une fiche mâle.

Les connecteurs des câbles supplémentaires *(pour les connexions entre séries de modules et vers l'onduleur)* doivent être identiques *(même fabricant, même marque et même type)* aux connecteurs auxquels ils sont destinés à être reliés : pour ce faire, des rallonges peuvent être fabriquées grâce à des sertisseuses spécifiques.

2.17 Cadre du module photovoltaïque

Le cadre des modules est composé de profils en aluminium EN AW-6060 T6 avec revêtement superficiel argenté obtenu par anodisation (classe d'épaisseur AA15)) pour la fixation au système de montage.

Le cadre des modules présente deux profilés longitudinaux (*sur la longueur des modules*) et deux profilés transversaux (*sur la largeur des modules*). Ces profilés présentent les moments d'inertie suivants :

- Ix = 0,63 m⁴,
- Iy = 3,17 m⁴.

Le cadre est percé en usine au niveau de chaque extrémité des profilés longitudinaux du module afin de prévoir la connexion des câbles de mise à la terre.

Un ruban adhésif double face de mousse de polyéthylène *(les références de cette colle ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques)* est collé sur toute la périphérie de laminé avant insertion dans les profils d'aluminium formant le cadre.

Les profilés sont reliés entre eux grâce à des équerres crantées qui sont ensuite poinçonnées au travers des profilés sur leurs deux côtés.

2.2 Système de montage

Les éléments de ce système de montage sont commercialisés par projet suite au dimensionnement de la société SOPRASOLAR SAS. Ils sont fournis par la société SOPRASOLAR SAS à l'exception du revêtement d'étanchéité Sopralène Stick directement fourni par la société SOPREMA et de l'isolant EFIGREEN ALU+.

2.21 Plot SOPRASOLAR FIX ALU (*Figure 4*)

Ces éléments permettent de liaisonner les rails SOPRASOLAR FIX ALU support des modules photovoltaïques au revêtement d'étanchéité. Réglable avec un débattement permettant d'obtenir une hauteur finale variant de 65 à 95 mm, ils sont préassemblés en usine ; ils sont composés des éléments suivants :

Plastron SOPRASOLAR (SEBS avec armature polyester non-tissé)

De dimensions 300×300 mm, ce plastron est découpé dans une membrane de bitume SOPRALENE FLAM 250 PLASTRON SOPRASOLAR de SOPREMA d'épaisseur minimale 4,7 mm constituée d'une armature en polyester non-tissé 250 g/m² et d'un mélange de bitume polymère thermoplastique SEBS. Le plastron est autoprotégé par paillettes d'ardoise noire. La face inférieure du plastron comporte un film thermofusible pour pouvoir être soudé sur le revêtement d'étanchéité après que ce dernier ait été préalablement noirci *(voir § 8.533)*.

Embase (polypropylène chargé à 37,5% de carbonate de calcium)

Liaisonnée au plastron par des vis M6 × 20 TX30 en acier inox A2, des rondelles de diamètre extérieur 24 mm en acier inox A2, des rondelles GROWER M6 en inox A2, des rondelles 40 × 6 × 1,2 en acier galvanisé et d'écrous borgnes frein M6 en acier inox A2, cette partie permet de liaisonner la tête du plot et le plastron SOPRASOLAR tout en permettant d'ajuster un réglage en hauteur du plot de 30 mm. De diamètre 250 mm, de hauteur 46 mm et d'épaisseur 2 mm, elle comporte 8 orifices : 4 orifices de Ø 6,5 mm pour la fixation au plastron SOPRASOLAR et 4 autres de Ø 8 mm pour l'évacuation de l'eau. La liaison entre la partie horizontale et la partie verticale est renforcée par 12 nervures principales et 12 nervures intermédiaires.

Tête (polypropylène chargé à 37,5% de carbonate de calcium)

De forme cylindrique, de diamètre 72 mm et de hauteur 60 mm, cette partie est vissée dans l'embase afin de régler la hauteur totale du plot. Une butée de fin de course permet de ne pas désolidariser la tête de l'embase lors du dévissage sur chantier.

Platine alu (aluminium EN AW-5754)

Cette platine surmonte la tête à laquelle elle est liée par l'intermédiaire d'un rivet borgne 4,8 × 12 en acier inox A2 et d'une rondelle 25 × 5,3 × 1,5 en acier inox A2. De forme circulaire, la platine est de diamètre 150 mm et d'épaisseur 3 mm.

2.22 Rail SOPRASOLAR FIX ALU (EN AW-6063 T66 *Figure 5*)

Le rail permet de soutenir les modules photovoltaïques. De longueur prédéfinie et standard pour les différents sous-ensembles de modules photovoltaïques (voir *le tableau ci-dessous* et *Figure 14*), leur section est en forme de U d'épaisseur 2 mm.

Sous-ensemble	Longueur de rail (m)
2 modules	2,10
3 modules	3,14
4 modules	4,20
5 modules	5,18

Dimensions hors-tout de la section (L×H): 63×22,5 mm.

Ces rails présentent les caractéristiques suivantes :

- Moments quadratiques :
  - Iy : 15280 mm^4,
  - Iz : 77386 mm^4.
- Module élastique :
  - Wy : 1087 mm^3,
  - Wz : 2455 mm^3.
- Surface de section: 238 mm².
- Masse linéaire : 0,64 kg/ml.

2.23 Speedclip (PA66 GF 35 non recyclée, *Figure 6*)

Cette pièce permet de liaisonner le rail SOPRASOLAR FIX ALU sur la platine du plot SOPRASOLARFIX ALU. De forme oblongue, elle comporte deux perçages de diamètre 6 mm permettant sa fixation sur la platine aluminium du plot et deux rainures se faisant face pour permettre l'insertion et le maintien du rail SOPRASOLAR FIX ALU. Une couche EPDM est assemblée sur la face inférieure de la pièce.

Dimension hors-tout (L×l×h) : 105 × 30,5 × 17 mm.

La fixation du Speedclip est réalisée par l'intermédiaire de deux vis en acier inox A2 EJOT JT3-2-6,0×L-E16/2 de longueur 36 mm et d'une rondelle en aluminium de diamètre extérieur 46 mm (*fournies par la société SOPRASOLAR SAS*).

2.24 Speedlock (aluminium AlMg3, *Figure 7*)

Cette pièce permet de créer un point fixe à une des extrémités du rail afin de forcer la direction de dilatation du rail SOPRASOLAR FIX ALU. 1 Speedlock est mis en œuvre par rail SOPRASOLAR FIX ALU, conformément au plan d'exécution – calepinage des rails SOPRASOLAR FIX ALU et remplace la rondelle aluminium de diamètre 46 mm. Chaque Speedlock est fourni avec une vis CHC M8 × 20 en acier inox A2 associée à un écrou prisonnier en acier inox A2. L'écrou prisonnier est pourvu d'un élément à ailettes en polyamide permettant son bon positionnement dans le rail SOPRASOLAR FIX ALU par quart de tour.

2.25 Étriers (aluminium EN AW-6063 T66, *Figure 8*)

Ces pièces permettent de fixer les modules photovoltaïques aux rails SOPRASOLAR FIX ALU. Selon leur position sur l'installation, deux sortes d'étriers peuvent être mis en œuvre :

Étrier intermédiaire

Ce type d'étrier est mis en œuvre entre deux modules photovoltaïques adjacents et permet l'obtention d'un espacement entre modules photovoltaïques de 20 mm. De section en forme de U, ils sont d'épaisseur 2 mm et comportent un perçage de diamètre 8 mm sur leur fond.

Chaque étrier est fourni préassemblé avec une vis CHC M8 × 20 en acier inox A2 associée à un écrou prisonnier en acier inox A2.

Dimensions hors-tout (L×l×H) : 65 × 34 × 54 mm.

Étrier final

Ce type d'étrier est mis en œuvre en extrémité de sous-ensemble de modules photovoltaïques.

Ils sont d'épaisseur 2 mm et comportent un perçage de diamètre 8 mm sur leur fond.

Chaque étrier est fourni préassemblé avec une vis CHC M8 × 20 en acier inox A2 associée à un écrou prisonnier en acier inox A2.

Dimensions hors-tout (L×l×H) : 65 × 34 × 54 mm.

2.3 Système de retenue des modules pour les toitures de pentes > 10 % et ≤ 20 % (Figure 9)

Ce dispositif est exclusivement utilisé dans le cas de pentes supérieures à 10 % et inférieure ou égale à 20 % afin de reprendre les efforts tangentiels des modules photovoltaïques générés par le poids propre du procédé photovoltaïque et des charges climatiques de neige.

Le dimensionnement des différents éléments se fait suivant les charges du procédé photovoltaïque et climatiques (*voir le Tableau 5*, *le Tableau 6*, *le Tableau 7*, *le Tableau 8*). SOPRASOLAR SAS apportera son assistance au dimensionnement du système de retenue.

Les éléments doivent être adaptés à la classe d'atmosphère extérieure propre au projet et conformes au *Cahier du CSTB* 3194 (voir le *Tableau 2*).

2.31 Potelet pour fixation des lisses (acier S235 galvanisé à chaud Z395,)

Ces éléments ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie, de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

Le potelet permet de fixer la lisse de retenue des modules photovoltaïques à l'élément porteur. Il est constitué d'une platine d'épaisseur 10 mm de dimension 360 mm × 360mm, surmontée d'un tube carré d'épaisseur 4 mm, de section 80 mm × 80 mm et 500 mm de haut ainsi que d'une collerette d'étanchéité. Il présente sur sa partie supérieure un trou fileté M12 permettant la fixation de l'équerre Z.

Cet éléments et la quantité sous une lisse sont dimensionnés pour reprendre les charges du procédé photovoltaïque et climatique (*voir le Tableau 5*, *le Tableau 6*, *le Tableau 7*, *le Tableau 8*).

2.32 Fixation des potelets (acier inoxydable A2)

Ces éléments ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

Il s'agit de goujons T sous ATE de la société ALSAFIX de diamètre 12 mm.

Dans le cas de la réfection, la vérification du Pk réel des fixations par campagne de mesures in situ sera réalisée selon le cahier 1661-V2 du CSTB et la valeur de résistance de calcul à l'état limite ultime retenue sera calculée selon ce même cahier.

2.33 Equerres Z (acier S235 galvanisé à chaud Z395)

Ces éléments ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie, de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

L'équerre Z en tôle d'acier galvanisée d'épaisseur 10 mm permet de liaisonner un potelet à la lisse et sa hauteur est variable en fonction de l'épaisseur de l'isolant mis en œuvre sur la toiture. Pour chaque chantier la hauteur de l'équerre Z sera déterminée par SOPRASOLAR SAS.

Cet élément est dimensionné pour reprendre les charges du procédé photovoltaïque et climatiques (*voir le Tableau 5*, *le Tableau 6*, *le Tableau 7*, *le Tableau 8*).

Chaque équerre Z est fixée à son potelet par l'intermédiaire d'une vis en acier inox A2-70 de Ø12 mm (*de limite élastique au moins égale à 450 MPa et de résistance minimale à la rupture en cisaillement de 1410 daN*) associée une rondelle crantée (*dispositif anti-desserrement*) pour reprendre les charges du procédé photovoltaïque et climatiques (*voir le Tableau 5*, *le Tableau 6*, *le Tableau 7*, *le Tableau 8)*.

2.34 Lisses (acier S235 galvanisé à chaud Z395)

Ces éléments ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie, de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

La lisse permet de fixer les câbles de retenue.

La section des lisses, tube carré de 90 mm ×90 mm pour une épaisseur de 3 mm, est dimensionnée pour reprendre les charges du procédé photovoltaïque et climatiques. Elles sont de longueurs 2 m, 3 m, 4 m ou 5 m.

Elles sont fixées à chaque équerre Z par l'intermédiaire d'une vis en acier inox A2-70 de Ø12 mm (*de limite élastique au moins égale à 450 MPa et de résistance minimale à la rupture en cisaillement de 1410 daN*) avec rondelles et écrous freins pour reprendre les charges du procédé photovoltaïque et climatiques (*voir le Tableau 5*, *le Tableau 6*, *le Tableau 7*, *le Tableau 8)*.

2.35 Câble de retenue (acier inoxydable A2 non gainé)

Ces éléments ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie, de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

Ils sont de type tressés, non gainés, en acier inox A2, de diamètre 6 mm présentant une valeur minimale de résistance à la rupture de 1710 daN. La quantité et la longueur des câbles mis en œuvre par lisse ou rangés de sous-ensemble de modules photovoltaïques dans le sens du rampant est déterminée par SOPRASOLAR SAS et en fonction des charges du procédé photovoltaïque et des charges climatiques *(voir le Tableau* 5, *le Tableau 6*, *le Tableau 7*, *le Tableau 8)*.

2.36 Anneaux de serrage des câbles (acier inoxydable A2)

Ces éléments ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

Ces éléments de type serre câble à étrier en acier inox A2 permettent de lier les câbles à la lisse et de créer les butées de rails SOPRASOLAR FIX ALU (*voir la Figure 18 et la Figure 19) afin de reprendre les charges du procédé photovoltaïques et climatiques*.

Ils sont composés de deux éléments : la selle et l'étrier avec un filetage à ses extrémités.

De dimensions adaptées à la section du câble de diamètre 6 mm, ils sont fermés par serrage à l'aide des deux écrous se trouvant sur la pièce.

3. Autres éléments

La fourniture peut également comprendre des éléments permettant de constituer un procédé photovoltaïque : onduleurs, câbles électriques reliant le champ photovoltaïque au réseau électrique en aval de l'onduleur… Ces éléments ne sont pas examinés dans le cadre de l'Avis Technique qui se limite à la partie électrique en courant continu.

Les éléments suivants, non fournis, sont toutefois indispensables à la mise en œuvre et au bon fonctionnement du procédé utilisé :

3.1 Pare vapeur

Le choix du pare-vapeur de la société SOPREMA et son principe de mise en œuvre se fait conformément au *Tableau 3* et au *Tableau 4* et du *§ 8.5321*.

3.2 Revêtement d'étanchéité

Le revêtement bitumineux SBS de la société SOPREMA semi indépendant autoadhésif SOPRASTICK SI avec une deuxième couche apparente SOPRALENE FLAM 180 AR soudée en plein mis en œuvre conformément au DTA du revêtement Sopralène Stick est utilisé avec le procédé SOPRASOLAR FIX ALU.

3.3 Isolant EFIGREEN ALU+

L'isolant PIR de la société SOPREMA à parement multicouche EFIGREEN ALU+ mis en œuvre conformément à son DTA est utilisé avec le procédé SOPRASOLAR FIX ALU.

3.4 Colle pour mise en œuvre de l'isolant par collage à froid

Les panneaux d'isolant EFIGREEN ALU+ mis en œuvre par collage à froid seront collés à la SOPRACOLLE 300N de chez SOPREMA conformément au *paragraphe 8.5322*.

Il conviendra de se référer aux DTA du Sopralène Stick et de l'EFIGREEN ALU+ pour la valeur de dépression maximale admissible du complexe isolant-étanchéité lorsque celui-ci est mis en œuvre sans être associé au procédé SOPRASOLAR FIX ALU.

3.5 Fixations mécaniques de l'isolant.

Les attelages sont conformes au DTU 43.1 (normes NF P 84-204-1) et doivent présenter une valeur minimale à l'arrachement de 190 daN pour le Pk de la fiche technique du fabricant en travaux neuf ou pour le Pk réel déterminé par campagne de mesure in-situ selon le Cahier 3564 du CSTB en travaux de réfection.

Les panneaux isolants ne peuvent pas être fixés mécaniquement, sur les formes de pente en béton lourd ou léger, les voiles précontraints, les voiles minces préfabriqués, les corps creux avec ou sans chape de répartition, les planchers à chauffage intégré, les planchers comportant des distributions électriques noyées et les planchers de type D (DTU 20.12 - norme NF P 10-203) surmontés ou non d'une dalle de compression adhérente.

En travaux de réfection, les attelages de fixation mécanique sont solides au pas si la compression à 10 % de déformation du support isolant existant (norme NF EN 826) est inférieure à 100 kPa, ou si elle n'est pas connue.

Le terme « solide au pas » s'applique à un attelage composé d'un élément de liaison et d'une plaquette de répartition servant à assurer la fixation mécanique d'un isolant ou d'un revêtement d'étanchéité sur un support. Cet attelage est muni d'un dispositif permettant d'éviter, en service, le désaffleurement de la tête de l'élément de liaison (par exemple : vis) de la partie supérieure de la plaquette de répartition. Les attelages conformes à la norme NF P 30-317 répondent à cette condition.

3.6 Câbles de mise à la terre

Les câbles de mise à la terre doivent présenter des sections adaptées à leur fonction (interconnexion des cadres des modules et des profilés ou liaison à la prise de terre du bâtiment) et dans tous les cas des caractéristiques conformes aux guides NF C 15-712.

Ces câbles pourront être connectés à l'aide de connecteurs par l'intermédiaires de cosses à œil en cuivre avec rondelles bimétal et :

- de vis autoperceuses en acier inox A2 sur les rails SOPRASOLAR FIX ALU, les potelets et les lisses,
- de système vis-écrou en acier inox A2 sur le cadre des modules photovoltaïques,

et interconnectés ensuite via un raccord à serrage, à sertir ou à griffes à la liaison générale de 16 mm².

3.7 Chemin de câbles

Aucun câble et aucun connecteur ne devra reposer sur le revêtement d'étanchéité ; ils devront reposer dans un chemin de câbles spécifique ou cheminer le long des rails SOPRASOLAR FIX ALU en étant fixés à l'aide de collier de serrage (*type Rilsan ou équivalent*).

Des chemins de câbles, définis par l'électricien, en fils d'acier inoxydable soudés (*type CABLOFIL par exemple)* adaptés au climat concerné. Le type de chemin de câbles ainsi que ses dimensions dépendront du nombre de câbles à acheminer. Les dimensions seront déterminées par l'électricien spécialisé. Il est nécessaire de prévoir un couvercle pour le chemin de câbles.

Les chemins de câbles ne doivent pas reposer directement sur le revêtement d'étanchéité et seront donc mis en œuvre sur des supports.

3.8 Support de chemin de câbles

Les supports de chemin de câble peuvent être les suivants :

Supports métalliques liaisonnés sur l'étanchéité (*Figure* 11)

Omégas en tôles d'acier inox AISI 304 pliées de dimensions 50 mm x 50 mm x 50 mm x 150 mm et d'épaisseur 1,2 mm. Ces supports sont liaisonnés sur leurs deux côtés sur l'étanchéité à l'aide de bandes de feuilles bitumineuses soudées de la gamme SOPREMA. La mise en place de ces supports doit être faite par l'étancheur. Les supports sont espacés de 1,5 m au maximum.

Dallettes en béton

Les platines d'appui du chemin de câbles sont fixées sur des dalles en béton de dimensions 30 cm × 30 cm × 3 cm minimum. Il convient de poser les dalles de béton sur un écran de protection (*non-tissé polyester, 170 g/m²*) afin de ne pas endommager le revêtement d'étanchéité. Ce système de dallettes peut être mis en œuvre par l'électricien qualifié pour la pose des installations photovoltaïques, pour des toitures de pente inférieure ou égale à 5 %. Les supports sont espacés de 1,5 m au maximum.

3.9 Crosses de passage de câble (*Figure 11*)

Les traversées de câbles vers l'intérieur du bâtiment doivent être réalisées avec des crosses conformes aux préconisations du DTU 43.1 de diamètre à choisir en fonction du diamètre et du nombre de câbles à acheminer vers l'intérieur du bâtiment.

4. Conditionnement, étiquetage, stockage

4.1 Modules photovoltaïques

Les modules « REC xxx PE » sont étiquetés et conditionnés par palettes de 25 dans l'usine REC Modules à Singapour. Chaque palette comporte des renforts d'angles en carton, est recouverte d'un carton de protection et emballée à l'aide d'un film étirable. Les modules photovoltaïques sont séparés les uns des autres grâce à ces coins et des intercalaires réutilisables en PVC. Les palettes sont stockées au centre logistique de Rotterdam pour les envois en Europe.

