

Avis Technique 21/16-61

Annule et remplace l'Avis Technique 21/12-31

*Module photovoltaïque
verre/polymère
mis en œuvre en toiture*

*Photovoltaic module
(glass/backsheet)
installed in roofs*

SYSTOétanche 2

Titulaire : Société SYSTOVI
5 rue du Chêne Lassé
CP 1008
FR – 44806 SAINT-HERBLAIN Cedex

Tél. : +33 (0)2 40 92 44 20
Fax : +33 (0)2 40 92 44 30
E-mail : m.benabdelkarim@systovi.com
Internet : www.systovi.com

Vu pour enregistrement :

13 FEV. 2017

Charles BALOCHE

Groupe Spécialisé n° 21

Procédés photovoltaïques

Publié le



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

(arrêté du 21 mars 2012)

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

Le Groupe Spécialisé n° 21 "Procédés photovoltaïques" de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques a examiné, le 8 novembre 2016 le procédé photovoltaïque "SYSTOétanche 2", présenté par la société SYSTOVI. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après qui annule et remplace l'Avis Technique 21/12-31. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France européenne.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

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 à la norme NF DTU 40.21) ou d'ardoises (conformes aux normes NF 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 245 Wc et 255 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".

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

1.2 Identification

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

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

2. AVIS

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

2.1 Domaine d'emploi accepté

Domaine d'emploi identique au § 1.2 du Dossier Technique, restreint :

- aux dispositions énoncées dans le § 2.222 "Sécurité en cas de séisme" du présent Avis,
- à des longueurs de rampant projetées au-dessus des abergements hauts égaux à 1 m maximum.

2.2 Appréciation sur le produit

2.21 Conformité normative des modules

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

2.22 Aptitude à l'emploi

2.221 Fonction génie électrique

Sécurité électrique du champ photovoltaïque

- Conducteurs électriques

Le respect des prescriptions définies dans la norme NF 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 une tenue en température ambiante de - 40 °C à 90 °C et peuvent être mis en œuvre jusqu'à une tension de 1000 V en courant continu, ce qui permet d'assurer une bonne aptitude à l'emploi des câbles électriques de l'installation.

- Protection des personnes contre les chocs électriques.

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

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

Les connecteurs utilisés (SOLARLOK PV4), ayant un indice de protection IP 68, sont des connecteurs débouchables au moyen d'un outil 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 gouttière) permet d'assurer la continuité de la liaison équipotentielle des masses du champ photovoltaïque lors de la maintenance du procédé.

Sécurité par rapport aux ombrages partiels

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

Puissance crête des modules utilisés

Les modules "PE-05-xxx-V-yy" ont une puissance crête comprise entre 245 Wc et 255 Wc par pas de 5 Wc.

2.222 Fonction Couverture

Stabilité

La stabilité du procédé est convenablement assurée sous réserve :

- d'un calcul au cas par cas des charges climatiques appliquées sur la toiture, en tenant compte lorsque nécessaire des actions locales, pour vérifier que celles-ci n'excèdent pas :
 - 1103 Pa sous charge de vent normale (selon les règles NV65 modifiées),
 - 1103 Pa sous charge de neige normale (selon les règles NV65 modifiées),
- d'une reconnaissance préalable de la charpente support vis-à-vis de sa capacité à accueillir le procédé photovoltaïque,
- que la toiture d'implantation présente 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.

Sécurité en cas de séisme

Les applications du procédé sont limitées :

- en zone de sismicité 1, aux bâtiments de catégories d'importance I à IV,
- en zone de sismicité 2 :
 - aux bâtiments de catégories d'importance I et II,
 - aux bâtiments scolaires d'un seul niveau remplissant les conditions des Règles de Construction Parasismiques PS-MI "Construction parasismique des maisons individuelles et bâtiments assimilés",
- en zones de sismicité 3 et 4 :
 - aux bâtiments de catégorie d'importance I,

- aux bâtiments de catégorie d'importance II remplissant les conditions des Règles de Construction Parasismiques PS-MI" Construction parasismique des maisons individuelles et bâtiments assimilés".

Les zones de sismicité et les catégories d'importance des bâtiments mentionnées ci-dessus s'entendent au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite "à risque normal".

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

Étanchéité à l'eau

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

Le fait que la société SYSTOVI 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.

Risques de condensation

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

Ventilation de la toiture

La mise en œuvre du procédé photovoltaïque telle que décrite dans le Dossier Technique et dans la notice de pose ne vient pas perturber la ventilation naturelle de la toiture qui doit être conforme aux normes NF DTU 40.11, 40.13 ou 40.21.

Sécurité au feu

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

Les critères de réaction et de résistance au feu, ainsi que le comportement au feu extérieur de toiture, prescrits par la réglementation doivent être appliqués en fonction du bâtiment concerné.

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

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.

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 "SYSTOÉtanche 2" ne peut en aucun cas servir de point d'ancrage à un système de sécurité.

2.223 Données environnementales et sanitaires

Aspects environnementaux

Il n'existe pas de PEP (Profil Environnemental des Produits) ou FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire) pour ce produit. Il est rappelé que le PEP ou la FDES n'entre pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du produit.

Aspects sanitaires

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

2.23 Durabilité - Entretien

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

Dans les conditions de pose prévues par le domaine d'emploi accepté par l'Avis, en respectant le guide de choix des matériaux (voir le tableau 1) et moyennant un entretien conforme aux indications portées dans le Dossier Technique, la durabilité de cette couverture peut être estimée comme satisfaisante.

2.24 Fabrication et contrôle

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

2.25 Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé photovoltaïque effectuée par des installateurs agréés (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 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.

2.3 Cahier des Prescriptions Techniques

2.31 Prescriptions communes

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.

Une reconnaissance préalable de la charpente support vis-à-vis de sa capacité à accueillir le procédé photovoltaïque et de la présence ou non d'un écran de sous toiture est à faire à l'instigation du maître d'ouvrage.

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

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

La réalisation de l'installation devra être effectuée conformément aux documents suivants en vigueur : norme électrique NF C 15-100, guide UTE C 15-712-1 et guide « Installations solaires photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution et inférieures ou égales à 250kV » édité dans les cahiers pratiques de l'association Promotelec.

Les câbles électriques ne doivent pas reposer dans les zones d'écoulement ou de rétention d'eau.

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

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

2.32 Prescriptions techniques particulières

2.321 Livraison

La notice de montage et 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.

2.322 Installation électrique

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

2.323 Mise en œuvre

Les règles de mise en œuvre décrites au Dossier Technique et les dispositions mentionnées au § 2.232 "Stabilité" et "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 sera obligatoire d'en ajouter un sur tout le pan de couverture accueillant le champ photovoltaïque. Dans ce cas, cet écran de sous-toiture devra être sous certification conforme au Dossier Technique (cf. §3.3) avec un classement W1 avant et après vieillissement et S_{d1} selon la norme EN 13859-1. Il devra être mis en œuvre conformément aux dispositions définies dans la norme NF DTU 40.29 et complétées par les indications du Dossier Technique (cf. §3.3).

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

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 SYSTOVI.

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.

2.324 Assistance technique

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

Conclusions

Appréciation globale

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

Validité

Jusqu'au 28 février 2019

Pour le Groupe Spécialisé n° 21
Le Président



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

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

Le Groupe Spécialisé souhaite également préciser que cet Avis Technique nécessitera d'être révisé en cas d'évolution des prescriptions relatives à l'isolation et à la ventilation des DTU de la série 40.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 21



Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Description générale

1.1 Présentation

Procédé photovoltaïque, mis en œuvre en toiture partielle ou complète, sur charpentes bois avec liteaux en remplacement de tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief (norme NF DTU 40.21) ou d'ardoises (normes NF 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 245 et 255 Wc, muni(s) d'un cadre en profil d'aluminium,
- un système de montage permettant une mise en œuvre en toiture des modules en mode "portrait".

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

1.2 Domaine d'emploi

- Utilisation en France européenne :
 - sauf en climat de montagne caractérisé par une altitude supérieure à 900 m,
 - uniquement au-dessus de locaux à faible ou moyenne hygrométrie (au sens de l'annexe B3 du DTU 40.36), sans agression chimique ou biologique.

• Mise en œuvre :

- sur toitures inclinées de bâtiment neuf ou existant, 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 ou ardoises.

Les couvertures doivent être conformes aux prescriptions des normes NF DTU 40.11, 40.13 et 40.21 (notamment pour la pente, la longueur de rampant).

- au-dessus d'un écran de sous-toiture sous certification "QB" avec un classement W1 avant et après vieillissement et Sd1 selon la norme EN 13859-1 (voir §3.3).
- uniquement par température extérieure positive.
- La toiture d'implantation doit présenter les caractéristiques suivantes :
 - un entraxe maximum entre chevrons de 500 mm,
 - une épaisseur minimale des liteaux de 25 mm pour les couvertures en tuile et 15 mm pour les couvertures en ardoise,
 - 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, en couverture partielle ou complète.
- Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :
 - en mode "portrait" (voir figure 6),
 - uniquement dans des configurations d'installation photovoltaïque de forme rectangulaire (sans angle rentrant),
 - en toiture complète ou en toiture partielle,
 - sur des longueurs de rampants de toiture n'excédant pas 6,15 m correspondant à la longueur maximum d'un rail gouttière (4 lignes de modules au maximum).
 - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous vent normal (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1103 Pa.
 - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous neige normale (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1103 Pa.
- En fonction des matériaux constitutifs du procédé, le tableau 1 précise les atmosphères extérieures permises.

2. Éléments constitutifs

Le procédé photovoltaïque "SYSTOétanche 2" est l'association d'un module photovoltaïque cadré (voir figure 1) et d'un système de montage spécifique (voir figure 6) 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 SYSTOVI.

2.1 Module photovoltaïque

Les modules photovoltaïques (voir figure 1 et figure 3), dont la dénomination commerciale est PE-05-xxx-V-yy, sont fabriqués par la société SYSTOVI. La dénomination commerciale se décline en fonction de la puissance crête du module ("xxx" allant de 245 à 255 Wc par pas successifs de 5 Wc), et de la couleur des cellules (yy). L'indice V correspond à l'orientation portrait des panneaux.

2.1.1 Film polymère

- Composition : à base de PET (Polyéthylène téréphtalate),
- Épaisseur : $0,35 \pm 0,05$ mm,
- Tension diélectrique maximum admissible : 1000 V.

2.1.2 Cellules photovoltaïques

Les cellules de silicium utilisées sont fabriquées par la société DMEGC.

	DMEGC	DMEGC
Dénomination commerciale	M1 Mono	DMTP 156
Technologie des cellules	monocristalline	polycristalline
Épaisseur	200 ± 20 µm	200 ± 20 µm
Dimensions	$156 \pm 0,5$ mm $x 156 \pm 0,5$ mm	$156 \pm 0,5$ mm $x 156 \pm 0,5$ mm

Au nombre de 54, ces cellules sont connectées en série et réparties en 6 colonnes de 9 cellules selon la configuration du laminé (voir figure 3) :

- distance minimale entre cellules horizontalement : $3 - 0,5/0$ mm,
- distance minimale entre cellules verticalement : $2,5 - 0,5/0$ mm,
- distance minimale au bord horizontalement : $16 0/+1$ mm,
- distance minimale au bord verticalement : $26,2 0/+1$ mm en partie basse et $34,3 0/+1$ mm en partie haute.

2.1.3 Collecteurs entre cellules

Les collecteurs entre cellules photovoltaïques sont en cuivre étamé.

2.1.4 Intercalaire encapsulant

Résine à base d'EVA (Ethyl Vinyl Acétate) permettant d'encapsuler les cellules entre le film polymère et le vitrage.

- Épaisseur : $0,38 \pm 0,03$ mm
- Tension diélectrique maximum admissible : 1000 V

2.1.5 Vitrage

- Nature : verre extra clair imprimé et trempé selon la norme EN 12150,
- Facteur solaire : 94 %,
- Coefficient de transmission thermique U_g : $1,07 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
- Épaisseur : $3,2 \pm 0,2$ mm,
- Dimensions : $1485 \pm 0,5$ mm x $983 \pm 0,5$ mm.

2.1.6 Constituants électriques

2.1.6.1 Boîte de connexion

- Une boîte de connexion du fabricant TE connectivity de dénomination commerciale "SOLARLOK Z-Rail" est collée avec du silicone (Dow Corning PV-804) en sous-face du module et possède les caractéristiques suivantes :
 - Dimensions hors-tout : 115 mm x 110 mm x 23 mm,
 - Classe II de sécurité électrique,
 - Indice de protection : IP65,
 - Tension de système maximum : 1000 V DC entre polarités,
 - Courant maximal admissible (intensité assignée) : 13 A,
 - Plage de température : - 40 °C à + 85 °C.

2.162 Diodes bypass

3 diodes bypass sont implantées dans chaque boîte de connexion des modules.

Chacune de ces diodes protègent une série de 18 cellules.

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

2.163 Câbles électriques

Les modules sont équipés de deux câbles électriques de 1 m chacun dont la section est de 4 mm² du fabricant TE connectivity. Ces câbles se trouvent à l'arrière du module, en sortie de la boîte de connexion, et sont équipés de connecteurs adaptés (voir §2.164).

Ces câbles ont notamment les spécifications suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Plage de température ambiante maximum : - 40 °C à 90 °C,
- Courant maximum admissible (*intensité assignée*) de 40 A.
- Tension assignée : 1000 V,
- Double isolation
- Certificat TÜV R 60019730 testé selon 2 PFG 1169/08.07

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, le guide UTE C 15-712-1 en vigueur, et les spécifications des onduleurs (*longueur et section de câble adaptées au projet*).

2.164 Connecteurs électriques

Les connecteurs électriques utilisés sont des connecteurs préassemblés en usine aux câbles des modules. De marque TE connectivity et de type PV4, 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 1000 V,
- Courant maximum admissible (*intensité assignée*) de 35 A,
- Plage de température de - 40 °C à + 85 °C,
- Résistance de contact : 0,5 mΩ,
- Certificat TÜV R 60026043 selon EN 50521.

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

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

Ces connecteurs sont uniquement débouchables au moyen d'un outil spécifique.

2.165 Connecteurs de liaison équipotentielle des masses

Chaque module photovoltaïque est équipé en usine d'un câble de terre (jaune/vert) 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 (voir figure 26). Le câble de mise à la terre est vissé dans l'alvéole du cadre latéral du panneau 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 panneaux 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 panneau, la liaison équipotentielle des autres panneaux n'est pas rompue (voir figure 25).

2.17 Cadre du module photovoltaïque

Le cadre des modules est composé de 4 profils (voir figure 1) en aluminium EN AW 6063 T5 anodisés noir (*épaisseur minimum 15 µm*). L'anodisation est réalisée sous le label QUALANOD.

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 Dow Corning PV-804 et est posé en automatique au moyen d'une machine de dosage. Les panneaux sont stockés pendant 48h pour permettre la polymérisation avant toute manipulation.

La conception des profils longitudinaux inférieurs et supérieurs permet d'effectuer un emboîtement entre deux modules photovoltaïques cadrés (voir figure 5).

Le profilé supérieur est équipé d'un joint EPDM anti-refoulement d'épaisseur 1,1 mm. Le module d'inertie aux axes principaux de ce profilé est :

$$I_1 = 0,375 \text{ cm}^4 \quad I_2 = 0,692 \text{ cm}^4$$

Le profilé inférieur est placé en bas du module photovoltaïque. Le module d'inertie aux axes principaux de ce profilé inférieur est :

$$I_1 = 0,465 \text{ cm}^4 \quad I_2 = 1,313 \text{ cm}^4$$

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 :

$$I_1 = 2,154 \text{ cm}^4 \quad I_2 = 4,728 \text{ cm}^4$$

2.2 Système de montage

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

2.21 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 maximum de 6,15 mètres et une section de dimensions hors tout de 75 mm x 25,4 mm (voir figure 7).
 - 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 (voir figure 32 et figure 33).
 - Les modules d'inertie du rail gouttière aux axes principaux sont :
 $I_1 = 2,115 \text{ cm}^4$ et $I_2 = 17,168 \text{ cm}^4$
- **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 panneaux tout en permettant la dilatation suivant l'axe du rampant de la toiture. Chaque crochet est vissé par 2 vis bois 6x30 mm sur la planche (voir figure 7).
 - Les crochets de fixation des rails sont de deux types (voir figure 32 et figure 33) 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 de 6 mètres et une section de dimensions 38 mm x 39,5 mm (voir figure 7).
 - Les modules d'inertie de la bride aux axes principaux sont :
 $I_1 = 2,541 \text{ cm}^4$ et $I_2 = 2,700 \text{ cm}^4$
 - 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, c'est-à-dire tous les 750 mm. Cette bride de fixation permet de fixer le module au rail par l'intermédiaire de vis auto perceuses 6x38 mm (voir §2.23).

2.22 Ensemble "Abergements"/Eléments de finition

Les tôles d'abergement, les larmiers inférieurs, les coulissex d'étanchéité supérieure, les barrières "T", et les pattes de fixation sont en aluminium d'épaisseur 0,65 mm laqué noir sur les deux faces (*peinture polyester d'épaisseur 37 µm*).

- **Abergement supérieur d'angle gauche**
 - L'abergement d'angle gauche, de dimensions hors-tout 762 mm x 372 mm x 56 mm pour la tuile, et 768 mm x 420 mm x 57 mm pour l'ardoise, réalise la jonction entre la couverture et l'angle supérieur gauche du champ photovoltaïque (voir figure 8 et figure 9). 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 coulissex d'étanchéité supérieure. La géométrie des abergements supérieurs d'angle gauche permet un recouvrement avec les couloirs d'abergement latéraux.
- **Abergement supérieur intermédiaire**
 - L'abergement supérieur intermédiaire, de dimensions hors-tout 1052 mm x 352 mm x 56 mm pour la tuile, et 1053 mm x 395 mm x 57 mm pour l'ardoise, 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 coulissex d'étanchéité supérieure (voir figure 10 et figure 11).
- **Abergement supérieur d'angle droit**
 - L'abergement supérieur d'angle droit, de dimensions hors-tout 723 mm x 372 mm x 56 mm pour la tuile, et 729 mm x 420 mm x 57 mm pour l'ardoise, 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 (voir figure 8 et figure 9).

