21/21-77_V2

Valide du **14/09/2023**

au **31/12/2024**

Sur le procédé

Sunstyle Acier

Avec modules photovoltaïques : cf. liste de modules photovoltaïques indiquée dans le Descripteur page 2

Famille de produit/Procédé :
Module photovoltaïque rigide intégré en couverture sans écran métallique en sous-face

Titulaire : **Société Sunstyle International**
Internet : www.sunstyle.com

AVANT-PROPOS

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

Groupe Spécialisé n° 21 - Procédés photovoltaïques

COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER LES AVIS TECHNIQUES

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

www.ccfat.fr

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)

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V1	Nouvel Avis Technique	David LE BELLAC	Franc RAFFALLI
V2	Cette version annule et remplace l'Avis Technique n° 21/21-77_V1. La version V2 est une révision d'office qui tient compte de la jurisprudence limitant à des charges admissibles pour la sécurité électrique des modules photovoltaïques, fixées au regard des pressions d'essais MQT 16 de la conformité IEC. La charge de vent normal, selon les règles NV 65 modifiées, admissible est limitée à 1 333 Pa.	David LE BELLAC	Franc RAFFALLI

Descripteur :

Procédé photovoltaïque avec gammes de modules en cours de validité dans la grille téléchargeable sur le site de la CCFAT à la page de la fiche détaillée de l'Avis Technique 21/21-77_V2.

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toiture complète, sur pannes métalliques ou en bois (recevant traditionnellement de grands éléments de couverture - *tout type de plaques métalliques ou plaques fibres-ciment)*.

Il est destiné à la réalisation d'installations productrices d'électricité solaire.

Il intègre :

- des modules photovoltaïques dont les références et les puissances sont indiquées dans la grille de vérification des modules en cours de validité, téléchargeable sur le site de la CCFAT à la page de la fiche détaillée de l'Avis Technique 21/21-77_V2,
- un système de montage permettant une mise en œuvre en toiture des modules carrés par chevauchement des diagonales.

La mise en œuvre est associée à un écran souple de sous-toiture.

Table des matières

1. Avis du Groupe Spécialisé 5
1.1. Définition succincte 5
1.1.1. Description succincte 5
1.1.2. Identification 5
1.2. AVIS 5
1.2.1. Domaine d'emploi accepté 5
1.2.2. Appréciation sur le procédé 5
1.2.3. Prescriptions Techniques 7
1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 8
2. Dossier Technique 10
2.1. Données commerciales 10
2.1.1. Coordonnées 10
2.2. Description 10
2.3. Domaine d'emploi 10
2.4. Éléments constitutifs 11
2.4.1. Modules photovoltaïques 11
2.4.2. Modules factices (dummy) 12
2.4.3. Système de montage 13
2.5. Autres éléments 15
2.5.1. Visserie 15
2.5.2. Écran souple de sous-toiture 15
2.5.3. Closoir ventilé / bandes de rive / bandes d'égout 15
2.5.4. Planches 15
2.6. Conditionnement, étiquetage, stockage 15
2.6.1. Modules photovoltaïques 15
2.6.2. Ensemble support 16
2.7. Caractéristiques dimensionnelles 16
2.8. Caractéristiques électriques 16
2.8.1. Conformité à la norme NF EN 61215 16
2.8.2. Sécurité électrique 16
2.8.3. Performances électriques 16
2.9. Fabrication et contrôles 16
2.9.1. Modules photovoltaïques 16
2.9.2. Modules factices (dummy) 16
2.9.3. Composants du système de montage 16
2.10. Mise en œuvre 17
2.10.1. Généralités 17
2.10.2. Compétences des installateurs 17
2.10.3. Sécurité des intervenants 17
2.10.4. Spécifications électriques 17
2.10.5. Mise en œuvre en toiture 18
2.11. Formation 21
2.12. Assistance technique 21
2.13. Utilisation, entretien et réparation 21
2.13.1. Généralités 21
2.13.2. Maintenance du champ photovoltaïque 21

2.13.3. Maintenance électrique 21
2.13.4. Remplacement d'un module 21
2.14. Résultats expérimentaux 22
2.15. Références 22
2.15.1. Données Environnementales et sanitaires 22
2.15.2. Autres références 22
2.16. Annexes du Dossier Technique 23
3. Annexes graphiques 24

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n° 21 - Procédés photovoltaïques de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 3 juin 2021, le procédé Sunstyle Acier, présenté par la société Sunstyle International. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après. L'avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine.

1.1. Définition succincte

1.1.1. Description succincte

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toiture complète, sur pannes métalliques ou en bois (recevant traditionnellement de grands éléments de couverture - *tout type de plaques métalliques ou plaques fibres-ciment)*.

Il est destiné à la réalisation d'installations productrices d'électricité solaire.

Il intègre :

- des modules photovoltaïques dont les références et les puissances sont indiquées dans la grille de vérification des modules en cours de validité, téléchargeable sur le site de la CCFAT à la page de la fiche détaillée de l'Avis Technique 21/21-77_V2,
- un système de montage permettant une mise en œuvre en toiture des modules carrés par chevauchement des diagonales.

La mise en œuvre est associée à un écran souple de sous-toiture.

1.1.2. 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.

1.2. 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.

1.2.1. Domaine d'emploi accepté

Domaine d'emploi identique à celui proposé au § 2.3, en association avec les gammes de modules indiquées dans la grille de vérification la plus récente qui est publiée avec cet Avis Technique, et dont le n° doit comporter le n° de version du présent document.

1.2.2. Appréciation sur le procédé

1.2.2.1. 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.

1.2.2.2. Aptitude à l'emploi

1.2.2.2.1. Fonction génie électrique

Sécurité électrique du champ photovoltaïque

- Conducteurs électriques

  Le respect des prescriptions définies dans la norme NF C15-100 en vigueur, pour le dimensionnement et la pose, permet de s'assurer de la sécurité et du bon fonctionnement des conducteurs électriques.

  Les boîtes de connexion, les câbles et les connecteurs sont conformes respectivement aux normes IEC 62790, NF EN 50518 ou IEC 62930, et IEC 62852, et peuvent être mis en œuvre jusqu'à une tension en courant continu indiquée dans la grille de vérification des modules, 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 II de sécurité électrique selon la norme NF EN 61730, jusqu'à une tension maximum de 1 000 à 1 500 V DC (cf. grille de vérification des modules).

  À ce titre, ils sont marqués CE selon la Directive 2014/35/UE (dite « Directive Basse Tension ») du Parlement Européen et du Conseil du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des États Membres concernant la mise à disposition sur le marché du matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension.

  Les connecteurs électriques utilisés, ayant au moins un indice de protection IP 65, sont des connecteurs avec système de verrouillage, conformes à la norme IEC 62852 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.

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 diodes bypass sur chacun des modules photovoltaïques.

Puissance crête des modules utilisés

La grille de vérification des modules recense les puissances crêtes des modules, validées par les normes NF EN 61215 et NF EN 61730.

1.2.2.2.2. Fonction couverture

Stabilité

La stabilité du procédé est convenablement assurée sous réserve :

- d'un calcul (*selon les règles NV65 modifiées*) au cas par cas des charges climatiques appliquées sur la toiture, en tenant compte lorsque nécessaire des actions locales (*au sens des NV65 modifiées*), pour vérifier que celles-ci n'excèdent pas :
  - 1 492 Pa sous charge de neige normale (*selon les règles NV65 modifiées*),
  - 1 333 Pa sous charge de vent normal (*selon les règles NV65 modifiées*),
- d'une reconnaissance préalable de la charpente support vis-à-vis de sa capacité à accueillir le procédé photovoltaïque,
- que la toiture d'implantation présente un entraxe maximal entre pannes de 2,10 m en partie courante et 1,80 m entre la panne sablière et la première panne courante.

Sécurité en cas de séisme

Les applications du procédé ne sont pas limitées compte tenu de la conception, du rapport de calcul cité au §2.14, 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 *(limitation de la longueur de rampant de la toiture projetée horizontalement à 8 m)* et les retours d'expérience sur ce procédé permettent de considérer une étanchéité à l'eau satisfaisante.

Risque de condensation

Les mises en œuvre, telles que décrites dans le Dossier Technique, permettent de gérer les risques de condensation de façon satisfaisante grâce à l'utilisation d'un écran de sous-toiture sous le procédé et débouchant à l'égout.

Ventilation de la toiture

La mise en œuvre du procédé photovoltaïque telle que décrite dans le Dossier Technique et dans la notice de pose ne vient pas perturber la ventilation naturelle de la toiture qui doit être conforme au(x) DTU concerné(s).

Sécurité au feu

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

Sécurité des intervenants

La sécurité des intervenants lors de la pose, de l'entretien et de la maintenance est normalement assurée grâce à la mise en place de dispositifs antichute selon la réglementation en vigueur pour éviter les chutes depuis la toiture.

Se reporter aux préconisations indiquées dans la fiche pratique de sécurité ED 137 publiée par l'INRS « Pose et maintenance de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques ».

Attention, le procédé ne peut en aucun cas servir de point d'ancrage à un système de sécurité (Équipement de Protection Individuel).

Sécurité des usagers

La sécurité des usagers au bris de glace des modules est assurée grâce à une sous-face constituée d'éléments filants dans le sens de la pente surmontés d'un écran de sous-toiture (cf. § 2.10.5.1). Le procédé a été soumis à un essai de choc 1200J qui s'est révélé satisfaisant (cf. §2.14).

1.2.2.2.3. Données environnementales et sanitaires

Aspects environnementaux

La grille de vérification associée à cet Avis Technique indique en fonction des gammes de module indiquées si le procédé « Sunstyle Acier » associé à chaque gamme de module dispose ou non d'une Déclaration Environnementale (DE).

Sans DE, le titulaire du procédé ne peut revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

Aspects sanitaires

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

1.2.2.3. Durabilité - Entretien

La durabilité propre des composants, leur compatibilité, la nature des contrôles effectués tout au long de leur fabrication 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 (cf. Tableau 1) et moyennant un entretien conforme aux indications portées dans la notice de montage et dans le Dossier Technique, la durabilité de cette couverture peut être estimée comme satisfaisante.

1.2.2.4. 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.

1.2.2.5. Approvisionnement des composants

Le titulaire assure la traçabilité jusqu'au chantier de l'ensemble des composants du procédé en commercialisant un système complet. L'approvisionnement des composants via un seul fournisseur permet de s'assurer d'une maîtrise des risques notamment électriques, suffisante pour éviter la fourniture de composants incompatibles.

1.2.2.6. Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé photovoltaïque effectuée par des installateurs agréés *(avertis des particularités de pose de ce procédé grâce à une formation obligatoire à l'issue de laquelle est délivrée une attestation de formation nominative, disposant de compétences en couverture 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 professionnelle pour la pose de procédés photovoltaïques)* et systématiquement accompagnés par la société Sunstyle International lors de leur premier chantier permet d'assurer une bonne réalisation des installations.

Le mode constructif et les dispositions de mise en œuvre relèvent de techniques classiques de mise en œuvre en couverture. Il est néanmoins nécessaire d'apporter une attention et une précision certaine concernant le calepinage des lattes métalliques.

1.2.3. Prescriptions Techniques

1.2.3.1. Prescriptions communes

Les entreprises de mise en œuvre doivent bénéficier d'une qualification ou certification professionnelle délivrée par un organisme accrédité par le Cofrac ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation. Cette qualification ou certification professionnelle doit correspondre aux types de travaux effectués, à la puissance de l'installation et, pour des projets relevant de l'obligation d'achat, respecter les critères fixés par l'arrêté tarifaire correspondant.

Ce procédé ne peut être utilisé que pour le traitement des couvertures de formes simples, ne présentant aucune pénétration sur la surface d'implantation du procédé photovoltaïque.

Avant chaque projet, le devoir de conseil de l'installateur lui impose de sensibiliser le maître d'ouvrage à la nécessité d'une reconnaissance préalable de la toiture afin de vérifier la capacité de la charpente à accueillir le procédé photovoltaïque, la présence ou non d'un écran de sous-toiture en bon état et que les charges admissibles sur la toiture ne sont pas dépassées du fait de la mise en œuvre du procédé.

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 sens des NV65 modifiées*), au regard des contraintes maximales admissibles du procédé.

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

- en bois, conformément à la norme NF EN 1995-1-1/NA. Dans ce cas, les valeurs limites à prendre en compte pour les flèches sont celles figurant à l'intersection de la colonne "Bâtiments courants" et de la ligne "Éléments structuraux" du Tableau 7.2 de la clause 7.2(2) de la norme NF EN 1995-1-1/NA,
- en acier, conformément à la norme NF EN 1993-1-1/NA. Dans ce cas, les valeurs limites maximales à prendre en compte pour les flèches verticales sont celles de la ligne "Toiture en général" du Tableau 1 de la clause 7.2.1(1)B de la norme NF EN 1993-1-1/NA.

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 et guides UTE C 15-712.

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.

L'installateur recommandera de réaliser l'entretien et la maintenance en s'inspirant de la norme NF EN 62446-2:2020.

1.2.3.2. Prescriptions techniques particulières

1.2.3.2.1. Livraison

Le système de traçabilité du titulaire permet de tracer les livraisons, de la production jusqu'aux chantiers livrés, des éléments suivants :

- dénomination commerciale du procédé photovoltaïque,
- référence de l'Avis Technique,
- date de mise en œuvre de l'installation,
- nom du maître d'ouvrage,
- adresse ou coordonnées GPS du site de l'installation,
- nom de l'entreprise d'installation,
- nature de bâtiment : résidentiel individuel/collectif, industriel, agricole, tertiaire,
- référence et numéros de série des modules photovoltaïques.

La notice de montage et la notice de câblage doivent être fournies avec le procédé.

L'installateur doit prévoir :

- La vérification visuelle que les emballages des modules photovoltaïques sont intacts à réception sur site.
- La vérification visuelle que les modules photovoltaïques sont intacts au déballage.
- La vérification de la conformité des kits avec le système de montage aux bons de commandes.
- À la réception des fournitures, un autocontrôle du choix des fixations.

1.2.3.2.2. Installation électrique

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

1.2.3.2.3. Mise en œuvre

Les règles de mise en œuvre décrites au Dossier Technique et les dispositions mentionnées au §1.2.2.2.2 "Stabilité" doivent être respectées.

Le montage doit impérativement être réalisé au-dessus d'un écran de sous-toiture : si cet écran n'est pas présent sur la toiture, il est obligatoire d'en ajouter un. Dans ce cas, cet écran de sous-toiture doit être conforme aux préconisations du Dossier Technique et sous certification conforme au Dossier Technique (cf. §2.5.2 : sous certification "QB25" avec un classement W1 avant et après vieillissement selon la norme NF EN 13859-1). Il doit être mis en œuvre conformément aux dispositions définies dans le DTU 40.29 et complétées par les indications du Dossier Technique (cf. §2.10.5.1).

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 agrées par la société Sunstyle International.

En cas de bris de glace ou d'endommagement d'un module photovoltaïque, un bâchage efficace doit être assuré et un remplacement de ce module défectueux réalisé dans les plus brefs délais.

1.2.3.2.4. Assistance technique

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

1.2.3.3. Modules photovoltaïques

Au moment de la commande des modules photovoltaïques pour un chantier donné, le Maître d'Ouvrage et son installateur doivent s'assurer que la gamme de modules correspondante fait partie des gammes de modules présentes dans la grille de vérification de l'Avis Technique utilisé. Le n° de la grille de vérification à utiliser doit comporter le n° de l'Avis Technique.

La grille de vérification à utiliser doit être la version la plus récente se rapportant à cet Avis Technique. La grille porte alors un n° du type 21/Gn/21-77_V2 indiquant qu'il s'agit de la n^{ème} version de la grille. La version la plus récente de la grille de vérification est celle publiée sur le site de la CCFAT.

Appréciation globale

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

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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.

Comme pour l'ensemble des procédés de ce domaine :

- 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 sens des NV65 modifiées*), au regard des contraintes maximales admissibles du procédé,
  - une reconnaissance préalable de la charpente support vis-à-vis de sa capacité à accueillir le procédé photovoltaïque et de la présence ou non d'un écran de sous-toiture.
- Une attention particulière doit être apportée à la mise en œuvre afin de ne pas perturber la ventilation naturelle de la toiture.

Comme tous les procédés de couverture, les ancrages des lignes de vie ne doivent pas être effectués dans les lattes métalliques ou platelages mais dans la structure porteuse.

Dans les zones de toiture avec accumulation de neige au sens des NV 65 modifiées, il faut être attentif à ce que la charge de neige ne dépasse pas la charge admissible du 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 ces guides.

Cet Avis Technique est assujetti à une vérification des modules photovoltaïques acceptés pour cet Avis Technique. Les modules photovoltaïques qui peuvent être associés à cet Avis Technique sont listés dans la grille de vérification des modules en cours de validité, téléchargeable sur le site de la CCFAT à la page de la fiche détaillée de l'Avis Technique 21/21-77_V2.

2. Dossier Technique

Issu du dossier établi par le titulaire

2.1. Données commerciales

2.1.1. Coordonnées

Titulaire :

Sunstyle International
140 avenue des Champs Élysées
FR – 75008 PARIS
Tél. : +33 (0)1 47 66 09 90
Email : contact@sunstyle.com
Internet : www.sunstyle.com

2.2. Description

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toiture complète, sur pannes métalliques ou en bois (recevant traditionnellement de grands éléments de couverture - *tout type de plaques métalliques ou plaques fibres-ciment)*.

Il est destiné à la réalisation d'installations productrices d'électricité solaire.

Il intègre :

- des modules photovoltaïques dont les références et les puissances sont indiquées dans la grille de vérification des modules en cours de validité, téléchargeable sur le site de la CCFAT à la page de la fiche détaillée de l'Avis Technique 21/21-77_V2,
- un système de montage permettant une mise en œuvre en toiture des modules carrés par chevauchement des diagonales.

La mise en œuvre est associée à un écran souple de sous-toiture.

2.3. Domaine d'emploi

- Utilisation en France métropolitaine :
  - sauf en climat de montagne caractérisé par une altitude supérieure à 900 m,
  - uniquement au-dessus de locaux à faible ou moyenne hygrométrie (*au sens de l'annexe B3 du DTU 40.36*) sans agression chimique ou biologique.
- Mise en œuvre :
  - sur toitures inclinées de bâtiment neuf ou existant y compris stabulation, ne présentant aucune pénétration (*cheminées, sorties de toiture, fenêtres de toit…*) sur la surface d'implantation des modules photovoltaïques,
  - sur toitures isolées ou au-dessus de combles perdus,
  - exclusivement sur pannes métalliques ou bois (recevant traditionnellement de grands éléments de couverture - *tout type de plaques métalliques ou plaques fibres-ciment)*, disposant des caractéristiques minimales suivantes :
    - □ pannes d'acier S235 laminées : épaisseur 3 mm minimum, largeur d'appui 40 mm minimum,
    - □ pannes d'acier S235 minces profilées à froid de type "Z", "C" ou autre : épaisseur 2 mm minimum, largeur d'appui 120 mm minimum, largeur d'aile supérieure à 56 mm,
    - □ pannes bois : hauteur 80 mm minimum, largeur d'appui 60 mm minimum,
  - au-dessus d'un écran souple de sous toiture.
- La toiture d'implantation doit présenter les caractéristiques suivantes :
  - un entraxe maximum entre pannes de 2,10 m en partie courante,
  - un entraxe maximum entre la panne sablière et la première panne courante de 1,8 m,
  - un débord de toiture maximum de 0,3 m,
  - une seule pente, imposée par la toiture, supérieure à 27% (15°) et inférieure à 173% (60°).
- Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :
  - en mode "chevauchement des diagonales",
  - en toiture complète du faîtage à l'égout sur un même pan de couverture,
  - sur des longueurs de rampants de toiture de 8 m maximum en projection horizontale,
  - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous neige normale (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1 492 Pa,
  - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous vent normal (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1 333 Pa.
- En fonction des matériaux constitutifs du procédé, le Tableau 1 précise les atmosphères extérieures permises.

2.4. Éléments constitutifs

Le procédé photovoltaïque "Sunstyle Acier" est l'association d'un module photovoltaïque non cadré (cf. Figure 1) et d'un système de montage spécifique (cf. Figure 3) lui permettant une mise en œuvre en toiture.

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

2.4.1. Modules photovoltaïques

Cet Avis Technique est assujetti à une vérification des modules photovoltaïques acceptés pour cet Avis Technique. Les modules photovoltaïques qui peuvent être associés à cet Avis Technique sont listés dans la grille de vérification des modules en cours de validité, téléchargeable sur le site de la CCFAT à la page de la fiche détaillée de l'Avis Technique 21/21-77_V2.

La BOM (Bill Of Materials) de chaque gamme de modules et donc les références de tous les composants est rendue disponible au secrétariat de la Commission Chargée de Formuler les Avis Techniques.

Les gammes de modules valides sont indiquées dans la grille de vérification associée à cet Avis Technique (cf §1.2.3.3).

Les caractéristiques génériques des modules photovoltaïques inclus dans cet Avis Technique sont les suivantes :

2.4.1.1. Caractéristiques dimensionnelles

- Longueur de : 870 mm,
- Largeur de : 870 mm,
- Masse spécifique de : 15,8 kg/m^2.

2.4.1.2. Face arrière

Face arrière non verrière faisant partie de la BOM des modules validés.

2.4.1.3. Cellules photovoltaïques

Cellules en silicium cristallin faisant partie de la BOM des modules validés.

2.4.1.4. Intercalaire encapsulant

Référence faisant partie de la BOM des modules validés.

2.4.1.5. Vitrage

Verre imprimé trempé selon la norme EN 12150, faible teneur en fer.

2.4.1.6. Constituants électriques

2.4.1.6.1. Boîte de connexion

Une boîte de connexion est collée en sous-face du module et permet le raccordement aux câbles qui réalisent la connexion des modules.

Elle possède les caractéristiques minimales suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Indice de protection (connecté) : IP65,
- Tension de système maximum : 1 000 à 1 500 V DC entre polarités et avec la terre (cf. grille de vérification des modules),
- Certificat de conformité valide selon la norme IEC 62790:2014.
- La référence fait partie de la BOM des modules validés.

2.4.1.6.2. Câbles électriques

Les modules sont équipés de deux câbles électriques de 800 mm chacun dont la section est de 4 mm^2. Ces câbles se trouvent à l'arrière du module, en sortie de la boîte de connexion, et sont équipés de connecteurs adaptés.

Ces câbles ont les spécifications minimales suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Tension assignée : 1 000 à 1 500 V (cf. grille de vérification des modules),
- Certificat de conformité valide à la norme EN 50618:2014 ou IEC 62930:2017.
- La référence fait partie de la BOM des modules validés.

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, les guides UTE C 15-712 en vigueur et les spécifications des onduleurs *(longueur et section de câble adaptées au projet)*.