Chaque palette est accompagnée d'un bordereau de colisage qui répertorie les modules photovoltaïques, leurs caractéristiques électriques et leurs numéros de série. Chaque palette possède son propre code barre ainsi que sa date de création.

Le module est lui-même identifié par un étiquetage conforme à la norme NF EN 50380.

Le stockage sur chantier s'effectue à l'intérieur des locaux, sinon à l'extérieur en évitant :

- les sols meubles et irréguliers afin de limiter les contraintes mécaniques sur les modules photovoltaïques,
- l'accumulation d'eau et de neige sur les modules photovoltaïques pendant leur stockage.

4.2 Ensemble "support"

La quantité exacte de chacun des éléments du système de montage sont déterminés lors de l'élaboration du plan de calepinage par la société SOPRASOLAR SAS :

- Les plots :
  Les plots SOPRASOLAR FIX ALU du système de montage sont conditionnées par 32 maximum en carton et livrés par palettes de 4 ou 6 cartons.

Lors de la livraison, chaque carton de plots comporte une étiquette indiquant le nombre de plots contenus dans le carton ainsi que la date de fabrication de ces derniers. Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

- Les rails :

  Les rails SOPRASOLAR FIX ALU du système du montage sont conditionnés en fagots cerclés et livrés sur palettes.

  Lors de la livraison, une liste des pièces contenues dans les colis est fournie précisant le nombre de chacune de celles-ci.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

- La visserie :

  La visserie : Speedclip, vis autoforeuses, rondelles, Speedlock, est prélevée par picking au centre logistique avancé et conditionnée en carton avec bordereau de livraison et bon de préparation faisant apparaître les quantités contenues dans le colis.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

- Les étriers :

  Les étriers finaux et intermédiaires sont prélevés par picking en centre logistique avancé et conditionnés en carton avec bordereau de livraison et bon de préparation faisant apparaître les quantités, les désignations et références de chaque pièce contenues dans le colis.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

4.3 Système de retenue des modules pour les toitures de pentes >10% et ≤20%

- Les potelets :

  La quantité exacte des potelets du système de retenue est prélevée par picking au centre logistique avancé, conditionnée en carton sur palette avec bordereau de livraison et bon de préparation faisant apparaître les quantités contenues dans le colis.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

- Les équerres Z :

  La quantité exacte des équerres Z du système de retenue est prélevée par picking au centre logistique avancé, conditionnée en carton sur palette avec bordereau de livraison et bon de préparation faisant apparaître les quantités contenues dans le colis.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

- Les lisses :

  La quantité exacte de chacune des longueurs de lisses du système de retenue est conditionnée en fagot sur palette avec bordereau de livraison et bon de préparation faisant apparaître les quantités contenues dans le colis.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

- Les câbles de retenue :

  Les câbles sont livrés en bobine de 250 m sur palette, avec étiquette sur chaque bobine précisant les caractéristiques du câble, la quantité de bobines livrée (*déterminé par la société SOPRASOLAR SAS*) en fonction des besoins du projet.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

- La visserie :

  La visserie : goujon T, vis + rondelles + écrous M12, serres câbles à étrier sont conditionnés dans des emballages en carton présentant les dimensions et descriptifs des composants se trouvant dans les cartons. L'ensemble est conditionné en carton avec bordereau de livraison et bon de préparation faisant apparaître les quantités contenues dans le colis.

  Le stockage sur chantier s'effectue sur une surface plane.

4.4 Autres constituants du procédé

- L'isolant :

  Les panneaux isolants sont conditionnés en piles, emballés et étiqueté conformément au DTA EFIGREEN ALU+.

- Les rouleaux de revêtements d'étanchéité et pare-vapeur :

  Les feuilles bitumineuses sont conditionnées en rouleaux, emballées et étiquetées conformément au DTA Sopralène Stick.

- Les bidons de colles à froid pour collage des isolants : SOPRACOLLE 300N :

  Les colles sont conditionnées et étiquetées conformément au DTA Sopralène Stick.

- Les primaires (EIF) : Elastocol 500, Sopradère, Aquadère :

  Les primaires (EIF) sont conditionnés et étiquetées conformément au DTA Sopralène Stick.

5. Caractéristiques dimensionnelles

Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques	
	Module REC xxx PE
Dimensions hors-tout (mm)	1665 × 991 × 38
Dimensions du module sans cadre (mm)	1657 × 983 × 3,2
Surface hors-tout (m²)	1,65
Surface d'entrée (m²)	1,46
Masse (kg)	18
Masse spécifique (kg/m²)	10,9

Le système de montage des modules photovoltaïques repose sur 4 sous-ensembles de modules photovoltaïques pouvant être juxtaposés de manière modulaire. De ce fait, il permet d'obtenir une multitude de champs photovoltaïques.

Leurs caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes :

Caractéristiques des champs photovoltaïques				
	Sous-ensemble (nombres de modules photovoltaïques)			
	2	**3**	**4**	**5**
Poids au m² du sous ensemble de l'installation (kg/m²) (sans isolant et sans revêtement d'étanchéité)	*14,17*	*14,48*	*14,17*	*13,97*
Longueur de champ (cm)	$(212\times NbY_2)+(314\times NbY_3)+(420\times NbY_4)+(518\times NbY_5)+ 2 \times ((NbY_2 + NbY_3 + NbY_4 + NbY_5) -1)$			
Largeur du champ (cm)	166,5 x NbX + 2 x (NbX – 1)			

Avec :

NbX : le nombre de modules dans le sens perpendiculaire aux rails SOPRASOLAR FIX ALU du champ photovoltaïque.

NbY_x : le nombre de sous-ensemble de « x » modules dans le sens des rails SOPRASOLAR FIX ALU du champ photovoltaïque.

6. Caractéristiques électriques

6.1 Conformité à la norme NF EN 61215

Les modules cadrés " REC xxx PE " sont certifiés conformes à la norme NF EN 61215.

6.2 Sécurité électrique

Les modules cadrés " REC xxx PE " sont certifiés conformes à la Classe A de la norme NF EN 61730, et sont ainsi considérés comme répondant aux prescriptions de la classe II de sécurité électrique.

6.3 Performances électriques

Les performances électriques suivantes des modules ont été déterminées par flash test et ramenées ensuite aux conditions STC *(Standard Test Conditions : éclairement de 1 000 W/m² et répartition spectrale solaire de référence selon la norme CEI 60904-3 avec une température de cellule de 25 °C)*.**Modules "RECxxxPE"**						
P_{mpp} (W)	240	245	250	255	260	265
U_{co} (V)	36,8	37,1	37,4	37,6	37,8	38,1
U_{mpp} (V)	29,7	30,1	30,2	30,5	30,7	30,9
I_{cc} (A)	8,75	8,80	8,86	8,95	9,01	9,08
I_{mpp} (A)	8,17	8,23	8,30	8,42	8,50	8,58
αT (P_{mpp}) [%/K]	-0,40					
αT (U_{co}) [%/K]	-0,27					
αT (I_{cc}) [%/K]	-0,024					
Courant inverse maximum (A)	25					

Avec :

P_{mpp} : Puissance au point de puissance maximum.

U_{co} : Tension en circuit ouvert.

U_{mpp} : Tension nominale au point de puissance maximum.

I_{cc} : Courant de court-circuit.

I_{mpp} : Courant nominal au point de puissance maximum.

αT (P_{mpp}) : Coefficient de température pour la puissance maximum.

αT (U_{co}) : Coefficient de température pour la tension en circuit ouvert.

αT (I_{cc}) : Coefficient de température pour l'intensité de court-circuit.

7. Fabrication et contrôles

7.1 Cadre des modules

Les cadres des modules photovoltaïques sont réalisés par extrusion d'aluminium selon les plans de la société REC Modules à Singapour.

Lors de la fabrication, des contrôles dimensionnels sont effectués sur toutes les pièces.

7.2 Modules photovoltaïques

La fabrication des modules photovoltaïques et leur assemblage avec le cadre s'effectuent sur le site de la société REC Modules à Singapour, usine certifiée ISO 9001 et ISO 14001.

Sur le site de Singapour, 3 usines regroupent toutes les phases de la fabrication du module REC xxx PE. Les lingots et wafers sont fabriqués dans une partie du site (*Usine REC Wafer*) ; ils sont ensuite transférés aux lignes de fabrication des cellules (*Usine REC Cells*) ; les cellules sont transférées aux lignes de fabrication des modules (*Usine REC Modules*) qui sont mis sur palettes, prêts à partir.

Le processus de qualité inclut :

- des contrôles à la réception,
- des tests au cours et après chaque grande étape de fabrication au sein des 3 départements du site de production (*wafers, cellules et modules*),
- un flash test de chaque module : la tolérance sur la puissance maximum de sortie lors de la production des modules est de 0 % à + 2 %.

7.3 Système de montage

- L'isolant support d'étanchéité est fabriqué par l'entreprise SOPREMA conformément à la description du Document Technique d'Application "Efigreen Alu+".
- Le revêtement d'étanchéité est fabriqué par l'entreprise SOPREMA conformément à la description du Document Technique d'Application "Sopralène Stick".
- Les potelets, lisses et équerres Z du système de retenue des modules photovoltaïques sont fabriqués par la société SOTEBA à Montreuil en Juigne pour SOPRASOLAR SAS par des procédés de chaudronnerie métalliques et de galvanisation à chaud au trempé.

  Un contrôle visuel d'aspect est réalisé sur une pièce de chaque type à réception.

  Sur les potelets et équerre Z, des contrôles sont réalisés à réception sur une pièce par lot de fabrication ou toutes les 50 pièces par :

  - essai de montage,
  - essai mécanique destructif (traction),
  - contrôle de l'épaisseur de la couche de zinc déposé par galvanisation à chaud au trempé.
- Les parties en polypropylène des plots SOPRASOLAR FIX ALU (embase + tête) sont réalisées par injection plastique sur des presses à injecter selon les plans de la société SOPRASOLAR SAS par l'entreprise ALLAINE S.A à Miribel en France. La partie polymère est assemblée avec la platine alu et le plastron SOPRASOLAR sur le même site, en ligne, à l'aide d'un procédé industriel semi-automatisé.

  Lors de la fabrication, des contrôles :

  - de conformité matière sont réalisés à chaque réception de lot (certificat de conformité fournisseur),
  - dimensionnels, fonctionnels, visuels sont effectués en début de poste et toutes les 2 heures (140 pièces),
  - de résistance mécanique en traction (*vitesse de traction de 250 mm/min et température d'essai 23°C*) sont réalisés sur 12 échantillons de chaque lot fabriqué dont 6 sont prélevés en début de production et 6 en fin de production. Les essais sont réalisés par un laboratoire indépendant et accrédité par tierce partie et les résultats sont consignés chez le fournisseur et chez SOPRASOLAR SAS,
  - de conditionnement à chaque palette.

  Pour le suivi de traçabilité :

  - un dateur indiquant année et mois de fabrication est présent sur l'embase du plot,
  - le carton comporte une étiquette comportant la référence et la dénomination du plot ainsi que la date de conditionnement et le numéro d'équipe ayant fabriqué les plots,
- Les rails SOPRASOLAR FIX ALU sont réalisés par extrusion d'aluminium selon les plans de la société K2 Systems GmbH certifiée ISO 9001:2008 par l'entreprise K2 Systems GmbH à Renningen, en Allemagne. Les rails sont coupés à longueur spécifique pour SOPRASOLAR SAS par K2 Systems GmbH.

  Lors de la fabrication, des contrôles matière à réception (certificat de conformité fournisseur) et dimensionnels sont effectués sur chaque pièces.
- les étriers finaux et intermédiaires sont réalisés par extrusion d'aluminium selon les plans de la société K2 Systems GmbH par l'entreprise K2 Systems GmbH certifiée ISO 9001:2008 à Renningen, en Allemagne.

  Lors de la fabrication, des contrôles matière à réception (certificat de conformité fournisseur) et dimensionnels sont effectués sur chaque pièce.
- Les serreurs et SpeedLock sont réalisés par perçage, emboutissage, découpe et pliage selon les plans de la société K2 Systems GmbH par l'entreprise K2 Systems GmbH certifiée ISO 9001:2008 à Renningen, en Allemagne.

  Lors de la fabrication, des contrôles matière à réception (*certificat de conformité fournisseur*), dimensionnels et de résistance mécanique sont effectués sur 10 pièces toutes les 1000 pièces.
- Les SpeedClip sont réalisés par injection plastique (thermoplastique chauffé et injecté sous pression dans un moule) selon les plans de la société K2 Systems GmbH par l'entreprise K2 Systems GmbH certifiée ISO 9001:2008 à Renningen, en Allemagne.

  Lors de la fabrication, des contrôles matière à réception (certificat de conformité fournisseur) et des contrôles dimensionnels sont effectués sur chaque pièce.

8. Mise en œuvre

8.1 Généralités

Le procédé est livré avec sa notice de montage et de câblage des modules photovoltaïques entre eux, un plan d'exécution - calepinage des potelets (pour les toitures de pente >10% et ≤20%), un plan d'exécution - calepinage des plots SOPRASOLAR FIX ALU, un plan d'exécution - calepinage des rails SOPRASOLAR FIX ALU, un plan d'exécution - calepinage de la lisse et des câbles (pour les toitures de pente >10% et ≤20%), un plan d'exécution - calepinage des modules photovoltaïques, fournis par le bureau d'études de la société SOPRASOLAR SAS.

La mise en œuvre du procédé doit être réalisée pour le domaine d'emploi défini au *§ 1.2* du présent Dossier technique.

Les modules photovoltaïques peuvent être connectés en série/parallèle.

Préalablement à chaque projet, une reconnaissance de la toiture doit être réalisée à l'instigation du maître d'ouvrage afin de vérifier que les charges admissibles sur celle-ci ne sont pas dépassées du fait de la mise en œuvre du procédé. Il est utile de signaler que le procédé induit des charges ponctuelles différentes des charges réparties subies par la toiture jusqu'à la mise en œuvre du procédé.

Les éléments porteurs et supports doivent être conformes aux prescriptions des normes – DTU ou aux Avis Techniques correspondants. Ils doivent être, ainsi que les supports, propres et secs.

8.2 Compétences des installateurs

La mise en œuvre du procédé doit être assurée par des installateurs ayant été formés par la société SOPRASOLAR SAS (cf. *§ 10*).

Les compétences requises sont de 2 types :

- Compétences en étanchéité : pour la mise en œuvre du complexe isolant - étanchéité et du système de montage support des modules photovoltaïques (plots SOPRASOLAR FIX ALU et rails SOPRASOLAR FIX ALU).
- Compétences électriques complétées par une qualification et/ou habilitation pour la réalisation d'installations photovoltaïques : habilitation électrique selon la norme NF C 18-510, habilitation "BP" pour le raccordement des modules, habilitations "BR" requises pour le raccordement des modules et le branchement aux onduleurs.

8.3 Sécurité des intervenants

L'emploi de dispositifs de sécurité *(protections collectives, nacelle, harnais, ceintures, dispositifs d'arrêt…)* est obligatoire afin de répondre aux exigences en matière de prévention des accidents. Lors de la pose, de l'entretien ou de la maintenance, il est notamment nécessaire de mettre en place des dispositifs pour empêcher les chutes depuis la toiture selon la réglementation en vigueur *(par exemple, un harnais de sécurité relié à une ligne de vie fixée à la charpente)* ainsi que des dispositifs permettant la circulation des personnes sans appui direct sur les modules (*échelle de couvreur, ...*).

Ces dispositifs de sécurité ne sont pas inclus dans la livraison. Ils peuvent être identifiés dans le guide « Installations solaires photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution et inférieures ou égales à 250kVA » édité dans les cahiers pratiques de l'association Promotelec (dénommé dans la suite du texte "guide Promotelec") ou le « Guide pratique à l'usage des bureaux d'étude et installateurs pour l'installations de générateurs photovoltaïques raccordés au réseau » en vigueur édité par l'ADEME et le SER (dénommé dans la suite du texte "guide ADEME-SER").

8.4 Spécifications électriques

8.41 Généralités

L'installation doit être réalisée conformément aux documents en vigueur suivants : norme NF C 15-100, guides UTE C 15-712, « guide Promotelec » et « guide ADEME-SER ».

Tous les travaux touchant à l'installation électrique doivent être confiés à des électriciens habilités (cf. *§.8.2*).

Le nombre maximum de modules pouvant être raccordés en série est limité par la tension DC maximum d'entrée de l'onduleur tandis que le nombre maximum de modules ou de séries de modules pouvant être raccordés en parallèle est limité par le courant DC maximum d'entrée de l'onduleur. La tension maximum du champ photovoltaïque est aussi limitée par une tension de sécurité de 1000 V *(liée à la classe II de sécurité électrique)*.

8.42 Connexion des câbles électriques

Le schéma de principe du câblage est décrit en *Figure 10*.

La connexion et le passage des câbles électriques s'effectuent sous le système de montage des modules photovoltaïques ou dans des chemins de câbles capotés prévus à cet effet : ils ne sont donc jamais exposés au rayonnement solaire.

- Liaison intermodules et module/onduleur

  La connexion des modules photovoltaïques se fait au fur et à mesure de la pose des modules avant leur fixation aux rails SOPRASOLAR FIX ALU.

  La liaison entre les câbles électriques des modules photovoltaïques et les câbles électriques supplémentaires (pour le passage d'une rangée à une autre ou pour la liaison des séries de modules photovoltaïques au circuit électrique) doit toujours se faire au travers de connecteurs mâles et femelles du même fabricant, de la même marque et du même type. Pour ce faire, il peut être éventuellement nécessaire de confectionner, grâce à des sertisseuses spécifiques, des rallonges disposant de deux connecteurs de type différents.

  Pour la connexion d'une colonne de modules photovoltaïques à une autre, le passage des câbles se fera en passant dans le chemin de câbles avec capot.

- Câbles de liaison équipotentielle des masses :

  La mise à la terre du champ photovoltaïque s'effectue en peigne en récupérant, au fur et à mesure de la pose des composants :

  - les masses métalliques des cadres des modules par l'intermédiaire de cosses de masse à œil en cuivre et rondelles bimétal,
  - les masses métalliques de chaque rail SOPRASOLAR FIX ALU, de chaque potelet et de chaque lisse par l'intermédiaire de cosses de masse à œil en cuivre, rondelles bimétal et d'une vis autoforeuse en acier inox A2.

  Le tout est relié au câble principal par l'intermédiaire d'un raccord à serrage ou à sertir (type Griffequip ou cosse C).

- Passage des câbles à l'intérieur du bâtiment :

  Le passage des câbles vers l'intérieur du bâtiment doit être réalisé sans créer de fuite au niveau de l'étanchéité.

  Selon la disposition de la toiture-terrasse, du bâtiment et l'implantation du champ photovoltaïque, il peut être réalisé soit :

  - au niveau des traversées de toiture par l'intermédiaire de crosses de passage de câbles conformément à la norme NF DTU 43.1 (voir *§ 3.9 et Figure 11*),
  - via une descente en façade dans une gaine technique ou un chemin de câbles.

- Si les câbles doivent cheminer hors du champ photovoltaïque, ils devront être regroupés dans des chemins résistant aux UV et aux intempéries et seront installés conformément à la description énoncée au paragraphe 3.7 et 3.8, aux prescriptions des documents en vigueur suivants : norme NF C 15-100, aux guides UTE C 15-712 et "guide ADEME-SER" (*limitation des boucles induites, cheminements spécifiques et distinct…*). La distance entre chacun de ces supports ne peut excéder 1,50 m. Certains types de supports de chemin peuvent être mis en place par l'étancheur, sur demande de l'électricien. Leurs dimensions dépendent du nombre et de la section des câbles utilisés. Le nombre et l'emplacement de ces supports sont définis par le concepteur en concertation avec l'électricien en charge de la partie électrique de l'installation et en fonction des dimensions du chemin de câbles, de la pente et de leur aptitude à résister au vent.

L'installation photovoltaïque, une fois terminée, doit être vérifiée avant son raccordement à l'onduleur grâce à un multimètre : continuité, tension de circuit ouvert, ...