- **Coulisseau d'étanchéité supérieure**
 - Cet élément assure la liaison entre deux abergements supérieurs consécutifs. Les coulisseaux d'étanchéité, de dimensions 377 mm x 72,6 mm de largeur pour la tuile, et 423 mm x 72,3 mm pour l'ardoise, se positionnent par-dessus le recouvrement entre deux abergements successifs et se fixent sur la planche supérieure (voir figure 10 et figure 11).
- **Couloir d'abergement latéral (pour tuiles)**
 - Ces tôles, de dimensions hors tout 1670 mm x 209 mm x 33,6 mm, assurent la jonction entre la couverture et les rives du champ photovoltaïque (voir figure 12). Le recouvrement minimum entre 2 couloirs emboîtés est de 170 mm.
- **Couvre-noquet (pour ardoises)**
 - Ces pièces, de dimensions hors tout 1660 mm x 44 mm x 37 mm, assurent la jonction entre les rives du champ photovoltaïque et les noquets (voir figure 13). Leur recouvrement minimum est de 170 mm.
- **Barrière "T"**
 - Cette pièce de dimensions hors tout 1580 mm x 40 mm x 65 mm 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 vent et pluie latérale (voir figure 14).
- **Larmiers inférieurs**
 - Dans le cas de la tuile, des larmiers viennent recouvrir la bande d'étanchéité basse (voir §3.4), afin de la protéger des frottements liés à la dilatation des rails aluminium. Ces larmiers ont des dimensions hors-tout sont : 1445 mm x 220 mm (voir figure 15).
 - Dans le cas de l'ardoise, trois pièces assurent l'étanchéité de la partie basse du champ photovoltaïque (voir figure 16). Le larmier gauche de dimensions hors-tout 725 mm x 425 mm, réalise la jonction entre les ardoises, le couloir latéral et l'angle bas gauche du champ photovoltaïque. Le larmier intermédiaire de dimensions hors-tout 1030 mm x 425 mm, réalise la jonction entre les ardoises et la partie basse courante du champ photovoltaïque. Le larmier droit de dimensions hors-tout 825 mm x 425 mm, réalise la jonction entre les ardoises, le couloir latéral et l'angle bas droit du champ photovoltaïque.
- **Grille d'aération basse**
 - Cette grille en aluminium d'épaisseur 0,8 mm, thermolaqué noir (épaisseur 100 µm), de dimensions hors tout 980 mm x 49 mm, 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 panneau par des « griffes » (voir figure 17).
- **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 le joint EPDM des profilés supérieurs des modules et de fixer les abergements hauts de faîtage. Le maintien de cette fixation haute est réalisé par 3 vis autoperceuses Ø 6 x 38 mm. Cette pièce a les dimensions hors-tout suivantes : 1016 mm x 64,8 mm x 56,6 mm (voir figure 18). Le module d'inertie de la fixation haute aux axes principaux est :
 $I_1 = 2,115 \text{ cm}^4$ $I_2 = 13,309 \text{ cm}^4$
- **Bouchon haut du rail gouttière**
 - Cette pièce, de dimensions 72,9 mm x 51 mm x 37 mm et d'épaisseur 0,65 mm, est montée aux extrémités des rails gouttière en haut du champ photovoltaïque. Son rôle est d'éviter les pénétrations d'eau en cas de vent fort. Ce bouchon est réalisé dans la même matière que les abergements (voir figure 19).
- **Bouchon bas du rail gouttière**
 - Cette pièce, en acier inoxydable X2CrNi18-9 (304 L) laqué noir, est pré-montée à l'extrémité basse du rail gouttière. Son rôle est de bloquer temporairement le glissement des panneaux vers le bas, avant la pose de la bride (voir figure 20).
- **Pattes de fixation des abergements**
 - Ces pièces, de dimensions hors tout 59 mm x 25 mm et de 0,65 mm d'épaisseur, permettent la fixation des abergements supérieurs et des couloirs d'abergement latéraux sur les liteaux ou planches en bois (voir figure 21).
- **Mousse d'étanchéité des abergements supérieurs**
 - Une mousse auto-adhésive et imputrescible, en polyuréthane imprégnée d'acrylate, de dimensions 2000 mm x 60 mm x 20 mm, est collée sur chantier sur les abergements supérieurs pour les couvertures en tuiles (voir figure 22).
- **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 SYSTOVI 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 (voir figure 23). La largeur du couloir de rive est limitée à 400 mm. L'abergement latéral de rive est maintenu par des pattes d'accroche, en acier galvanisé d'épaisseur 1 mm.

- **Abergement de faîtage**
 - Cet abergement est constitué d'un closoir ventilé, d'une couverture de faîtage, d'un abergement haut de faîtage et d'une bande en plomb plissé. (voir figure 28).

2.23 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.

2.24 Composition des kits

Le logiciel de calepinage Systotoit permet de configurer chaque kit en fonction de la toiture.

Les kits peuvent s'étendre de 1 ligne x 1 colonne à 4 lignes x 12 colonnes.

Exemple de composition de 2 kits 3 kWc :

- 2 lignes 6 colonnes.
- 3 lignes 4 colonnes.

• Désignation (voir figure 6)	• Kit 2L6C	• Kit 3L4C	• Répère
• Couloir d'abergement latéral gauche	• 2	• 3	• A1
• Couloir d'abergement latéral droit	• 2	• 3	• A2
• Barrière "T"	• 4	• 6	• F
• Abergement d'angle gauche	• 1	• 1	• B
• Abergement d'angle droit	• 1	• 1	• D
• Abergement intermédiaire	• 5	• 3	• C
• Coulisseau d'étanchéité supérieure	• 6	• 4	• E
• Panneau photovoltaïque	• 12	• 12	• G
• Bande d'étanchéité basse	• 5	• 4	• H
• Fixation haute	• 6	• 4	• M
• Ensemble de rail	• 7	• 5	• L
• Ensemble de bride	• 7	• 5	• K
• Bouchon de rail	• 7	• 5	• O
• Grille d'aération et de finition basse	• 6	• 4	• N
• Patte de fixation des rails	• 42	• 40	• V
• Bouchon haut aéré du rail	• 7	• 5	• P
• Patte de fixation d'abergement	• 48	• 42	• Q
• Mousse d'étanchéité abergement supérieur	• 6	• 4	• R
• Vis autoperceuse noire H8 Ø6 x 38	• 35	• 35	• T
• Vis autoperceuse incolore H8 Ø6 x 38	• 18	• 12	• S

3. Autres éléments

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

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

3.1 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
- et 15 x 150 mm.

Les planches doivent au minimum être en appui sur 3 chevrons et leur longueur doit être 10 cm supérieure à celle du champ photovoltaïque.

3.2 Cales en bois (pour toiture 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.

3.3 Écran de sous-toiture

En cas d'absence d'écran de sous-toiture, il convient d'en ajouter un sur la totalité de pan de couverture accueillant le champ photovoltaïque.

Il devra être sous certification "QB" avec un classement W1 avant et après vieillissement et Sd1 selon la norme EN 13859-1. 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.

3.4 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.

3.5 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.

3.6 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 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.

3.7 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 du guide UTE C 15-712-1 (voir figure 25).

4. Conditionnement, étiquetage, stockage

4.1 Modules photovoltaïques

Les modules cadrés sont conditionnés au maximum par 18 sur une palette. Des cales en plastique spécialement développées pour le cadre des modules SYSTOétanche 2 empêchent les panneaux de se toucher. 4 cornières en acier bloquent le premier panneau sur la palette et empêchent ainsi tout glissement de l'ensemble des panneaux 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 panneaux peut être fourni avec le bon de livraison.

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

4.2 Eléments du système de montage

Les ensembles fixation, rails + brides sont conditionnés en boîtes filmées.

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.

4.3 Kits 3 kWc

Pour les kits 3 kWc, la palette contient 12 modules SYSTOétanche 2 "PE-05-xxx-V-yy", les abergements, une boîte d'accessoires contenant la quincaillerie et un onduleur (option). Ces éléments sont posés sur la palette des modules et le tout est filmé.

5. Caractéristiques dimensionnelles

Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques	
Dimensions hors-tout (mm)	1518 x 1011 x 43
Dimensions du module sans cadre (mm)	1485 x 983 x 4,5
Surface hors-tout (m ²)	1,534
Surface d'entrée (m ²)	1,460
Masse (kg)	17,5
Masse spécifique (kg/m ²)	11,3

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 photovoltaïques	
Largeur du champ (cm)	1030 x NbX
Longueur de champ dans le sens du rampant (cm)	1501 x NbY
Poids au m ² de l'installation (kg/m ²)	14,5

Avec :

NbX : le nombre de modules dans le sens horizontal du champ photovoltaïque,

NbY : le nombre de modules dans le sens vertical du champ photovoltaïque,

6. Caractéristiques électriques

6.1 Conformité à la norme NF EN 61215

Les modules cadrés "PE-05-xxx-V-yy" (avec "xxx" allant de 245 à 255 Wc par pas successifs de 5 Wc) ont été certifiés conformes à la norme NF EN 61215.

6.2 Sécurité électrique

Les modules cadrés "PE-05-xxx-V-yy" (avec "xxx" allant de 245 à 255 Wc par pas successifs de 5 Wc) sont certifiés d'une classe II de sécurité électrique, définie par la norme NF EN 61140, jusqu'à une tension maximum de 1000 V DC.

6.3 Performances électriques

Les performances électriques suivantes des modules ont été déterminées par flash test et ramenées ensuite aux conditions STC (Standard Test Conditions : éclairement de 1 000 W/m² et répartition spectrale solaire de référence selon la CEI 60904-3 avec une température de cellule de 25 °C).

Modules "PE-05-xxx-V-yy"			
P_{mpp} (W)	245	250	255
U_{oc} (V)	34,4	34,4	36,9
U_{mpp} (V)	28,84	29,1	30,6
I_{cc} (A)	8,81	9,0	8,74
I_{mpp} (A)	8,5	8,6	8,35
$\alpha T (P_{mpp})$ [%/K]	-0,41	-0,43	-0,47
$\alpha T (U_{oc})$ [%/K]	-0,34	-0,31	-0,36
$\alpha T (I_{cc})$ [%/K]	0,04	0,03	0,02
Courant inverse maximum (A)	15	15	17

Avec :

P_{mpp} : Puissance au point de Puissance Maximum.

U_{oc} : 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.

$\alpha T (P_{mpp})$: Coefficient de température pour la Puissance Maximum.

$\alpha T (U_{oc})$: Coefficient de température pour la tension en circuit ouvert.

$\alpha T (I_{cc})$: Coefficient de température pour l'intensité de court-circuit.

7. Fabrication et contrôles

7.1 Cadre des modules

Les cadres des modules photovoltaïques sont réalisés selon les plans de la société SYSTOVI 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.

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 SYSTOVI à Saint-Herblain (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 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.

7.3 Composants de la structure support

Les pièces de la structure support (*rails gouttière, brides de fixation, traverses*) sont réalisées selon les plans de la société SYSTOVI par deux entreprises dont les références ont été fournies au secrétariat de la Commission Chargée de formuler des Avis Techniques. A chaque production, la première barre et la dernière issue de la filière sont contrôlées sur toutes les côtes fonctionnelles.

7.4 Éléments de finition

Les abègements sont réalisés selon les plans de la société SYSTOVI par l'entreprise Bourgeois à Riaillé (44).

Chaque pièce d'abègement est contrôlée dimensionnellement par un gabarit et reçoit un numéro d'identification permettant de déterminer la date de fabrication ainsi que la bobine d'acier utilisée. L'adhésion de la laque sur les tôles est également testée.

8. Mise en œuvre

8.1 Généralités

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

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

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

Elle doit impérativement être réalisée au-dessus d'un écran de sous-toiture (cf. §8.52).

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

L'installation doit être réalisée par température extérieure positive.

8.2 Compétences des installateurs

La mise en œuvre du procédé doit être assurée par des installateurs ayant été formés par la société SYSTOVI (cf. § 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 (voir également § : habilitation "B1T" pour le raccordement des modules, habilitation "B2T" pour le branchement aux onduleurs...

8.3 Sécurité des intervenants

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

Ces dispositifs de sécurité ne sont pas inclus dans la livraison. Ils peuvent être identifiés dans le guide « Installations solaires photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution et inférieures ou égales à 250kVA » édité dans les cahiers pratiques de l'association Promotelec (*dénommé dans la suite du texte "guide Promotelec"*).

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.

8.4 Spécifications électriques

8.41 Généralités

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

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

8.42 Connexion des câbles électriques

Le schéma de principe du câblage est décrit en figure 25.

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.

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 se fera 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 reliant au câble principal, au fur et à mesure de la pose des composants :

- les masses métalliques des cadres des modules photovoltaïques, par l'intermédiaire d'un câbles 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 26).
- les masses métalliques de chaque rail par l'intermédiaire de câbles de mise à la terre identique à celui équipant les panneaux 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 27).

- 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 et « guide Promotelec » (*limitation des boucles induites, cheminements spécifiques et distinct...*).

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

8.5 Mise en œuvre en toiture

8.51 Conditions préalables à la pose

- Avant toute implantation, il est nécessaire de vérifier que :
 - l'entraxe entre chevrons est au maximum de 500 mm.
 - l'entraxe entre liteaux ne dépasse pas 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.

8.52 Préparation de la toiture

Il convient en premier lieu de vérifier la répartition et le calepinage des panneaux 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 pourra se faire aider par le logiciel SYSTOTOIT disponible sur le site "www.systovi.com" et pour les cas compliqués par le bureau d'étude de SYSTOVI. La surface à aménager pour l'implantation des panneaux photovoltaïques devra posséder les dimensions indiquées au §5 en y rajoutant un rang d'éléments de couverture au minimum.

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

Avant de poser le système SYSTOétanche 2, 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.

8.53 Pose en partie courante de toiture

8.531 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 §3.1), 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 §3.6), 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 (voir figure 28) :

Dans le cas de la tuile, la 1^{ère} 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 (voir §3.2), 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^{ère} planche, avec une tolérance de ± 5 mm :

- Pour 1 ligne de modules : 835 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 835 mm; 1560 mm; 2220 mm.
- Pour 3 lignes de modules : 835 mm; 1560 mm; 2310 mm; 3060 mm; 3720 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 835 mm; 1560 mm; 2310 mm; 3060 mm; 3810 mm; 4560 mm; 5220 mm.

Enfin, en partie supérieure de l'installation, deux planches horizontales de section 25 x 200 mm doivent être installées consécutivement à 730 mm (± 5 mm) de la dernière planche intermédiaire.

Pour les couvertures en ardoises (voir figure 29) :

Dans le cas de l'ardoise, la 1^{ère} 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^{ère} planche, avec une tolérance de ± 5 mm :

- Pour 1 ligne de modules : 665 mm.
- Pour 2 lignes de modules : 665 mm; 1390 mm; 2050 mm.

- Pour 3 lignes de modules : 665 mm; 1390 mm; 2140 mm; 2890 mm; 3550 mm.
- Pour 4 lignes de modules : 665 mm; 1390 mm; 2140 mm; 2890 mm; 3640 mm; 4390 mm; 5050 mm.

Enfin, en partie supérieure de l'installation, une planche horizontale de section 25 x 200 mm doit être installée à 730 mm (± 5 mm) de la dernière planche intermédiaire puis une dernière planche, de section 15 x 150 mm, doit être décalée de 50 mm de la planche de section 25 x 200. Elles permettent l'assise des fixations et des abergements hauts

8.532 Mise en place de l'étanchéité basse

Pour les couvertures en tuiles (voir figure 30) :

- Une bande d'étanchéité basse, non fournie (voir §3.4), 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 (voir figure 30).
- Pour les couvertures en ardoises (voir figure 31) :
 - 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.

8.533 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 (voir figure 30), et il est positionné au bord des planches pour l'ardoise (voir figure 31). 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.

8.534 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 auto-perceuse 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 (voir figure 32 et figure 33).

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 (voir §3.6).

La longueur du champ photovoltaïque suivant le rampant est limitée à 6,15 mètres, correspondant à la longueur maximum d'un rail gouttière.

Les autres rails gouttière sont positionnés parallèlement au premier, espacés de 955 mm à l'aide d'un gabarit de montage (2 barres de longueur 955 mm pour assurer le parallélisme).

8.535 Mise en place des modules

Le montage des modules se fait par colonne du bas vers le haut (voir figure 34 et figure 35). Ils sont reliés à l'aide du connecteur de dérivation auto-dénudant au câble de terre principal (voir §2.165).

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, pré-monté en usine (voir figure 34 et figure 35).

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.

8.536 Mise en place de la fixation haute et des bouchons des rails gouttière

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 (voir figure 36 et figure 37). Ce profilé aluminium est fixé sur la planche supérieure par trois vis auto-perceuse, de diamètre 6 mm et longueur 38 mm, munie d'une rondelle élastique de diamètre 16 mm (voir §2.23).

Les bouchons hauts sont montés aux extrémités des rails gouttière en partie haute du champ photovoltaïque. Leur maintien en phase définitive sera assuré par les brides de fixation.

8.537 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 (voir figure 38).

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

8.538 Pose des noquets et couvre-noquets pour les couvertures en ardoises

Des noquets conformes à la norme NF DTU 40.11 sont relevés jusqu'au bord supérieur du rail sur toute la longueur (voir figure 39).

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 (voir figure 49).

8.539 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 (voir figure 40 et figure 41).

Chaque abergement supérieur intermédiaire vient recouvrir le précédent de 37 mm avec un jeu de 16 mm au niveau des coulisseaux (voir figure 42 et figure 43).

Enfin l'abergement supérieur d'angle droit est posé avec un recouvrement de 170 mm sur le couloir latéral supérieur droit (voir figure 44 et figure 45).

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 (voir figure 46 et figure 47). 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.

8.5310 Mise en place des brides

Ces brides sont fixées dans les rails gouttière au demi pas des panneaux (750 mm), avec des vis auto-perceuse (voir §2.23) avec rondelle Inox/EPDM de diamètre 16 mm. Elles maintiennent ainsi les abergements latéraux et les panneaux photovoltaïques sur les rails gouttières (voir figure 48 et figure 49).

8.5311 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 (voir figure 50). 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 (voir figure 51). Elles sont collées sur les couloirs (colle PU type Sikaflex non fournie).

8.5312 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 (voir figure 50) et les ardoises minimum 110 mm (voir figure 52). 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 châtiers éventuellement présentes avant la mise en place de l'installation devront être repositionnées sur le pourtour du champ photovoltaïque.

8.54 Pose aux abords des extrémités de toiture

8.541 A 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 (voir figure 53).

8.542 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 (voir figure 23).

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 SYSTOVI réalise sur mesure les abergements spécifiques de rives en fonction de la position du champ photovoltaïque sur la toiture.

8.543 Au faîtage

Lorsque le champ photovoltaïque est posé jusqu'au faîtage, les abergements supérieurs sont remplacés par des abergements de faîtage spécifiques au chantier (voir figure 24).

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

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

9. Formation

La société SYSTOVI organise une formation obligatoire "installateur" dispensée dans ses locaux à Saint-Herblain. Cette formation permet d'aborder les spécificités du procédé SYSTOétanche 2, 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 SYSTOVI, visite de l'usine de production des panneaux photovoltaïques, sécurité des intervenants, exigences de qualité, description du procédé,...
- l'autre pratique : démonstration concrète d'une installation avec le montage du procédé SYSTOétanche 2 sur une maquette de toit (tuiles et ardoises).

À l'issue de cette formation, une attestation nominative est délivrée aux participants par la société SYSTOVI.

Le procédé SYSTOétanche 2 est commercialisé exclusivement par les installateurs et distributeurs partenaires.

Pour devenir installateur du procédé SYSTOétanche 2, 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 complétée par une qualification et/ou une certification pour la pose de procédés photovoltaïques,
- qu'il ait suivi la formation de SYSTOVI portant sur les spécificités du procédé SYSTOétanche 2,
- qu'il s'engage à faire auditer ses installations par le service technique de SYSTOVI.

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

Une assistance technique sur chantier est proposée à l'installateur pour la pose du premier kit SYSTOétanche 2.

10. Assistance technique

La société SYSTOVI 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.

11. Utilisation, entretien et réparation

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

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. §11.3).