2.4.1.6.3. Connecteurs électriques

Connecteurs avec système de verrouillage et préassemblés en usine aux câbles des modules. Ces connecteurs ont les caractéristiques minimales suivantes :

- Indice de protection (connecté) : IP 65,
- Tension assignée de 1 000 à 1 500 V (cf. grille de vérification des modules),
- Certificat de conformité valide à la norme IEC EN 62852:2015,
- La référence fait partie de la BOM des modules validés.

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.

2.4.2. Modules factices (dummy)

2.4.2.1. Éléments non photovoltaïques

Afin de parachever la couverture, le procédé "Sunstyle Acier" comporte 15 modules factices (appelés aussi "dummy"). Ces éléments (cf. §2.4.2.2 et Figure 2) sont réalisés avec les mêmes composants (verre et éléments laminés) que le module photovoltaïque mais sans incorporation des cellules. Ils sont fabriqués dans la même usine que les modules photovoltaïques.

2.4.2.2. Description des 15 éléments verriers standards non photovoltaïques

- Dummy entier sans cellules photovoltaïques :

  Dummy à 4 côtés de même format que le module photovoltaïque soit 87 cm x 87 cm. Il comporte un trou de 16 mm dans son coin inférieur et un trou de 24 mm en partie supérieure (*sur la diagonale joignant les coins haut et bas*). Il est muni de 2 joints sur ses bords supérieurs. Il se substitue au module photovoltaïque en cas d'ombrage ou pour compléter la couverture à des fins d'homogénéité entre différents pans de toiture.

- Dummy bas petit :

  Dummy triangulaire de 40 cm de côté et 29 cm de haut avec un trou de 24 mm et des joints sur les côtés hauts. Il est mis en place sur la rive d'égout donc en partie basse de la couverture.

- Dummy haut petit :

  Dummy triangulaire de 40 cm de côté et 29 cm de haut avec un trou de 16 mm au niveau de l'angle rectangle de la tuile sans joints sur les côtés. Il est mis en place sur le faîtage donc en partie haute de la couverture.

- Coin bas grand gauche :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 67 cm de large et 76 cm de haut avec un trou de 16 mm au niveau de l'angle rectangle (en *partie basse*) et un trou de 24 mm (*en partie haute*). Il est muni de 2 joints sur les côtés hauts. Il est mis en place dans l'angle en bas à gauche de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Coin bas grand droit :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 67 cm de large et 76 cm de haut avec un trou de 16 mm au niveau de l'angle rectangle (en *partie basse*) et un trou de 24 mm (*en partie haute*). Il est muni de 2 joints sur les côtés hauts. Il est mis en place dans l'angle en bas à droite de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Coin haut grand gauche :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 67 cm de large hors tout et 76 cm de haut avec deux trous de 16 mm le long du bord de 76 cm. Le premier est au niveau de l'angle inférieur et le deuxième est situé 476 mm au-dessus le long du bord gauche. Ce coin est muni d'un joint sur un petit côté haut (21 cm). Il est mis en place dans l'angle en haut à gauche de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Coin haut grand droit :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 67 cm de large hors tout et 76 cm de haut avec deux trous de 16 mm le long du bord de 76 cm. Le premier est au niveau de l'angle inférieur et le deuxième est situé 476 mm au-dessus le long du bord droit. Ce coin est muni d'un joint sur un petit côté haut (21 cm). Il est mis en place dans l'angle en haut à gauche de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Coin bas petit gauche :

  Dummy à 4 côtés de format global triangulaire de 35 cm de large et 29 cm de haut hors tout avec un trou de 24 mm dans l'angle droit (*en bas à gauche*). Ce coin est muni de 2 joints sur ses bords supérieurs. Il est mis en place dans l'angle en bas à gauche de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Coin bas petit droit :

  Dummy à 4 côtés de format global triangulaire de 35 cm de large et 29 cm de haut hors tout avec un trou de 24 mm dans l'angle droit (*en bas à droite*). Ce coin est muni de 2 joints sur ses bords supérieurs. Il est mis en place dans l'angle en bas à droite de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Coin haut petit gauche :

  Dummy à 4 côtés de format global triangulaire de 35 cm de large et 29 cm de haut hors tout avec un trou de 16 mm dans sa pointe inférieure. Ce coin n'est pas muni de joint. Il est mis en place dans l'angle en haut à gauche de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Coin haut petit droit :

  Dummy à 4 côtés de format global triangulaire de 35 cm de large et 29 cm de haut hors tout avec un trou de 16 mm dans sa pointe inférieure. Ce coin n'est pas muni de joint. Il est mis en place dans l'angle en haut à droite de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Dummy bas :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 87 cm de large et 76 cm de haut avec un trou de 16 mm au milieu du côté bas et un trou de 24 mm (*en partie haute*). Il est muni de 2 joints sur les côtés hauts.

  Il s'agit d'un dummy entier dont l'angle inférieur a été supprimé.

  Il est mis en place sur la rive d'égout donc en partie basse de la couverture.

- Dummy haut :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 87 cm de large et 76 cm de haut avec 2 trous de 16 mm. Le premier est au milieu du côté haut et le deuxième se trouve dans l'angle inférieur (*en partie basse*). Il est muni de 2 joints (21 cm chacun) sur les côtés hauts.

  Il s'agit d'une dummy entier dont l'angle supérieur a été supprimé.

  Il est mis en place sur le faîtage donc en partie haute de la couverture.

- Dummy gauche :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 87 cm de côté et 123 cm de haut avec un trou de 16 mm dans le coin bas et un trou de 24 mm (*en partie haute*). Il est muni de 2 joints sur les côtés hauts.

  Il s'agit d'un dummy entier dont la partie gauche a été en supprimée.

  Il est mis en place sur la rive gauche de la couverture quand on fait face à celle-ci.

- Dummy droite :

  Dummy à 5 côtés de format global triangulaire de 87 cm de côté et 123 cm de haut avec un trou de 16 mm dans le coin bas et un trou de 24 mm (*en partie haute*). Il est muni de 2 joints sur les côtés hauts.

  Il s'agit d'un dummy entier dont la partie droite a été en supprimée.

  Il est mis en place sur la rive droite de la couverture quand on fait face à celle-ci.

2.4.3. Système de montage

Les éléments de ce système de montage sont commercialisés par projet suite au dimensionnement de la société Sunstyle International ou des installateurs agréés par Sunstyle International. Tout dimensionnement réalisé par un installateur agréé sera revu pour validation par Sunstyle International avant livraison.

2.4.3.1. Ensemble "support"

La structure "support" qui permet le soutien de l'ensemble de l'installation est constituée des éléments suivants (cf. Figure 2 et Figure 3) :

- Lattes métalliques munies de trous filetés par « flowdrill ».

  Ces lattes métalliques sont destinées à constituer en majeure partie la structure support sur laquelle viennent reposer les modules photovoltaïques ou éléments non énergisés.

  Les lattes métalliques sont des tubes, en acier inoxydable A2 ou A4 (cf. Tableau 1), de sections 40 x 40 mm et d'épaisseur 2 mm.

  Ces lattes métalliques peuvent être de différentes longueurs en fonction du nombre de modules sur le rampant. Elles peuvent atteindre une longueur maximale de 8 m sur commande spéciale et sont ordinairement limitées à 6 m de longueur. Elles sont munies d'emplacements filetés réalisés en usine par flowdrill. La précision d'implantation de ces emplacements filetés et du 1/10ème de mm.

  Le premier emplacement fileté en partant du bas des lattes métalliques est au minimum à 40 mm de l'extrémité de la latte.

  Le deuxième est situé à 954 mm du premier emplacement fileté si le calepinage prévoit la mise en place d'un dummy gauche, d'un dummy droite, d'un module photovoltaïque ou à 477 mm si le calepinage prévoit la mise en place d'un grand dummy bas, d'un coin bas grand gauche ou droit.

  Les emplacements filetés suivants sont espacés de 954 mm.

  Le dernier emplacement fileté (*en partie haute des dernières lattes métalliques du rampant de la couverture*) est à 477 mm de l'avant dernier dans le cas de la pose d'un coin haut grand droit ou gauche, à 954 mm dans le cas d'un dummy haut petit, d'un coin haut petit droit ou gauche et à 570 mm dans le cas d'un dummy haut.

  En fonction de la longueur du rampant un aboutage de deux lattes métalliques peut être nécessaire. Dans ce cas la latte métallique en partie basse du rampant sera munie en usine d'une éclisse à son extrémité haute.

  Les lattes métalliques sont fixées à chaque intersection de panne. Le maintien des lattes métalliques se fait par un point fixe (un seul par latte) et des cavaliers partout ailleurs. Le point fixe est réalisé par un perçage de 25 mm de diamètre en partie supérieure et un avant trou, à l'aplomb en partie inférieure, adapté au diamètre de la vis utilisée pour la fixation sur la panne. Lorsqu'aucun aboutage de lattes métalliques n'est nécessaire, le point fixe est effectué en partie haute de la latte. En cas d'aboutage de deux lattes métalliques, les points fixes seront positionnés de part et d'autre de l'éclisse.

  Dans le cas de pannes métalliques, la fixation des lattes métalliques peut être réalisée par des boulons-crochets de diamètre 6 mm minimum munis d'un filetage de 7 mm minimum (cf. §2.5.1 et

  Figure 4 – coupe CC). Un point fixe unique doit également être mis en œuvre pour ce type de fixation.

  Le plan de calepinage de la couverture avec le repérage des lattes métalliques est fourni à l'installateur par Sunstyle International. Les lattes métalliques sont marquées au moment de leur fabrication en accord avec le plan de calepinage afin de permettre leur identification sur le chantier.

- Éclisse

  Pour permettre l'aboutage de deux lattes métalliques entre elles, une éclisse en forme de U, en acier inoxydable A2 ou A4 (cf. Tableau 1), est utilisée. Elle est fixée en usine par 2 rivets en acier inoxydable A4 dans l'extrémité haute de la latte métallique inférieure. L'aboutage des deux lattes métalliques doit être réalisé au 1/5ème de la portée entre pannes.

- Cavalier

  Les cavaliers, en acier inoxydable A2 ou A4 (cf. Tableau 1), sont utilisés pour maintenir les lattes métalliques sur les pannes à chaque intersection lorsque la fixation à travers la latte n'est pas utilisée. Néanmoins une latte sera toujours fixée par une vis traversante à un endroit afin d'assurer un point fixe et un seul.

- Pièces de distance

  Les pièces de distance, en acier inoxydable 1.4305, sont vissées dans les flowdrills des lattes métalliques en appliquant un couple de serrage de 10 N.m.

  Ces pièces de distance existent en deux longueurs suivant le type de module (photovoltaïque ou dummy) à fixer en début et fin de rampant.

  Les pièces de distance courtes sont utilisées pour les dummy hauts et bas ainsi que pour les coins dans les angles. Elles ont une longueur totale de 28 mm avec un filetage M6 de 10 mm de long pour leur vissage dans les emplacements filetés.

  Les pièces de distance (« normales ») sont utilisées à tous les endroits où il y a deux modules (photovoltaïque ou dummy) superposés à fixer. Elles ont une longueur totale de 38 mm avec un filetage M6 de 10 mm de long pour leur vissage dans les emplacements filetés.

  Elles sont munies d'une empreinte hexagonale mâle SW8 et ont un corps cylindrique de diamètre extérieur de 10 mm.

- Pièces d'appui

  Ces pièces, en EPDM (dureté 60 degrés Shore A), permettent un appui souple des modules en évitant un contact direct entre le module et sa latte de fixation qui ne sont pas dans le même plan du fait de la pose en écaille des modules. Elles assurent une liberté de mouvement toute relative mais indispensable pour absorber les déformations des différents composants de la couverture. Enfin elles sont destinées à établir une étanchéité totale du canal de fixation.

  Comme les pièces de distance, les rondelles sont de 2 types.

  Les premières, dénommées « rondelles d'appui », sont de forme annulaire simple. Elles sont mises autour des pièces de distance courtes. Elles ont un diamètre intérieur de 10 mm pour parfaitement s'ajuster au diamètre des pièces de distance courtes, un diamètre extérieur de 30 mm et une hauteur de 18 mm.

  Les secondes, dénommées « anneaux d'appui », disposent d'une collerette qui s'insère dans le perçage haut du module et en dépasse légèrement. Le module est ainsi empêché de glisser et un contact verre (tranche du module) / acier (génératrice externe de la douille longue) est également évité. Ces anneaux d'appui ont une hauteur totale de 30 mm, une base de 10 mm de haut et un diamètre de 34 mm. La partie s'insérant dans la tuile a un diamètre de 25 mm avec un chanfrein sur les 5 mm supérieur afin de faciliter sa mise en place dans le trou de 24 mm du module.

- Pièce de protection du trou de 16 mm

  Lorsque la longueur du rampant de la toiture nécessite d'abouter des lattes métalliques et qu'un module (photovoltaïque ou tout dummy comportant 2 trous) est fixé sur deux lattes métalliques différentes, une pièce de protection doit être mise en place.

  Cette pièce, en EPDM (dureté 85 degrés Shore A), permet alors d'éviter un contact direct entre les bords du trou de 16 mm du module (photovoltaïque ou tout dummy comportant 2 trous) et le métal de la pièce de distance. Elle est installée en même temps que l'anneau d'appui précédemment décrit. Ses dimensions sont 10 mm de haut au total, un diamètre intérieur de 14 mm, un diamètre extérieur de 16 mm et elle comporte une collerette de 22 mm de diamètre et 1 mm d'épaisseur.

  Dans les autres cas, cette pièce n'est pas utilisée : les pièces de distance étant vissés dans les filetages positionnés en usine dans les lattes métalliques, leur écartement est défini de manière à éviter ce contact direct.

- « Ancres » d'étanchéité

  Ce joint à lèvres en EPDM de forme particulière rappelant une ancre de marine est destiné à assurer une étanchéité parfaite entre l'empilage en trois épaisseurs de quatre modules.

  Elles se positionnent sur les rondelles d'appui longues et viennent se caler entre les différentes surfaces des modules formant ainsi une barrière contre la pression et la succion à l'endroit de la jonction des quatre modules concernés.

  Elle a une hauteur de 196 mm et une largeur hors tout au niveau de la forme en ancre de 258 mm. La partie haute de l'ancre est percée d'un trou de diamètre 24 mm permettant sa mise en place et sa tenue lors du montage sur la rondelle d'appui haute.

- Joint d'étanchéité (EPDM) sur les bords hauts des tuiles

  Ce joint à 4 lèvres en EPDM de dureté 85 shore A est collé en usine sur les 2 bords supérieurs des modules (photovoltaïque ou dummy, avec une colle dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de formuler des Avis Techniques). Il permet d'assurer l'étanchéité de la couverture entre 2 modules se recouvrant directement.

  Ce joint fait 12 mm de large hors tout et 4 mm au niveau des lèvres externes. Les deux lèvres intérieures font 2,5 mm de haut et la partie plane fait 1,2 mm de haut.

- Vis à tête hexagonale SW8 à collerette (Acier inoxydable A4, filetage M6, classe 8.8) et rondelle (Acier inoxydable) avec joint d'écrasement (EPDM). Elle a une longueur sous la collerette de 30 mm et une longueur hors tout de 34 mm.

  Cette vis vient fermer l'assemblage de fixation et le rend étanche. Elle est serrée suivant un couple de 2 N.m (± 0,5 N.m) qui permet un écrasement léger du joint EPDM.

- Profils d'étanchéité faîtage (EPDM) et pince de maintien Solar Clip (Acier inoxydable)

  Ce profil d'étanchéité est clipsé sur le dernier rang de modules avant la mise en place d'un faîtage ventilé. Il permet d'assurer une barrière contre la remontée de l'eau entre ce dernier rang haut et l'ouvrage de faîtage de la même manière que les ancres forment une barrière contre la remontée de l'eau entre les modules.

  Le profil d'étanchéité comporte une partie en U pour le clipser sur le bord du dummy haut et une partie tubulaire qui est comprimée par les petits dummy hauts ou la bavette de faîtage mise en œuvre par le couvreur zingueur. Le U a une dimension de 15 mm x 15 mm et la partie tubulaire mesure également 15 mm de diamètre.

  Les pinces Solar Clip en inox viennent pincer l'ensemble dummy haut petit, profil d'étanchéité et dummy haut. Elles sont mises en place manuellement.

2.4.3.2. Ensemble "Abergements"/Éléments de finition

Les éléments d'abergement ne sont pas fournis par Sunstyle International.

Chaque projet est traité au cas par cas avec des cotes à adapter selon les installations. L'installateur couvreur / zingueur réalise lui-même les abergements de la même manière que pour une couverture de petits éléments (décrits dans les DTU de la série 40) et en respectant la base de conception et les cotes présentées dans le présent Avis Technique (voir ci-dessous).

Les tôles d'abergement peuvent être en cuivre, zinc, acier laqué, inox ou aluminium d'un RAL de la teinte des modules tout en respectant les contacts admissibles entre alliages comme indiqué dans les DTU de la série 40.4 et 40.36.

2.5. Autres éléments

La fourniture peut également comprendre des éléments permettant de constituer un système 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 :

2.5.1. Visserie

Pour la fixation des lattes métalliques ou des cavaliers du procédé Sunstyle Acier sur les pannes, la visserie utilisée doit avoir au minimum les spécifications techniques suivantes :

- Pour la fixation sur pannes bois : 2 vis à bois de diamètre 5,5 mm en acier inoxydable A2 (à chaque intersection) et de longueur d'ancrage minimale 50 mm ayant une résistance à l'arrachement Pk de 270 daN minimum selon la norme NF P 30-310 ou un tirefond de diamètre 5,5 mm en acier inoxydable A2 (à chaque intersection) et de longueur d'ancrage minimal de 50 mm ayant une résistance à l'arrachement Pk de 460 daN minimum selon la norme NF P 30-310.
- Pour la fixation sur pannes métalliques (pannes à chaud S235, d'épaisseur 3mm minimum) : une vis autoperceuse de 5,5 mm de diamètre en acier inoxydable A4 ayant une résistance à l'arrachement Pk de 452 daN minimum selon la norme NF P 30-310.
- Pour la fixation sur pannes minces de type "Z", "C" ou autre (pannes à froid S235, d'épaisseur 2mm minimum et largeur d'aile supérieure à 56 mm) : 2 vis autoperceuses de 5,5 mm de diamètre en acier inoxydable A4 ayant une résistance à l'arrachement Pk de 255 daN minimum selon la norme NF P 30-310. La fixation du point fixe doit être doublée par un cavalier afin d'avoir les deux vis nécessaires au maintien. La largeur d'appui sur ces pannes minces sera de 12 cm minimum.
- N.B. : des boulons-crochets (diamètre du fil de 6 mm minimum, diamètre du filetage de 7 mm minimum) peuvent également être utilisés pour fixer les lattes métalliques sur des pannes métalliques. Un point fixe unique doit être mis en œuvre.

2.5.2. Écran souple de sous-toiture

En cas d'absence d'écran de sous toiture, il convient d'en ajouter un sur la totalité du pan de couverture.

Il devra être de classement T_{R3} et sous certification « QB 25 » avec un classement W1 avant et après vieillissement selon la norme NF EN 13859-1. Il doit être mis en œuvre conformément aux dispositions définies dans le DTU 40.29 et complétées par les indications portées au § 2.10.5.1 du présent Dossier.

2.5.3. Closoir ventilé / bandes de rive / bandes d'égout

Ces éléments sont fournis et/ou réalisés par l'installateur couvreur/zingueur (cf. § 2.4.3.2).

Le faîtage ventilé peut être réalisé en utilisant des bandes de zinc d'épaisseur minimale de 0,5 mm, formées à façon afin de réaliser les bandes faitières. La longueur des bandes est limitée à 2 m (cf Figure 8).

Le recouvrement avec les modules doit être au minimum de 10 cm.

Les rives latérales et les égouts nécessitent la mise en œuvre de bandes en acier laqués, zinc, cuivre ou aluminium, formées à façon. L'épaisseur sera fonction de la distance entre appui tout en respectant une épaisseur minimale en fonction du matériau (cf. Tableau 2). Le type sera choisi en fonction de l'exposition atmosphérique.

2.5.4. Planches

Les planches, disposées sous les lattes métalliques, sont en bois résineux (*classe d'emploi 2 suivant le fascicule de documentation FD P20-651 et classement visuel ST II suivant la norme NF B 52-001-1*) avec une humidité inférieure à 20%.

Ces planches présentent au minimum une épaisseur de 20 mm et une largeur de 120 mm.

2.6. Conditionnement, étiquetage, stockage

2.6.1. Modules photovoltaïques

Les modalités de conditionnement (nombre de modules par emballage, nature de l'emballage, position des modules, séparateurs entre modules) des modules sont indiquées dans la grille de vérification des modules.

Les modules conditionnés ensemble sont obligatoirement de la même nature et de la même puissance.

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

Le stockage sur chantier peut s'effectuer à l'extérieur sous une bâche pour éviter d'exposer les modules aux projections des engins.

2.6.2. Ensemble support

Le système de montage est conditionné en fagots pour les lattes métalliques et par cartons pour la visserie et accessoires d'étanchéité sur palettes.

Lors de la livraison, une notice de montage et une liste des pièces contenues dans les colis sont fournies. La liste des pièces précise le nombre de chacune de celles-ci.

Le stockage sur chantier s'effectue sans condition particulière mais de façon à pouvoir préserver les éléments d'une exposition directe aux intempéries (*conservation du film plastique ou protection par bâche*).

2.7. Caractéristiques dimensionnelles

Les caractéristiques dimensionnelles des modules sont données dans la grille de vérification des modules.

Le système de montage des modules photovoltaïques est modulaire. De ce fait, il permet d'obtenir une multitude de champs photovoltaïques.

Les caractéristiques dimensionnelles des champs composés uniquement avec des produits verriers sont les suivantes :

Caractéristiques dimensionnelles des champs photovoltaïques (cf. Figure 11)	
Largeur du champ (mm)	(NbX - 1) x 700 + 120
Hauteur de champ (mm)	(NbY + 1) x 477 + 300
Poids au m² de l'installation (kg/m²)	19,5

Avec :

NbX : le nombre de module entier et de demi-module de rive dans le sens horizontal du champ photovoltaïque sur une même ligne perpendiculaire au sens de plus grande pente,

NbY : le nombre de module entier dans le sens de la pente du champ photovoltaïque (si NbY > 1, les modules sont sur deux rangs).

2.8. Caractéristiques électriques

2.8.1. Conformité à la norme NF EN 61215

Les modules cadrés ont été certifiés conformes à la norme NF EN 61215.

2.8.2. Sécurité électrique

Les modules ont été certifiés conformes à la classe II de sécurité électrique selon la norme NF EN 61730.

2.8.3. Performances électriques

Les puissances électriques des modules sont validées par les normes NF EN 61215 et NF EN 61730.

