

# Avis Technique 21/09-05

*Revêtement d'étanchéité photovoltaïque mis en œuvre en toiture*

*Procédé photovoltaïque  
Photovoltaic system  
Photovoltaiksysteme*

---

## **EVALON<sup>®</sup> V SOLAR**

---

**Titulaire :** 3T- France  
12 Chaussée Jules César BP 80209 OSNY  
FR-95523 CERGY PONTOISE Cedex

Tél. : 01 30 32 08 00  
Fax : 01 30 30 45 64  
Internet : <http://www.3tfrance.fr>

**Distributeur :** 3T- France  
12 Chaussée Jules César BP 80209 OSNY  
FR-95523 CERGY PONTOISE Cedex

Tél. : 01 30 32 08 00  
Fax : 01 30 30 45 64  
Internet : <http://www.3tfrance.fr>

Commission chargée de formuler des Avis Techniques  
(arrêté du 2 décembre 1969)

**Groupe Spécialisé n° 21**

Procédés photovoltaïques

Vu pour enregistrement le 8 septembre 2009



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 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

**Le Groupe Spécialisé n°21 « Procédés photovoltaïques » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 11 juin 2009, le film photovoltaïque incorporé en toiture « EVALON® V Solar » présenté par la société 3T-France. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. Cet Avis est formulé par les utilisations en France européenne et Départements d'Outre Mer (DOM).**

## 1. Définition succincte

### 1.1 Description succincte

Le procédé « EVALON® V Solar » est un revêtement d'étanchéité photovoltaïque posé en indépendance avec fixations mécaniques en lisières, en toiture-terrasse inaccessible et destiné à la réalisation d'installations productrices d'électricité solaire.

Il est constitué d'un revêtement d'étanchéité monocouche thermo-plastique « EVALON® V » sur lequel sont collés, en usine, un ou plusieurs modules photovoltaïques, présentés en films, de puissance égale à 68 Wc (11L-B-68), 136 Wc (22L-B-136) ou 144 Wc (22L-B-144)

Ce procédé est associé à d'autres éléments de toitures pour la réalisation des zones techniques de pente inférieure ou égale à 5,24% (3°) et non revêtues de photovoltaïque.

Sa dénomination commerciale se décline en fonction du nombre de modules photovoltaïques associés à la membrane d'étanchéité « EVALON® V » :

- « EVALON® V Solar 136 » : 2 rangs de modules 68 Wc.
- « EVALON® V Solar 272 » : 2 rangs de modules 136 Wc.
- « EVALON® V Solar 288 » : 2 rangs de modules 144 Wc.
- « EVALON® V Solar 204 » : 3 rangs de modules 68 Wc.
- « EVALON® V Solar 408 » : 3 rangs de modules 136 Wc.
- « EVALON® V Solar 432 » : 3 rangs de modules 144 Wc.

La société 3T France réalise le dimensionnement de chaque installation en fonction des particularités des toitures-terrasses.

### 1.2 Identification des produits

Chaque module est identifié par un code barre et chaque emballage des films photovoltaïques comporte les informations suivantes : numéro de série, quantité et modèle de cellule.

Les membranes « EVALON® V Solar », conditionnées en rouleaux, sont emballées et étiquetées avec les mentions suivantes : « EVALON® V Solar », numéro de fabrication alwitra®. Chaque rouleau « EVALON® V Solar » reçoit sur les deux faces un numéro de série, qui est également présent sur les deux câbles électriques.

## 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

Identique au domaine d'emploi proposé au paragraphe 1.2 du Dossier Technique.

### 2.2 Appréciation sur le produit

#### 2.2.1 Conformité normative des films photovoltaïques

Les films photovoltaïques 11L-B-68, 22L-B-136 et 22L-B-144 sont conformes aux normes NF EN 61646 et NF EN 61730.

Le procédé « EVALON® V Solar » est conforme à la norme NF EN 61646.

#### 2.2.2 Aptitude à l'emploi

##### 2.2.2.1 Fonction génie électrique

###### *Sécurité électrique du champ photovoltaïque*

- Conducteurs électriques

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

Les câbles électriques utilisés sont de type HO7 RNF ou RO2V et peuvent être mis en œuvre jusqu'à une tension de 1000 V en courant continu, ce qui permet d'assurer une bonne résistance des câbles électriques de l'installation.

- Protection des personnes contre les chocs électriques

Les films photovoltaïques sont certifiés d'une classe II de sécurité électrique, conformément à la norme NF EN 61730, jusqu'à une tension maximale de 1000 V DC.

###### *Sécurité par rapport aux ombrages partiels*

Le phénomène de « point chaud » pouvant conduire à une détérioration du film photovoltaïque est évité grâce à l'implantation de diodes bypass entre chaque cellule ; les films photovoltaïques 22L-B-136, 22 L-B136 étant constitués de 22 cellules et le film 11L-B68 de 11 cellules.

###### *Puissance crête des modules utilisés*

Les puissances crêtes des films photovoltaïques sont les suivantes :

- 68 Wc pour le film 11L-B-68,
- 136 Wc pour le film 22L-B-136.
- 144 Wc pour le film 22L-B-144.

### 2.2.2.2 Fonction étanchéité de toiture

###### *Sécurité au feu*

Dans les lois et règlements en vigueur, les dispositions à considérer pour les toitures proposées ont trait à la tenue au feu venant de l'extérieur et de l'intérieur.

- Vis-à-vis du feu venant de l'extérieur

- résistance au feu extérieur : le système « EVALON® V Solar » sur élément porteur tôle d'acier nervurée (TAN) 106/750 - support isolant laine minérale nue de masse volumique 140 kg/m<sup>3</sup> et d'épaisseur 100 mm est classé B<sub>ROOF</sub>(t3), pour une pente de 5° (PV de classement du 10 mars 2009 n° 13639B du 10/03/2009),

- les autres cas du système ne sont pas classés.

- Vis-à-vis du feu intérieur

Les dispositions réglementaires à considérer sont fonction de la destination des locaux, de la nature et du classement de réaction au feu de l'isolant et de son support.

###### *Sécurité des intervenants*

Elle peut être normalement assurée. Cependant la surface des membranes devient glissante lorsque humide.

Les fiches de sécurité sont disponibles à la société 3T-France.

###### *Isolation thermique*

Le procédé permet de satisfaire à la réglementation concernant la construction neuve ou existante. Il permet d'utiliser les isolants supports admis dans le Dossier Technique sans limitation de la résistance thermique utile validée dans leurs Documents Techniques d'Application respectifs.

Sur l'élément porteur TAN, le coefficient ponctuel du pont thermique intégré des fixations mécaniques «  $\chi_{\text{fixation}}$  » des membranes d'étanchéité fixées mécaniquement et/ou de son support isolant, doit être pris en compte dans les calculs thermiques conformément aux dispositions prévues dans le fascicule 4/5 des Règles Th-U.

###### *Emploi en climat de montagne*

Ce procédé d'étanchéité n'est pas revendiqué pour une utilisation en climat de montagne caractérisé par une altitude supérieure à 900 m.

## Résistance au vent

Les dispositions prévues permettent d'escompter un comportement satisfaisant dans toutes les zones de vent et tous les sites (cf. Règles NV 65 modifiées).

Le système de référence du procédé, selon l'*e-Cahier du CSTB 3563* « Résistance au vent des systèmes d'étanchéités de toitures fixés mécaniquement » de juin 2006, est caractérisé par :

- Effort admissible par fixation du système de référence :  
Wadm<sub>sr</sub> = 700 N pour « EVALON® V Solar » ;  
Wadm<sub>sr</sub> = 500 N pour « EVALON® V » ;
- Attelage de fixations du système de référence :
  - résistance à l'arrachement de l'attelage Pk<sub>sr</sub> = 1450 N selon la norme NF P 30-313,
  - dimensions de la plaquette : 82 × 40 mm.

## Emploi dans les régions ultra-périphériques

Ce procédé, sous réserve d'utiliser les membranes « EVALON® V », d'épaisseur minimale de 1,5 mm, peut être employé sur des éléments porteurs supports en maçonnerie et supports isolants sur tôles d'acier nervurées, selon le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Supports de systèmes d'étanchéité de toitures dans les départements d'Outre-mer (DOM) » (*e-Cahier du CSTB 3644* d'octobre 2008).

### 2.23 Durabilité – Entretien

La durabilité propre des composants, leur compatibilité, les essais de type, la nature des contrôles effectués tout au long de leur fabrication ainsi que le retour d'expérience permettent de préjuger favorablement de la durabilité des membranes d'étanchéité synthétique thermoplastique avec films photovoltaïques.

L'entretien des membranes d'étanchéité synthétique thermoplastique avec ou sans films photovoltaïques doit être réalisé conformément au paragraphe 10.1 du Dossier Technique.

### 2.24 Fabrication et contrôle

Le site de production des membranes d'étanchéité synthétique thermoplastique de la société alwitra®, situé à Hermeskeil (Allemagne) est certifié conformément aux normes ISO 9001 et ISO 14001.

Le site de production des films photovoltaïques de la société UNITED SOLAR OVONIC est situé à Auburns Hill (Etats-Unis).

Les contrôles systématiques effectués dans ces usines permettent de préjuger favorablement de la constance de qualité de la fabrication du système d'étanchéité avec films photovoltaïques.

### 2.25 Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé « EVALON® V Solar », effectuée par des entreprises formées (cf. § 9 du Dossier Technique) aux spécificités du procédé et ayant les compétences requises en génie électrique et en étanchéité de toitures, conformément au Dossier Technique, permet d'assurer une bonne réalisation des installations.

Les dispositions de mise en œuvre relèvent de techniques classiques d'étanchéité de toiture, hormis le passage et la traversée des câbles électriques qui doit être effectuée conformément au chapitre 8 du Dossier Technique.