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

L'intervenant devra également prendre connaissance des consignes de sécurité indiquées dans la "Procédure d'intervention sur une installation photovoltaïque" (document fourni avec la notice de câblage électrique).

11.1 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.

11.2 Maintenance électrique

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

11.3 Remplacement d'un module

- En cas de bris de glace d'un module ou d'endommagement d'un module photovoltaïque, il convient de le faire remplacer en respectant la procédure suivante :
- Avant d'intervenir sur le champ photovoltaïque concerné par le défaut, il est impératif de procéder à la déconnexion de l'onduleur du réseau en ouvrant le disjoncteur AC placé entre l'onduleur et le compteur de production et de procéder à la déconnexion du champ photovoltaïque en déconnectant 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 procédera à la reconnexion du champ photovoltaïque en enclenchant l'intersectionneur DC et en reconnectant l'onduleur au réseau en fermant le disjoncteur AC.

B. Résultats expérimentaux

- Les modules photovoltaïques cadrés ont été testés selon la norme NF EN 61215 : Qualification de la conception et homologation des modules photovoltaïques, par le laboratoire CENER.
- Les modules photovoltaïques cadrés ont été testés selon la norme NF EN 61730 et certifiés d'une classe II de sécurité électrique jusqu'à une tension maximum de 1000 V DC par le laboratoire CENER.
- Le procédé photovoltaïque a été testé par le CSTB (*rapport CLC15-26057383*) lors d'un essai de résistance à la pression du vent selon la norme NF EN 12179.

C. Références

C1. Données environnementales¹

Le produit SYSTOétanche 2 ne fait pas l'objet d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

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

C2. Autres références

Le procédé photovoltaïque SYSTOétanche 2 est fabriqué depuis Mars 2013. Environ 119000 m² ont été commercialisés en France à ce jour, soit environ 19,9 MW.

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

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

Matériau	Revêtement de finition sur la face exposée	Éléments du procédé concernés	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	
Aluminium	Anodisation 15 µm	Cadre modules, bride	•	•		•	•		•	
Aluminium	Brut	Fixation haute, rail	•	•		•	•		-	
Aluminium	Polyester 37 µm	Abergement	•	•		•	•			
Acier inoxydable A2		Crochet de fixation des rails	•	•		•	•			

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

• : Matériau adapté à l'exposition

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

* : à l'exception du front de mer

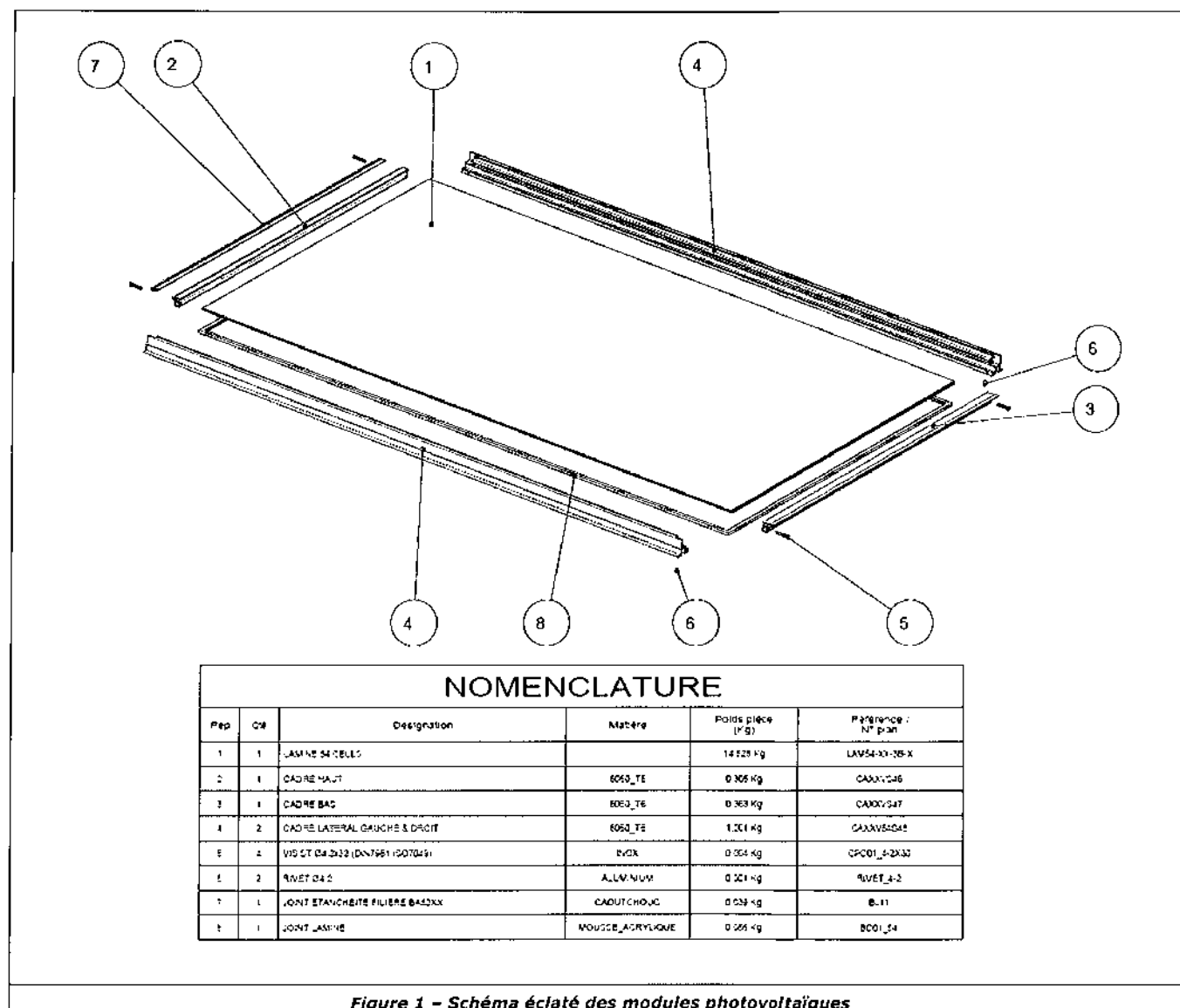


Figure 1 - Schéma éclaté des modules photovoltaïques

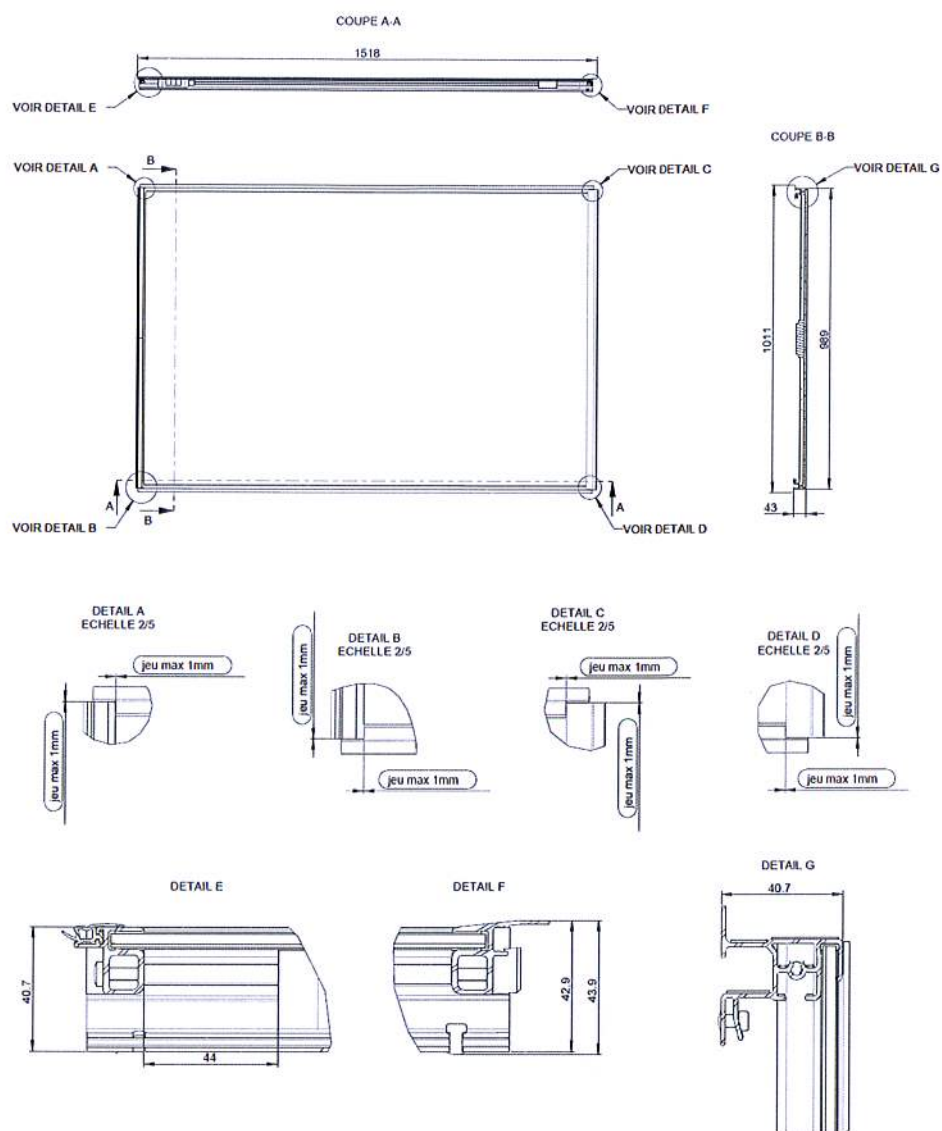


Figure 2 - Caractéristiques dimensionnelles des modules photovoltaïques V-SYS (PE-05-xxx-V-yy)

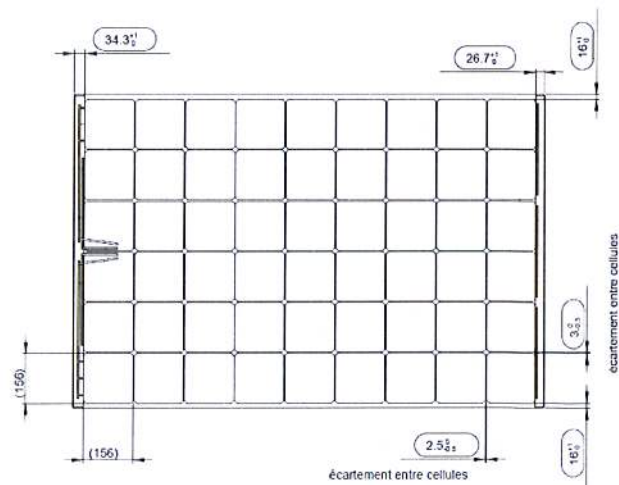
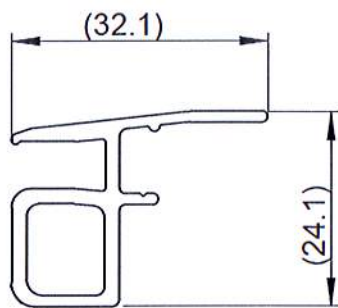
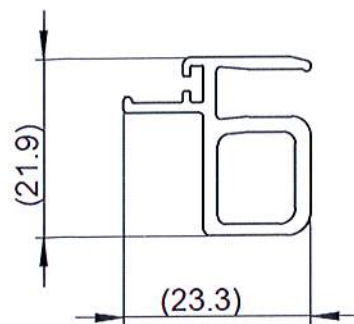


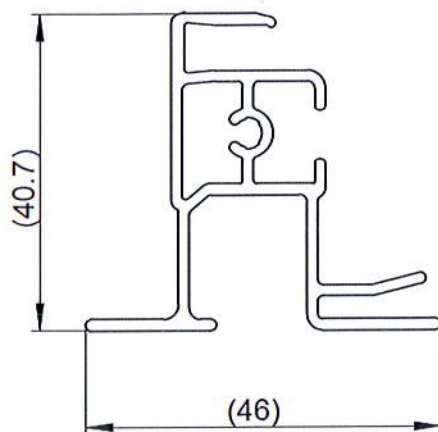
Figure 3 - Position des cellules photovoltaïques



Cadre inférieur



Cadre supérieur



Cadre latéral

Figure 4 – Cadre des modules photovoltaïques

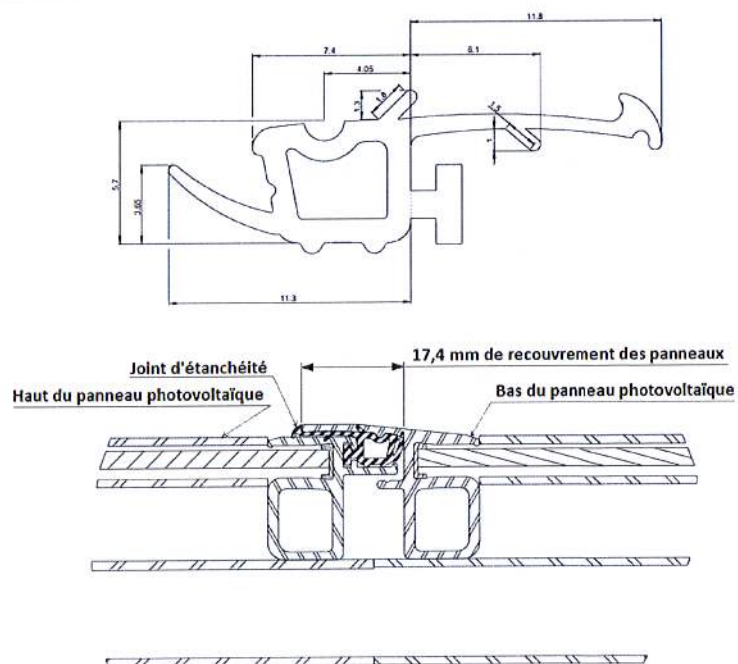
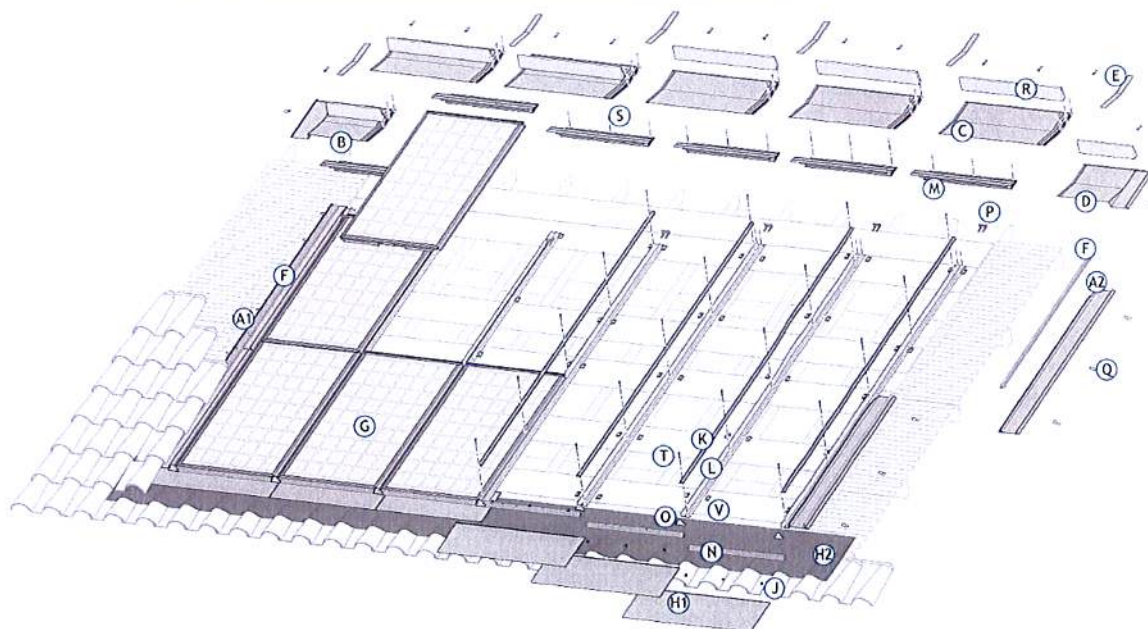
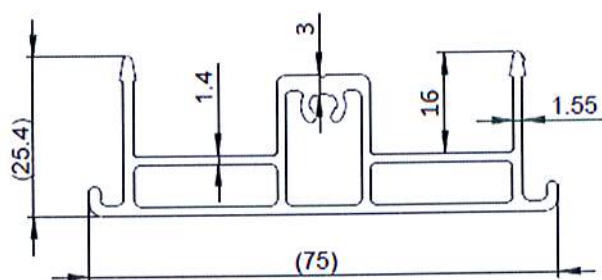


Figure 5 – Jonction entre modules

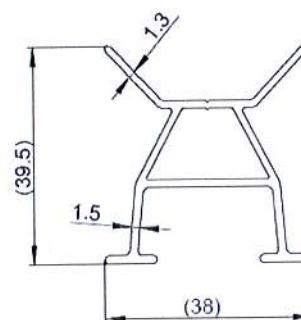


Repère	Désignation
A1	Couloir d'abergement LATERAL tuile Gauche
A2	Couloir d'abergement LATERAL tuile Droit
B	Abergement d'angle GAUCHE tuile
C	Abergement INTERMEDIAIRE tuile
D	Abergement d'angle DROIT tuile
E	Coulisseau d'étanchéité SUPERIEUR tuile
F	Barrière T d'étanchéité LATERALE tuile
G	Panneau 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	Bouchon haut aéré du rail gouttière
Q	Patte de fixation des abergements
R	Mousse d'étanchéité abergement supérieur
T	vis auto foreuse noire H8 ø6 mm x 30 mm
V	Patte de fixation rail