Dans les tableaux de la grille vérification des modules, les performances électriques actuelles des modules ont été déterminées par flash test et ramenées ensuite aux conditions STC *(Standard Test Conditions : éclairement de 1 000 W/m^2 et répartition spectrale solaire de référence selon la norme CEI 60904-3 avec une température de cellule de 25 °C)*.

2.9. Fabrication et contrôles

2.9.1. Modules photovoltaïques

La fabrication des modules photovoltaïques a été examinée dans le cadre de la vérification des modules. Les informations principales (*site(s) de fabrication, certification ISO 9001, tolérance sur le flash-test, mesure(s) par électroluminescence, inspection finale*) sont données dans la grille de vérification des modules.

2.9.2. Modules factices (dummy)

La fabrication des modules factices (dummy) est effectuée sur le même site de fabrication que les modules photovoltaïques, soit sur le site de la société VMH à Châtellerault en France, certifié ISO 9001:2008.

La fabrication de ces éléments non photovoltaïques diffère uniquement par l'absence de cellules entre le verre et les différentes couches d'encapsulant. Les contrôles (*hors cellules et flash test*) sont identiques à ceux du §2.9.1.

2.9.3. Composants du système de montage

La société Sunstyle International approvisionne les éléments du système de montage directement auprès de différents fournisseurs.

Les lattes métalliques (cf. §2.4.3.1) sont réalisées dans les ateliers de la société Laseris à Moncoutant (79320) en France. Les emplacements filetés sont usinés sur machine à commande numérique. Les distances entre les éléments filetés ont une précision d'implantation de ±0,1 mm. Les lattes métalliques sont numérotées par gravure suivant les plans de calepinage et d'aboutage. Les caractéristiques de la matière sont vérifiées à chaque lot commandé. Les caractéristiques dimensionnelles (position des trous "flowdrill", diamètre, longueur) sont vérifiées toutes les 50 à 100 pièces suivant les volumes de production.

Les « ancres » d'étanchéité, les rondelles d'appui, les anneaux d'appui et les pièces de protection du trou de 16 mm sont fabriquées par la société Labbe CCM (95150) TAVERNY. Lors de la fabrication, des contrôles sont effectués par batch de

production. Toutes les pièces sont contrôlées visuellement. Un contrôle dimensionnel est réalisé toutes les 1000 ancres d'étanchéité, tous les 250 anneaux d'appui et toutes les 32 rondelles d'appui.

Les pièces de distance sont fabriquées par la société Dama SAS (74300) CLUSES. Lors de la fabrication, des contrôles sont effectués toutes les 50 pièces.

Les vis de fixation et les joints de vis sont fabriqués par la société Visserie Service (72300) PACE SUR SARTHE. Lors de la fabrication, des contrôles sont effectués toutes les 100 pièces.

Les profils d'étanchéités du faîtage et les joints d'étanchéités des modules Sunstyle sont fabriqués par la société Labbe CCM domiciliée en France. Lors de la fabrication, des contrôles sont effectués par batch de production. Un contrôle visuel de 3,5 mètres sur 1000 mètres de profils fabriqués est réalisé à chaque changement de bobine en sortie d'extrusion. Un contrôle dimensionnel de 3,5 mètres sur 1000 mètres de profils fabriqués est réalisé en milieu de production.

2.10. Mise en œuvre

2.10.1. Généralités

Le procédé est livré avec la notice de montage des modules et un plan de calepinage fourni par le bureau d'études de Sunstyle International. À la demande de l'installateur, il est aussi fourni avec les cahiers des charges de fabrication des abergements et un plan de câblage.

Avant chaque projet, une reconnaissance préalable de la toiture doit être réalisée à l'instigation du maître d'ouvrage afin de vérifier la capacité de la charpente à accueillir le procédé photovoltaïque, la présence ou non d'un écran de sous-toiture et que les charges admissibles sur la toiture ne sont pas dépassées du fait de la mise en œuvre du procédé.

La mise en œuvre du procédé ne peut être réalisée que pour le domaine d'emploi défini au *§ 2.3*.

Elle doit impérativement être réalisée au-dessus d'un écran de sous-toiture (cf. § 2.10.5.1).

Les modules photovoltaïques peuvent être connectés en série, parallèle ou série/parallèle.

2.10.2. Compétences des installateurs

La mise en œuvre du procédé doit être assurée par des installateurs ayant été formés et agréés par la société Sunstyle International (*cf. § 2.11*).

Les compétences requises sont de 2 types :

- Compétences en couverture complétées par une qualification et/ou certification pour la pose de procédés photovoltaïques : mise en œuvre en toiture.
- Compétences électriques complétées par une qualification et/ou certification pour la pose de procédés (habilitation "B1T" ou "BP" pour le raccordement des modules, habilitation "B2T" pour le branchement aux onduleurs…).

2.10.3. 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.

Les risques inhérents à la pose de modules photovoltaïques et les dispositions à prendre lors de la conception, de la préparation et de l'exécution du chantier sont décrits dans la fiche pratique de sécurité ED 137 publiée par l'INRS.

2.10.4. Spécifications électriques

2.10.4.1. Généralités

L'installation doit être réalisée conformément aux documents en vigueur suivants : norme NF C 15-100 et guides UTE C 15-712.

Tous les travaux touchant à l'installation électrique doivent être confiés à des électriciens habilités (cf. *§.2.10.2*).

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 1 000 à 1 500 V *(liée à la classe II de sécurité électrique)*.

2.10.4.2. Connexion des câbles électriques

Le schéma de principe du câblage est décrit en Figure 12 dans le cas d'une configuration avec un ou plusieurs onduleurs strings ou centraux et en Figure 13 dans le cas d'une configuration avec des micro-onduleurs (Figure 14).

La connexion et le passage des câbles électriques s'effectuent sous le système de montage des modules : ils ne sont donc jamais exposés au rayonnement solaire.

- Liaison intermodules et module/onduleur

  La connexion des modules se fait au fur et à mesure de la pose des modules (du bas vers le haut) avant leur fixation.

  Si besoin, la liaison entre les câbles électriques des modules et les câbles électriques supplémentaires (*pour le passage d'une rangée à une autre ou pour la liaison des séries de modules 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'un module à un autre ou d'une ligne de modules à une autre, le passage des câbles s'effectue en passant entre les lattes métalliques et les tuiles.

Pour la connexion d'un module à un autre ou d'une ligne de modules à une autre, le passage des câbles s'effectue en passant entre les lattes métalliques et les modules Sunstyle ou sous les lattes métalliques et au-dessus des pannes.

Les câbles reliant plusieurs modules sont réunis afin de ne pas créer de boucles d'induction conformément au guide UTE C 15-712. Ils sont par ailleurs sécurisés sur les lattes métalliques les plus proches de manière à ne pas venir en contact avec l'écran souple de sous-toiture et de manière à ne pas créer de tension au niveau des boites de jonction des modules. La sécurisation sera faite au plus proche des connecteurs. Pour ce faire des colliers de serrage résistant aux UV peuvent être utilisés.

- Câbles de liaison équipotentielle des masses

  Le procédé photovoltaïque étant composé de modules non cadrés et de pièces d'appui en EPDM (*rondelles de support*), il n'y a pas de liaison équipotentielle des masses.

- Passage des câbles à l'intérieur du bâtiment

  Le passage des câbles vers l'intérieur du bâtiment doit être réalisé sans rompre l'étanchéité.

  Il peut être réalisé entre deux lés d'écran souple de sous-toiture de manière à ne pas le percer. Dans ce cas, un recouvrement minimal de 100 mm à 200 mm doit être respecté en fonction de la pente de la toiture. Dans le cas où le passage entre deux lés est impossible, des entailles doivent être réalisées dans l'écran souple de manière à créer des passages de diamètre inférieur à celui des câbles. Après le passage des câbles, une bande adhésive *(compatible avec l'écran souple de sous-toiture considéré)* doit être posée autour des entailles. Dans tous les cas, il est nécessaire de se reporter au DTU 40.29 et à la certification relative à l'écran souple de sous-toiture considéré.

L'ensemble des câbles doit ensuite être acheminé dans des gaines techniques ou des chemins de câbles difficilement inflammables repérés et prévus à cet effet conformément aux prescriptions des documents en vigueur suivants : norme NF C 15-100, guides UTE C 15-712 (*limitation des boucles induites, cheminements spécifiques et distincts…).*

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

2.10.5. Mise en œuvre en toiture

2.10.5.1. Conditions préalables à la pose

La mise en œuvre doit impérativement être réalisée au-dessus d'un écran de sous-toiture (cf § 2.5.2) afin d'évacuer jusqu'à l'égout la condensation pouvant se créer sous les modules. Dans le cas d'une toiture neuve ou d'une toiture existante ne disposant pas d'écran de sous-toiture, cet écran de sous-toiture doit être mis en œuvre sur tout le pan de toiture accueillant le champ photovoltaïque (par conséquent, il débouche à l'égout). La pose de cet écran doit se faire conformément aux dispositions définies dans le DTU 40.29.

En particulier, l'écran doit être posé tendu sur des éléments filants dans le sens de la pente sous les lattes métalliques. Ces éléments filants sont des planches en bois de 20 mm de hauteur minimum pour assurer la ventilation de la lame d'air sous l'écran souple de sous-toiture et 120 mm de largeur minimum pour assurer le bon positionnement des cavaliers de fixation des lattes. Cette mise en œuvre est représentée aux

Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8 et Figure 9.

Avant toute implantation, il est nécessaire de vérifier que l'entraxe entre pannes ne dépasse pas 2,10 m.

2.10.5.2. Préparation de la toiture

Il convient en premier lieu de vérifier la répartition et les dimensions hors tout du procédé sur la toiture et de découvrir la totalité des éléments de couverture existants.

La surface idéale pour l'implantation du procédé photovoltaïque doit posséder les dimensions indiquées dans le §2.7 auxquelles il faut ajouter les dimensions des abergements.

Par ailleurs, puisque le procédé dispose d'éléments de couverture non énergisés pour réaliser les coins et bords de la toiture, il convient de procéder à une étude préalable du plan de couverture et d'établir un calepinage afin de définir les éléments qui devront être utilisés.

Il convient de reconstituer les orifices de ventilation dont les sections totales doivent être assurées par la mise en œuvre de techniques traditionnelles ou d'éléments de couverture sous avis technique. La lame d'air située au-dessous de la couverture doit avoir une épaisseur minimale de 20 mm et doit être continue de l'égout au faîtage. La section totale (*entrées et sorties*) des orifices de ventilation de cette lame d'air devra être de 1/500 de la surface projetée de la couverture, répartie par moitié à l'égout et au faîtage. Elle sera limitée à 400 cm² par mètre linéaire. Ces sections de ventilation peuvent être réalisées en mettant en œuvre un closoir ventilé au faîtage (cf §2.5.3) et en ménageant un espace entre le larmier et la gouttière à l'égout. Un exemple de réalisation est présenté aux Figure 6, Figure 8, Figure 9.

2.10.5.3. Calcul de l'effort au point fixe

La composante tangentielle des charges permanentes (poids propre + neige) sur une latte métallique est donnée par la formule ci-après. Par simplification la composante tangentielle au droit de la latte de rive sera calculée de la même manière.

Cette charge tangentielle a pour valeur :

$T = (g + s \times \cos \alpha) \times \sin \alpha \times L \times 0,7$, avec :

- T : charge tangentielle au point fixe (en daN) ;
- g : poids propre du système Sunstyle Acier (20 daN/m²) ;
- s : charge de neige maximale entre la charge extrême et la charge accidentelle de neige selon les Règles NV 65 modifiées (en daN/m²) ;
- α : pente de la couverture (en degré) ;

- L : longueur de la latte métallique pour laquelle est calculée la charge au point fixe (en mètre) ;
- 0,7 : entraxe des lattes métalliques du système Sunstyle Acier (en mètre).

À noter que la charge sur le point fixe est indépendante de sa position.

Cette charge doit être prise en compte par le charpentier dans la vérification des pannes et leur stabilisation.

2.10.5.4. Pose en partie courante de toiture

2.10.5.4.1. Positionnement de la première latte métallique

La première latte métallique est positionnée d'un côté du toit. La distance minimale entre l'axe de cette latte métallique et le côté latéral du toit est de 60 mm afin que les modules Sunstyle ne dépassent pas du nu du toit. La distance maximale est dictée par le rendu esthétique de la taille de la bande de zinc que le couvreur zingueur devra mettre en œuvre pour couvrir l'espace entre cette première latte métallique et le bord de la toiture. Cette première latte métallique doit être alignée perpendiculairement à l'égout.

Dès que l'alignement est correct, la latte métallique doit être fixée à chaque intersection de panne soit par une fixation traversante (création d'un seul point fixe par latte), soit par des cavaliers (

Figure 4 et Figure 5). Les vis utilisées sont adaptées au type de panne (cf. §2.5.1).

Lorsque la longueur du rampant est supérieure à la longueur de la latte métallique, celle-ci est munie en usine d'une éclisse (cf. §2.4.3.1) et est aboutée avec une latte métallique complémentaire en laissant un espacement de 2 mm entre les deux lattes métalliques (Figure 10). L'aboutage des deux lattes métalliques doit être réalisé au 1/5ème de la portée entre pannes. Les points fixes des lattes métalliques sont alors disposés de part et d'autre de l'éclisse. Pour mémoire il n'est possible d'abouter que deux lattes métalliques bout à bout.

2.10.5.4.2. Pose et alignement du lattage, mise en place du larmier

Étape 1 :

La latte métallique suivante est placée parallèlement à la précédente.

Elles ont un entraxe de 700 mm.

Le type de latte métallique est indiqué sur le plan d'exécution tiré du calepinage de la couverture et doit être suivi précisément.

Étape 2 :

La nouvelle latte métallique est alignée parallèlement à la précédente et à la ligne du toit puis fixée avec les vis ou systèmes spécifiques (cf. §2.5.1).

Cette procédure est répétée pour l'ensemble de la largeur du toit. L'alternance correcte des deux types de latte métallique doit être assurée (cf. Figure 15 étape 2).

Les lattes métalliques commencent toutes en partie basse par un emplacement fileté implanté au minimum à 40 mm de leur bord. Le deuxième emplacement fileté est situé à 477 mm du premier lorsque le premier module est un coin bas grand ou un dummy bas et à 954 mm lorsque le premier module est un coin bas petit ou un dummy bas petit. Cela définit les 2 types de lattes métalliques qu'il est possible de trouver en partie basse : le type 1 avec les 2 premiers emplacements filetés espacés de 477 mm et le type 2 avec les 2 premiers emplacements filetés espacés de 954 mm.

Étape 3 :

Le couvreur prépare la partie basse des lattes métalliques avec les fixations de la gouttière et la mise en place de l'écran souple de sous-toiture dans celle-ci. Il place sur les nus supérieurs des lattes métalliques un feutre d'interposition qui évitera un contact direct entre le larmier et les lattes métalliques en acier inoxydable.

Étape 4 :

Le larmier posé sur les lattes métalliques est percé au droit des emplacements filetés pour former un trou de 12 mm de diamètre et ainsi donner accès aux emplacements filetés inférieurs. Ce diamètre 12 mm permet d'éviter tout contact permanant entre le larmier et les pièces de distance. Ainsi tout couple électrochimique est évité et ce quel que soit le métal utilisé pour confectionner le larmier.

2.10.5.4.3. Pose des éléments de fixation et des rondelles d'appui

Les pièces de distance doivent être vissées dans les emplacements filetés des lattes métalliques.

Cette opération est répétée pour chaque emplacement fileté des lattes métalliques.

En partie basse de la couverture, les pièces de distance courtes sont utilisées uniquement pour les « coins bas grands » et les « dummy bas » (dummy *avec un trou de 16mm, un trou de 24 mm et des joints à lèvre sur les côtés formant un angle droit*). Il convient donc de positionner ces pièces de distance courtes en premier en tenant compte du calepinage de la couverture et des modules reçus pour faciliter le repérage ; un coin bas grand gauche entraine la mise en place d'une pièce de distance courte dans le premier emplacement fileté en bas de la première latte à gauche de la toiture.

Un autre moyen de repérage est la distance entre les deux premiers emplacements filetés. Si cette distance est de 477 mm alors le premier emplacement fileté (*le plus bas*) doit recevoir une pièce de distance courte.

Il est ensuite possible de mettre en place les pièces de distance (*de longueur normale*) dans les premiers et deuxièmes emplacements filetés de chaque latte. À l'égout, il y a obligatoirement une alternance entre pièce de distance courte et pièce de distance de longueur normale.

Le serrage de la pièce de distance doit être réalisé avec une clé dynamométrique ou une visseuse avec une limitation de couple réglée sur 10 N.m ou à la main afin de limiter le couple de serrage.

Une fois que les pièces de distance sont en position, les rondelles d'appui peuvent être mises en place sur les pièces de distance courtes (cf. Figure 15 – étape 3).

La pose du premier rang de modules peut débuter.

2.10.5.4.4. Pose des modules factices de rive en bas

La pose commence toujours par les modules d'égout comme dans une couverture traditionnelle puisqu'ils seront ensuite recouverts par les modules situés plus haut sur le rampant.

Les premiers modules qui sont mis en place sont ceux qui ne seront pas posés sur des « pièces de distance courtes » mais sur des pièces de distance de longueur normale. Ce seront donc les « coins bas petits » et/ou les « dummy bas petits ».

L'exemple de couverture détaillé en Figure 15 montre une couverture munie de « coins bas grand ». C'est pourquoi les premiers modules posés sont des éléments de rive "dummy bas petit". Ces premiers modules sont à équiper d'un anneau d'appui dans leur unique trou de diamètre 24 mm et sont à placer sur les pièces de distance des lattes métalliques correspondantes (cf. Figure 15 – étape 4).

Cette procédure est répétée pour chaque position.

En suivant, les éléments « coin bas grand » et « dummy bas » sont équipés d'un anneau d'appui dans leur trou supérieur de diamètre 24 mm et placés sur la rive basse du toit en recouvrement des « dummy bas petits » déjà posés.

Par la suite, chaque dummy bas est placé sur le lattage.

Les éléments sont ainsi ajustés jusqu'à ce que la ligne basse de la couverture photovoltaïque forme une ligne homogène (cf. Figure 15 – étape 5).

Une ancre d'étanchéité est placée sur chaque dummy bas petit (cf. Figure 15 – étape 6).

Les deux ailes doivent être glissées sous les dummy bas voisins en contact avec les joints du dummy bas petit.

Chaque dummy bas peut ensuite être fixé en serrant le point bas avec une vis de fixation et son joint de vis. Les vis de fixation sont serrées au couple de 2 N.m (± 0,5 N.m) ce qui assure un écrasement notable mais non excessif du joint de vis. Ce serrage amène également la mise en compression des anneaux et rondelles d'appuis sur le larmier et empêche ainsi toute infiltration dans le cas où de l'eau remonterait au-delà de 40 mm sous le bord de la couverture par l'action du vent ou de façon naturelle sous la sous-face du module lorsque la pente de la couverture est faible.

Il est alors possible de passer au rang supérieur et de mettre en place les pièces de distance. À ce stade et ce jusqu'au dernier emplacement fileté au niveau du faîtage il ne doit pas y avoir de pièce de distance courte.

2.10.5.4.5. Pose des modules photovoltaïques

Avant la pose du module, l'anneau d'appui doit être correctement placé dans la grande ouverture.

Il est important que la surface de l'anneau soit sur la face arrière du module comme indiqué sur la Figure 15 (étape 7).

Nota : lorsque le module est fixé sur des lattes métalliques aboutées, une pièce de protection du trou de 16 mm doit également être mise en place de la même manière que l'anneau d'appui.

Les modules photovoltaïques sont ensuite placés avec leur anneau d'appui et éventuellement leur pièce de protection du trou de 16 mm sur les pièces de distance. La petite ouverture du module photovoltaïque doit être centré sur la pièce de distance courte et serrée avec une vis de fixation et son joint de vis (cf. Figure 15 – étape 8).

Une clé dynamométrique ou une visseuse réglée sur un couple de 2 N.m (± 0,5 N.m) doit être utilisée pour fixer la vis à tête hexagonale.

Dès que le module est fixé, il peut être branché électriquement avec le module voisin.

En suivant, une ancre d'étanchéité doit être placée sur chaque coin haut des modules photovoltaïques.

Les parties latérales (rives) de la couverture photovoltaïque sont terminées par des coins droit ou gauche installés suivant la même procédure (cf. Figure 15 – étape 9) à la différence que l'ancre d'étanchéité doit être coupée le long de la rive de toit.

La procédure décrite est répétée jusqu'à la partie haute du toit (cf. Figure 15 – étape 10).

2.10.5.5. Pose aux abords des extrémités de toiture

2.10.5.5.1. À l'égout

La méthodologie de pose des modules à l'égout ne diffère pas de celle en partie courante. Il faut cependant réaliser la préparation décrite aux étapes 3 et 4 du §2.10.5.4.2. Le larmier doit présenter une face verticale à l'aplomb de la rive basse des éléments Sunstyle. Il doit également être suffisamment éloigné de la gouttière pour ménager une section de ventilation suffisante. La Figure 6 illustre une possibilité de mise en œuvre.

2.10.5.5.2. Aux rives

Un exemple de traitement des rives est détaillé sur la Figure 7. Une rive formée par le bardage du bâtiment dont le nu supérieur est à 90 mm au-dessus du plan supérieur de la couverture en éléments Sunstyle vient en protection latérale d'une bande de rive mise en place sur la latte métallique de la même façon que le larmier à l'égout. Cette rehausse est protégée des intempéries par une bavette de protection et une fermeture.

En fonction des dimensions de la toiture et du calepinage un canal d'eau latéral plus ou moins important (cf. par exemple les prescriptions du NF DTU 40.211 à cet égard) peut être ménagé par cette technique.

2.10.5.5.3. Au faîtage

Avant la pose des éléments de rive en haut, il faut s'assurer que les rondelles d'appui haut sont posées correctement (cf. Figure 15 – étape 11).

Après cette vérification, chaque dummy haut et grand coin peut être installé et fixé avec une vis et sa pièce d'étanchéité (cf. Figure 15 – étape 12).

Entre chaque dummy haut, une ancre d'étanchéité doit être posée.

Les éléments de rive « dummy haut petit » peuvent ensuite être fixés sur les places restantes comme des éléments normaux (cf. Figure 15 – étape 13).

Ensuite, une pince est enfilée sur chaque bord des éléments « dummy haut petit » pour les fixer avec les dummy hauts (cf. Figure 15 – étape 14).

Un faîtage ventilé, conforme au DTU 40.35, est utilisé et mis en place à partir de bandes de zinc ou d'aluminium façonnées et disposées avec un recouvrement de l'une sur l'autre comme sur les exemples des Figure 8 et Figure 9.

2.11. Formation

La société Sunstyle International impose aux installateurs du procédé 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 :

- Une formation théorique portant sur les spécificités du procédé,
- Une formation pratique sur maquette ou démonstration sur chantier.