8.5 Mise en œuvre en toiture

8.51 Conditions préalables à la pose

Les éléments porteurs doivent être conformes aux prescriptions des normes NF P 84-203 (*DTU 20.12*) ou des Avis Techniques. Il est utile de signaler que le procédé induit des charges ponctuelles différentes des charges réparties subies par la toiture jusqu'à la mise en œuvre du procédé.

Dans le cas particulier de la rénovation avec conservation de l'existant (*uniquement dans le cas de pentes inférieures ou égales à 10%*) :

- 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 (réf. DTU 43.5) vis à vis des risques d'accumulation d'eau.
- Les supports destinés à recevoir les revêtements d'étanchéité doivent être stables et plans, présenter une surface propre, libre de tout corps étrangers et sans souillure d'huile, plâtre, hydrocarbures, etc.
- Les supports sont d'anciennes étanchéités conformes au *Tableau 4*
- Les critères de conservation et de préparation de ces anciennes étanchéités pour leur réemploi comme support ou comme écran vapeur sont définis dans le tableau 5 et dans la NF P 84-208 (DTU 43.5).
- Les critères de conservation et de préparation des autres éléments de la toiture tels que l'élément porteur et pare-vapeur, respectent également ces règles.
- Dans le cas d'un ancien revêtement en feuilles sous protection rapportée meuble, la réfection sur ancien revêtement conservé devra impérativement prévoir l'évacuation de la protection rapportée meuble (l'utilisation ou la réutilisation des gravillons n'est pas autorisée).
- L'isolant à conserver présent sur la toiture doit être de classe de compressibilité C minimum ou B à 80°C et C à 60°C. Des sondages pour pouvoir apprécier la qualité d'ensemble de de l'isolation thermique doivent être réalisés afin de s'assurer de cette disposition. Dans le cas où l'étude ne peut être menée ou que l'étude indique que l'isolant n'est pas de classe de compressibilité C minimum ou B à 80°C et C à 60°C, il conviendra d'effectuer une réfection sans conservation de l'existant.
- Il sera systématiquement mis en œuvre un isolant EFIGREEN ALU+ (§ 1.2) fixé mécaniquement conformément à son Document Technique d'Application. Il conviendra de vérifier le Pk réel de l'attelage de fixation mécanique par campagne de mesure in situ menée selon le Cahier 3564 du CSTB afin de pouvoir déterminer la densité de fixation à mettre en œuvre par panneaux isolants conformément à la NF P 84-204 (DTU 43.1).

8.52 Calepinage et préparation de la toiture

8.521 Cas des toitures de pentes > 10 % et ≤ 20 % (Exclusivement en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant)

Dans le cas d'une mise en œuvre du procédé en travaux neufs ou de réfection avec évacuation de l'existant sur des toitures dont l'inclinaison par rapport au plan horizontal est comprise entre une valeur strictement supérieure à 10 % et inférieure ou égale à 20 %, il est impératif de mettre en œuvre le système de retenue pour reprendre les efforts de glissement tangentiels du procédé.

Le système de retenue des modules photovoltaïques doit être mis en œuvre uniquement dans le cas de figure où les rails SOPRASOLAR FIX ALU sont mis en œuvre perpendiculairement à la pente de la toiture.

Le dimensionnement des éléments du dispositif de retenue sera réalisé par SOPRASOLAR SAS pour chaque projet selon *le Tableau 5*, *le Tableau 6*, *le Tableau 7*, *le Tableau 8*.

Toutes les lisses sont indépendantes entre elles et chacune doit être fixée sur des potelets qui lui sont propres (les potelets ne sont pas support de plusieurs lisses).

8.522 Calepinage

Le calepinage des éléments du système de retenue des modules photovoltaïques, des plots et rails SOPRASOLAR FIX ALU ainsi que des modules photovoltaïques est nécessaire et doit impérativement respecter une distance de 1 mètre minimum autour du champ et de la périphérie de toiture. Les DPM peuvent définir les périphéries de toitures comme chemins de circulation. Dans ce cas, le Maître d'ouvrage veillera à ce que l'acrotère éventuel ait une fonction garde-corps ou à installer un garde-corps conforme à la réglementation, en rive et autour des ouvrages présentant des risques de chute.

Indépendamment des zones comportant des ombres portées, les modules photovoltaïques ne peuvent pas être mis en œuvre aux endroits suivants (*voir Figure 12*) :

- dans une zone de 1 mètre minimum en périphérie de toitures et en bordure du champ photovoltaïque,

- dans une zone de 50 cm minimum en périphérie d'ouvrages émergents tels que lanterneaux, coupoles, cheminées, joints de dilatation, équipements (*VMC par exemple*),…, et en laissant un accès de largeur minimale de 50 cm pour y accéder,
- au niveau des noues sur au moins 1 m de part et d'autre du fil d'eau, ainsi que le pourtour des évacuations d'eaux pluviales sur une emprise globale de 1 m,
- sur 0,25 m de part et d'autre de zones à rupture de pente (arrête faîtière par exemple),
- au-dessus d'un joint de dilatation.

Dans la mesure où il est interdit de circuler et de marcher directement sur les modules photovoltaïques, afin de faciliter l'entretien sur et sous les modules photovoltaïques sur les toitures à pente nulle, il est prévu de respecter le principe constructif consistant à aménager des chemins de circulation d'une largeur minimale de 1 mètre autour des zones de modules photovoltaïques de manière à ce que tout module photovoltaïque se trouve au maximum à une distance du chemin de circulation (voir la *Figure 13*) :

- soit de 4 modules dans le sens de la largeur des modules,
- soit de 3 modules dans le sens de la longueur des modules.

8.53 Pose du procédé

8.531 Mise en place des potelets pour les toitures de pentes > 10 % et ≤ 20 % (Exclusivement en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant)

Les potelets doivent être mis en œuvre avant la mise en place du pare-vapeur. Il est impératif qu'ils soient implantés sur la toiture conformément au plan d'exécution – calepinage des potelets fournis par SOPRASOLAR SAS. Ils doivent être fixés à l'aide de goujons T en acier inox A2 directement sur l'élément porteur en béton conformément aux préconisations du fabricant de fixations.

La densité de potelet à mettre en œuvre par rangée de sous ensemble de modules photovoltaïques doit être déterminée à l'aide du *Tableau 5*, du *Tableau 6*, *du Tableau 7 et du Tableau 8* . Chaque potelet devra être fixé au support à l'aide de 4 fixations. Se reporter au *§ 2.32* pour la définition de la référence de la fixation.

Il convient que les potelets soient répartis uniformément sur longueur totale de la lisse.

8.532 Mise en place du complexe isolant - étanchéité

8.5321 Mise en place du pare vapeur

- Cas de travaux neufs ou de réfection avec évacuation de l'existant

  Les potelets sur toute leur hauteur ainsi que leurs embases seront au préalable enduits d'un EIF type Elastocol 500, Sopradère ou Aquadère de SOPREMA (voir *Figure 19 et Figure 20*).

  Le *Tableau 3* s'applique au choix et au principe de mise en œuvre de l'écran pare-vapeur.

  Dans le cas de relief en maçonnerie, une ÉQUERRE DE RENFORT SOPRALÈNE, avec talon de 6 cm au minimum et avec aile verticale dépassant de 6 cm au minimum le nu supérieur de l'isolant de partie courante, est soudée horizontalement sur le pare-vapeur et sur le support vertical du relevé.

  Lorsque le relevé est réalisé selon le procédé FLASHING, l'équerre préalable est réalisée en résine bitume polyuréthanne ALSAN FLASHING.

- Cas de travaux de réfection avec conservation de l'existant

  Les critères de conservation et de préparation des anciennes étanchéités pour leur réemploi comme support du nouvel isolant EFIGREEN ALU+ et comme pare-vapeur sont définis dans le DTU 43.5 (norme NF P 84-208-1) et au *§ 8.51* et au *Tableau 4.*

8.5322 Mise en place de l'isolant EFIGREEN ALU +

- En travaux neufs ou réfection avec évacuation de l'existant uniquement : par collage à froid à la SOPRACOLLE 300N :

  Les panneaux isolants sont posés en quinconce et jointifs. Les panneaux collés sont posés en un lit d'épaisseur 40 à 120 mm ou en deux lits pour une épaisseur totale maximale de 240 mm, avec une butée en bas de pente.

  Les panneaux isolants sont collés par plots ø 15 cm à raison de 4 plots minimum par panneau d'EFIGREEN ALU+ (consommation 550 à 600 g/m^2).

  L'extrémité des plots de colle est située à 5 cm mini du bord des panneaux. L'ensemble des plots est réparti sur le panneau. Les panneaux coupés reçoivent un nombre de plots proportionnel à leur surface.

  La température de mise en œuvre doit être comprise entre + 5°C et +40°C, avec une humidité relative comprise entre 30 et 95 % HR.

  Les panneaux isolants peuvent aussi être collés par bandes de 4 cm de largeur, à raison de 3 bandes par mètre (tous les 33 cm environ, consommation ≥ 400 g/m2). Des extrudeurs avec buse adaptée peuvent être fournis par la société SOPREMA.

- En travaux neufs ou en réfection : par fixations mécaniques dans les cas prévus au *Tableau 4* à l'exclusion des locaux à très forte hygrométrie :

  Les panneaux isolants sont posés en quinconce et jointifs. Les panneaux fixés mécaniquement sont posés en un lit d'épaisseur 40 à 120 mm ou en deux lits pour une épaisseur totale maximale de 240 mm.

  Les attelages sont conformes aux normes NF P 84-204-1 (réf. DTU 43.1) et NF DTU 43.4 et au *§ 3.5*.

  Les attelages de fixation mécanique sont solides au pas si la compression à 10 % de déformation du support isolant existant (norme NF EN 826) est inférieure à 100 kPa, ou si elle n'est pas connue (voir *§ 3.5*) :

  En travaux de réfection, la vérification du Pk réel des fixations par campagne de mesures in situ sera réalisée selon le *Cahier du CSTB* 3564.

  Il sera mis en œuvre une densité minimale de 4 attelages de fixation mécanique par panneau isolant positionnés dans les 4 coins du panneau et situés entre 10 et 15 cm des bords du panneau.

  Sur les formes de pente en béton lourd ou léger, les voiles précontraints, les voiles minces préfabriqués, les corps creux avec ou sans chape de répartition, les planchers à chauffage intégré, les planchers comportant des distributions électriques noyées, les planchers de type D définis dans la norme NF P 10-203 (réf. DTU 20.12), les panneaux isolants ne peuvent être fixés mécaniquement.

8.5323 Mise en œuvre du revêtement d'étanchéité

La mise en œuvre doit être réalisée conformément à la description du Document Technique d'Application "Sopralène Stick" avec mise en œuvre d'une deuxième couche composée exclusivement d'un revêtement apparent SOPRALENE FLAM 180 AR.

Le support doit être propre et sec. Il est impératif de veiller à l'absence d'humidité sur la surface des panneaux, notamment par temps froid. la première couche SOPRASTICK SI se met en œuvre à des températures ≥ 5 °C. Par temps froid, l'adhésivité est réactivée par soudure à l'avancement de la deuxième couche.

- Pose de la première couche SOPRASTICK SI

  La première couche SOPRASTICK SI est rendue semi-indépendante du support par autocollage. La feuille est déroulée, en retirant la protection siliconée.

  Les recouvrements longitudinaux de 6 cm sont autocollés et les revêtements longitudinaux de 10 cm sont soudés.

- Pose de la deuxième couche SOPRALENE FLAM 180 AR

  La deuxième couche autoprotégée est soudée en plein sur SOPRASTICK SI, à joints décalés, ou croisés. Les recouvrements longitudinaux sont de 6 cm soudés et les recouvrements transversaux de 10 cm soudés.

- Mise hors d'eau en fin de journée et en cas d'intempéries

  En fin de journée ou en cas d'intempéries, l'ouvrage en cours de réalisation doit être mis hors d'eau, c'est à dire à l'abri de tout risque de pénétration d'eau sous les couches déjà réalisées. À cet effet notamment :

  - Les panneaux isolants sont recouverts par au moins la première couche du revêtement. La fermeture des joints de recouvrements longitudinaux du SOPRASTICK SI doit être contrôlée, notamment par temps froid ; à défaut, la seconde couche doit être mise en œuvre à l'avancement.
  - Les équerres de renfort de relevé en feuilles bitumineuses sont soudées le long de toutes les émergences, sur la première couche et sur le relief préalablement préparé.
  - Dans le cas de relevés avec le procédé FLASHING, l'équerre de renfort par VOILE FLASHING est collée par la résine ALSAN FLASHING le long de toutes les émergences, sur la première couche préparée (film thermofusible éliminé) et sur le relief.
  - Par ailleurs, la seconde couche d'étanchéité bitumineuse, au droit de l'entoilage FLASHING est collée à l'aide de la résine ALSAN FLASHING (environ 500 g/m2). Le relevé d'étanchéité en procédé FLASHING (900 g/m2 + 700 g/m2) est ensuite mis en œuvre, sur cette deuxième couche bitumineuse, avec un talon ≥ à 0,15 m.
  - La partie courante interrompue doit être fermée :
    - en la raccordant sur le pare-vapeur s'il existe un isolant muni d'un pare-vapeur adhérent en plein (avec une bande d'ÉLASTOPHÈNE (FLAM) 25 soudée sur le pare-vapeur et sur le revêtement de partie courante, par exemple),
    - en la soudant sur son support sur environ 10 cm de large en l'absence d'isolant, ou dans le cas d'un pare-vapeur indépendant ou semi-indépendant.

Il convient de veiller à ce que l'eau ait toujours la possibilité de s'évacuer sans accumulation.

- Relevés d'étanchéité

  Les relevés en feuilles bitume ou avec le procédé Flashing sont réalisés conformément au DTA Sopralène Stick. Il conviendra de mettre en œuvre les relevés d'étanchéité au niveau des potelets jusqu'en haut de ces derniers.

8.533 Mise en place des plots SOPRASOLAR FIX ALU

La mise en place des plots SOPRASOLAR FIX ALU doit impérativement être réalisée par l'étancheur ayant en charge la réalisation du lot couverture-étanchéité du projet.

Les plots SOPRASOLAR FIX ALU doivent être disposés à une distance supérieure à :

- 0,8 m de la périphérie des toitures et des pénétrations, des ouvrages émergents,
- 1,3 m de part et d'autre du fil d'eau ainsi que le pourtour des évacuations d'eau pluviales (EEP) sur une emprise de 1,3 m,
- 0,61 m des zones à rupture de pente.

Traçage

L'emplacement des plots doit être repéré par traçage au cordeau sur le revêtement d'étanchéité conformément aux informations fournies sur le plan de calepinage d'exécution - calepinage des plots SOPRASOLAR FIX ALU établi par SOPRASOLAR SAS. Selon les sous-ensembles de modules photovoltaïques, les *Figure 14* et *Figure 15* répertorient les entraxes entre plots.

Le quadrillage obtenu lors de ce tracé sur la zone du champ photovoltaïque permet de positionner les plots : l'emplacement du centre de chaque plot est matérialisé par l'intersection des lignes tracées (*voir la Figure 16*).

Les plots sont ensuite disposés aux endroits repérés et les pourtours des plastrons sont marqués sur le revêtement d'étanchéité à l'aide d'une spatule.

Soudure du plastron des plots

Une fois les emplacements des plots repérés, il est impératif de préparer l'adhésion des plastrons au revêtement d'étanchéité. La surface ardoisée du revêtement d'étanchéité SOPRALENE FLAM 180 AR est noircie localement à l'intérieure des zones définies par le pourtour des plastrons repérés préalablement. Le noircissement du revêtement d'étanchéité est effectué à la flamme de chalumeau et à l'aide d'une spatule pour noyer les paillettes d'ardoises dans le revêtement d'étanchéité.

Le plastron de chaque plot doit alors être soudé en plein sur les zones noircies et chauffées au chalumeau (voir la *Figure 16*).

8.534 Mise en place des Speedclips et rails SOPRASOLAR FIX ALU

Suite à la mise en place des plots SOPRASOLAR FIX ALU, il convient de mettre en place les rails SOPRASOLAR FIX ALU. Aucun rail ne peut être installé à cheval sur une zone à rupture de pente ou au-dessus d'un joint de dilatation.

Les rails doivent être positionnés sur les platines des plots SOPRASOLAR FIX ALU. Il convient de positionner les rails de façon à respecter leur porte-à-faux de chacune de leurs extrémités conformément à la description du plan d'exécution des rails réalisés par SOPRASOLAR SAS et en respectant pour chacun des sous-ensembles des modules photovoltaïques les dimensions répertoriées à la *Figure 14*.

L'entraxe entre 2 rails se trouvant dans un même sous-ensemble de modules photovoltaïques est de 941 mm (voir la *Figure 15*).

La mise en place de deux rails consécutifs colinéaires de deux sous-ensembles de modules photovoltaïques doit être réalisée de manière à respecter un espace de 20 mm afin de gérer leur dilatation thermique. Avant de fixer les rails SOPRASOLAR FIX ALU, il est nécessaire de vérifier leur rectitude. Le réglage de hauteur des plots SOPRASOLAR FIX ALU permet de régler la rectitude des rails avant leur fixation sur la platine aluminium des plots.

La fixation des rails SOPRASOLAR FIX ALU est effectuée sur chaque platine de plot par l'intermédiaire d'un Speedclip positionné entre le rail et centrée sur dans sa longueur et sa largeur sur la platine du plot. Les Speedclip sont vissés avec un couple de serrage de 5 N.m ±1 N.m à l'aide de visseuses avec 2 vis autoforeuses et une rondelle aluminium Ø46 mm fournies par SOPRASOLAR SAS (voir *§ 2.23*) sauf sur les plots SOPRASOLAR FIX ALU , repérés au plan d'exécution – calepinage des rails SOPRASOLAR FIX ALU (voir *la Figure 14 et la Figure 17*) qui recevront le Speedlock (*voir le §2.24*) fourni par SOPRASOLAR SAS en remplacement de la rondelle de Ø46 mm. Le Speedlock permet de créer un point fixe afin de gérer la dilatation des rails SOPRASOLAR FIX ALU.

8.535 Mise en œuvre des équerres Z du système de retenue pour les toitures de pentes > 10 % et ≤ 20 % (Exclusivement en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant)

Les équerres Z du système de retenue doivent être mises en œuvre avant la mise en œuvre des modules photovoltaïques.

Elles ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie, de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

Elles sont fixées sur les potelets du système de retenue à l'aide d'une vis TH en acier inox A2-70 ayant un diamètre de 12 mm présentant une limite élastique à 450 MPa, d'une rondelle Ø12 mm et d'une rondelle crantée Ø12 mm aussi en acier inox A2 (voir la *Figure 19*).

8.536 Mise en œuvre des lisses du système de retenue pour les toitures de pentes > 10 % et ≤ 20 % (Exclusivement en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant)

Les lisses du système de retenue doivent être mises en œuvre avant la mise en œuvre des modules photovoltaïques.

Elles ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie, de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

Elles sont fixées sur les équerres Z du système de retenue à l'aide d'une vis TH en acier inox A2-70 ayant un diamètre minimum Ø12 mm présentant une limite élastique à 450 MPa, de rondelles de diamètre 12 mm et d'un écrou frein aussi en acier inox A2 (voir *Figure 20*).

De manière à gérer les dilatations thermiques, la longueur maximum de chaque élément de lisse ne pourra pas excéder 6 mètres.

Toutes les lisses devront être indépendantes entre elles et chacune devra être fixée sur des potelets qui lui sont propres afin de gérer les effets de la dilatation linéique (*les potelets ne pourront pas supporter plusieurs lisses*).

8.537 Mise en œuvre des câbles de retenue pour les toitures de pentes > 10 % et ≤ 20 % (Exclusivement en travaux neufs ou en réfection sans conservation de l'existant)

Ils ne peuvent pas servir à la mise en œuvre de ligne de vie, de ligne de vie ou d'éléments pour ligne de vie.

Il doit impérativement être mis en œuvre au minimum 2 câbles par rangée de sous-ensemble de modules photovoltaïques dans le sens de la pente avec un câble à chaque extrémité de la rangée de rails SOPRASOLAR FIX ALU (voir *Figure 18* et *Figure 21*).