## 2.3 Cahier des Prescriptions Techniques

### 2.31 Prescriptions communes

Le procédé « EVALON® V Solar » doit être installé de façon à ce que les films photovoltaïques ne subissent pas d'ombrages portés afin de limiter les risques d'échauffement pouvant entraîner des pertes de puissance et une détérioration prématurée des films photovoltaïques.

En présence d'un rayonnement lumineux, les films photovoltaïques produisent du courant continu et ceci sans possibilité d'arrêt. La tension en sortie d'une chaîne de films photovoltaïques 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.

Il est interdit de marcher sur les films photovoltaïques.

Les prescriptions à caractère général pour la mise en œuvre des systèmes d'étanchéité sont définies dans les documents suivants :

- normes NF DTU 20.12, NF DTU 43.1, NF DTU 43.3, NF DTU 43.4 et NF DTU 43.5,
- « Conditions générales d'emploi des dalles de toiture en béton cellulaire autoclavé armé » (Cahier du CSTB 2192 - octobre 1987),
- Cahier des Prescriptions Techniques « Panneaux isolants non porteurs supports d'étanchéité mis en œuvre sur éléments porteurs en tôle d'acier nervurées dont l'ouverture haute de nervure est supérieure à 70 mm » (Cahier du CSTB 3537 de décembre 2005).

### 2.32 Prescriptions techniques particulières

#### Supports en bois massifs ou en panneaux dérivés du bois

La mise en œuvre du procédé sur un support en bois, de panneaux de contreplaqué, de panneaux de particules est possible, si le support est constitué d'un matériau conforme à la norme NF DTU 43.4 Partie 1-2.

Pour les autres cas, le Document Technique d'Application du support à base de bois doit indiquer les conditions de mise en œuvre du procédé d'étanchéité : mode(s) de liaisonnement du revêtement sur le support, choix des attelages de fixation mécanique des panneaux isolants, limite au vent extrême du système selon les Règles NV 65 modifiées.

#### Attelages de fixations mécaniques

- Les attelages de fixations mécaniques des revêtements d'étanchéité fixés mécaniquement et des panneaux isolants doivent être du type « solide au pas » ce qui empêche, en service, le désaffleurement de la tête de l'élément de liaison au-dessus de la plaquette lorsque la compression à 10 % de déformation de l'isolant support est inférieure à 100 kPa (norme NF EN 826).

Cette disposition est applicable en travaux neufs, comme en travaux de réfection.

À cet égard, dans le cas où il existerait une couche isolante existante, et à moins que la contrainte en déformation à 10 % de déformation de ce support isolant ne soit connue (norme NF EN 826), les attelages de fixation à employer doivent être également de type « solide au pas ».

Les éléments de fixation doivent être composés de vis en inox adaptées à l'élément porteur et de plaquette de répartition (Cahier du CSTB 3563). Les caractéristiques de ces vis sont disponibles dans les *tableaux 6, 7A et 7B* de l'annexe du Dossier Technique.

- La pose du système « EVALON® V Solar » doit être précédée d'une vérification systématique, conformément à l'*e-Cahier du CSTB 3563* de juin 2006, des valeurs d'ancrage des fixations envisagées dans le cas de support en :
  - maçonnerie classe A, B et C,
  - béton cellulaire autoclavé,
  - bois massif et panneaux dérivés du bois,

#### Cas de la réfection

Il appartient au maître d'ouvrage ou à son représentant de faire vérifier au préalable la stabilité de l'ouvrage dans les conditions de la norme NF P 84-208 (réf. DTU 43.5) vis à vis des risques d'accumulation d'eau.

#### Livraison

À la livraison, un protocole de réception (cf. § 8.55), un protocole de mise en œuvre et un manuel d'installation électrique doivent être fournis avec le procédé.

#### Installation électrique

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

Afin de protéger les biens et les personnes, l'installation photovoltaïque doit être réalisée conformément à la norme NF C 15-100.

La réalisation de l'installation doit être effectuée conformément au guide UTE C 15-712 et conformément au « Guide pratique à l'usage des bureaux d'étude et installateurs pour l'installation de générateurs photovoltaïques raccordés au réseau » édité par l'ADEME et le SER en décembre 2008.

### **Mise en œuvre**

Les règles de mise en œuvre décrites dans le Dossier Technique doivent être respectées.

La mise en œuvre du procédé « EVALON® V Solar » doit être assurée par des installateurs formés aux particularités et aux techniques de pose du procédé.

### **Entretien et réparation**

L'entretien et la réparation doivent être réalisés conformément au *paragraphe 10* du Dossier Technique.

### **Assistance technique**

La société 3T-France 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 « EVALON® V Solar » dans le domaine d'emploi accepté, fait l'objet d'une appréciation favorable.

### **Validité**

Jusqu'au 30 juin 2012.

*Pour le Groupe Spécialisé n° 21*  
*Le Président*  
Alain Duigou

---

### **3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé**

---

Le Groupe Spécialisé souhaite préciser que la pose de la membrane EVALON® V peut engendrer des plis qui ne constituent pas un défaut de mise en œuvre.

*Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 21*  
Nadège Blanchard

# Dossier Technique

## établi par le demandeur

## A. Description

### 1. Description générale

#### 1.1 Présentation

Le procédé « EVALON® V Solar » est un revêtement d'étanchéité photovoltaïque posé en indépendance avec fixations mécaniques en lisières, en toiture-terrasse inaccessible et destiné à la réalisation d'installations productrices d'électricité solaire.

Il est constitué d'un revêtement d'étanchéité monocouche thermo-plastique « EVALON® V » sur lequel sont collés, en usine, un ou plusieurs modules photovoltaïques, présentés en films, de puissance égale à 68 Wc (11L-B-68), 136 Wc (22L-B-136) ou 144 Wc (22L-B-144).

Ce procédé est associé à d'autres éléments de toitures pour la réalisation des zones techniques de pente inférieure ou égale à 5,24% (3°) et non revêtues de photovoltaïque.

Sa dénomination commerciale se décline en fonction du nombre de modules photovoltaïques associés à la membrane d'étanchéité « EVALON® V » :

- « EVALON® V Solar 136 » : 2 rangs de modules 68 Wc.
- « EVALON® V Solar 272 » : 2 rangs de modules 136 Wc.
- « EVALON® V Solar 288 » : 2 rangs de modules 144 Wc.
- « EVALON® V Solar 204 » : 3 rangs de modules 68 Wc.
- « EVALON® V Solar 408 » : 3 rangs de modules 136 Wc.
- « EVALON® V Solar 432 » : 3 rangs de modules 144 Wc.

La société 3T-France réalise le dimensionnement de chaque installation en fonction des particularités des toitures-terrasses.

#### 1.2 Domaine d'emploi

- Utilisation en France européenne et DOM :
  - sauf en climat de montagne caractérisé par une altitude supérieure à 900 m,
  - uniquement au-dessus de locaux de faible ou moyenne hygrométrie.
- Mise en œuvre, travaux neufs ou en travaux de rénovation, en toitures-terrasses inaccessibles planes (inclinaison d'au moins 30°) et cintrées. Pour les toitures cintrées, le rayon de courbure minimum est défini par le Document Technique d'Application relatif à l'isolant. Pour des toitures présentant une inclinaison supérieure à 20°, contacter les services techniques de 3T-France.
- La toiture-terrasse d'implantation doit présenter les caractéristiques suivantes :
  - éléments porteurs :
    - maçonnerie A, B, C (conforme au DTU 20.12) et béton cellulaire,
    - tôle d'acier nervurée (TAN) (conforme au DTU 43.3 P1-1 1 ou Cahier de CSTB 3537\_V2 de janvier 2009),
    - bois massif et panneaux à base de bois (conforme au DTU 43.4).
  - isolants : (cf. *tableaux 1 et 2*) bénéficiant d'un Document Technique d'Application autorisant la pose sous revêtements apparents fixés mécaniquement :
    - laine minérale nue d'épaisseur minimum 80 mm de classe de compressibilité C,
    - polystyrène expansé nu de classe de compressibilité B à 80°C.
  - pentes supérieures ou égales à 5,24% soit (3°).
- Les membranes « EVALON® V Solar » doivent être installées en partie courante. Les points singuliers et zones avec ombres portées doivent être traités en EVALON® V.

## 2. Éléments constitutifs

Le module photovoltaïque « EVALON® V Solar » (cf. *figure 1*) est l'association de films photovoltaïques « 68 Wc », « 136 Wc » et « 144 Wc » de la société UNITED SOLAR OVONIC et du revêtement d'étanchéité « EVALON® V », cette association est réalisée par collage à chaud avec interposition d'un film hot-melt irréversible en EVA.

Tous les éléments décrits dans ce paragraphe font partie de la livraison du procédé assurée par la société 3T-France.

### 2.1 Module photovoltaïque

#### 2.1.1 Films photovoltaïques

Les films photovoltaïques sont à base de silicium amorphe déposé sur un film « acier inoxydable » constituant le pôle négatif.

La couche supérieure capture les photons avec une énergie optique associée à la longueur d'onde du bleu, la couche intermédiaire, ceux avec une énergie associée à la longueur d'onde du vert, et la dernière couche, ceux avec une énergie associée à la longueur d'onde des rouges et infrarouges.

Caractéristiques des films 136 Wc (22L – B – 136) et 144 Wc (22L – B – 144) :

- Dimensions : 548,5 cm x 39,5 cm x 0,3 mm.
- Surface : ~2,2 m<sup>2</sup>.
- Poids : 5 kg (2.273 kg/m<sup>2</sup>)
- Puissance crête : 136 Wc (tension constante 33 V, intensité maximale 4,12 A) et 144 Wc.

Caractéristiques des films 68 Wc (11L – B – 68) :

- Dimensions : 284,9 cm x 39,5 cm x 0,3 mm.
- Surface : ~1,15 m<sup>2</sup>.
- Poids : 2.7 kg (2.348 kg/m<sup>2</sup>)
- Puissance crête : 68 Wc (tension constante 16,5 V, intensité maximale 4,12 A).