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.

À l'issue de cette formation, la société Sunstyle International délivre une attestation de formation nominative.

La société Sunstyle International tient à jour une liste d'entreprises agréées par ses soins.

2.12. Assistance technique

Chaque client reçoit systématiquement une assistance technique de la part de la société Sunstyle International pour sa première installation photovoltaïque avec l'aide sur place d'un technicien pendant une journée.

La société assure ensuite sur demande une assistance technique téléphonique pour tous renseignements complémentaires.

Lorsque des cas particuliers d'installations se présentent, tant au niveau de la mise en œuvre des modules que des conditions d'implantation (*ombrages éventuels*), elle peut également apporter son assistance technique pour la validation de la solution retenue.

2.13. Utilisation, entretien et réparation

2.13.1. Généralités

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.

En cas d'intervention sur le procédé photovoltaïque nécessitant la dépose d'un module photovoltaïque, la procédure de déconnexion et de reconnexion électrique appliquée lors du remplacement d'un module doit être respectée (cf. § 2.13.4).

Il est impératif que les opérations de maintenance et de réparation soient effectuées par des intervenants qualifiés et habilités. Ces opérations requièrent des compétences en électricité et en couverture (cf. § 2.10.2).

2.13.2. Maintenance du champ photovoltaïque

Dans le cadre de l'entretien de la toiture au moins une fois par an (*après l'hiver ou avant l'été pour optimiser le rendement électrique, sinon selon les conditions environnementales du bâtiment d'implantation*) :

- Vérifier visuellement l'état d'encrassement des modules. Si ceux-ci sont sales, les nettoyer au jet d'eau (haute pression et jets concentrés interdits).
- Vérification de l'étanchéité : vérifier le bon état des différents éléments composant le système d'étanchéité, la libre circulation de l'eau dans les couloirs des abergements.
- Vérification des fixations : vérifier la présence et la tenue de l'ensemble de la visserie.

2.13.3. 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.

2.13.4. Remplacement d'un module

En cas de bris de glace 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.
- Le démontage du module Sunstyle à remplacer est réalisé en desserrant les vis de fixation du module supérieur et des modules voisins. Il est alors possible de dégager en la tirant vers le bas la tuile défectueuse, d'accéder aux connecteurs à débrocher et ainsi enlever la tuile.
- Lors du démontage, une attention particulière doit être portée à la qualité d'isolement des connecteurs débrochés. Ces connecteurs doivent être protégés avec des bouchons adaptés.
- Le montage du module de remplacement et sa connexion électrique seront réalisés dans l'ordre inverse du démontage (connexion des connecteurs, mise en place du module, mise en place de l'ancre d'étanchéité et serrage des vis de fixation du module supérieur et des modules voisins). Une attention particulière doit être apportée à la mise en place de l'ancre d'étanchéité.

- 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.

2.14. Résultats expérimentaux

- Les modules photovoltaïques ont été vérifiés par le CSTB selon les critères d'acceptation du présent Avis Technique. La liste des références et les puissances sont indiquées dans la grille de vérification des modules en cours de validité, téléchargeable sur le site de la CCFAT sur la page de la fiche détaillée de l'Avis Technique 21/21-77_V2 (voir § 1.2.3.3).
- Les modules photovoltaïques non cadrés Sunstyle Mxxx ont été testés selon les normes IEC 62716:2013 – essai de corrosion à l'ammoniac des modules photovoltaïques par le laboratoire TÜV Rheinland *(rapport d'essais n 21290558.001 et certificat n° PV 60146598).*
- Le module photovoltaïque non cadré Sunstyle M115 a été testé selon la norme IEC 60068-2-68:1994 – essais L poussière et sable - par le laboratoire TÜV Rheinland *(rapport d'essais n° 21248257.001 et déclaration n° 21248257).*
- Le module photovoltaïques non cadrés Sunstyle Mxxx ont été testés selon la norme IEC 61701:2011 – essai de corrosion au bouillard salin des modules photovoltaïques - par le laboratoire TÜV Rheinland *(rapport d'essais n° 21290557.001 et certificat n° PV 60146599).*
- Les joints collés sur les modules ont subi un vieillissement artificiel pendant 2500h selon ISO 4892-2 (méthode A – cycle 2) et testés au pelage selon la norme ISO 813 (rapport TÜV n°21250523.001).
- Les joints collés sur les modules ont subi un vieillissement artificiel pendant 2000h selon ISO 12543-4 et testés au pelage selon la norme NF 12316-2 (rapport CSTB n°21250523.001).
- Le procédé photovoltaïque a été testé par le CSTB selon la norme NF EN 12179 pour un essai de résistance à la pression du vent *(rapports d'essais FaCeT_20-0184-26086835)*.
- Le procédé photovoltaïque a fait l'objet d'une analyse d'étanchéité sous concomitance pluie / vent par le CSTB dans la soufflerie climatique Jules Verne à Nantes (rapport d'essai n°EN-CAPE 19.080 C – V1).
- Le procédé photovoltaïque a fait l'objet d'un test de performance à l'étanchéité sur le banc d'essais Moby Dick 2 par le CTMNC dans la soufflerie de Clamart (rapport d'essai n°2034019018-1).
- Le procédé photovoltaïque a fait l'objet d'une Etude et vérification de la résistance en zones sismiques par le CSTB (rapport d'étude DEB/F aCeT-20-679.
- Le procédé a fait l'objet d'un essai de choc sur verrière 1200 joules suivant le cahier CSTB 3228 (rapport d'essais CSTB n° DEB 21-04108).
- Une évaluation de la tenue en corrosion des lattes métalliques au niveau du filetage "flowdrill" a été réalisée par le CETIM (rapport N° CET0202761_PV_FINAL_01_a).

2.15. Références

2.15.1. Données Environnementales et sanitaires1

La grille de vérification associée à cet Avis Technique indique en fonction des gammes de module indiquées si le procédé « Sunstyle Acier » associé à chaque gamme de module dispose ou non d'une Déclaration Environnementale (DE) individuelle ou collective vérifiée par tierce partie indépendante.

Sans DE, le titulaire du procédé ne peut revendiquer aucune performance environnementale particulière.

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

2.15.2. Autres références

Le procédé photovoltaïque est fabriqué depuis juin 2006.

Environ 70 000 m^2 (environ 8 800 kWc) ont été commercialisés en France à ce jour.

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

2.16. Annexes du Dossier Technique

Note : Toutes les dimensions sont en millimètres (sauf indication contraire)

SOMMAIRE DES TABLEAUX

Tableau 1- Guide de choix des matériaux selon l'exposition atmosphérique 23
Tableau 2 – Guides épaisseurs minimales des bandes de rives selon le matériau utilisé.....23

Tableau 1- Guide de choix des matériaux selon l'exposition atmosphérique

Matériau	**Éléments du procédé concernés**	**Atmosphères extérieures directes**								
		Rurale	**Industrielle ou urbaine**		**Marine**			**Mixte**		**Agressive**
			Normale	Sévère	10 à 20 km du littoral	3 km à 10 km du littoral	< 3km du littoral	Normale	Sévère	
Acier inox A2	Pièces de distance	●	●	□	●	●	□	□	-	-
Acier inox A4	Vis à collerette	●	●	□	●	●	●	●	□	□
Acier inox A2	Lattes métalliques, éclisses, cavaliers	●	□	-	□	-	-	□	-	-
Acier inox A4	Lattes métalliques, éclisses, cavaliers	●	●	□	●	●	●	●	□	□

Les expositions atmosphériques sont définies dans les annexes de la norme NF P 24-351 et du DTU 40.44

● : Matériau adapté à l'exposition

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

- : Non adapté à l'exposition

Tableau 2 – Guides épaisseurs minimales des bandes de rives selon le matériau utilisé

Matériau	***Zinc***	***Cuivre***	***Acier laqué***	***Aluminium laqué***
Épaisseur en mm	***0,65***	***0,6***	***0,6***	***0,8***

3. Annexes graphiques

Note : Toutes les dimensions sont en millimètres (sauf indication contraire)

SOMMAIRE DES FIGURES

Figure 1 – Module photovoltaïque 25
Figure 2 – Liste des composants du procédé 26
Figure 3 – Schéma éclaté du procédé photovoltaïque « Sunstyle Acier » 36
Figure 4 – Schéma du procédé photovoltaïque « Sunstyle Acier » sur pannes métalliques 37
Figure 5 – Schéma du procédé photovoltaïque « Sunstyle Acier » sur pannes bois 39
Figure 6 – Étanchéité basse 40
Figure 7 – Abergements latéraux 41
Figure 8 – Abergements supérieurs/faîtage 42
Figure 9 – Abergements supérieurs / faîtage mixte modules Sunstyle et plaque métallique 43
Figure 10 – Aboutage des lattes métalliques et mise en place de la pièce de protection du trou de 16 mm 44
Figure 11 – Caractéristique des champs photovoltaïques 44
Figure 12 – Schéma de principe du câblage avec un onduleur strings 45
Figure 13 – Schéma de principe du câblage avec des micro-onduleurs 45
Figure 14 – Micro-onduleur 46
Figure 15 – Principales étapes de mise en œuvre 47

Figure 1 – Module photovoltaïque

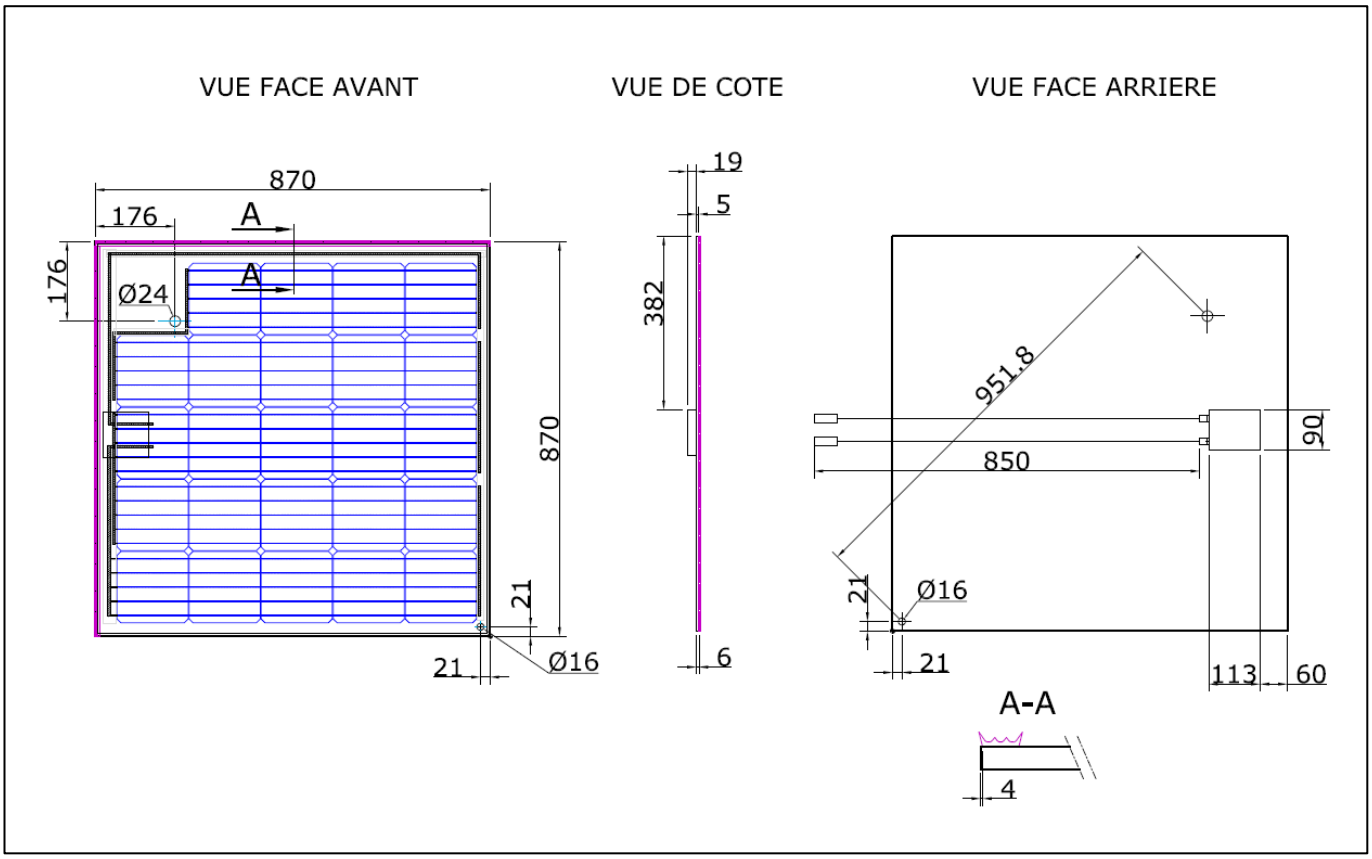


***Figure 2* – Liste des composants du procédé**

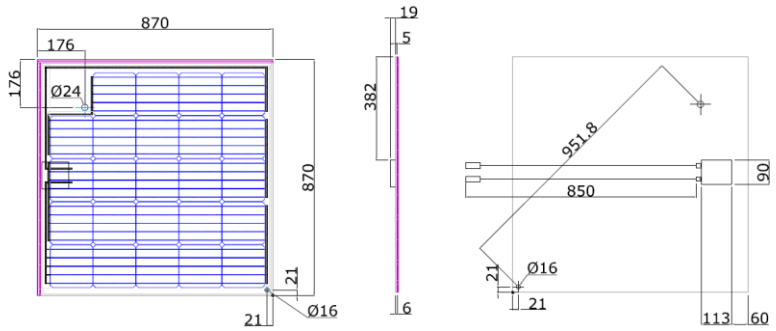
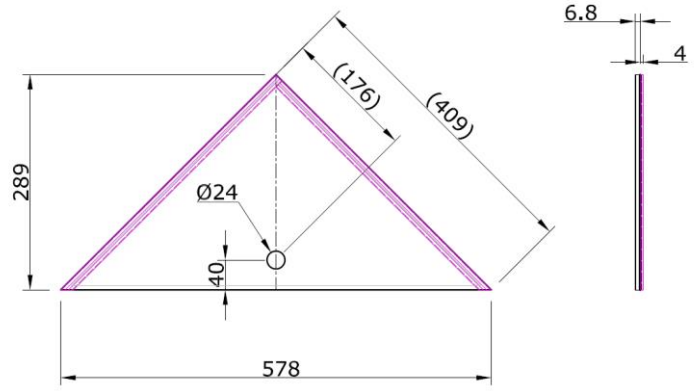
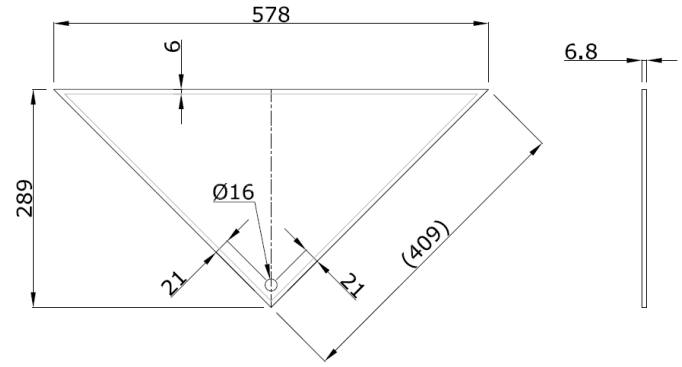
Illustration	Désignation	Description
	Module photovoltaïque	Module photovoltaïque 87 x 87 cm, 1 trou haut de diamètre 24 mm, 1 trou bas de diamètre 16 mm
	Dummy bas petit	Module factice de finition standard en verre, 40 x 40 cm, 1 trou de diamètre 24 mm
	Dummy haut petit	Module factice de finition standard en verre, 40 x 40 cm, 1 trou de diamètre 16 mm

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

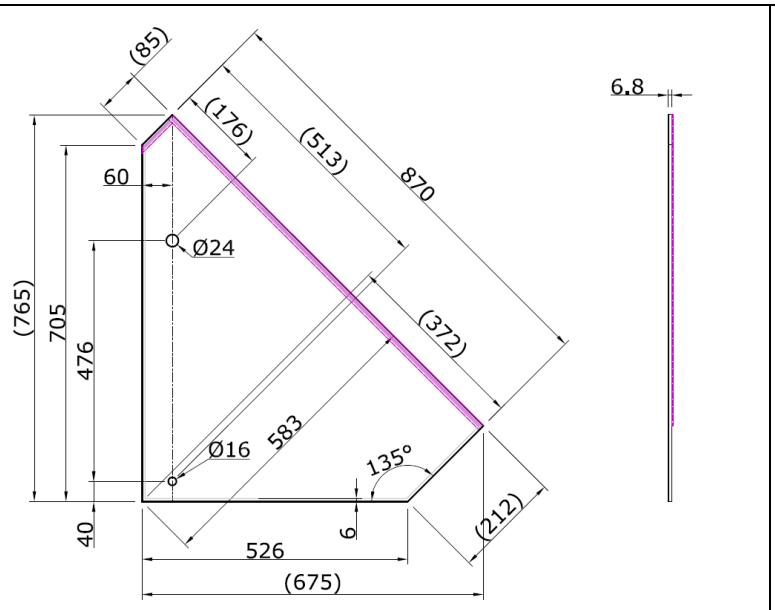
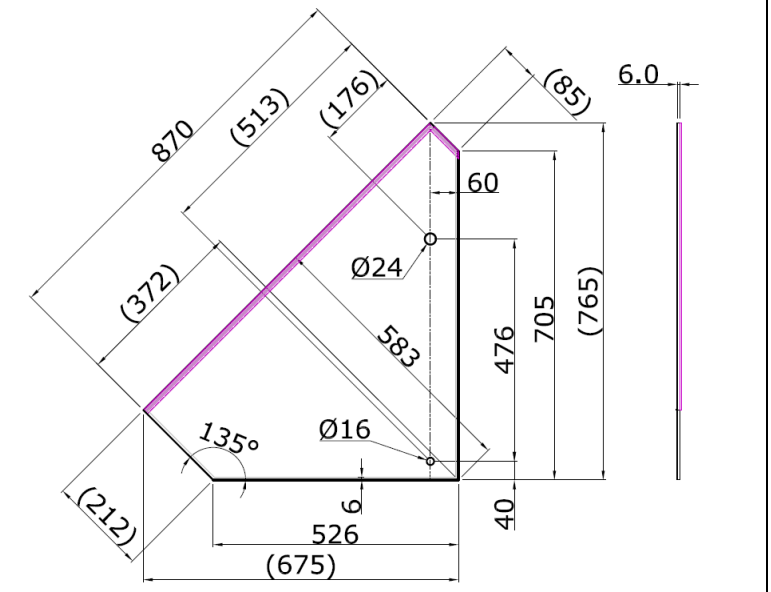
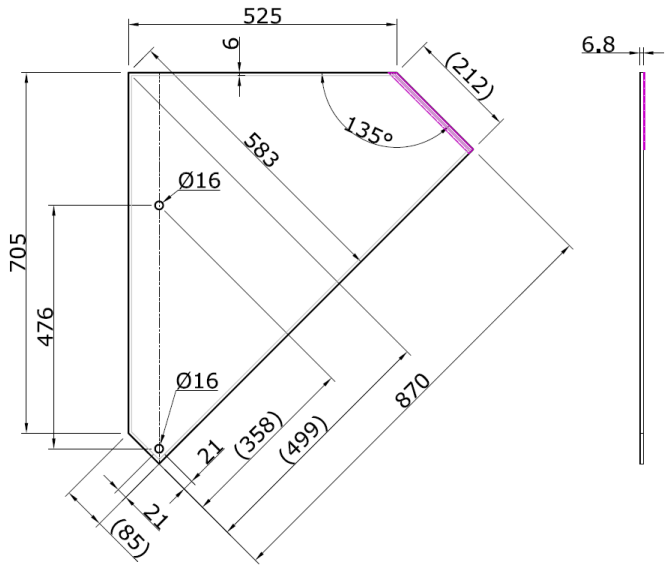
	Coin bas grand gauche	Module factice de finition standard en verre, 67 x 76 cm, 1 trou haut de 24 mm, 1 trou bas de 16 mm
	Coin bas grand droit	Module factice de finition standard en verre, 67 x 76 cm, 1 trou haut de 24 mm, 1 trou bas de 16 mm
	Coin haut grand gauche	Module factice de finition standard en verre, 67 x 76 cm, 1 trou haut de 16 mm, 1 trou bas de 16 mm

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

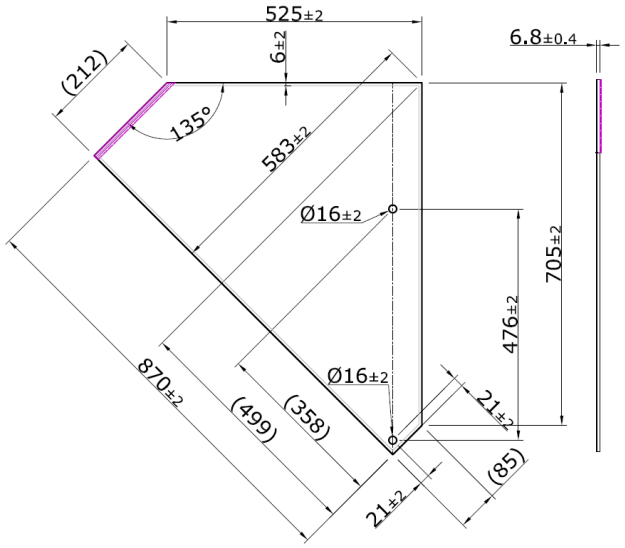
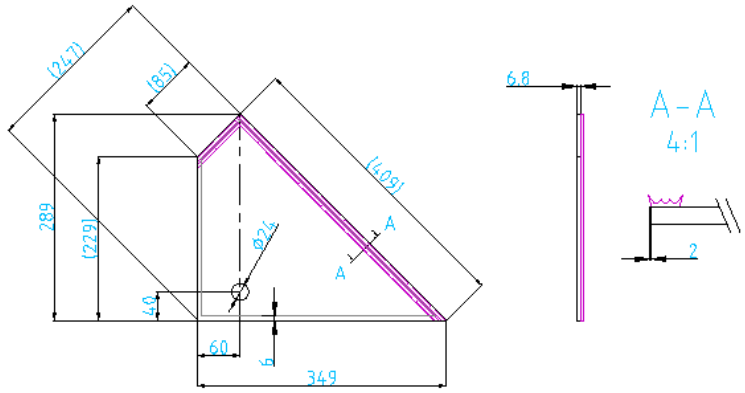
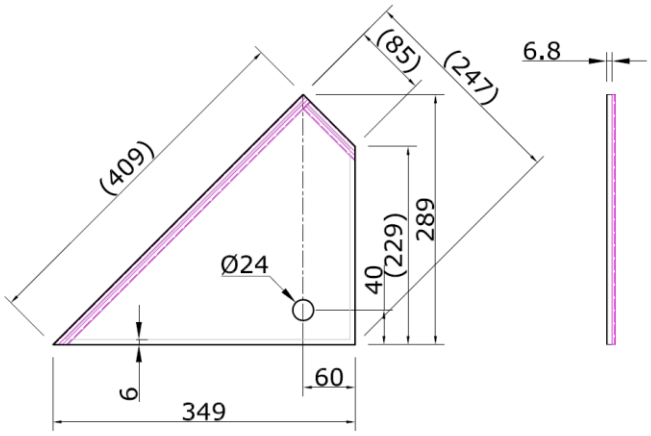
	Coin haut grand droit	Module factice de finition standard en verre, 67 x 76 cm, 1 trou haut de 16 mm, 1 trou bas de 16 mm
	Coin bas petit gauche	Module factice de finition standard en verre, 34 x 29 cm, 1 trou de 24 mm
	Coin bas petit droit	Module factice de finition standard en verre, 34 x 29 cm, 1 trou de 24 mm