Lors de la mise en œuvre des câbles, il convient de percer un trou de diamètre 6,5 mm dans les rails SOPRASOLAR FIX ALU avec une perceuse au niveau des parties verticales du rail. Une fois les trous réalisés, il convient de passer les câbles au travers de ceux-ci dans le sens du rampant en prenant soin de mettre un serre câble servant de butée en dessous de chaque rail SOPRASOLAR FIX ALU (*voir Figure 18*).

Au niveau de la lisse, le câble formera une boucle pour entourer la lisse. Cette boucle sera fermée à l'aide de 3 étriers avec un entraxe compris entre 36 mm et 48 mm (soit 6 à 8 fois le diamètre du câble, voir *Figure 19*). L'étrier doit impérativement venir boucler le côté brin mort (bout du câble soumis à aucune tension) tandis que la selle, ou semelle, doit accueillir le brin actif du câble (partie du câble soumise à la tension). Le serrage des écrous d'un même serre-câble s'effectue alternativement d'un écrou à l'autre.

Il conviendra de répartir sur la longueur de la lisse conformément au plan d'exécution – calepinage de la lisse et des câbles fourni par SOPRASOLAR SAS (voir l'exemple de la *Figure 21*).

8.538 Mise en place des modules photovoltaïques

Suite à la mise en place des rails SOPRASOLAR FIX ALU, il convient de mettre en place les modules photovoltaïques. Il est impératif qu'aucun module photovoltaïque ne soit mis en œuvre :

- sur des zones à rupture de pente ou sur un joint de dilatation,
- à cheval sur deux rails SOPRASOLAR FIX ALU colinéaires alignés dans leur longueur.

Les modules photovoltaïques doivent être mis en œuvre de façon à positionner leurs plus grandes longueurs perpendiculairement aux rails SOPRASOLAR FIX ALU (mode paysage). Les porte-à-faux de chacune des extrémités latérales du module ainsi positionné doivent avoir une valeur égale à 362 mm.

Dans le sens de la longueur du rail, il convient que la mise en place des modules photovoltaïques soit conforme à la description de la *Figure 14*.

Les modules sont fixés aux rails SOPRASOLAR FIX ALU par l'intermédiaire d'étriers :

- finaux dans le cas de fixation des modules en extrémités de rangées de modules photovoltaïques,
- intermédiaires dans le cas où ils sont mis en œuvre entre 2 modules photovoltaïques.

La fixation des modules photovoltaïques doit être effectuée avec un couple de serrage égal à 14 ± 2 N.m.

9. Détermination de l'isolation thermique dans les zones équipées de système de retenue des modules photovoltaïques

Le calcul du coefficient de transmission surfacique Up (en W/(m².K) de chaque pan de toiture où se trouvent installées les potelets – chandelles de système de retenu des modules photovoltaïques se calcule comme suit :

$$U_p = U_c + \Delta U_{Potelet}$$

Avec :

- U_c : coefficient de transmission thermique du rampant en partie courante de la paroi en W/(m².K) :

$$U_c = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{e_j}{\lambda_j} + R_{si}}$$

où :

- Rse : la résistance superficielle extérieure égale à 0,04 m².K/W,
- Rsi : la résistance superficielle intérieure égale à 0,10 m².K/W,
- ej et λj respectivement les épaisseurs et conductivités thermiques des différentes couches d'isolant et du support béton présent sur le rampant considéré de la toiture.

et :

- ΔUpotelet : coefficient de transmission thermique de l'ensemble des potelets en W/(m².K) :

$$\Delta U_{potelet} = \frac{\sum \chi_{potelet}}{A} = densité\ de\ potelets\ (/m^2) \times \chi_{potelet}$$

où :

- $\chi_{potelet}$: coefficient ponctuel du pont thermique intégré induit par le potelet en W/°K (voir *Tableau 9*),
- A: la surface de rampant de toiture de toiture considéré en m².

10. Formation

Dans le cadre de la garantie, la société SOPRASOLAR SAS impose systématiquement à ses clients une formation photovoltaïque théorique et pratique leur permettant d'appréhender les procédés photovoltaïques en général ainsi que le montage de son procédé.

Cette formation consiste en :

- stages organisés au Centre de formation SOPREMA à Strasbourg,
- et/ou intervention de démonstrateurs – formateurs de chantier, ceci pour l'ensemble du processus de mise en œuvre.

Ces travaux pratiques permettent de travailler sous conditions réelles et selon les règles techniques en vigueur. Cela permet également de sensibiliser sur les risques professionnels et sur le respect des règles de sécurité.

A l'issue de cette formation, la société SOPRASOLAR SAS délivre une attestation de formation nominative.

La société SOPRASOLAR SAS tient à jour une liste d'entreprises agréées par ses soins : cette liste est disponible auprès du service commercial de la société SOPRASOLAR SAS.

11. Assistance technique

Sur demande, la société SOPRASOLAR SAS propose à tout client une assistance technique sur chantier, avec l'intervention pendant une journée d'un technicien formé et ce pour chaque chantier.

La société assure ensuite sur demande une assistance technique téléphonique pour tous renseignements complémentaires. Le service technique de la société SOPRASOLAR SAS peut aussi apporter son assistance sur la partie étanchéité.

12. Utilisation, entretien et réparation

Les interventions sur le procédé doivent être réalisées dans le respect du code du travail et notamment de la réglementation sur le travail en hauteur.

Il est impératif que les opérations de maintenance et de réparation soient effectuées par des intervenants qualifiés. Ces opérations requièrent des compétences en électricité et en étanchéité (cf. *§ 8.2*).

L'entretien des toitures est celui décrit par les normes NF P 84-201-1-(DTU 43.1) à NF P 84-208 (DTU 43.5). Dans ce cas de toiture concernée par la production d'électricité, le maître d'ouvrage doit obligatoirement opter pour un contrat d'entretien : au minimum une visite semestrielle et maintenance éventuelle afin de contrôler l'état des modules photovoltaïques, l'état de l'étanchéité et des connexions électriques. Il convient notamment de retirer des modules les éventuels objets pouvant créer des ombrages même partiels. Le contrat d'entretien peut être confié à l'entreprise qui a réalisé l'ouvrage SOPRASOLAR FIX ALU ou toute entreprise agréée par la société SOPRASOLAR SAS.

12.1 Maintenance du champ photovoltaïque

- Vérifier visuellement l'état d'encrassement des modules. Si ceux-ci sont sales, les nettoyer avec de l'eau à l'aide d'un arrosoir ou un jet d'eau dont la pression maximale ne peut excéder 3 bars (pression d'eau du réseau domestique).
- Vérification de l'étanchéité par un étancheur : Vérifier le bon état des différents éléments composant le système d'étanchéité, la libre circulation de l'eau au niveau des évacuations pluviales, des chéneaux, des noues.
- Vérification du câblage par un électricien habilité.
- Vérification des fixations par un étancheur et/ou un électricien : vérifier la présence et la tenue de l'ensemble de la visserie.

12.2 Maintenance électrique

Si, tenant compte de l'ensoleillement réel, une baisse mesurable de la production d'une année sur l'autre est observée, il convient de faire vérifier le bon fonctionnement de l'onduleur et des modules individuellement par un électricien habilité.

12.3 Réparabilité

12.31 Remplacement d'un module

En cas de bris de glace d'un module ou d'endommagement d'un module photovoltaïque, il convient de le faire remplacer en respectant la procédure suivante :

- Avant d'intervenir sur le champ photovoltaïque concerné par le défaut, il est impératif de procéder à la déconnexion de l'onduleur du réseau en ouvrant le disjoncteur AC placé entre l'onduleur et le compteur de production et de procéder à la déconnexion du champ photovoltaïque en enclenchant le sectionneur DC placé entre le champ PV et l'onduleur.
- Démonter le module photovoltaïque au niveau des 4 fixations. Il est impératif de prendre soin de bien caler les modules en attente de manutention afin qu'il n'y ait aucun risque de chute.
- Lors du démontage une attention particulière doit être portée à la qualité d'isolement des connecteurs débrochés afin d'éviter tout contact entre ceux-ci et les pièces métalliques de l'installation (cadre module, rail de fixation …).
- Le montage du module de remplacement sera réalisé conformément au présent Dossier Technique.
- Après avoir mesuré la tension de la série de modules concernée pour s'assurer de la bonne connexion de l'ensemble et que la tension délivrée est conforme à la plage d'entrée de l'onduleur, on procédera à la reconnexion du champ photovoltaïque en enclenchant de nouveau l'interrupteur/sectionneur DC et en reconnectant l'onduleur au réseau en fermant le disjoncteur AC.

12.32 Remplacement d'un rail SOPRASOLAR FIX ALU

Dans la zone concernée, retirer les modules conformément à la description du paragraphe 12.31. Les rails SOPRASOLAR FIX ALU doivent être retirés en dévissant les vis autoforeuses des Speedclip sur lesquels ils sont fixés. Le montage du rail SOPRASOLAR FIX ALU de remplacement et des modules photovoltaïques sera réalisé conformément au présent Dossier Technique. en utilisant des vis autoforeuses neuves et en prenant soin de ne pas refixer les vis autoforeuses maintenant les Speedclips dans les trous existants : au besoin faire tourner la platine en aluminium se trouvant sur la tête du plot et en utilisant des vis autoforeuses neuves.

12.33 Remplacement d'un plot SOPRASOLAR FIX ALU

- Dans la zone concernée, retirer les modules conformément à la description du paragraphe 12.31 et les rails SOPRASOLAR FIX ALU conformément à la description du paragraphe 12.32. Le plot défectueux SOPRASOLAR FIX ALU doit être arraché de la manière suivante :
  - chauffer le plastron en périphérie,
  - avec une spatule, soulever la partie chauffée du plastron,
  - à l'aide de la flamme du chalumeau, chauffer de nouveau sous plastron et soulever en même temps le plot afin de désolidariser entièrement le plastron du revêtement d'étanchéité apparent.
- Le plot doit être remplacé conformément au présent Dossier Technique. après avoir reconstitué le revêtement d'étanchéité conformément au Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité Sopralène Stick.
- Le montage du rail SOPRASOLAR FIX ALU et des modules photovoltaïques sera réalisé conformément au présent Dossier Technique.

12.34 Remplacement de l'étanchéité

- Dans la zone concernée, retirer les modules conformément à la description du paragraphe 12.31, les rails SOPRASOLAR FIX ALU conformément à la description du paragraphe 12.32 et les plots conformément à la description du paragraphe 12.34.
- Remettre le revêtement d'étanchéité conformément au DTA Sopralène Stick.
- Le montage des plots SOPRASOLAR FIX ALU, des rails SOPRASOLAR FIX ALU et des modules photovoltaïques sera réalisé conformément au présent Dossier Technique.

B. Résultats expérimentaux

- Les modules photovoltaïques cadrés ont été testés selon la norme NF EN 61215 : qualification de la conception et homologation des modules photovoltaïques par le laboratoire TÜV Rheinland *(rapport d'essais n° 21186923.022).*
- Les modules photovoltaïques cadrés ont été testés selon la norme NF EN 61730 et certifiés comme appartenant à la classe d'application A jusqu'à une tension maximum de 1000 V DC par le laboratoire TÜV Rheinland *(rapport d'essais n° 21186925.022)*.
- Essais de caractérisation de résistance au pelage de la soudure du plastron SOPRASOLAR sur la membrane d'étanchéité SOPRALENE FLAM 180 AR ardoisée par le CSTB (*rapports R2EM-ETA-12-26041636 et R2EM-ETA-12-26041637*).
- Essais de résistance à neuf en traction et compression réalisés par le CETIM-CERMAT sur des plots SOPRASOLAR FIX ALU soudés au revêtement SOPRALENE FLAM 180 AR et comportant un morceau de rail SOPRASOLAR FIX ALU fixé à l'aide d'un Speedclip (*rapports PV_MAT0001189-1*, *MAT0001189-2 et PV_MAT0002019-1*, *PV_MAT0002019-2*, *PV_MAT0002019-3*, *PV_MAT0002019-4*).
- Essais de résistance après vieillissement accéléré (2000 h à 85°C et 85% HR) en traction et compression réalisés par MECASEM sur des plots SOPRASOLAR FIX ALU soudés au revêtement SOPRALENE FLAM 180 AR et comportant un morceau de rail SOPRASOLAR FIX ALU fixé à l'aide d'un Speedclip (*rapports n° OS/14/0605*).
- Essais de résistance à neuf et après vieillissement accéléré (2000 h à 85°C et 85% HR) en traction et compression réalisés par CETIM-CERMAT et MECASEM sur des "Speedclips" fixés sur la platine aluminium du plot (*rapports n° CETIM-CERMAT PV_MAT0002138 et MECASEM OS/14/0605*).
- Le procédé photovoltaïque a été testé par le CEBTP selon la norme NF EN 12179 pour un essai de résistance à la pression du vent *(rapports d'essais n° BEB1.D.4034-3 et BEB1.D.4034-2)*.
- Le procédé photovoltaïque a été testé en fatigue sous chargement ascendant répété par MECASEM *(rapports d'essais n° OS/13/1308 et n° OS/13/1309)*.
- Le procédé composé d'un lit d'isolant EFIGREEN ALU+ collé à la colle SOPRACOLLE 300N a été testé selon un essai de résistance à l'arrachement sous l'action du vent à échelle réelle par le CSTC (*rapport n° CAR 15166-X*).
- Le complexe d'étanchéité, composé d'un lit d'isolants EFIGREEN ALU+ fixé mécaniquement et sollicité dans les conditions de mise en œuvre du procédé a été testé selon le selon un essai de résistance à l'arrachement sous l'action du vent à échelle réelle par le CSTC *(rapport n° CAR 15099-2).*
- Le complexe d'étanchéité, composé de deux lits d'isolants EFIGREEN ALU+ collés à la colle SOPRACOLLE 300N et sollicité dans les conditions de mise en œuvre du procédé a été testé selon un essai de résistance à l'arrachement sous l'action du vent à échelle réelle par le CSTC (*rapport n° CAR 15099-3).*
- Essais de résistance à l'arrachement de la soudure du plastron SOPRASOLAR FIX ALU sur le revêtement d'étanchéité SOPRALENE FLAM 180 AR à 23°C selon un protocole de la norme NF P 98-282 "Essais relatifs aux chaussées - Produits d'étanchéité pour ouvrages d'art - Mesure d'adhérence des produits au support - Essai en laboratoire ou in-situ à vitesse de traction contrôlée" réalisés par MECASEM (*rapport n°°OS/14/2230*).
- Essais de résistance à l'arrachement de la soudure du plastron SOPRASOLAR FIX ALU sur le revêtement d'étanchéité SOPRALENE FLAM 180 AR à 60°C selon un protocole de la norme NF P 98-282 "Essais relatifs aux chaussées - Produits d'étanchéité pour ouvrages d'art - Mesure d'adhérence des produits au support - Essai en laboratoire ou in-situ à vitesse de traction contrôlée" réalisés par MECASEM (*rapport n° OS/14/2230 ind* B).
- Essai d'étanchéité des fixations du plastron sur plots neufs réalisé par le laboratoire MECASEM (*rapport n° OS_15_0894*).
- Essai d'étanchéité des fixations du plastron sur plots vieillis réalisés par le laboratoire MECASEM (*rapport n° OS_15_0894_3*).

C. Références

C1. Données environnementales et sanitaires[1]

Le procédé SOPRASOLAR FIX ALU fait l'objet d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) conforme à la norme NF P 01-010.

La société SOPRASOLAR SAS déclare que cette fiche est déclarative et est conforme au modèle de Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire validé par l'AIMCC (FDE&S Version 2005) ; elle peut être consultée sous accord de confidentialité, au siège de la société SOPRASOLAR SAS.

Cette FDES a été établie en juillet 2012 par Price Water House Coppers.

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

C2. Autres références

Le procédé photovoltaïque SOPRASOLAR FIX ALU est fabriqué depuis janvier 2011.

Environ 15 000 plots SOPRASOLAR FIX ALU et 8 000 m linéaires de rail SOPRASOLAR FIX ALU ont été commercialisés en France à ce jour, ce qui représente environ 13 000 m^2 de toiture couverte par des modules photovoltaïques.

Le procédé d'étanchéité Sopralène Stick est utilisé depuis 1998 en système posé en semi-indépendance et a fait l'objet de plus de 1 million de mètres carrés d'applications.

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

Annexe

Exemple de calcul du coefficient de transmission surfacique d'un rampant de toiture avec modules photovoltaïques et système de retenu.

<u>Données du projet</u> :

- support béton de 20 cm d'épaisseur,
- isolant de 110 mm d'épaisseur (sur la toiture et dans le potelet) et de conductivité thermique 0,025 W/(m.K),
- potelet aluminium de section 200 mm x 200 mm et d'épaisseur de paroi 10 mm,
- longueur du rampant 11 m pour une largeur de 46 m soit 506 m² (voir exemple 1 du calcul de lisse),
- rampant comportant 48 potelets.

➔ Le coefficient de transmission surfacique en partie courante du rampant :

$$U_c = \frac{1}{R_{se} + \frac{e_{béton}}{\lambda_{béton}} + \frac{e_{isolant}}{\lambda_{isolant}} + R_{si}} = \frac{1}{0{,}04 + \frac{0{,}2}{2} + \frac{0{,}11}{0{,}025} + 0{,}1} = 0{,}217 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

➔ Le tableau donne une valeur de $\chi_{potelet}$ la plus proche de la configuration sur la toiture de 1,10 W/K on a donc le coefficient de transmission thermique de l'ensemble des potelets :

$$\Delta U_{potelet} = \frac{\sum \chi_{potelet}}{A_p} = \frac{48 \times 1{,}10}{11 \times 46} = 0{,}104 \text{W/(m}^2\text{K)}$$

➔ Ce qui donne le coefficient de transmission surfacique de de l'ensemble du rampant avec les potelets :

$$U_p = U_c + \Delta U_{potelet} = 0{,}217 + 0{,}104 = 0{,}321 \text{W/(m}^2\text{K)}$$

Tableaux et figures du Dossier Technique

Tableau 1- Guide de choix des matériaux du système de fixation en toiture selon l'exposition atmosphérique

Matériau	**Revêtement de finition sur la face exposée**	**Éléments du procédé concernés**	**Atmosphères extérieures**							
			Rurale non pollué	**Industrielle ou urbaine**		**Marine**				**Spéciale**
				Normale	Sévère	20 km à 10 km	10 km à 3 km	Bord de mer* (<3km)	Mixte	
Aluminium 6063 T66	Brut	Rail SOPRASOLAR FIX ALU, Étriers intermédiaire et finaux	•	•	-	•	•	□	-	□
Aluminium 5754	Brut	Platine du plot	•	•	-	•	•	□	-	□
Aluminium AlMg3	Brut	Speedlock	•	•	-	•	•	□	-	□
Aluminium	Anodisé 15 µm	Cadre des modules photovoltaïques	•	•	•	•	•	□	-	□
PP 37,5% Carbonate de Calcium	-	Partie réglable du plot SOPRASOLAR FIX ALU	•	•	-	•	•	□	-	□
PA66 GF35	-	Speedclips	•	•	-	•	•	□	-	□
Acier galvanisé à chaud	Z395	Potelet Lisse	•	•	□	•	•	□	□	□
Acier Inoxydable Inox A2	-	Visserie générale Câble non gainé du système de retenue	•	•	□	•	•	□	□	□
Inox A2-70	-	Vis pour fixation de la lisse sur les potelets	•	•	□	•	•	□	□	□

Les expositions atmosphériques sont définies dans les annexes des normes XP P 34-301, NF P 24-351, DTU 40.36 et DTU 40.41

• : Matériau adapté à l'exposition.

□ : Matériau dont le choix définitif ainsi que les caractéristiques particulières doivent être arrêtés après consultation et accord du fabricant.

- : Matériau non adapté à l'exposition.

* : à l'exception du front de mer.

