

Sur le procédé

SYSTOVI – P-MAX intégré

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 CETIH CARQUEFOU**
Internet : systovi.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

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
21/12-31	Nouvel Avis Technique	Nadège BLANCHARD	Georges CHAMBE
21/16-61	Cet Avis Technique annule et remplace l'Avis Technique n° 21/12-31.	Coralie NGUYEN	Franc RAFFALLI
V2	Cette version annule et remplace l'Avis Technique n° 21/16-61 et 21/16-61*01 Mod. Cet avis technique intègre les modifications suivantes : - Changement du nom du procédé. - Modification des modules. - Pose des modules en mode paysage en plus du mode portrait.	David LE BELLAC	Franc RAFFALLI
V3	Cette version annule et remplace l'Avis Technique n° 21/16-61_V2. Il s'agit d'une mise à jour éditoriale pour le changement de dénomination commerciale qui passe de V-SYS intégré à SYSTOVI – V-SYS intégré.	David LE BELLAC	Franc RAFFALLI
V4	Cette version annule et remplace l'Avis Technique n° 21/16-61_V3. La version V4 est une révision partielle qui tient compte : <ul style="list-style-type: none"> • du changement de dénomination commerciale qui passe de V-SYS intégré à SYSTOVI – P-MAX intégré, • du changement du nom du titulaire qui passe de SYSTOVI à CETIH CARQUEFOU, • de l'introduction de nouveaux modules en cellules (182 x 182) mm et du retrait des modules 54 cellules (158,75 x 158,75) mm, • de l'élargissement du domaine d'emploi à 900 mm d'entraxe entre chevron, • de la forme de l'Avis Technique selon l'Art. 4 du Règlement intérieur de la CCFAT d'octobre 2020. 	David LE BELLAC	Franc RAFFALLI
V5	Cette version annule et remplace l'Avis Technique n° 21/16-61_V4. La version V5 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 :**avec modules :****PE-ww-xxx-N-yy (xxx allant de 300 à 330 Wc)****PEN-xxx-yy-uuu (xxx allant de 375 à 400 Wc)**

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toiture partielle ou complète sur charpente bois avec liteaux en remplacement de tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief (*conformes au DTU 40.21*), de tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (*conformes au DTU 40.24*) ou d'ardoises (*conformes aux DTU 40.11 ou 40.13*).

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

Il intègre :

- un (des) module(s) photovoltaïque(s), de puissance comprise entre 300 et 400 Wc, muni(s) d'un cadre en profils d'aluminium,
- un système de montage permettant une mise en œuvre en toiture des modules en mode "portrait" ou en mode "paysage".

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

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	6
1.1.	Domaine d'emploi accepté.....	6
1.1.1.	Zone géographique.....	6
1.1.2.	Ouvrages visés	6
1.2.	Appréciation	6
1.2.1.	Conformité normative des modules.....	7
1.2.2.	Aptitude à l'emploi du procédé	7
1.2.3.	Aspects sanitaires	8
1.2.4.	Durabilité - Entretien	8
1.2.5.	Impact environnemental	9
1.2.6.	Fabrication et contrôle	9
1.2.7.	Mise en œuvre	9
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	9
2.	Dossier Technique.....	10
2.1.	Mode de commercialisation.....	10
2.1.1.	Coordonnées	10
2.1.2.	Identification	10
2.1.3.	Approvisionnement des composants	10
2.1.4.	Livraison	10
2.2.	Description	10
2.2.1.	Principe.....	10
2.2.2.	Modules photovoltaïques	11
2.2.3.	Système de montage.....	13
2.2.4.	Autres éléments.....	17
2.3.	Dispositions de conception	18
2.3.1.	Généralités.....	18
2.3.2.	Caractéristiques dimensionnelles.....	19
2.3.3.	Caractéristiques électriques	19
2.3.4.	Spécifications électriques	20
2.4.	Dispositions de mise en œuvre.....	21
2.4.1.	Conditions préalables à la pose	21
2.4.2.	Compétences des installateurs	21
2.4.3.	Sécurité des intervenants	22
2.4.4.	Mise en œuvre en toiture	22
2.5.	Utilisation, entretien et réparation	25
2.5.1.	Généralités.....	25
2.5.2.	Maintenance du champ photovoltaïque.....	26
2.5.3.	Maintenance électrique	26
2.5.4.	Remplacement d'un module.....	26
2.6.	Traitement en fin de vie.....	26
2.7.	Fabrication et contrôles.....	27
2.7.1.	Cadre des modules	27
2.7.2.	Modules photovoltaïques	27
2.7.3.	Composants de la structure support	27
2.7.4.	Éléments de finition	27
2.8.	Conditionnement, étiquetage, stockage.....	27

2.8.1.	Modules photovoltaïques	27
2.8.2.	Éléments du système de montage	27
2.9.	Formation	27
2.10.	Assistance technique	28
2.11.	Mention des justificatifs	28
2.11.1.	Résultats expérimentaux	28
2.11.2.	Références chantiers.....	28
2.12.	Annexes du Dossier Technique.....	29
3.	Annexes graphiques	30

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre II « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

- Utilisation en France métropolitaine sauf en climat de montagne caractérisé par une altitude supérieure à 900 m.
- Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :
 - sur des toitures soumises à des charges climatiques (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas :

Modules photovoltaïques	Charge de neige normale (Pa)	Charge de vent normale (Pa)
PE-ww-xxx-V-yy Modules en cellules 158,75 mm x 158,75 mm en portrait	1 331	1 331
PE-ww-xxx-H-yy Modules en cellules 158,75 mm x 158,75 mm en paysage	1 177	1 110
PEV-xxx-vv-uuu Modules en cellules 182 mm x 182 mm en portrait	1 465	1 333
PEH-xxx-vv-uuu Modules en cellules 182 mm x 182 mm en paysage	1 177	1 110

- Le calcul des charges climatiques appliquées sur la toiture s'effectue conformément au Cahier du CSTB n°3803.
- En fonction des matériaux constitutifs du procédé, le Tableau 1 précise les atmosphères extérieures permises.

1.1.2. Ouvrages visés

- Mise en œuvre :
 - 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,
 - sur toitures inclinées de bâtiment neuf ou existant, 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 charpente bois avec liteaux en remplacement de tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief, de tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal ou d'ardoises. Les couvertures doivent être conformes aux prescriptions des DTU 40.11, 40.13, 40.21 ou 40.24 (*notamment pour la pente, la longueur de rampant*),
 - au-dessus d'un écran de sous toiture sous certification "QB 25" avec un classement W1 avant et après vieillissement et Sd1 selon la norme EN 13859-1 et avec un classement T adapté à l'entraxe entre chevrons de la toiture (cf § 2.2.4.3),
 - uniquement par température extérieure positive.
- La toiture d'implantation doit présenter les caractéristiques suivantes :
 - un entraxe maximum entre chevrons de 900 mm,
 - une largeur minimale des chevrons de 40 mm,
 - une épaisseur minimale des liteaux de 25 mm pour les tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief et les tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal,
 - une épaisseur minimale des liteaux de 15 mm pour les ardoises,
 - un entraxe maximum entre liteaux de 500 mm,
 - une seule pente, imposée par la toiture, comprise entre 30% et 173% (17 ° et 60 °) pour la tuile et entre 45% et 200% (24° et 63°) pour l'ardoise.
- Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :
 - en mode "portrait" ou en mode "paysage",
 - uniquement dans des configurations d'installation photovoltaïque de forme rectangulaire (sans angle rentrant),
 - en toiture complète ou en toiture partielle,
 - avec 4 lignes de modules au maximum.

1.2. Appréciation

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. 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. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.2.1. Fonction génie électrique

1.2.2.1.1. 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 câbles électriques utilisés ont au moins une tenue en température ambiante de - 40 °C à + 90 °C et peuvent être mis en œuvre jusqu'à une tension de 1 000 V en courant continu, ce qui permet d'assurer une bonne aptitude à l'emploi des câbles électriques de l'installation.

• Protection des personnes contre les chocs électriques

Les modules photovoltaïques cadrés sont certifiés d'une classe II de sécurité électrique selon la norme NF EN 61730, jusqu'à une tension maximum de 1 000 V DC.

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 67, sont des connecteurs avec système de verrouillage permettant un bon contact électrique entre chacune des polarités et assurant également une protection de l'installateur contre les risques de chocs électriques.

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

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

L'utilisation de connecteurs auto-dénudant pour un raccordement en peigne des masses métalliques (*cadre des modules et rails*) permet d'assurer la continuité de la liaison équipotentielle des masses du champ photovoltaïque lors de la maintenance du procédé.

1.2.2.1.2. 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.

1.2.2.1.3. Puissance crête des modules utilisés

Les modules utilisés ont une puissance crête, validée par les normes NF EN 61215 et NF EN 61730, comprise entre 300 et 400 Wc.

1.2.2.2. Fonction couverture

1.2.2.2.1. 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 :

Modules photovoltaïques	Charge de neige normale (Pa)	Charge de vent normale (Pa)
PE-ww-xxx-V-yy Modules en cellules 158,75 mm x 158,75 mm en portrait	1 331	1 331
PE-ww-xxx-H-yy Modules en cellules 158,75 mm x 158,75 mm en paysage	1 177	1 110
PEV-xxx-vv-uuu Modules en cellules 182 mm x 182 mm en portrait	1 465	1 333
PEH-xxx-vv-uuu Modules en cellules 182 mm x 182 mm en paysage	1 177	1 110

- 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 les caractéristiques suivantes :
 - entraxe maximum entre chevrons de 500 mm,
 - entraxe entre liteaux ne dépassant pas 500 mm,
 - épaisseur minimale des liteaux de 25 mm pour la tuile et 15 mm pour les ardoises,

- de la fixation de l'installation photovoltaïque uniquement sur des planches et liteaux neufs répondant aux préconisations du Dossier Technique.

1.2.2.2.2. Sécurité en cas de séisme

Au regard 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 », les applications du procédé sont limitées selon le tableau suivant :

		Catégorie d'importance du bâtiment						
		I	II	III	IV			
Zone de sismicité	Zone 1	Installation possible						
	Zone 2							
	Zone 3					1)	2) ou 3)	3)
	Zone 4					1)	3)	3)

- 1) Installation possible pour les bâtiments remplissant les conditions des Règles de Construction Parasismiques PS-MI "Construction parasismique des maisons individuelles et bâtiments assimilés".
- 2) Installation possible pour les établissements scolaires simples remplissant les conditions des Règles de Construction Parasismiques PS-MI "Construction parasismique des maisons individuelles et bâtiments assimilés".
- 3) Installation non couverte pas le présent Avis Technique.

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

1.2.2.2.3. Étanchéité à l'eau

La conception globale du procédé, ses conditions de pose prévues par le Dossier Technique et les retours d'expérience sur ce procédé permettent de considérer une étanchéité à l'eau satisfaisante.

Le fait que la société CETIH CARQUEFOU fournisse systématiquement les préconisations et plans de principe des tôleries de finition aux installateurs sous-traitants, ainsi que le recours toujours possible à son assistance technique permettent de préjuger favorablement de la conception de ces pièces et de l'étanchéité de l'ensemble de l'installation photovoltaïque.

1.2.2.2.4. 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.

1.2.2.2.5. 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).

1.2.2.2.6. Sécurité au feu

Les modules photovoltaïques ne sont pas destinés à constituer la face plafond de locaux occupés.
Aucune performance de comportement au feu n'a été déterminée sur ce procédé.

1.2.2.2.7. 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 permettant la circulation des personnes sans appui direct sur les modules,
- de dispositifs antichute selon la réglementation en vigueur : d'une part pour éviter les chutes sur les modules et d'autre part, 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).

1.2.2.2.8. Sécurité des usagers

La sécurité des usagers au bris de glace des modules est assurée grâce à un domaine d'emploi limité à la mise en œuvre du procédé sur toiture isolée ou au-dessus de combles perdus.

1.2.3. 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.

1.2.4. 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.

1.2.5. Impact environnemental

Le traitement en fin de vie peut être assimilé à celui de produits traditionnels.

Le procédé SYSTOVI – P-MAX intégré ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Il ne peut donc 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.

1.2.6. 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.

1.2.7. Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé photovoltaïque effectuée par des installateurs agréés par la société CETIH CARQUEFOU (*avertis des particularités de pose de ce procédé grâce à une formation obligatoire, 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*) 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.

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 :

- Il est recommandé d'installer les modules photovoltaïques en partie supérieure de la couverture, en complément des dispositions constructives déjà prises pour assurer l'étanchéité à l'eau entre les éléments de couverture et les modules photovoltaïques.
- 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 souple 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.

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.

2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Titulaire :

CETIH CARQUEFOU

14 avenue Syrma

FR – 44470 CARQUEFOU

Tél. : +33 (0)2 40 92 44 20

Email : m.benabdelkarim@systovi.com

Internet : www.systovi.com

2.1.2. Identification

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

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

2.1.3. 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.

2.1.4. Livraison

Le système de traçabilité du titulaire doit permettre 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 électrique, le plan de prévention concernant les risques liés aux travaux en hauteur et sous haute tension doivent être fournis 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.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toiture partielle ou complète sur charpente bois avec liteaux en remplacement de tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief (*conformes au DTU 40.21*), de tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (*conformes au DTU 40.24*) ou d'ardoises (*conformes aux DTU 40.11 ou 40.13*).

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

Il intègre :

- un (des) module(s) photovoltaïque(s), de puissance comprise entre 300 Wc et 400 Wc, muni(s) d'un cadre en profils d'aluminium,
- un système de montage permettant une mise en œuvre en toiture des modules en mode "portrait" ou en mode "paysage".

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

Le procédé photovoltaïque "SYSTOVI – P-MAX intégré" est l'association d'un module photovoltaïque cadré (cf Figure 1 et Figure 2) et d'un système de montage spécifique (cf Figure 11) 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 CETIH CARQUEFOU.

2.2.2. Modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques (cf Figure 1 à Figure 6) sont fabriqués par la société CETIH CARQUEFOU. Leurs dénominations commerciales sont :

- PE-ww-xxx-N-yy pour les modules 60 cellules 158,75 mm x 158,75 mm. Ils se déclinent en plusieurs versions (couleur du film polymère ...) identifiées par le code ww. La dénomination se décline également en fonction de la puissance crête du module ("xxx" allant de 300 à 330 Wc par pas successifs de 5 Wc). L'indice N correspond à l'orientation portrait (V) ou paysage (H) des modules et le code yy est lié à la couleur des cellules et du cadre.
- PEN-xxx-vv-uuu pour les modules 54 cellules 182 mm x 182 mm. Ils se déclinent en plusieurs versions (couleur du film polymère ...) identifiées par le code vv. La dénomination se décline également en fonction de la puissance crête du module ("xxx" allant de 375 à 400 Wc par pas successifs de 5 Wc). L'indice N correspond à l'orientation portrait (V) ou paysage (H) des panneaux et le code uuu est lié à la couleur des cellules et du cadre.

2.2.2.1. Film polymère

- Composition : à base de PET (Polyéthylène téréphtalate).
- Épaisseur :
 - Modules PE-ww-xx-N-yy : $0,30 \pm 0,05$ mm,
 - Modules PEN-xxx-vv-uuu : $0,218 \pm 0,05$ mm.

2.2.2.2. Cellules photovoltaïques

Pour les modules PE-ww-xxx-N-yy :

- Technologie des cellules : monocristalline
- Dimensions : $(158,75 \pm 0,25)$ mm x $(158,75 \pm 0,25)$ mm.
Au nombre de 60, ces cellules sont connectées en série et réparties en 6 colonnes de 10 cellules selon la configuration suivante (cf Figure 7) :
 - distance minimale entre cellules horizontalement : $2,5 -0/+0,5$ mm,
 - distance minimale entre cellules verticalement : $2,5 -0/+0,5$ mm,
 - distance minimale au bord horizontalement : $15,5 0/+1$ mm,
 - distance minimale au bord verticalement : $24,5 0/+1$ mm.

Pour les modules PEN-xxx-vv-uuu :

- Technologie des cellules : monocristalline
- Dimensions : $(182 \pm 0,20)$ mm x $(182 \pm 0,20)$ mm.
Au nombre de 54, ces cellules sont connectées en série et réparties en 6 colonnes de 18 demi-cellules selon la configuration suivante (cf Figure 8) :
 - distance minimale entre cellules horizontalement : $2 -0,3/+0$ mm,
 - distance minimale entre cellules verticalement : $1,5 -0/+0,2$ mm,
 - distance minimale au bord horizontalement : $19 -0,5/+0,5$ mm,
 - distance minimale au bord verticalement : $30,75 -0,5/+0,5$ mm.

2.2.2.3. Intercalaire encapsulant

Résine à base d'EVA (*Ethyl Vinyl Acétate*), de $0,5$ mm $\pm 0,05$ mm d'épaisseur en face avant et $0,45$ mm $\pm 0,05$ mm en face arrière, permettant d'encapsuler les cellules entre le film polymère et le vitrage.

2.2.2.4. Vitrage

- Nature : verre extra clair imprimé et trempé selon la norme EN 12150,
- Épaisseur : $3,2 \pm 0,2$ mm,
- Dimensions PE-ww-xxx-N-yy : $1\ 659 \pm 0,5$ mm x $996 \pm 0,5$ mm,
- Dimensions PEN-xxx-vv-uuu : $1\ 725 \pm 0,5$ mm x $1\ 140 \pm 0,5$ mm.

2.2.2.5. Constituants électriques

2.2.2.5.1. Boîte de connexion

Modules PE-ww-xxx-N-yy :

Une boîte de connexion IP67 du fabricant Ningbo GZX PV Technology de dénomination commerciale "PV-GZX156K" conforme à la norme NF EN 62790:2014, est collée au silicone (*Huitian HT906Z*) en sous-face du module et possède les caractéristiques suivantes :

- Dimensions hors tout de la boîte de jonction : $(95 \times 98 \times 20)$ mm,
- Classe II de sécurité électrique,
- Indice de protection : IP67,
- Tension de système maximum : $1\ 000$ V DC entre polarités,

- Courant maximal admissible (*intensité assignée*) : 13 A,
- Certificat TÜV SÜD n° B 088393 0018,
- Plage de température : - 40 °C à + 85 °C.

Cette boîte de connexion est fournie avec 3 diodes bypass (qui protègent chacune une série de 20 cellules selon le nombre de cellules du module) et permet le raccordement aux câbles qui réalisent la connexion des modules.

Modules PEN-xxx-vv-uuu :

Un ensemble de deux boîtes de connexion IP68 du fabricant Ningbo GZX PV Technology de dénomination commerciale "PV-GZX201" conforme à la norme NF EN 62790:2020, est collée au silicone (*Huitian HT906Z*) en sous-face du module et possède les caractéristiques suivantes :

- Dimensions hors tout de la boîte de jonction : (70 x 74,5 x 15,6) mm et (54 x 74,5 x 15,6) mm
- Classe II de sécurité électrique,
- Indice de protection : IP68,
- Tension de système maximum : 1 500 V DC entre polarités,
- Courant maximal admissible (*intensité assignée*) : 16 A,
- Certificat TÜV SÜD n° B 088393 0016,
- Plage de température : - 40 °C à + 85 °C.

Ces boîtes de connexion sont fournies avec 3 diodes bypass (qui protègent chacune une série de 36 demi-cellules selon le nombre de cellules du module) et permet le raccordement aux câbles qui réalisent la connexion des modules.

2.2.2.5.2. Câbles électriques

Les modules sont équipés de deux câbles électriques H1Z2Z2-K de 1 m chacun dont la section est de 4 mm² du fabricant Ningbo GZX. Ces câbles se trouvent à l'arrière du module, en sortie de la ou des boîte(s) de connexion, et sont équipés de connecteurs adaptés.

Ces câbles ont notamment les spécifications suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Plage de température ambiante maximum : - 40 °C à + 90 °C,
- Courant maximum admissible (*intensité assignée*) de 40 A.
- Tension assignée : 1 500 V,
- Double isolation,
- Certificat TÜV n° R50343327 selon la norme EN 50618:2015.

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*).

2.2.2.5.3. Connecteurs électriques

Les connecteurs électriques utilisés sont des connecteurs préassemblés en usine aux câbles des modules avec système de verrouillage. De marque Ningbo GZX et de type PV-GZX1500, ces connecteurs sont certifiés par le TÜV et ont les caractéristiques suivantes :

- Indice de protection électrique IP 68,
- Classe II de sécurité électrique,
- Tension assignée de 1 500 V,
- Courant maximum admissible (*intensité assignée*) de 30 A,
- Plage de température de - 40 °C à + 85 °C,
- Résistance de contact : 0,5 mΩ,
- Certificat TÜV SÜD n° 088393 0019 selon IEC 62852:2014.

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.

2.2.2.5.4. Liaison équipotentielle des cadres des modules

Chaque module photovoltaïque est équipé d'un câble de terre (jaune/vert), posé en usine, de section 6 mm² et de longueur 500 mm. Ces câbles sont équipés d'un côté d'une cosse en laiton étamé 6,35 mm et de l'autre côté d'un connecteur de dérivation auto-dénudant AMP Electro-Tap de la société TE Connectivity (cf Figure 30). Le câble de mise à la terre est vissé dans un trou du cadre latéral du module (*prévu à cet effet*) par une vis à tête cylindrique bombée de diamètre 4,2 mm et de longueur 32 mm en acier inoxydable A2.

Les câbles de terre des modules sont reliés au câble principal de terre par le connecteur de dérivation auto-dénudant qui une fois serré réalise la liaison équipotentielle. Ainsi, en démontant un module, la liaison équipotentielle des autres modules n'est pas rompue (cf Figure 29).

2.2.2.6. Cadre du module photovoltaïque

Le cadre des modules est composé de 4 profils (cf Figure 1, Figure 2 et Figure 9) en aluminium EN AW-6063 T5 anodisés noir (*épaisseur minimum 15 µm*).

La liaison mécanique entre profils est assurée par 4 vis en acier inoxydable 4,2 mm x 32 mm.

Le cadre est collé au laminé sur tout son périmètre par un silicone noir de la marque HUITIAN HT906Z et est posé en automatique au moyen d'une machine de dosage. Les modules sont stockés pendant 24 h pour permettre la polymérisation avant toute manipulation.

La conception des profilés longitudinaux inférieurs et supérieurs permet d'effectuer un emboîtement étanche entre deux modules photovoltaïques cadrés (cf Figure 10).

- Le profilé supérieur est équipé de deux joints tubulaires EPDM. Le module d'inertie aux axes principaux de ce profilé est :
 - $I_1 = 0,610 \text{ cm}^4$
 - $I_2 = 1,353 \text{ cm}^4$
- Le profilé inférieur est placé en bas du module photovoltaïque. Le module d'inertie aux axes principaux de ce profilé inférieur est :
 - $I_1 = 0,759 \text{ cm}^4$
 - $I_2 = 3,174 \text{ cm}^4$
- Les profilés latéraux possèdent une alvéole permettant la liaison mécanique avec les autres profilés. Le module d'inertie du profilé latéral droit ou gauche aux axes principaux est :
 - $I_1 = 2,186 \text{ cm}^4$
 - $I_2 = 4,862 \text{ cm}^4$

Dans le cas d'un module prévu pour une pose en mode paysage (cf Figure 2, Figure 5, Figure 6), 2 pattes en acier inoxydable A2 sont fixées en usine à l'aide, pour chacune, de 3 rivets Ø4x10 mm en aluminium sur le cadre haut du module dans des trous prévus à cet effet.

2.2.3. Système de montage

Les éléments de ce système de montage sont commercialisés par projet suite au dimensionnement de la société CETIH CARQUEFOU.

2.2.3.1. Ensemble "support"

La structure support qui permet le soutien de l'ensemble de l'installation est constituée des éléments suivants :

- Rail gouttière
Ce profilé, en aluminium EN AW 6063 T5 brut, constitue la structure support sur laquelle viendront s'appuyer les modules photovoltaïques. Ces éléments ont une longueur maximale de 7,08 mètres et une section de dimensions hors tout de 75 mm x 25,4 mm (cf Figure 12).
Chaque rail est équipé d'un câble de terre vissé à l'extrémité haute par une vis à tête cylindrique bombée de diamètre 4,2 mm et de longueur 32 mm en acier inoxydable A2.
Chaque rail gouttière est fixé au point haut sur la planche et est libre de se dilater vers le bas dans le sens du rampant de la toiture (cf Figure 36 et Figure 37).
Les modules d'inertie du rail gouttière aux axes principaux sont :
 - $I_1 = 2,115 \text{ cm}^4$
 - $I_2 = 17,168 \text{ cm}^4$
- Crochet de fixation des rails
Ces éléments, en acier inoxydable X2CrNi18-9 (304 L), permettent de fixer par pincement le rail sur les planches au pas des modules tout en permettant la dilatation suivant l'axe du rampant de la toiture. Chaque crochet est vissé par 2 vis bois Ø5x30 mm sur la planche (cf Figure 12).
Les crochets de fixation des rails sont de deux types (cf Figure 36 et Figure 37) selon qu'ils fixent le rail sur une planche ou sur un chevron (*dans le cas des ardoises en partie latérale*).
- Bride de fixation
Ce profilé, en aluminium EN AW 6063 T5 anodisé noir sur une épaisseur minimum de 15 µm, permet de maintenir en position les modules et les abergements. Cette pièce a une longueur maximale de 7,00 mètres et une section de dimensions 38 mm x 39,5 mm (cf Figure 12).
Les modules d'inertie de la bride aux axes principaux sont :
 - $I_1 = 2,541 \text{ cm}^4$
 - $I_2 = 2,700 \text{ cm}^4$
 Les brides sont percées en usine par des trous de 7 mm de diamètre. Le premier perçage est situé à 50 mm du bord inférieur de la bride et les autres sont réalisés au demi pas des modules. Cette bride de fixation permet de fixer le module au rail par l'intermédiaire de vis autoperceuses Ø6x38 mm (cf §2.2.3.3).
- Pattes de maintien (pour une pose des modules en mode paysage)
Ces pattes, en acier inoxydable A2, permettent de renforcer le maintien des modules positionnés en mode paysage (cf Figure 12).
Elles viennent s'emboîter dans les pattes fixées en usine le long du cadre haut des modules PE-ww-xxx-H-yy ou PEH-xxx-yy-uuu. Elles sont fixées sur chaque planche située en partie haute du module à l'aide de vis à bois Ø5x30 mm (cf § 2.2.4.6). Chaque patte de maintien est vissée par 3 vis bois Ø5x30 mm sur la planche (cf Figure 12).

2.2.3.2. Ensemble "Abergements"/Éléments de finition

Les tôles d'abergement, les larmiers inférieurs, les coulisseaux d'étanchéité supérieure, les barrières "T", et les pattes de fixation sont en aluminium d'épaisseur 0,7 mm laqué noir sur les deux faces (*peinture polyester d'épaisseur 37 µm*).

- Abergement supérieur d'angle gauche

L'abergement d'angle gauche, dont les dimensions hors tout sont précisées dans le tableau ci-après, réalise la jonction entre la couverture et l'angle supérieur gauche du champ photovoltaïque (cf Figure 13 et Figure 14). Cette pièce possède à son extrémité, dans la zone de recouvrement avec l'abergement supérieur intermédiaire contigu, une chemise de garantie et une pince permettant la liaison avec les coulisseaux d'étanchéité supérieure. La géométrie des abergements supérieurs d'angle gauche permet un recouvrement avec les couloirs d'abergement latéraux.

	Dimensions de l'abergement supérieur d'angle gauche tuile	Dimensions de l'abergement supérieur d'angle gauche ardoise
Module PE-ww-xxx-V-yy	775 mm x 372 mm x 56 mm	775 mm x 422 mm x 56 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	847 mm x 372 mm x 56 mm	847 mm x 422 mm x 56 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 105 mm x 372 mm x 56 mm	1 105 mm x 422 mm x 56 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 138 mm x 372 mm x 56 mm	1 138 mm x 422 mm x 56 mm

- Abergement supérieur intermédiaire

L'abergement supérieur intermédiaire, dont les dimensions hors tout sont précisées dans le tableau ci-après, réalise la jonction entre la couverture et la partie supérieure courante du champ photovoltaïque. Chaque abergement supérieur intermédiaire possède à son extrémité, dans la zone de recouvrement avec l'abergement supérieur intermédiaire suivant, une chemise de garantie et une pince permettant la liaison avec les coulisseaux d'étanchéité supérieure (cf Figure 15 et Figure 16).

	Dimensions de l'abergement supérieur intermédiaire tuile	Dimensions de l'abergement supérieur intermédiaire ardoise
Module PE-ww-xxx-V-yy	1 075 mm x 352 mm x 56 mm	1 075 mm x 401 mm x 56 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	1 219 mm x 352 mm x 56 mm	1 219 mm x 401 mm x 56 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 738 mm x 352 mm x 56 mm	1 738 mm x 401 mm x 56 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 804 mm x 352 mm x 56 mm	1 804 mm x 401 mm x 56 mm

- Abergement supérieur d'angle droit

L'abergement supérieur d'angle droit, dont les dimensions hors tout sont précisées dans le tableau ci-après, réalise la jonction entre la couverture et l'angle supérieur droit du champ photovoltaïque. La géométrie de cette pièce permet son recouvrement avec les couloirs d'abergement latéraux (cf Figure 13 et Figure 14).

	Dimensions de l'abergement supérieur d'angle droit tuile	Dimensions de l'abergement supérieur d'angle droit ardoise
Module PE-ww-xxx-V-yy	736 mm x 372 mm x 56 mm	736 mm x 422 mm x 56 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	808 mm x 372 mm x 56 mm	808 mm x 422 mm x 56 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 066 mm x 372 mm x 56 mm	1 066 mm x 422 mm x 56 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 099 mm x 372 mm x 56 mm	1 099 mm x 422 mm x 56 mm

- Coulisseau d'étanchéité supérieure

Cet élément assure la liaison entre deux abergements supérieurs consécutifs. Les coulisseaux d'étanchéité, de dimensions 372 mm x 72,7 mm de largeur pour la tuile, et 420 mm x 72,7 mm pour l'ardoise, se positionnent par-dessus le recouvrement entre deux abergements successifs et se fixent sur la planche supérieure (cf Figure 15 et Figure 16).

- Couloir d'abergement latéral (pour tuiles)

Ces tôles, dont les dimensions hors tout sont précisées dans le tableau ci-après, assurent la jonction entre la couverture et les rives du champ photovoltaïque (cf Figure 17). Le recouvrement minimum entre 2 couloirs emboîtés est de 170 mm.

	Dimensions du couloir d'abergement latéral (pour tuiles)
Module PE-ww-xxx-V-yy	1 860 mm x 212 mm x 28 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	1 926 mm x 212 mm x 28 mm

Module PE-ww-xxx-H-yy	1 197 mm x 212 mm x 28 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 341 mm x 212 mm x 28 mm

- Couvre-noquet (pour ardoises)

Ces pièces, dont les dimensions hors tout sont précisées dans le tableau ci-après, assurent la jonction entre les rives du champ photovoltaïque et les noquets (cf Figure 18). Leur recouvrement minimum est de 160 mm.

	Dimensions du couvre-noquet (pour ardoises)
Module PE-ww-xxx-V-yy	1 860 mm x 35 mm x 43 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	1 926 mm x 35 mm x 43 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 197 mm x 35 mm x 43 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 341 mm x 35 mm x 43 mm

- Barrière "T" (pour tuiles)

Cette pièce, dont les dimensions hors tout sont précisées dans le tableau ci-après, se positionne sur les couloirs d'abergement latéraux afin de créer un couloir pour l'écoulement d'eau et d'éviter les infiltrations d'eau sous les tuiles par concomitance pluie et vent latéral (cf Figure 19).

	Dimensions de la barrière "T" (pour tuiles)
Module PE-ww-xxx-V-yy	1 870 mm x 40 mm x 65,7 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	1 936 mm x 40 mm x 65,7 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 207 mm x 40 mm x 65,7 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 351 mm x 40 mm x 65,7 mm

- Larmiers inférieurs

Dans le cas de la tuile, des larmiers viennent recouvrir la bande d'étanchéité basse (cf §2.2.4.4), afin de la protéger des frottements liés à la dilatation des rails aluminium. Ces larmiers ont des dimensions hors tout : 1 537 mm x 220 mm (cf Figure 20).