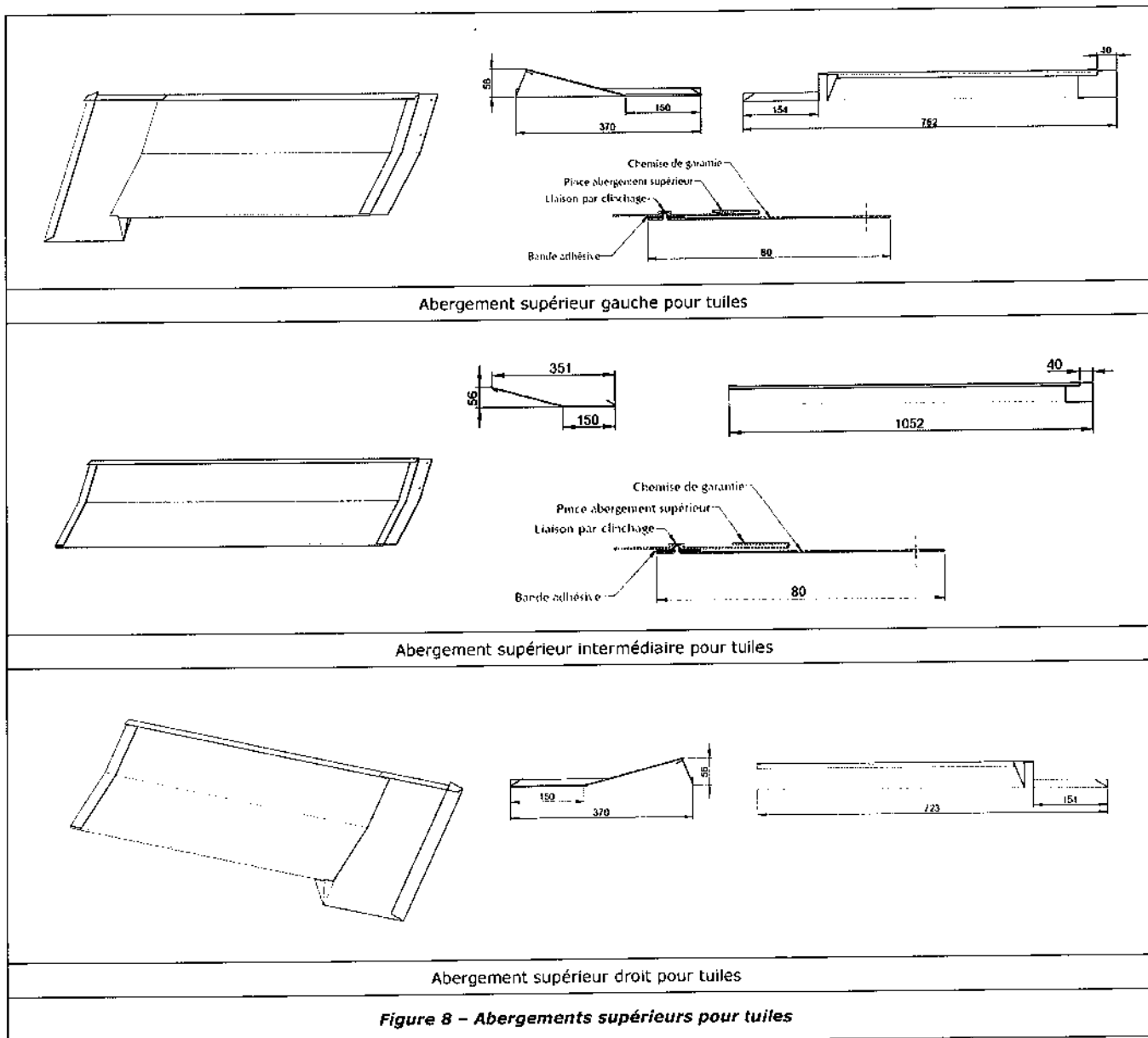
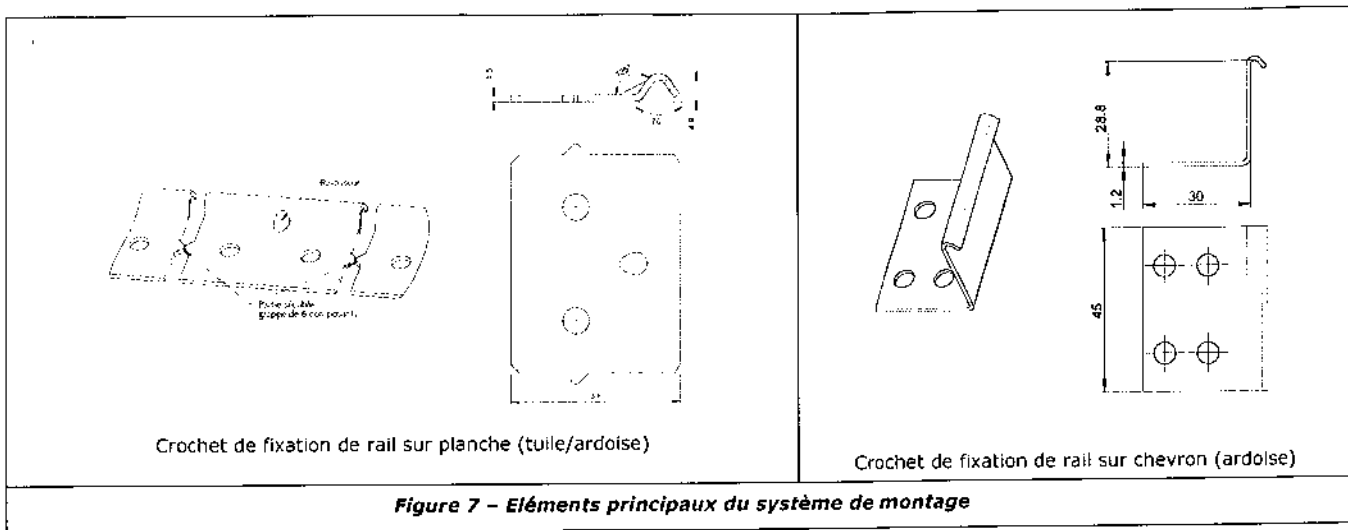
Figure 6 – Schéma éclaté du procédé et composition des kits pour montage

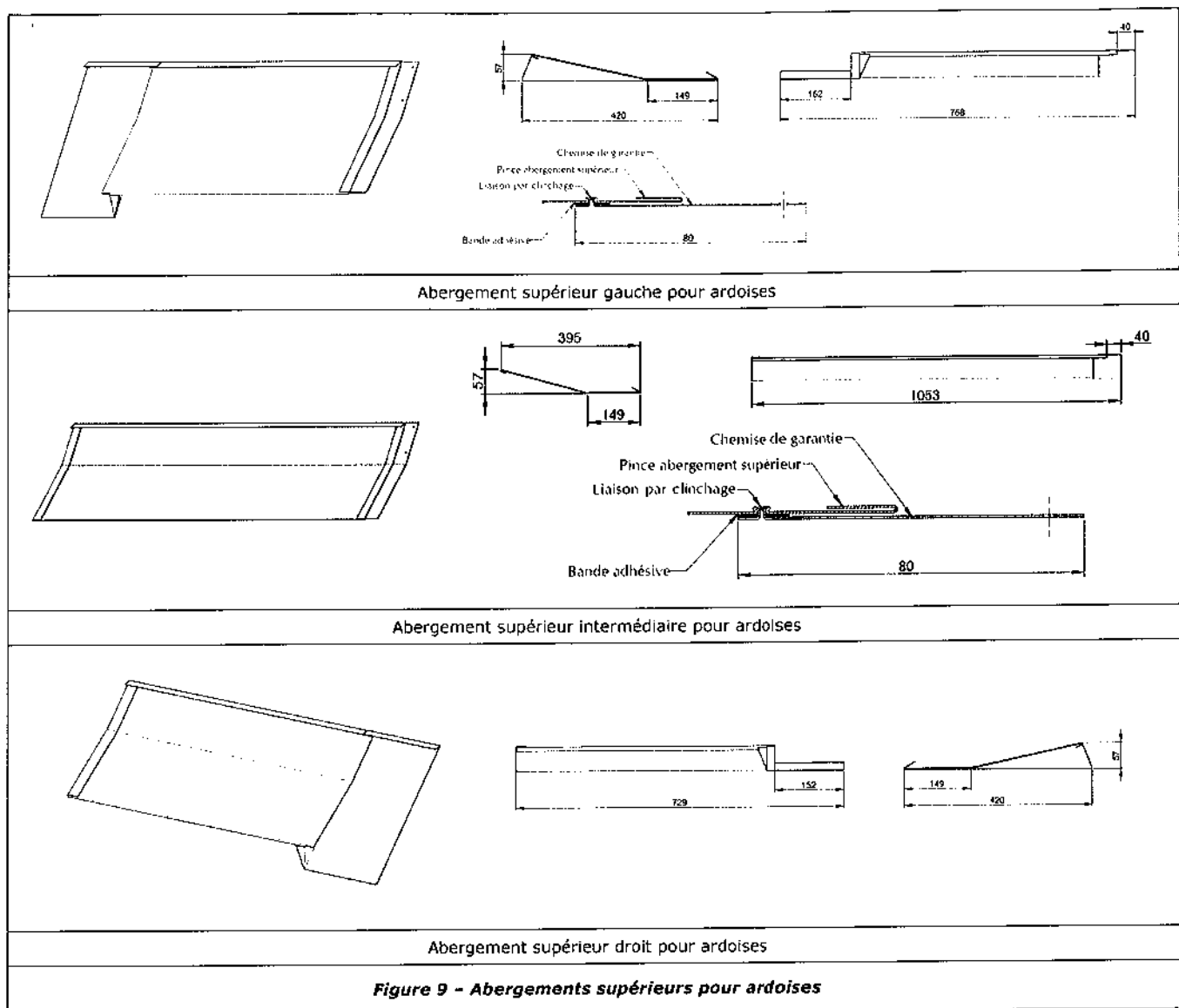


Rail gouttière



Bride de fixation





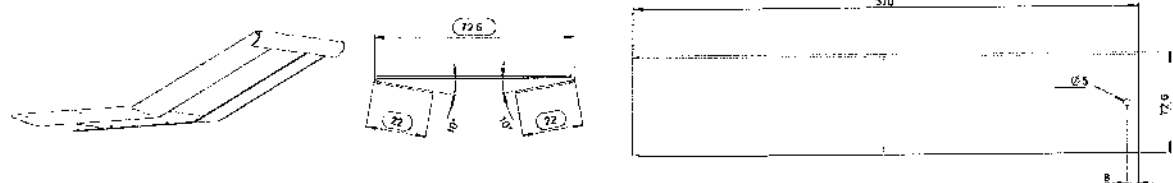


Figure 10 – Coulisseau d'étanchéité supérieur pour tuiles

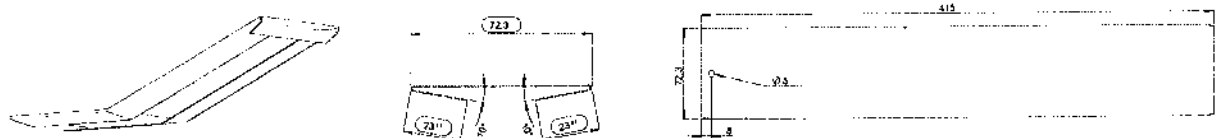


Figure 11 – Coulisseau d'étanchéité supérieur pour ardoises

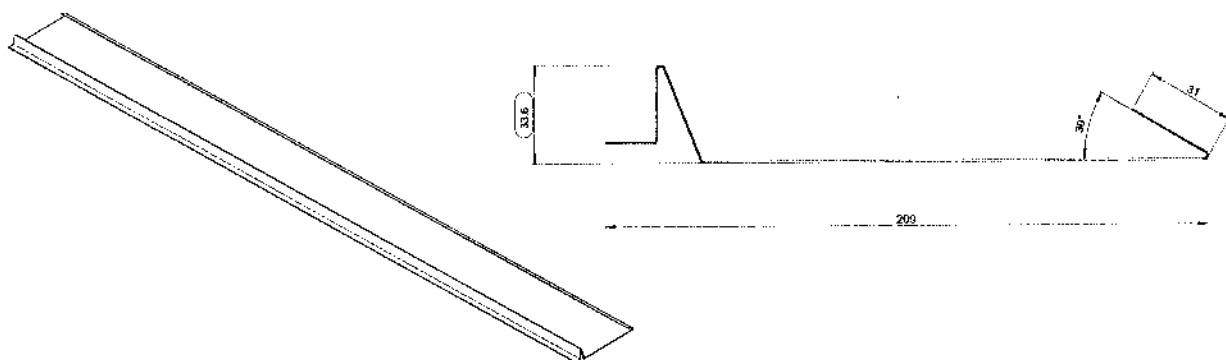


Figure 12 – Abergement latéral pour tuiles

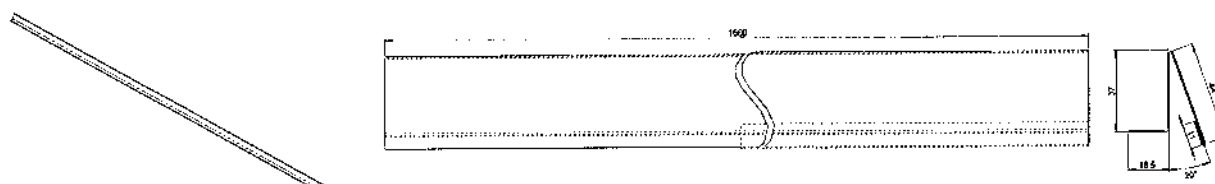


Figure 13 – Couvre-noquets pour ardoises

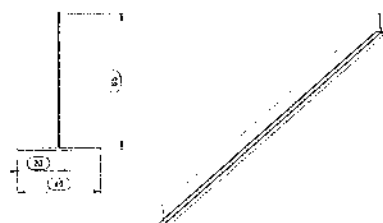


Figure 14 – Barrière « T » d'étanchéité latérale pour tuiles

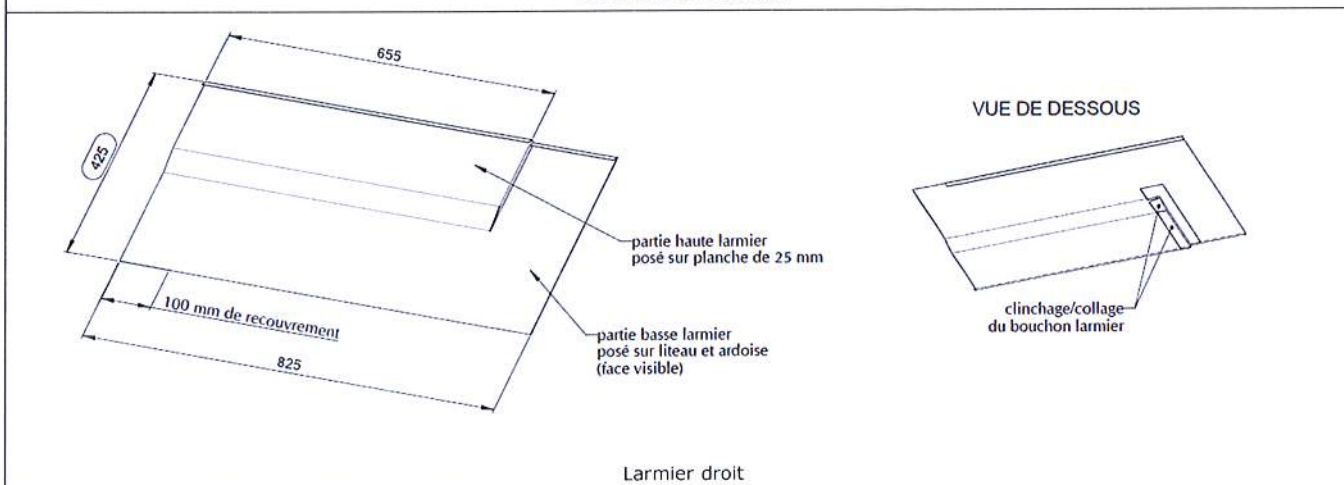
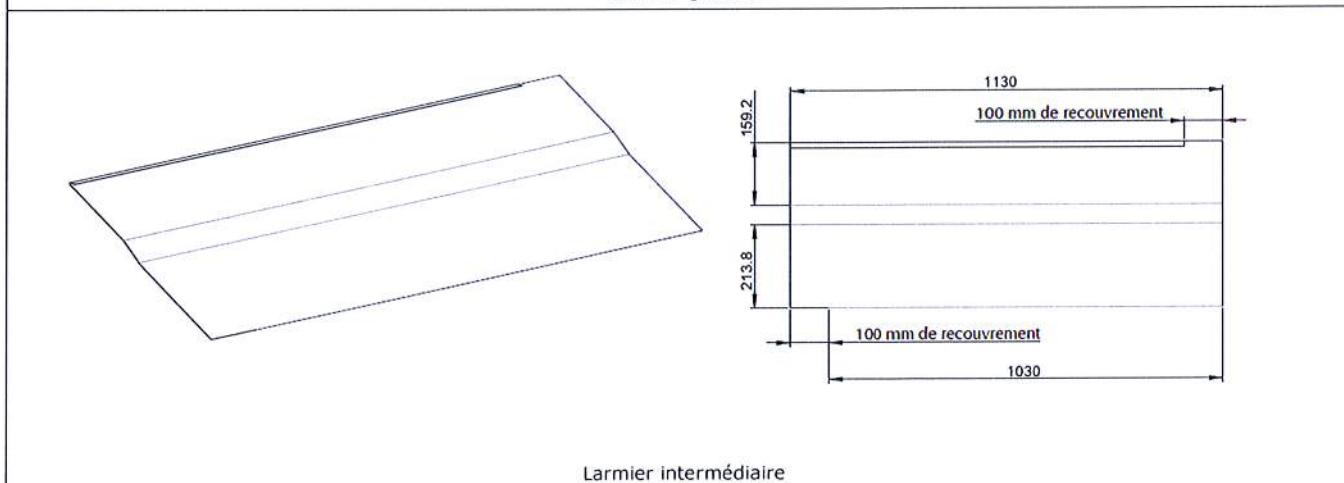
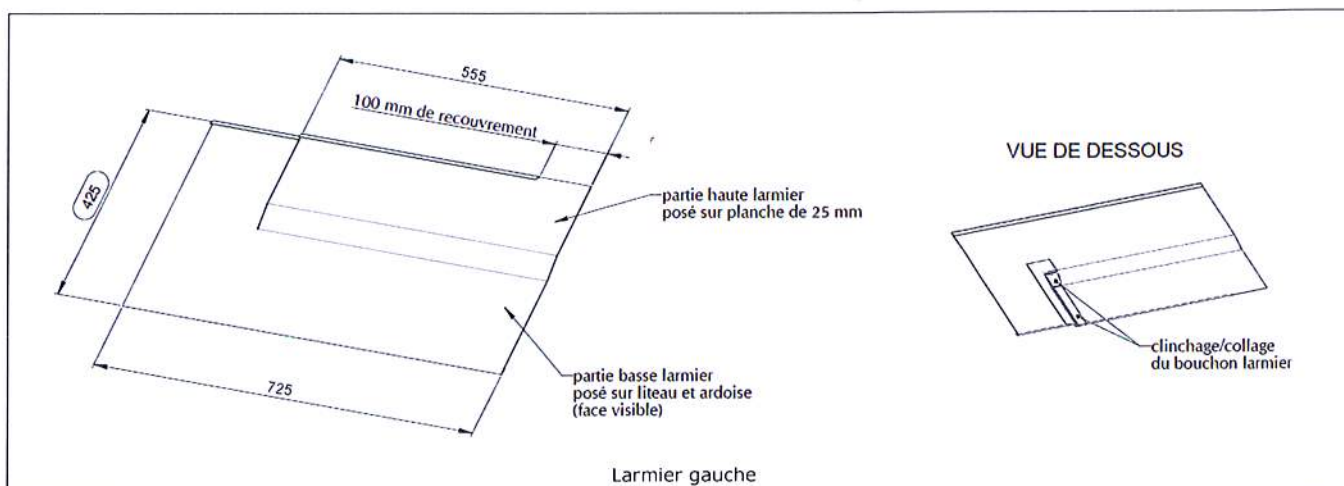
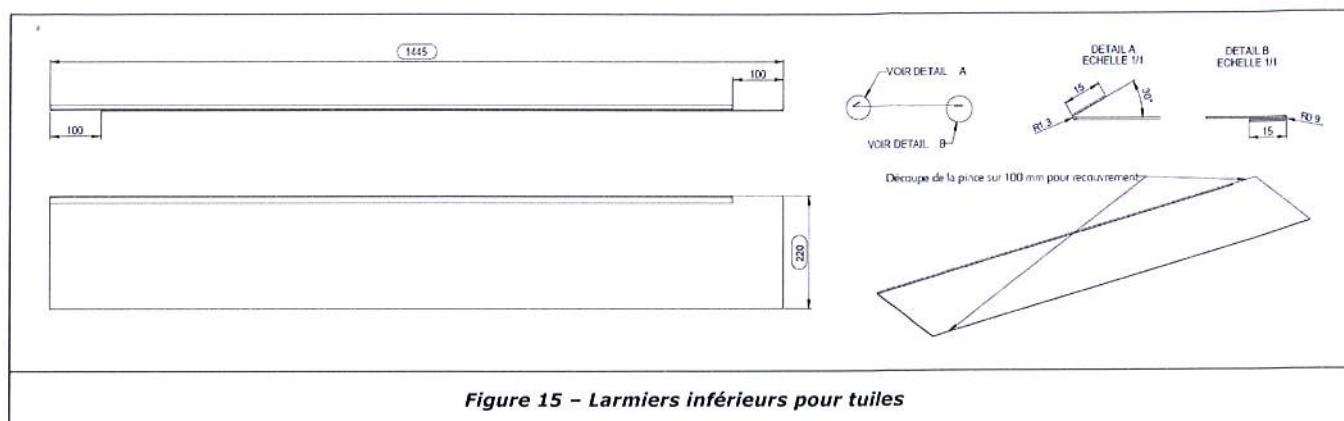