#### 2.1.2 Constituants électriques

##### 2.1.2.1 Boîte de connexion

Une boîte de connexion en sous-face du module, assure l'interconnexion entre les différents films présents sur la membrane. Elle est collée avec du silicone et rempli par injection de résine ISO-PURA763 assurant la fonction étanchéité de l'ensemble. Elle présente les dimensions hors-tout suivantes : 141 mm x 101 mm x 28 mm.

Cette boîte de connexion permet de réunir les câbles éclectiques émanant des films photovoltaïques présents sur une même membrane (2 ou 3 selon les configurations) et de constituer une sortie aval avec uniquement deux câbles-.

##### 2.1.2.2 Diodes bypass

Des diodes bypass sont implantées entre chaque cellule du module photovoltaïque afin de limiter les échauffements de cellules dus aux ombrages : ceci permet d'éviter le phénomène de "point chaud".

##### 2.1.2.3 Câbles électriques

L'« EVALON® V Solar » est fourni avec 2 câbles électriques classe de sécurité II (section de 4 mm<sup>2</sup>) et d'une longueur minimale de 5 m adaptée aux projets. L'assemblage se fait dans l'usine de la société alwitra®. La protection électrique est assurée par un adhésif d'isolation électrique (*figures 2 et 2 bis*).

Un code couleur permet de repérer les polarités (BLEU pôle négatif et ROUGE pôle positif). Le numéro de série du module est également inscrit sur chaque câble électrique. La protection en extrémité des câbles doit être conservée et uniquement être enlevée lors du raccordement électrique par l'entreprise titulaire du lot électrique.

Les câbles sont caractérisés par :

- plage de température : -40° à +115°C,
- classe de sécurité électrique : classe 5 IEC 60228,
- tension assignée : UL 1000V,
- dénomination : Helukabel Solarflex 104 & KBE SOLAR PV1-F.

Tous les câbles électriques de l'installation (*en sortie des modules et pour les connexions entre séries de panneaux et vers l'onduleur*) respectent les prescriptions de la norme NF C 15-100, le guide UTE C15-712, et les spécifications des onduleurs (*longueur et section de câble adaptées au projet*).

#### 2.1.3 Support des modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques sont collés à chaud sur la membrane « EVALON® V » constituée :

- d'une membrane d'épaisseur 1,8 mm, à base d'un mélange de terpolymère d'éthylène-vinyle-acétate (EVAC), de polychlorure de vinyle (PVC), de charges, de stabilisant, de pigments, d'esters d'acides phthaliques et d'acides gras. Cette membrane est conforme à la norme NF EN 13956, et fait l'objet d'un Document Technique d'Application (DTA 5/07-1957),
- et d'un non tissé polyester de 160 g/m<sup>2</sup> et 1 mm d'épaisseur en sous-face.

Les caractéristiques de cette membrane sont données au *tableau 4*.

Cette membrane présente un bord pour la soudure et est proposée en divers coloris :

- coloris standard : gris clair & blanc.
- coloris sur demande : gris ardoise, rouge, vert, noir. (cf. remarque du GS n°5 concernant la tenue aux UV des coloris DTA 5/07-1957)

## 2.2 Composants d'étanchéité

### 2.2.1 Membrane EVALON® V

Il s'agit de la même membrane sous-facée que celle décrite ci-dessus mais en épaisseur 1,2 ou 1,5 mm (respectivement 2,2 ou 2,5 mm avec la sous-face).

Elle est destinée à la réalisation de la toiture pour les zones non revêtues de photovoltaïque.

Les caractéristiques de cette membrane sont données au *tableau 4*.

Cette membrane peut présenter par ailleurs un ou deux bords pour la soudure :

- EVALON® V, à un bord pour la soudure, proposée en longueur de 25 m et en 4 largeurs : 0,54, 0,79, 1,05 et 1,55 m.
- EVALON® V, à deux bords pour la soudure, proposée en longueur de 25 m et en 2 largeurs : 1,09 et 1,59 m.

### 2.2.2 Membrane EVALON®

Il s'agit de la même membrane que l'EVALON® V, d'épaisseur 1,2 ou 1,5 mm, mais sans sous-face.

Elle est destinée à la réalisation des habillages de sorties en toiture, des points singuliers et des relevés.

Les caractéristiques de cette membrane sont données au *tableau 5*.

Elle est proposée en longueur de 25 m et en 11 largeurs : 0,10, 0,16, 0,20, 0,25, 0,33, 0,50, 0,66, 0,75, 1,05, 1,55 et 2,00 m.

### 2.2.3 Membrane EVALON® SKA

Il s'agit de la même membrane que l'EVALON® V, d'épaisseur 1,5 mm mais sous-facée par 0,8 mm de composant auto-adhésif butyle (avec un ou deux bords pour la soudure).

Elle est destinée à la réalisation des relevés.

Les caractéristiques de cette membrane sont identiques à la membrane EVALON® et données au *tableau 5*.

Elle est proposée en longueur de 25 m et en 4 largeurs : 0,33, 0,42, 0,66 et 0,75 m.

## 2.3 Autres composants

### 2.3.1 Traversée de câbles

La traversée de câbles est un élément indispensable au passage des câbles (jusqu'à 8 câbles de 4 mm<sup>2</sup>) des modules photovoltaïques en sous-face du support d'étanchéité (*figures 3, 4 et 5*).

C'est une pièce monobloc en inox composé d'un presse-étoupe IP 65 (cf. *figure 3*) fixé en usine sur une plaque de 150x150 mm.

L'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau est réalisée à l'aide d'un joint compressible adhésif sur une largeur de 4 cm couplé à une fixation par vis.

### 2.3.2 Boîte de raccordement (cf. *figure 4*)

La boîte de raccordement est utilisée pour la mise en série des modules photovoltaïques. Ce dispositif permet de recevoir les câbles des modules d'une section 4 mm<sup>2</sup>. Cet élément doit respecter les caractéristiques des modules en courant et tension, (classe de sécurité II, IP66, résistance aux températures de -35°C à +80°C, traitement anti-UV).

### 2.3.3 Boîtier de jonction avec protection

Le boîtier de jonction, utilisé pour réaliser la mise en parallèle des chaînes photovoltaïques, permet la coupure du câble de champ photovoltaïque à l'aide d'un dispositif de coupure et de sectionnement respectant les caractéristiques de tension et de courant de l'installation. Ce dispositif doit respecter les recommandations du Guide UTE C 15-712.

## 3. Autres éléments

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

Les éléments suivants, non fournis (3.1, 3.5, 3.6, 3.8 et 3.9) sont toutefois indispensables au bon fonctionnement du procédé utilisé :

### 3.1 Fixations mécaniques et attelages

Les éléments de fixation mécanique des modules « EVALON® V Solar » doivent être composés d'une vis en inox (A4) (adaptée à l'élément porteur) et d'une plaquette de répartition de 82 x 40 mm en acier traité contre la corrosion selon les prescriptions du cahier du CSTB 3563 de juin 2006. Cet ensemble constitue le système de référence ayant subi les essais de résistance au vent.

Les caractéristiques des vis de fixations en fonction des éléments porteurs sont données aux *tableaux 6, 7A et 7B*.

### 3.2 Coins préfabriqués EVALON®

Renforts d'angle en EVALON®, épaisseur 1,5 mm, destinés aux relevés et extrémités de toitures et disponibles en :

- coins saillants 90°,
- coins rentrants 90°.

### 3.3 EVALON® liquide

L'EVALON® liquide est destiné à la réalisation des finitions pour joints de soudure uniquement sur la membrane EVALON® V.

- Nature : liquide en phase solvant THF (tétrahydrofurane) ;
- Couleur gris ou blanc ;
- Masse volumique : environ 0,96 g/cm<sup>3</sup> ;
- Extrait sec : environ 22 % ;
- Point éclair : 215 °C ;
- Viscosité : 400 Poise ;
- Étiquetage rouge : produit inflammable ;
- Consommation : environ 10 g/m ;
- Conditionnement : par bidons de 1,25 et 2,5 litres ;
- Stockage : se conformer aux règles de sécurité pour produits inflammables en vigueur.

### 3.4 Colle L 40

La colle L 40 est une colle à base de caoutchouc synthétique qui s'adapte à l'application au rouleau, au pinceau ou au pistolet à pression.

Elle est destinée au collage des membranes d'étanchéité EVALON® et EVALON® V sur les relevés.

- Spécifications :
  - Base : caoutchouc SBR (styrène - butadiène) ;
  - Couleur : blanc à beige clair ;
  - Odeur : essence ;
  - Consistance : liquide ;
  - Poids spécifique à + 20 °C : environ 0,88 g/cm<sup>3</sup> ;
  - Extrait sec : environ 41 % ;
  - Point d'éclair : - 24 °C ;
  - Résistance au pelage du support : ≥ 25 N/50 mm ;
  - Stockage : conservation environ 6 mois dans son récipient original fermé. Idéalement, la température de stockage sera de + 15 °C à + 20 °C, et en tout cas à l'abri du gel ;
- Identification : identification obligatoire suivant réglementation pour matériaux dangereux : facilement inflammable.
- Conditionnement : bidons en tôle avec couvercle démontable de 25 kg ou 9,5 kg.

### 3.5 Joint d'étanchéité

Joint d'étanchéité du commerce en mousse de polyuréthane imprégné de butyl destiné au traitement des relevés.

- épaisseur ≥ 15 mm
- largeur ≥ 15 mm.

### 3.6 Joint d'étanchéité

Joint d'étanchéité élastomérique silicone ou polyuréthane utilisé en complément d'étanchéité en tête de relevés, avec bandes solins, ventilations, etc. appartenant à la classe 25 E selon la norme NF P 85-210 (DTU 44.1) titulaire du label SNJF de 1<sup>ère</sup> catégorie.