Dans le cas de l'ardoise, trois pièces assurent l'étanchéité de la partie basse du champ photovoltaïque (cf Figure 21). Le larmier gauche réalise la jonction entre les ardoises, le couloir latéral et l'angle bas gauche du champ photovoltaïque. Le larmier intermédiaire réalise la jonction entre les ardoises et la partie basse courante du champ photovoltaïque. Le larmier droit réalise la jonction entre les ardoises, le couloir latéral et l'angle bas droit du champ photovoltaïque.

Les dimensions de ces trois pièces sont précisées dans les tableaux ci-dessous :

	Dimensions du larmier gauche (pour ardoises)
Module PE-ww-xxx-V-yy	731 mm x 425 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	803 mm x 425 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 062,5 mm x 425 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 095,5 mm x 425 mm

	Dimensions du larmier intermédiaire (pour ardoises)
Module PE-ww-xxx-V-yy	1 143 mm x 425 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	1 287 mm x 425 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 806 mm x 425 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 872 mm x 425 mm

	Dimensions du larmier droit (pour ardoises)
Module PE-ww-xxx-V-yy	831 mm x 425 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	903 mm x 425 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 162,5 mm x 425 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 195,5 mm x 425 mm

- Grille d'aération basse

Cette grille en aluminium d'épaisseur 1 mm, thermolaqué noir (épaisseur 100 µm), dont les dimensions hors tout sont précisées dans le tableau ci-après, permet l'entrée d'air basse pour la ventilation de la sous-face des modules tout en empêchant la pénétration de nuisibles. Cette pièce a un pourcentage de vide de 51% et est fixée au cadre bas du module par des « griffes » (cf Figure 22).

	Dimensions de la grille d'aération basse
Module PE-ww-xxx-V-yy	993,5 mm x 49 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	1 137,5 mm x 49 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 656,5 mm x 49 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 722,5 mm x 49 mm

- Fixation haute

Ce profilé en aluminium EN AW 6060 T6 brut, est installé en partie supérieure du champ photovoltaïque. Il permet de bloquer la remontée d'eau en venant s'appuyer sur les deux joints tubulaires EPDM des profilés supérieurs des modules et de fixer les abègements hauts de faîtage. Le maintien de cette fixation haute est réalisé par 3 ou 5 vis autoperceuses ø6x38 mm. Cette pièce a les dimensions hors tout suivantes (cf Figure 23) :

	Dimensions de la fixation haute
Module PE-ww-xxx-V-yy	1 041 mm x 76,6 mm x 58 mm
Module PEV-xxx-vv-uuu	1 185 mm x 76,6 mm x 58 mm
Module PE-ww-xxx-H-yy	1 704 mm x 76,6 mm x 58 mm
Module PEH-xxx-vv-uuu	1 770 mm x 76,6 mm x 58 mm

Le module d'inertie de la fixation haute aux axes principaux est :

$$I_1 = 2,826 \text{ cm}^4 \text{ et } I_2 = 18,913 \text{ cm}^4$$

- Bouchon bas du rail gouttière

Cette pièce, en acier inoxydable X2CrNi18-9 (304 L) laqué noir, est prémontée à l'extrémité basse du rail gouttière. Son rôle est de bloquer temporairement le glissement des modules vers le bas, avant la pose de la bride (cf Figure 24).

- Pattes de fixation des abergements

Ces pièces, de dimensions hors tout 59 mm x 25 mm et de 0,7 mm d'épaisseur, permettent la fixation des abergements supérieurs et des couloirs d'abergement latéraux sur les liteaux ou planches en bois (cf Figure 25).

- Mousse d'étanchéité des abergements supérieurs

Une mousse auto-adhésive et imputrescible, en polyuréthane imprégnée d'acrylate, de dimensions 1 000 mm x 60 mm x 20 mm, est collée sur chantier sur les abergements supérieurs pour les couvertures en tuiles (cf Figure 26).

- Abergement de rive

Ces abergements sont spécifiques au chantier car la largeur de bande est fonction de la distance du premier ou du dernier rail à la rive. Après la réalisation du calepinage sur la toiture, le responsable de chantier fournit à CETIH CARQUEFOU la distance entre le bord extérieur du rail et le bord extérieur de la planche de rive. L'abergement de rive est ensuite fabriqué à façon. Il est constitué d'un ensemble de 2 pièces, le couloir de rive et l'abergement latéral de rive (cf Figure 27). La largeur du couloir de rive est limitée à 400 mm. L'abergement latéral de rive est maintenu par des pattes d'accroches, en acier galvanisé d'épaisseur 1 mm.

- Abergement de faitage

Cet abergement est constitué d'un closoir ventilé, d'une couverture de faitage, d'un abergement haut de faitage et d'une bande en plomb plissé. (cf Figure 28).

2.2.3.3. Visserie

- Vis de maintien des brides sur les rails aluminium

Vis autoperceuse "Refabo RV-r" de la société Reisser, en acier inoxydable A2, à tête hexagonale 6 pans de 8 mm laquée noire RAL 9005, de diamètre 6 mm et de longueur 38 mm, munie d'une rondelle Inox/EPDM de diamètre 16 mm, ayant une résistance caractéristique Pk de 828 daN dans les rails aluminium pour un ancrage de 3,5mm.

- Vis de fixation haute des rails aluminium (point fixe)

Vis autoperceuse "Refabo RP-r" de la société Reisser, bimétal acier/acier inoxydable A2, à tête hexagonale 6 pans de 8 mm incolore, de diamètre 6 mm et de longueur 38 mm, avec rondelle inox/EPDM de diamètre 16 mm, ayant une résistance caractéristique Pk de 236 daN dans une planche avec un ancrage de 22 mm et 151 daN dans 12 mm.

- Vis de maintien des bouchons bas des rails aluminium

Vis "TGS" de la société Etanco, en acier inoxydable A2, à tête fraisée bombée laquée noire RAL 9005, de diamètre 4,5 mm et de longueur 35 mm, munie d'une rondelle inox/EPDM de diamètre 20 mm.

2.2.4. 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 :

2.2.4.1. Planches

Les planches 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%.

Pour les couvertures en tuiles, leur hauteur est identique à celle des liteaux de la couverture sans descendre en dessous de 25 mm et deux largeurs sont nécessaires :

- 200 mm,
- 100 mm.

Pour les couvertures en ardoises, deux dimensions sont nécessaires :

- 25 x 200 mm
- 15 x 150 mm.

Les planches doivent au minimum être en appui sur 3 chevrons et elles doivent être de longueur légèrement supérieure à la longueur du champ.

2.2.4.2. Cales en bois (pour toitures en tuiles)

Les cales en bois doivent être 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%. Les cales doivent avoir une section (h x l) de 15 x 38 mm.

Elles sont placées pour obtenir l'inclinaison requise des planches de largeur 100 mm.

2.2.4.3. Écran 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 sous certification "QB 25" avec un classement W1 avant et après vieillissement et Sd1 selon la norme EN 13859-1 et avec un classement T adapté à l'entraxe entre chevrons de la toiture. Il doit être mis en œuvre conformément aux dispositions définies dans la norme NF DTU 40.29 et complétées par les indications portées dans la suite du présent Dossier.

2.2.4.4. Bande d'étanchéité basse

Les bandes d'étanchéité basses sont utilisées uniquement dans le cas de couvertures en tuiles. Elles sont constituées de bande en plomb ou de bande flexible bitumineuse bénéficiant d'un Avis Technique pour cet usage. Leur largeur est de 450 mm au minimum.

2.2.4.5. Noquets d'ardoise

La jonction latérale entre les ardoises et le champ photovoltaïque est réalisée avec des noquets adaptés au format des ardoises conformément à la norme NF DTU 40.11.

2.2.4.6. Visserie

- Vis de maintien des crochets de fixation des rails sur les planches

Vis bois à tête fraisée, en acier zingué, de diamètre 5 mm et de longueur 30 mm ayant une résistance caractéristique $P_k \geq 150$ daN pour un ancrage minimum de 25 mm dans le bois.

- Vis de fixation des pattes de maintien (pour une pose des modules en paysage)

Vis bois à tête fraisée, en acier zingué, de diamètre 5 mm et de longueur 30 mm ayant une résistance caractéristique $P_k \geq 150$ daN pour un ancrage minimum de 25 mm dans le bois.

- Vis de fixation des planches sur les chevrons

Vis bois à tête fraisée, en acier zingué, de diamètre minimum 5 mm et de longueur minimum 60 mm, ayant une résistance caractéristique $P_k \geq 200$ daN pour un ancrage minimum de 40 mm dans le bois.

2.2.4.7. Câbles de mise à la terre

De section 6 mm² minimum pour l'interconnexion avec les rails gouttière et les modules, et de 16 mm² minimum pour la liaison à la prise de terre du bâtiment. Il est nécessaire d'utiliser des câbles isolés vert et jaune conformes aux recommandations des normes NF C 15-100 et des guides UTE C 15-712 (cf Figure 29).

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Généralités

Le procédé est livré avec sa notice de montage et sa notice de câblage électrique.

La mise en œuvre du procédé ne peut être réalisée que pour le domaine d'emploi défini au § 1.1.

Elle doit impérativement être réalisée au-dessus d'un écran de sous-toiture (cf. § 2.4.1).

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

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 d'attirer l'attention du Maître d'ouvrage sur le fait qu'une reconnaissance préalable de la toiture doit être réalisée à l'instigation du Maître d'ouvrage vis-à-vis de la tenue des fixations et de la toiture afin de vérifier la capacité de la charpente à accueillir le procédé photovoltaïque, la présence ou non d'un écran souple 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.

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.

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.

Comme tous les procédés de couverture, les ancrages des lignes de vie ne doivent pas être effectués ni dans les liteaux, ni dans le voligeage support, mais dans la structure porteuse.

2.3.2. Caractéristiques dimensionnelles

Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques				
-	PE-ww-xx-V-yy	PE-ww-xx-H-yy	PEV-xxx-vv-uuu	PEH-xxx-vv-uuu
Dimensions hors tout (mm)	1 715,7 x 1 023,3 x 43,7	1 686,3 x 1 054,6 x 43,7	1 782 x 1 167 x 43,7	1 752 x 1 199 x 43,7
Dimensions du module sans cadre (mm)	1 659 x 996 x 4,5	1 659 x 996 x 4,5	1 725 x 1 140 x 4,5	1 725 x 1 140 x 4,5
Surface hors tout (m ²)	1,76	1,78	2,10	2,10
Masse (kg)	18,1	17,8	23,1	22,8
Masse spécifique (kg/m ²)	10,3	10,0	11,0	10,9

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

Leurs caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes :

Caractéristiques des champs PV sur tuiles				
-	PE-ww-xx-N-yy		PEN-xxx-vv-uuu	
Configuration	V	H	V	H
Largeur du champ (mm)	NbX x 1 044 + 636 mm	NbX x 1 707 + 636 mm	NbX x 1 188 + 636 mm	NbX x 1 773 + 636 mm
Longueur du champ dans le sens du rampant (mm)	NbY x 1 685 + 405 mm	NbY x 1 022 + 405 mm	NbY x 1 751 + 405 mm	NbY x 1 177 + 405 mm

Caractéristiques des champs PV sur ardoises				
-	PE-ww-xx-N-yy		PEN-xxx-vv-uuu	
Configuration	V	H	V	H
Largeur du champ (mm)	NbX x 1 044 + 436 mm	NbX x 1 707 + 436 mm	NbX x 1 188 + 436 mm	NbX x 1 773 + 436 mm
Longueur du champ dans le sens du rampant (mm)	NbY x 1 685 + 660 mm	NbY x 1 022 + 660 mm	NbY x 1 751 + 660 mm	NbY x 1 177 + 660 mm

Avec :

NbX : le nombre de modules par ligne du champ photovoltaïque,

NbY : le nombre de modules par colonne du champ photovoltaïque.

2.3.3. Caractéristiques électriques

2.3.3.1. Conformité à la norme NF EN 61215

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

2.3.3.2. Sécurité électrique

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

2.3.3.3. Performances électriques

Les puissances électriques des modules, validées par les normes NF EN 61215 et NF EN 61730, vont de 300 Wc à 400 Wc.

Dans le tableau suivant, 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/m² et répartition spectrale solaire de référence selon la norme CEI 60904-3 avec une température de cellule de 25 °C).

Modules PE-ww-xxx-N-yy							
P_{mpp} (W)	300	305	310	315	320	325	330
U_{co} (V)	39,60	39,96	40,44	40,56	40,98	41,16	41,43
U_{mpp} (V)	31,92	32,26	32,72	32,83	33,29	33,52	33,86
I_{cc} (A)	10,01	10,04	10,07	10,08	10,14	10,17	10,22
I_{mpp} (A)	9,44	9,48	9,55	9,56	9,64	9,67	9,72
αT (P_{mpp}) [%/K]	-0,39						
αT (U_{co}) [%/K]	-0,30						
αT (I_{cc}) [%/K]	0,060						
Courant inverse maximum (A)	15						

Modules PEN-xxx-vv-uuu							
P_{mpp} (W)	375	380	385	390	395	400	
U_{co} (V)	36,95	37,09	37,25	37,39	37,54	37,70	
U_{mpp} (V)	31,95	32,25	32,54	32,83	33,08	33,36	
I_{cc} (A)	12,62	12,69	12,74	12,80	12,85	12,91	
I_{mpp} (A)	11,76	11,80	11,86	11,90	11,96	12,02	
αT (P_{mpp}) [%/K]	-0,39						
αT (U_{co}) [%/K]	-0,30						
αT (I_{cc}) [%/K]	0,060						
Courant inverse maximum (A)	22						

Avec :

- P_{mpp}** : Puissance au point de puissance maximum.
- U_{co}** : Tension en circuit ouvert.
- U_{mpp}** : Tension nominale au point de puissance maximum.
- I_{cc}** : Courant de court-circuit.
- I_{mpp}** : Courant nominal au point de puissance maximum.
- αT (P_{mpp})** : Coefficient de température pour la puissance maximum.
- αT (U_{co})** : Coefficient de température pour la tension en circuit ouvert.
- αT (I_{cc})** : Coefficient de température pour l'intensité de court-circuit.

2.3.4. Spécifications électriques

2.3.4.1. Généralités

Les spécifications relatives à l'installation électrique décrites au Dossier Technique doivent être respectées.
 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.
 Les câbles électriques et les connecteurs ne doivent pas reposer dans les zones d'écoulement ou de rétention d'eau.

Tous les travaux touchant à l'installation électrique doivent être confiés à des électriciens habilités (cf. §.2.4.2).

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

2.3.4.2. Connexion des câbles électriques

Le schéma de principe du câblage est décrit en Figure 29.

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'une colonne de modules à une autre, le passage des câbles s'effectue en passant sous le rail entre deux planches.

- Câbles de liaison équipotentielle des masses

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

- les masses métalliques des cadres des modules photovoltaïques, par l'intermédiaire d'un câble de section 6 mm² équipé d'un côté d'une cosse vissée en usine sur les profilés supérieurs, et de l'autre côté d'un connecteur de dérivation auto-dénudant, de type AMP Electro-Tap de la société TE connectivity (voir Figure 30),
- les masses métalliques de chaque rail par l'intermédiaire de câbles de mise à la terre identique à celui équipant les modules photovoltaïques. Le câble de mise à la terre est vissé dans l'alvéole du rail par une vis à tête cylindrique bombée de diamètre 4,2 mm et de longueur 32 mm en acier inoxydable A2 (voir Figure 31).

- 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 est réalisé entre deux lés d'écran 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 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 de sous-toiture considéré*) doit être posée autour des entailles.

Dans tous les cas, il est nécessaire de se reporter à la norme NF DTU 40.29 et à la certification relative à l'écran de sous-toiture considéré.

L'ensemble des câbles doit ensuite être acheminé dans des gaines techniques repérées et prévues 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,

2.4. Dispositions de mise en œuvre

2.4.1. Conditions préalables à la pose

Les règles de mise en œuvre décrites au Dossier Technique et les dispositions mentionnées au § 1.2.2.2.1 "Stabilité" et § 1.2.2.2.2 « Sécurité en cas de séisme » 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. § 2.2.4.3 : *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 du Dossier Technique (cf. § 2.4.1).

La mise en œuvre, ainsi que les opérations d'entretien, de maintenance et de réparation du procédé photovoltaïque doivent être assurées par des installateurs agréés par la société CETIH CARQUEFOU.

La mise en œuvre doit impérativement être réalisée au-dessus d'un écran de sous-toiture (cf § 2.2.4.3) afin d'évacuer jusqu'à l'égoût 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'égoût). La pose de cet écran doit se faire conformément aux dispositions définies dans le DTU 40.29 : pose sur les chevrons avec contrelattes.

Avant toute implantation, il est nécessaire de vérifier que :

- l'entraxe entre chevrons est au maximum de 900 mm,
- l'entraxe entre liteaux est au maximum de 500 mm,
- l'épaisseur des liteaux est supérieure ou égale à 25 mm pour la tuile et supérieure ou égale à 15 mm pour l'ardoise.

2.4.2. Compétences des installateurs

La mise en œuvre du procédé doit être assurée par des installateurs ayant été formés par la société CETIH CARQUEFOU (cf. § 2.9).

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" pour le raccordement des modules, habilitation "B2T" pour le branchement aux onduleurs... Les habilitations suivantes peuvent être demandées : habilitations PB pour les non-électriciens et autorisant la connexion des chaînes de modules, habilitation BR PV pour l'intervenant électricien.

2.4.3. 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.

2.4.4. Mise en œuvre en toiture

2.4.4.1. Préparation de la toiture

Il convient en premier lieu de vérifier la répartition et le calepinage des modules photovoltaïques sur la toiture et, dans le cas d'une toiture existante, de déposer les éléments de couverture existants dans la zone d'implantation du champ photovoltaïque. Pour ce faire, l'installateur peut se faire aider par le logiciel SYSTOPARTNER, auquel il est formé et accompagné par CETIH CARQUEFOU, disponible sur le site "www.systovi.com" et par le bureau d'étude de CETIH CARQUEFOU. L'installateur doit déclarer le numéro de série du kit solaire posé sur le portail SYSTOPARTNER afin d'en assurer la traçabilité. La surface à aménager pour l'implantation des modules photovoltaïques devra posséder les dimensions indiquées au § 2.3.2 en y rajoutant un rang d'éléments de couverture au minimum.

Avant de poser le système SYSTOVI – P-MAX intégré, il est nécessaire de mettre en place et d'amener en toiture les câbles électriques qui permettront la connexion des séries de modules vers l'onduleur.

2.4.4.2. Pose en partie courante de toiture

2.4.4.2.1. Montage des planches

En premier lieu, il est nécessaire d'ajouter des planches sur la surface d'implantation des modules. Ces planches, non fournies (voir §2.2.4.1), doivent être positionnées sur les contrelattes et perpendiculairement aux chevrons. Au préalable, les éventuels liteaux existants à l'emplacement des planches doivent être retirés.

Les planches sont fixées au minimum sur 3 appuis, au droit de chaque chevron par deux vis bois à tête fraisée non fournies (voir §2.2.4.6), de diamètre 5 mm et de longueur suffisante pour avoir un ancrage minimum de 40 mm dans les chevrons. Les vis de fixation des planches doivent être placées entre 20 et 25 mm du bord de la planche. Les planches sont mises en œuvre du bas vers le haut.

Pour les couvertures en tuiles (cf Figure 32) :

Dans le cas de la tuile, la 1^{ière} planche, en bas du champ photovoltaïque, doit avoir une largeur de 100 mm et être mise en place au bord de la tuile. Une cale en bois (cf §2.2.4.2), de section 15 x 38 mm, doit être utilisée pour incliner la planche, afin de faciliter l'écoulement de l'eau sur les tuiles. Une 2^{ème} planche de largeur 100 mm vient se positionner à la suite et une dernière planche de largeur 200 mm, termine le platelage pour la partie basse du champ photovoltaïque.

Par la suite et en fonction de la longueur de rampant de l'installation, il est nécessaire d'ajouter des planches intermédiaires de largeur 200 mm. Ces planches sont disposées aux distances suivantes, en utilisant comme référence la 1^{ière} planche de 200 mm, avec une tolérance de ± 5 mm :

Pour une orientation en V de modules 60 Cellules PE-ww-xxx-V-yy :

- Pour 1 ligne de modules : 740 mm ; 1 660 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 740 mm ; 1 585 mm ; 2 425 mm ; 3 345 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 740 mm ; 1 585 mm ; 2 425 mm ; 3 270 mm ; 4 110 mm ; 5 030 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 740 mm ; 1 585 mm ; 2 425 mm ; 3 270 mm ; 4 110 mm ; 4 955 mm ; 5 795 mm ; 6 715 mm.

Pour une orientation en V de modules 54 Cellules 182 mm x 182 mm :

- Pour 1 ligne de modules : 775 mm ; 1 730 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 775 mm ; 1 650 mm ; 2 530 mm ; 3 475 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 775 mm ; 1 650 mm ; 2 530 mm ; 3 400 mm ; 4 275 mm ; 5 220 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 775 mm ; 1 650 mm ; 2 530 mm ; 3 400 mm ; 4 275 mm ; 5 150 mm ; 6 030 mm ; 6 975mm.

Pour une orientation en H des modules 60 Cellules PE-ww-xxx-H-yy:

- Pour 1 ligne de modules : 410 mm ; 1 000 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1 430 mm ; 2 020 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 3 040 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 2 965 mm ; 3 475 mm ; 4 065 mm.
- Pour 5 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 2 965 mm ; 3475 mm ; 3 985 mm ; 4 495 mm ; 5 085 mm.
- Pour 6 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1 430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 2 965 mm ; 3 475 mm ; 3 985 mm ; 4495 mm ; 5 005 mm ; 5 515 mm ; 6 105 mm.

Pour une orientation en H des modules 54 Cellules 182 mm x 182 mm :

- Pour 1 ligne de modules : 480 mm ; 1 140 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 310 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 230 mm ; 2 810 mm ; 3 475 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2230 mm ; 2 810 mm ; 3 395 mm ; 3 980 mm ; 4 640 mm.

- Pour 5 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 230 mm ; 2 810 mm ; 3 395 mm ; 3 980 mm ; 4 560 mm ; 5 145 mm ; 5 805 mm.
- Pour 6 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 230 mm ; 2 810 mm ; 3 395 mm ; 3 980 mm ; 4 560 mm ; 5 145 mm ; 5 725 mm ; 6 310 mm ; 6 970 mm

Enfin, en partie supérieure de l'installation, une planche horizontale de section 25 x 200 mm doit être installée consécutivement à la dernière planche la plus haute.

Pour les couvertures en ardoises (cf Figure 33) :

Dans le cas de l'ardoise, la 1^{ière} planche de section 25 x 200 mm doit être placée à 50 mm du bord de l'ardoise.

Par la suite et en fonction de la longueur de rampant de l'installation, il est nécessaire d'ajouter des planches intermédiaires de section 25 x 200 mm. Ces planches sont disposées aux distances suivantes, en utilisant comme référence la 1^{ière} planche, avec une tolérance de ± 5 mm :

Pour une orientation en V de modules 60 Cellules PE-ww-xxx-V-yy :

- Pour 1 ligne de modules : 740 mm ; 1 660 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 740 mm ; 1 585 mm ; 2 425 mm ; 3 345 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 740 mm ; 1 585 mm ; 2 425 mm ; 3 270 mm ; 4 110 mm ; 5 030 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 740 mm ; 1 585 mm ; 2 425 mm ; 3 270 mm ; 4 110 mm ; 4 955 mm ; 5 795 mm ; 6 715 mm.

Pour une orientation en V de modules 54 Cellules 182 mm x 182 mm :

- Pour 1 ligne de modules : 775 mm ; 1 730 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 775 mm ; 1 650 mm ; 2 530 mm ; 3 475 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 775 mm ; 1 650 mm ; 2 530 mm ; 3 400 mm ; 4 275 mm ; 5 220 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 775 mm ; 1 650 mm ; 2 530 mm ; 3 400 mm ; 4 275 mm ; 5 150 mm ; 6 030 mm ; 6 975 mm.

Pour une orientation en H des modules 60 Cellules PE-ww-xxx-H-yy :

- Pour 1 ligne de modules : 410 mm ; 1 000 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1 430 mm ; 2 020 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1 430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 3 040 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1 430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 2 965 mm ; 3 475 mm ; 4 065 mm.
- Pour 5 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1 430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 2 965 mm ; 3 475 mm ; 3 985 mm ; 4 495 mm ; 5 085 mm.
- Pour 6 lignes de modules : 410 mm ; 920 mm ; 1 430 mm ; 1 940 mm ; 2 450 mm ; 2 965 mm ; 3 475 mm ; 3 985 mm ; 4 495 mm ; 5 005 mm ; 5 515 mm ; 6 105 mm.

Pour une orientation en H des modules 54 Cellules 182 mm x 182 mm :

- Pour 1 ligne de modules : 480 mm ; 1 140 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 310 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 230 mm ; 2 810 mm ; 3 475 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 230 mm ; 2 810 mm ; 3 395 mm ; 3 980 mm ; 4 640 mm.
- Pour 5 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 230 mm ; 2 810 mm ; 3 395 mm ; 3 980 mm ; 4 560 mm ; 5 145 mm ; 5 805 mm.
- Pour 6 lignes de modules : 480 mm ; 1 060 mm ; 1 645 mm ; 2 230 mm ; 2 810 mm ; 3 395 mm ; 3 980 mm ; 4 560 mm ; 5 145 mm ; 5 725 mm ; 6 310 mm ; 6 970 mm

Enfin, en partie supérieure de l'installation, une planche horizontale de section 15 x 150 mm doit être décalée de 100 mm de la dernière planche de section 25 x 200 mm. Elle permet l'assise des fixations et des abergements hauts.

2.4.4.2.2. Mise en place de l'étanchéité basse

Pour les couvertures en tuiles (cf Figure 34) :

Une bande d'étanchéité basse, non fournie (voir §2.2.4.4), doit être préalablement mise en place avec un recouvrement de 150 mm en partie plane sur les planches et 150 mm minimum sur les tuiles basses. Les extrémités gauche et droite doivent finir sur le haut de l'onde des tuiles latérales et avoir une pince afin de bloquer les remontées d'eau en cas de vent latéral. La bande d'étanchéité basse ne doit comporter aucune partie posée à contre-pente.

Un larmier vient ensuite recouvrir la bande d'étanchéité basse sur la partie plane des planches. Les larmiers inférieurs se posent de gauche à droite avec un recouvrement latéral minimum de 100 mm. La partie haute de ces pièces est fixée par au moins 2 pattes clouées sur les planches (cf Figure 34).

Pour les couvertures en ardoises (cf Figure 35) :

Les larmiers inférieurs doivent être fixés sur les planches du bas de façon à recouvrir les ardoises de 216 mm. Ces pièces se posent de gauche à droite avec un recouvrement latéral de 100 mm. Les pièces aux extrémités gauche et droite sont spécifiques. La partie haute de ces pièces est fixée par au moins 2 pattes clouées sur les planches et la partie basse est prise dans les crochets d'ardoise. Les larmiers inférieurs ne doivent comporter aucune partie posée à contre-pente.

2.4.4.2.3. Calepinage du procédé

Il est indispensable de prendre tous les repères nécessaires pour permettre le calepinage des modules photovoltaïques. Le 1^{er} trait de référence horizontal est situé à 150 mm sous le bord supérieur de la bande d'étanchéité basse. Le 1^{er} trait de référence vertical est positionné à 352 mm de l'extrémité gauche de la pièce d'étanchéité basse pour la tuile (cf Figure 34), et il est positionné au bord des planches pour l'ardoise (cf Figure 35). Ces 2 axes de références seront tracés à l'aide d'un cordeau et leur perpendicularité sera vérifiée. Sauf impossibilité, le premier rail gouttière sera positionné de manière à éviter de couper des tuiles sur le bord gauche du champ photovoltaïque.

2.4.4.2.4. Mise en place des rails gouttière

Le 1^{er} rail gouttière est posé verticalement dans le sens du rampant, recouvrant de 150 mm le larmier (*tuiles ou ardoises*) et décalé de 280 mm du bord latéral gauche pour la tuile, et aligné avec le bord de la 1^{ère} planche pour l'ardoise. La partie avec le câble de terre est placée vers le haut.

Une vis autoperceuse bois de diamètre 6 mm et longueur 38 mm, passant par le pré-perçage en partie haute du rail, vient créer un point fixe et permet la dilatation du champ photovoltaïque uniquement vers le bas (cf Figure 36 et Figure 37).

Au droit des autres planches, le rail gouttière est maintenu en position sur les planches avec deux crochets de fixation en vis-à-vis, chaque crochet étant vissé par 2 vis bois de diamètre 5 mm et de longueur 30 mm, non fournies (cf 2.2.4.6).

La longueur du champ photovoltaïque suivant le rampant est limitée à 7,08 mètres, correspondant à la longueur maximum d'un rail gouttière.

Les autres rails gouttière sont positionnés parallèlement au premier, espacés selon le tableau ci-dessous, à l'aide d'un gabarit de montage à la bonne longueur :

Espacement des rails gouttières		
-	V	H
PE-ww-xxx-N-yy	969	1 632
PEN-xxx-vv-uuu	1 113	1 698

2.4.4.2.5. Mise en place des modules

Le montage des modules se fait par colonne du bas vers le haut (cf Figure 38 et Figure 39). Ils sont reliés à l'aide du connecteur de dérivation auto-dénudant au câble de terre principal (voir §2.2.2.5.3).

Le 1^{er} module est posé sur les rails gouttière de la première colonne (à gauche ou à droite du champ photovoltaïque) et amené en appui sur le bouchon bas des rails, prémonté en usine (cf Figure 38 et Figure 39).

Dans le cas de modules posés en paysage, il est nécessaire après la mise en place de chaque module de venir fixer sur la planche située en haut du module les pattes de maintien à l'aide des vis bois Ø5 x 30 mm (cf Figure 40).

Le second module vient s'emboîter dans le module du bas. Les autres modules de la colonne sont posés de la même façon sur les rails gouttières : le cadre du module vient s'insérer dans le module situé sur la rangée inférieure. La mise en place des connexions électriques (polarités et liaison équipotentielle des masses) se fait à l'avancement.

Les mêmes étapes de mise en œuvre sont répétées à l'identique pour les colonnes adjacentes.

Une fois l'ensemble des modules installés, et avant de poser les fixations hautes, on vérifie que la tension de chaque série de modules est conforme à l'étude réalisée au préalable pour s'assurer que le montage soit correct.

2.4.4.2.6. Mise en place de la fixation haute

Les fixations hautes sont positionnées sur la planche supérieure et viennent en appui sur les cadres hauts des modules situés en partie supérieure du champ photovoltaïque (cf Figure 41). Ce profilé aluminium est fixé sur la planche supérieure par trois vis autoperceuse dans le cas des modules PE-ww-xxx-V-yy et PEV-xxx-vv-uuu, et cinq vis dans le cas des modules PE-ww-xxx-H-yy et PEH-xxx-vv-uuu. Ces vis sont de diamètre 6 mm et longueur 38 mm, munie d'une rondelle étanche de diamètre 16 mm (cf 2.2.3.3).

2.4.4.2.7. Mise en place des couloirs d'abergement latéraux pour les couvertures en tuile

Les couloirs d'abergements latéraux droits et gauches se posent de bas en haut, en appui sur le rail. Chaque abergement latéral recouvre le précédent sur 170 mm. De la même façon, les abergements latéraux gauches et droits situés en partie basse du champ photovoltaïque recouvrent les larmiers inférieurs sur 150 mm au minimum.

Chaque abergement latéral est fixé au niveau des pinces par 2 pattes de fixations clouées sur les liteaux ou planches (cf Figure 42).

Le film plastique de protection des tôles d'abergement doit être retiré au fur et à mesure de leur pose.

2.4.4.2.8. Pose des noquets et couvre-noquets pour les couvertures en ardoises

Des noquets conformes au DTU 40.11 sont relevés jusqu'au bord supérieur du rail sur toute la longueur (cf Figure 43).