Figure 16 – Larmiers inférieurs pour ardoises

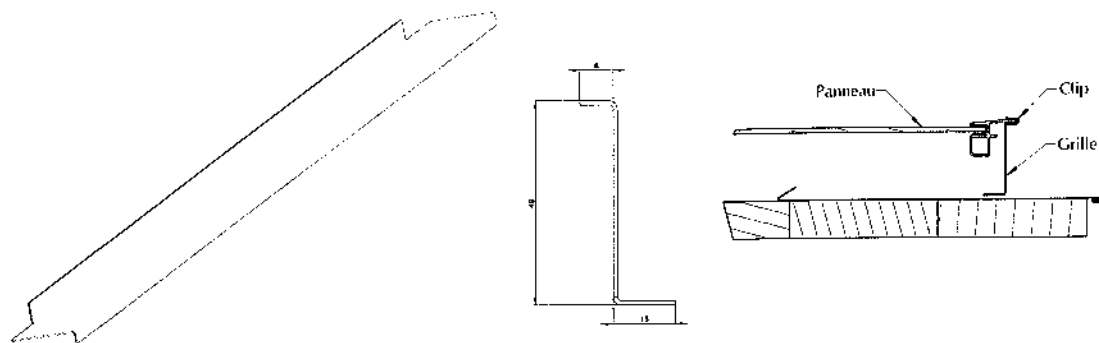


Figure 17 - Grille d'aération basse

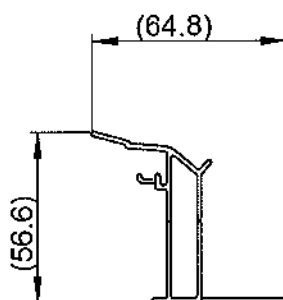


Figure 18 - Fixation haute

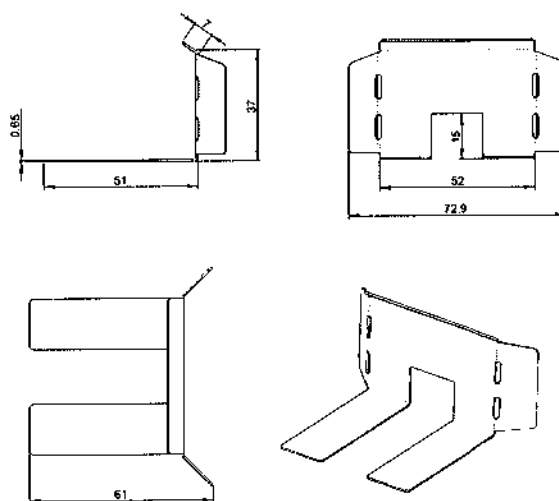


Figure 19 - Bouchon haut du rail gouttière

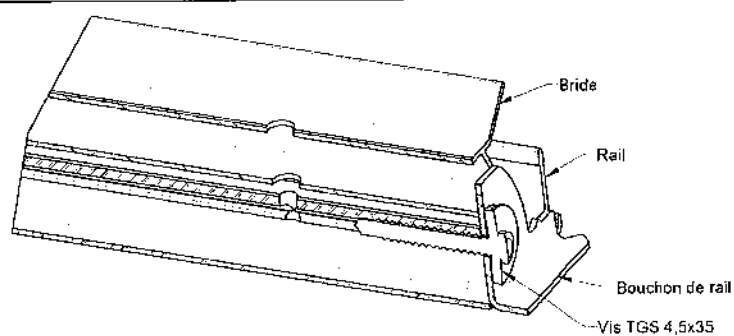


Figure 20 - Bouchon bas du rail gouttière

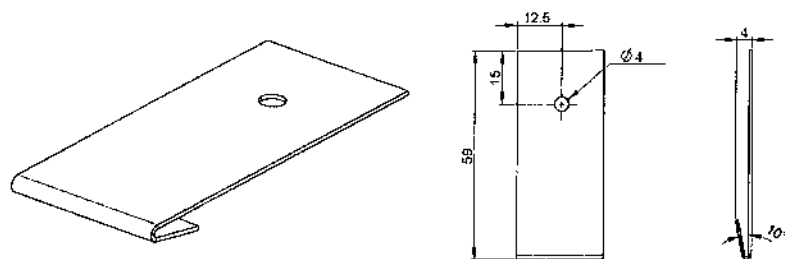


Figure 21 – Patte de fixation abergement

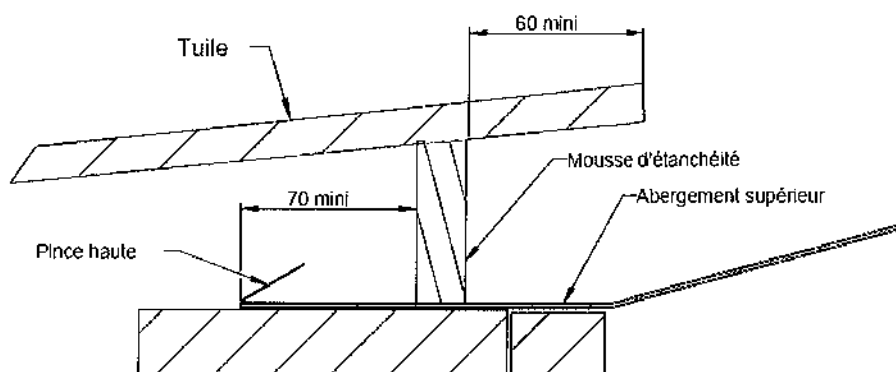


Figure 22 – Mousse d'étanchéité abergement supérieur pour tuiles

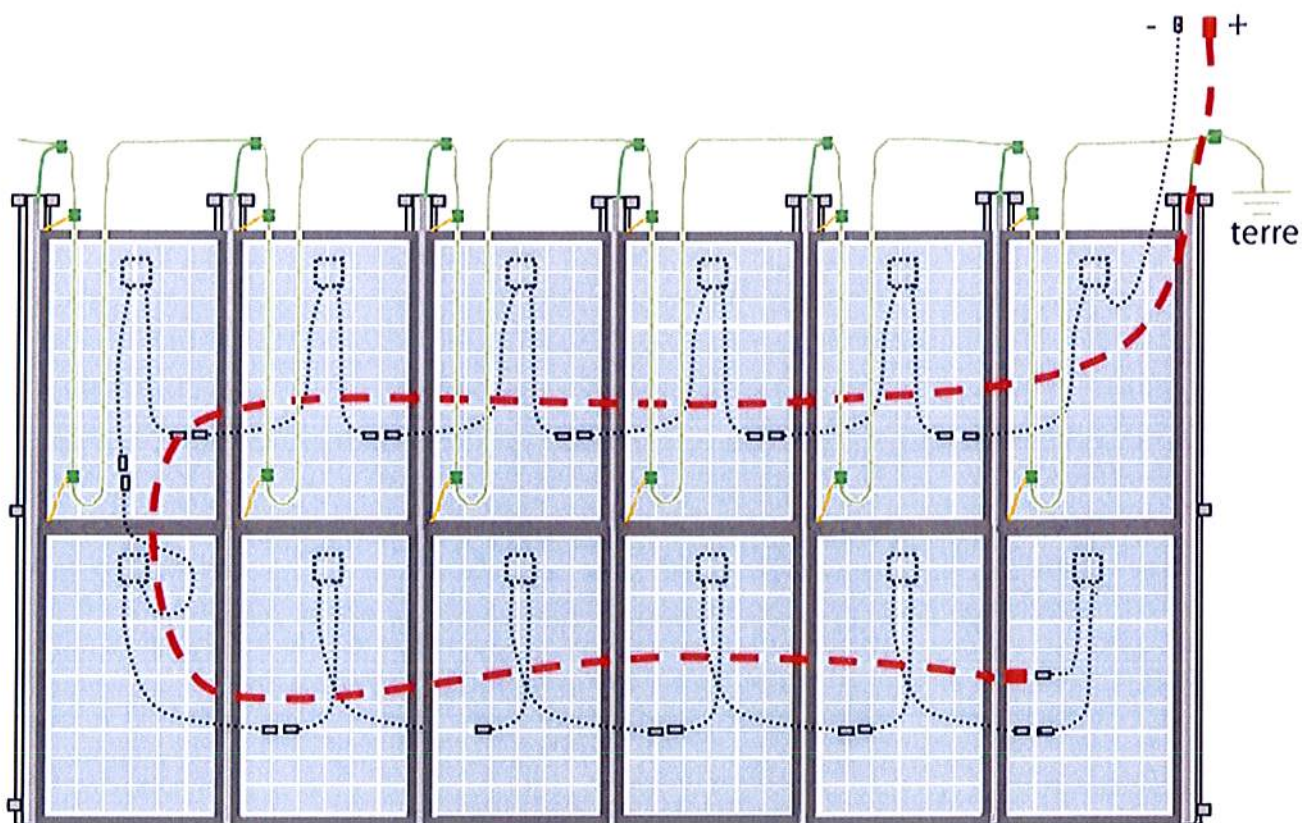


Figure 25 – Schéma de principe de câblage du procédé

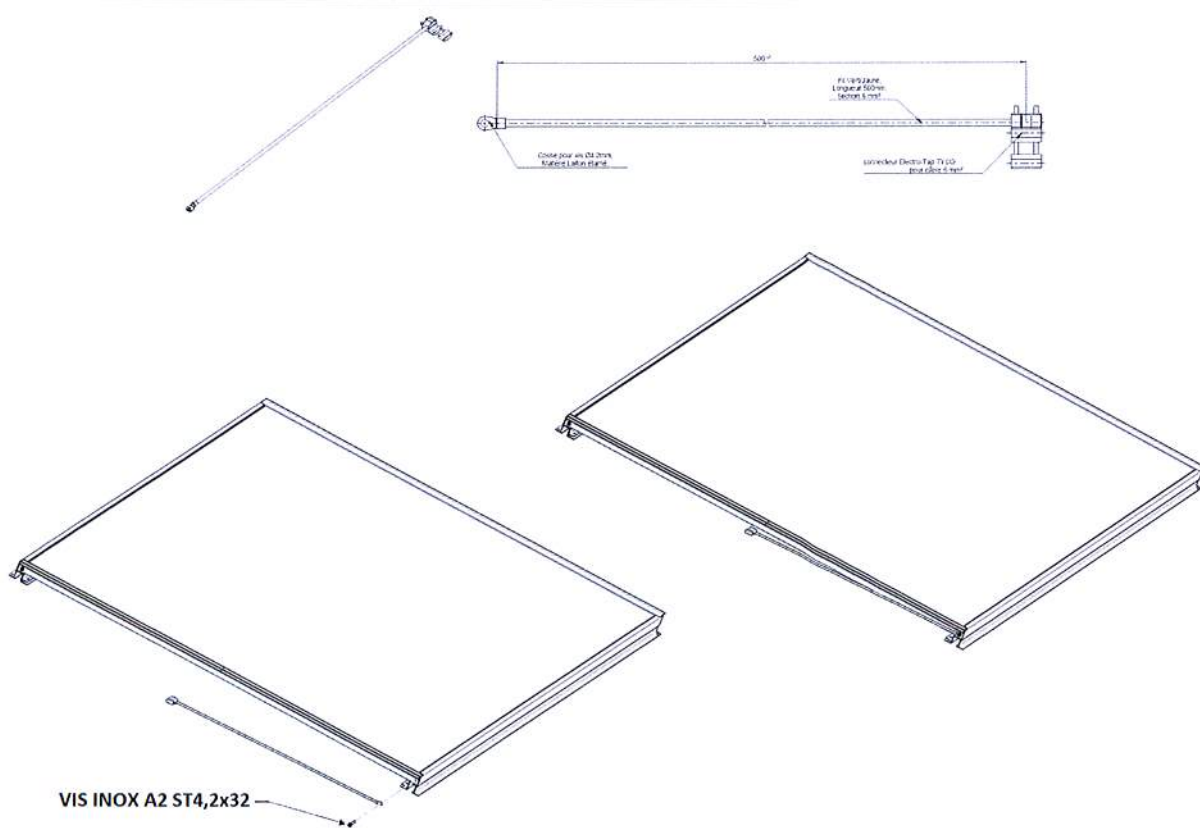


Figure 26 – Câble de liaison équipotentielle des panneaux

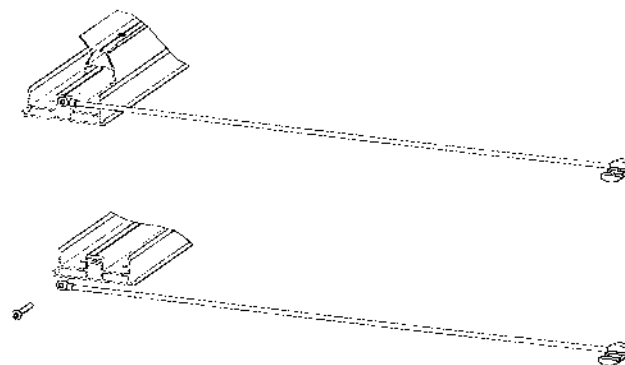


Figure 27 – Câble de liaison équipotentielle des rails

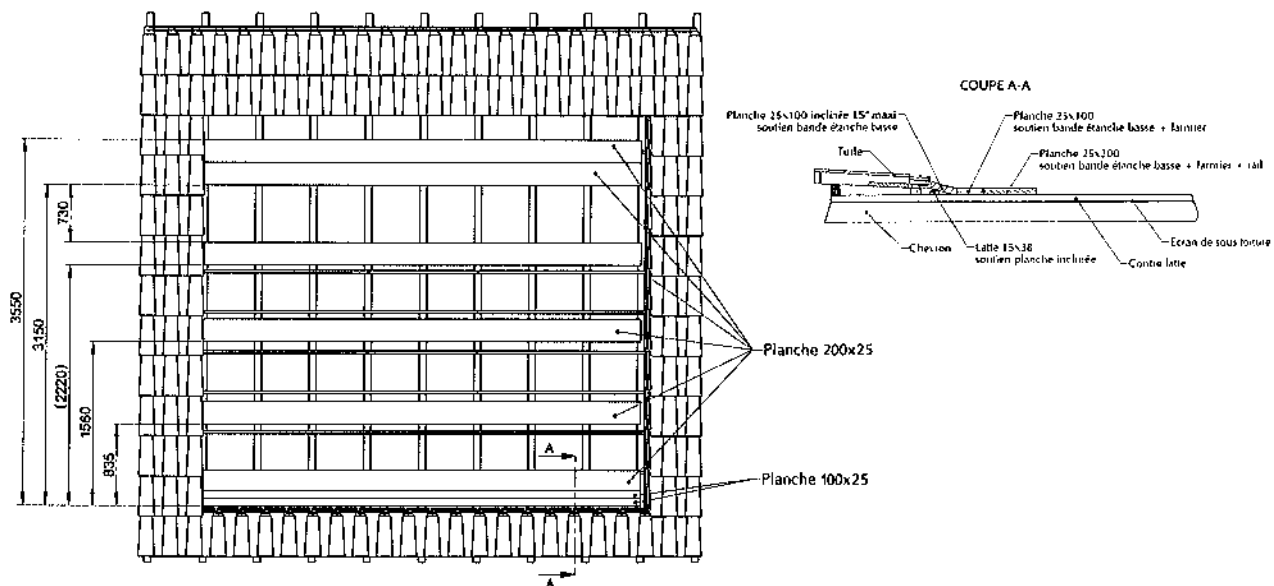
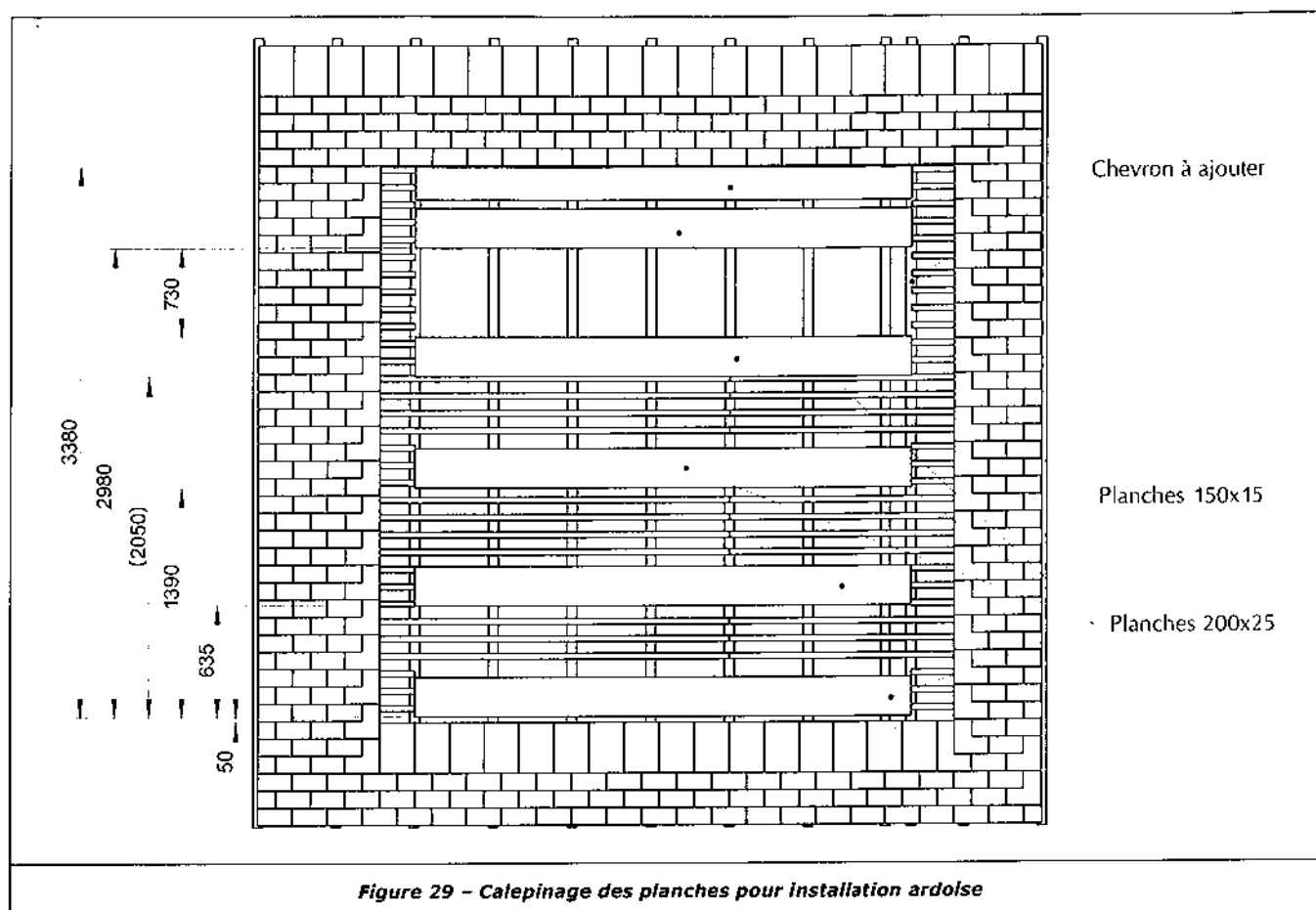