### 3.7 Tôle colaminée EVALON®

Tôle utilisée pour l'exécution des points particuliers en rive et en tête de relevés. Elle est constituée d'une tôle d'acier galvanisée d'épaisseur :

- 0,60 mm, sous face laquée, sur laquelle est colaminée une membrane d'EVALON® d'épaisseur 0,60 mm,
- dimension : (1 x2) m ou (1 x 3) m,
- poids : environ 5,5 kg/m<sup>2</sup>,
- couleur : grise-claire, blanche, gris-ardoise ou noire.

### 3.8 Autres produits en membranes

Membranes bitumineuses citées dans un Document Technique d'Application d'un revêtement d'étanchéité :

- Membrane de bitume SBS type BE 25 VV 50 conforme à la norme NF EN 13970, pour écran pare-vapeur ;
- Membrane de bitume élastomérique 35 Alu conforme à la norme NF EN 13970 ;
- Aluminium bitumé conforme aux normes NF P 84-310 et NF EN 13970 ;
- Feutre bitumé perforé conforme à la norme NF P 84-313 ;
- Écran perforé ;
- Équerre pour la remontée du pare-vapeur sur relevé en maçonnerie : membrane de bitume SBS type BE 35 selon la norme NF P 84-204-1-2.

### 3.9 Matériel de soudure

#### 3.91 Soudeuse automatique à air chaud (cf. figure 6)

- Buse : 4 cm
- Puissance : 4000 W en 220 V
- Débit d'air chaud : 400 à 600 l/min, température réglable en continu entre 20 °C et 650 °C
- Entraînement automatique, vitesse d'avance réglable de 0 à 12 m/min
- Poids : environ 20 kg
- Marques : LEISTER type « Varimat » ou équivalent.

#### 3.92 Soudeuse manuelle à air chaud à double isolation

- Puissance : 1460 W en 220 V
- Débit d'air chaud : 50 à 230 l/min sous 30 mbar, température réglable en continu entre 20 °C et 700 °C
- Poids : environ 1,5 kg
- Marques : LEISTER type "COMBITRIAC" ou équivalent

## 4. Conditionnement, étiquetage, stockage

### 4.1 Identification et repérages

Les membranes reçoivent en continu l'impression suivante :

- EVALON® V Solar – numéro de fabrication - alwitra®.

Chaque module EVALON® V Solar reçoit également sur les 2 faces, un numéro de série qui est également présent sur les 2 câbles électriques.

- EVALON® V - numéro de fabrication - alwitra® - numéro de fabrication - EVALON® V

### 4.2 Emballage et stockage

Les membranes EVALON® V Solar sont enroulées sur mandrins sous plastique transparent. Une étiquette visible indique longueur, largeur et poids. Une étiquette insérée dans le rouleau indique la date et l'équipe de production. Les rouleaux sont livrés conditionnés sur des palettes et emballage cartonné. Les rouleaux déballés doivent être stockés à plat, sur une surface sèche et exempte d'aspérités.

## 5. Caractéristiques dimensionnelles

L'ensemble des éléments du module "EVALON® V SOLAR" (cellule(s) et membrane d'étanchéité) est commercialisé par projet suite au dimensionnement de la société 3T-France.

EVALON® V Solar	EVALON® V Solar 432/408	EVALON® V Solar 288/272	EVALON® V Solar 204	EVALON® V Solar 136
Largeur des rouleaux (en m)	1,55	1,05	1,55	1,05
Longueur des rouleaux (en m)	6		3,36	
Épaisseur nominale totale (en mm) (dont sous face de la membrane d'étanchéité)	5,1 ± 1 (1,8)			
Masse surfacique (kg/m²)	4,30	4,33	4,03	4,17
Module Largeur x Longueur (en mm)	1,185 x 5,490	790 x 5,490	1,185 x 2,850	790 x 2,850
Puissance crête (Wc)	432 ou 408	288 ou 272	204	136

## 6. Caractéristiques électriques

### 6.1 Conformité à la norme NF EN 61646

Les membranes d'étanchéité photovoltaïques "EVALON® V Solar" sont certifiées conformes à la norme NF EN 61646.

### 6.2 Sécurité électrique

Les membranes d'étanchéité photovoltaïques sont certifiées conformes à la classe A de la norme NF EN 61730, et sont ainsi considérés comme répondant aux prescriptions de la classe de sécurité électrique II.

### 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).

Module « EVALON® V Solar »	432	408	288	272	204	136
P <sub>mpp</sub> (W)	432	408	288	272	204	136
U <sub>co</sub> (V)	138,6	138,6	92,4	92,4	69,3	46,2
U <sub>mpp</sub> (V)	99	99	66	66	49,5	33
I <sub>cc</sub> (A)	5,3	5,1	5,3	5,1	5,1	5,1
I <sub>mpp</sub> (A)	4,36	4,13	4,36	4,13	4,13	4,13
αT (P <sub>mpp</sub> ) [%/K]	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21
αT (U <sub>co</sub> ) [%/K]	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38	-0,38
αT (I <sub>cc</sub> ) [%/K]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Avec :

- P<sub>mpp</sub>** : Puissance au point de puissance maximum
- U<sub>co</sub>** : Tension en circuit ouvert
- U<sub>mpp</sub>** : Tension nominale au point de puissance maximum
- I<sub>cc</sub>** : Courant de court circuit
- I<sub>mpp</sub>** : Courant nominal au point de puissance maximum
- αT (P<sub>mpp</sub>)** : Coefficient de température pour la puissance maximum
- αT (U<sub>co</sub>)** : Coefficient de température pour la tension en circuit ouvert
- αT (I<sub>cc</sub>)** : Coefficient de température pour l'intensité de court circuit

Le courant inverse maximal est de 8 ampères.

## 7. Fabrication et contrôles

### 7.1 Fabrication des films photovoltaïques

La fabrication des films photovoltaïques s'effectue sur le site de la société United Solar Ovonic à Auburn Hills aux États-Unis.

Les contrôles internes effectués au cours de la fabrication du film photovoltaïque portent sur les points suivants :

- Contrôle des matières premières au regard d'un cahier des charges interne (*fréquence variable en fonction de l'élément concerné*),
- Contrôle aidé par informatique du process de dépôt des cellules photovoltaïques,
- Contrôle visuel et dimensionnel de chaque cellule et tri en fonction de leur colorimétrie,
- Immersion de chaque film photovoltaïque et contrôle de l'isolation électrique,
- Flash test de chaque film photovoltaïque pour détermination de sa puissance crête, ramenée sous conditions STC : les résultats sont enregistrés. La tolérance sur la puissance maximum de sortie lors de la production des modules est de  $\pm 5\%$ ,
- Essai en traction des câbles électriques du film photovoltaïque,
- Contrôle de la polarité et de la tension électrique,
- Contrôle visuel des films photovoltaïques.

### 7.2 Fabrication des membranes et du module photovoltaïque

À réception des films photovoltaïques, un contrôle visuel est effectué pour s'assurer de la qualité de chaque cellule ainsi qu'un contrôle électrique pour vérifier les caractéristiques de chaque rouleau.

Les membranes sont fabriquées par alwitra® dans ses usines de Hermeskeil (Allemagne), certifiées EN ISO 9001 et ISO 14001 par l'organisme TÜV CERT.

Le mélange des matières premières homogénéisé en malaxeur est ensuite pressé dans une extrudeuse. Le mélange chaud alimente une calandre à 4 cylindres, qui produit une membrane homogène de 1,2 mm, 1,5 mm ou 1,8 mm d'épaisseur. Celle-ci reçoit ensuite :

- pour obtenir la membrane EVALON® V, le non-tissé polyester contrecollé à la sortie du 4<sup>ème</sup> cylindre,
- pour obtenir le panneau photovoltaïque « EVALON® V Solar », les films photovoltaïques collés à chaud en usine avec interposition d'un film hot-melt irréversible en EVA avec un débord de 5 mm sur la membrane « EVALON® V » d'épaisseur 1,8 mm (2,8 mm avec la sous-couche polyester). Ce collage est réalisé en différentes phases successives : mise sous vide, marouflage manuel permettant de contrôler l'absence de bulles d'air, montée en pression et en température assurant la liaison définitive du film photovoltaïque avec la membrane EVALON® V,
- pour obtenir la membrane EVALON® SKA, la couche auto-adhésive butyle appliquée chez un sous-traitant.

Le contrôle interne de fabrication est réalisé selon la norme EN 13956 sur les caractéristiques suivantes :

- en continu : état de surface ;
- 1 / équipe : épaisseur, poids, planéité, traction - allongement, retrait 80 °C ;
- 1 / mois : longueur, pliage à froid, soudure (joints) en traction et cisaillement.

Membrane EVALON® V Solar

Contrôles	Fréquence minimale
Contrôle optique : coloris, corps étranger,...	Chaque module EVALON® V Solar
Dimensions	Chaque module EVALON® V Solar
Equerrage et planéité	Chaque module EVALON® V Solar
Contrôle du plan de collage entre la membrane et les films photovoltaïques	Chaque mois
Résistance au pelage des films photovoltaïques sur la membrane	Chaque mois
Mesure de la polarité	Chaque module EVALON® V Solar
Fonctionnement électrique	Chaque module EVALON® V Solar
Tenue des câbles à la traction	Chaque mois
Marquage des modules EVALON® V Solar pour traçabilité	Chaque module EVALON® V Solar

Membrane EVALON® & EVALON® V

Contrôles	Fréquence minimale
aspect, absence de bulle ou de fissure	en permanence
épaisseur	en permanence
largeur	en permanence
masse volumique	chaque jour
planéité	chaque jour
résistance au pelage entre couches	chaque jour
variations dimensionnelles	chaque jour
force de traction et allongement	chaque semaine
coefficient d'élasticité	chaque semaine
composants extractibles (DHC)	tous les 6 mois

## 8. Mise en œuvre

### 8.1 Généralités

- Le système est livré avec un protocole de mise en œuvre, protocole de réception (cf. § 8.55) et un manuel d'installation électrique.