Les couvre-noquets sont ensuite posés au contact des noquets et du rail, de bas en haut, avec un recouvrement de 160 mm sur le précédent, et maintenus en place par la bride du rail (cf Figure 53).

2.4.4.2.9. Mise en place des abergements supérieurs

Les abergements supérieurs sont posés de la gauche vers la droite. L'abergement supérieur d'angle gauche vient s'emboîter sur le couloir d'abergement latéral avec un recouvrement de 170 mm (cf Figure 44 et Figure 45).

Chaque abergement supérieur intermédiaire vient recouvrir le précédent de 31 mm avec un jeu de 10 mm au niveau des coulisseaux (cf Figure 46 et Figure 47).

Enfin l'abergement supérieur d'angle droit est posé avec un recouvrement de 170 mm sur le couloir latéral supérieur droit (cf Figure 48 et Figure 49).

Les abergements supérieurs sont fixés par :

- 3 pattes clouées sur les planches supérieures pour les abergements supérieurs d'angle gauche et droit,
- 2 pattes clouées sur les planches supérieures pour les abergements supérieurs intermédiaires,
- emboîtement dans la fixation haute,
- 2 clous à leur extrémité droite (sauf pour l'abergement d'angle droit).

Après la mise en place des abergements supérieurs, les coulisseaux sont installés entre chaque abergement supérieur (cf Figure 50 et Figure 51). Les coulisseaux sont maintenus en partie haute par un clou ardoise de diamètre 2,5 mm fixé sur la planche supérieure. Ce clou sera recouvert ultérieurement par les tuiles ou les ardoises.

Le film plastique de protection des tôles d'abergement doit être retiré au fur et à mesure de leur pose.

2.4.4.2.10. Mise en place des brides

Ces brides sont fixées dans les rails gouttière au demi pas des modules (842,5 mm pour les modules 60 cellules PE-ww-xxx-V-yy ; 875,5 mm pour les modules 54 cellules PEV-xxx-vv-uuu ; 511 mm pour les modules 60 cellules PE-ww-xxx-H-yy ; 583 mm pour les modules 54 cellules PEH-xxx-vv-uuu), avec des vis autoperceuses (cf §2.2.3.3) avec rondelle Inox/EPDM de diamètre 16 mm. Elles maintiennent ainsi les abergements latéraux et les modules photovoltaïques sur les rails gouttières (cf Figure 52 et Figure 53).

2.4.4.2.11. Mise en place de la mousse supérieure et de la barrière T (pour les couvertures en tuile uniquement)

Les closoirs en mousse auto-collante sont collés en partie haute de l'abergement supérieur à 70 mm de la pince (cf Figure 54). Avant de réaliser le collage du closoir mousse, les abergements supérieurs doivent être propres, secs et nettoyés de la poussière.

Sur les parties latérales du champ, les barrières T sont positionnées de façon à venir contre les tuiles en phase définitive (cf Figure 55). Elles sont collées sur les couloirs (*colle PU type Sikaflex non fournie*).

2.4.4.2.12. Remise en place des éléments de couverture

Lorsque l'installation est terminée (*mise en place de tous les abergements*), les éléments de couverture devront être replacés sur le pourtour du champ photovoltaïque.

En partie supérieure, les tuiles devront assurer un recouvrement de 150 à 200 mm sur les abergements supérieurs (cf Figure 54) et les ardoises minimum 110 mm (cf Figure 56). Les éléments de couverture composant la ligne directement au-dessus des abergements supérieurs devront impérativement être fixés.

En partie latérale, les tuiles doivent recouvrir les abergements latéraux de 60 mm au minimum.

D'autre part, les chatières éventuellement présentes avant la mise en place de l'installation devront être repositionnées sur le pourtour du champ photovoltaïque.

2.4.4.3. Pose aux abords des extrémités de toiture

2.4.4.3.1. À l'égout

Lorsque le champ photovoltaïque débouche à la gouttière, un larmier simple remplace la bande d'étanchéité basse. La mise en œuvre se fait de la même façon. La partie inférieure du larmier doit tomber dans la gouttière de 30 mm au minimum (cf Figure 57).

2.4.4.3.2. Aux rives

Lorsque le champ photovoltaïque est installé jusqu'en rive de toiture, les abergements latéraux sont remplacés par des abergements de rives spécifiques au chantier (cf Figure 27).

Les abergements de rive sont réalisés en 2 parties (*le couloir de rive et la rive latérale*), avec une jonction par joint debout. Le couloir de rive est maintenu par la bride et par des pattes de fixation clouées sur la charpente. La rive latérale est sertie d'un côté sur le couloir de rive et fixée de l'autre par les pattes d'accroches, en acier galvanisé d'épaisseur 1 mm, disposées tous les mètres.

Les abergements de rive se posent de bas en haut en respectant un recouvrement de 170 mm avec le précédent, comme pour les couloirs d'abergements latéraux.

La société CETIH CARQUEFOU réalise sur mesure les abergements spécifiques de rives en fonction de la position du champ photovoltaïque sur la toiture.

2.4.4.3.3. Au faîtage

Lorsque le champ photovoltaïque est posé jusqu'au faîtage, les abergements supérieurs sont remplacés par des abergements de faîtage spécifiques au chantier (cf Figure 28).

La mise en œuvre se fait de la manière suivante :

Pose du closoir ventilé sur des planches et fixation de celui-ci par des vis bois tous les 500 mm.

L'installation des abergements supérieurs de faîtage se fait de gauche à droite avec un recouvrement de 70 mm entre chaque abergement. Ils sont fixés au closoir ventilé par des vis de coutures.

Une bavette en plomb plissé est placée sur le versant opposé au champ, et fixé au closoir ventilé par des vis de coutures.

Une couvrtine de faîtage vient recouvrir le closoir ventilé. Elle est maintenue par des pattes en acier galvanisé qui sont vissées au closoir.

La société CETIH CARQUEFOU réalise sur mesure les abergements spécifiques de faîtage en fonction de la position du champ photovoltaïque sur la toiture.

2.5. Utilisation, entretien et réparation

2.5.1. Généralités

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

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

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

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.

Le point fixe des rails gouttière doit être réalisé dans une planche d'épaisseur 25 mm au minimum.

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. § 2.5.4).

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. § 2.4.2).

2.5.2. 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) :

- Inspection visuelle : détection d'éventuels dommages.
- 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). Interdiction d'utiliser un produit contenant un solvant ou un objet dur, ne pas injecter d'eau directement au niveau des aérations hautes et basses.
- Nettoyage des ventilations du champ photovoltaïque.
- Nettoyage des bas de rails gouttières et abergements latéraux pour enlever les amas de feuilles éventuelles.
- Vérification des jonctions d'abergements périphériques.
- Vérification du maintien des abergements et des éléments de couverture sur le pourtour du champ photovoltaïque.
- Inspection de la sous-toiture, si possible par les combles.
- Vérification des risques d'ombres portées (arbres) : élagage si besoin.
- Vérification du câblage.
- Vérification des fixations : Vérifier la présence et la tenue de l'ensemble de la visserie.

2.5.3. 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.

2.5.4. 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 :

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

- Avant d'intervenir sur le champ photovoltaïque concerné par le défaut, il est impératif de procéder à la déconnexion de l'onduleur du réseau en ouvrant le disjoncteur AC placé entre l'onduleur et le compteur de production et de procéder à la déconnexion du champ photovoltaïque en déclenchant l'intersectionneur DC placé entre le champ PV et l'onduleur.
- Si l'installation présente un risque de défaut d'isolement des câbles électriques DC, il convient de prendre toutes les dispositions nécessaires (*tapis 1000V, gants, casque avec lunettes...*) avant intervention sur les modules et les intervenants devront disposer d'une habilitation BR.
- Le démontage sera réalisé de haut en bas en procédant dans l'ordre inverse à celui indiqué dans la notice de montage. On fera particulièrement attention à la qualité de l'isolation des connecteurs débranchés afin d'éviter tout contact avec des pièces métalliques de l'installation (*cadre, rail, abergement, ...*). Ces connecteurs doivent être protégés avec des bouchons adaptés.
- La liaison équipotentielle reste active quel que soit le module à enlever tant que le câble principal de masse reste intègre.
- Le montage du module de remplacement se fait conformément aux préconisations du présent dossier technique.
- Après avoir mesuré la tension de série de la chaîne du module concerné par le défaut pour s'assurer de la bonne connexion de l'ensemble, on procèdera à la reconnexion du champ photovoltaïque en enclenchant l'intersectionneur DC et en reconnectant l'onduleur au réseau en fermant le disjoncteur AC.

2.6. Traitement en fin de vie

Conformément à l'article L. 541-10 du Code de l'Environnement, à la directive 2012/19/UE relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques et au décret n°2014-928 du 19 août 2014, les producteurs de modules photovoltaïques, dans le cadre de la Responsabilité Élargie des Producteurs, pourvoient ou contribuent à la collecte des déchets d'équipements électriques et électroniques ménagers au prorata des équipements qu'ils mettent sur le marché. L'article R. 543-180.-I. du Code de l'Environnement et l'arrêté du 8 octobre 2014 prévoient qu'en cas de vente d'un équipement, le distributeur de modules photovoltaïques reprend gratuitement ou fait reprendre gratuitement pour son compte les équipements usagés dont le consommateur se défait, dans la limite de la quantité et du type d'équipement vendu.

2.7. Fabrication et contrôles

2.7.1. Cadre des modules

Les cadres des modules photovoltaïques sont réalisés selon les plans de la société CETIH CARQUEFOU par deux entreprises dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de formuler des Avis Techniques.

Lors de la fabrication, des contrôles dimensionnels sont effectués sur le premier et le dernier cadre de la série.

2.7.2. Modules photovoltaïques

La fabrication des modules photovoltaïques, des modules factices, et leur assemblage avec le cadre sont effectués sur le site de la société CETIH CARQUEFOU à Carquefou (44).

Les contrôles aux différentes étapes du processus de fabrication de chaque module sont :

- Contrôle visuel et de la continuité électrique des chaînes de cellules.
- Contrôle visuel de l'espace entre les chaînes de cellules.
- Contrôle de la soudure des chaînes de cellule sur la bande d'interconnexion.
- Contrôle visuel et contrôle de la continuité électrique de la matrice de cellules avant passage au four de lamination.

Les contrôles suivants sont effectués sur 100 % des modules cadrés finalisés :

- Flash test : la tolérance sur la puissance maximum de sortie lors de la production des modules est de +/-1 %. Ces mesures sont consignées sur registre informatique.
- Contrôle par électroluminescence (EL) des laminés avant cadrage.
- Contrôle de l'isolation électrique.
- Test d'étanchéité sur la boîte de connexion.
- Contrôle à l'infrarouge sur 1 module tous les 10 modules et systématiquement sur tout module dont une des cellules cassées a été réparée.
- Contrôle dimensionnel par gabarit.
- Un contrôle visuel à 100% des modules est effectué avant emballage.

2.7.3. Composants de la structure support

Les pièces de la structure support (*rails gouttière, brides de fixation*) sont réalisés selon les plans de la société CETIH CARQUEFOU par deux entreprises dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de formuler des Avis Techniques.

À chaque production, la première et la dernière barre issues de la filière sont contrôlées sur toutes les côtes fonctionnelles.

2.7.4. Éléments de finition

Les abergements sont réalisés selon les plans de la société CETIH CARQUEFOU par deux entreprises dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de formuler des Avis Techniques.

Des contrôles dimensionnels et de conformité matière sont effectués par échantillonnage à réception des matières premières. Des contrôles visuels sont effectués à chaque étape de fabrication et sur chaque pièce finie.

2.8. Conditionnement, étiquetage, stockage

2.8.1. Modules photovoltaïques

Des cales en plastique spécialement développées pour le cadre des modules SYSTOVI – P-MAX intégré empêchent les modules de se toucher. Les 4 cales du premier module sont vissées sur la palette et empêchent ainsi tout glissement de l'ensemble des modules sur la palette. L'ensemble est filmé.

Chaque module est identifié par un étiquetage conforme à la norme NF EN 50380.

De plus, à la demande du client, un relevé des « flash test » de tous les modules peut être fourni avec le bon de livraison.

Les palettes doivent être stockées à l'abri de la pluie.

2.8.2. Éléments du système de montage

Les palettes sont constituées en fonction des éléments nécessaires à chaque chantier. Chacune de ces palettes présente la liste des pièces contenues, le numéro de la commande client et la fiche de contrôle qualité.

Le stockage sur chantier s'effectue à l'abri de la pluie.

2.9. Formation

La société CETIH CARQUEFOU organise une formation obligatoire "installateur" dispensée dans ses locaux à Carquefou. Cette formation permet d'aborder les spécificités du procédé SYSTOVI – P-MAX intégré, sa mise en œuvre ainsi que tous les aspects liés à la sécurité électrique.

Cette formation se décline en 2 parties :

- l'une théorique : présentation de l'entreprise CETIH CARQUEFOU, visite de l'usine de production des modules photovoltaïques, sécurité des intervenants, exigences de qualité, description du procédé,...
- l'autre pratique : mise en œuvre concrète par l'installateur d'une installation avec le montage du procédé SYSTOVI – P-MAX intégré sur une maquette de toit taille réelle au sein du Centre de Formation Cetih et travaux pratiques sur plusieurs ateliers

représentant les étapes clés de l'installation du système de montage et du câblage électrique. 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, une attestation nominative est délivrée aux participants par la société CETIH CARQUEFOU.

Le procédé SYSTOVI – P-MAX intégré est commercialisé exclusivement par les installateurs et distributeurs partenaires.

Pour devenir installateur du procédé SYSTOVI – P-MAX intégré, il est nécessaire :

- que l'installateur soit un professionnel enregistré au Registre du Commerce et des Sociétés,
- qu'il ait des compétences électriques et en couverture complétées par une qualification et/ou une certification professionnelle pour la pose de procédés photovoltaïques,
- qu'il ait suivi la formation de CETIH CARQUEFOU portant sur les spécificités du procédé SYSTOVI – P-MAX intégré,
- qu'il s'engage à faire auditer ses installations par le service technique de CETIH CARQUEFOU.

Un premier audit est réalisé après les trois premières installations. Si les recommandations de pose n'ont pas été respectées, la société CETIH CARQUEFOU exigera une mise en conformité des installations. Un autre audit sera alors organisé. Dans les cas où les préconisations de pose ne sont toujours pas respectées, l'entreprise sera retirée de la liste des installateurs agréés par CETIH CARQUEFOU.

Une assistance technique sur chantier est proposée à l'installateur pour la pose du premier kit SYSTOVI – P-MAX intégré.

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.

2.10. Assistance technique

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

La société CETIH CARQUEFOU propose une assistance technique pour un accompagnement sur chantier lors de la toute première installation.

La société assure ensuite 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.

2.11. Mention des justificatifs

2.11.1. Résultats expérimentaux

- Les modules photovoltaïques cadrés ont été testés selon la norme NF EN IEC 61215:2017 : Qualification de la conception et homologation des modules photovoltaïques, par le laboratoire CERTISOLIS (*certificat n° CC0128_1*).
- Les modules photovoltaïques cadrés ont été testés selon la norme NF EN IEC 61730:2018 et certifiés d'une classe II de sécurité électrique jusqu'à une tension maximum de 1000 V DC par le laboratoire CERTISOLIS (*certificat n° CC0128_1*).
- Le procédé photovoltaïque a été testé par le CSTB (*rapport n° FaCeT 20-0185-26086865*) lors d'un essai de résistance à la pression du vent selon la norme NF EN 12179 avec des modules PE-ww-xx-N-yy.
- Le procédé photovoltaïque a été testé par le CSTB (*rapport n° DEB 21-07998/F*) lors d'un essai de résistance à la pression du vent selon la norme NF EN 12179 avec des modules PEN-xxx-vv-uuu.

2.11.2. Références chantiers

Le procédé photovoltaïque est fabriqué depuis mars 2013.

Environ 150 000 m² ont été commercialisés en France à ce jour, soit environ 24 MW, dont 9 000 m² depuis la dernière évolution du procédé en septembre 2020.

2.12. 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 atmosphérique29

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

Éléments du procédé concernés	Matériau	Revêtement de finition sur la face exposée	Atmosphères extérieures							Spéciale
			Rurale non pollué	Industrielle ou urbaine		Marine				
				Normale	Sévère	20 km à 10 km	10 km à 3 km	Bord de mer* (<3km)	Mixte	
Cadre modules, bride, fixation haute	Aluminium	Anodisation $\geq 15 \mu\text{m}$	•	•	□	•	•	□	-	□
		Anodisation $\geq 20 \mu\text{m}$	•	•	□	•	•	•	-	□
Rail	Aluminium	Brut	•	•	□	•	•	□	-	□
Abergement	Aluminium	<i>Polyester</i> <i>37 μm</i>	•	•	□	•	•	□	□	□
Crochet de fixation des rails	Acier inoxydable A2	-	•	•	□	•	•	□	□	□

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

- : Matériau adapté à l'exposition
- : Matériau dont le choix définitif ainsi que les caractéristiques particulières doivent être arrêtés après consultation et accord du titulaire de l'Avis Technique
- : Matériau non adapté à l'exposition
- * : à l'exception du front de mer

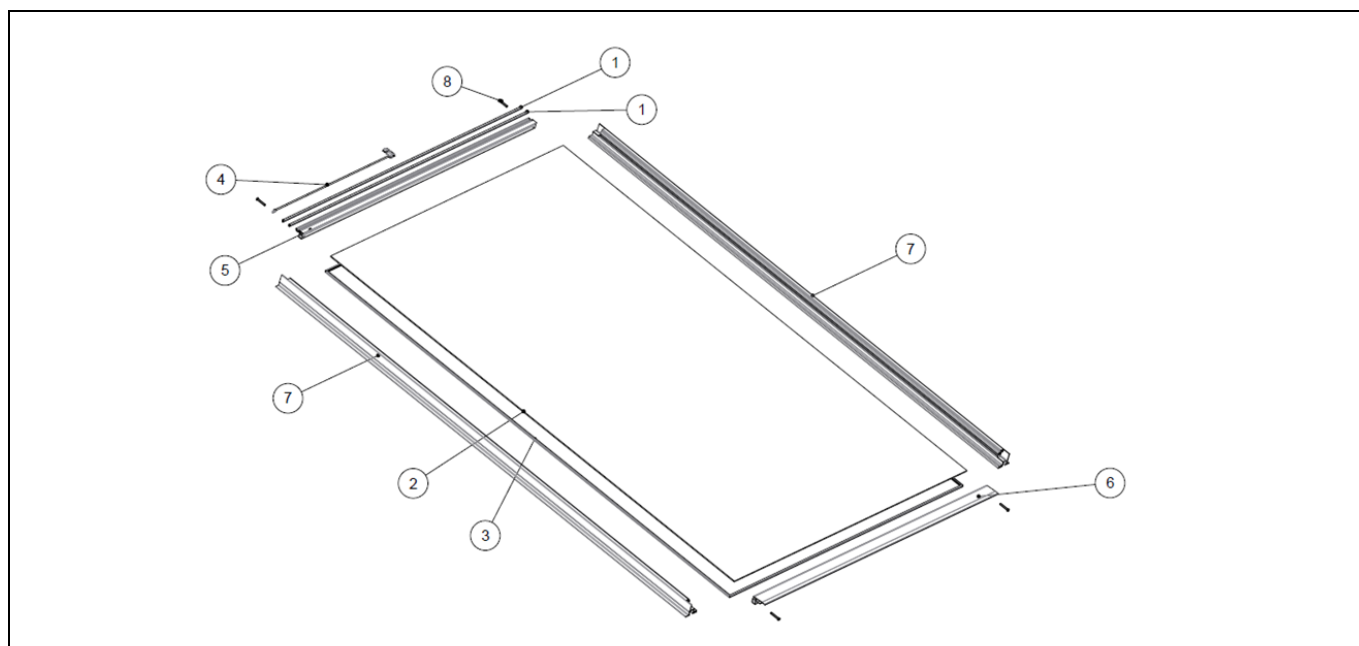
3. Annexes graphiques

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

SOMMAIRE DES FIGURES

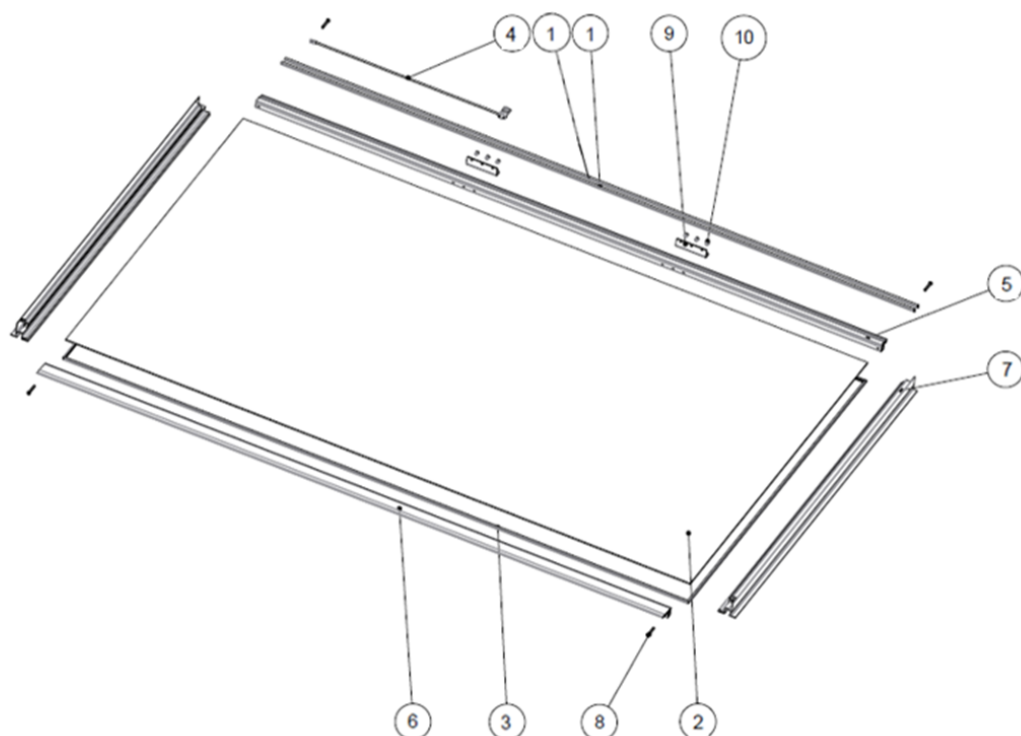
Figure 1 – Schéma éclaté des modules photovoltaïques pour pose en mode portrait (PE-ww-xxx-V-yy).....	32
Figure 2 – Schéma éclaté des modules photovoltaïques pour pose en mode paysage (PE-ww-xxx-H-yy)	33
Figure 3 – Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 60 cellules pour pose en mode portrait (PE-ww-xxx-V-yy)	34
Figure 4 : Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 60 cellules pour pose en mode paysage (PE-ww-xxx-H-yy).....	35
Figure 5 : Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 54 cellules pour pose en mode portrait (PEV-xxx-vv-uuu)	36
Figure 6 : Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 54 cellules pour pose en mode paysage (PEH-xxx-vv-uuu).....	37
Figure 7 : Position des cellules photovoltaïques sur un laminé 60 cellules (pour module PE-ww-xxx-N-yy).....	38
Figure 8 : Position des cellules photovoltaïques sur un laminé 54 cellules (pour module PEN-xxx-vv-uuu)	38
Figure 9 : Cadre des modules photovoltaïques	39
Figure 10 : Jonction entre modules	39
Figure 11 : Schéma éclaté du procédé et composition d'un kit tuiles pour montage	40
Figure 12 : Éléments principaux du système de montage	41
Figure 13 : Abergements supérieurs pour tuiles	42
Figure 14 : Abergements supérieurs pour ardoises	43
Figure 15 : Coulisseau d'étanchéité supérieur pour tuiles.....	43
Figure 16 : Coulisseau d'étanchéité supérieur pour ardoises	43
Figure 17 : Abergement latéral pour tuiles.....	44
Figure 18 : Couvre-noquets pour ardoises	44
Figure 19 : Barrière « T » d'étanchéité latérale pour tuiles.....	44
Figure 20 : Larmiers inférieurs pour tuiles	44
Figure 21 : Larmiers inférieurs pour ardoises	45
Figure 22 : Grille d'aération basse	46
Figure 23 : Fixation haute	46
Figure 24 : Bouchon bas du rail gouttière	46
Figure 25 : Patte de fixation abergement.....	47
Figure 26 : Mousse d'étanchéité abergement supérieur pour tuiles	47
Figure 27 : Abergement de rive.....	48
Figure 28 : Abergement de faitage	49
Figure 29 : Schéma de principe de câblage du procédé	49
Figure 30 : Câble de liaison équipotentielle des modules	50
Figure 31 : Câble de liaison équipotentielle des rails	50
Figure 32 : Calepinage des planches pour installation tuile (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)	51
Figure 33 : Calepinage des planches pour installation ardoise (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)	51
Figure 34 : Pose de la bande d'étanchéité basse et des larmiers inférieurs.....	52
Figure 35 : Pose des larmiers inférieurs pour installation sur toiture ardoise	53
Figure 36 : Pose des rails gouttière pour installation sur toiture tuile (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)	54
Figure 37 : Pose des rails gouttière pour installation sur toiture ardoise (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)	55
Figure 38 : Pose des modules pour installation sur toiture tuile	56
Figure 39 : Pose des modules pour installation sur toiture ardoise	56
Figure 40 : Pose des pattes de maintien (dans le cas des modules posés en paysage).....	57
Figure 41 : Pose de la fixation haute (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)	58
Figure 42 : Pose des abergements latéraux droit et gauche pour installation sur toiture tuile	59
Figure 43 : Pose des abergements latéraux droit et gauche pour installation sur toiture ardoise	59
Figure 44 : Pose de l'abergement supérieur gauche pour installation sur toiture tuile	60
Figure 45 : Pose de l'abergement supérieur gauche pour installation sur toiture ardoise.....	60
Figure 46 : Pose des abergements supérieurs intermédiaires pour installation sur toiture tuile	61
Figure 47 : Pose des abergements supérieurs intermédiaires pour installation sur toiture ardoise	61
Figure 48 : Pose de l'abergement supérieur droit pour installation sur toiture tuile.....	62

Figure 49 : Pose de l'abergement supérieur droit pour installation sur toiture ardoise	62
Figure 50 : Pose des coulisseaux pour installation sur toiture tuile	63
Figure 51 : Pose des coulisseaux pour installation sur toiture ardoise.....	63
Figure 52 : Pose des brides pour installation sur toiture tuile	64
Figure 53 : Pose des brides pour installation sur toiture ardoise	64
Figure 54 : Pose de la mousse d'étanchéité haute pour installation sur toiture tuile	65
Figure 55 : Pose des barrières « T » pour installation sur toiture tuile	66
Figure 56 : Recouvrement des abergements supérieurs pour installation sur toiture ardoise	67
Figure 57 : Pose à l'égout.....	67

Figure 1 – Schéma éclaté des modules photovoltaïques pour pose en mode portrait (PE-ww-xxx-V-yy)**NOMENCLATURE**

Repère	Désignation	Quantité
1	Joint d'étanchéité	2
2	Laminé photovoltaïque	1
3	Joint laminé	1
4	Mise à la terre	1
5	Cadre haut	1
6	Cadre bas	1
7	Cadre latéral	2
8	Vis ST Ø4,2x32 (DIN7961 ISO7049)	4

Figure 2 – Schéma éclaté des modules photovoltaïques pour pose en mode paysage (PE-ww-xxx-H-yy)



NOMENCLATURE

Repère	Désignation	Quantité
1	Joint d'étanchéité	2
2	Laminé photovoltaïque	1
3	Joint laminé	1
4	Mise à la terre	1
5	Cadre haut	1
6	Cadre bas	1
7	Cadre latéral	2
8	Vis ST $\varnothing 4,2 \times 32$ (DIN7961 ISO7049)	4
9	Patte panneau	2
10	Rivet $\varnothing 4$ L10	6

Figure 3 – Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 60 cellules pour pose en mode portrait (PE-ww-xxx-V-yy)

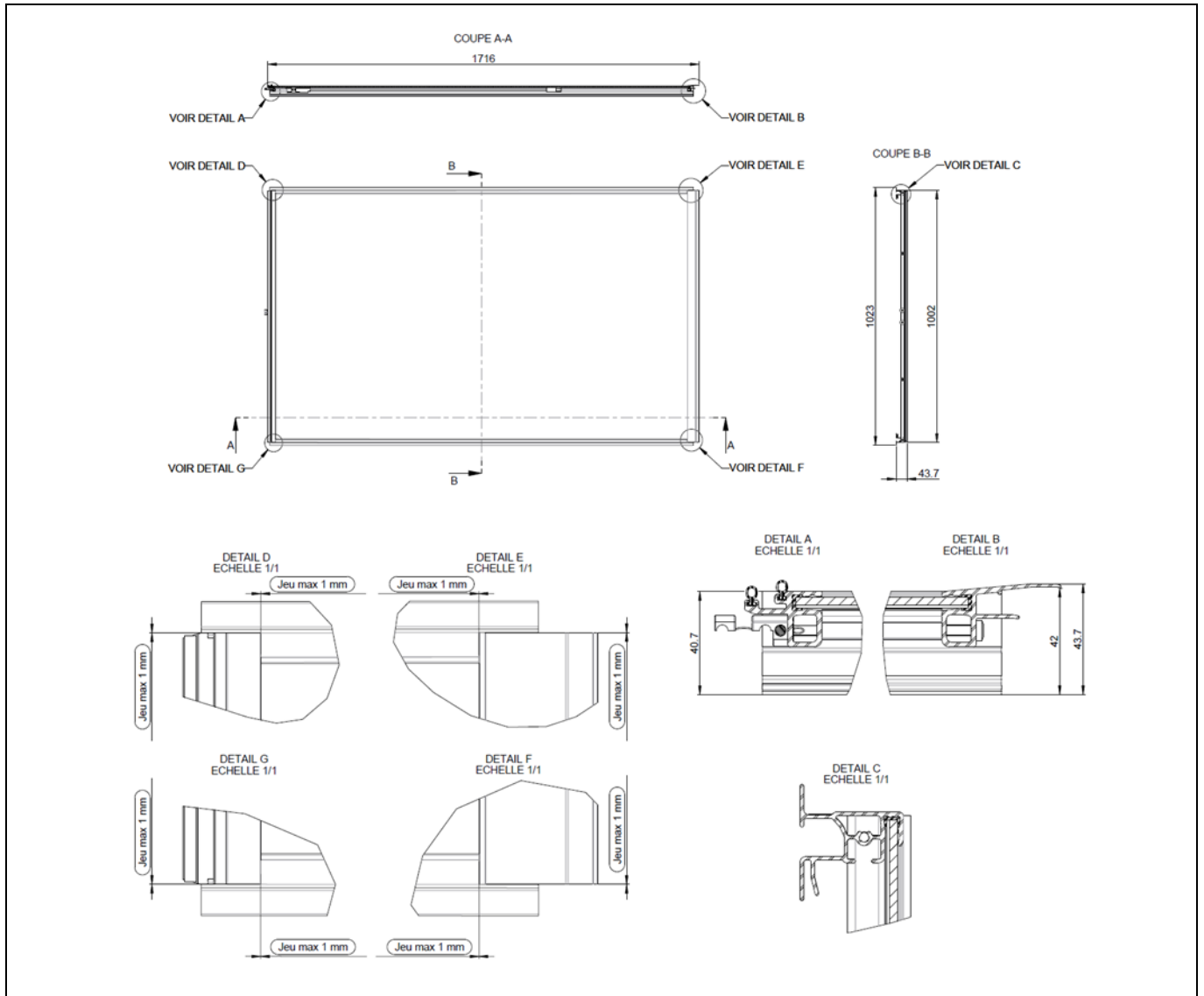


Figure 4 : Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 60 cellules pour pose en mode paysage (PE-ww-xxx-H-yy)