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

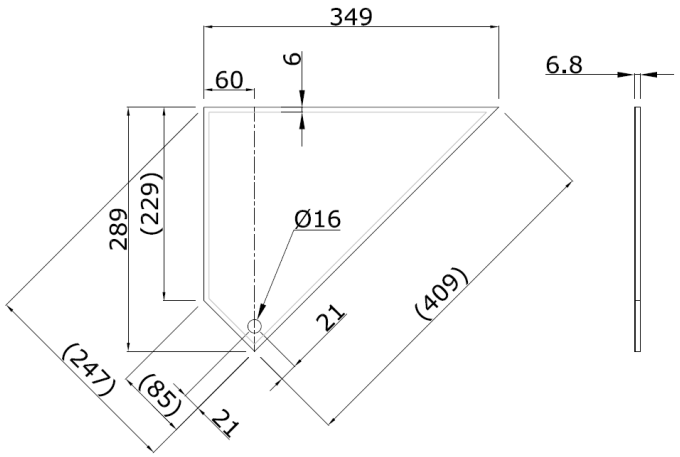
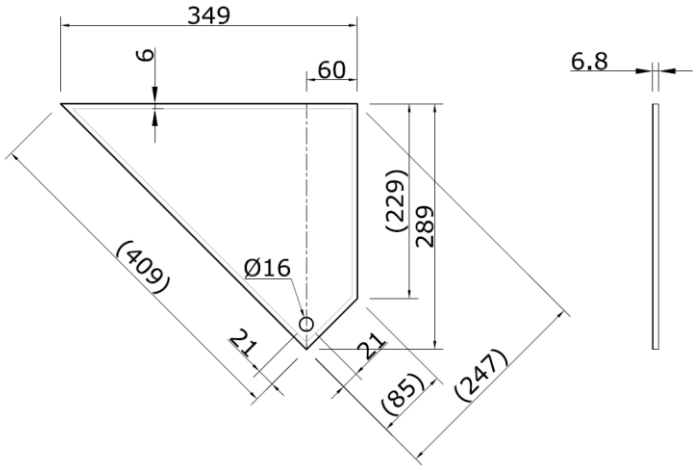
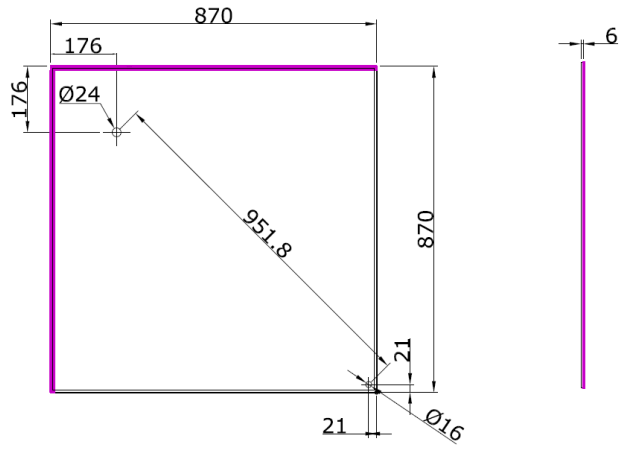
	Coin haut petit gauche	Module factice de finition standard en verre, 34 x 29 cm, 1 trou de 16 mm
	Coin haut petit droit	Module factice de finition standard en verre, 34 x 29 cm, 1 trou de 16 mm
	Dummy entier	Module factice de parement en verre 87 x 87 cm, 1 trou haut de diamètre 24 mm, 1 trou bas de diamètre 16 mm

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

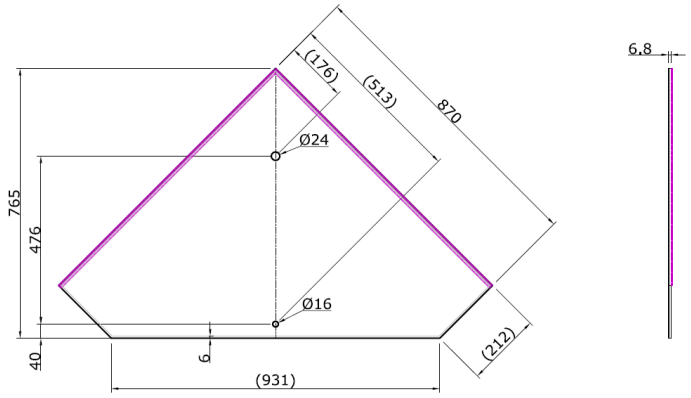
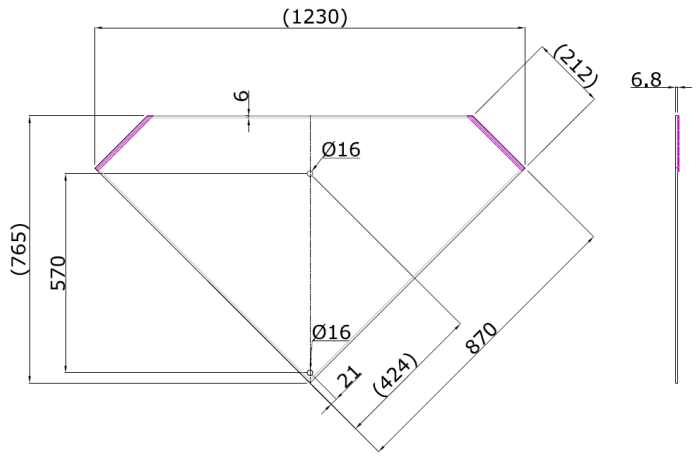
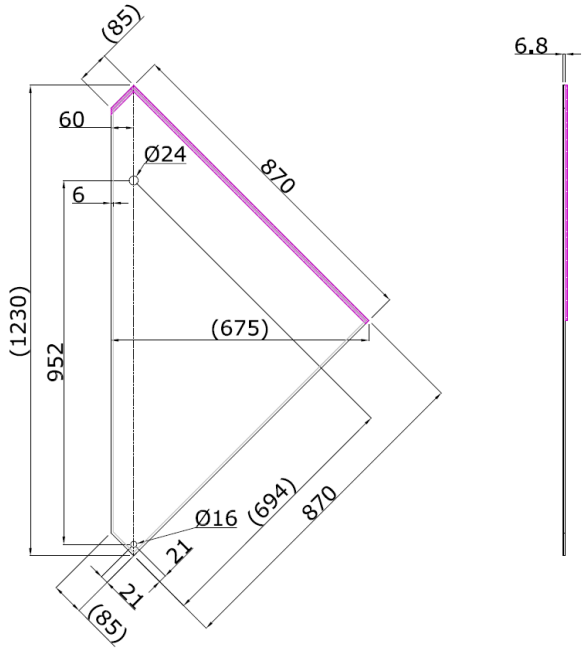
	Dummy bas	Module factice de finition standard en verre 87 x 87 cm, 1 trou haut de diamètre 24 mm, 1 trou bas de diamètre 16 mm
	Dummy haut	Module factice de finition standard en verre 87 x 87 cm, 1 trou haut de diamètre 24 mm, 1 trou bas de diamètre 16 mm
	Dummy gauche	Module factice de finition standard en verre 87 x 87 cm, 1 trou haut de diamètre 24 mm, 1 trou bas de diamètre 16 mm

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

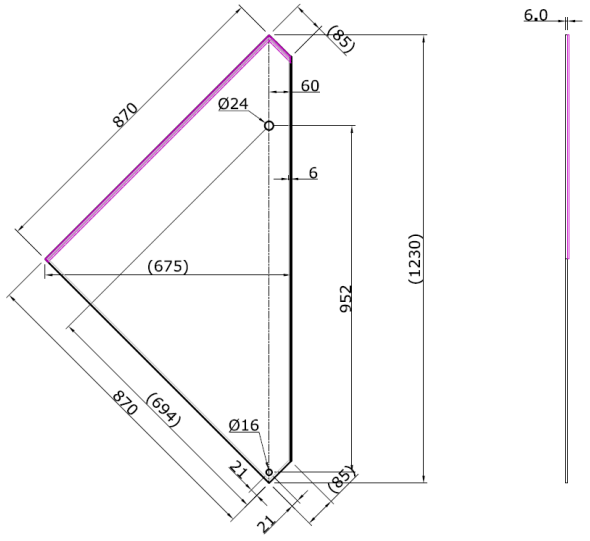
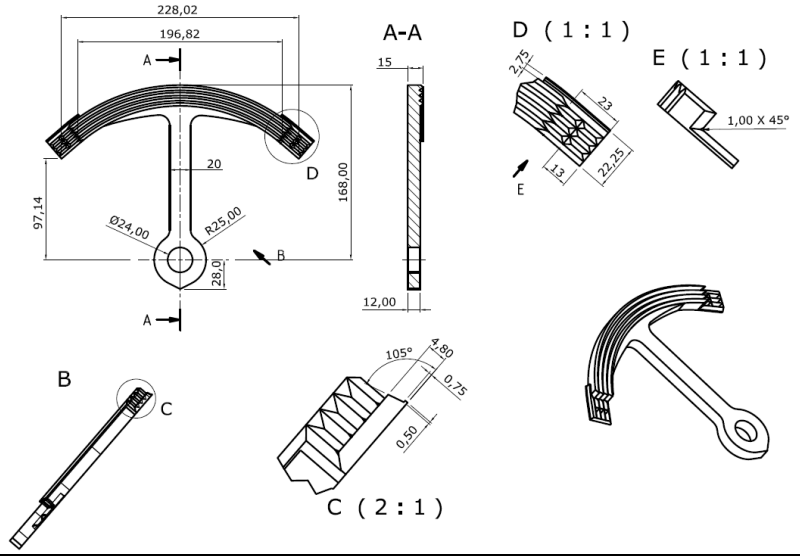
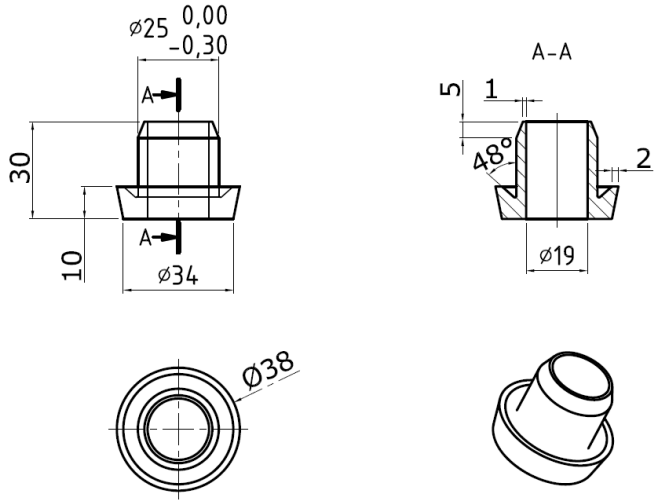
	Dummy droit	Module factice de finition standard en verre 87 x 87 cm, 1 trou haut de diamètre 24 mm, 1 trou bas de diamètre 16 mm
	Ancre d'étanchéité	Accessoire d'étanchéité en EPDM
	Anneau d'appui	Accessoire de maintien en EPDM

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

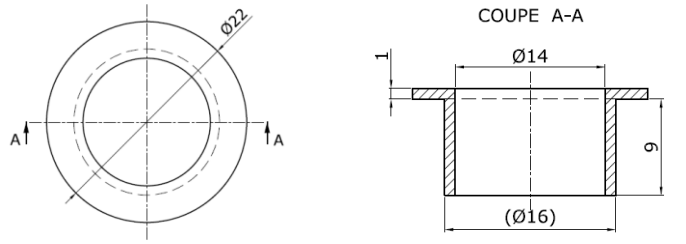
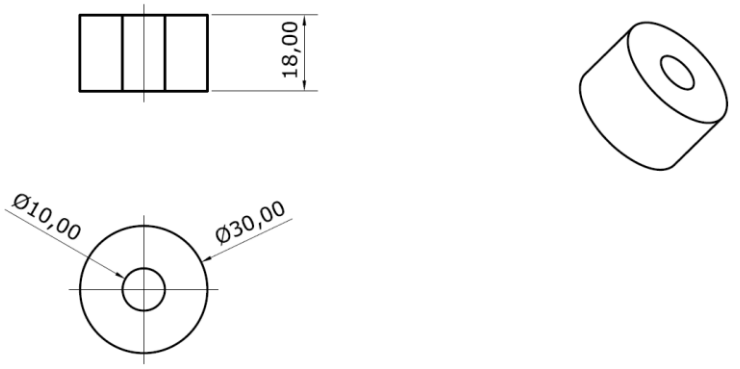
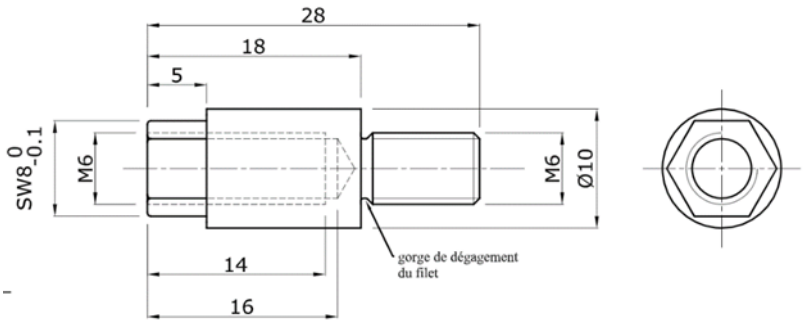
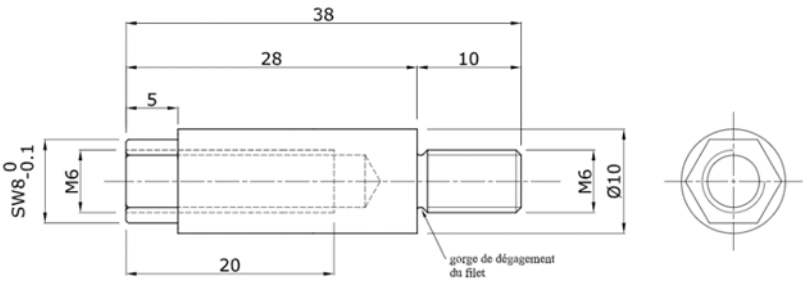
	Protection du trou de 16 mm	Accessoire de protection du trou de 16 mm pour tout élément fixé sur 2 lattes métalliques disjointes
	Rondelle d'appui	Accessoire de maintien en EPDM
	Pièce de distance courte	Accessoire de maintien en acier inoxydable
	Pièce de distance	Accessoire de maintien en acier inoxydable

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

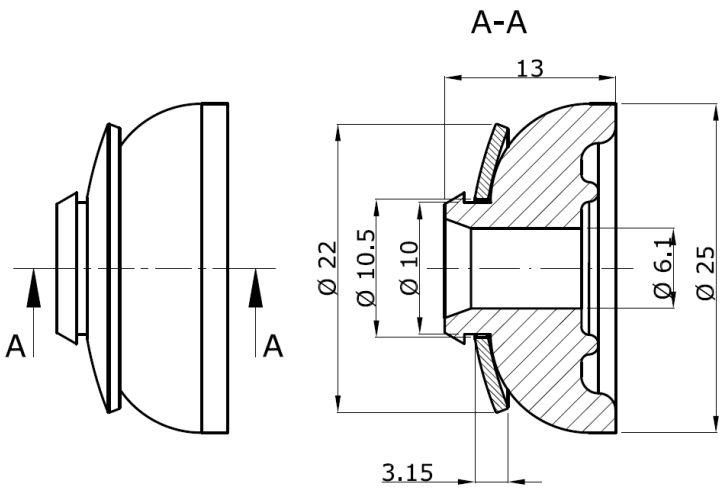
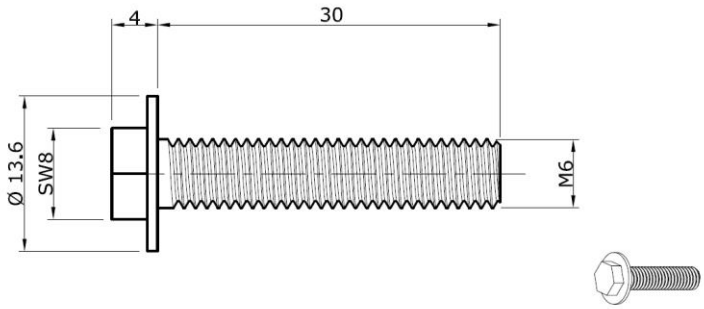
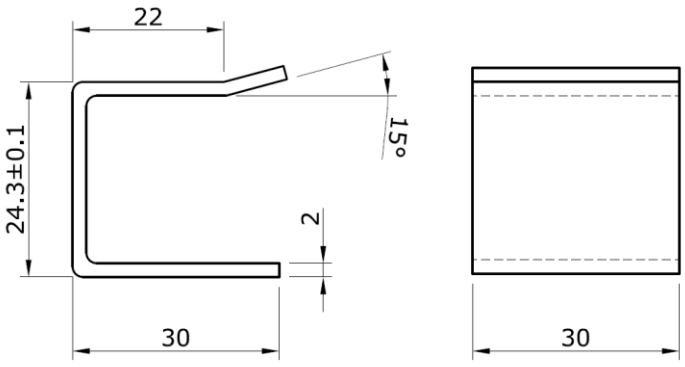
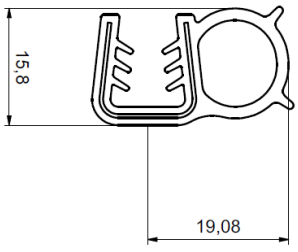
	Joint de vis	Joint de vis type BAZ en EPDM et rondelle inox, diamètre externe 25 mm
	Vis de fixation	Vis de fixation M6 à collerette
	Solarclip	Pince de maintien du joint de faîtage en acier inoxydable
 PROFIL D'ETANCHEITE DU FAÎTAGE	Profil d'étanchéité du faîtage	Accessoire d'étanchéité des modules en partie haute de couverture avec le faîtage, EPDM et acier inoxydable

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

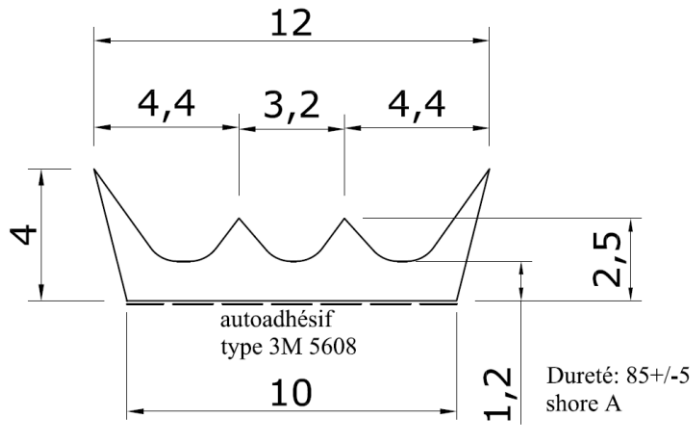
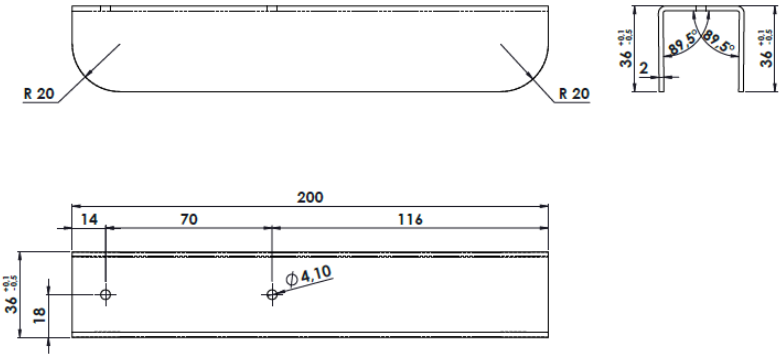
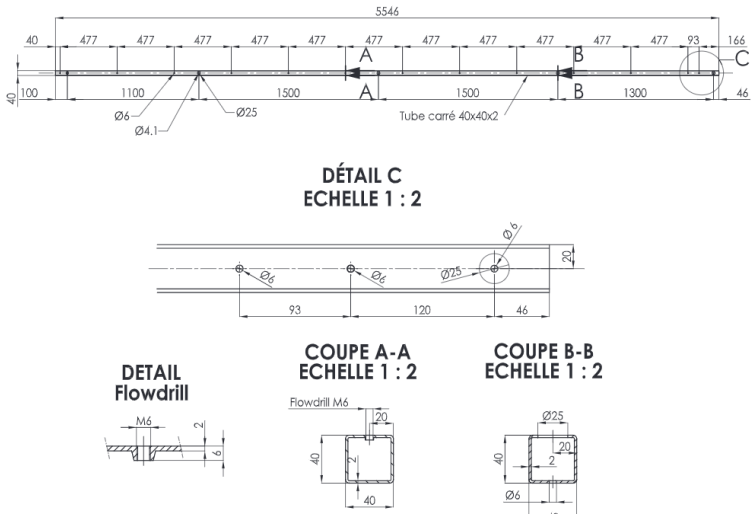
	Joint d'étanchéité	Joint collé sur les bords supérieurs des modules ; EPDM
	Éclisse	Éclisse d'aboutage de lattes métalliques, livrée fixée en place par 2 rivets dans la latte inférieure ; acier inox A4
	Latte métallique	Latte métallique présentant toutes les positions de fixation (pour illustration) ; acier inoxydable A2 ou A4