La mise en œuvre des panneaux doit être assurée par des professionnels de l'étanchéité et de l'électricité ayant les compétences suivantes :

- compétences en toiture : pose et mise en œuvre de systèmes d'étanchéité des toitures-terrasses,
- compétences électriques avec habilitations adéquates (cf. § 8.2 ci-dessous) : raccordement des modules, branchement aux onduleurs...
- L'emploi de dispositifs de sécurité (*harnais, ceintures, équipements, 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.
- En fin de journée ou en cas d'arrêt inopiné pour causes d'intempéries, l'ouvrage et la couche isolante sont mis hors d'eau comme suit (cf. figure 12) :
  - à l'aide d'une bande d'EVALON® SKA collée sur l'élément porteur ou le premier élément adhérent,
  - à l'aide d'une bande de membrane bitume BE 25 VV 50 soudée à cheval sur l'élément porteur ou le premier élément adhérent (imprégnation préalable par EIF) et sur le revêtement de partie courante.

Cette bande doit être déposée à la reprise des travaux.

### 8.2 Spécificités électriques

Afin de protéger les biens et les personnes, l'installation photovoltaïque doit répondre à la norme électrique NF C 15-100. La réalisation de l'installation devra, de plus, être effectuée conformément au guide UTE C15-712 et au Guide pratique à l'usage des bureaux d'études et installateurs sur les "Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens dans les installations photovoltaïques raccordées au réseau", édité par l'ADEME et le SER en décembre 2008.

Il est rappelé notamment que :

- les modules EVALON® V Solar produisent du courant électrique dès qu'ils reçoivent des rayons lumineux. Le courant produit par un seul panneau peut provoquer des décharges importantes,
- le contact direct avec des éléments sous tension peut provoquer des brûlures, secousses et autres dommages, que les modules photovoltaïques soient raccordés ou non au réseau électrique. Un dossier technique et des informations sur les risques sont expliqués et remis lors de la mise en route du chantier par un technicien de 3T-France,
- les intervenants amenés à réaliser les connexions entre modules doivent impérativement disposer d'une habilitation électrique BR au sens de la publication UTE C18-510 ou équivalente, et d'une expérience minimum de la mise en œuvre de modules PV,
- le professionnel étancheur ne doit jamais travailler dans une situation où les parties positives et négatives d'un champ PV de tension supérieure à 120 V DC sont accessibles simultanément,
- pour toute série de modules ayant une tension de circuit ouvert de plus de 120 V DC, il faut toujours tester la tension sur les composants avant de toucher quelque composant du système que ce soit. Si un risque de choc électrique résiduel est identifié, des pratiques de travail sous tension doivent alors être adoptées.

Le nombre maximum de modules pouvant être raccordés en série est limité par la tension DC maximum d'entrée de l'onduleur tandis que le nombre maximum de modules ou de séries de modules pouvant être raccordés en parallèle est limité par le courant DC maxi d'entrée de l'onduleur.

Il convient de ne raccorder en série que des modules photovoltaïques de même type et de mêmes caractéristiques électriques (coefficient de déperditions).

Les éléments des éventuels systèmes de paratonnerre doivent être éloignés des panneaux photovoltaïques conformément à la norme EN 62305 (étude spécifique nécessaire selon chantier).

### 8.3 Agencement et disposition du champ photovoltaïque

Pour chaque installation, le plan de calepinage est établi par 3T-France ou alwitra®, en fonction des ombres portées sur les toitures et des exigences du maître d'ouvrage.

Les membranes « EVALON® V Solar » peuvent être raccordées en parallèle et en série. La combinaison des deux types de raccordement a des conséquences sur la tension et l'intensité du champ photovoltaïque et détermine le choix de l'onduleur.

La mise en série des modules dépend principalement de l'implantation du bâtiment (ombrage), de la tension admissible des onduleurs et de la taille de la centrale photovoltaïque.

Les sections individuelles des câbles sont déterminées suivant les règles de la NF C 15-100, en prêtant une attention particulière aux contraintes de chute de tension entre le générateur photovoltaïque et l'onduleur.

Au delà des traversées de câble et des boîtes de raccordement, le choix et le dimensionnement des câbles doit respecter les règles de la NF C 15-100 suivant le mode de pose et la température ambiante du local. La chute de tension maximale en ligne doit être inférieure ou égale à 1%

### 8.4 Prescriptions relatives aux éléments porteurs

#### 8.4.1 Généralités

Les éléments porteurs doivent être conformes aux prescriptions des normes NF P 84-204 (DTU 43.1), NF DTU 43.3, et NF P 84-208 (DTU 43.5) ou à leurs Avis Techniques particuliers.

Les supports destinés à recevoir les revêtements d'étanchéité doivent être stables et plans, présenter une surface propre, libre de tout corps étrangers et sans souillure d'huile, plâtre, hydrocarbures, etc.

#### 8.4.2 Éléments porteurs en maçonnerie (locaux à faible et moyenne hygrométrie).

Sont admis les éléments porteurs conformes à la norme NF P 10-203 (DTU 20.12). La préparation des supports est effectuée conformément aux prescriptions de la norme NF P 84-204 (DTU 43.1) ou aux Avis Techniques particuliers.

Sont exclus les formes de pente en béton lourd ou léger, les voiles précontraints, les voiles minces (préfabriqués), les hourdis (creux) avec ou sans chape, les chauffages intégrés, les distributions électriques noyées et les planchers de type D.

Dans le cas de rénovation sans dépose du complexe d'étanchéité dont l'élément porteur à une pente inférieure à 3°, le recours à un isolant à forme de pente, bénéficiant d'un Document Technique d'Application (DTA) est nécessaire. Le DTA devra explicitement envisager la réalisation de pente  $\geq 3^\circ$  (cf. § 8.461).

#### 8.4.3 Éléments porteurs en dalles armées de béton cellulaire autoclavé (locaux à faible et moyenne hygrométrie).

Sont admises les dalles armées bénéficiant d'un Avis Technique favorable pour cet emploi.

Le support est mis en œuvre conformément aux "Conditions générales d'emploi des dalles de toiture armées en béton cellulaire autoclavé (cahier du CSTB 2192 d'octobre 1987).

#### 8.4.4 Éléments porteurs en tôle d'acier nervuré (TAN)

Sont admis les éléments porteurs en tôle d'acier nervuré conformes aux prescriptions de la norme NF DTU 43.3 ainsi que les éléments porteurs en tôle d'acier nervuré ayant une ouverture haute de nervure supérieure à 70 mm conformes au Cahier du CSTB 3537 de décembre 2005.

#### 8.4.5 Éléments porteurs en bois massif et panneaux dérivés du bois (locaux à faible et moyenne hygrométrie)

Sont admis les supports en bois massif et les panneaux dérivés du bois conformes aux prescriptions de la norme NF DTU 43.4 ou bénéficiant d'un Avis Technique favorable pour cet emploi.

La préparation des supports est effectuée conformément aux prescriptions de la norme DTU 43.4.

Elle comprend la mise en place systématique d'un isolant bénéficiant d'un DTA (cf. § 8.461). Dans le cas d'une toiture froide, l'épaisseur minimum de l'isolant est de 40 mm afin de placer les câbles.

### 8.46 Supports isolants thermiques non porteurs

Les revêtements d'étanchéité EVALON® et EVALON® V Solar n'apportent pas de limite à la résistance thermique des supports isolants.

Sont admis les panneaux isolants mentionnés ci-dessous, dans les conditions de leurs Documents Techniques d'Application (DTA) particuliers pour l'emploi considéré.

#### 8.461 Nature et mise en œuvre des isolants thermiques

Se référer aux *tableaux 1 et 2*

Seuls les isolants thermiques suivants, bénéficiant d'un Document Technique d'Application autorisant la pose sous revêtements apparents fixés mécaniquement doivent être utilisés sous la membrane EVALON® V SOLAR :

- la laine minérale nue de classe de compressibilité C d'épaisseur minimum de 80 mm.
- polystyrène expansé nu de classe de compressibilité B à 80°C (PSE)

Dans le cas d'utilisation de bac grande portée (série 106), la résistance en porte-à-faux maximum de l'isolant pour une épaisseur ramenée à celle de l'isolant rainuré (70 mm) doit être satisfaisante (se référer aux Document Technique d'Application de l'isolant employé).

Les panneaux d'isolants thermiques sont posés en quinconce, fixés conformément à leur DTA. Chaque panneau est au minimum fixé mécaniquement pour empêcher son déplacement lors de la mise en œuvre de la membrane, suivant les dispositions suivantes:

- par une fixation en son centre lorsque le panneau est traversé par une rangée de fixations de la membrane.
- par deux fixations, lorsque le panneau n'est pas traversé par une rangée de fixations de la membrane.

Dans le cas où la compression à 10% (norme NF EN 826) de l'isolant est inférieure à 100 kPa (cf. le tableau des caractéristiques spécifiées du DTA des panneaux isolants), les attelages de fixations mécaniques, éléments de liaison et plaquettes, doivent être du type « solide au pas » qui empêchent en service le désaffleurement de la tête de l'élément de liaison au dessus de la plaquette.

Cette disposition en quinconce est applicable aux travaux neufs, comme aux travaux de réfection. A cet égard, dans le cas où il existerait une couche isolante existante, et à moins que la contrainte à 10% de déformation de ce support isolant ne soit connue (norme NF EN 826), les attelages de fixation à employer doivent être également du type « solide au pas ».

#### 8.462 Composition du pare-vapeur

L'écran pare-vapeur est conforme à la NF P 84-204 (DTU 43.1), DTU 43.4, NF DTU 43.3 ou au Cahier du CSTB 2192 d'octobre 1987.

En cas de réfection, la norme NF-P 84-208 (DTU 43.5) s'applique, notamment en ce qui concerne la conservation de l'ancienne étanchéité comme écran pare-vapeur.