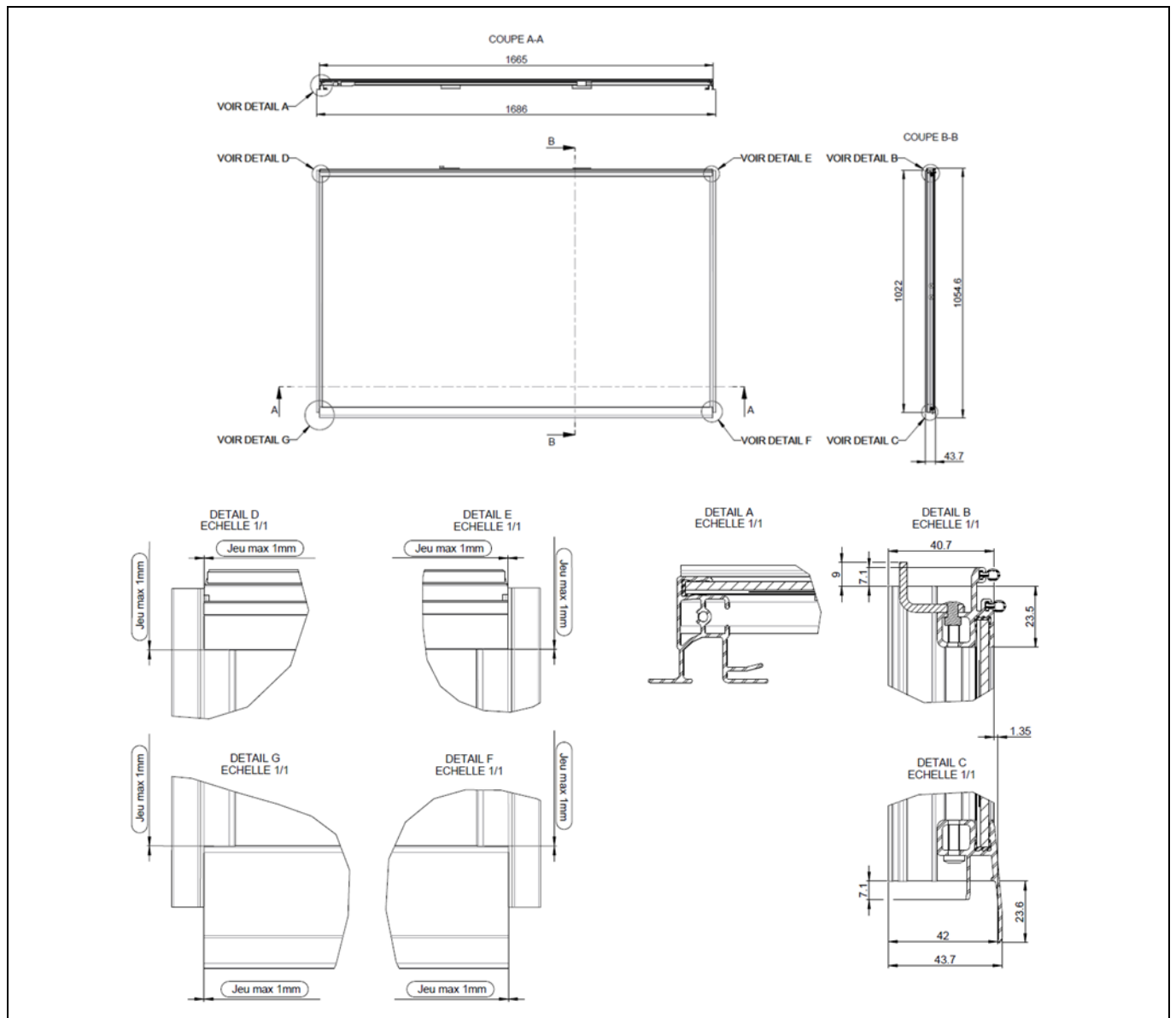


Figure 5 : Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 54 cellules pour pose en mode portrait (PEV-xxx-vv-uuu)

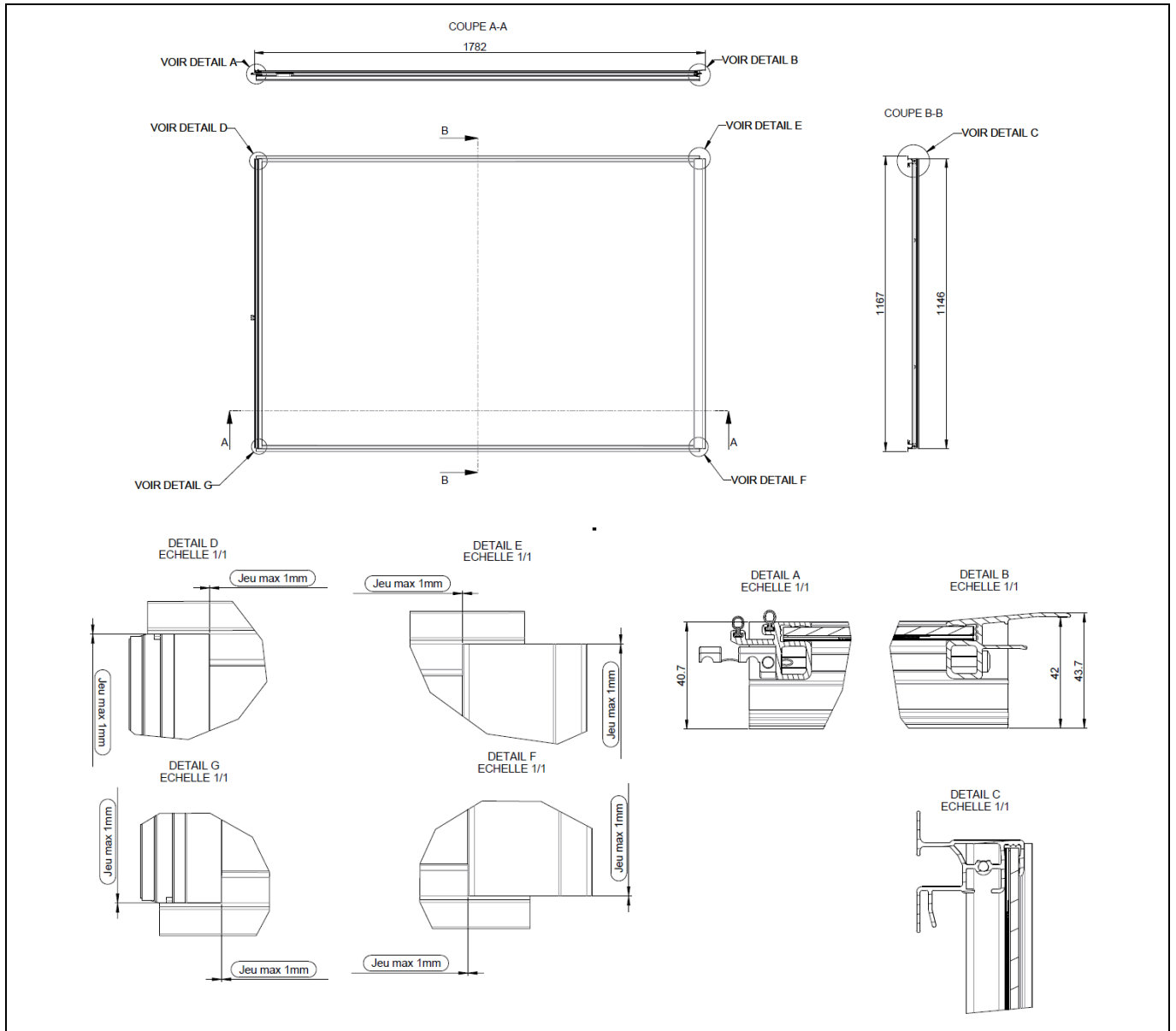


Figure 6 : Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques 54 cellules pour pose en mode paysage (PEH-xxx-vv-uuu)

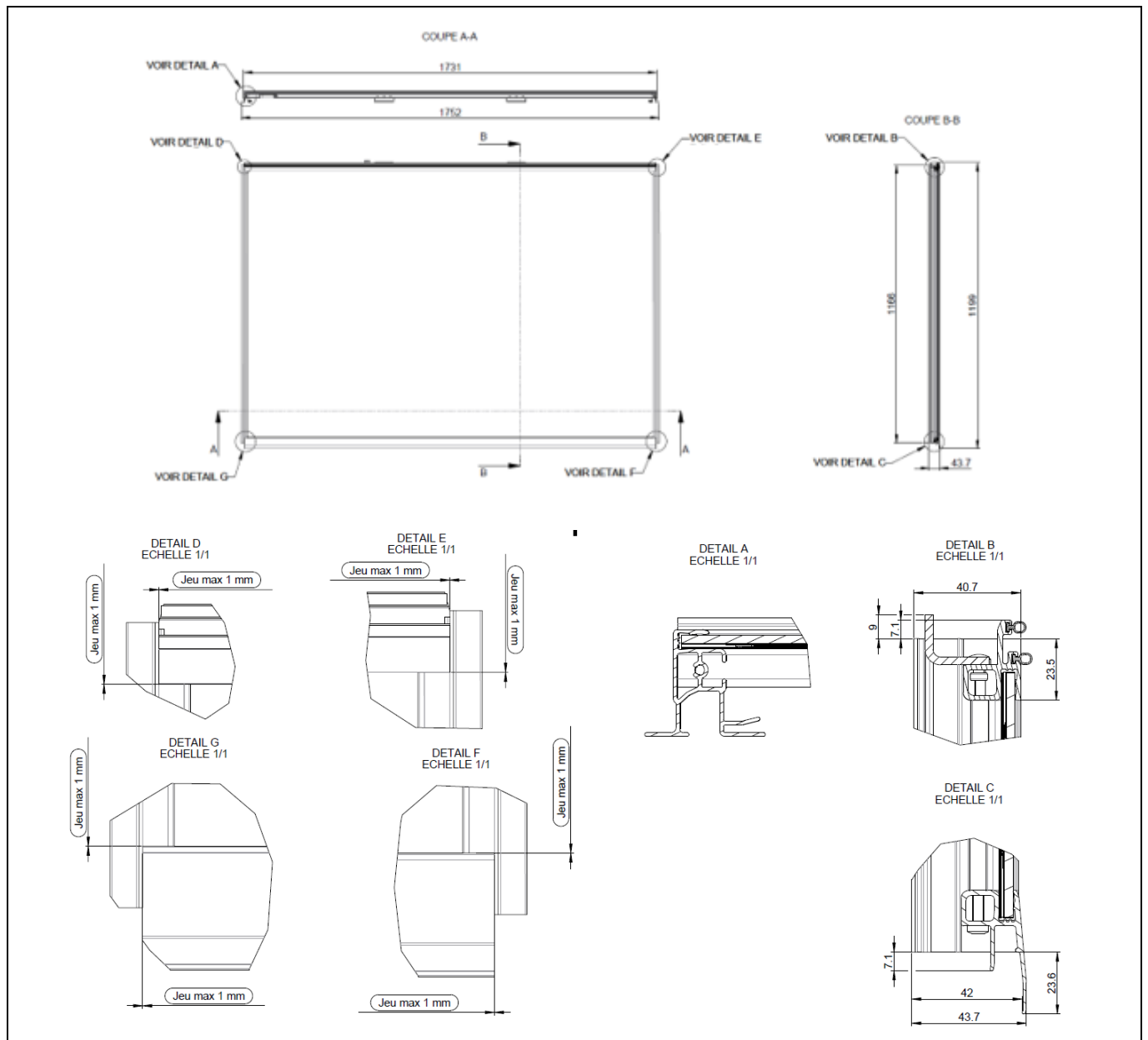


Figure 7 : Position des cellules photovoltaïques sur un laminé 60 cellules (pour module PE-ww-xxx-N-yy)

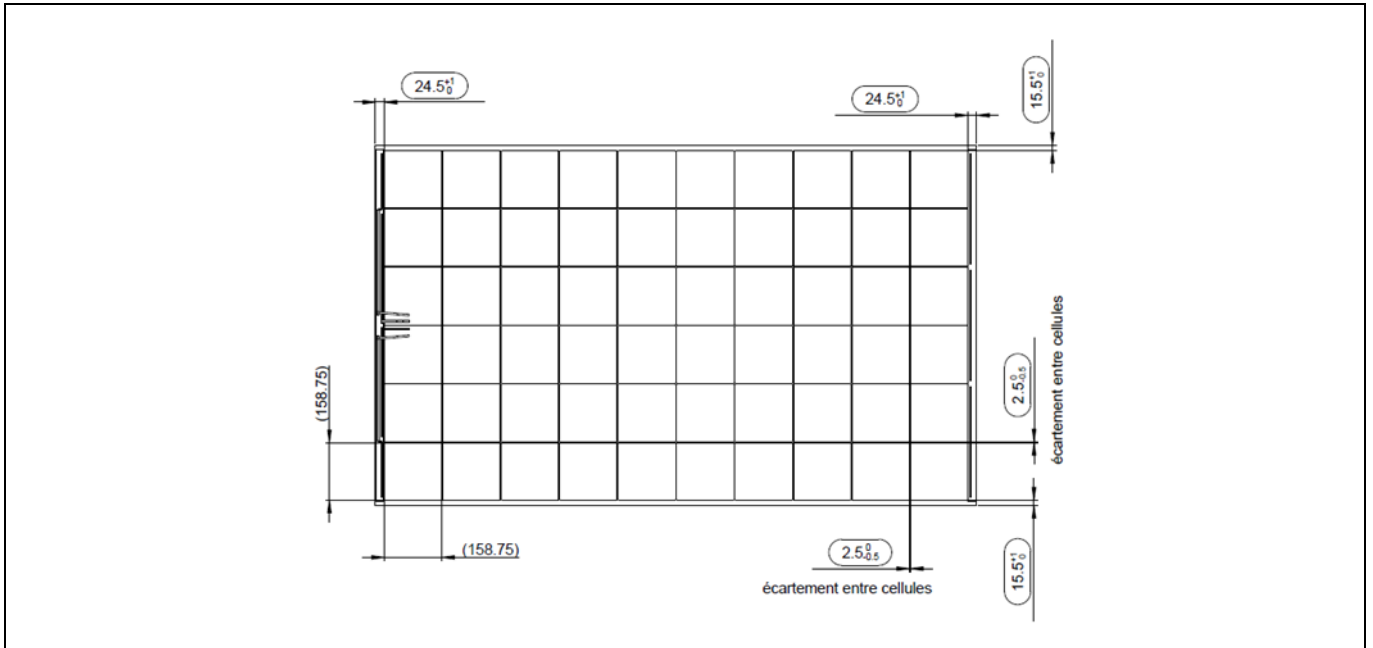


Figure 8 : Position des cellules photovoltaïques sur un laminé 54 cellules (pour module PEN-xxx-vv-uuu)

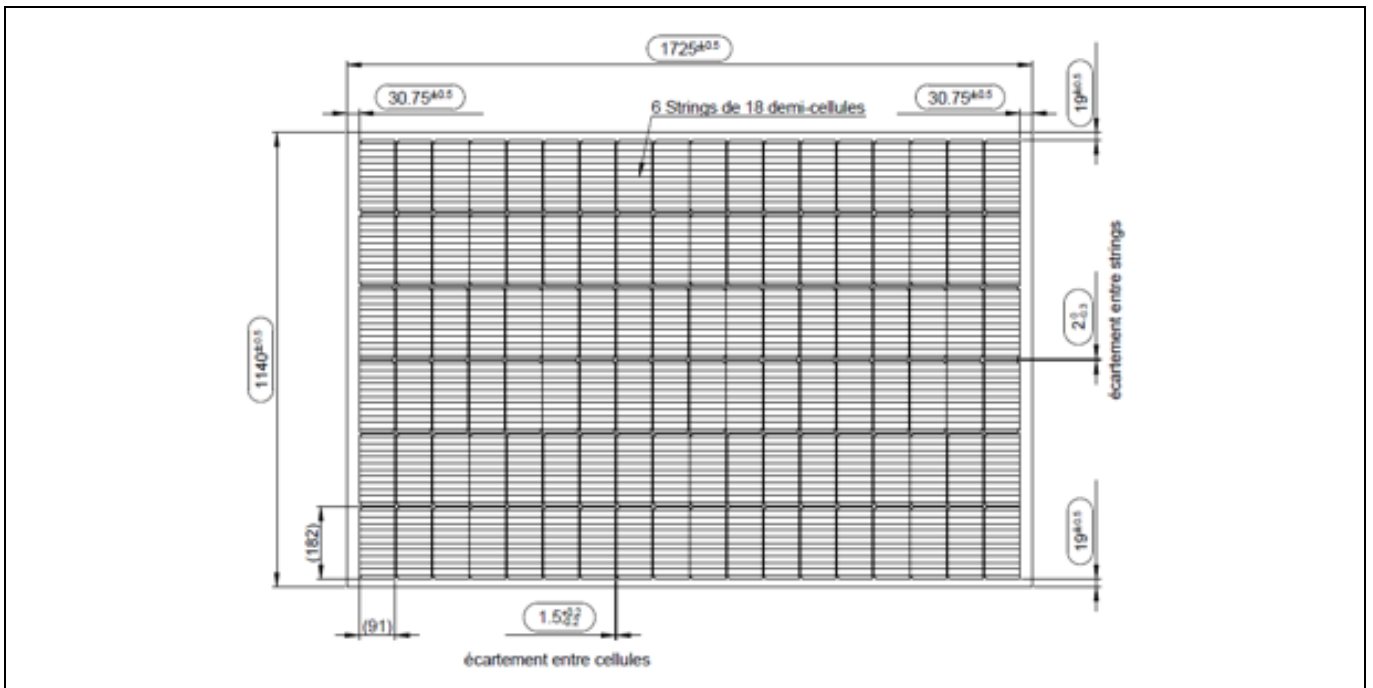


Figure 9 : Cadre des modules photovoltaïques

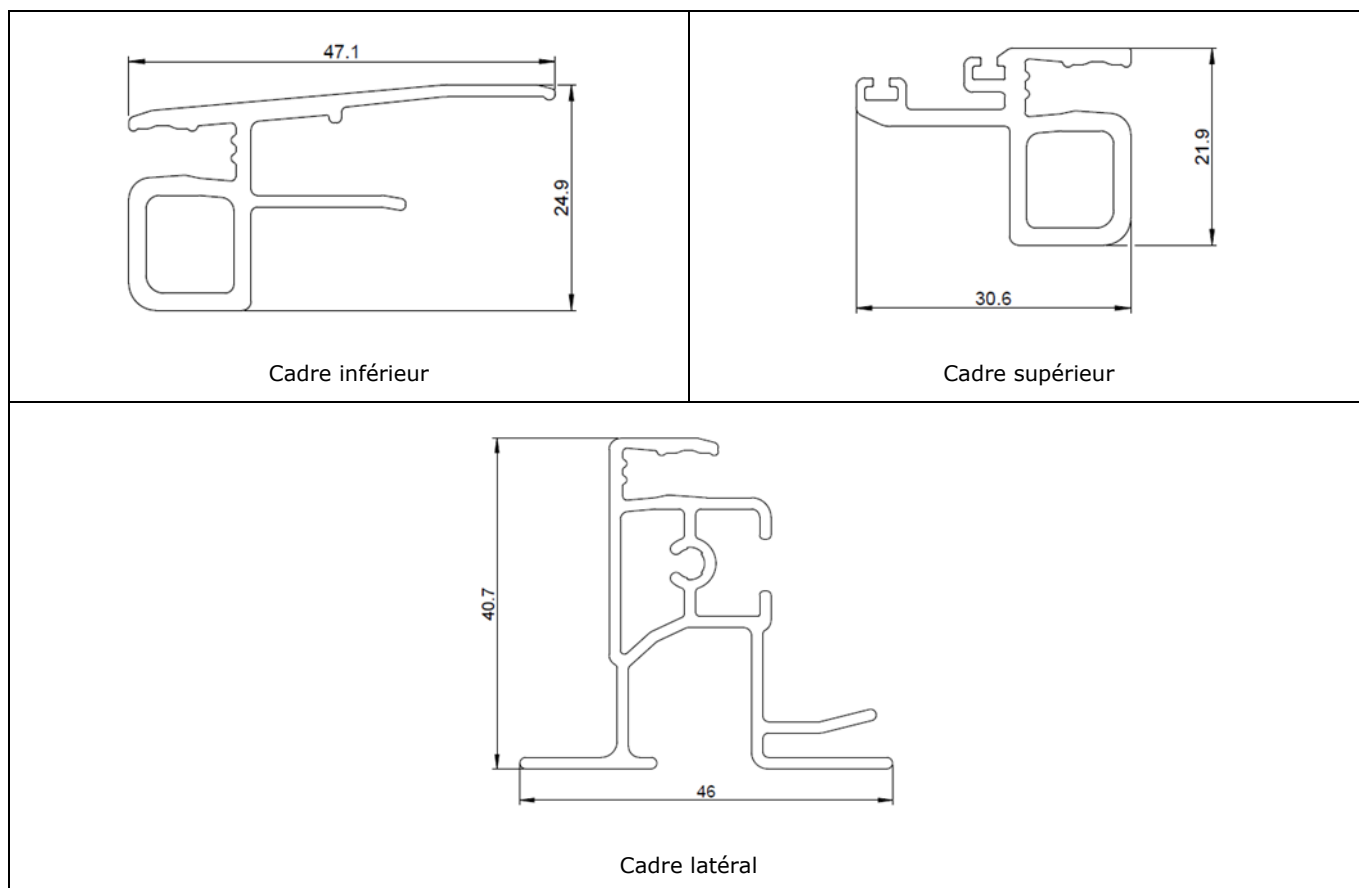


Figure 10 : Jonction entre modules

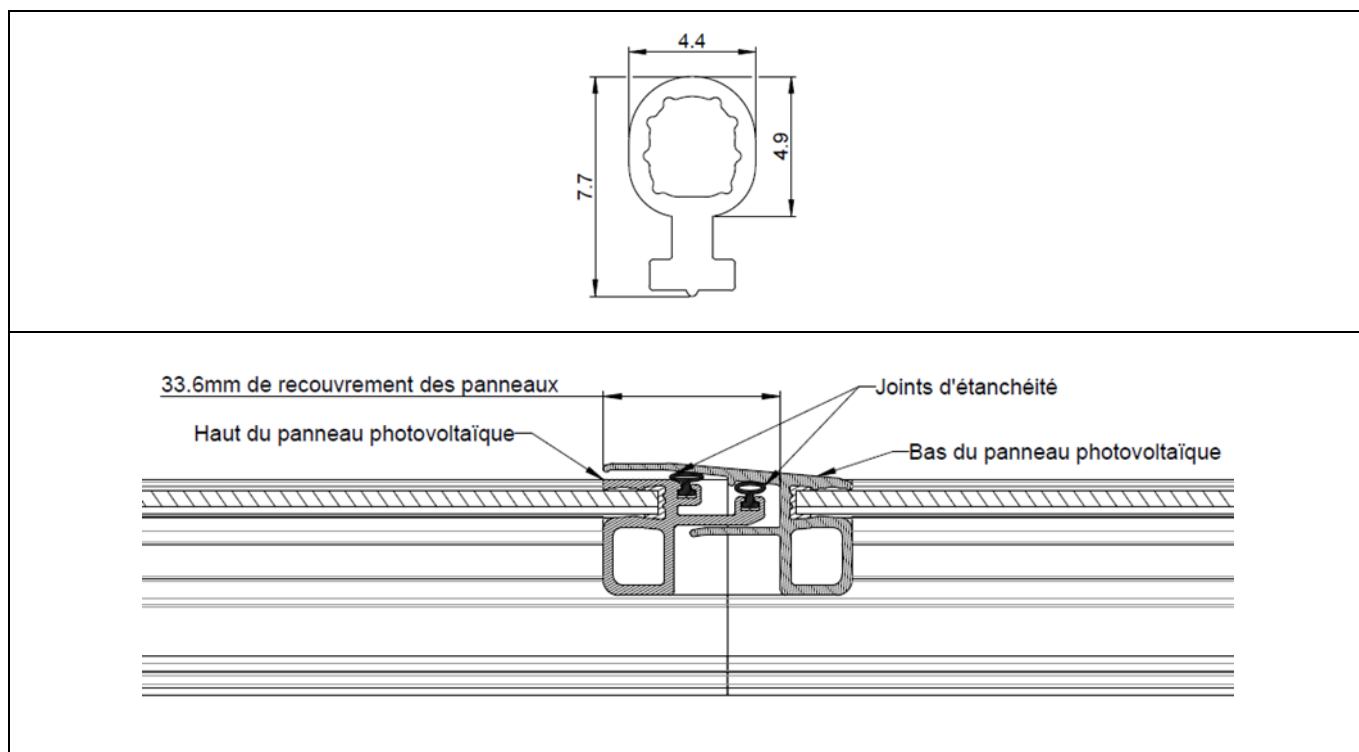
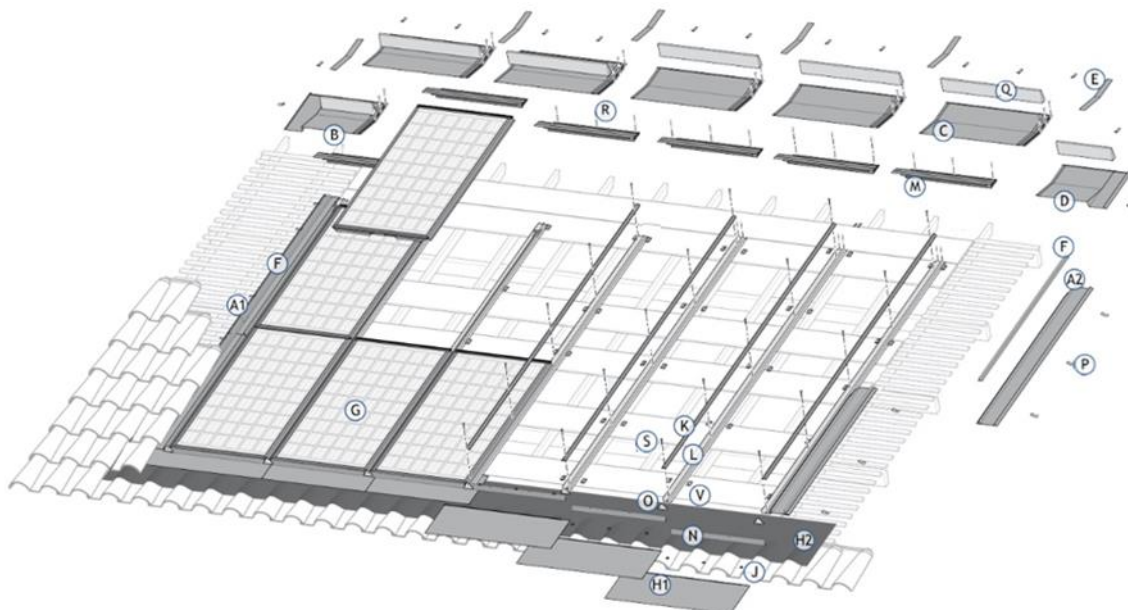


Figure 11 : Schéma éclaté du procédé et composition d'un kit tuiles pour montage

Repère	Désignation
A1	Couloir d'abergement LATERAL tuile Gauche
A2	Couloir d'abergement LATERAL tuile Droit
B	Abergement d'angle GAUCHE tuile
C	Abergement INTERMEDIAIRE tuile
D	Abergement d'angle DROIT tuile
E	Coulisseau d'étanchéité SUPERIEUR tuile
F	Barrière T d'étanchéité LATERALE tuile
G	Module photovoltaïque
H1	Etanchéité basse larmier
H2	Etanchéité basse bande flexible bitumineuse ou plomb plissé
J	Clips de fixation de la grille d'aération
K/L/O	Ensemble rail et bride avec bretelle de terre et fixation basse
M	Fixation haute avec mousse d'étanchéité
N	Grille d'aération et finition basse
P	Patte de fixation des abergements
Q	Mousse d'étanchéité abergement supérieur
R	vis auto foreuse noire H8 ø6 mm x 30 mm
S	Patte de fixation rail