Tableau 2 - Guide de choix de l'épaisseur maximale d'isolant EFIGREEN ALU+ pouvant être mis en œuvre avec le SOPRASOLAR FIX ALU en fonction de la charge de neige normale au sens des Règles NV 65 modifiées 2009

Épaisseur de l'Isolant Efigreen Alu+ (mm)	*40*	*50*	*60*	*70*	*80*	*90*	*100*	*110*	*120*	*130*
*Charge Maximale admissible (kPa)**	*60*	*60*	*60*	*40*	*40*	*40*	*40*	*30*	*30*	*30*
Charge de Neige normale (selon les règles NV 65 modifiées) (Pa)	*1000*									

Épaisseur de l'Isolant Efigreen Alu+ (mm)	*140*	*150*	*160*	*170*	*180*	*190*	*200*	*220*	*240*
*Charge Maximale admissible (kPa)**	*28,57*	*26,67*	*25*	*23,5*	*22,2*	*21,1*	*20*	*16,7*	*16,7*
Charge de Neige normale (selon les règles NV 65 modifiées) (Pa)	*1000*			*943*	*855*	*835*	*785*	*636*	*636*

* données issues du DTA Efigreen Alu+ 5/13-2332 Tableau 4, obtenues par extrapolation linéaire

Tableau 3 - Guide de choix du Pare-vapeur à mettre en œuvre avec le procédé SOPRASOLAR FIX ALU

Elément porteur	Hygrométrie des locaux	Pare-vapeur sans EAC avec revêtement Sopralène Stick(1)
Maçonnerie (2)	Cas courant	- Soit EIF + ÉLASTOVAP (4) soudé
	Locaux à forte hygrométrie	- Soit EIF + CHAPE ATLAS AR soudé
	Locaux à très forte hygrométrie	- EIF + AÉRISOL Flam (3) + CHAPE ATLAS AR soudé (5)

(1) Les pare-vapeur sans EAC sont jointoyés soudés sur 6 cm au moins.

(2) La préparation des supports, notamment l'application d'un EIF, et le pontage des joints sont effectués conformément aux prescriptions de la norme NF P 84-204-1 (référence DTU 43.1 P1) et des Avis Techniques ; les pontages peuvent être réalisés avec une bande de largeur de 20 cm en SOPRALAST 50 TV ALU disposée côté alu vers le support. (cf. § 3.2, 3.3 et 3.5 du Dossier Technique).

(3) L'écran perforé est déroulé bord à bord ou à recouvrements de 5 à 10 cm ; de plus, sur 50 cm au minimum en périphérie de la toiture et autour des émergences le pare-vapeur est soudé en plein sans cet écran perforé.

(4) ÉLASTOVAP peut être remplacé par ÉLASTOPHÈNE 25.

(5) Sont exclus les panneaux isolants fixés mécaniquement.

Tableau 4 – Guide de mise en œuvre de l'isolant EFIGREEN ALU+ avec le procédé SOPRASOLAR FIX ALU dans le cas de la réfection avec conservation de l'existant pour des pentes inférieures ou égales à 10 %

Ancien revêtement (1)	**Mise en œuvre des panneaux isolants EFIGREEN ALU+ (§ 8.5322)**
Asphalte apparent	Fixations mécaniques (2)
Bitumineux indépendant	NON AUTORISE
Bitumineux semi-indépendant	Fixations mécaniques (2)
Bitumineux adhérent	Fixations mécaniques (2)
Enduit pâteux, ciment volcanique (3)	Fixations mécaniques (2)
Membrane synthétique (3)	Fixations mécaniques (2)

(1) Ancien revêtement conservé selon DTU 43.5 (norme NF P 84-208-1).

(2) Avec attelages de fixation mécaniques conforme au § 3.5 à l'exception des planchers de type D (DTU 20.12 - norme NF P 10-203) surmontés ou non d'une dalle de compression adhérente.

(3) Mise en œuvre d'un nouveau pare-vapeur indépendant obligatoire après vérification de l'aptitude du revêtement à être conservé dans le cadre de la rénovation.

Tableau 5 – Guide de choix pour le dimensionnement du système de retenue des modules photovoltaïques à mettre en œuvre pour des rangées de sous-ensemble de 2 modules

Dimensionnement de la quantité de potelet à mettre en œuvre par lisse

Quantité de sous ensemble de 2 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
9	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
10	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
11	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4
12	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4
13	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4
14	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
15	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5

Dimensionnement de la quantité de câbles de retenue par lisse à mettre en œuvre

Quantité de sous ensemble de 2 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
12	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
13	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
14	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
15	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3

Tableau 6 - Guide de choix pour le dimensionnement du système d'arrimage des modules photovoltaïques à mettre en œuvre pour des rangées de sous-ensemble de 3 modules

Dimensionnement de la quantité de potelet à mettre en œuvre par lisse

Quantité de sous ensemble de 3 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
7	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
8	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4
9	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
10	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5
11	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5
12	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5
13	3	4	4	4	5	5	5	5	6	6
14	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6
15	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7

Dimensionnement de la quantité de câbles de retenue par lisse à mettre en œuvre

Quantité de sous ensemble de 3 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
9	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
10	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
11	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4
12	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
13	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
14	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
15	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5

Tableau 7 - Guide de choix pour le dimensionnement du système d'arrimage des modules photovoltaïques à mettre en œuvre pour des rangées de sous-ensemble de 4 modules

Dimensionnement de la quantité de potelet à mettre en œuvre par lisse

Quantité de sous ensemble de 4 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
5	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
6	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4
7	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
8	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5
9	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5
10	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6
11	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7
12	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7
13	4	5	5	6	6	6	7	7	7	8
14	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8
15	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9

Dimensionnement de la quantité de câbles de retenue par lisse à mettre en œuvre

Quantité de sous ensemble de 4 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
7	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
8	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
9	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
10	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
11	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5
12	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5
13	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
14	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6
15	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6

Tableau 8 - Guide de choix pour le dimensionnement du système d'arrimage des modules photovoltaïques à mettre en œuvre pour des rangées de sous-ensemble de 5 modules

Dimensionnement de la quantité de potelet à mettre en œuvre par lisse

Quantité de sous ensemble de 5 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
4	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
5	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
6	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5
7	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
8	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6
9	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7
10	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7
11	5	5	5	6	6	7	7	7	8	8
12	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9
13	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9
14	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
15	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11

Dimensionnement de la quantité de câbles de retenue par lisse à mettre en œuvre

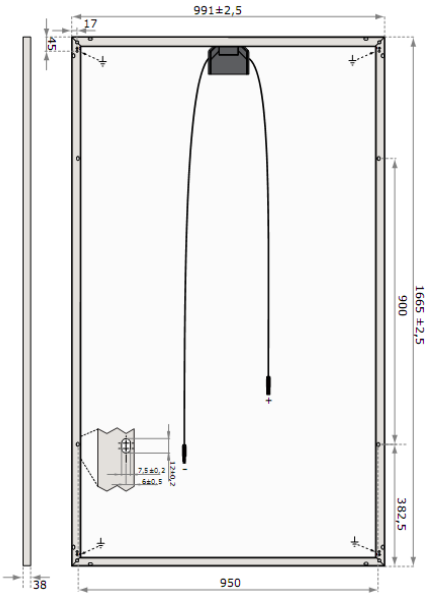
Quantité de sous ensemble de 5 modules PV le long du rampant	pente									
	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
	6,3°	6,8°	7,4°	8,0°	8,5°	9,1°	9,6°	10,2°	10,8°	11,3°
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
6	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
7	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4
8	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
9	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5
10	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5
11	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6
12	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6
13	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7
14	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7
15	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7

Tableau 9 – Valeurs des ponts thermiques des potelets en acier (galvanisé à chaud Z395 selon le Tableau 1) du système de retenue en fonction de l'épaisseur de la paroi du potelet, la conductivité et l'épaisseur de l'isolant.

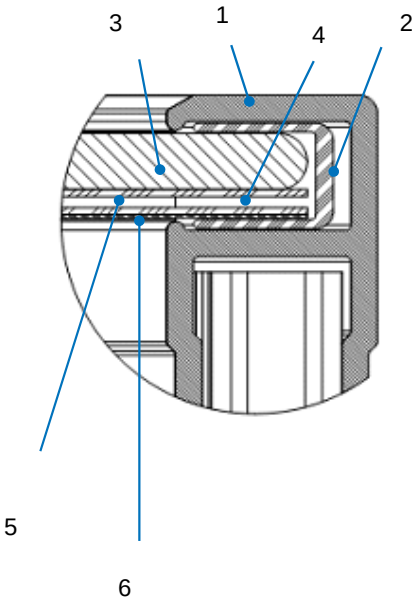
λ **Conductivité de l'isolant (W/m.K)** *(1)*	**e** **Épaisseur de l'isolant dans le potelet et en toiture (mm)** *(1)*	$\chi_{potelet}$ **avec et sans isolant à l'intérieur du potelet** ***(W/K)(1)***
0,023 (ou par simplification : λ ≥0,023 et < 0,042)(1)	50 à 139	0,42
	140 à 259	0,36
	260	0,28
0,042	50 à 139	0,38
	140 à 259	0,33
	260	0,27

(1)Interpolation linéaire possible entre les conductivités thermiques λ d'isolant intermédiaires ainsi que les épaisseurs e d'isolant intermédiaires

Face avant (6 colonnes de 10 cellules)



Face arrière (4 percements pour vissage de cosse pour câble de terre, 8 percements pour évacuation des condensats)



1 – Cadre en profil d'aluminium (section 38 mm x 28 mm)
2 – Joint en mousse de polyéthylène
3 – Vitrage
4 – Résine encapsulante intercalaire (EVA)
5 – Cellule PV
6 - Film polymère en face arrière

Figure 1 – Vues de face et coupe du module photovoltaïque

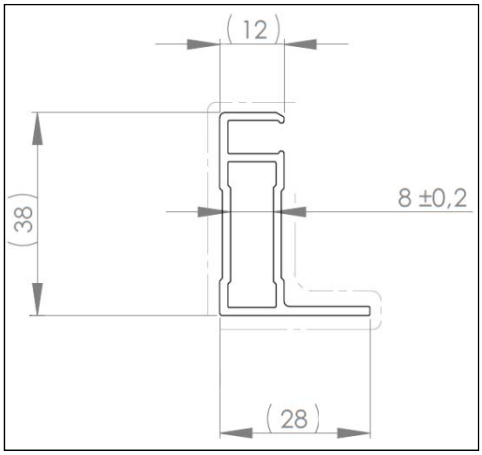
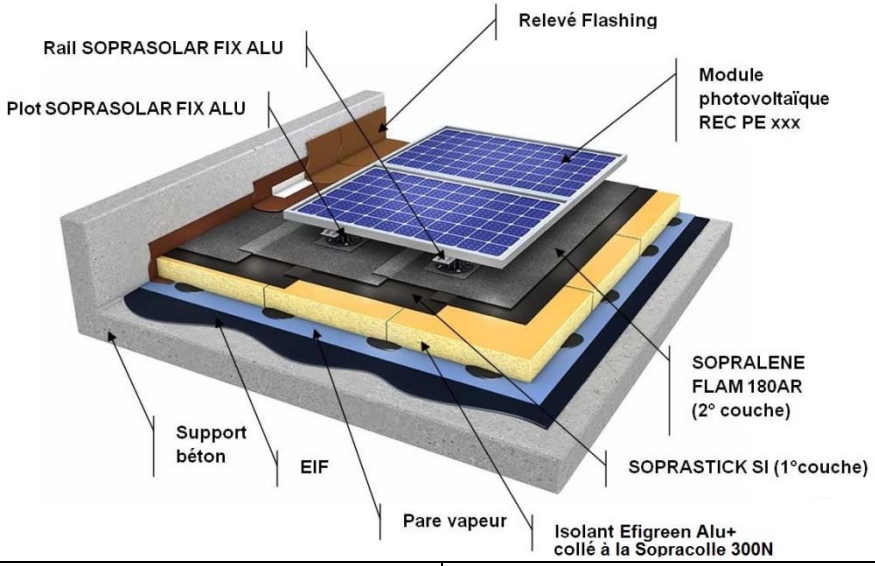
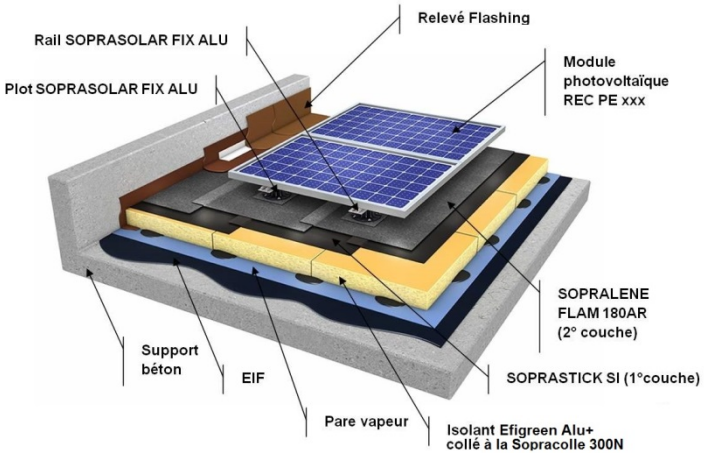
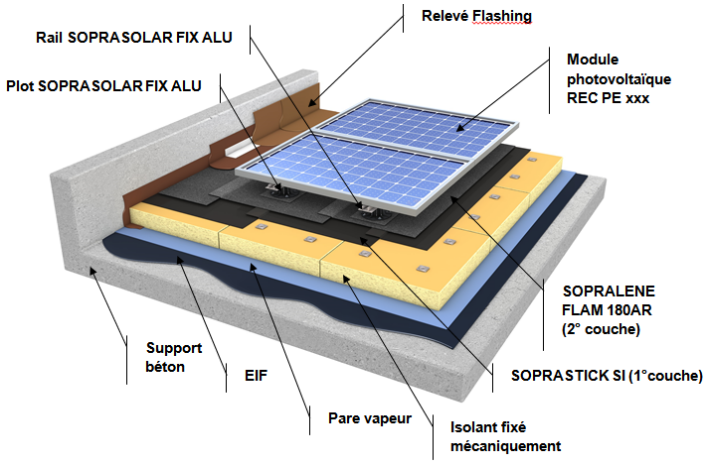


Figure 2 – Schéma du cadre des modules photovoltaïques

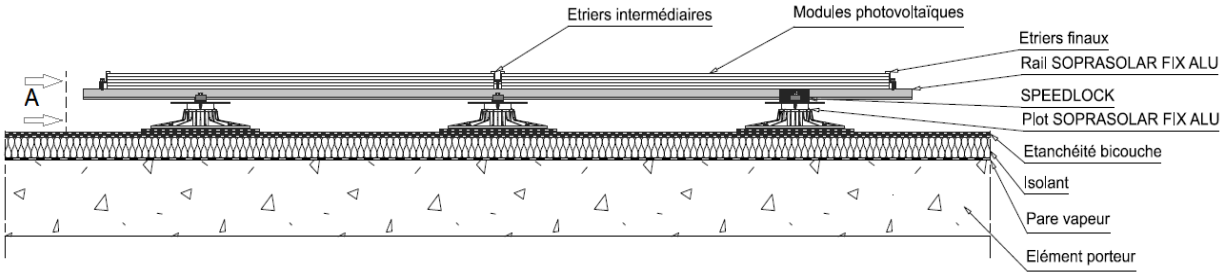


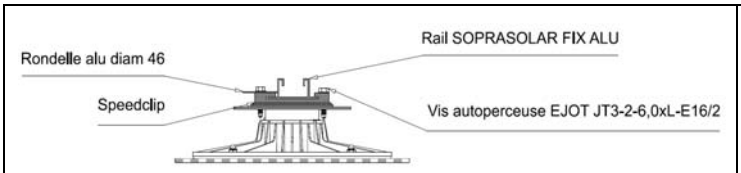


Procédé SOPRASOLAR FIX ALU avec isolant collé (cas des travaux neufs)

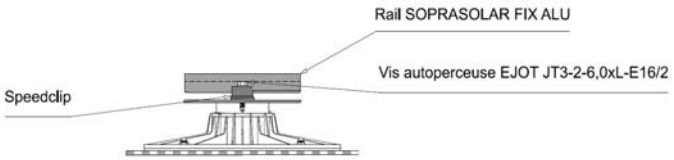


Procédé SOPRASOLAR FIX ALU avec isolant fixé mécaniquement





Détail du plot et du rail vue selon A sans le module photovoltaïque



Détail du plot et du rail

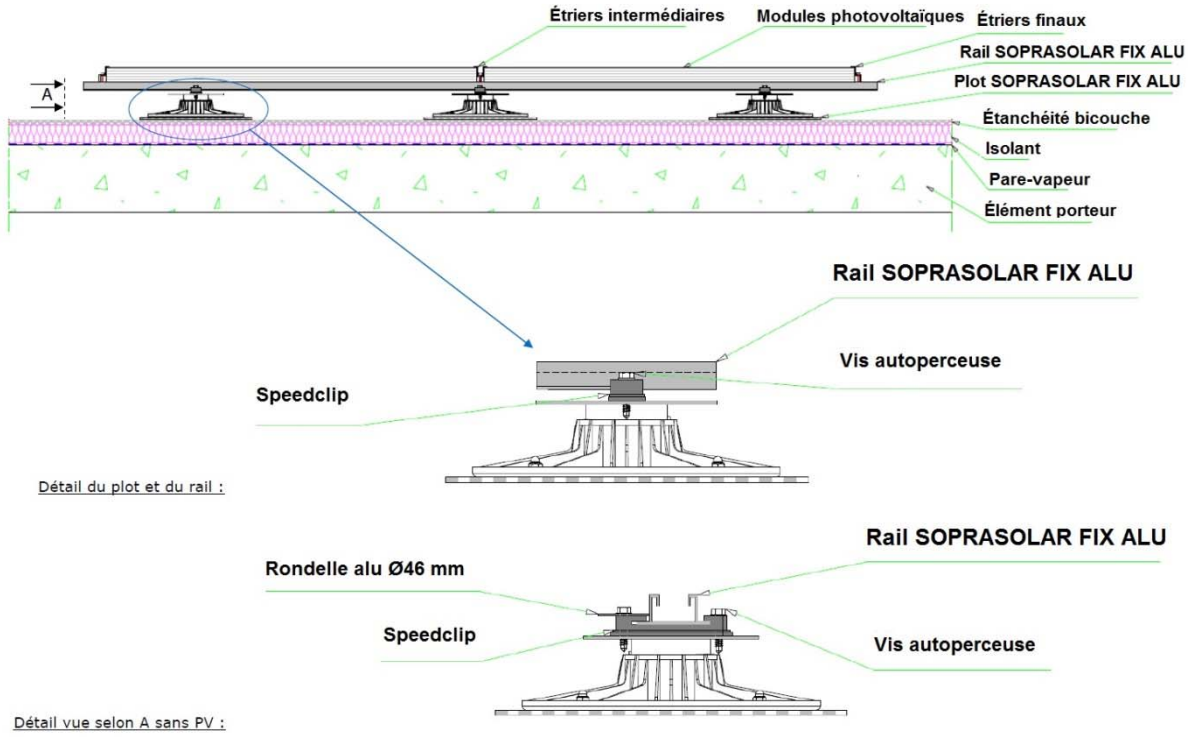
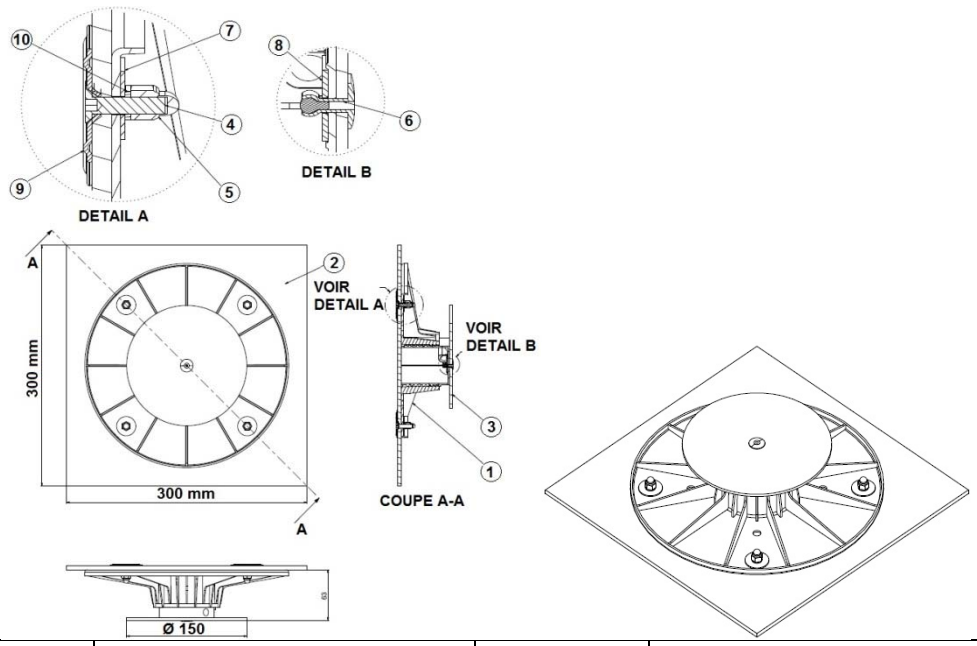