La composition et la mise en œuvre du pare-vapeur sont données dans le *tableau 2*.

#### 8.4.7 Supports constitués par d'anciens revêtements d'étanchéité.

Ce sont d'anciennes étanchéités type asphalte, base de bitume modifié ou bitume oxydé ou synthétique, mises en œuvre sur différents éléments porteurs (bois, maçonnerie, tôles d'acier nervurées, béton cellulaire ou supports isolants).

Les critères de conservation et de préparation de ces anciens revêtements pour leur réemploi comme support ou comme pare-vapeur sont définis dans la norme NF P 84-208 (DTU 43.5)

La réfection sur un ancien revêtement conservé sera complétée avec interposition de panneaux isolant supports répondant aux prescriptions du § 8.461 dont l'épaisseur minimum sera de 40 mm.

### 8.5 Mise en œuvre du revêtement

#### 8.5.1 Dispositions générales

La pose des modules EVALON® V Solar et des passages de câbles doit respecter le plan de calepinage, réalisé par 3T-France ou alwitra®, précisant :

- les bords de soudure « Main droite » et « Main gauche »,
- le bord de soudure sur le côté droit depuis la base du panneau « Main droite »,
- le bord de soudure sur le côté gauche depuis la base du panneau « Main gauche ».

Pendant la pose des panneaux photovoltaïques EVALON® V Solar, il convient de veiller aux points suivants :

- ne pas plier ou rouler les panneaux avec un rayon inférieur à 0,5 m.
- ne pas marcher sur les panneaux.
- ne pas mettre les films photovoltaïques en contact avec l'air chaud de l'automate de soudure ou avec des produits chimiques.

- ne pas poser de matériel et éviter toute chute d'objet sur les films
- protéger les panneaux photovoltaïques pour le temps nécessaire à la soudure des éléments.

Il convient également d'éviter de créer des « plis » lors de la pose. Pour cela, il convient de les dérouler avant de les fixer afin de libérer les contraintes en « lissant » les éléments, particulièrement par des températures peu élevées (aux 1ères heures le matin par exemple).

Si des plis devaient être visibles, il conviendra de tempérer les éléments voire de suspendre la mise en œuvre. Les plis ne pourront pas être éliminés après la fixation des éléments.

Les compositions des complexes sont indiquées *aux tableaux 1 et 2*.

L'ÉVALON® V Solar ne doit être posé qu'en partie courante de toiture présentant une pente supérieure ou égale à 3°. Toutes les autres parties non revêtues de photovoltaïques (partie courante, zones techniques, points de singuliers) doivent être traitées avec les membranes spécifiques ÉVALON® V, ÉVALON® ou ÉVALON® SKA.

ÉVALON® V Solar doit être mis en œuvre avec une température supérieure à + 5°C.

Par une température comprise entre + 5°C et + 10°C, il convient de stocker les panneaux dans un local chauffé (température > 10°C) et procéder à une mise en température préalable à la pose, par exposition au soleil avant mise en place et fixation à l'élément support.

En fin de chantier, le nettoyage des modules ÉVALON® V Solar se fait à l'eau en utilisant un chiffon non abrasif. Aucun autre détergent ne doit être employé.

## 8.52 Mise en œuvre en partie courante.

### 8.521 Généralités

Les opérations de pose des membranes, mise en place des câbles, fixation mécanique et soudure précisées ci-après, s'effectuent à l'avancement.

Toute zone non recouverte de modules photovoltaïques ÉVALON® V Solar doit être traitée en membrane ÉVALON® V. La membrane ÉVALON® V Solar ne doit pas être disposée à moins de 50 cm des relevés.

Dans le cas d'élément porteur en tôles d'acier nervurées (TAN), les lés sont déroulés perpendiculairement aux nervures des TAN.

### 8.522 Pose des membranes (figures 8 à 10)

Les membranes sont déroulées sans tension, à recouvrements longitudinaux de 11 cm (ÉVALON® V Solar et ÉVALON® V) (figure 8). Une ligne repère tracée du bord des rouleaux de la membrane, guide le recouvrement usine à 11 cm.

Les recouvrements transversaux sont de 5 cm, décalés entre eux d'au moins 30 cm en cas de recouvrement en T (cf. figure 10), et pontés au moyen d'une bande d'ÉVALON® de 16 cm positionnée à cheval sur les recouvrements et soudée conformément aux indications du § 8.525 :

Lors de la superposition de trois membranes, les lisières sont chanfreinées pour éviter la formation de canaux capillaires (cf. figure 10).

Les membranes d'étanchéité ÉVALON® V Solar et ÉVALON® V s'assemblent entre elles à l'avancement de façon homogène et étanche, à l'air chaud. Les surfaces à assembler doivent être sèches, propres, exemptes de résidus de colle.

### 8.523 Mise en place des câbles.

Les câbles ne doivent en aucune façon être pliés ou leur gaine isolante endommagée.

Il faut veiller à ne pas brider les câbles présents sous les panneaux. Avant la fermeture de la toiture, vérifier que les câbles disposent d'une marge de mouvement qui évite les sollicitations trop fortes par vent fort par exemple.

Afin de ne pas avoir les boîtes et les câbles apparents, il faut procéder à des rainures dans l'isolant, espacées d'au moins 7 cm (afin de garder une compressibilité de l'ensemble satisfaisante) à l'aide de l'outil spécifique disponible sur commande (rainette de rainurage alwitra® présentée en figure 7) :

- d'une largeur d'environ 1,5 cm et d'une profondeur d'environ 1 cm pour les câbles,
- et d'environ 7 x 11 cm avec une profondeur de 1,5 cm pour les boîtes de connexion.

Les câbles sont ramenés en bout des lés vers les traversées de câbles qui seront positionnées au niveau des zones de recouvrement.

La mise en place des traversées de câble nécessite la création d'une réservation de 6 cm<sup>2</sup> dans l'élément porteur (TAN et bois), à l'aide d'une scie cloche (ø mini 50 mm) ou par carottage (maçonnerie, béton), ainsi que dans le pare-vapeur. Une saignée d'environ 30 x 30 cm est réalisée dans l'isolant. L'isolant découpé est conservé pour être reposé ultérieurement sur le passage de câble.

La pièce destinée à la traversée des câbles est ensuite mise en place. Il est possible de prévoir la mise en œuvre, sous cette pièce, d'un platelage en tôle d'acier plane d'épaisseur supérieure ou égale à 0,5 mm fixé sur l'élément porteur et conforme à la norme NF DTU 43.3 au droit des traversées de câbles.

Les câbles sont introduits via le presse-étoupe. Afin d'assurer une traversée étanche des câbles, il convient d'utiliser exclusivement les éléments livrés ou préconisés par 3T-France ou alwitra®, y compris les vis de fixation (§ 3.1). Pour faciliter le passage des câbles, il est possible d'utiliser un lubrifiant à base de glycérine. Ne jamais utiliser de produits contenant de la silicone.

Seules 4 paires de câbles (+/-) peuvent être regroupées sur un passage de câble. Dans le cas d'un nombre inférieur à 4 paires, il faut veiller à utiliser en priorité les trous déjà traversant.

Les espaces créés dans l'élément porteur et le pare-vapeur sont à reboucher à l'aide du joint compressible de la pièce destinée au passage des câbles sur une largeur d'environ 4 cm.

Les câbles des différents modules photovoltaïques sont identifiés et sont raccordés en série au boîtier de raccordement. Ils doivent être conduits vers les passages de câbles conformément au plan de montage réalisé.

L'isolant prélevé pour créer le passage de câble doit être remis en place et fixé mécaniquement au support. Une attention particulière sera portée à ne pas endommager les câbles.

## 8.524 Fixation mécanique

### 8.5241 Éléments de fixations mécaniques.

Se référer au chapitre § 3.1 et figure 11.

### 8.5242 Densité des fixations

La densité et la répartition des fixations sont calculées en fonction des actions du vent, par référence :

- aux règles NV65 modifiées, en vent extrême.
- aux dispositions du Groupe Spécialisé n°5 en matière de résistance au vent (Cahier du CSTB 3563 de juin 2006) avec une densité minimale de 3 fixations/m<sup>2</sup>, et 18 cm d'entraxe minimum entre deux fixations, et sur un bac acier un entraxe maxi de deux fois la plage du bac.

3T-France effectue systématiquement les calculs des densités. Néanmoins, des tableaux de densités ont été pré-calculés pour les bâtiments de dimensions courantes ouverts ou fermés dont les dimensions respectent les conditions suivantes :

- hauteur  $h \leq 0,5 a$  ( $a$  = longueur).
- flèche  $\leq 0,5 h$  dans le cas des versants plans.
- flèche  $\leq 0,66 h$  dans le cas des versants courbes. Conduisant à un coefficient d'élanement,  $\gamma_0 = 1$  selon règles NV65.
- pour la répartition des fixations, on distingue différentes localisations en toiture (cf. tableau 3).

Ces calculs intègrent la charge dynamique admissible (Wad) 700 N pour la membrane ÉVALON® V Solar et 500 N pour la membrane ÉVALON® V pour une fixation de référence dont la résistance caractéristique (Pk) est au moins égale à 1450 N, avec plaquette 82 x 40 d'épaisseur 1 mm selon la norme NF P 30-313.

A partir de la densité de fixations (Annexe B tableaux 1 à 4), se reporter aux tableaux 1 et 2 en annexe A qui donnent, en fonction de la largeur nominale des lés, l'intervalle "f" entre deux fixations. Cet intervalle "f" ne peut pas toujours être respecté sur TAN. Dans ce cas, si une fixation tombe dans un creux d'onde, reporter celle-ci sur l'onde précédente et reprendre ensuite le rythme théorique de fixation.

- Annexe A et B: dispositions simples.
- Pour une résistance caractéristique plus faible, voir la règle d'adaptation du cahier du CSTB 3564 avec l'assistance technique de 3T-France.