Figure 2 (suite) – Liste des composants du procédé

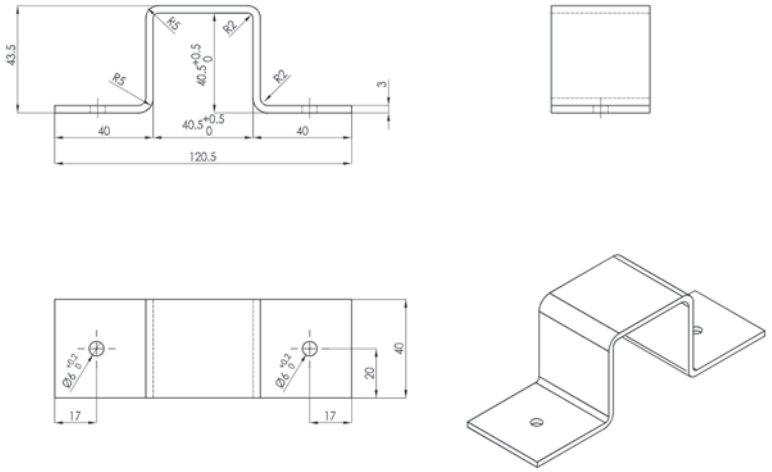
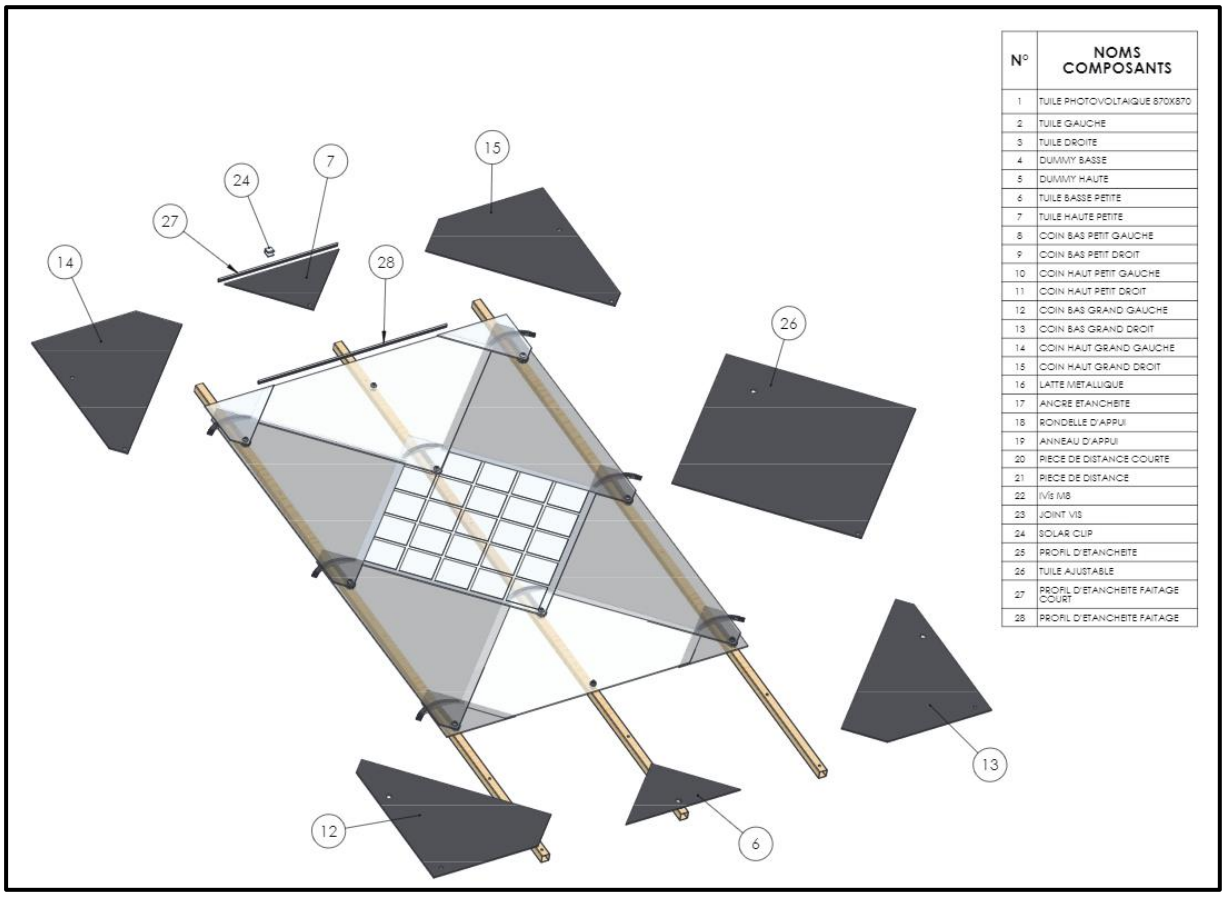
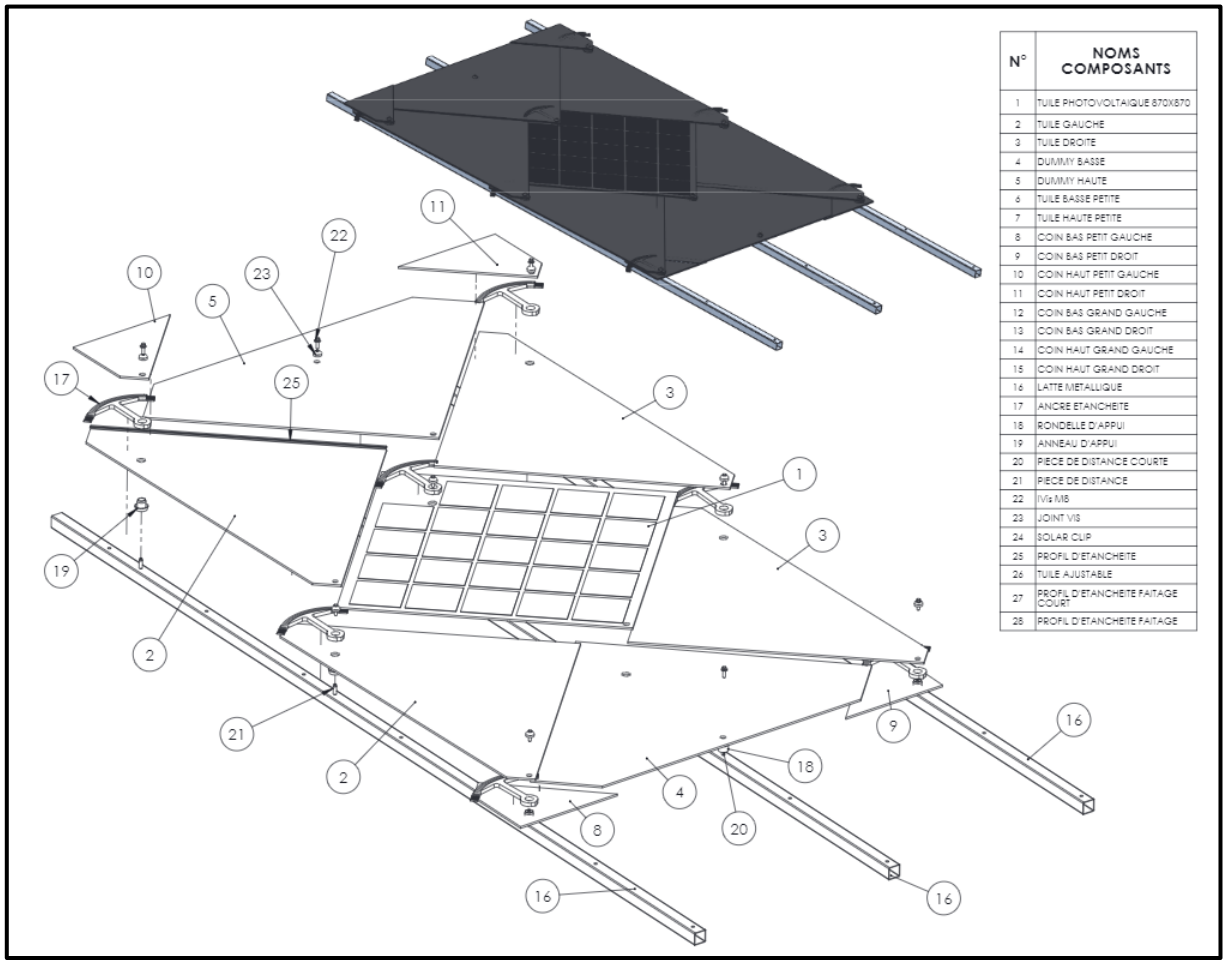
	Cavalier	Cavalier de fixation des lattes métalliques sur panne ; acier inox A4

Figure 3 – Schéma éclaté du procédé photovoltaïque « Sunstyle Acier »

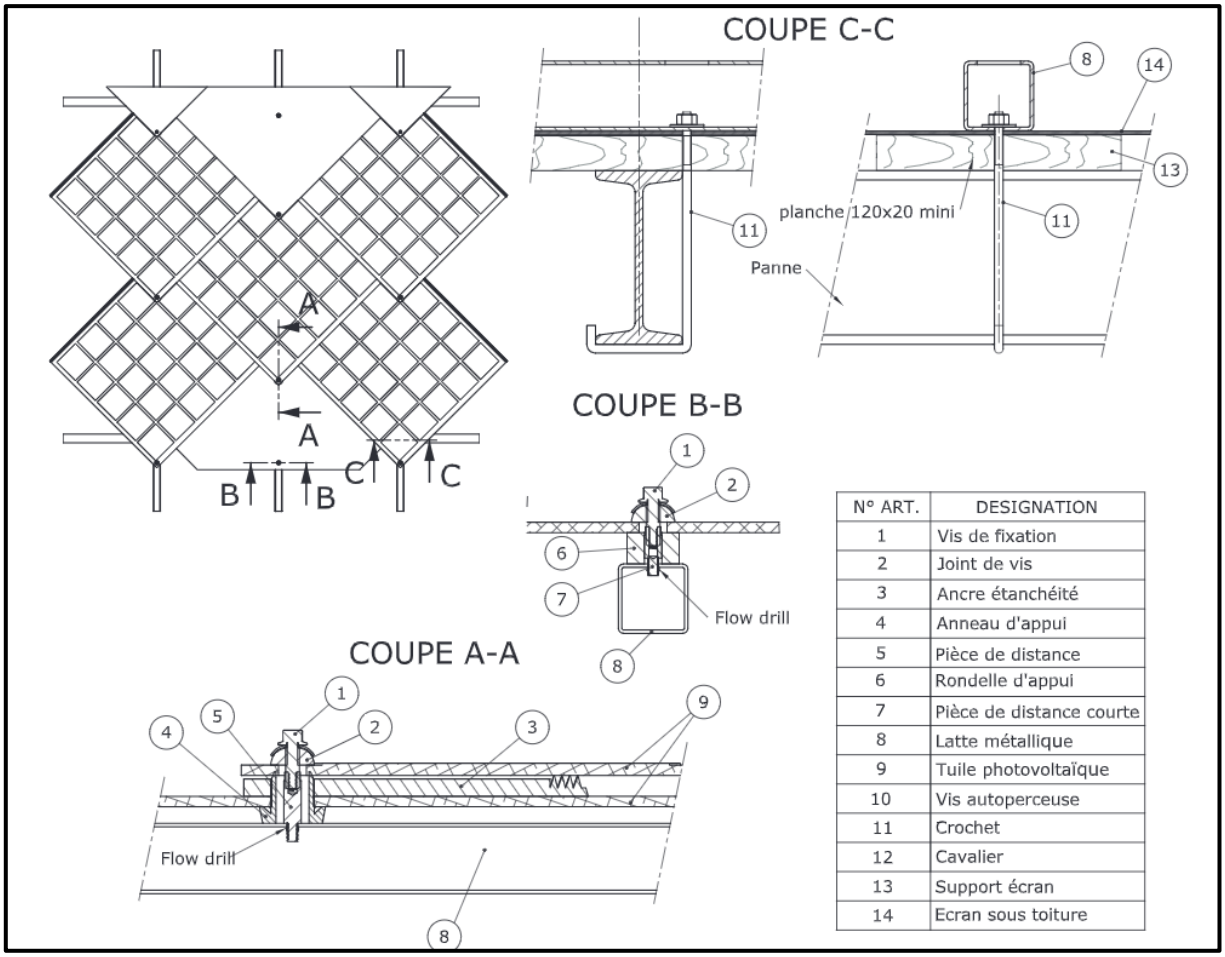


N°	NOMS COMPOSANTS
1	TUILE PHOTOVOLTAIQUE 870X870
2	TUILE GAUCHE
3	TUILE DROITE
4	DUMMY BASSE
5	DUMMY HAUTE
6	TUILE BASSE PETITE
7	TUILE HAUTE PETITE
8	COIN BAS PETIT GAUCHE
9	COIN BAS PETIT DROIT
10	COIN HAUT PETIT GAUCHE
11	COIN HAUT PETIT DROIT
12	COIN BAS GRAND GAUCHE
13	COIN BAS GRAND DROIT
14	COIN HAUT GRAND GAUCHE
15	COIN HAUT GRAND DROIT
16	LATTE METALLIQUE
17	ANCRE ETANCHEITE
18	RONDELLE D'APPUI
19	ANNEAU D'APPUI
20	PIECE DE DISTANCE COURTE
21	PIECE DE DISTANCE
22	IVis M8
23	JOINT VIS
24	SOLAR CLIP
25	PROFIL D'ETANCHEITE
26	TUILE AJUSTABLE
27	PROFIL D'ETANCHEITE FAITAGE COURT
28	PROFIL D'ETANCHEITE FAITAGE



N°	NOMS COMPOSANTS
1	TUILE PHOTOVOLTAIQUE 870X870
2	TUILE GAUCHE
3	TUILE DROITE
4	DUMMY BASSE
5	DUMMY HAUTE
6	TUILE BASSE PETITE
7	TUILE HAUTE PETITE
8	COIN BAS PETIT GAUCHE
9	COIN BAS PETIT DROIT
10	COIN HAUT PETIT GAUCHE
11	COIN HAUT PETIT DROIT
12	COIN BAS GRAND GAUCHE
13	COIN BAS GRAND DROIT
14	COIN HAUT GRAND GAUCHE
15	COIN HAUT GRAND DROIT
16	LATTE METALLIQUE
17	ANCRE ETANCHEITE
18	RONDELLE D'APPUI
19	ANNEAU D'APPUI
20	PIECE DE DISTANCE COURTE
21	PIECE DE DISTANCE
22	IVis M8
23	JOINT VIS
24	SOLAR CLIP
25	PROFIL D'ETANCHEITE
26	TUILE AJUSTABLE
27	PROFIL D'ETANCHEITE FAITAGE COURT
28	PROFIL D'ETANCHEITE FAITAGE

Figure 4 – Schéma du procédé photovoltaïque « Sunstyle Acier » sur pannes métalliques



N° ART.	DESIGNATION
1	Vis de fixation
2	Joint de vis
3	Ancre étanchéité
4	Anneau d'appui
5	Pièce de distance
6	Rondelle d'appui
7	Pièce de distance courte
8	Latte métallique
9	Tuile photovoltaïque
10	Vis autoperceuse
11	Crochet
12	Cavalier
13	Support écran
14	Ecran sous toiture

Figure 4 (suite) – Schéma du procédé photovoltaïque « Sunstyle Acier » sur pannes métalliques

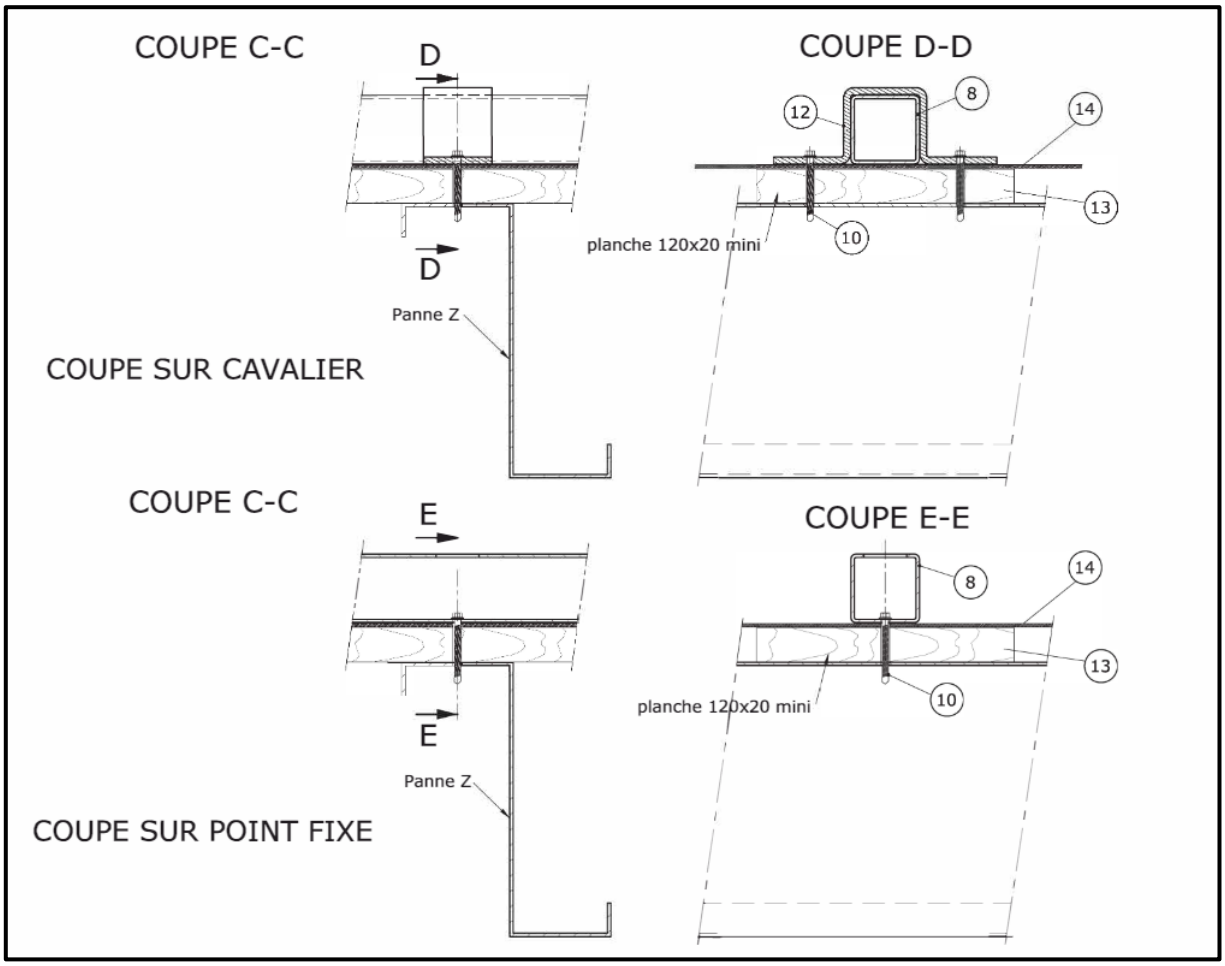
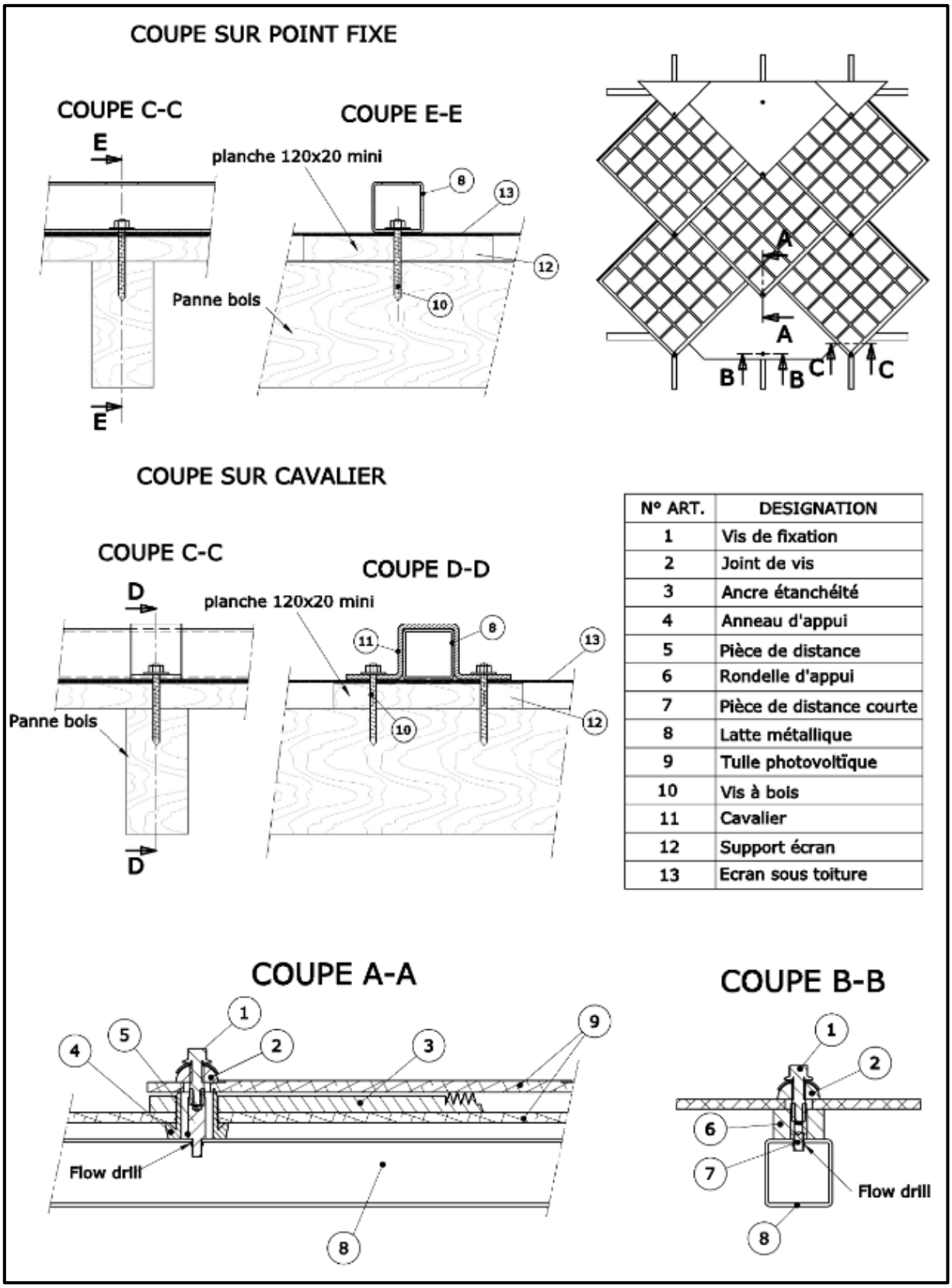
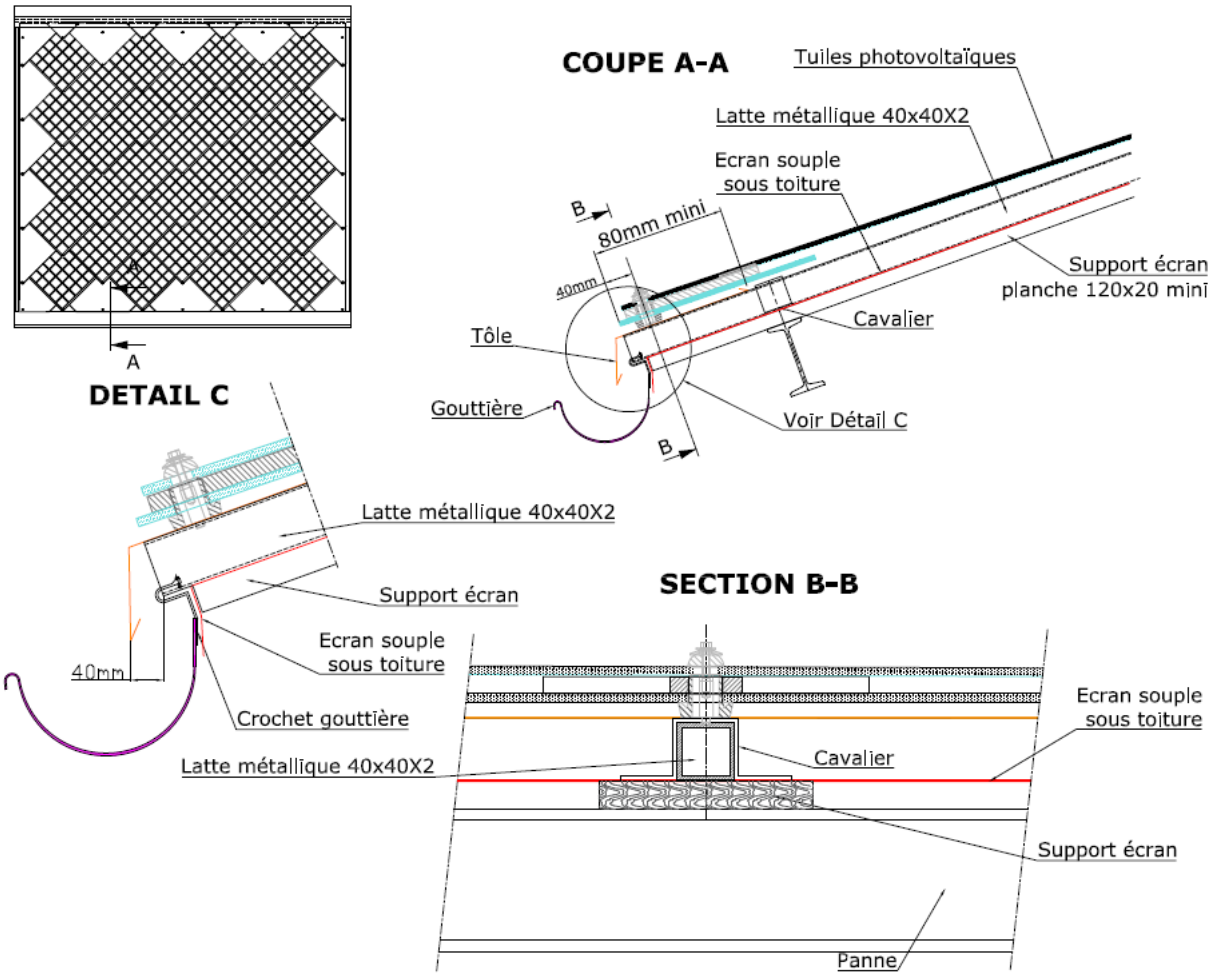