Figure 3 – Vues générales du procédé



Item	Désignation	Quantité	Matériau
1	Embase et tête e réglables	1	Polypropylène chargé à 37,5% de carbonate de calcium
2	Plastron SOPRASOLAR FIX ALU	1	SEBS avec armature polyester non-tissé
3	Platine Alu (épaisseur 3 mm)	1	aluminium (EN AW-5754)
4	Vis métaux M6×20 TX30	4	inox A2
5	Écrou borgne frein M6	4	inox A2
6	Rivet borgne 4,8×12	1	inox A2
7	Rondelle 24×6,4×1,2		inox A2
8	Rondelle 25×5,3×1,5	1	inox A2
9	Rondelle 40×6×1,2	4	Acier galvanisé
10	Rondelle GROWER M6	4	inox A2

PLASTRON SOPRASOLAR	
Composition	
Armature	Polyester non-tissé 250g/m²
Liant	Mélange de bitume et de polymères thermoplastiques SEBS
Dimensions	300±1 mm x 300±1 mm
Epaisseur minimale (sur ardoises)	4,7 mm
Masse (indicative)	0,6 kg
Face supérieure	Paillette d'ardoises noires
Face inférieure	Film Thermofusible
Caractéristiques (VLF*)	
Force maximale à rupture en traction (EN 12311-1) - Longitudinale - Transversale	 800 N / 5 cm 800 N / 5 cm
Allongement à la rupture (EN 12311-1) - Longitudinal - Transversal	 40% 40%
Résistance à la déchirure au clou (EN 12310-1) - Longitudinale - Transversale	 250 N 250 N
Pliabilité à froid à neuf (EN 1109)	Pas de fissure à -10°C
Tenue à la chaleur à neuf (EN 1110)	95°C
Résistance au poinçonnement statique (NF P 84-352)	25 kg (L4)
Résistance au poinçonnement dynamique (NF P 84-353)	20 J (D3)
Résistance au pelage avec membrane d'étanchéité SOPRALENE FLAM 180 AR de Soprema (EN 12316-1) - Etat neuf - Etat vieilli (28 jours à 80°C)	 100 N / 5 cm 100 N / 5 cm
* Valeur Limite du Fabricant : valeur susceptible d'être fournie dans le cadre du système qualité	

Figure 4 – Plot SOPRASOLAR FIX ALU

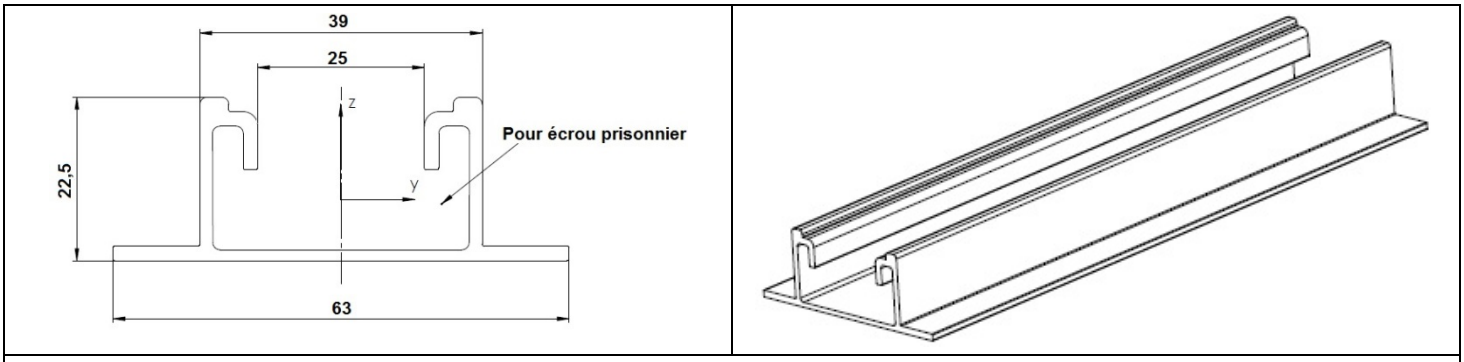


Figure 5 – Rail SOPRASOLAR FIX ALU

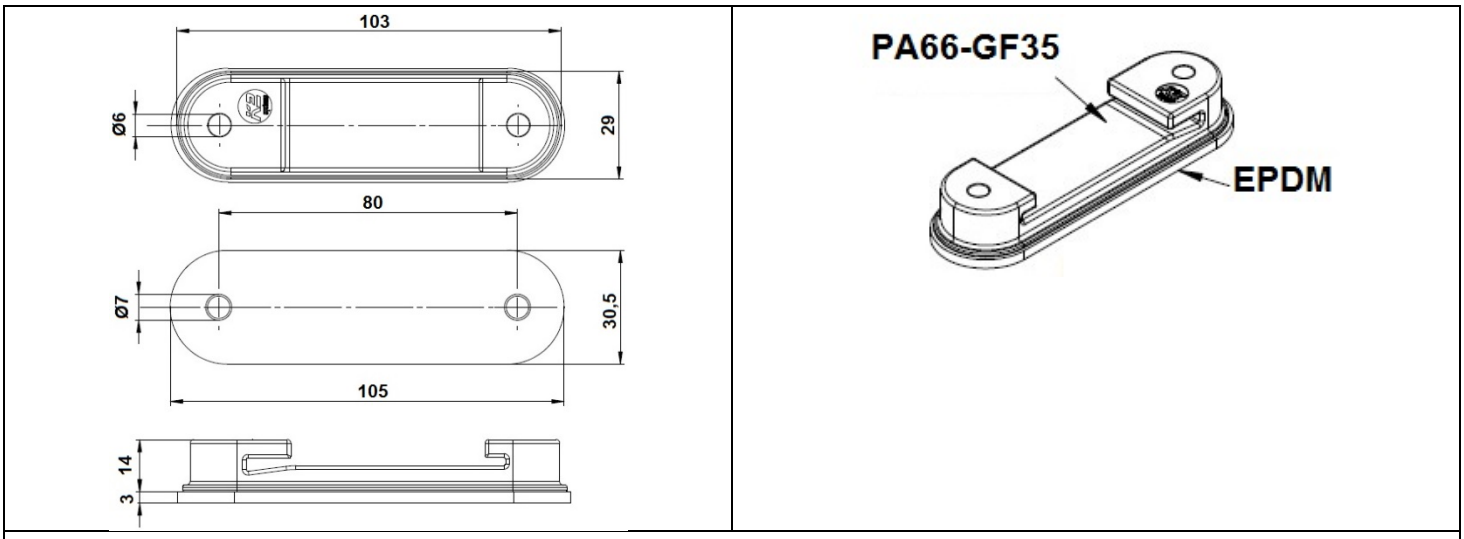


Figure 6 – Speedclip

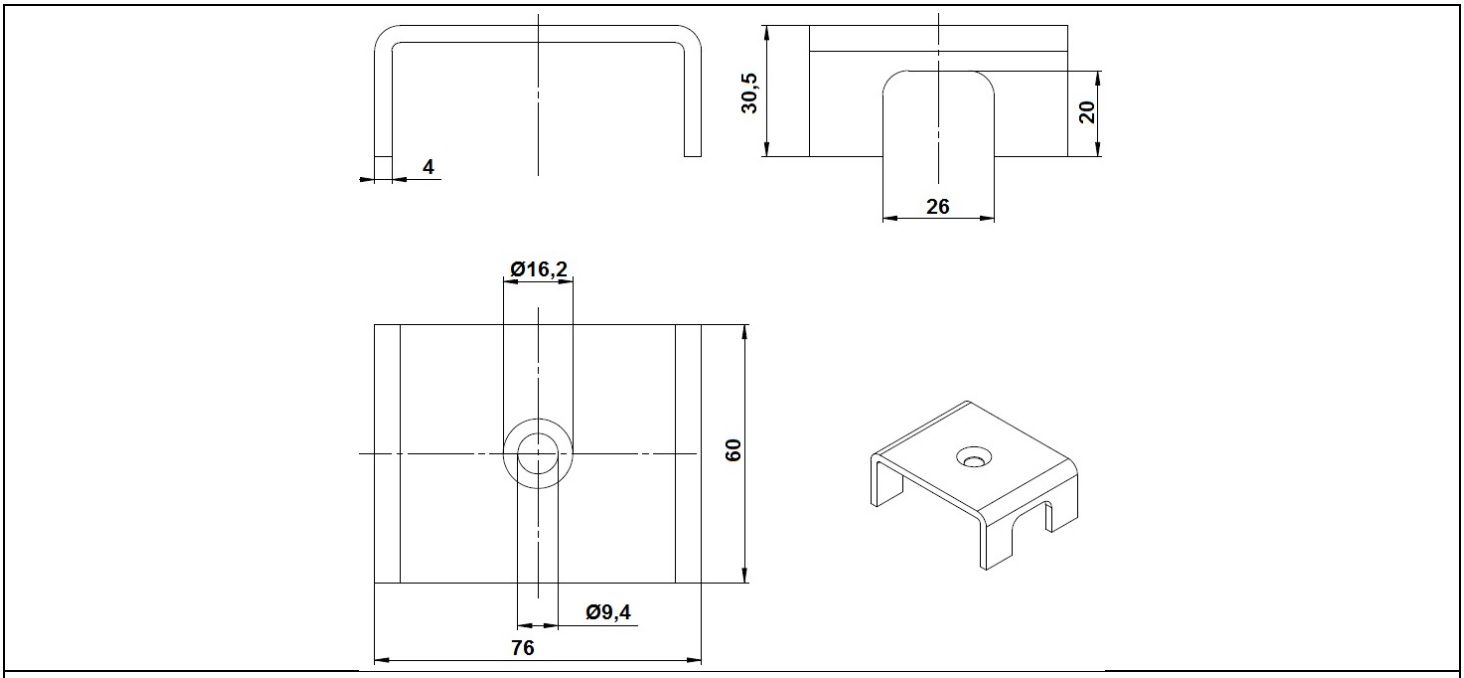
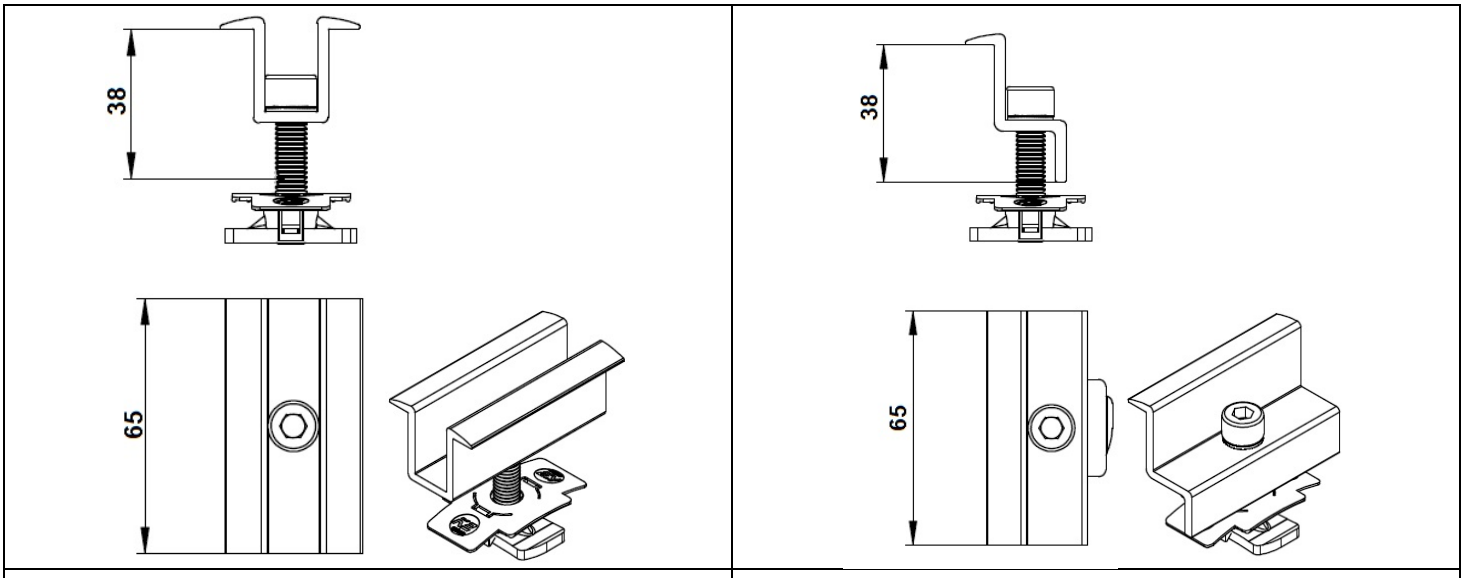
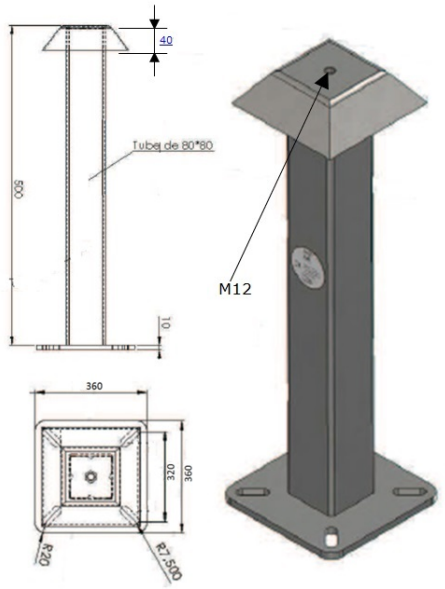


Figure 7 – Speedlock

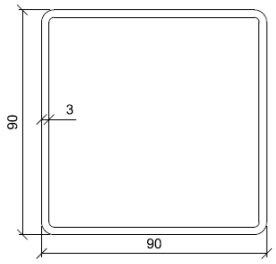


Étrier intermédiaire	Étrier final

Figure 8 – Étriers



Potelet

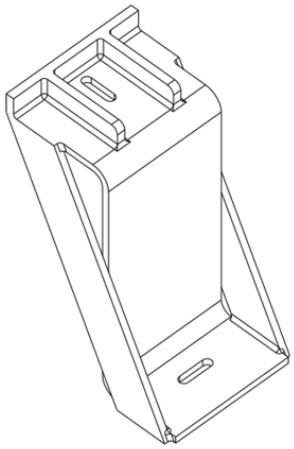


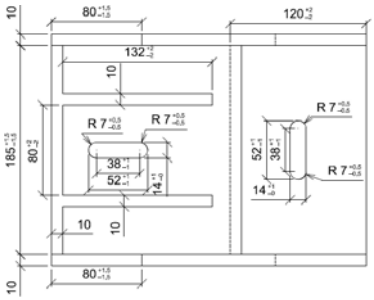
Lisse

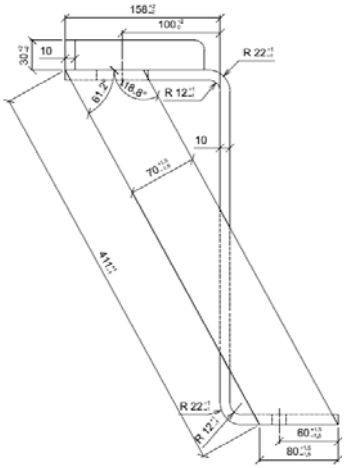
Goujon T

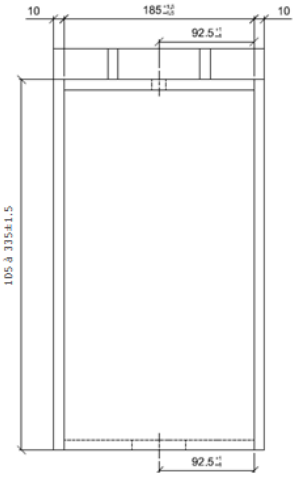
Anneau de serrage des câbles

Câble



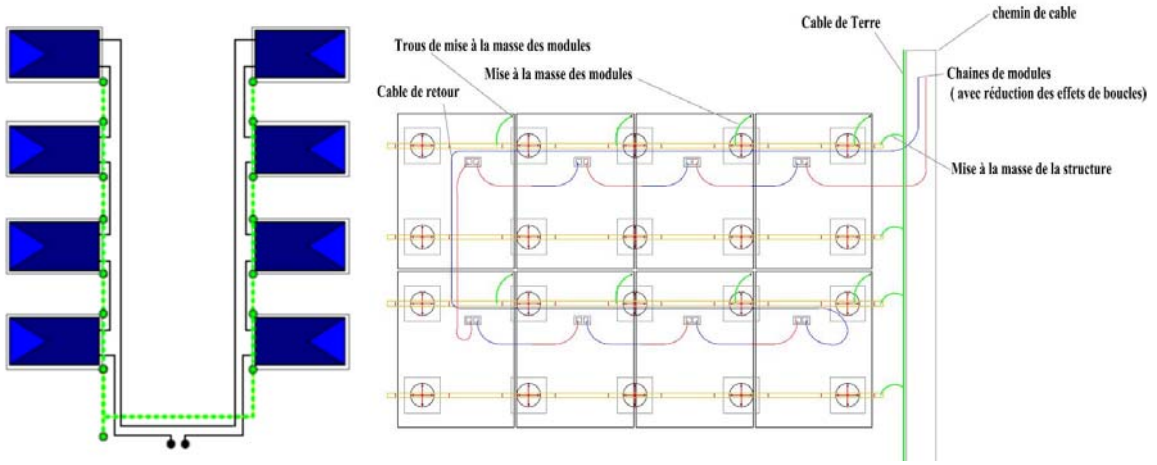






Equerre Z

Figure 9 – Système de retenue des modules pour les toitures de pentes >10% et ≤ 20%



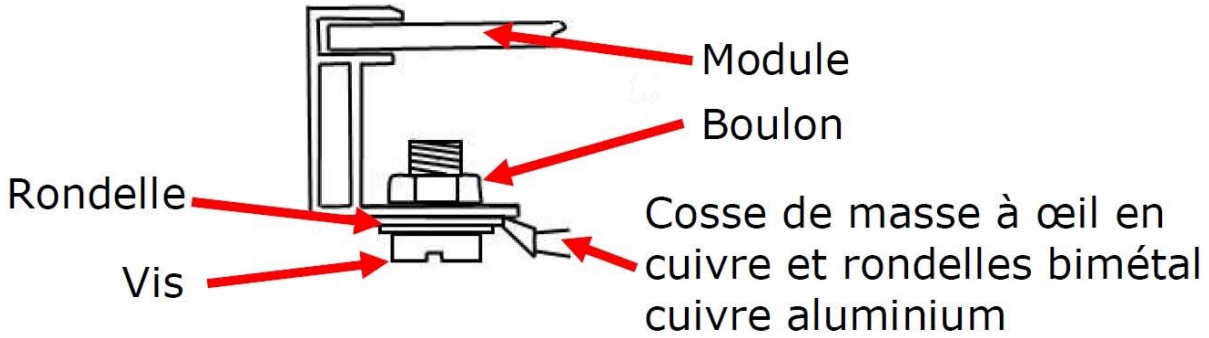
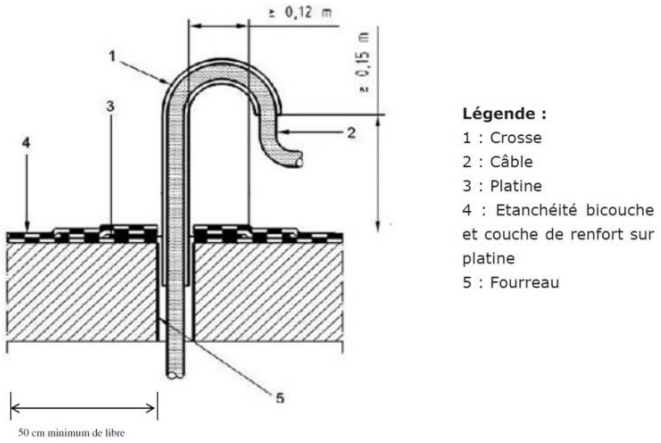
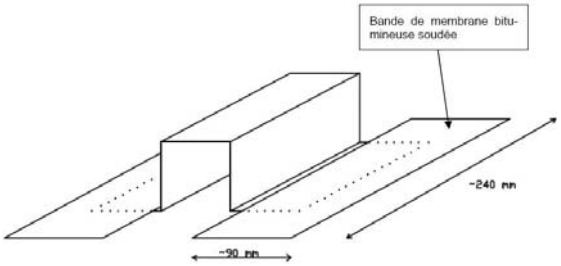