Figure 12 : Éléments principaux du système de montage

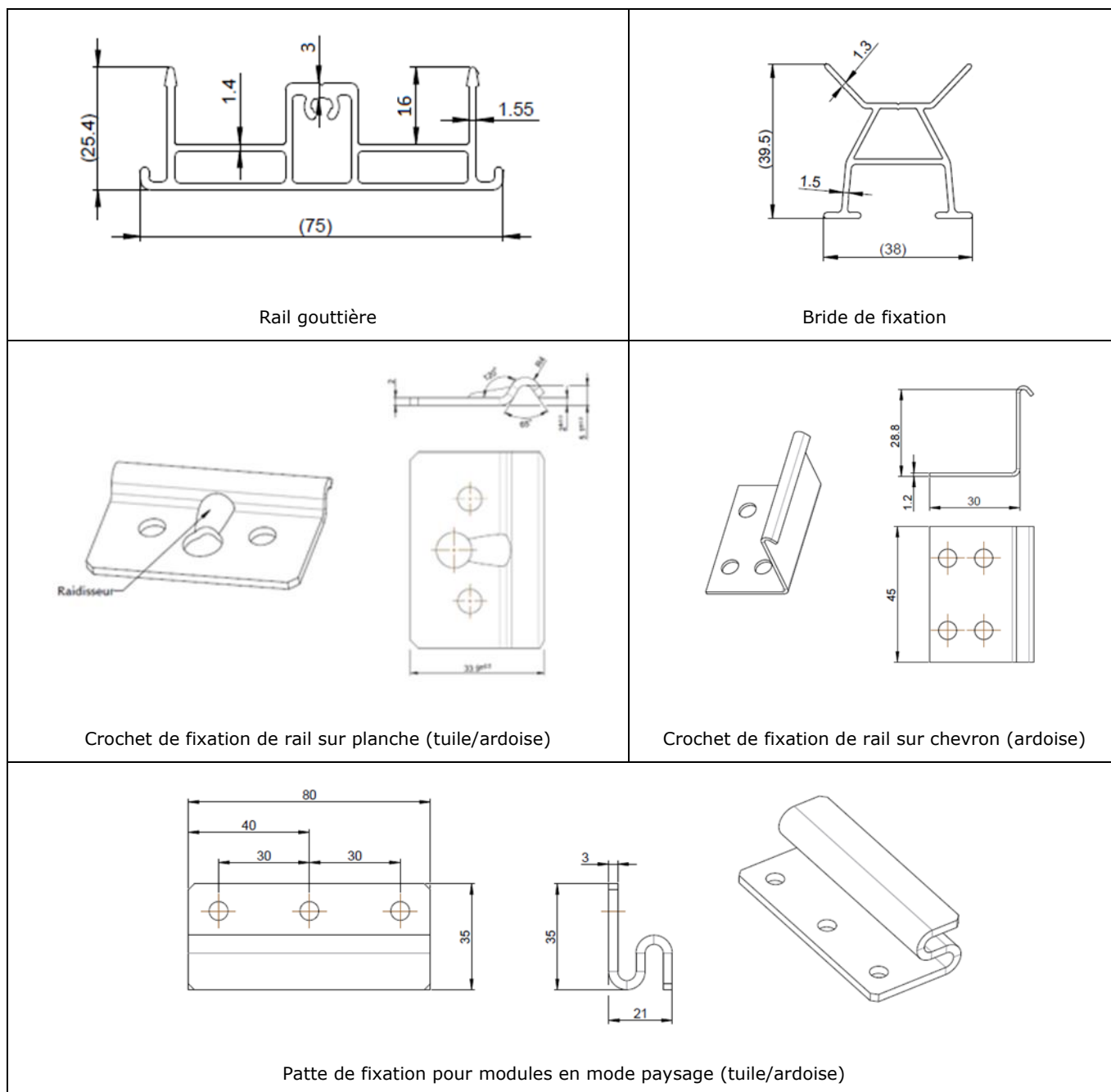


Figure 13 : Abergements supérieurs pour tuiles

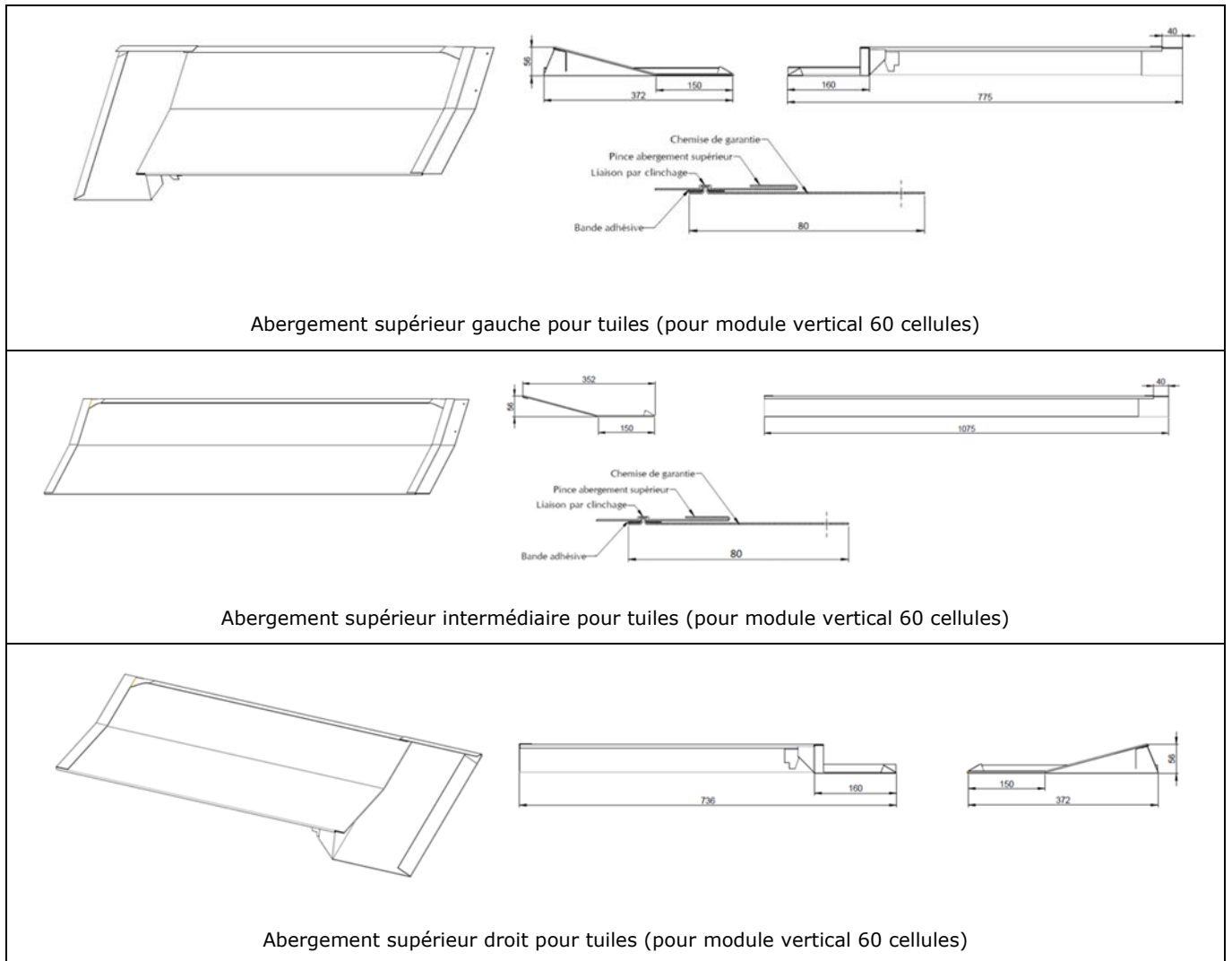


Figure 14 : Abergements supérieurs pour ardoises

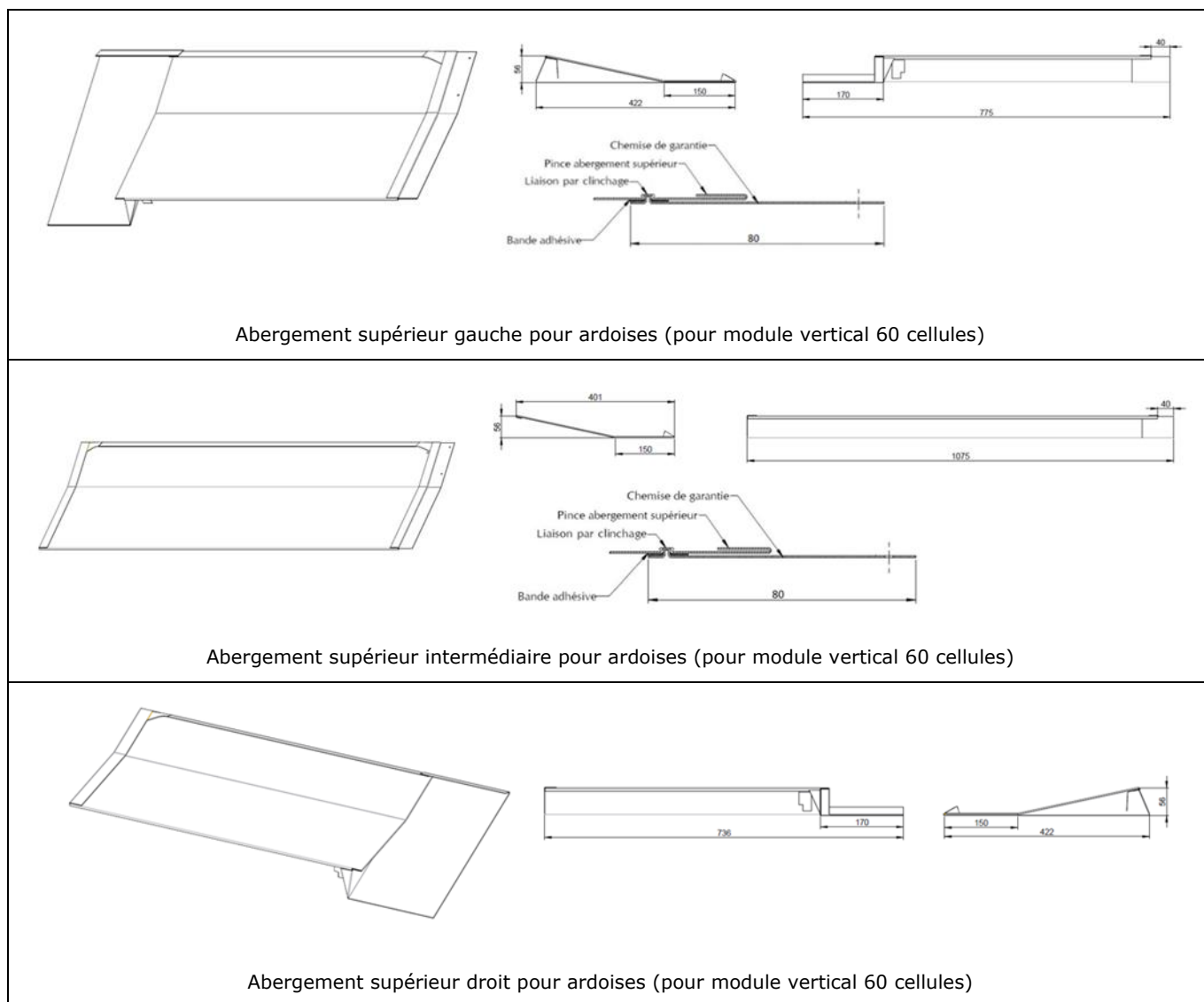


Figure 15 : Coulisseau d'étanchéité supérieur pour tuiles

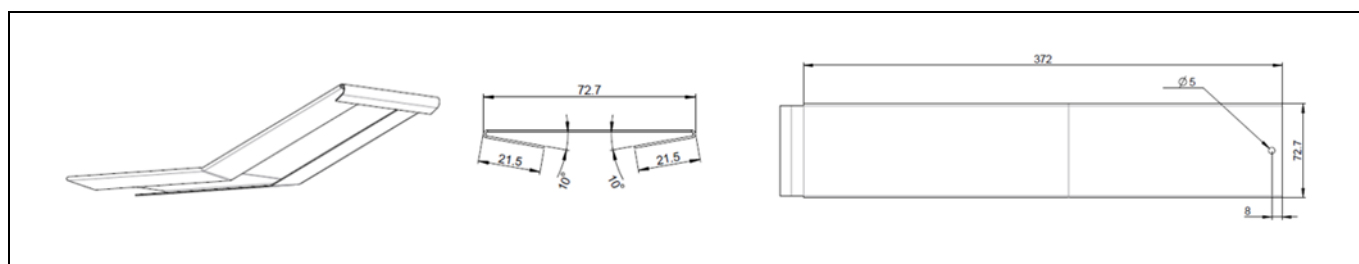


Figure 16 : Coulisseau d'étanchéité supérieur pour ardoises

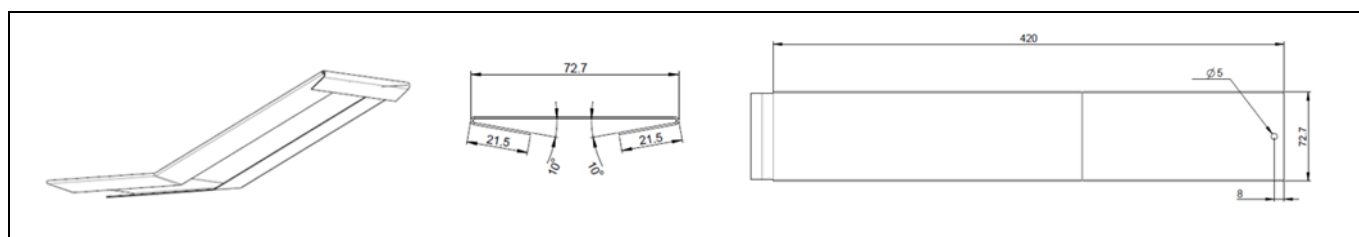


Figure 17 : Abergement latéral pour tuiles

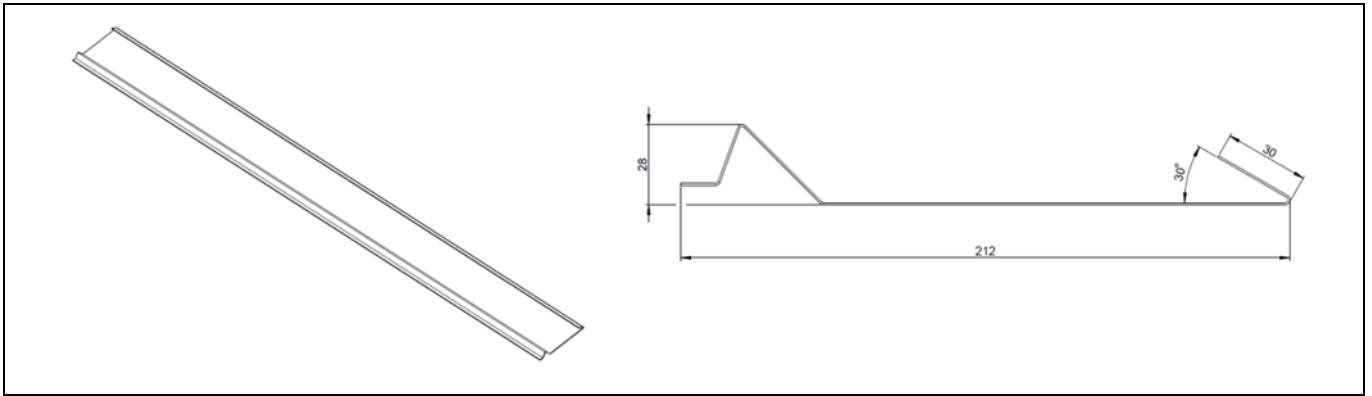


Figure 18 : Couvre-noquets pour ardoises

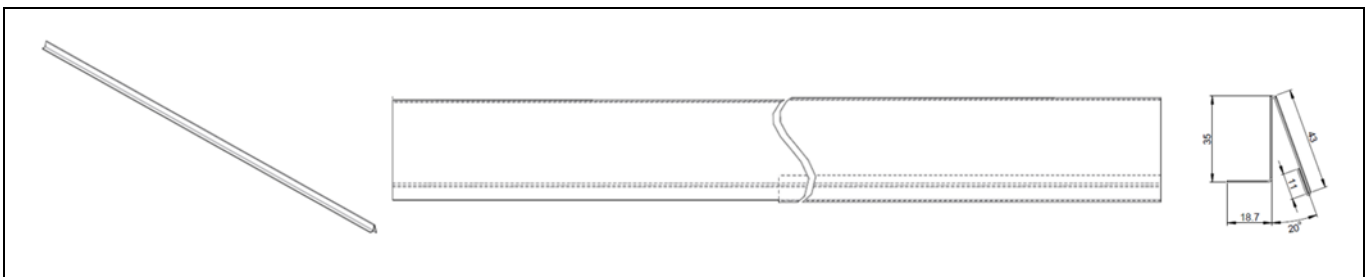


Figure 19 : Barrière « T » d'étanchéité latérale pour tuiles

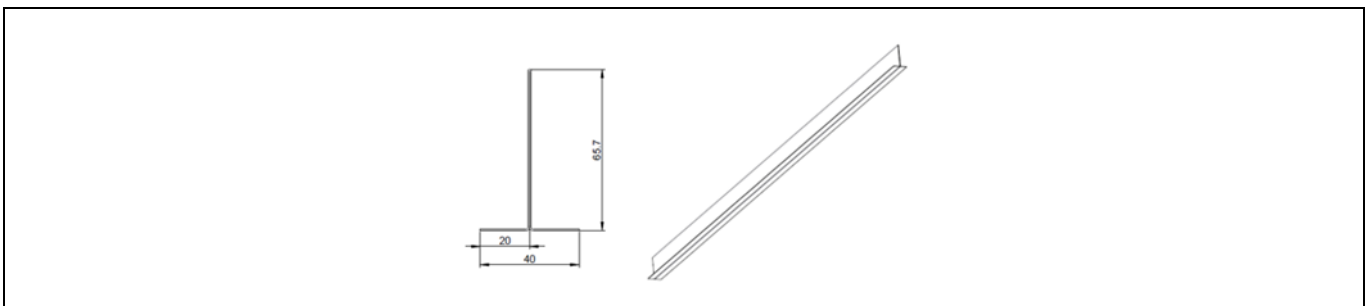


Figure 20 : Larmiers inférieurs pour tuiles

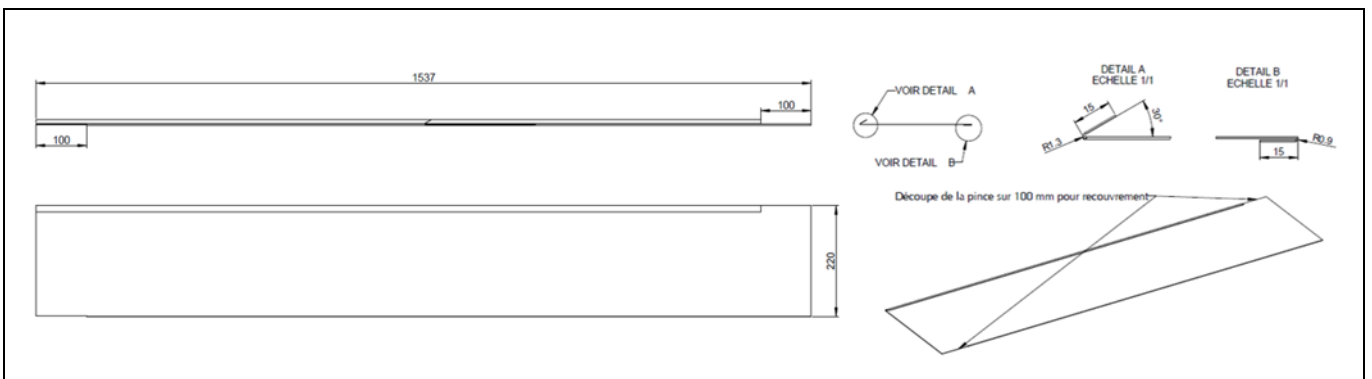


Figure 21 : Larmiers inférieurs pour ardoises

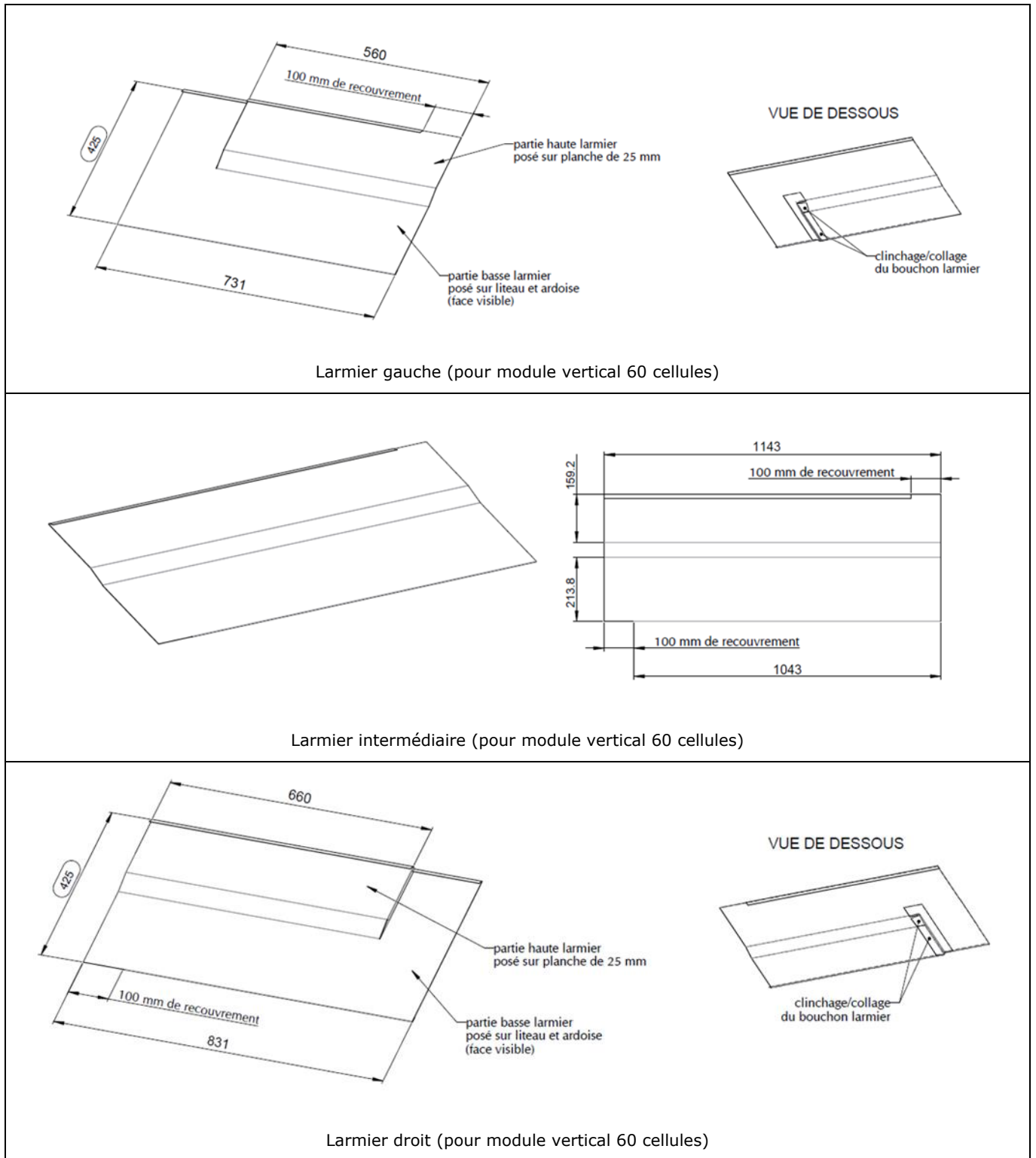


Figure 22 : Grille d'aération basse

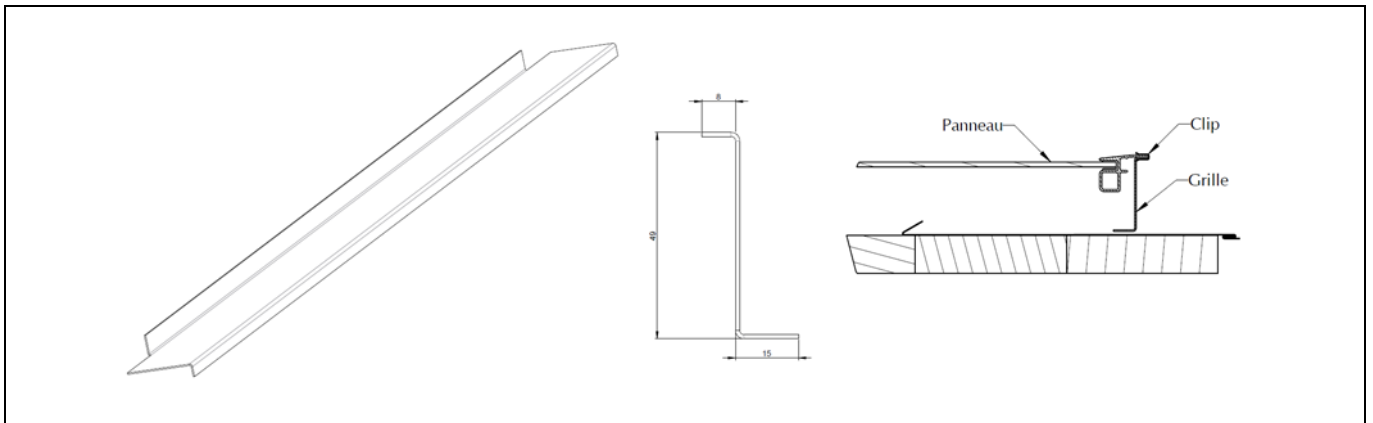


Figure 23 : Fixation haute

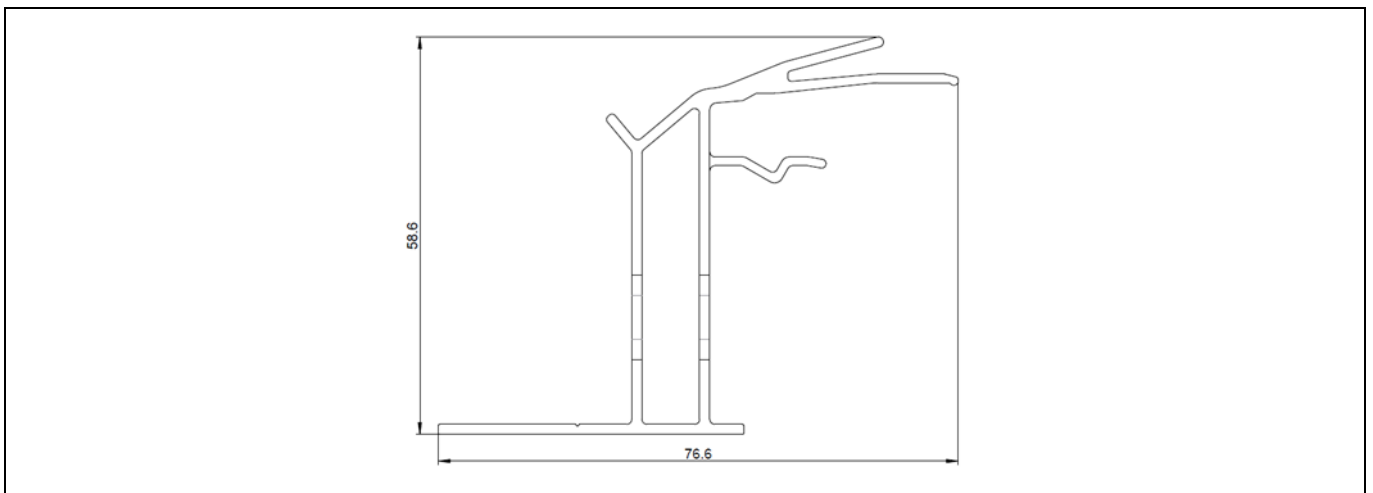


Figure 24 : Bouchon bas du rail gouttière

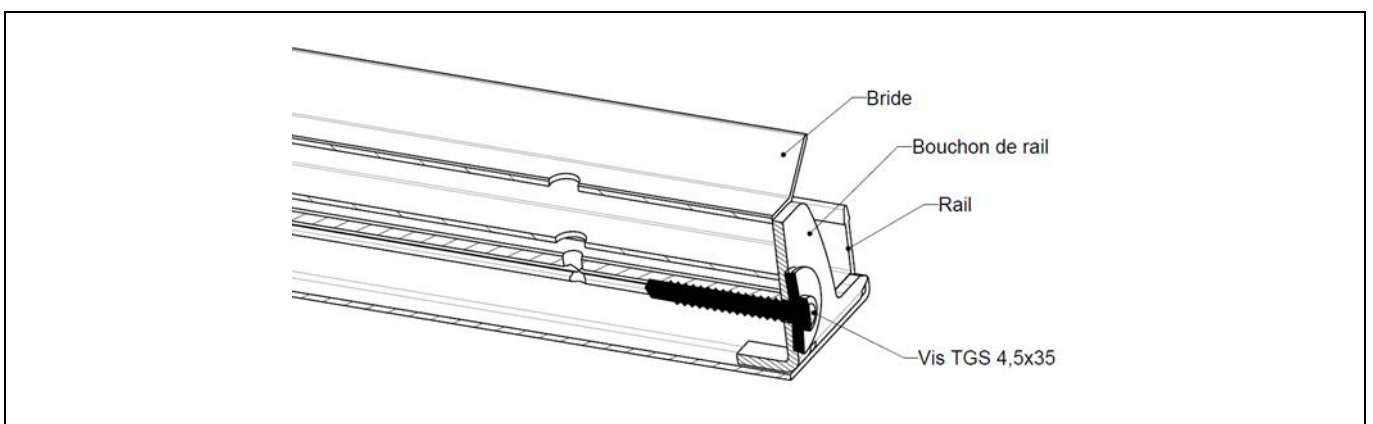


Figure 25 : Patte de fixation abergement