Figure 28 – Calepinage des planches pour installation tuile



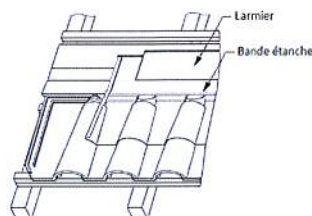
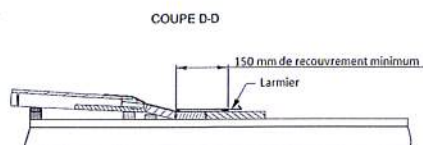
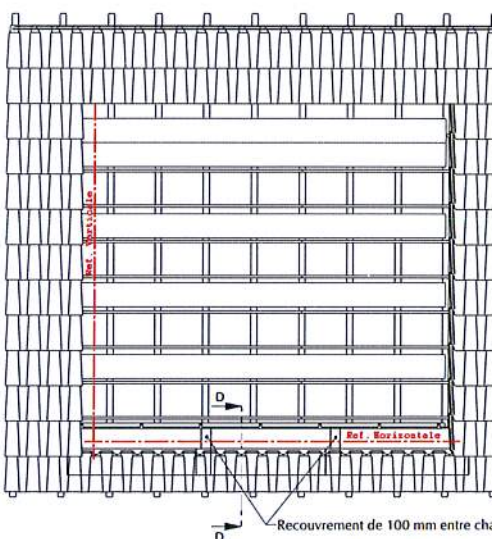
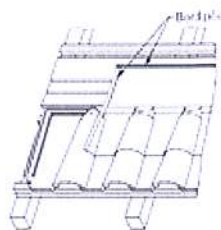
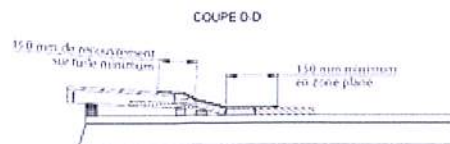
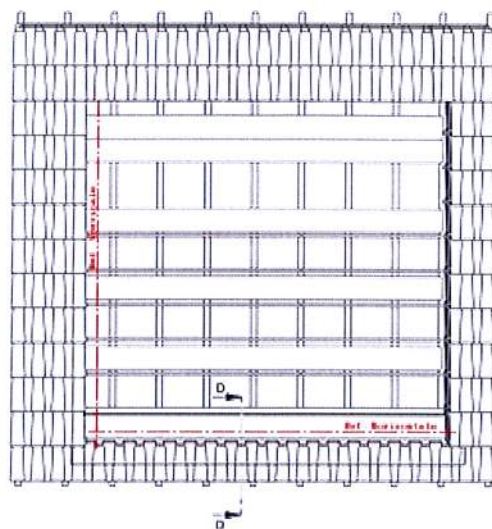


Figure 30 – Pose de la bande d'étanchéité basse et des larmiers inférieurs

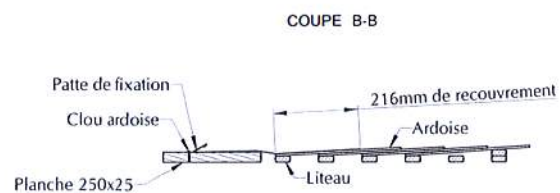
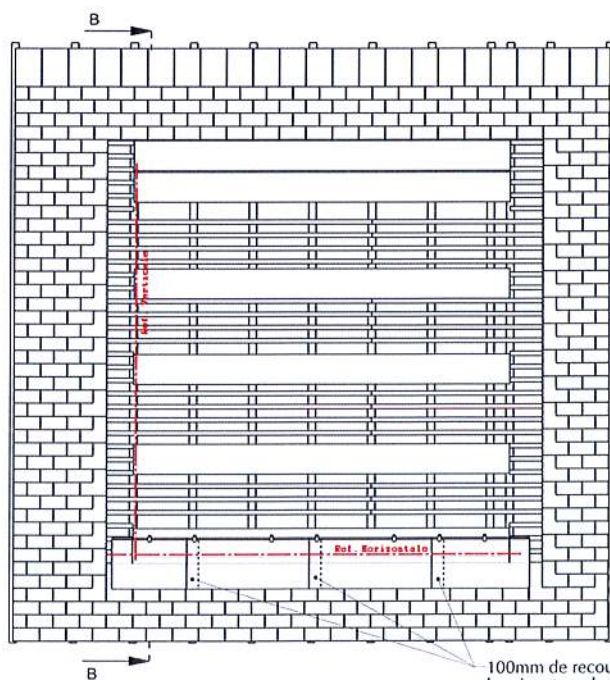


Figure 31 – Pose des larmiers inférieurs pour installation ardoise

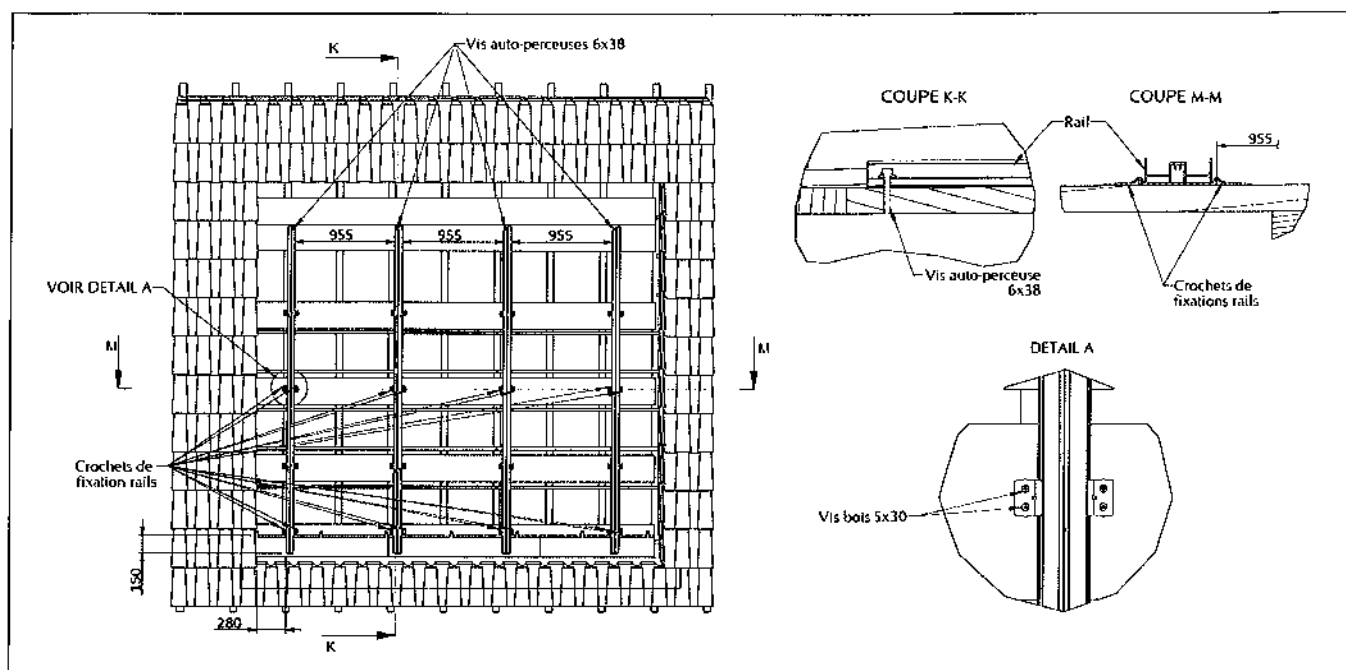


Figure 32 – Pose des rails gouttière pour installation sur toiture tuile

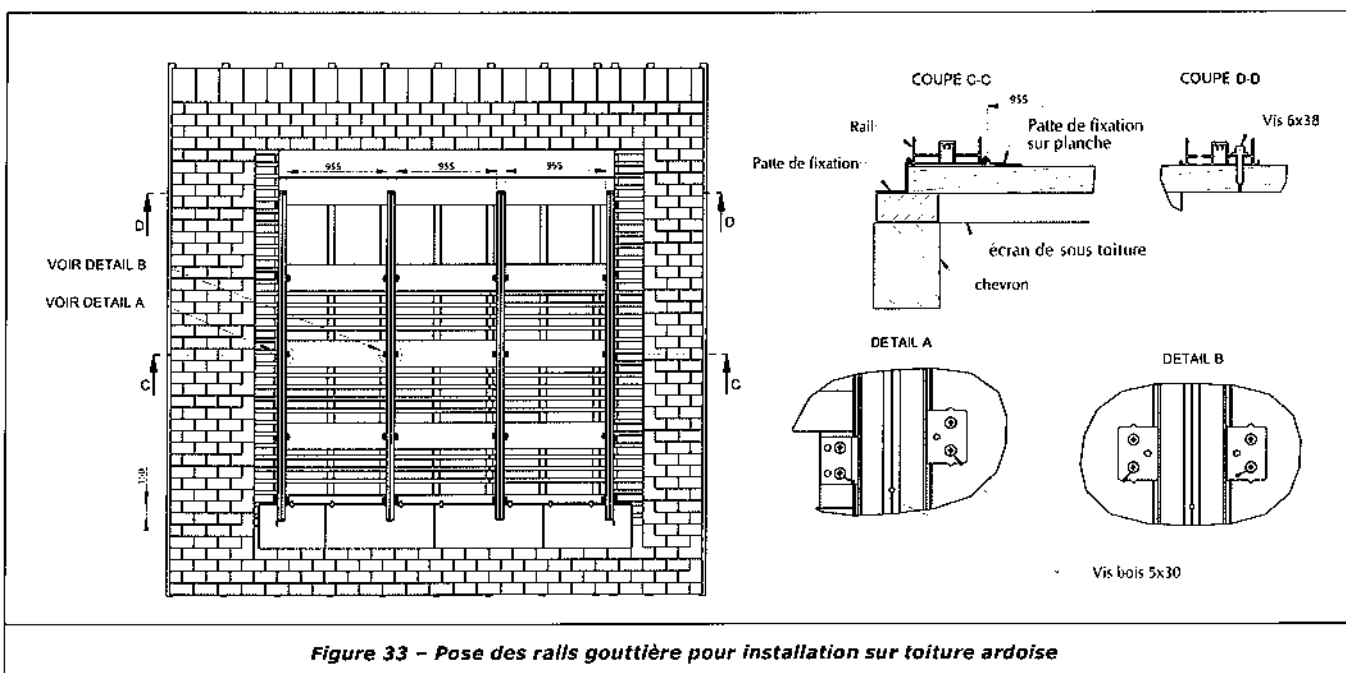


Figure 33 – Pose des rails gouttière pour installation sur toiture ardoise

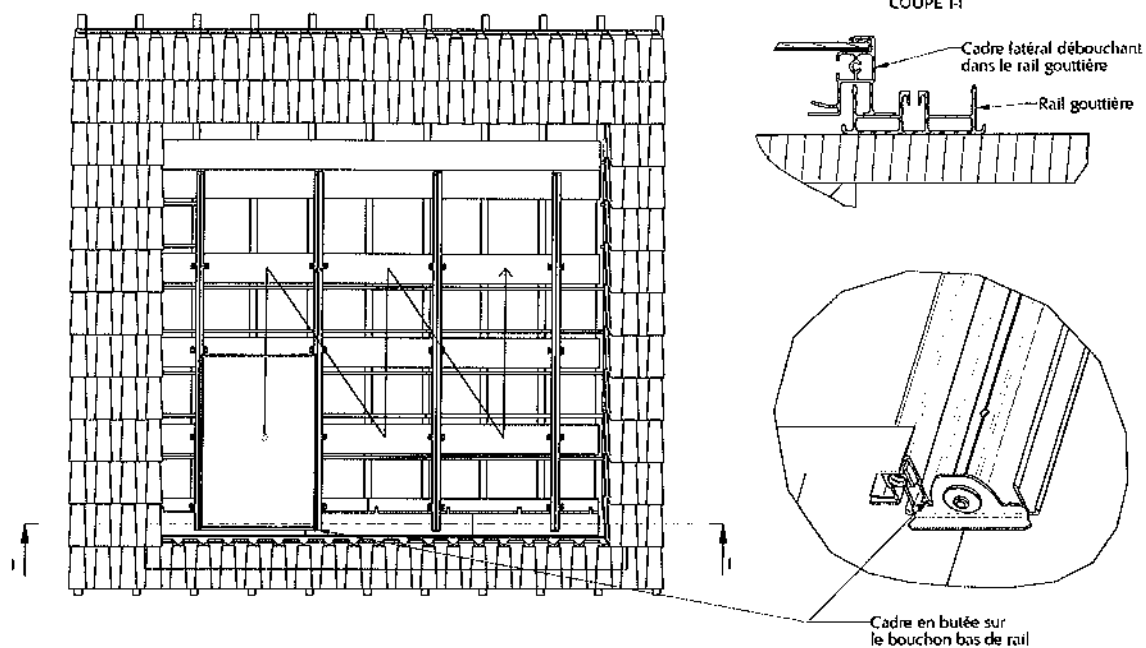


Figure 34 – Pose des modules pour installation sur toiture tuile

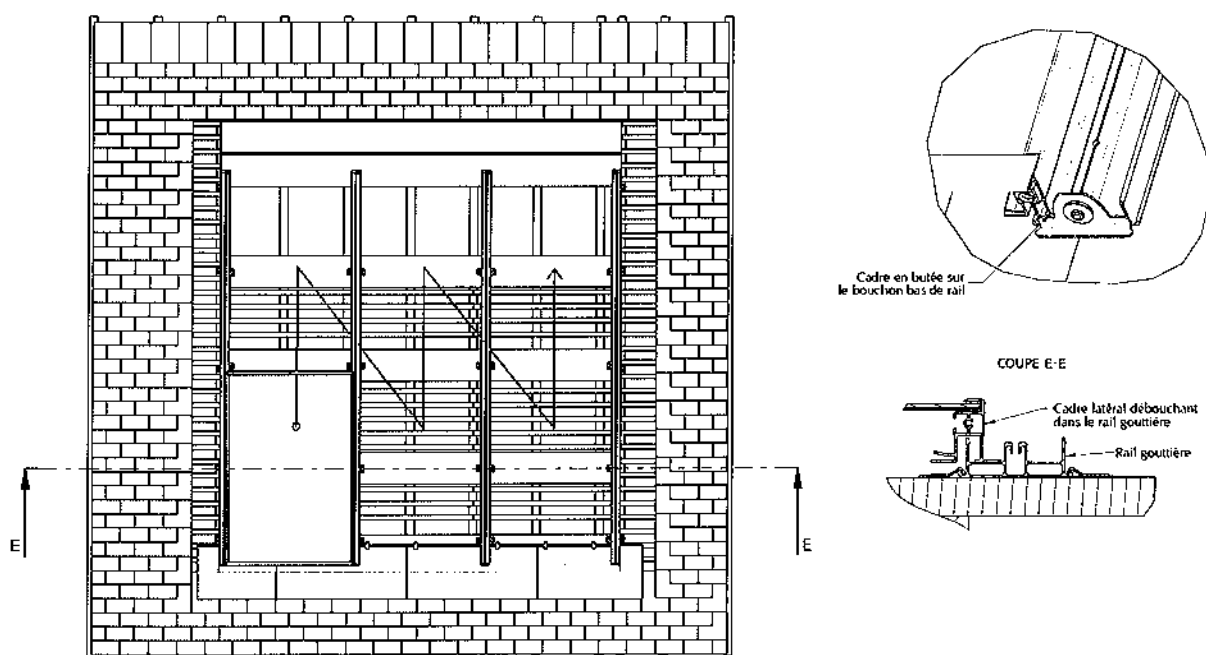


Figure 35 – Pose des modules pour installation sur toiture ardoise

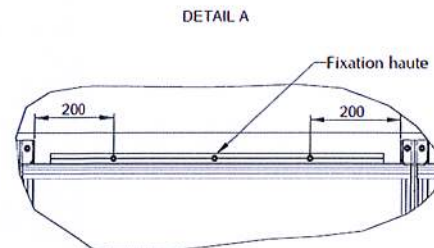
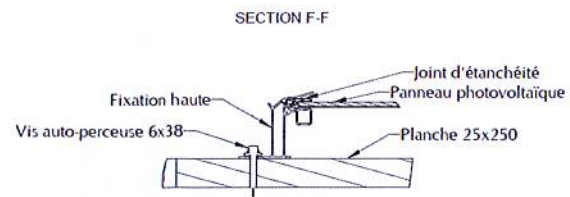
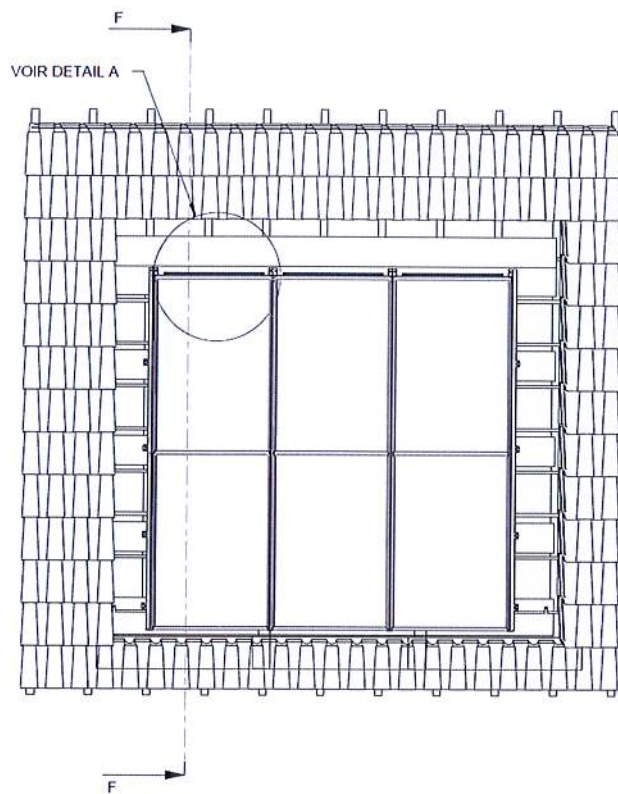