Figure 10 – Mise à la terre





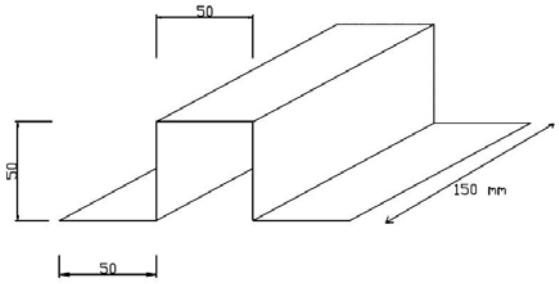


Figure 11 – Pénétration et chemin des câbles

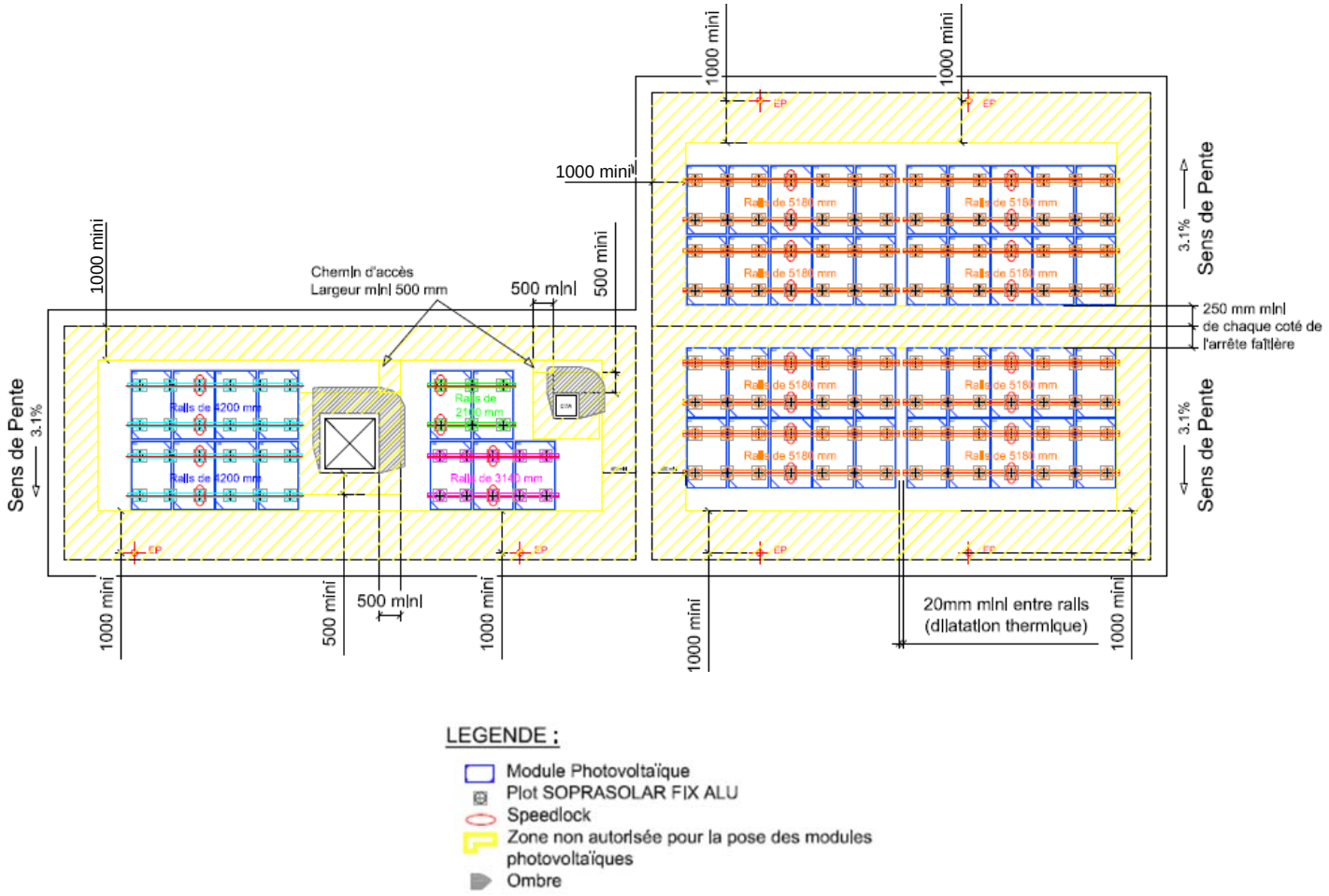


Figure 12 – Calepinage et préparation de la toiture

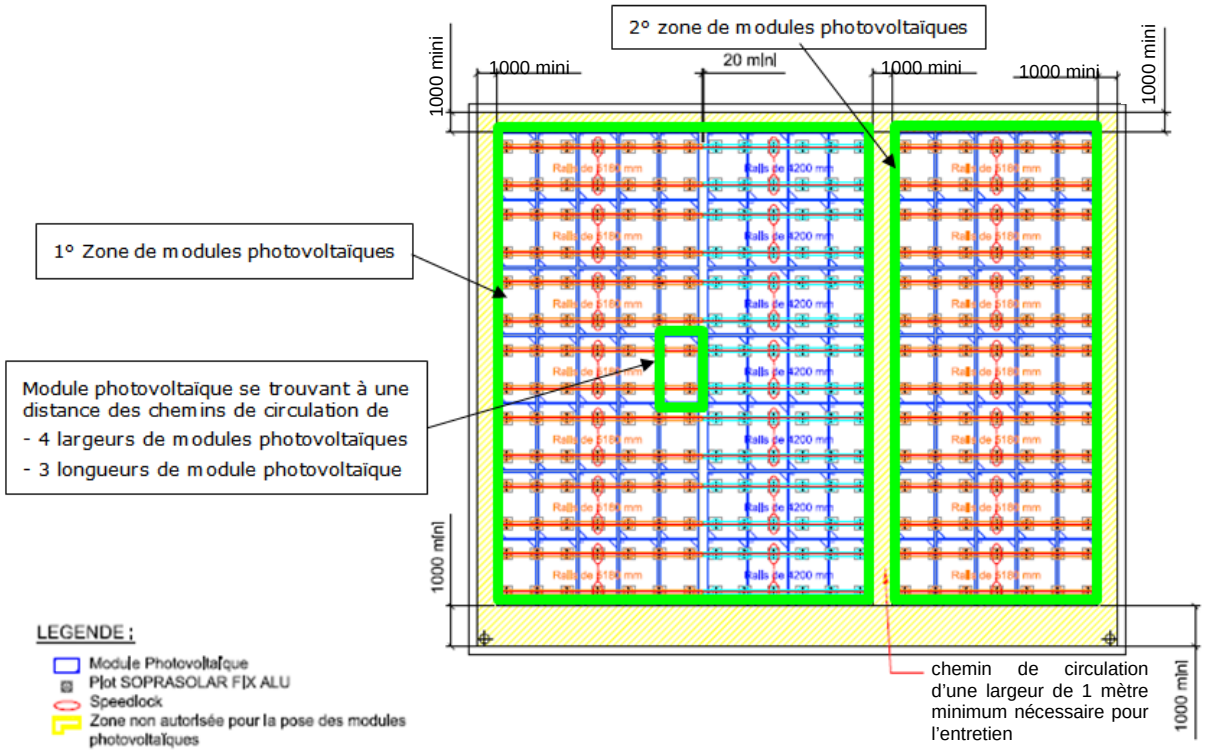
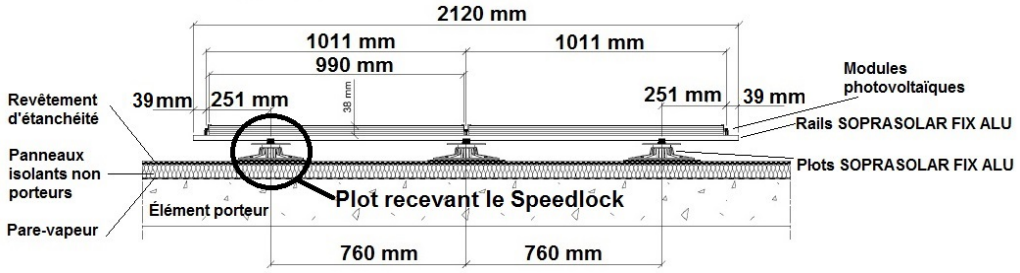
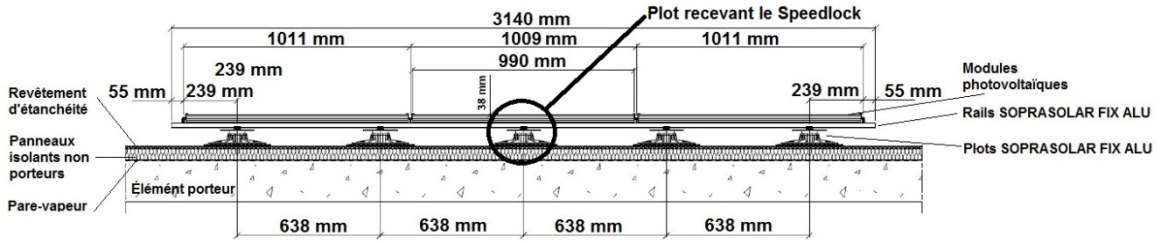


Figure 13 – Exemple de zones de modules photovoltaïques



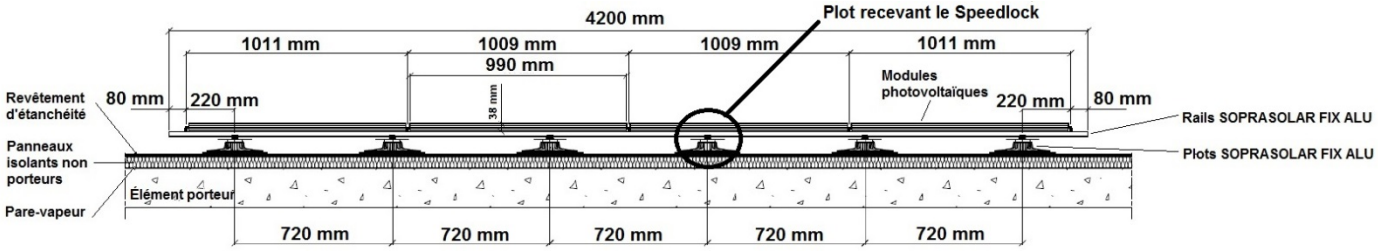
Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur
Plot Soprasolar Fix Alu	pièce	6	Longueur de rail	mètre	2,10	Module photovoltaïque	pièce	2
Entraxe entre plots	mm	760	Speedlock	pièce	2	Charge	daN/m	13,9
Porte à faux	mm	251	Etriers finaux	pièce	4	Densité de plots	plots/modules	3
Rail Soprasolar Fix Alu	pièce	2	Etriers intermédiaires	pièce	2		Plots/m²	1,8

Sous-ensemble 2 modules photovoltaïques



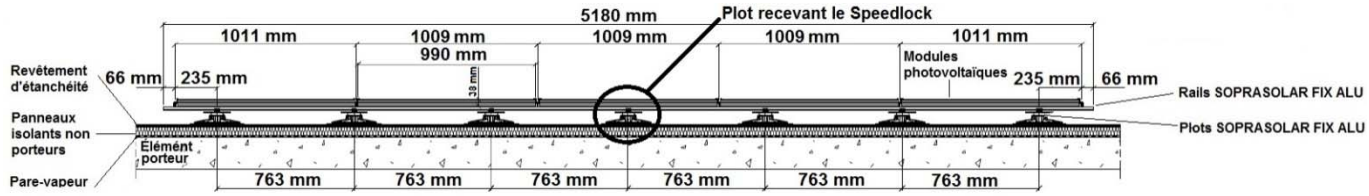
Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur
Plot Soprasolar Fix Alu	pièce	10	Longueur de rail	mètre	3,14	Module photovoltaïque	pièce	3
Entraxe entre plots	mm	638	Speedlock	pièce	2	Charge	daN/m	14,2
Porte à faux	mm	239	Etriers finaux	pièce	4	Densité de plots	plots/modules	3,33
Rail Soprasolar Fix Alu	pièce	2	Etriers intermédiaires	pièce	4		Plots/m²	2

Sous-ensemble 3 modules photovoltaïques



Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur
Plot Soprasolar Fix Alu	pièce	12	Longueur de rail	mètre	4,20	Module photovoltaïque	pièce	4
Entraxe entre plots	mm	720	Speedlock	pièce	2	Charge	daN/m	13,9
Porte à faux	mm	220	Etriers finaux	pièce	4	Densité de plots	plots/modules	3
Rail Soprasolar Fix Alu	pièce	2	Etriers intermédiaires	pièce	6		Plots/m²	1,81

Sous-ensemble 4 modules photovoltaïques



Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur	Désignation	Unité	Valeur
Plot Soprasolar Fix Alu	pièce	14	Longueur de rail	mètre	5,18	Module photovoltaïque	pièce	5
Entraxe entre plots	mm	763	Speedlock	pièce	2	Charge	daN/m	13,7
Porte à faux	mm	235	Etriers finaux	pièce	4	Densité de plots	plots/modules	2,8
Rail Soprasolar Fix Alu	pièce	2	Etriers intermédiaires	pièce	8		Plots/m²	1,7

Sous-ensemble 5 modules photovoltaïques

Figure 14 – Mise en place des plots SOPRASOLAR FIX ALU

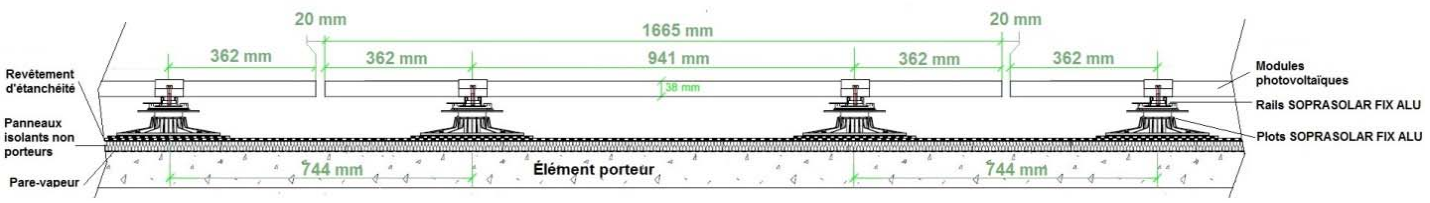
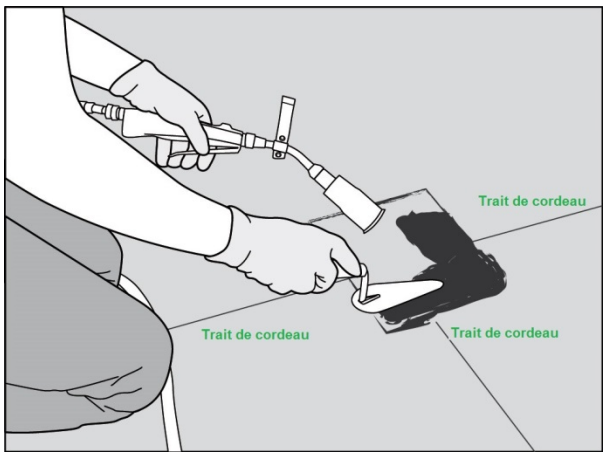
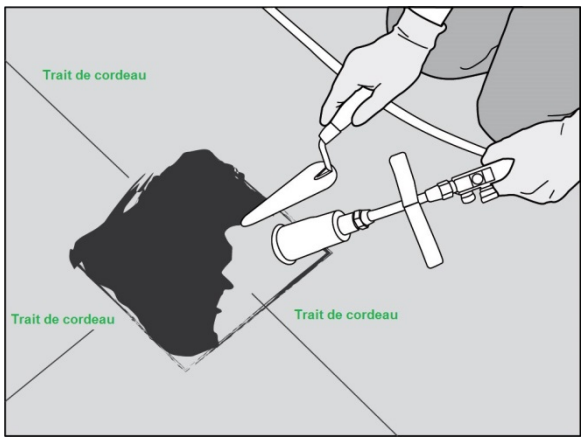


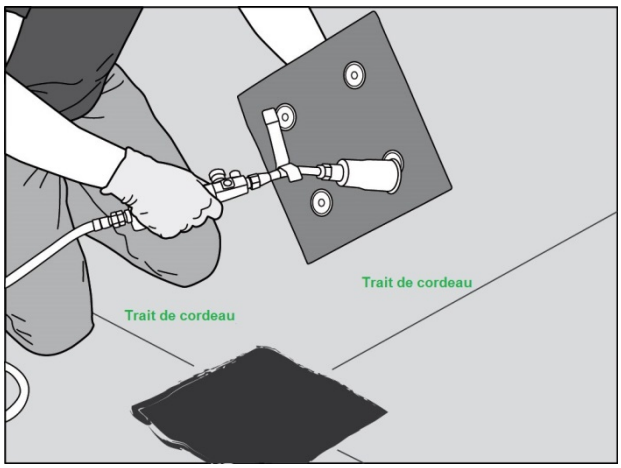
Figure 15 – Coupe longitudinale



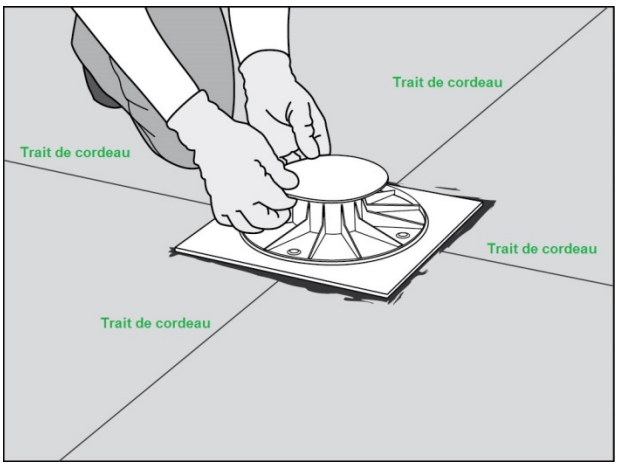
Reflux local des paillettes du revêtement d'étanchéité sur le pourtour des plastrons



Reflux local des paillettes du revêtement d'étanchéité et noyage des paillettes ardoisées



Plastron chauffé au chalumeau



Positionnement du plastron chauffé sur la zone noircie et chauffée du revêtement d'étanchéité