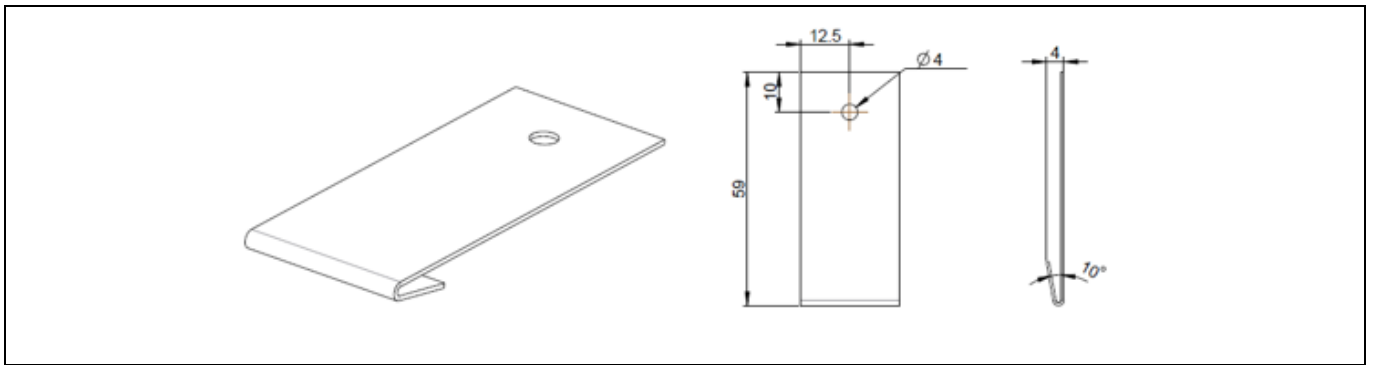


Figure 26 : Mousse d'étanchéité abergement supérieur pour tuiles

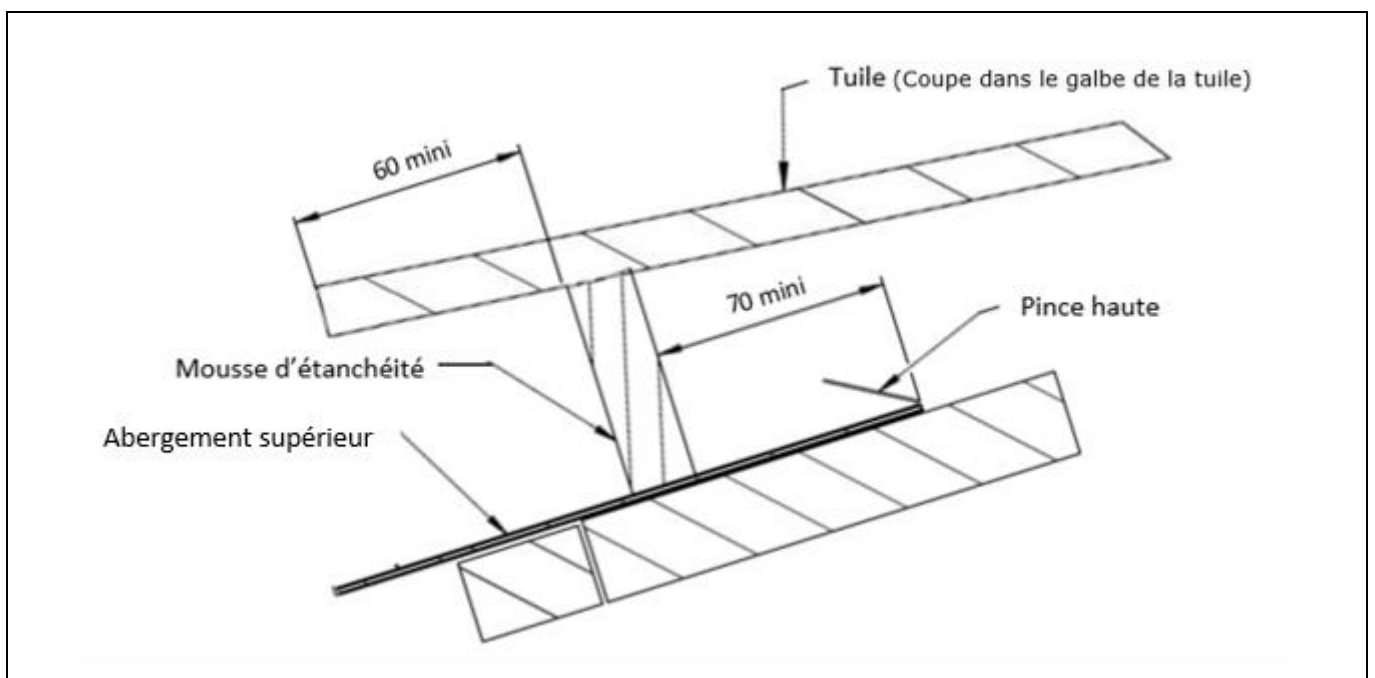


Figure 27 : Abergement de rive

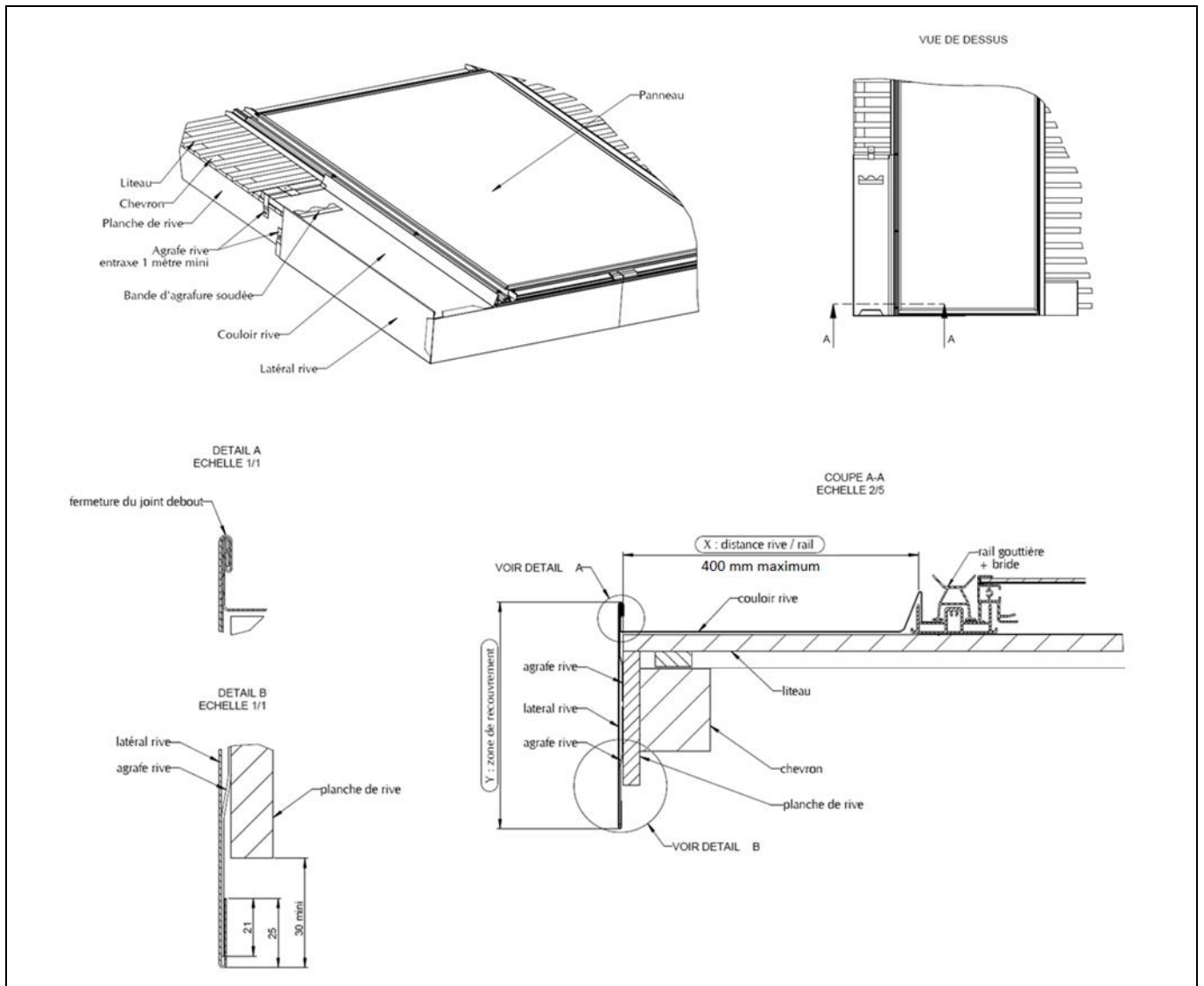


Figure 28 : Abergement de faitage

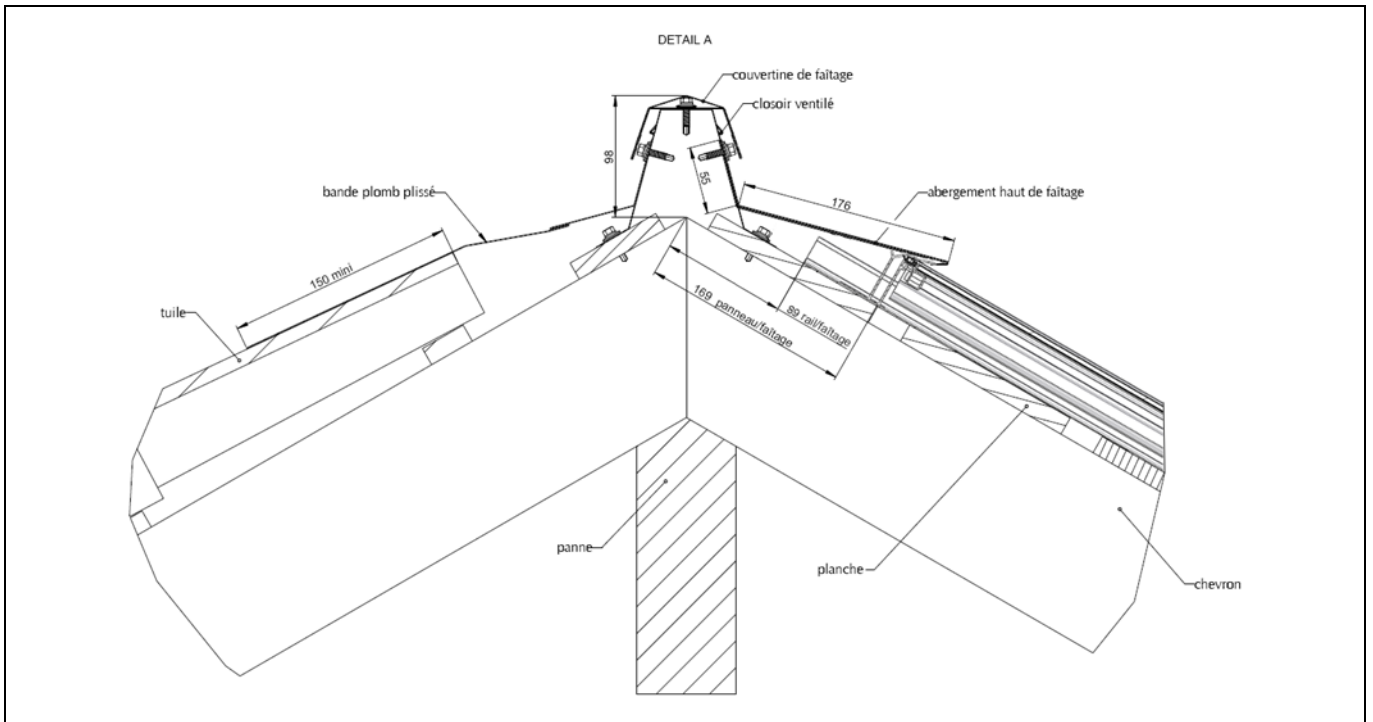


Figure 29 : Schéma de principe de câblage du procédé

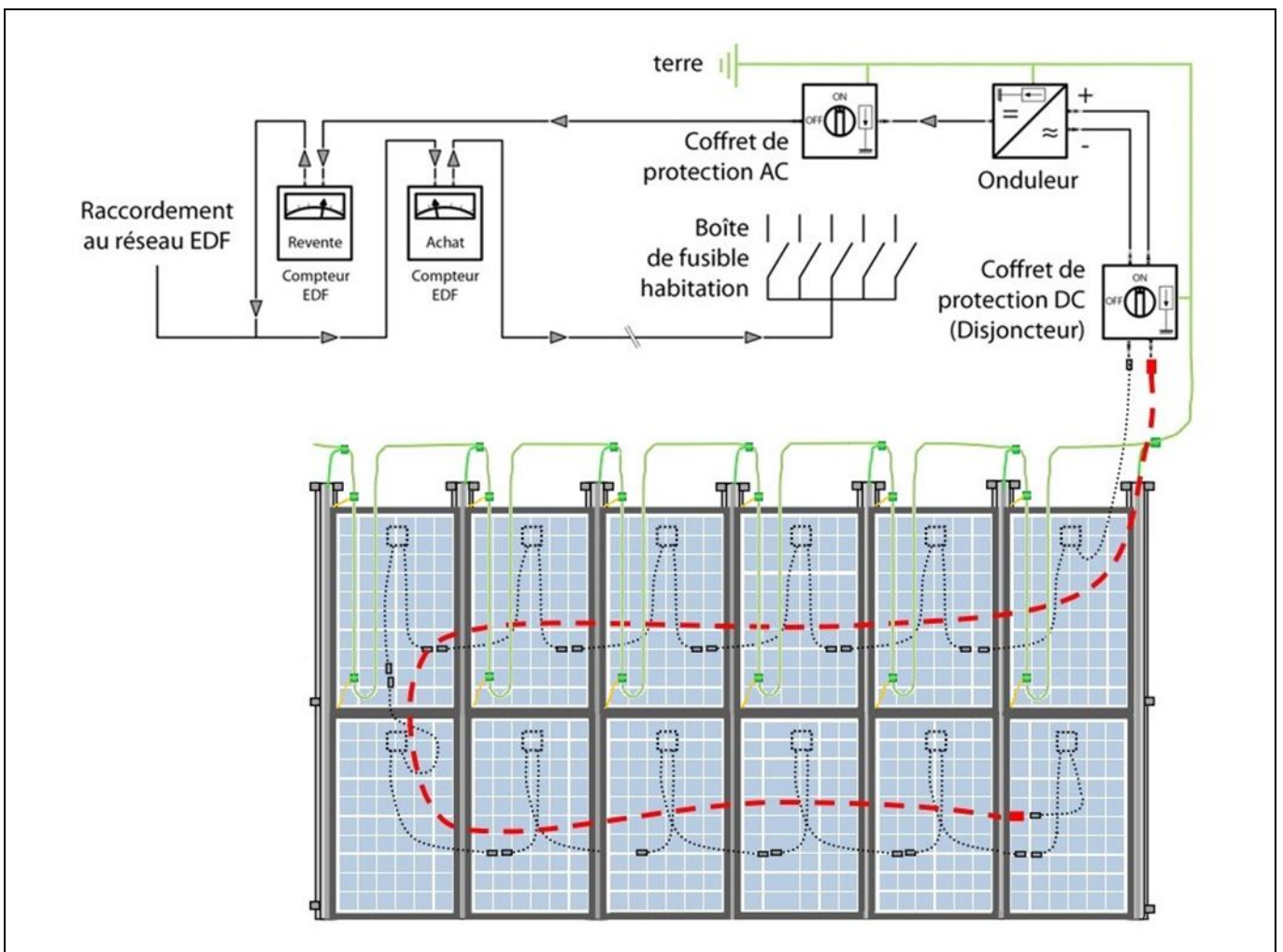


Figure 30 : Câble de liaison équipotentielle des modules

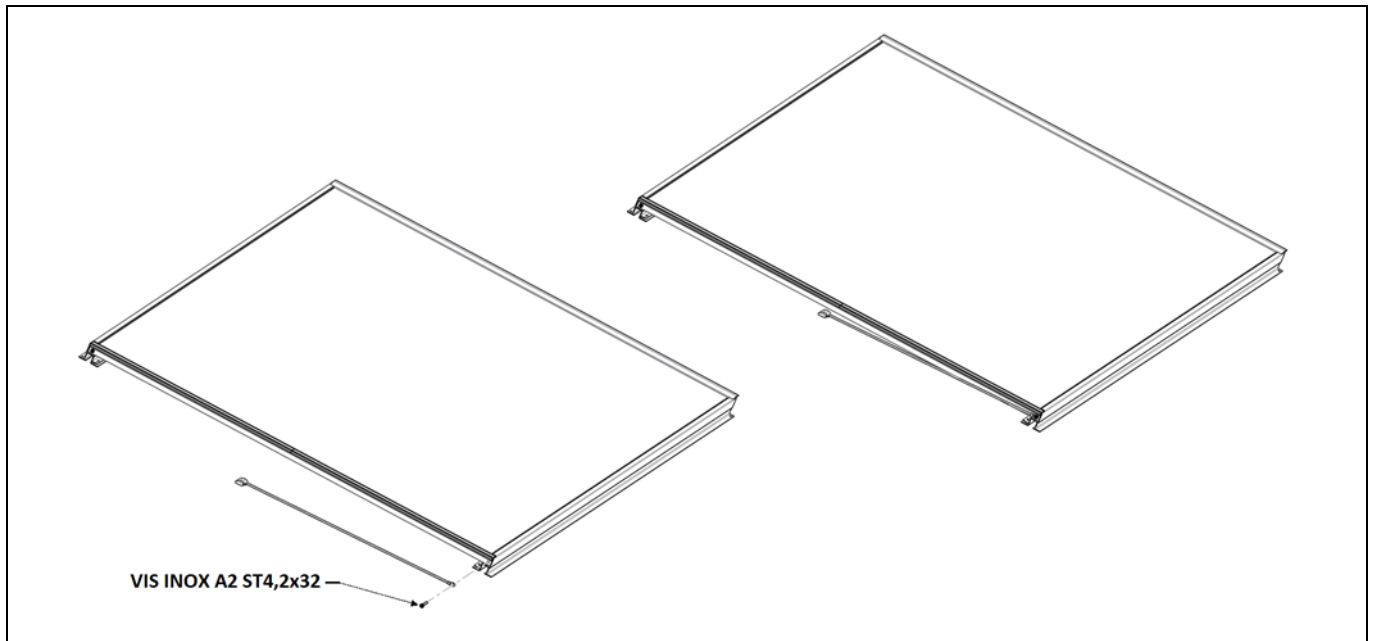


Figure 31 : Câble de liaison équipotentielle des rails

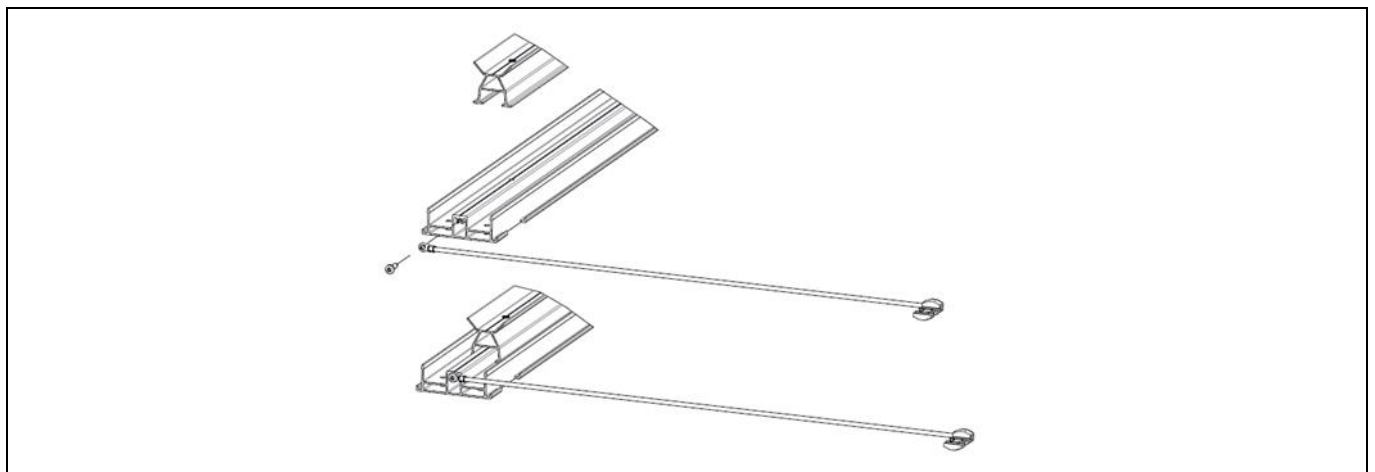


Figure 32 : Calepinage des planches pour installation tuile (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)

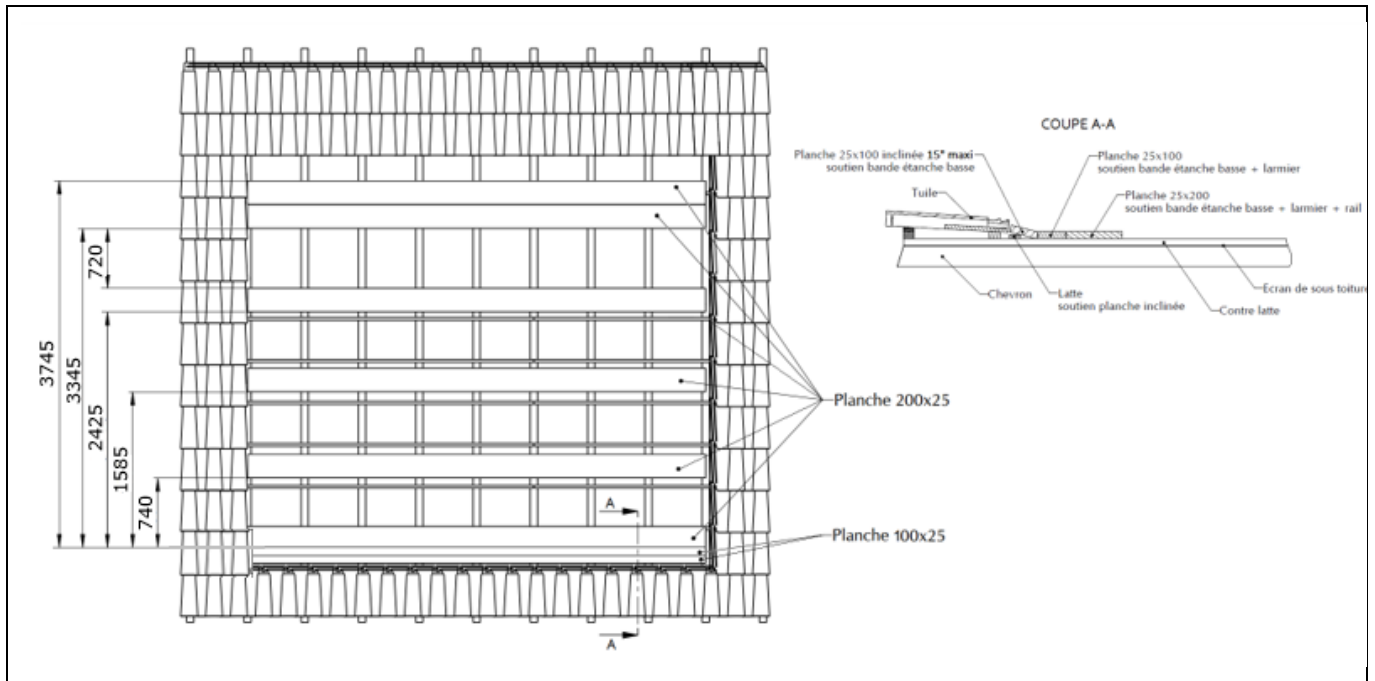


Figure 33 : Calepinage des planches pour installation ardoise (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)

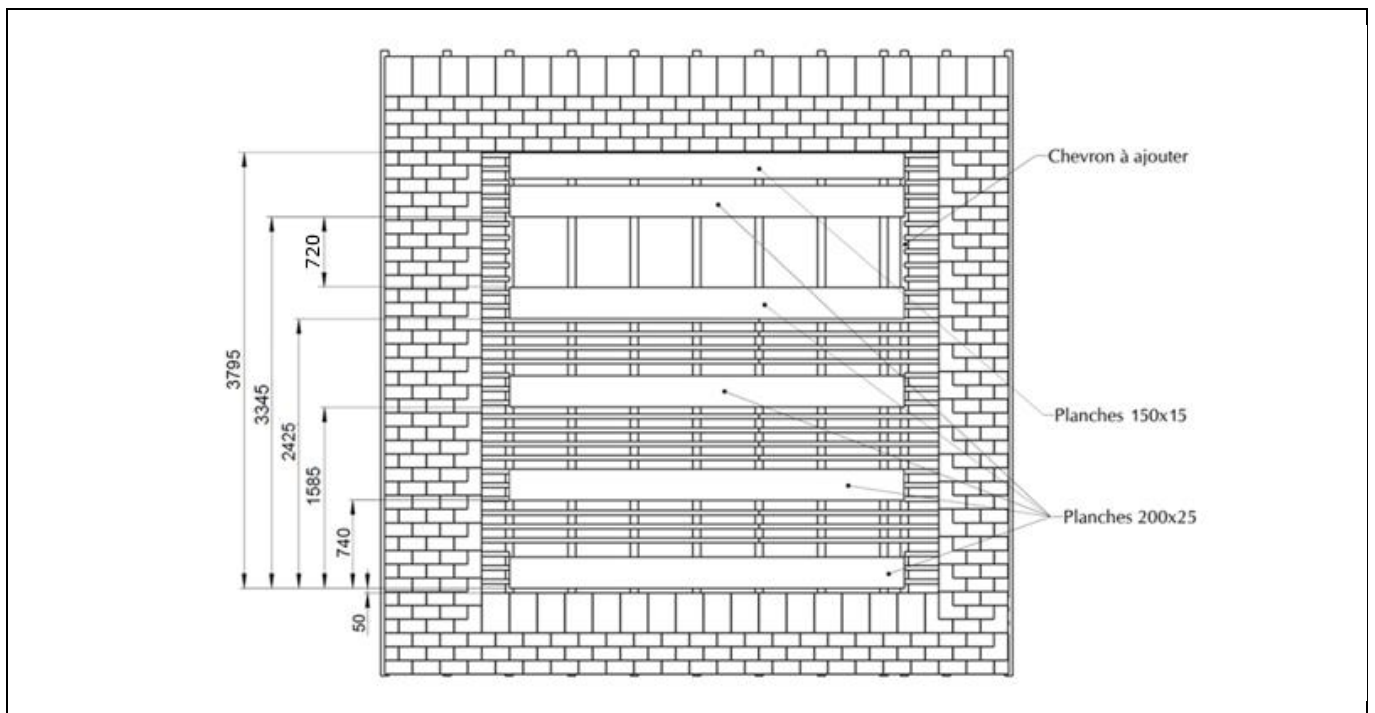


Figure 34 : Pose de la bande d'étanchéité basse et des larmiers inférieurs

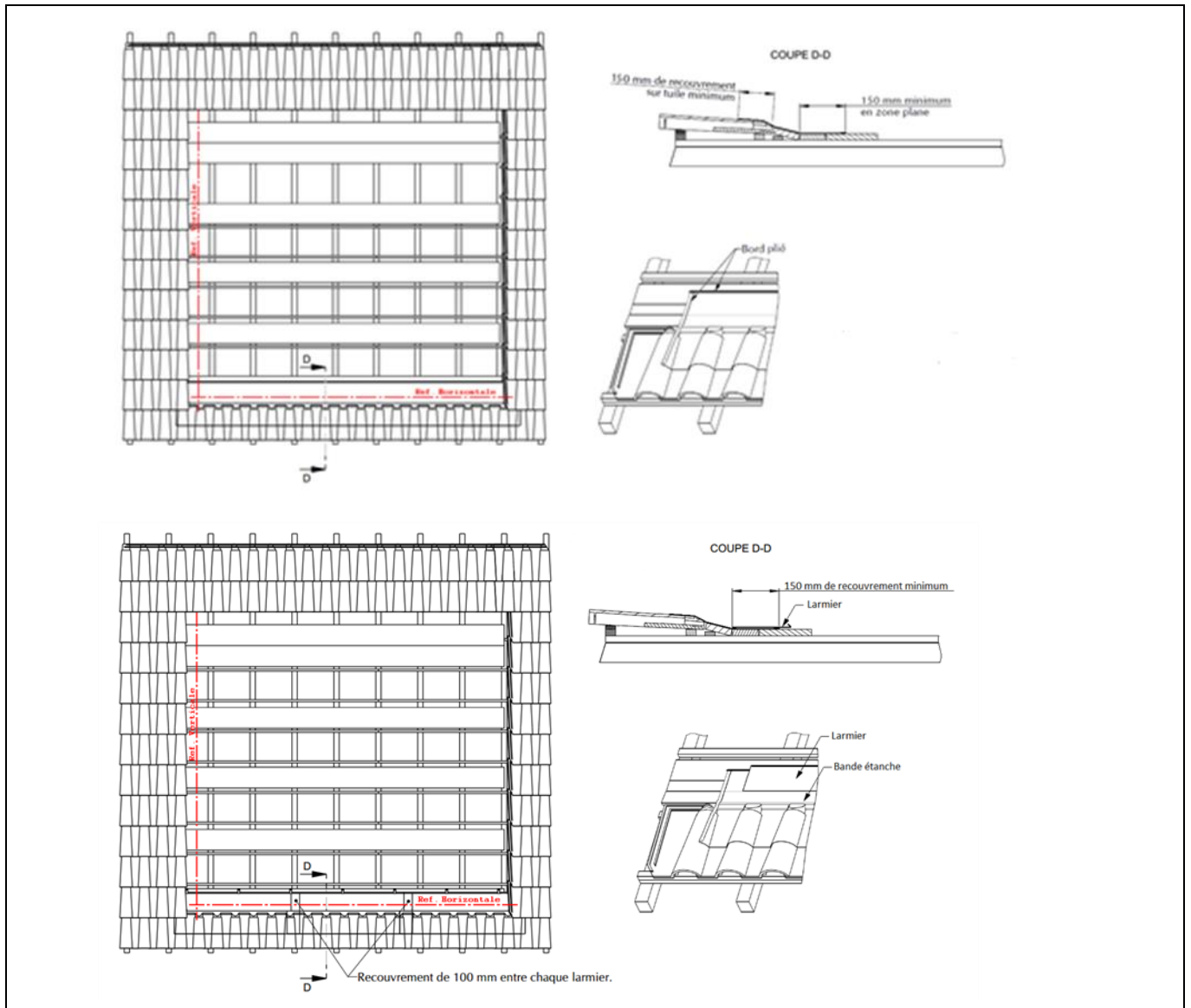


Figure 35 : Pose des larmiers inférieurs pour installation sur toiture ardoise

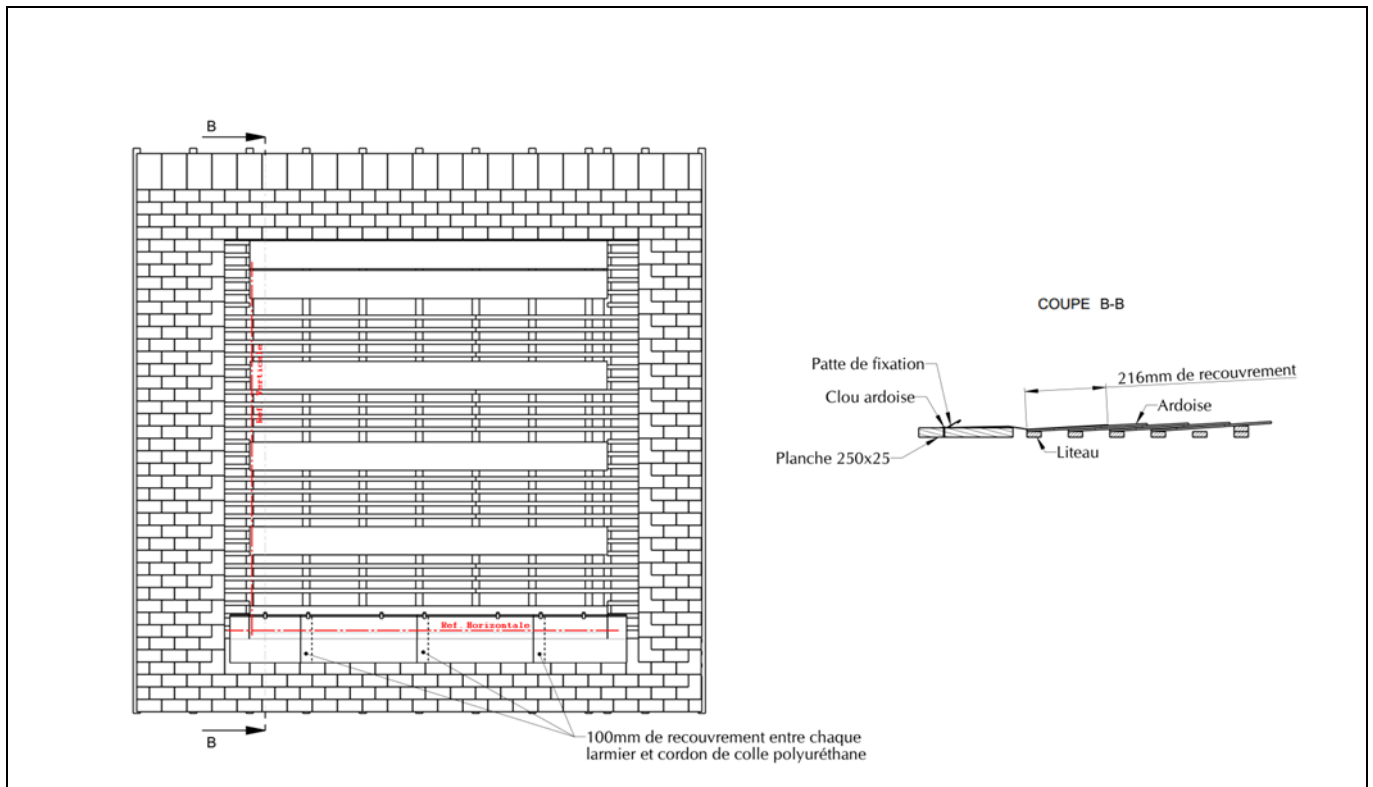
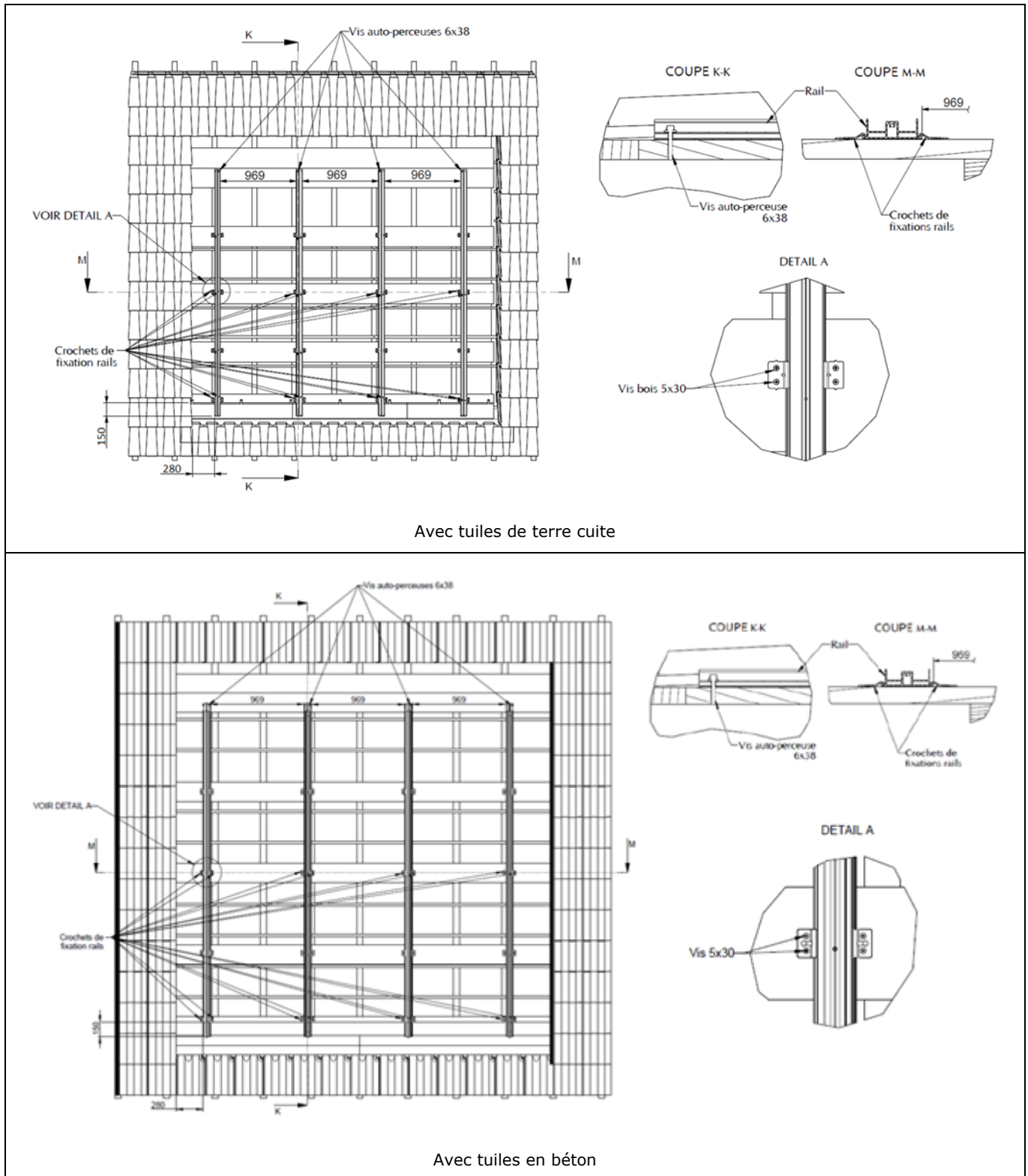