Figure 36 – Pose de la fixation haute

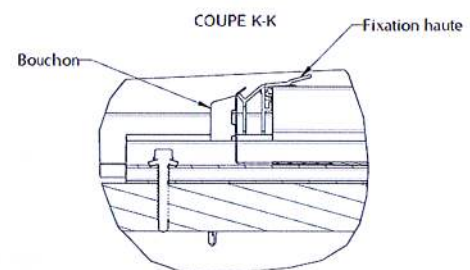
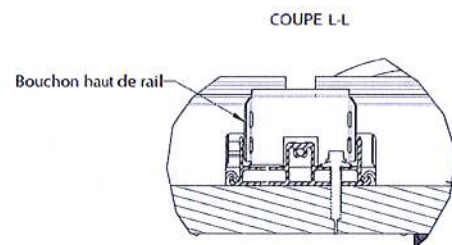
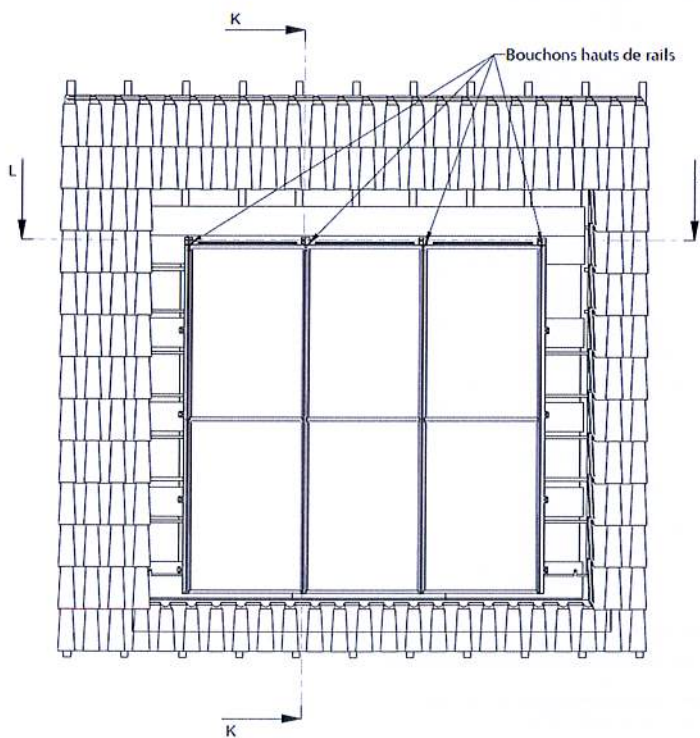


Figure 37 – Pose des bouchons hauts de rail

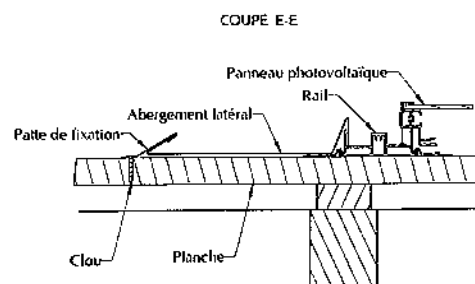
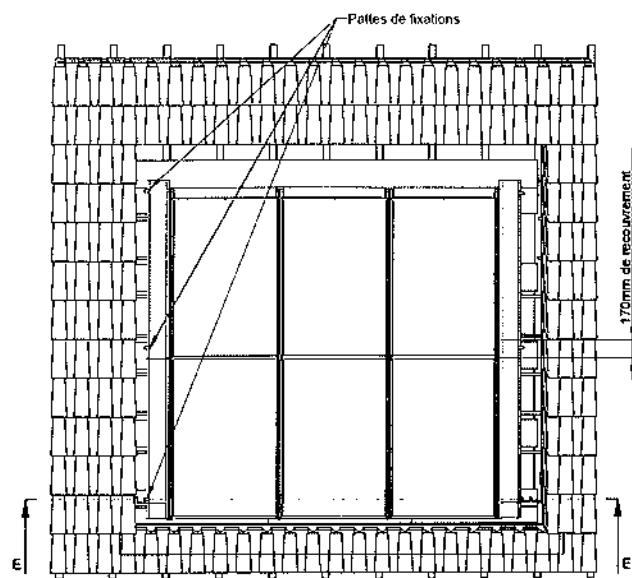


Figure 38 – Pose des abergements latéraux droit et gauche pour installation sur toiture tuile

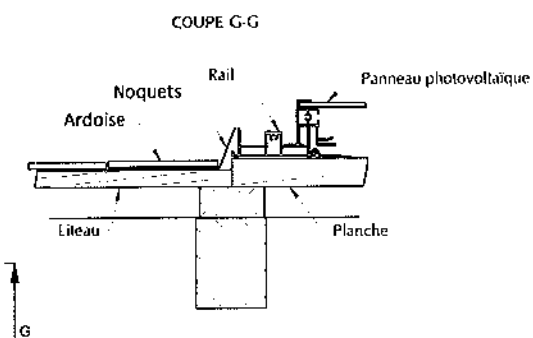
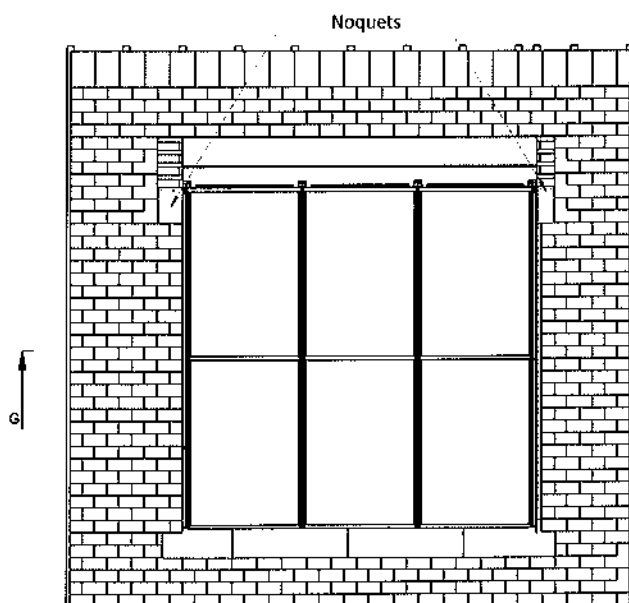
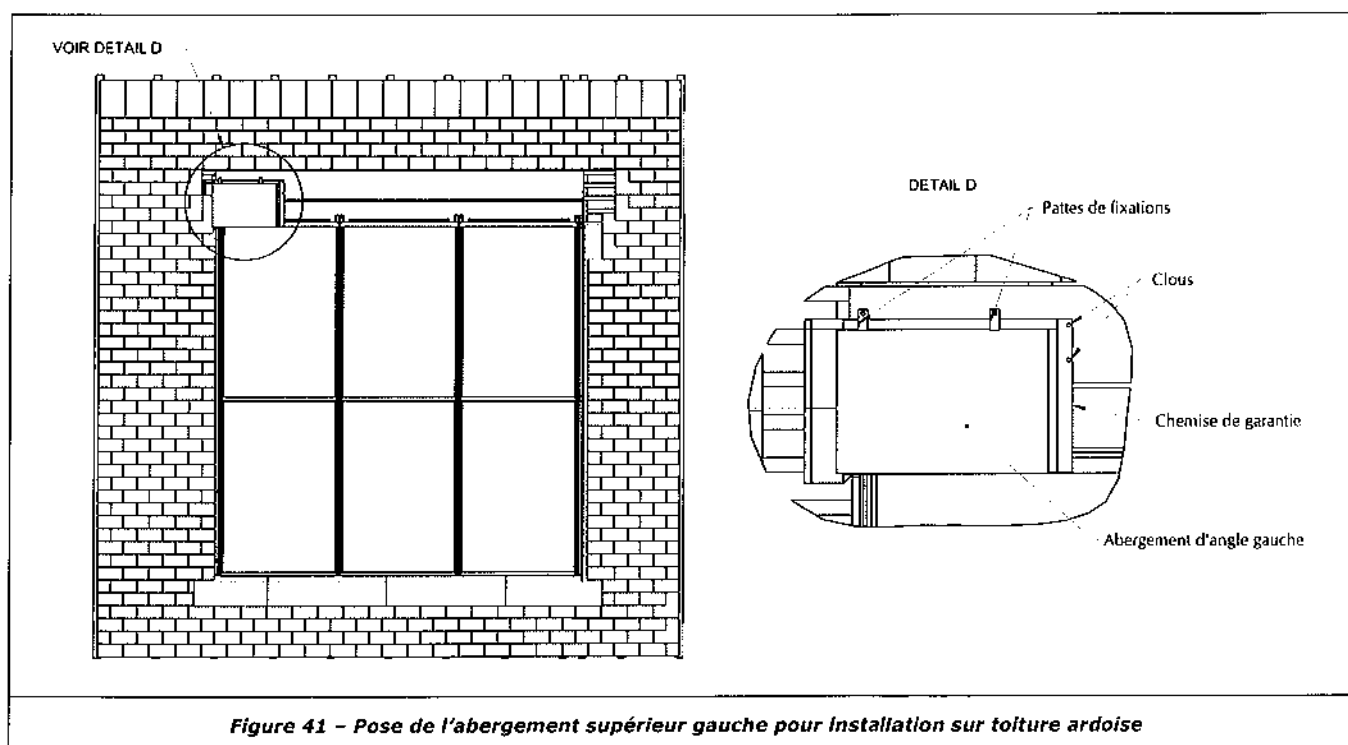
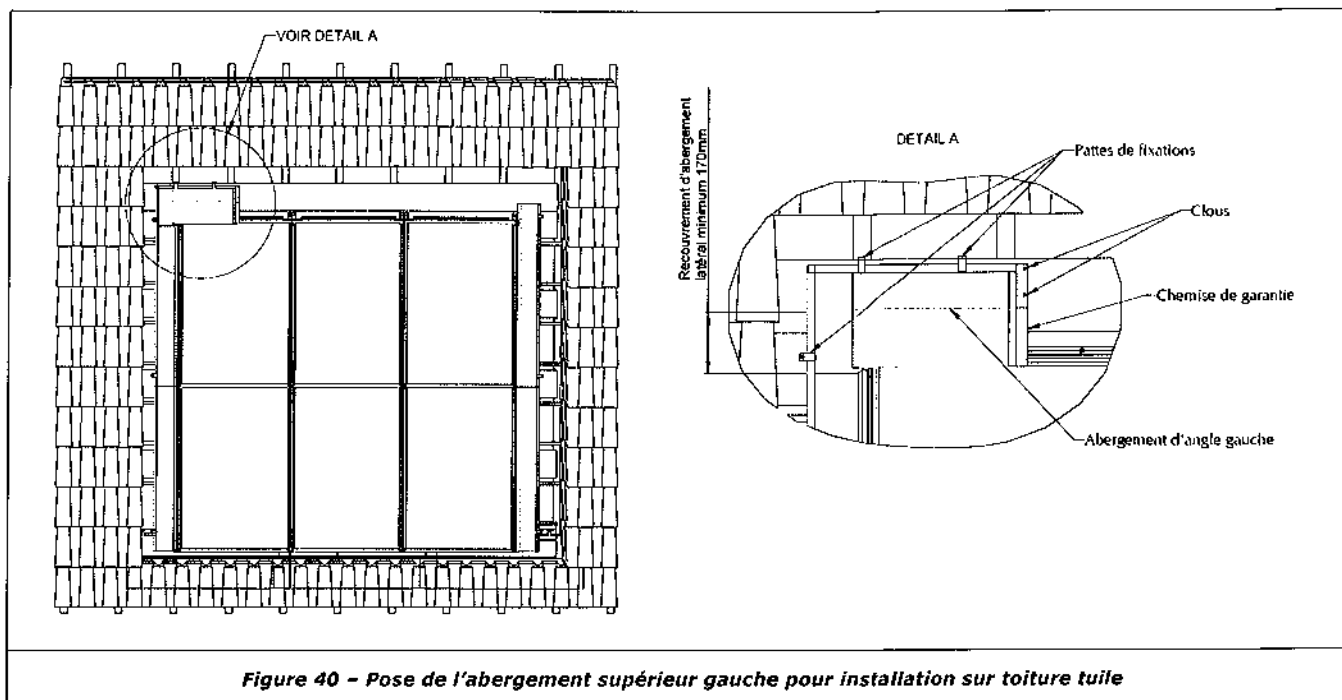


Figure 39 – Pose des abergements latéraux droit et gauche pour installation sur toiture ardoise



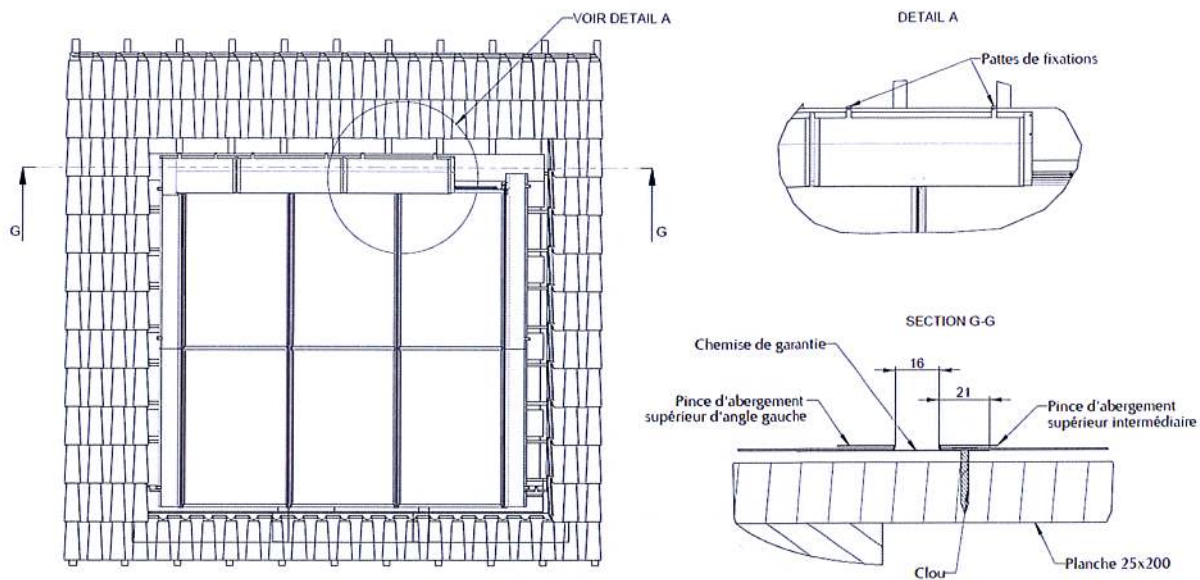


Figure 42 – Pose des abergements supérieurs intermédiaires pour installation sur toiture tuile

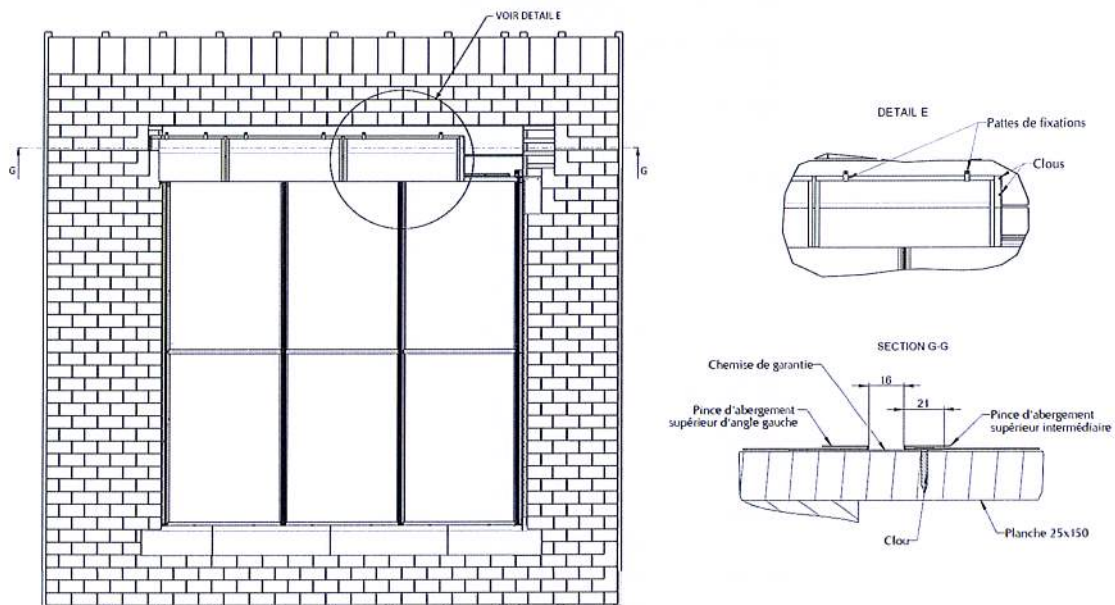


Figure 43 – Pose des abergements supérieurs intermédiaires pour installation sur toiture ardoise

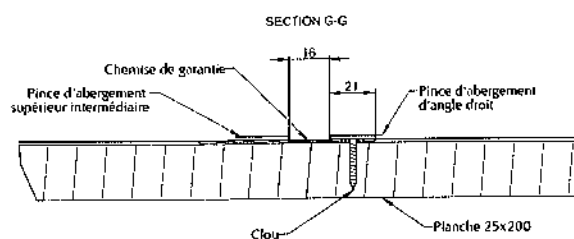
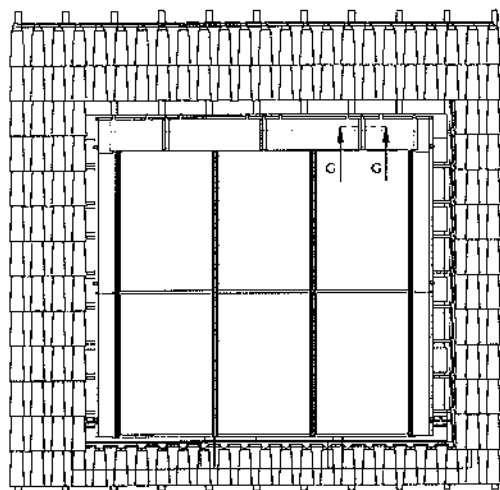


Figure 44 – Pose de l'abergement supérieur droit pour installation sur toiture tuile

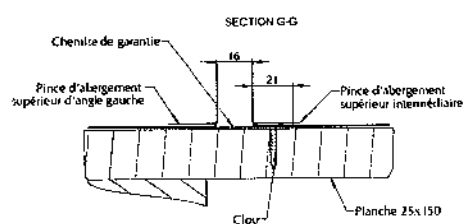
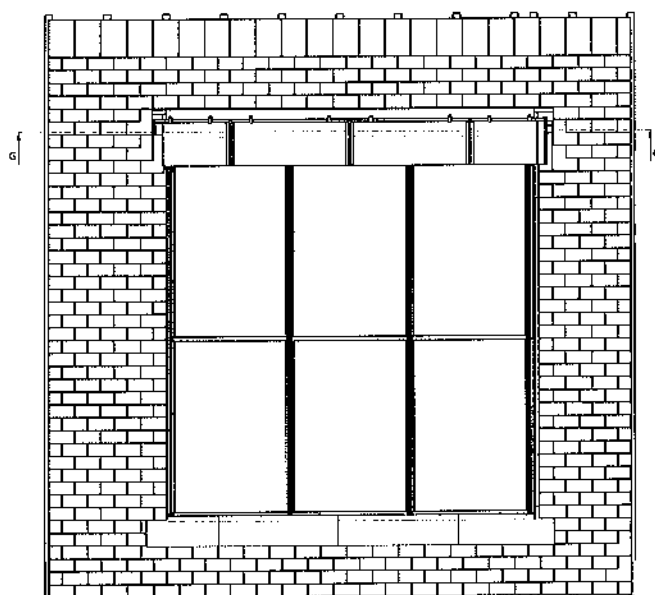