Figure 16 – Mise en place des plots SOPRASOLAR FIX ALU

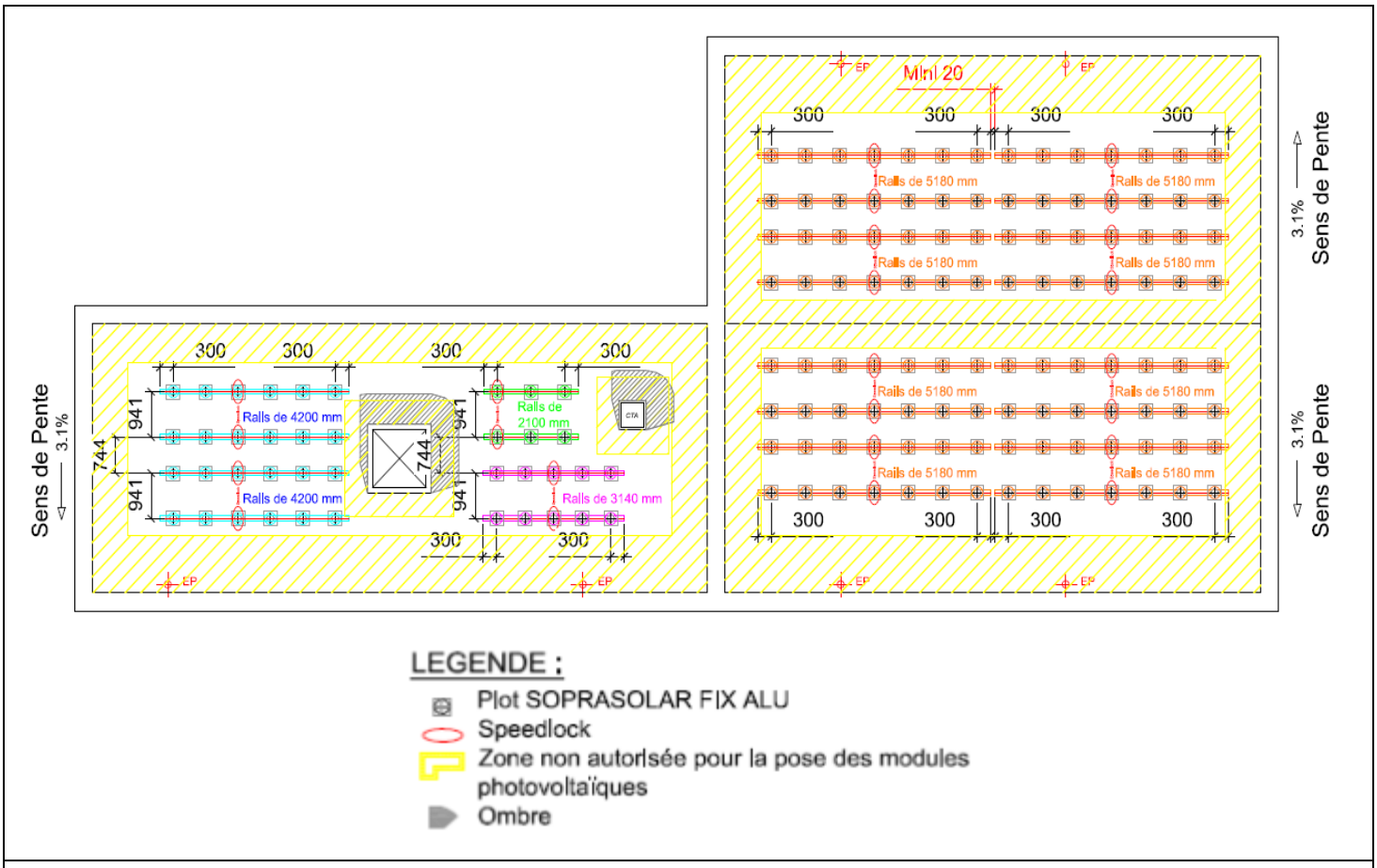


Figure 17 – Mise en place des SpeedClips et rails SOPRASOLAR FIX ALU

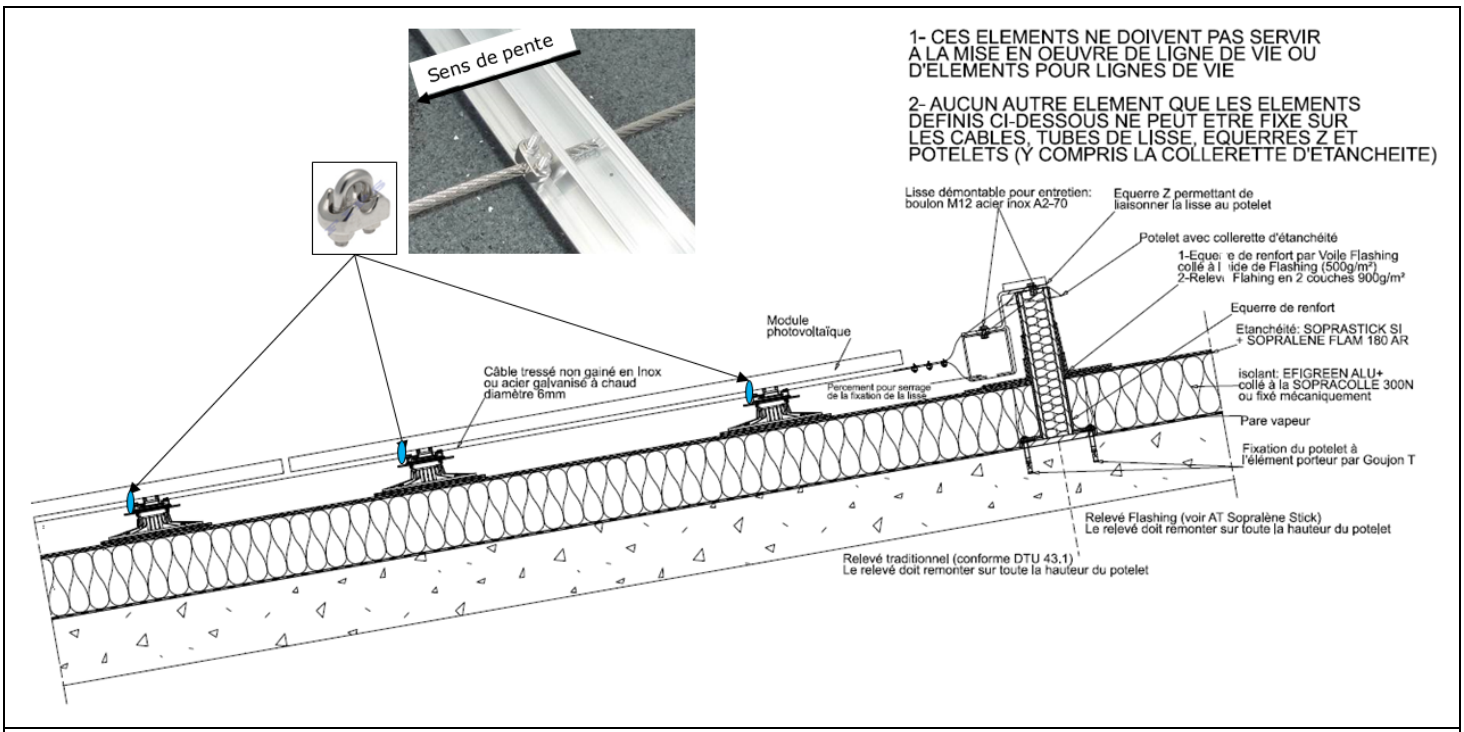
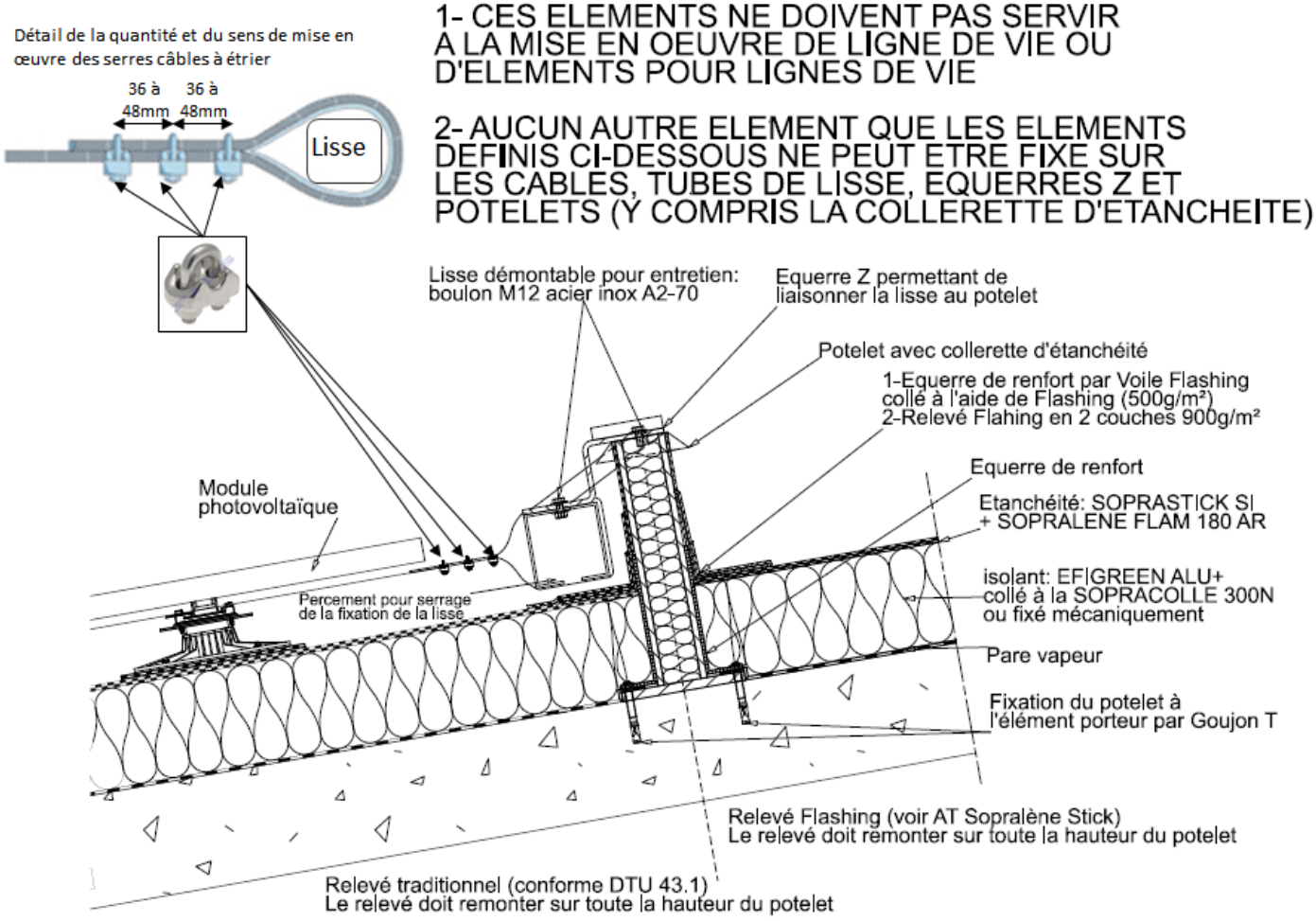


Figure 18 – Mise en place du dispositif de retenue des modules photovoltaïques



1- CES ELEMENTS NE DOIVENT PAS SERVIR A LA MISE EN OEUVRE DE LIGNE DE VIE OU D'ELEMENTS POUR LIGNES DE VIE

2- AUCUN AUTRE ELEMENT QUE LES ELEMENTS DEFINIS CI-DESSOUS NE PEUT ETRE FIXE SUR LES CABLES, TUBES DE LISSE, EQUERRES Z ET POTELETS (Y COMPRIS LA COLLERETTE D'ETANCHEITE)

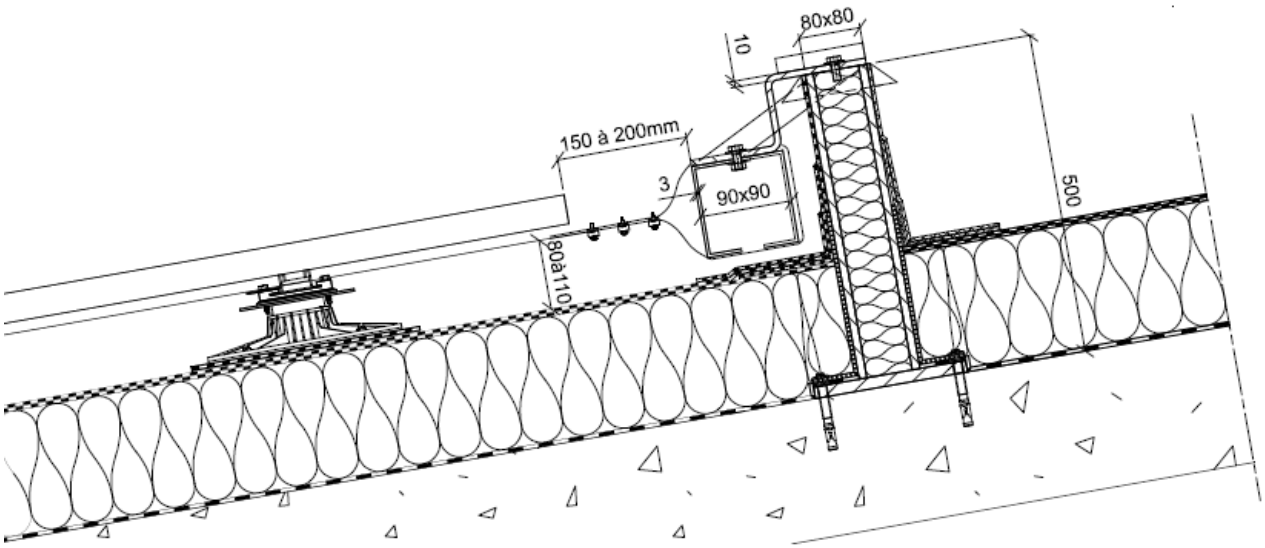
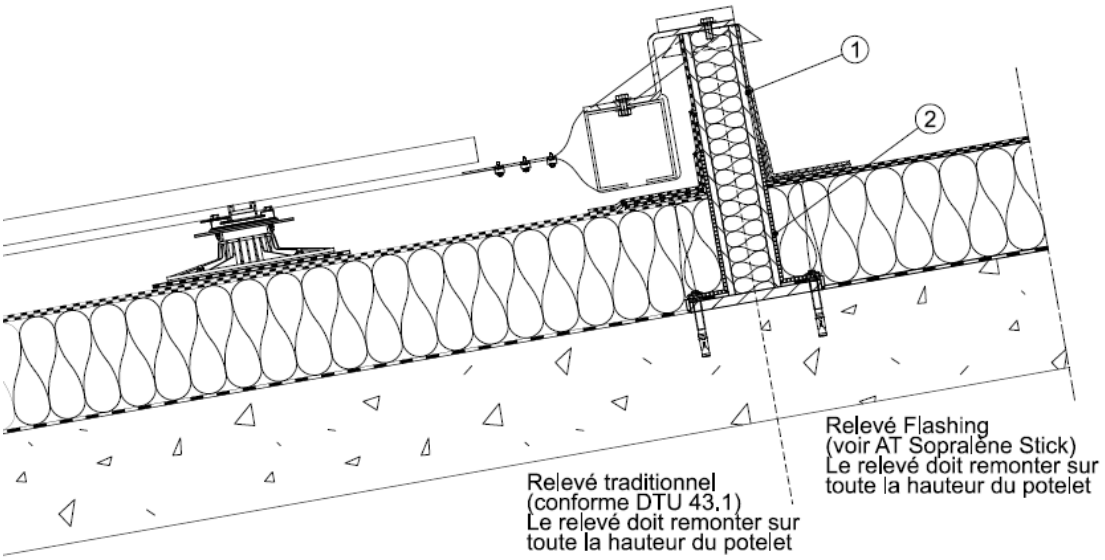


Figure 19 – Mise en place du dispositif de retenue des modules photovoltaïques (dans le cas de pentes comprises entre une valeur strictement supérieure à 10% et inférieure ou égale à 20%)

1- CES ELEMENTS NE DOIVENT PAS SERVIR A LA MISE EN OEUVRE DE LIGNE DE VIE OU D'ELEMENTS POUR LIGNES DE VIE

2- AUCUN AUTRE ELEMENT QUE LES ELEMENTS DEFINIS CI-DESSOUS NE PEUT ETRE FIXE SUR LES CABLES, TUBES DE LISSE, EQUERRES Z ET POTELETS (Y COMPRIS LA COLLERETTE D'ETANCHEITE)



1 : Relevé Flashing :

a) Equerre de renfort par voile Flashing collé à l'aide de Flashing 500 g/m²
b) Relevé Flashing en 2 couches 900 g/m²

2 : Equerre de renfort

Figure 20 – Détail du relevé d'étanchéité au droit des potelets (dans le cas de pentes comprises entre une valeur strictement supérieure à 10 % et inférieure ou égale à 20%)

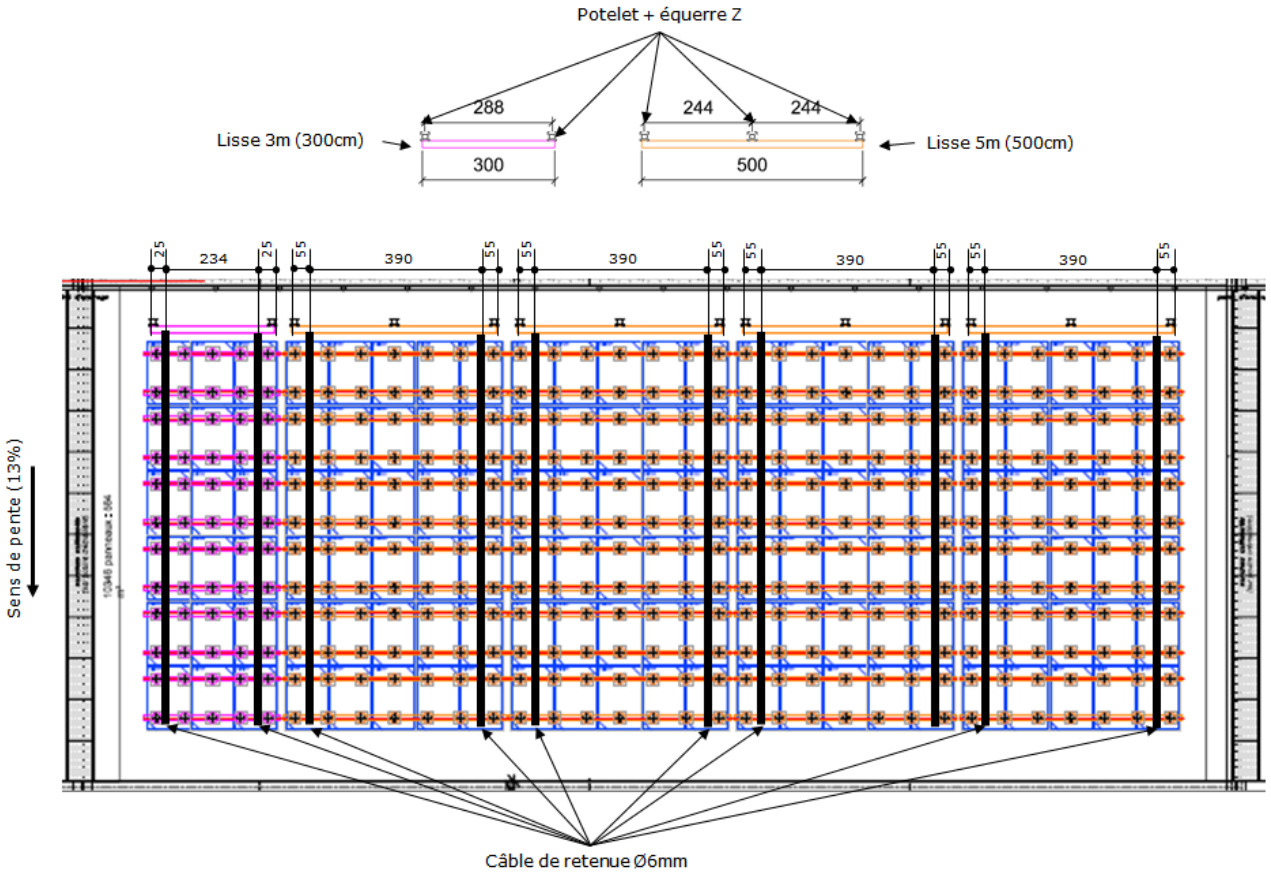


Figure 21 – Vue de dessus du potelet