Figure 5 – Schéma du procédé photovoltaïque « Sunstyle Acier » sur pannes bois



N° ART.	DESIGNATION
1	Vis de fixation
2	Joint de vis
3	Ancre étanchéité
4	Anneau d'appui
5	Pièce de distance
6	Rondelle d'appui
7	Pièce de distance courte
8	Latte métallique
9	Tulle photovoltïque
10	Vis à bois
11	Cavalier
12	Support écran
13	Ecran sous toiture

Figure 6 – Étanchéité basse



Cf. § 2.5.34

Cf. § 2.10.5.1

Cf. § 2.10.5.1

Figure 7 – Abergements latéraux

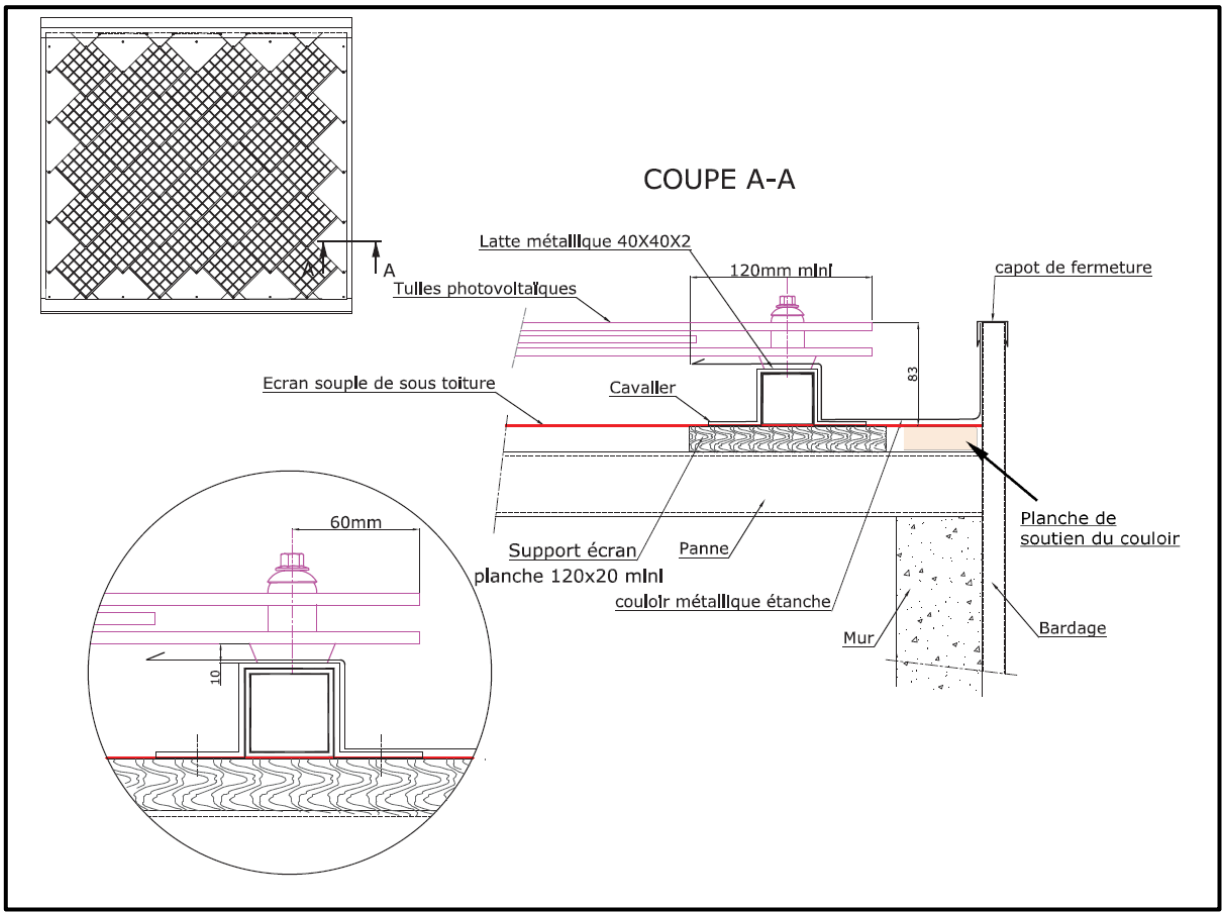


Figure 8 – Abergements supérieurs/faîtage

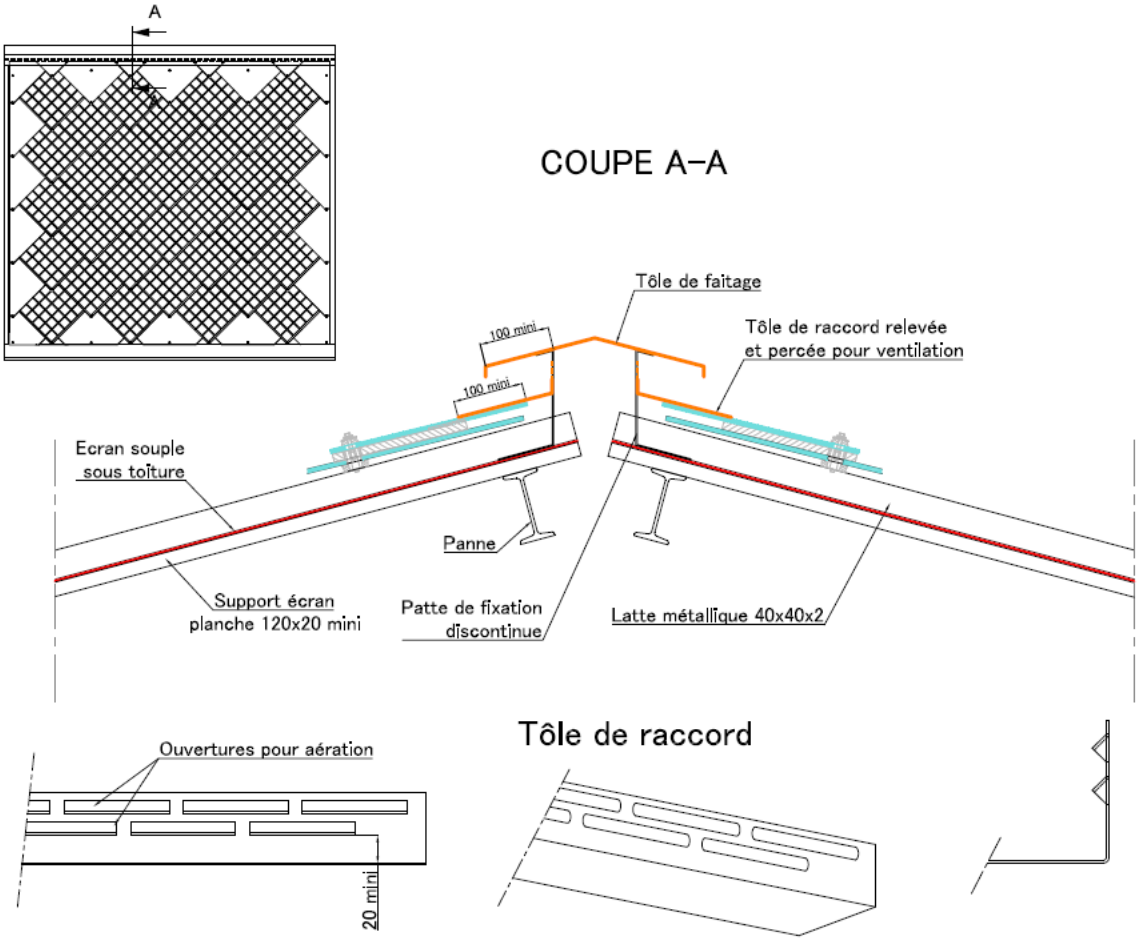


Figure 9 – Abergements supérieurs / faîtage mixte modules Sunstyle et plaque métallique

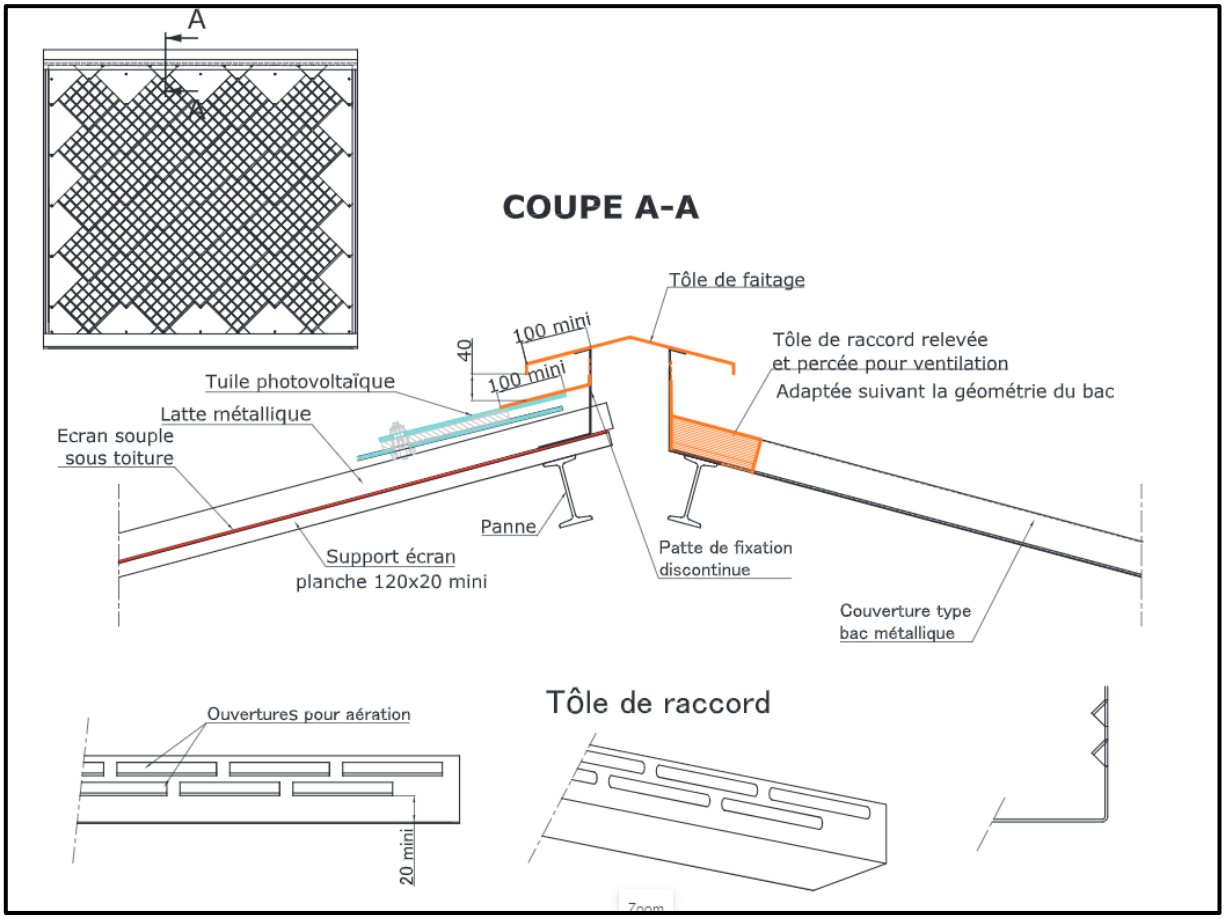


Figure 10 – Aboutage des lattes métalliques et mise en place de la pièce de protection du trou de 16 mm