Figure 45 – Pose de l'abergement supérieur droit pour installation sur toiture ardoise

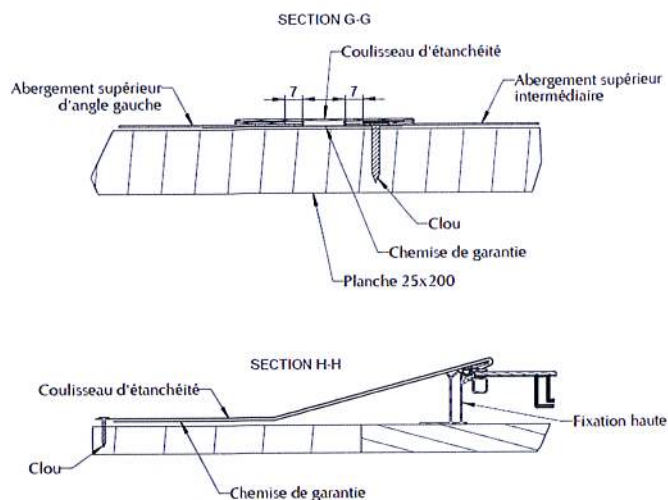
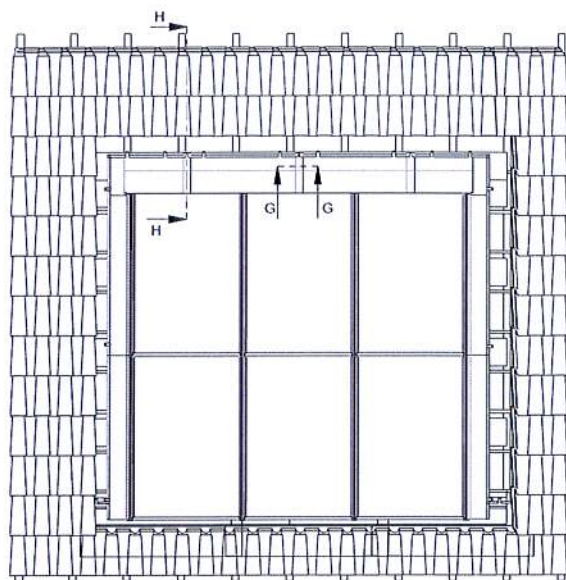


Figure 46 – Pose des coulisseaux pour installation sur toiture tuile

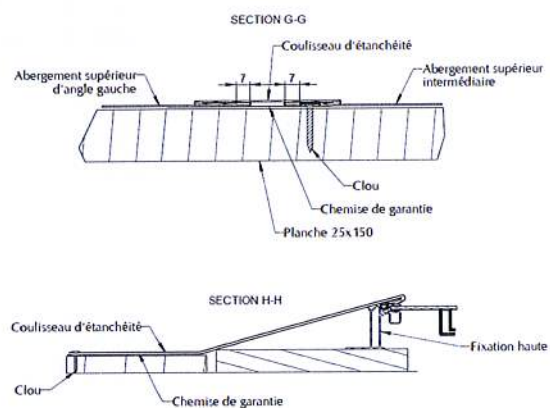
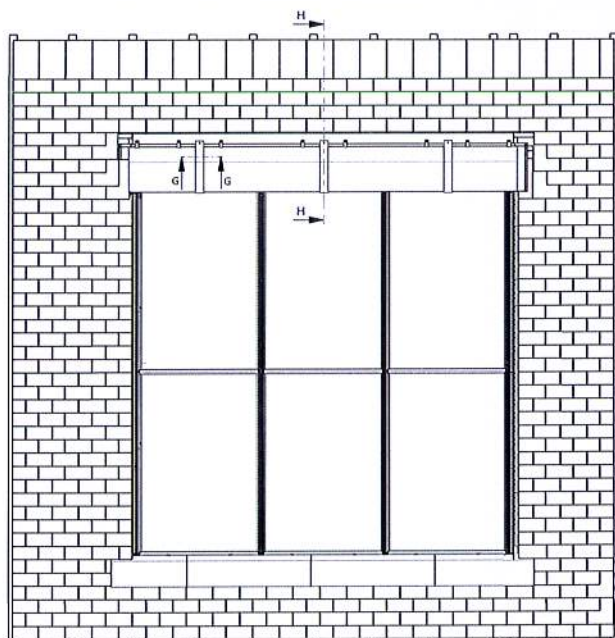
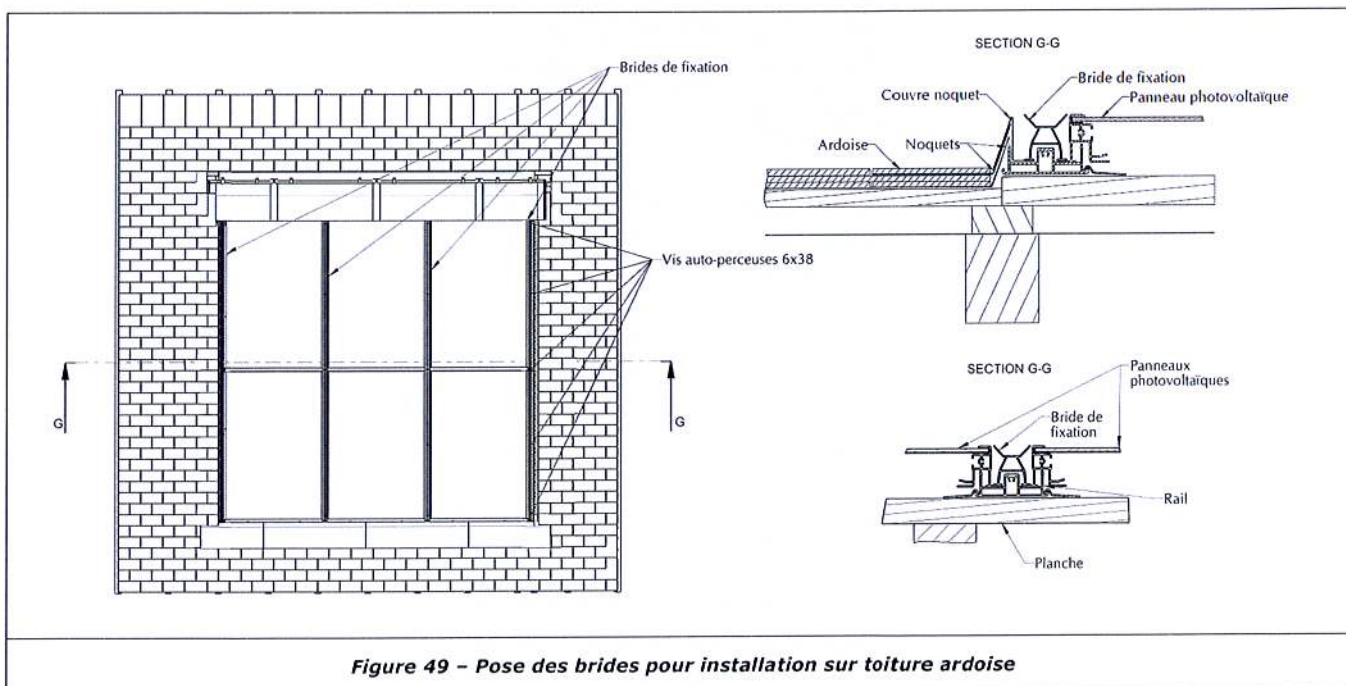
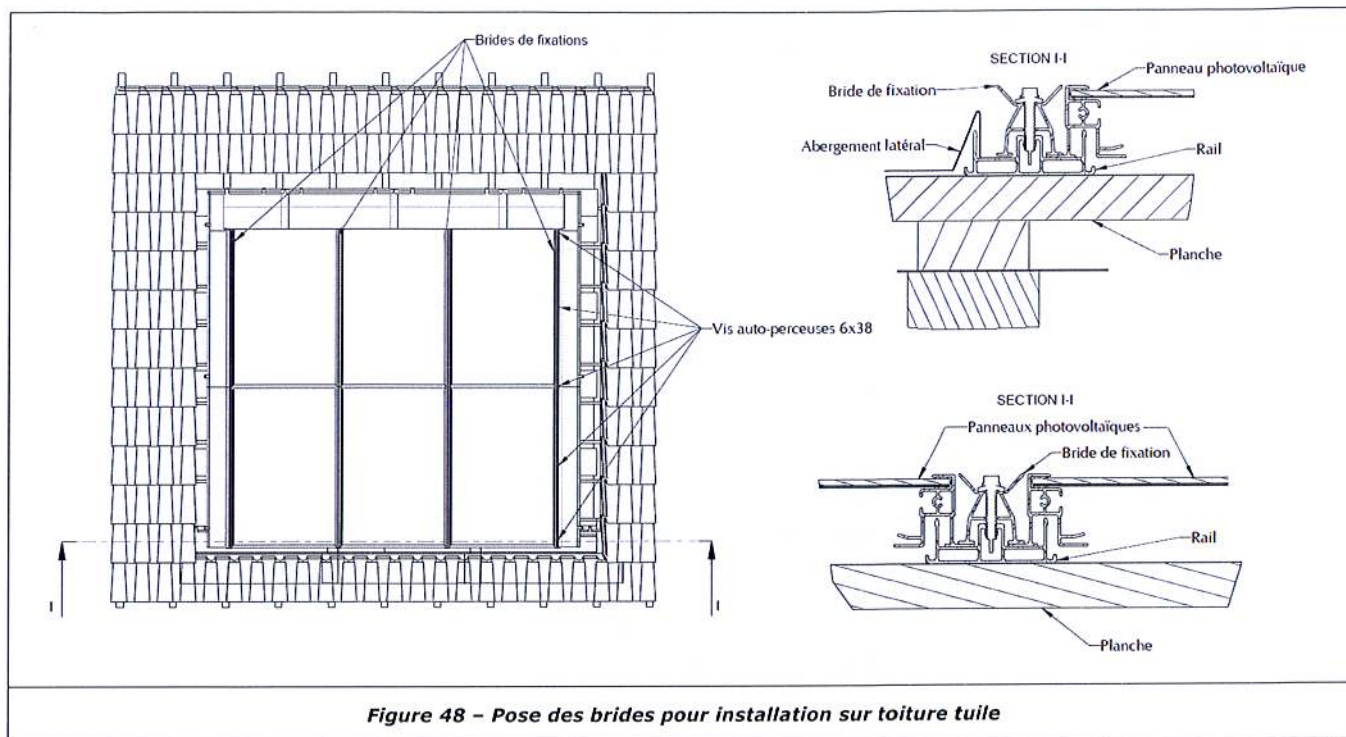


Figure 47 – Pose des coulisseaux pour installation sur toiture ardoise



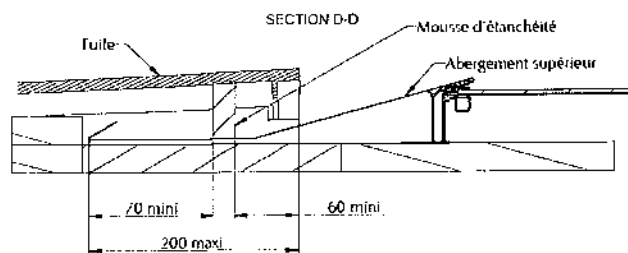
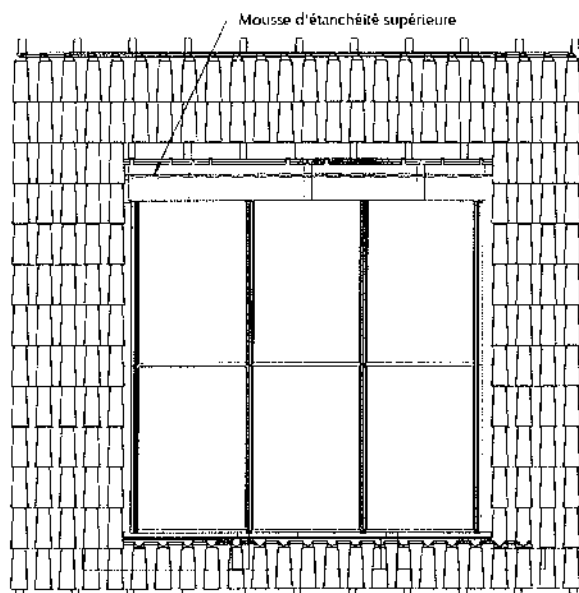


Figure 50 – Pose de la mousse d'étanchéité haute pour installation sur toiture tuile

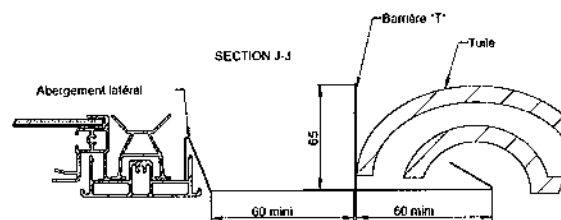
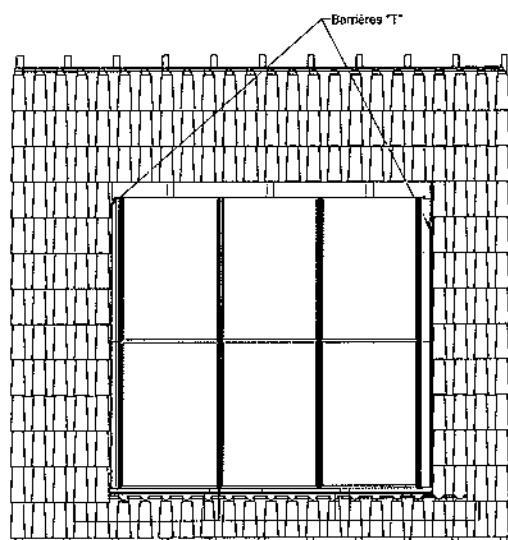


Figure 51 – Pose des barrières « T » pour installation sur toiture tuile

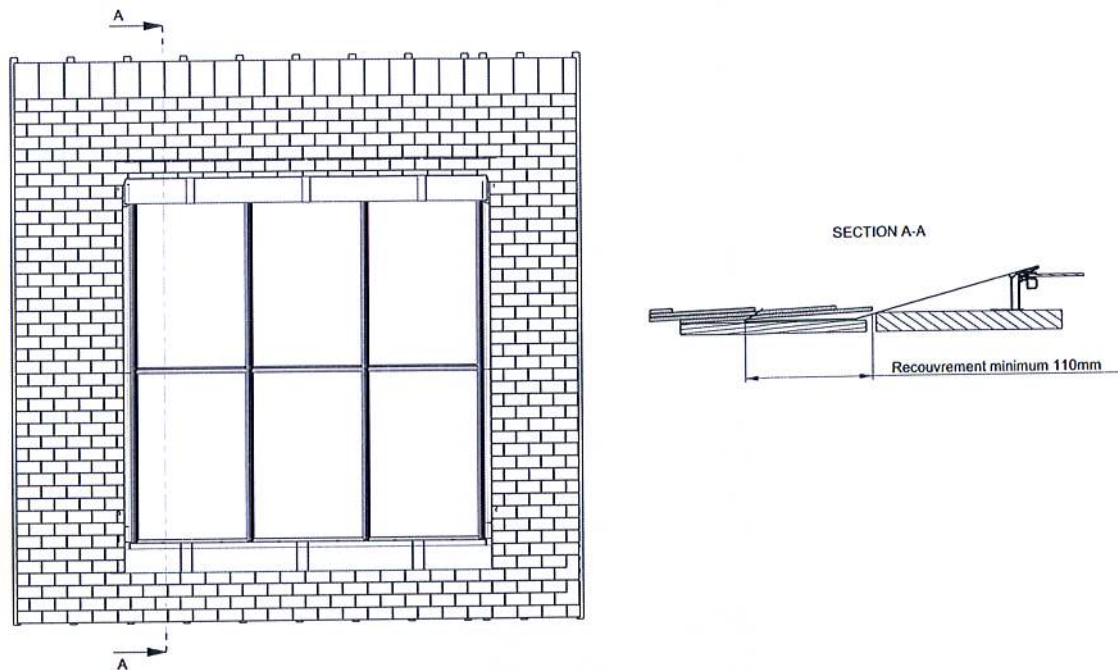


Figure 52 – Recouvrement des abergements supérieurs pour installation sur toiture ardoise

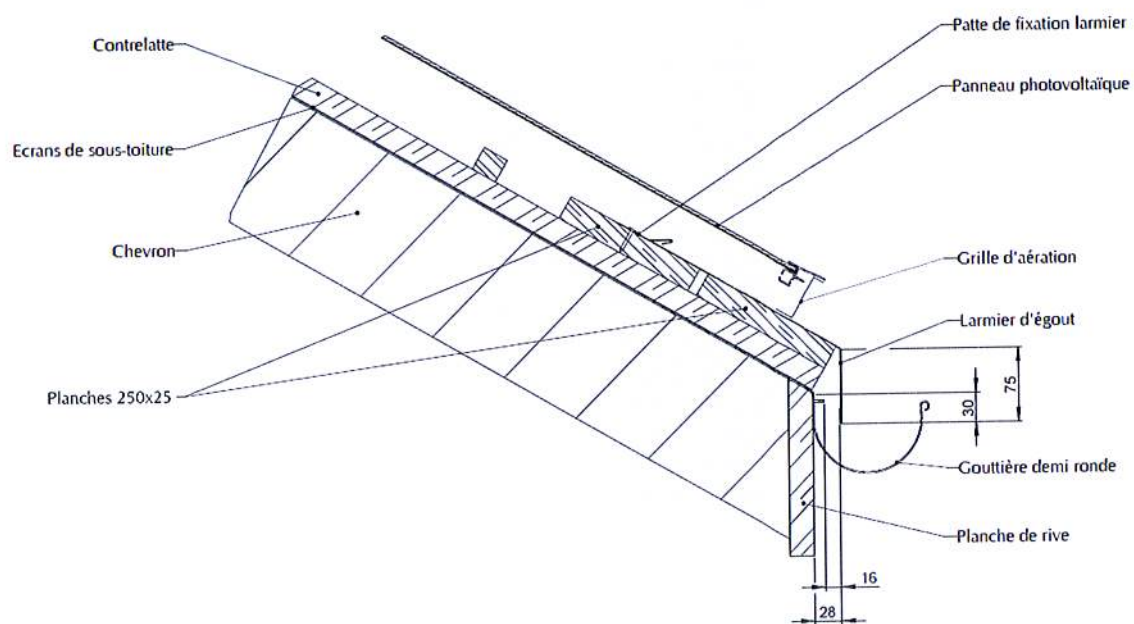


Figure 53 – Pose à l'égout