Figure 36 : Pose des rails gouttière pour installation sur toiture tuile (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)



**Figure 37 : Pose des rails gouttière pour installation sur toiture ardoise
(exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)**

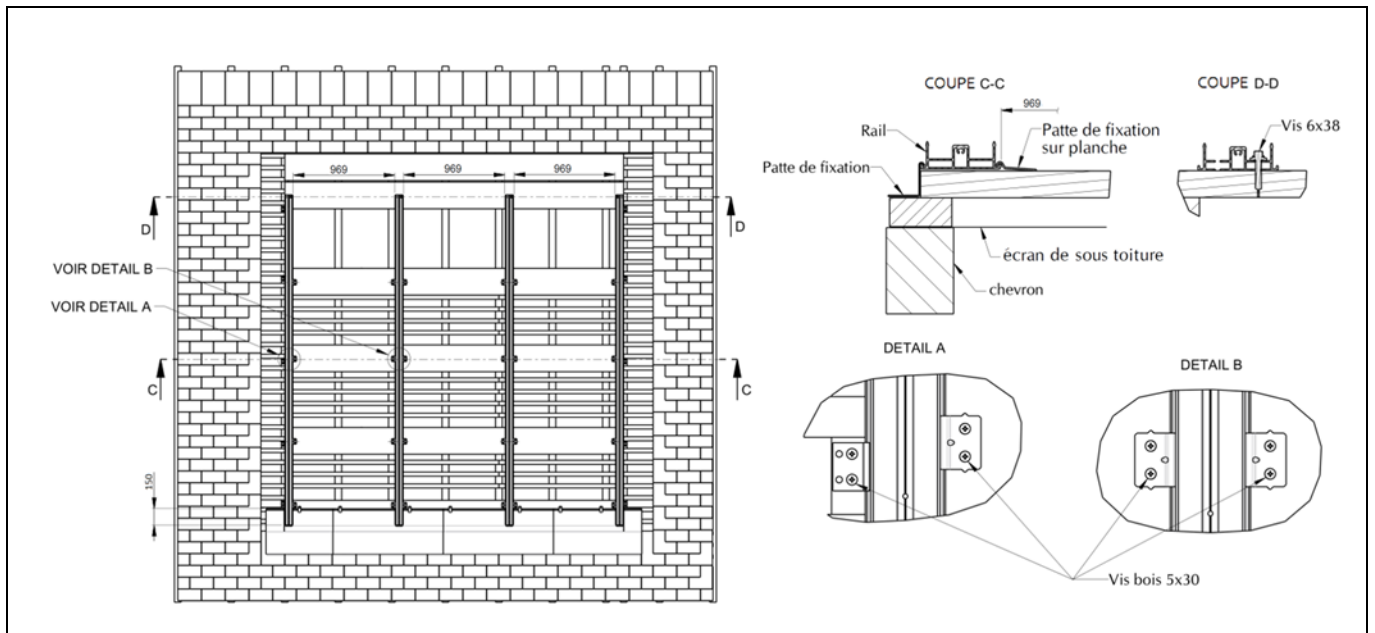


Figure 38 : Pose des modules pour installation sur toiture tuile

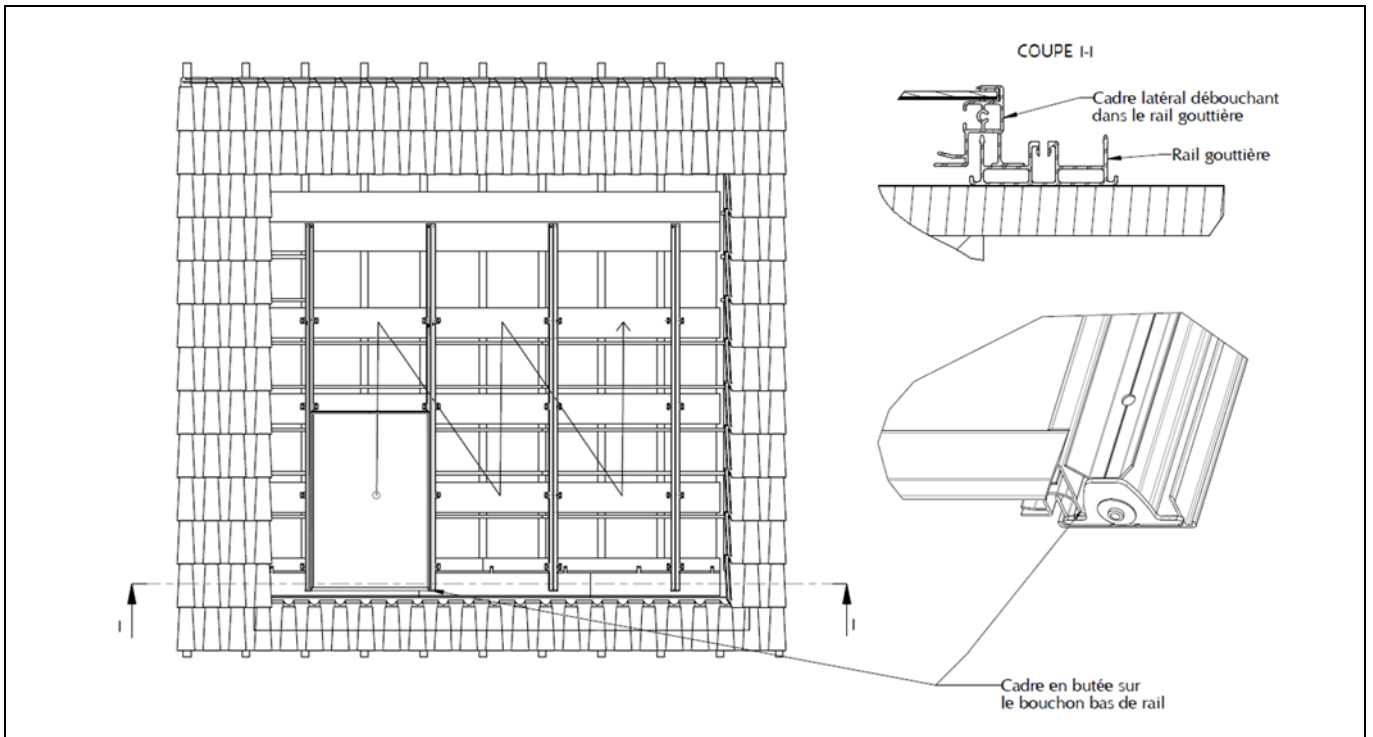


Figure 39 : Pose des modules pour installation sur toiture ardoise

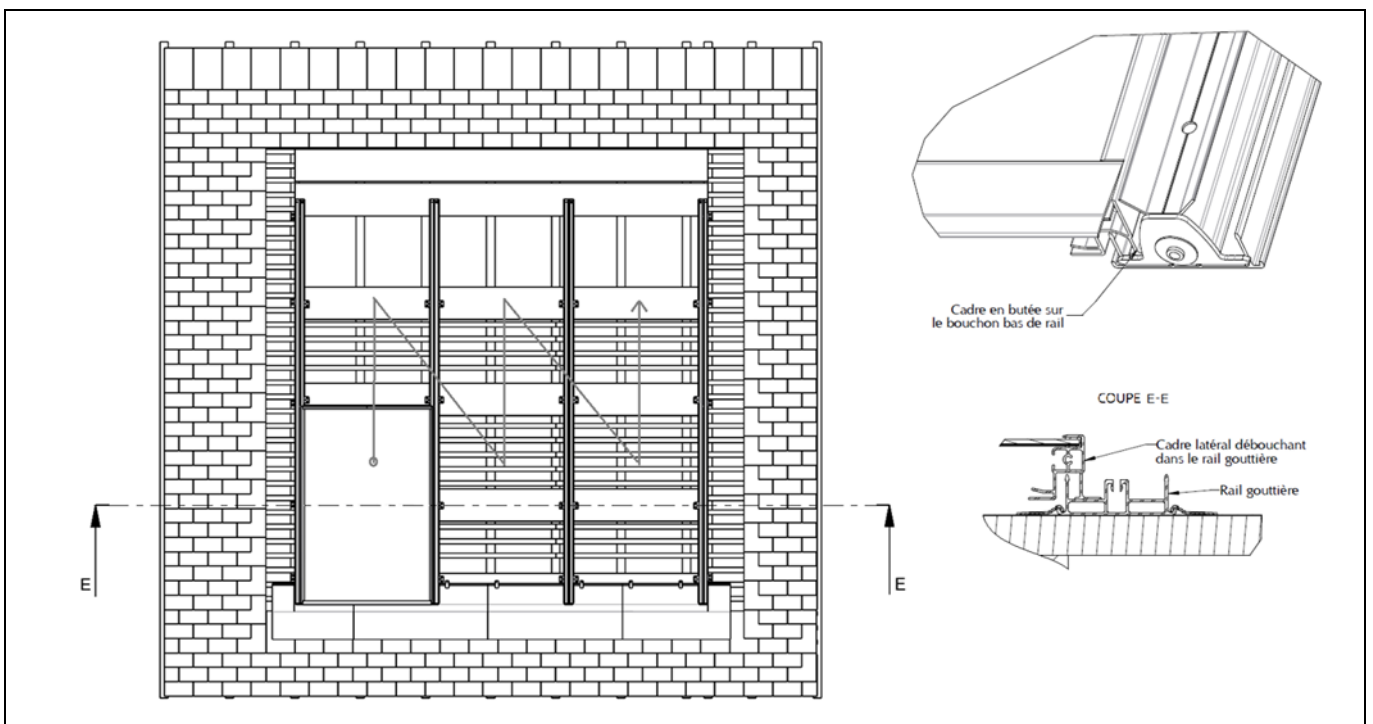


Figure 40 : Pose des pattes de maintien (dans le cas des modules posés en paysage)

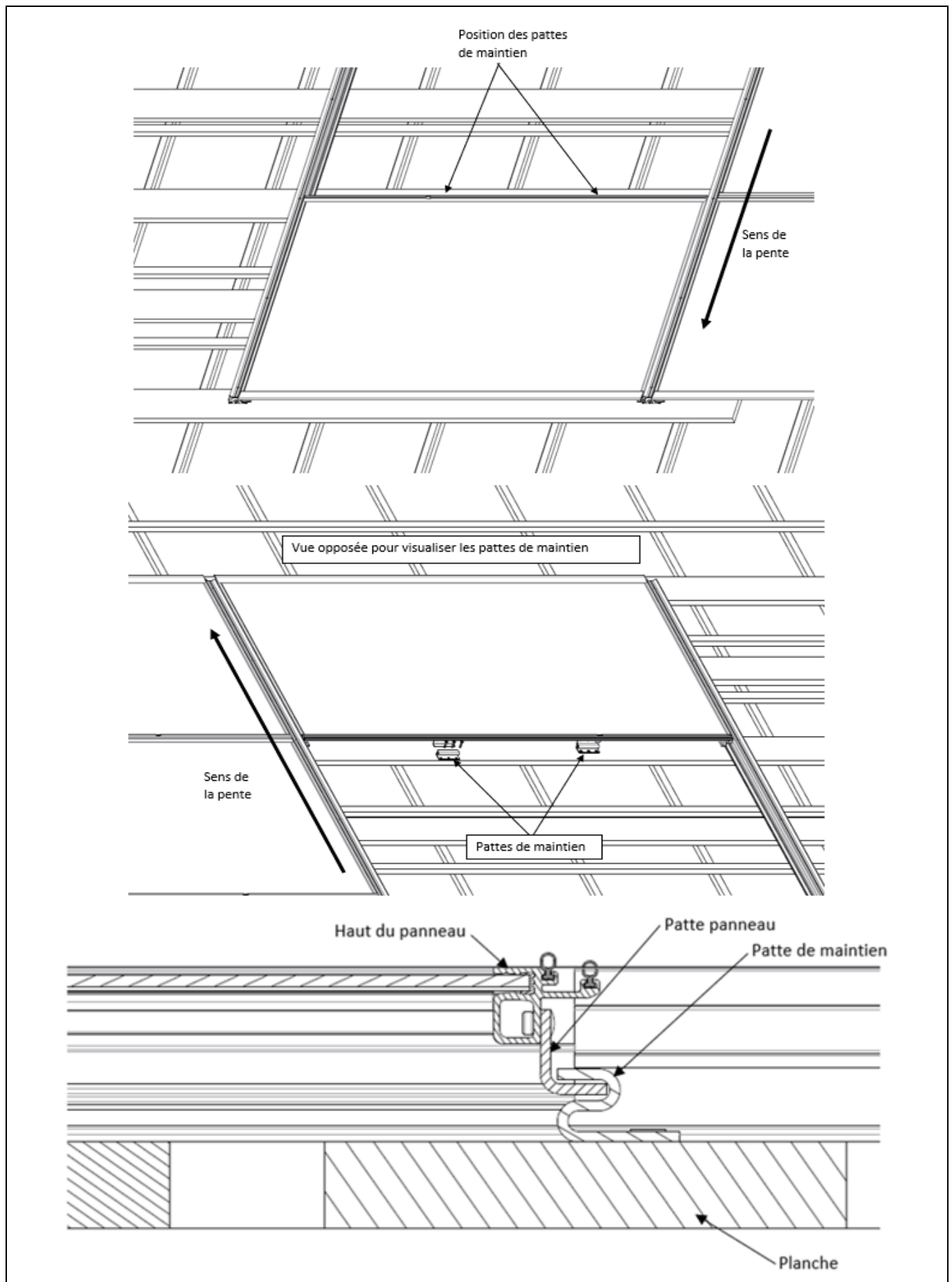


Figure 41 : Pose de la fixation haute (exemple pour modules PE-ww-xxx-V-yy)

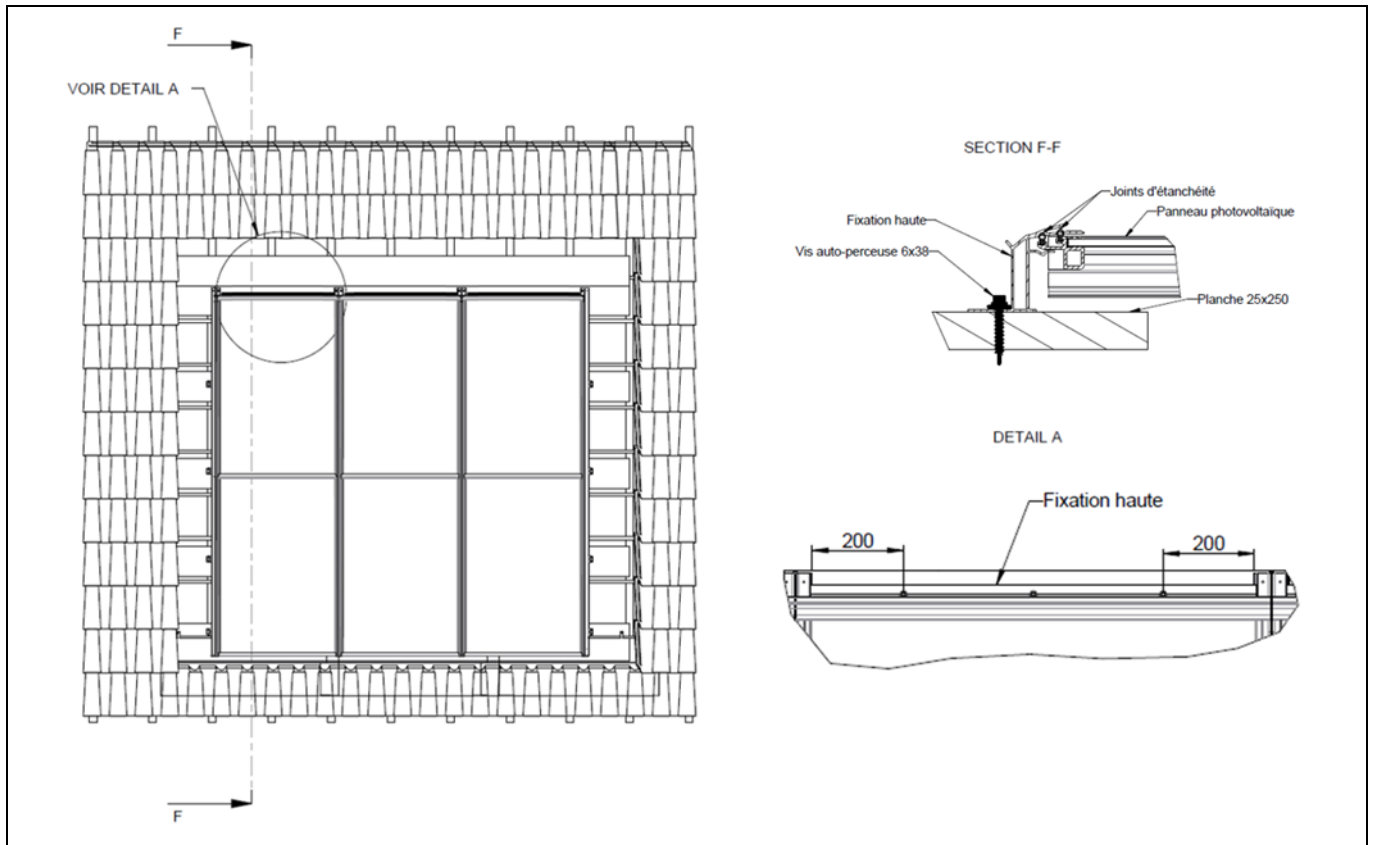


Figure 42 : Pose des abergements latéraux droit et gauche pour installation sur toiture tuile

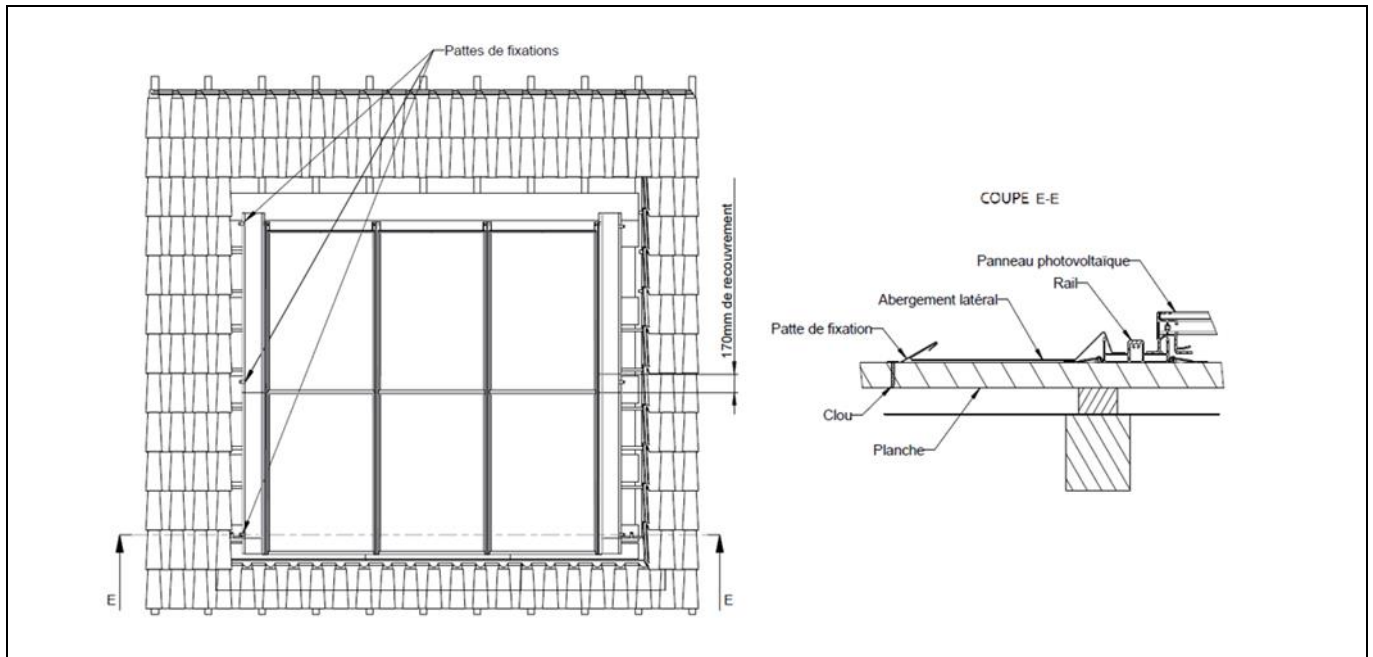


Figure 43 : Pose des abergements latéraux droit et gauche pour installation sur toiture ardoise

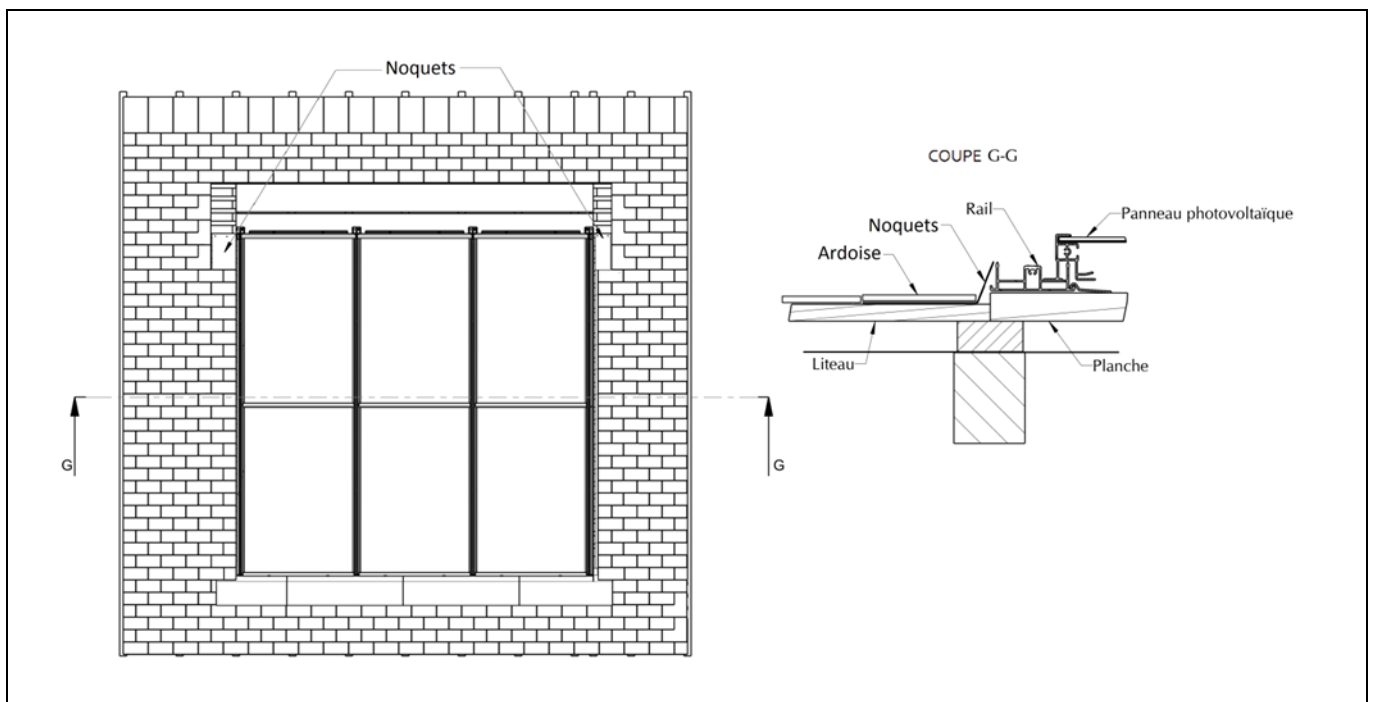


Figure 44 : Pose de l'abergement supérieur gauche pour installation sur toiture tuile

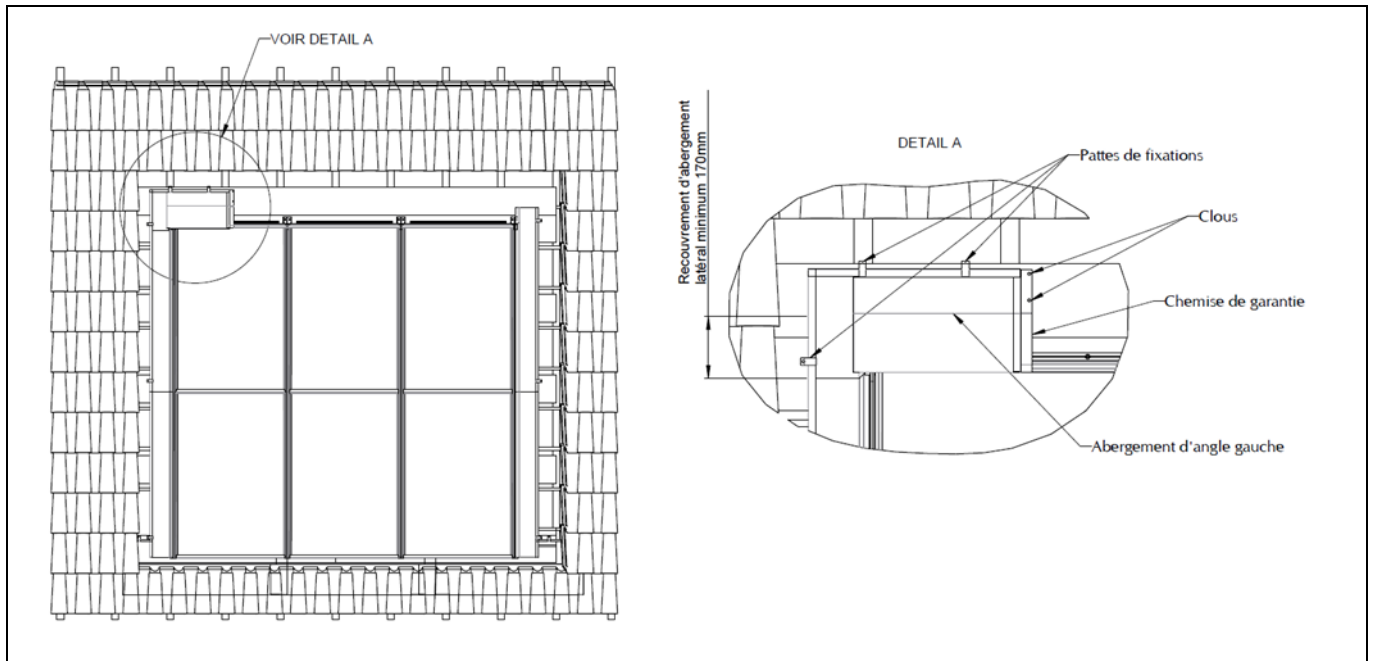


Figure 45 : Pose de l'abergement supérieur gauche pour installation sur toiture ardoise

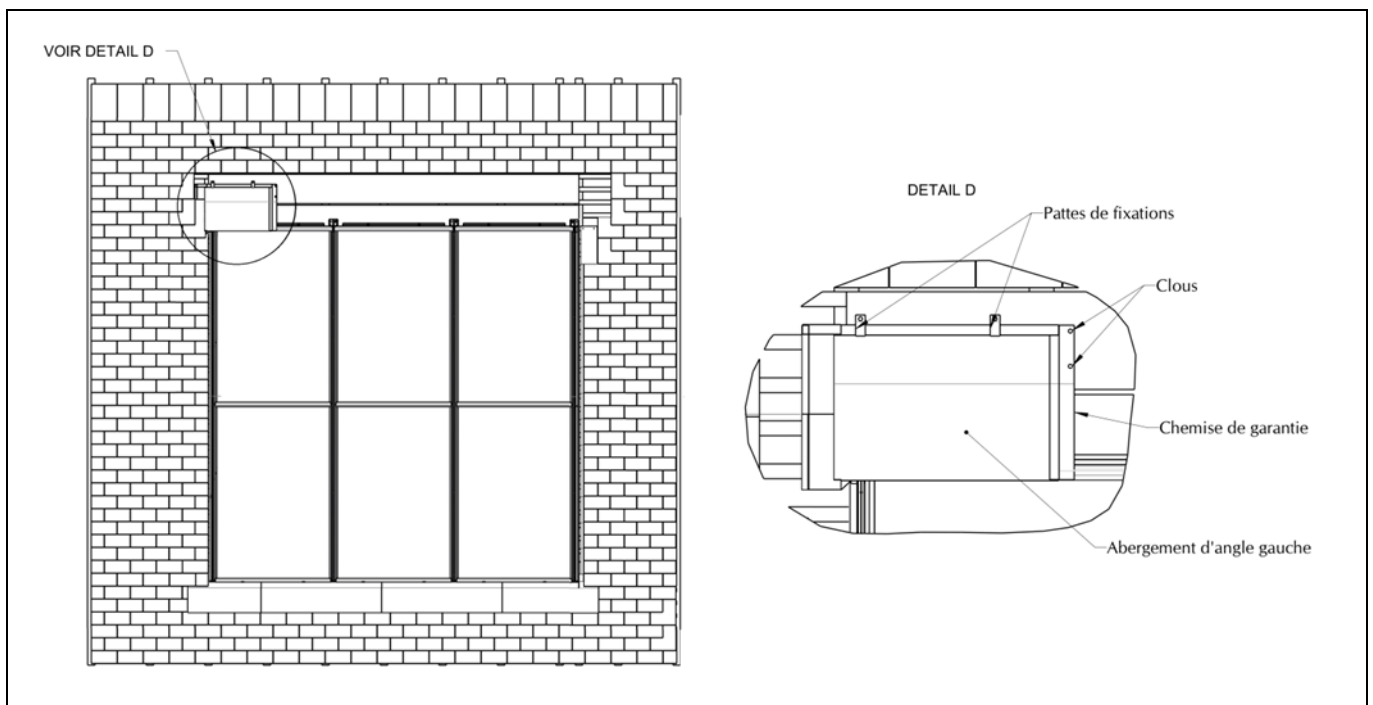


Figure 46 : Pose des abergements supérieurs intermédiaires pour installation sur toiture tuile

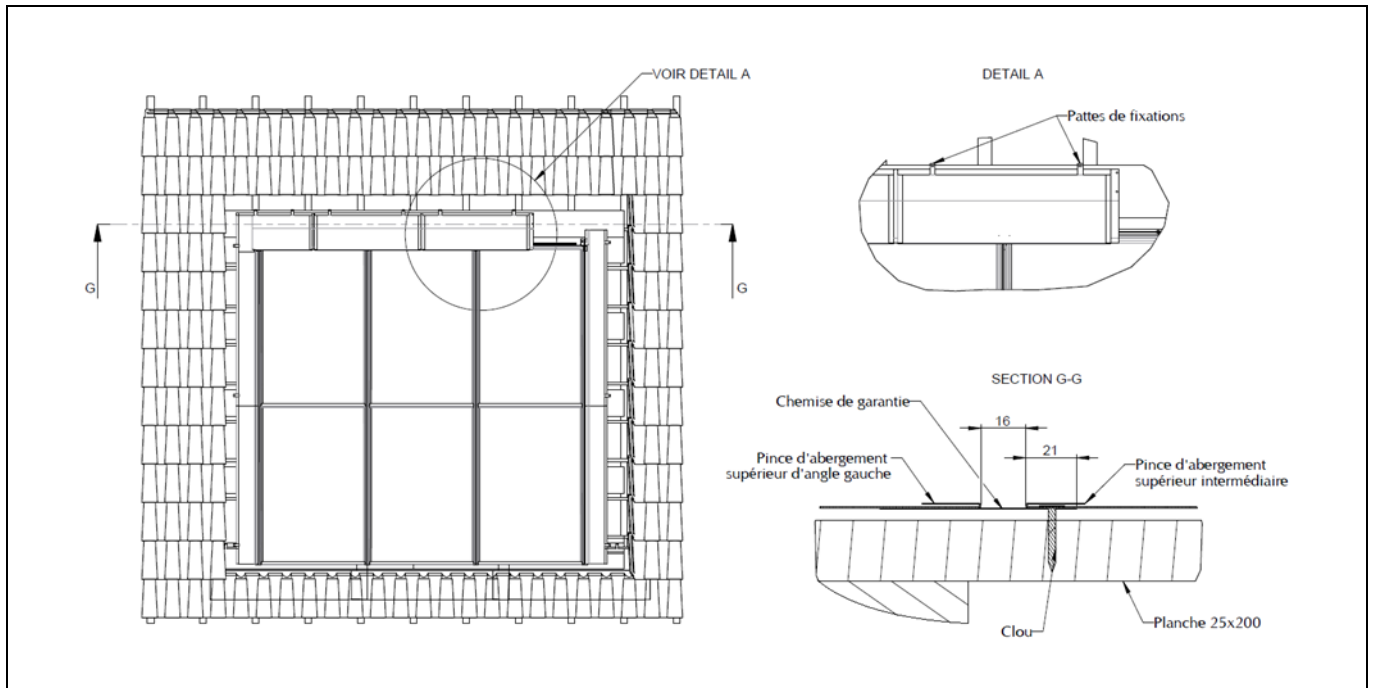


Figure 47 : Pose des abergements supérieurs intermédiaires pour installation sur toiture ardoise