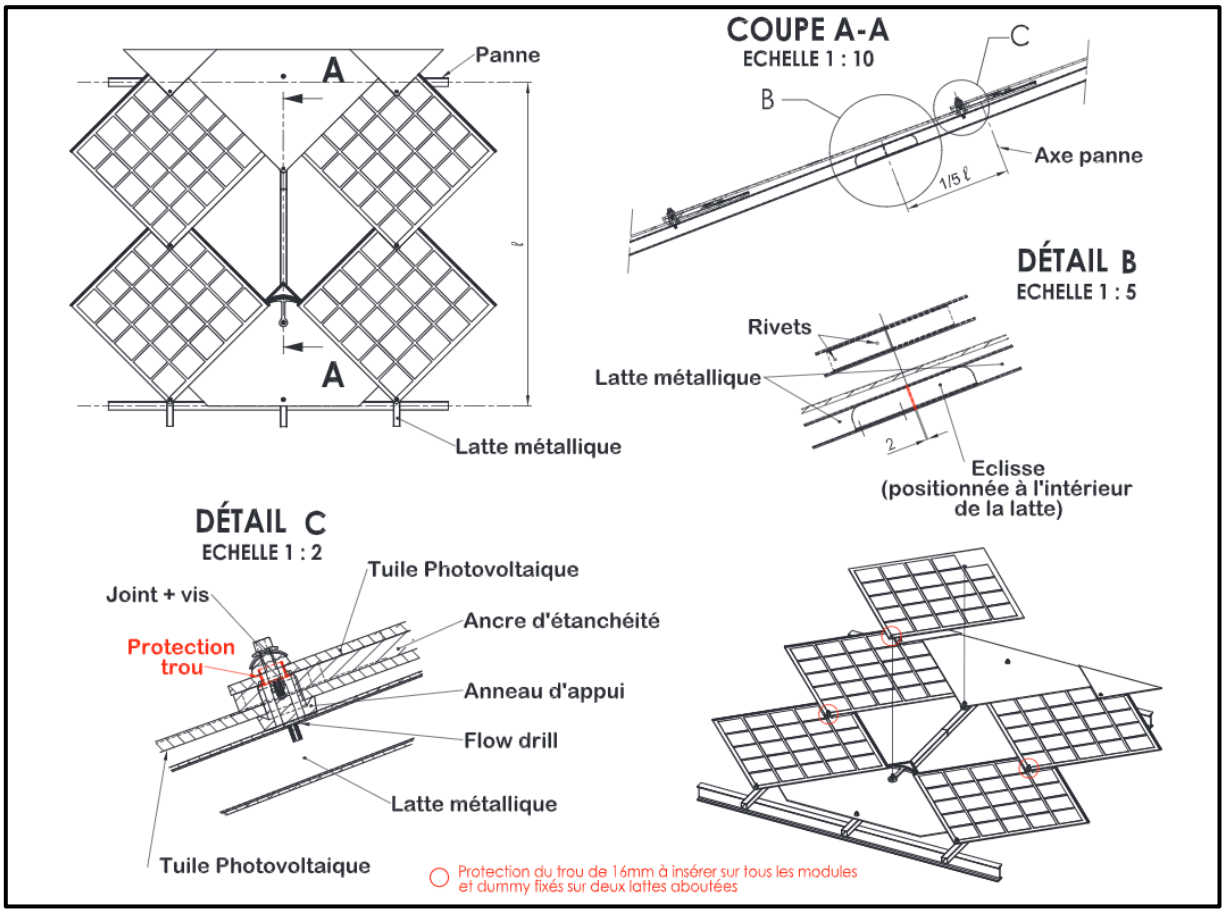


Figure 11 – Caractéristique des champs photovoltaïques

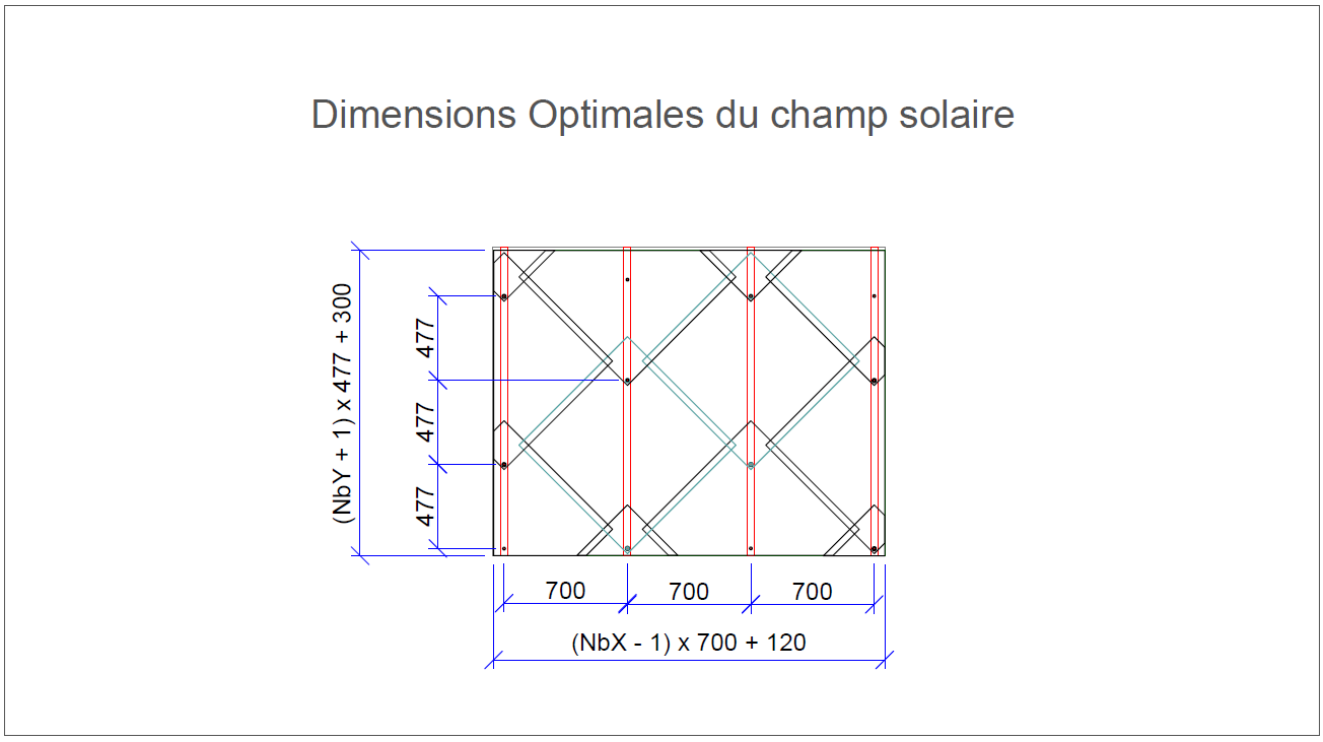


Figure 12 – Schéma de principe du câblage avec un onduleur strings

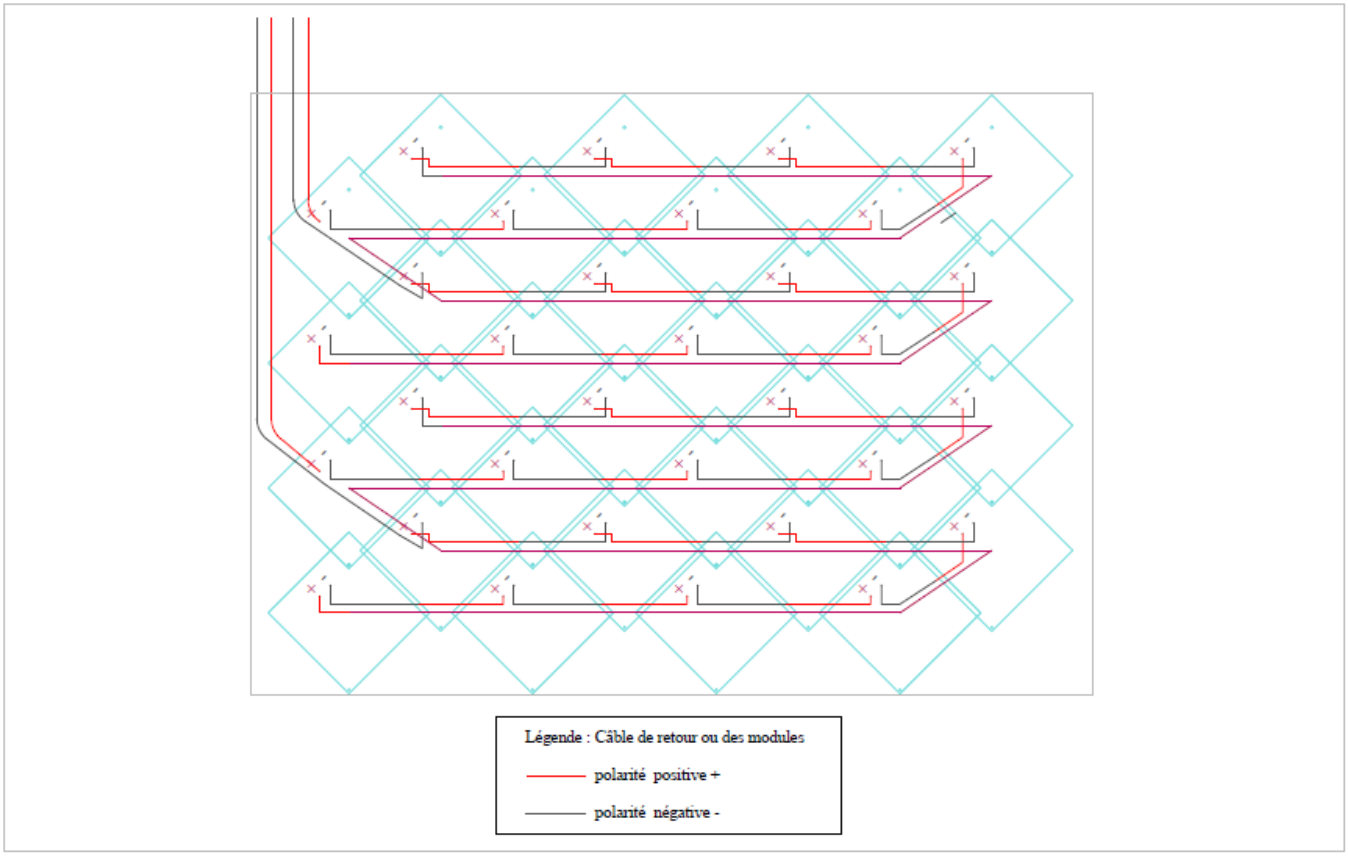


Figure 13 – Schéma de principe du câblage avec des micro-onduleurs

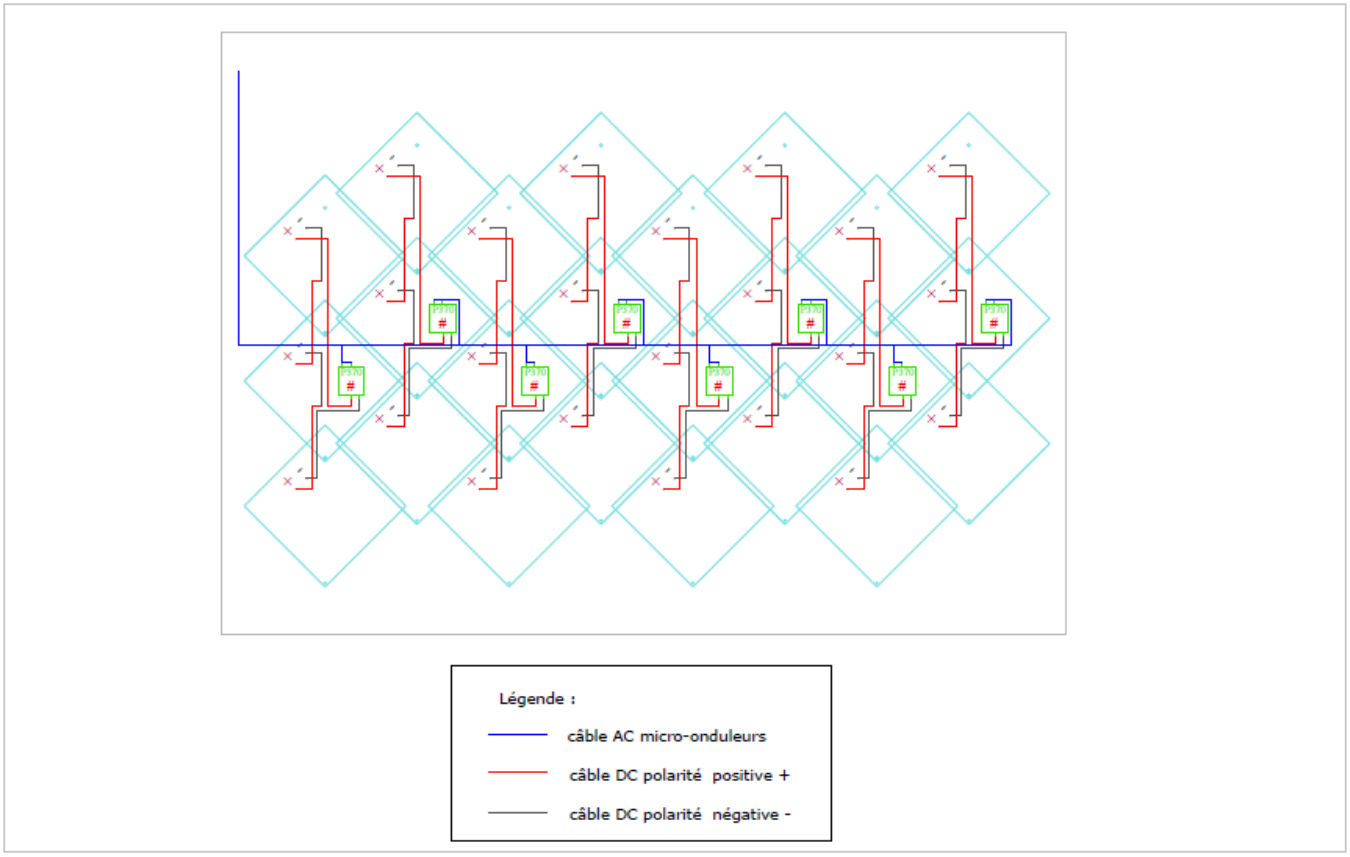


Figure 14 – Micro-onduleur

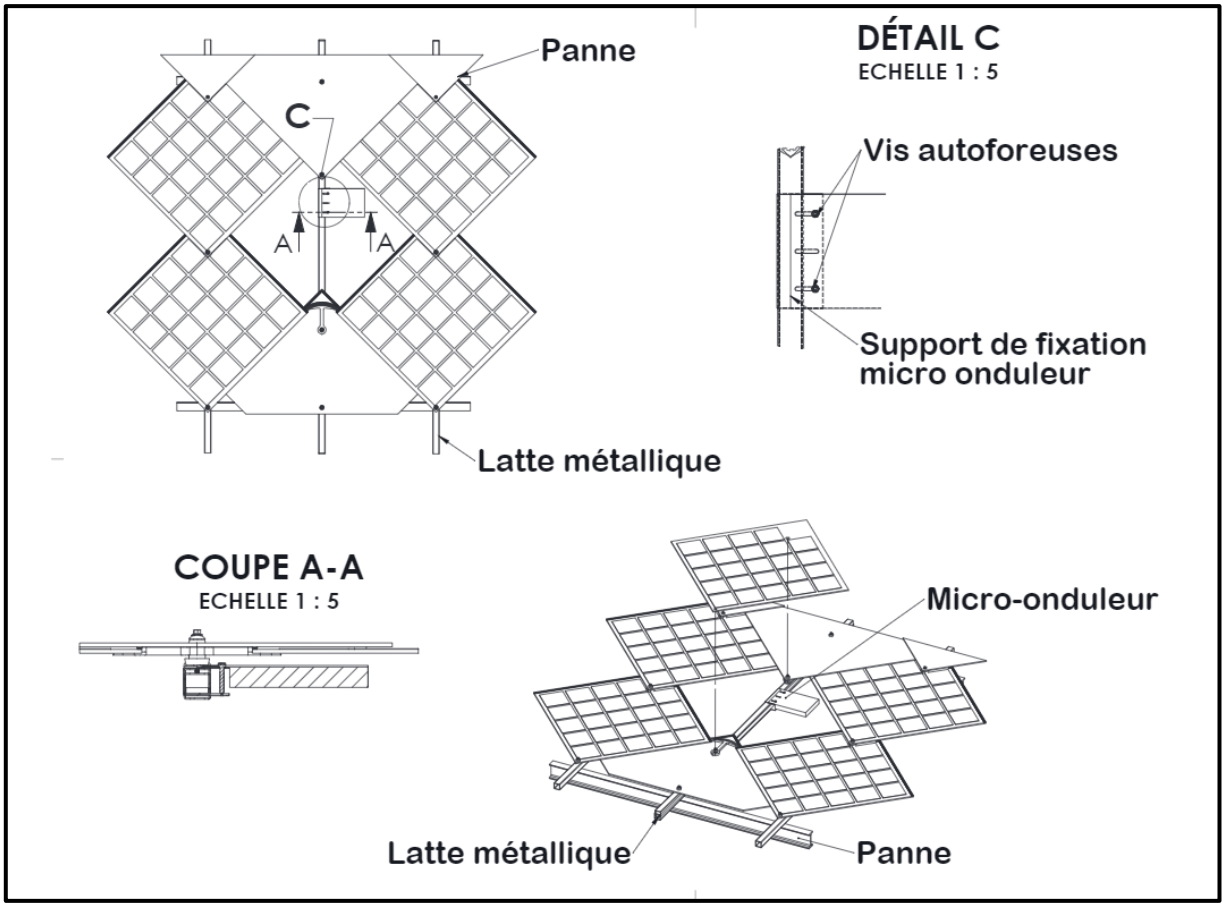
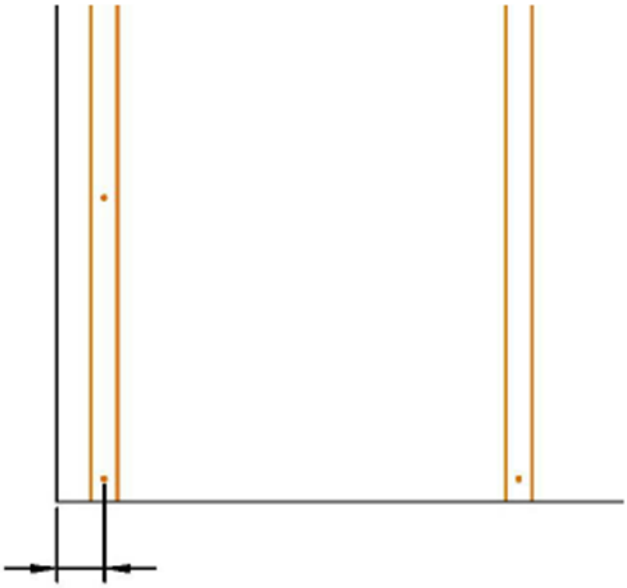
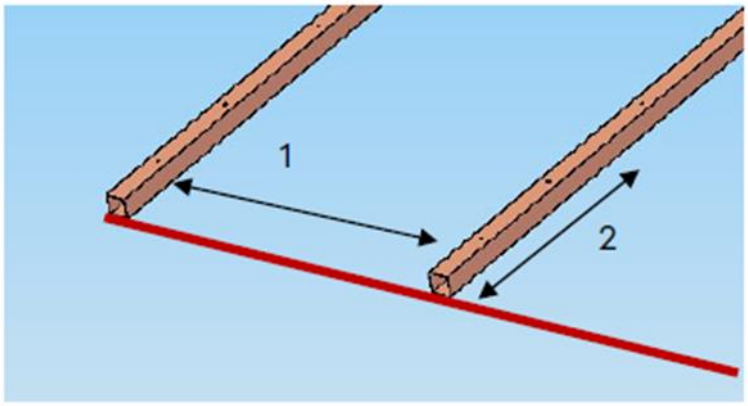


Figure 15 – Principales étapes de mise en œuvre



Étape 1



Étape 2

Figure 15 (suite) – Principales étapes de mise en œuvre

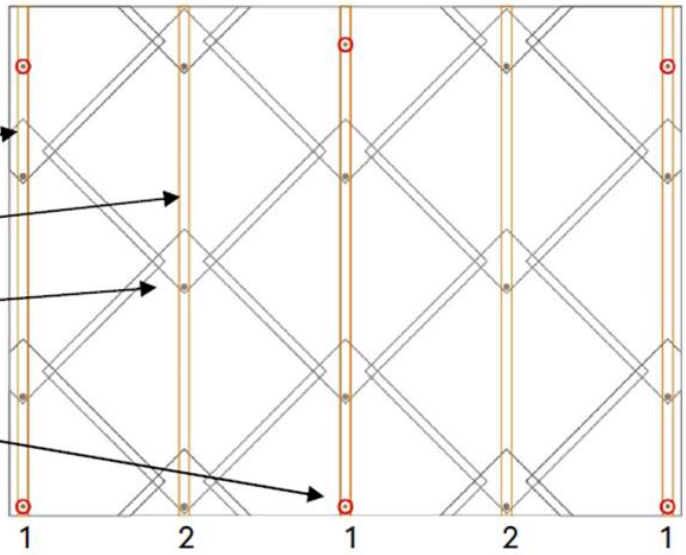
Définition de la position des pièces de distance courtes :

Latte type 1

Latte type 2

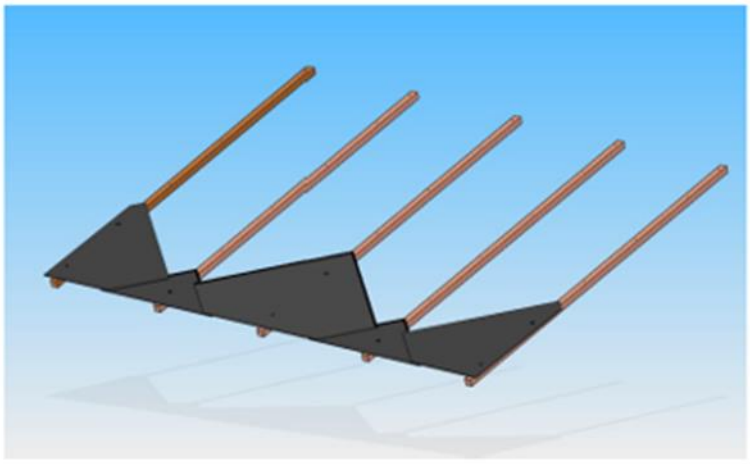
Pièce de distance

Pièce de distance courte et rondelle positionnée uniquement pour les demi-tuiles hautes et basses ainsi que sur les coins bas et hauts grands.



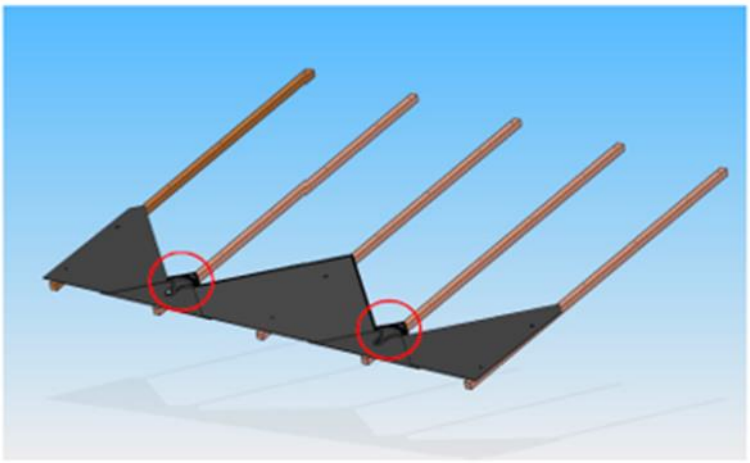
Étape 3

Étape 4



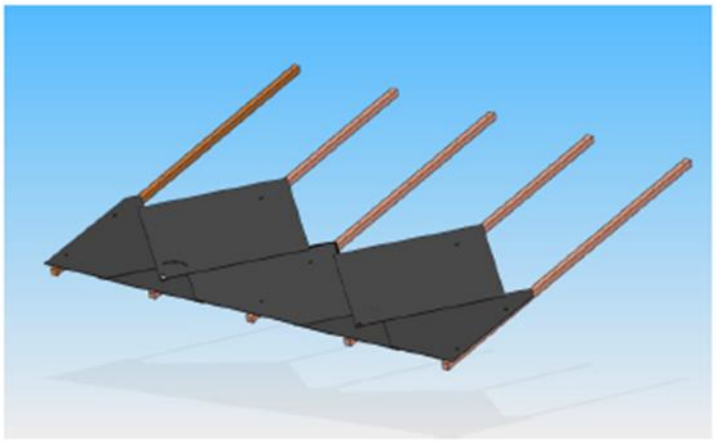
Étape 5

Figure 15 (suite) – Principales étapes de mise en œuvre



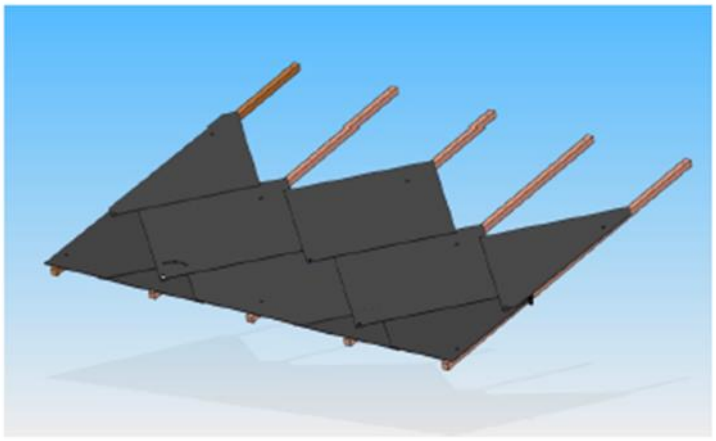
Étape 6

Étape 7

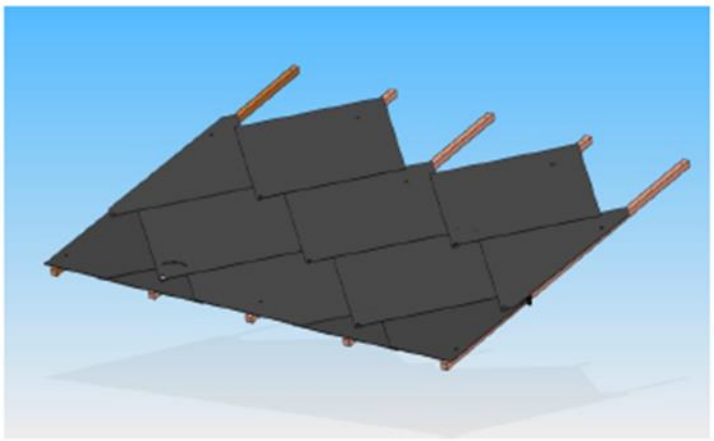


Étape 8

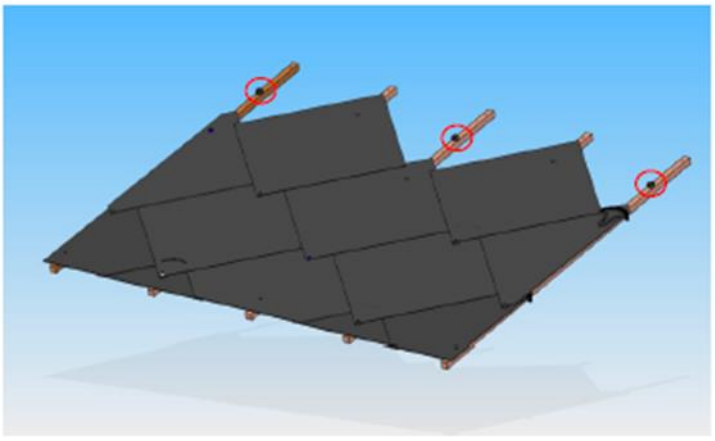
Figure 15 (suite) – Principales étapes de mise en œuvre



Étape 9

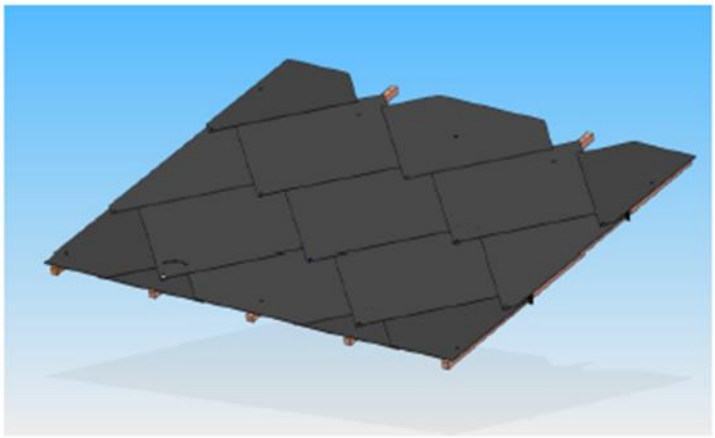


Étape 10

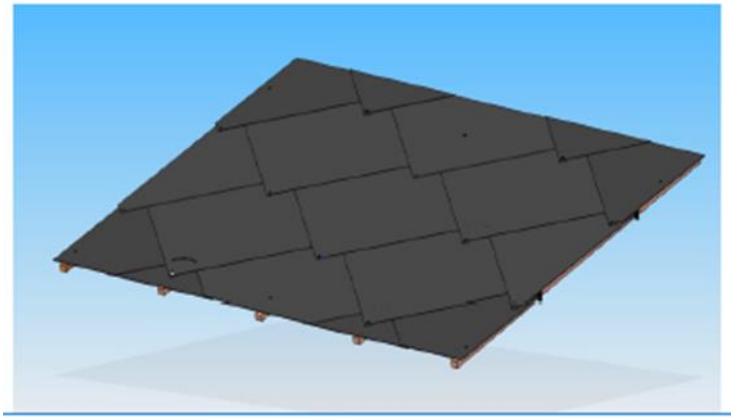


Étape 11

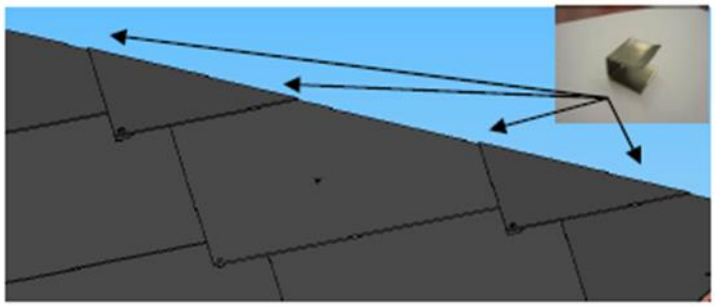
Figure 15 (suite) – Principales étapes de mise en œuvre



Étape 12



Étape 13



Étape 14