### 8.5243 Fixations complémentaires

La membrane ÉVALON® V est fixée en pied de relevés de tous les reliefs et émergences, par des fixations ponctuelles, distantes de 25 cm au maximum, ou par fixation linéaire au moyen d'une cornière en tôle plastée, préalablement fixée au support à raison d'une fixation tous les 25 cm (en quinconce dans le cas d'une cornière). La membrane ÉVALON® V de la partie courante est alors soudée sur la tôle colaminée ÉVALON®.

## 8.525 Soudures

La soudure s'effectue en passant la buse à air chaud (d'un appareil automatique ou manuel défini au § 3.9) entre les bords à assembler. La température de l'air distribué doit être réglée pour qu'à la vitesse de progression pratiquée, il n'y ait ni combustion du matériau (qui se manifesterait par un dégagement de fumée noire), ni fusion insuffisante (qui se manifesterait par un manque d'adhérence). La largeur minimale de soudure effective est de 30 mm.

La soudure devra être réalisée à l'aide d'un automate (figure 6) en respectant une vitesse d'avancement ne dépassant pas 2,5 m/min et avec une température comprise entre 470° et 570°C.

Lorsque la soudure est effective, toutes les soudures doivent être soigneusement contrôlées, avec une pointe sèche métallique déplacée le long de la jonction. Les défauts sont notés au passage, puis réparés, éventuellement par empîement.

La finition n'est pas obligatoire, sauf en pente nulle pour la membrane EVALON® V en maçonnerie. Un cordon d'EVALON® liquide (10 g/m environ) est alors déposé le long de la jonction, après autocontrôle et le jour même. EVALON® liquide ne doit pas être utilisé avec la membrane EVALON® V Solar.

### 8.53 Relevés

Les hauteurs de relevés sont celles prescrites par les normes NF P 10-203 (DTU 20.12), NF P 84-204.1, DTU 43.3, DTU 43.4 et NF P 84-208 (DTU 43.5) dans chaque cas. Les règles d'utilisation des costières métalliques selon ces normes (DTU) s'appliquent également. Un dispositif écartant les eaux de ruissellement conforme à ces normes (DTU) est obligatoire en tête des relevés.

Les relevés sont réalisés à l'aide des membranes EVALON®, EVALON® V ou EVALON® SKA, en bandes distinctes des membranes de la partie courante.

Des pièces d'angles préformées en EVALON® sont fournies pour la réalisation des angles rentrants et sortants.

Les membranes EVALON® V sont positionnées (dans la longueur du rouleau) avec un talon de 10 cm sur la partie courante et un recouvrement de 1 cm en about de lés. Puis les recouvrements sont soudés, selon les indications du § 8.525.

Les relevés inférieurs ou égaux à 50 cm sont libres et fixés mécaniquement en tête (bande de serrage) ou soudés en tête sur une tôle plastée EVALON® (fixée tous les 33 cm au plus), ou placés sous un profil liaisonné à la structure (voir figures 14, 15 et 16) relevant de la procédure de l'Avis Technique. Les relevés peuvent aussi être collés, avec la colle L 40, et toujours fixés mécaniquement en tête.

L'étanchéité à l'air de la tête de relevé est renforcée par un joint mousse mis en place avec le profil de finition de rive.

Pour traiter les relevés, se reporter également au Cahier du CSTB 3502.

### 8.54 Ouvrages particuliers

#### 8.541 Noues

Elles sont réalisées de manière identique aux parties courantes avec la membrane EVALON® V. Il convient de respecter le plan de calepinage établi par 3T-France ou alwitra® et respecter une distance minimum de 1 m entre la noue centrale ou de rives et les premiers films photovoltaïques des membranes EVALON® V Solar.

#### 8.542 Entrées d'eaux pluviales pénétrations, trop-pleins

##### 8.5421 Généralités

Ces ouvrages sont réalisés conformément aux dispositions des normes NF P 84-204 (DTU 43.1), NF DTU 43.3, NF DTU 43.4 et NF P 84-208 (DTU 43.5) concernées et complétées par le Fascicule du CSTB 3502 d'avril 2004.

##### 8.5422 Dispositions particulières

- Entrées d'eaux pluviales (EEP) en travaux neufs :  
Les raccordements aux tuyaux de descente et aux canalisations s'effectuent au moyen d'une pièce en EVALON® selon le type de dispositif utilisé (moignon ou tronconique) ou avec des éléments préfabriqués en usine (cf. figure 13).
- Entrées d'eaux pluviales (EEP) en travaux de réfection :  
Une EEP en PVC rigide fournie par alwitra®, en remplacement de l'ancienne entrée, est fixée mécaniquement à l'élément porteur, avec une platine en EVALON® soudée sur le tube et la membrane de la partie courante.
- Conduits de ventilation en travaux neufs ou de réfection :  
Un conduit préfabriqué en PVC rigide, fourni par alwitra®, est fixé mécaniquement à l'élément porteur, avec une collerette en EVALON® soudée sur le tube et la membrane de la partie courante ou avec des éléments préfabriqués en usine. (cf. figure 14)
- Conduits de ventilation en travaux de réfection :
  - le conduit existant et habillé avec une membrane EVALON® collée en plein avec la colle L 40 avec collier de serrage et finition par mastic et une collerette en EVALON® soudée sur le tube et la membrane de la partie courante (cf. figure 13),
  - trop-pleins : Un conduit préfabriqué en PVC rigide, est fixé mécaniquement à l'élément porteur, avec une platine en membrane EVALON® soudée sur le tube et la membrane de la partie courante.

### 8.543 Joints de dilatations

Les joints de dilatation sur relevés sont exécutés conformément aux dispositions de la norme (DTU) concernée, complétées par le Fascicule du CSTB 3502 d'avril 2004, selon le principe des acrotères. Ils sont réalisés en joints saillants avec un couronnement métallique ou en béton ; sur costières métalliques ils sont traités comme des relevés (cf. figure 16).

### 8.55 Protocole de réception.

Un numéro de série identifiant chaque module EVALON® V Solar (2 étiquettes par panneau) doit être reporté sur le protocole de réception en relation avec la traversée de câble à laquelle il est affecté. Complété par l'étancheur, il est transmis à l'entreprise en charge du raccordement électrique.

## 9. Assistance technique et formation

L'assistance technique est assurée par la société 3T-France. Elle est systématique pour chaque chantier EVALON® V Solar. Elle consiste en :

- une préconisation complète d'un système le mieux adapté à l'ouvrage,
- un monitoring sur chantiers,
- l'établissement d'un rapport pour chaque visite, pour les entreprises en charge du chantier.

Elle porte également sur :

- la réalisation de plans de calepinage et de composition de la centrale photovoltaïque à réaliser.
- la réalisation d'une étude de densité de fixations selon les caractéristiques du chantier.

Cette assistance technique est précédée de quelques jours de formation de la main d'œuvre au cours de stages spécialisés (poseurs-encadrement). Elle peut être dispensée soit dans les locaux de l'entreprise d'étanchéité, soit dans le centre de formation de Trèves (Allemagne), cours en français.

A l'issue de cette formation et de la vérification d'aptitude sur chantier, un certificat nominatif de durée limitée est remis au stagiaire.

## 10. Entretien et réparation

### 10.1 Entretien

L'entretien est conforme à celui des normes NF P 84-204 (DTU 43.1), NF DTU 43.3, NF DTU 43.4 et NF P 84-208 (DTU 43.5).

Les toitures intégrant des modules EVALON® V Solar doivent faire l'objet d'une inspection et d'un contrat d'entretien périodique.

Une inspection annuelle de l'état des soudures (contrôle visuel) y compris des modules PV ainsi que des éléments de liaison électriques devra être réalisée et faire l'objet d'un rapport de visite.

Au minimum deux fois par an il faudra veiller à :

- dégager les dépôts présents sur l'ensemble de la surface.
- nettoyer les panneaux photovoltaïques à l'eau.
- nettoyer les évacuations d'eau pluviales et autres sorties de toiture.

### 10.2 Réparation

#### 10.21 Partie revêtue de photovoltaïque

Toute intervention sur les modules EVALON® V Solar ou sur un élément de l'installation électrique doit être confiée à une entreprise d'électricité qualifiée. Elle doit être réalisée après mise hors circuit de l'installation : déconnection des liaisons électriques en débutant par la liaison courant alternatif puis par la liaison au courant continu (onduleur).

#### 10.22 Partie non revêtue de photovoltaïque

En cas de blessure accidentelle, le revêtement d'étanchéité peut être facilement réparé, après nettoyage de la membrane dans la zone concernée, par des pièces de membrane EVALON® découpées de forme appropriée (5 cm en périphérie plus grande que la blessure) et soudées selon les indications du § 8.525.

Des réparations peuvent être nécessaires en cas de dommages pouvant entraîner une diminution des performances d'étanchéité et/ou de production électrique du système EVALON® V Solar. Les blessures des cellules photovoltaïques doivent faire l'objet d'une évaluation par un technicien 3T-France ou alwitra® qui déterminera si la cellule peut être réparée où doit être remplacée.

Dans le cas du remplacement d'un panneau photovoltaïque EVALON® V Solar, les câbles électriques du panneau sont sectionnés, un manchon serti (réf. Klauke n°20R) fait la connexion entre les câbles du nouveau panneau et ceux existant. Une double isolation par gaine thermo-rétractable (réf. 3M GTI 6,4/3,2 et 3M HDT-A 12/3) vient se superposer sur l'ensemble avec un débord minimum de 3 cm de chaque côté du raccord.

Le panneau endommagé doit être remplacé dans son intégralité par découpe et mise en place d'un nouveau panneau. Ce dernier sera fixé mécaniquement en lisière selon les densités de fixations établies pour le chantier. La continuité de l'étanchéité sera assurée par la pose d'une bande de pontage de largeur 0,16 m sur la périphérie du panneau. Les câbles du

nouveau panneau seront renvoyés vers le boîtier de raccordement via la traversée de câble.