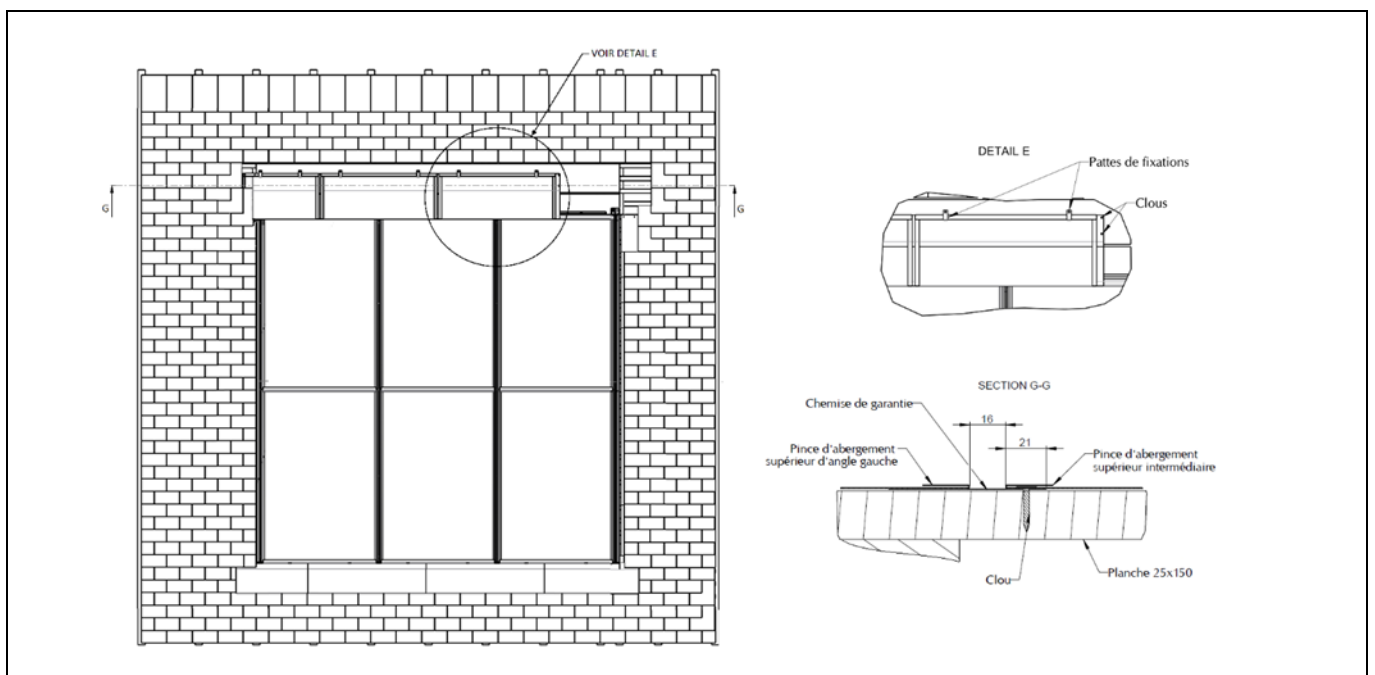


Figure 48 : Pose de l'abergement supérieur droit pour installation sur toiture tuile

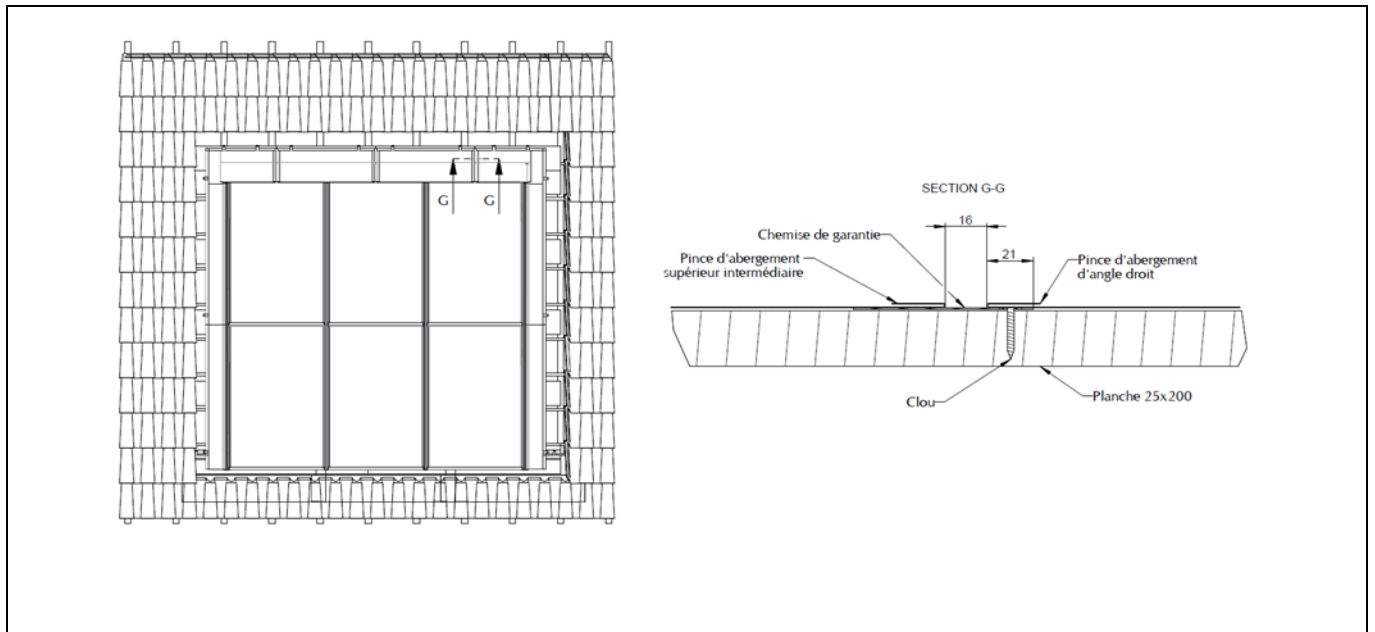


Figure 49 : Pose de l'abergement supérieur droit pour installation sur toiture ardoise

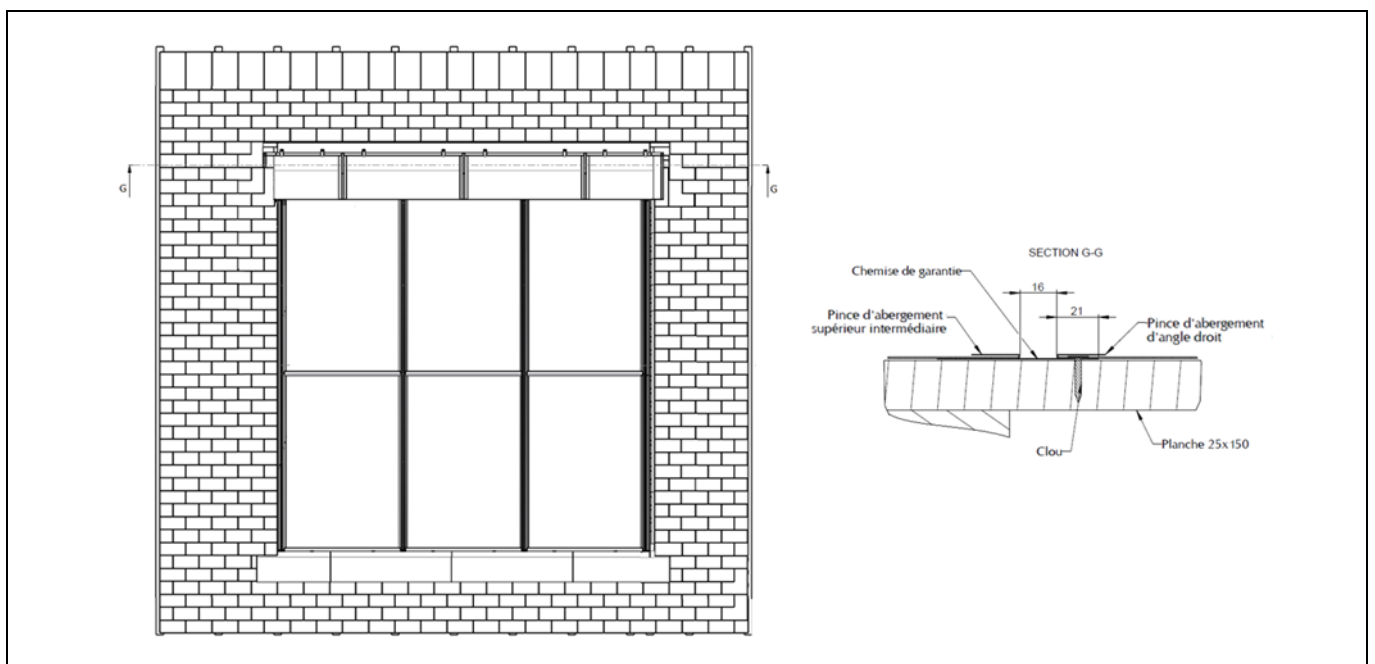


Figure 50 : Pose des coulisseaux pour installation sur toiture tuile

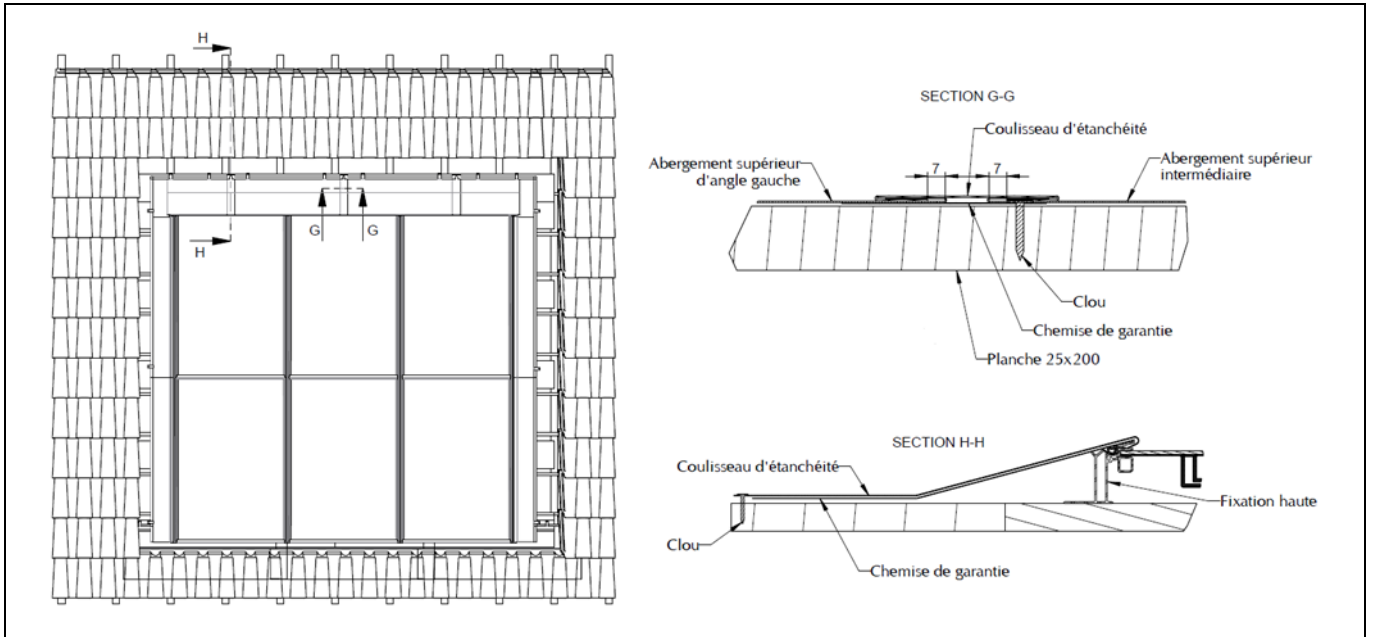


Figure 51 : Pose des coulisseaux pour installation sur toiture ardoise

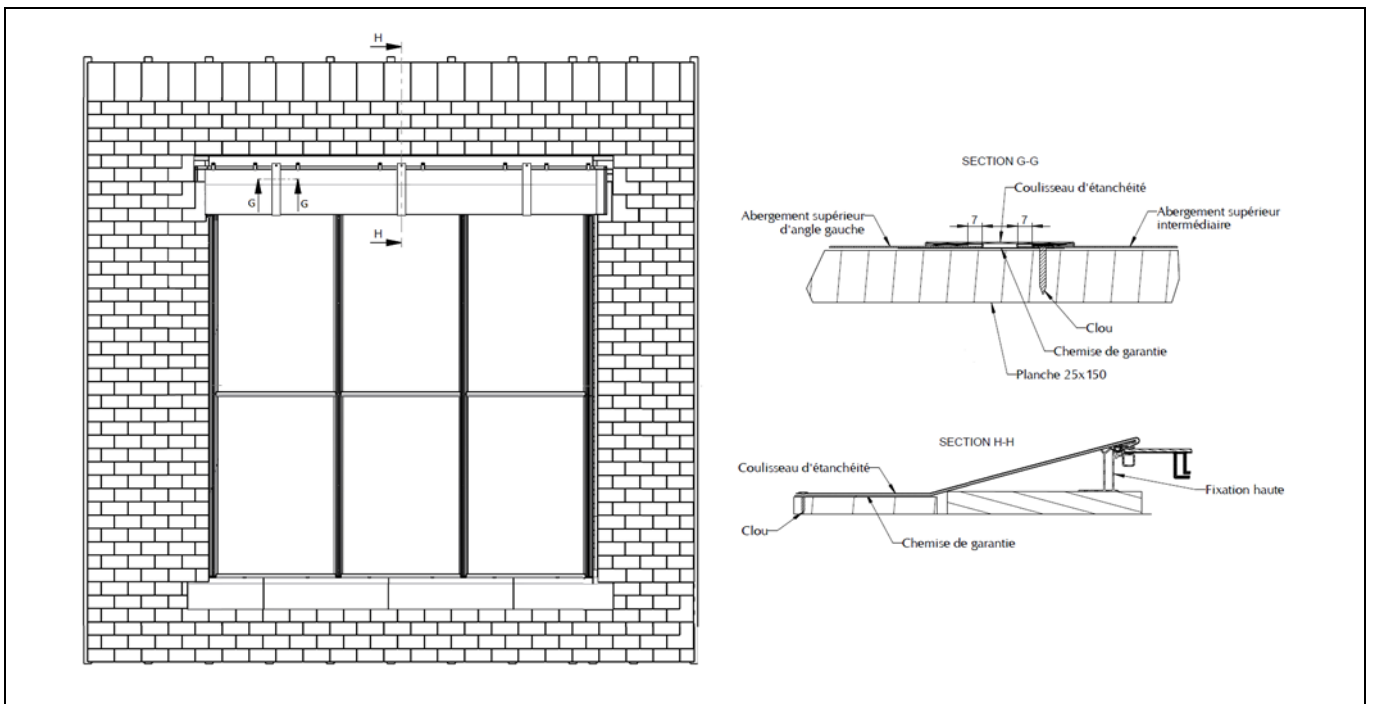


Figure 52 : Pose des brides pour installation sur toiture tuile

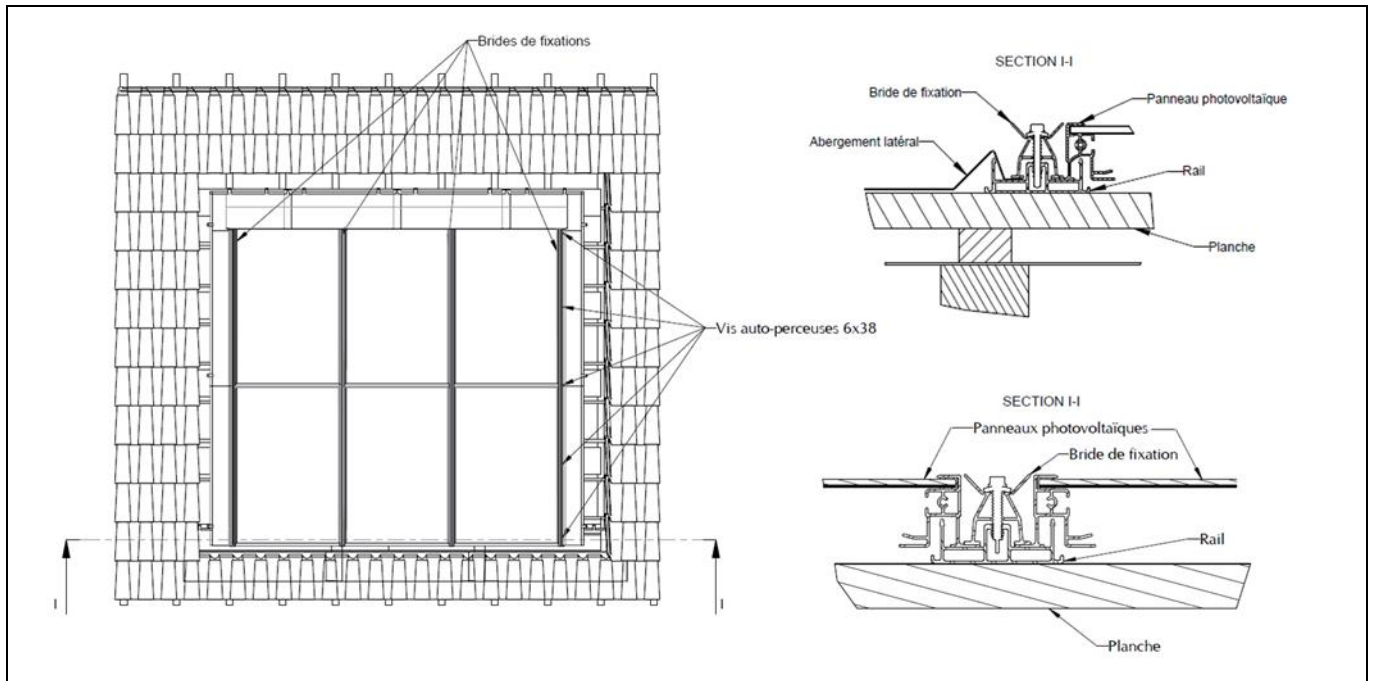


Figure 53 : Pose des brides pour installation sur toiture ardoise

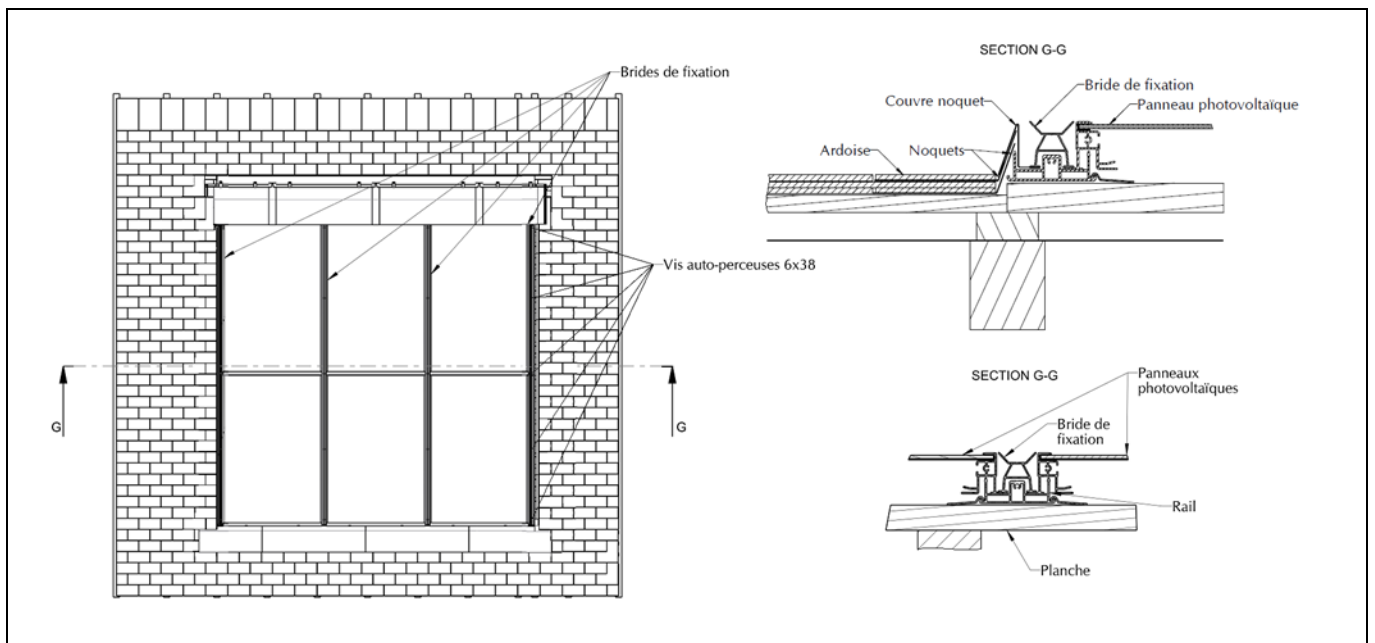


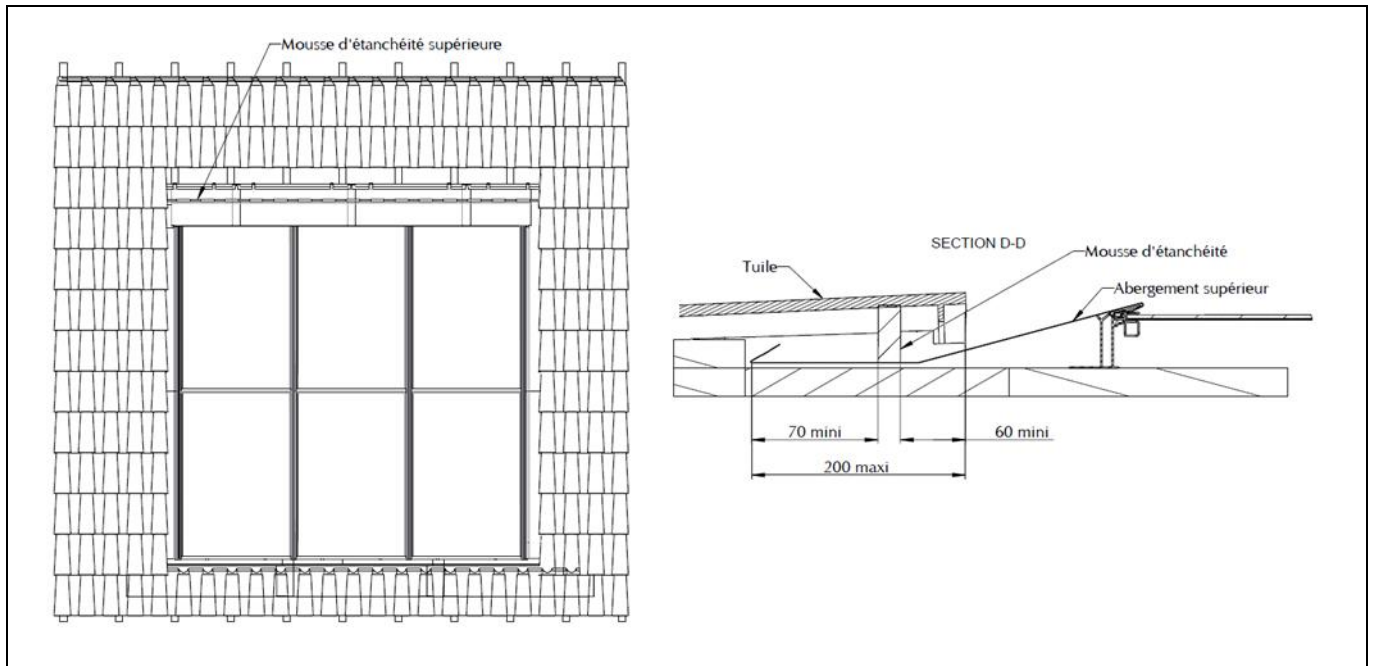
Figure 54 : Pose de la mousse d'étanchéité haute pour installation sur toiture tuile

Figure 55 : Pose des barrières « T » pour installation sur toiture tuile

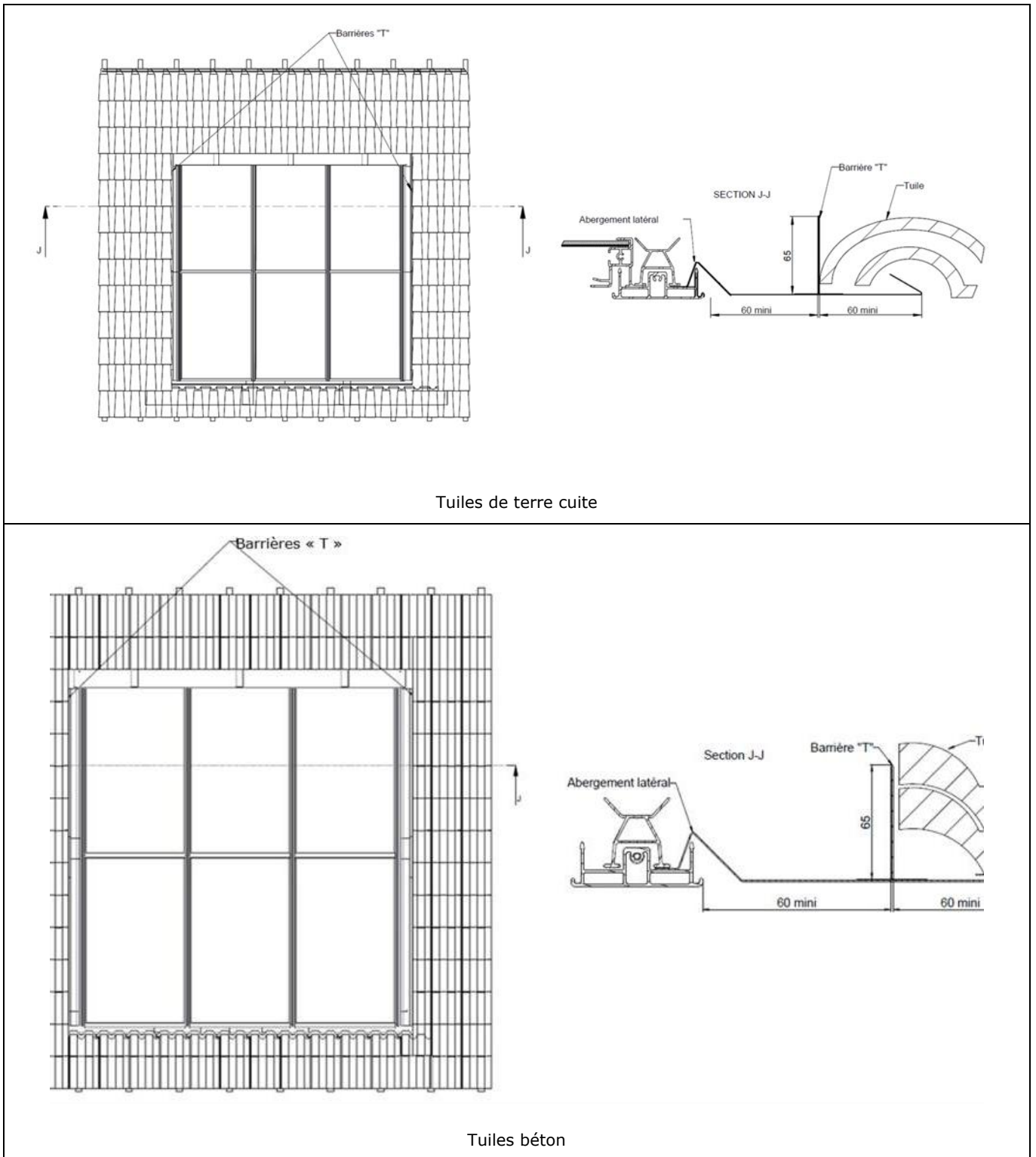


Figure 56 : Recouvrement des abergements supérieurs pour installation sur toiture ardoise

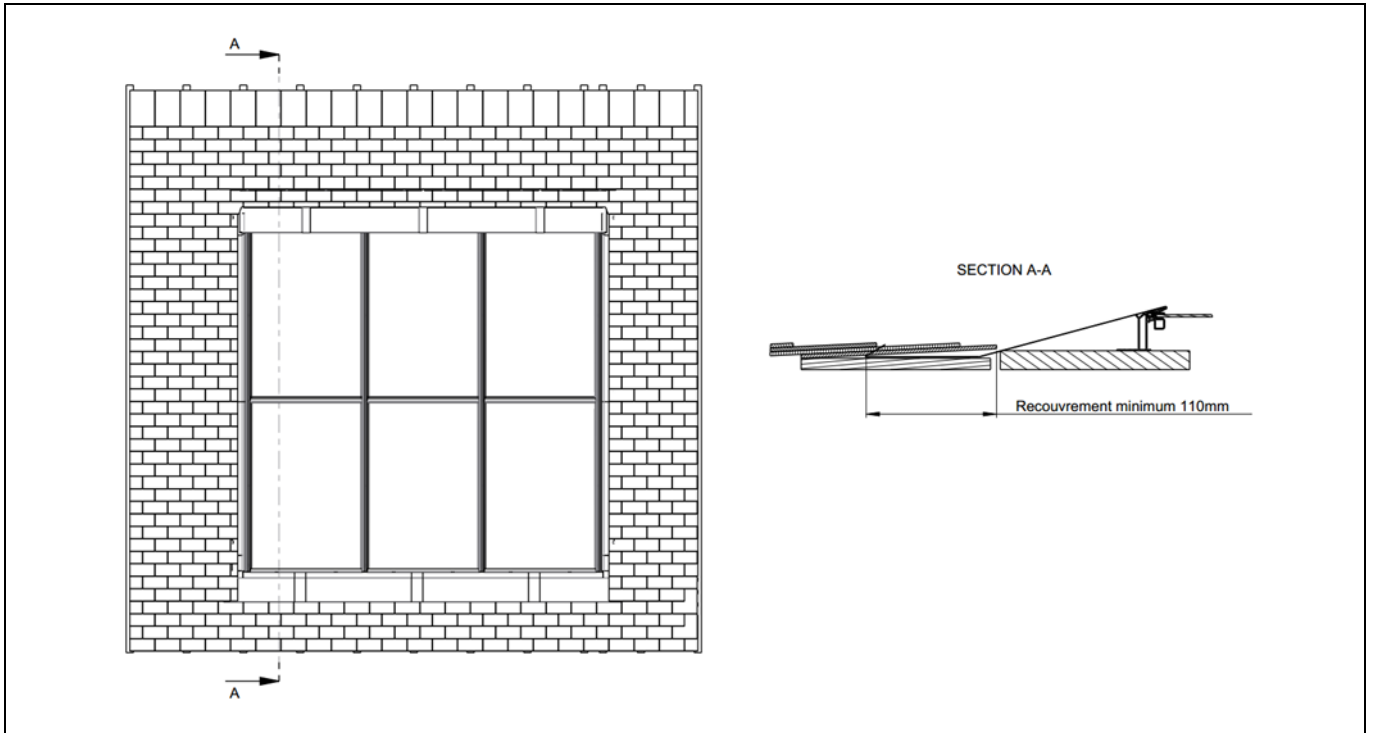


Figure 57 : Pose à l'égout