Dans le cas de complément de fixations et/ou de remplacement de celles-ci, il faudra veiller à ne pas endommager les câbles qui sont présents sous la membrane, en particulier à ne pas endommager les gaines de protection.

La remise en route du système EVALON® V Solar doit respecter la séquence suivante :

- Interrupteur sectionneur DC en 1<sup>er</sup>.
- Interrupteur sectionneur AC en 2<sup>nd</sup>.

## B. Résultats expérimentaux

Les essais ont été exécutés selon le Guide UEATC, spécifique aux membranes d'étanchéité à base de PVC plastifié. Ils ont fait l'objet de comptes-rendus suivants :

### Rapports d'essais sur matériau EVALON® V

- du SKZ (D-Würzburg) n° 64533/04-I du 20/02/2004, résistance à la grêle sur EVALON® V (norme EN 13583),
- du SKZ (D-Würzburg) n° 64533/04-III du 20/07/2004, résistance à la grêle sur EVALON® V (norme EN 13583).
- Rapport du MPA-Darmstadt :
  - n° K 05 1613.1 du 4/10/2005 pour la membrane EVALON® V, résultats d'essais selon les normes EN 13956,
  - n° K 04 1631 du 17/11/2004, contact avec le bitume (norme prEN 13956).
- Rapport d'essais de IFI (Aachen – Allemagne) n° 15/03 du 14/03/03 & 22/01 du 06/12/2001 sur la tenue à l'arrachement sous l'action du vent.
- Rapport d'essais du CSTB « Résistance au poinçonnement statique et Résistance au poinçonnement dynamique de l'EVALON® SKA et de l'EVALON® V », n° TO05-010 du 23/02/2005.
- Rapport européen de réaction au feu « EVALON® V » du MFPA Leipzig GmbH n° KB III/B-05-009 du 3/3/05, euroclasse E pour des lés de différentes couleurs – épaisseurs 2,2 à 2,5 mm - masse surfacique 1,57 kg/m<sup>3</sup> à 2,10 kg/m<sup>3</sup>.

- Relevé des contrôles du MPA-Darmstadt (D), période 1998 à 2003.
- Agrément Certificate n° 96/3293 du 26 /07/01 du British Board of Agrément (BBA).
- Rapport d'essai Warrington Fire Gent n°12 604 B du 9/03/07 de classement au feu extérieur B roof t (3)

### Rapports d'essais sur matériau EVALON® V Solar

- Certificat de conformité IEC 61646 du TÜV Rheinland n° 21209795-01 du 16 juin 2009.
- Certificat de conformité IEC 61730 du TÜV Rheinland n° 21209795-02 du 16 juin 2009.
- Rapport d'EURO-COMPOSITES (Luxembourg) selon EN 61646 sur la tenue à l'humidité-chaleur (Damp Heat).
- Rapport d'essai du TÜV Rheinland n° 435/129675 de 01/09/1999 selon EN 61646 sur la tenue à l'humidité et au gel.
- Rapport d'essai du CTW (Hermeskeil – Allemagne) de comportement au pliage à froid selon EN 495-5 du 29/11/06.
- Rapport d'essai du CTW (Hermeskeil – Allemagne) de tenue au pelage selon la norme EN 12316-2.
- Rapport d'essais de IFI (Aachen – Allemagne) n° 12/07 du 20/09/07 & n°24/08 du 02/07/08 sur la tenue à l'arrachement sous l'action du vent.
- Rapport d'essai TÜV (Allemagne) n° 435 / 122 754 B & 21209068 du 15/02/08 sécurité Classe II du 10/04/02.
- Rapport d'essai Warrington Fire Gent n°12 604 B du 9/03/07 de classement au feu extérieur B roof t (3)
- Rapport d'essai du CTW (Hermeskeil – Allemagne) de tenue au pliage après vieillissement selon EN 12316-2 du 16/05/09

## C. références

La membrane EVALON® V est commercialisée en France depuis plus de 20 ans, représentant une surface de 220 000m<sup>2</sup> (environ). Lorsqu'il posé en adhérence, ce système fait l'objet d'un Document Technique d'Application depuis 2007 (5/07-1957).

EVALON® V Solar est commercialisé en France depuis 2005, représentant plus de 100 chantiers et 50 000 m<sup>2</sup>.

# Tableaux et figures du Dossier Technique

Tableau 1 – Composition du système des revêtements EVALON® V Solar et EVALON® V en fonction de l'élément porteur.

REVETEMENTS APPARENTS pour toiture inaccessible*				
Elément porteur		Pente	Supports directs	Complexes
Maçonnerie A,B,C, (conforme au DTU 20.12) Béton cellulaire	EVALON® V Solar	≥ 5,24% <sup>(3)</sup>	Laine minérale nue (MW) d'épaisseur minimum 80mm classe de compressibilité C Polystyrène expansé nu (PSE) de classe de compressibilité B à 80°C	Ecran pare-vapeur <sup>(2)</sup> Isolant thermique EVALON® V Solar
	EVALON® V	0% ou = 1% <sup>(1)</sup>	Laine minérale nue, classe de compressibilité C (MW) Polyuréthane (PUR) Polyisocyanurate (PIR) Polystyrène expansé (PSE)	Ecran pare-vapeur <sup>(2)</sup> Isolant thermique EVALON® V
Elément porteur en tôle d'acier nervurée (TAN)	EVALON® V Solar	Conformes à la norme NF DTU 43-3 ≥ 5,24% <sup>(3)</sup>	Laine minérale nue (MW) d'épaisseur minimum 80mm classe de compressibilité C Polystyrène expansé nu (PSE) de classe de compressibilité B à 80°C	Ecran pare-vapeur <sup>(2)</sup> Isolant thermique EVALON® V Solar
	EVALON® V	Conformes à la norme NF DTU 43-3	Laine minérale nue, classe de compressibilité C (MW) Mousse résol Polyisocyanurate (PIR)	Ecran pare-vapeur <sup>(2)</sup> Isolant thermique EVALON® V
Bois et Panneaux dérivés du bois	EVALON® V Solar	Conformes à la norme NF DTU 43-4 ≥ 5,24% <sup>(3)</sup>	Laine minérale nue (MW) d'épaisseur minimum 80mm classe de compressibilité C Polystyrène expansé nu (PSE) de classe de compressibilité B à 80°C	Ecran pare-vapeur <sup>(2)</sup> Isolant thermique EVALON® V Solar
	EVALON® V	Conformes au DTU 43.4	Laine minérale nue, classe de compressibilité C (MW) Polyuréthane (PUR) Polyisocyanurate (PIR) Polystyrène expansé (PSE)	Ecran pare-vapeur <sup>(2)</sup> Isolant thermique EVALON® V
Tous	EVALON® V Solar	Conforme aux DTU série 43 ≥ 5,24% <sup>(3)</sup>	Ancien revêtement Laine minérale nue (MW) 40mm	Isolant thermique EVALON® V Solar
	EVALON® V	Conformes aux DTU série 43	Ancien revêtement	Isolant thermique EVALON® V

<sup>(1)</sup> La pente minimale est celle du DTU 43-1 soit 0%, ou des conditions générales d'emploi des dalles en béton cellulaire auto-clavé armé soit ≥ 1%.

<sup>(2)</sup> Pare-vapeur suivant la définition des normes NF DTU série 43, les conditions générales d'emploi des dalles en béton cellulaire auto-clavé armée, en polyéthylène ≥ 0,25mm (FDT cf. *tableau 2*). L'ancienne étanchéité bitumineuse contrôlée et conservée dans le cas de rénovation.

\* L'utilisation de la membrane EVALON® V est possible en zone technique pour des pentes comprises entre 0% et 5%.

<sup>(3)</sup> obligatoire pour la membrane EVALON® V Solar. Cette pente peut être complétée par l'utilisation d'isolant à forme de pente si l'élément porteur est de pente <3°.

**Tableau 2 – Mise en œuvre du pare-vapeur (locaux à faible et moyenne hygrométrie).**

Éléments porteurs	Pare vapeur avec EAC (DTU ou Avis Technique)	Pare vapeur sans EAC
Maçonnerie <sup>(1)</sup>	EIF + EAC + BE 25 VV 50	EIF + BE 25 VV 50 <sup>(2)</sup>
Béton cellulaire autoclavé <sup>(1)</sup>	Voir Avis Techniques correspondants et « Conditions générales »	EIF + bitume élastomérique 35 soudé <sup>(2)</sup> sur écran perforé
Tôles d'acier nervurées <sup>(1)</sup>	Voir norme NF DTU 43-3	Voir norme NF DTU 43-3
Bois et panneaux dérivés du bois <sup>(1)</sup>	BE 25 VV 50 cloué + EAC ; voir norme NF DTU 43-4	BE 25 VV 50 cloué, joints soudés <sup>(2)</sup>
<sup>(1)</sup> Préparation des supports suivant § 3.1 du Dossier Technique.		
<sup>(2)</sup> Les joints du pare-vapeur bitumineux sans EAC sont soudés sur 6 cm au minimum.		

**Tableau 3 – Localisation des éléments de fixations.**

Zones de toiture	Localisation	Largeur des zones
1	Parties courantes	
2	Rives y compris au droit d'un mur en surplomb	Sur une largeur de 1/10 <sup>ème</sup> de la hauteur sans être inférieure à 2m.
3	Angles	Définis comme la rencontre de deux rives
4	Pieds d'émergences ponctuelles(*) :	Sur une largeur de 1m
	- de hauteur $\geq 1m$ et dont une des dimensions en plan est $\geq 1m$	
5	- autres émergences	Renfort en pied de relevé
La toiture d'une émergence est traitée comme un élément distinct (toiture ascenseur)		

Tableau 4 - Caractéristiques des membranes EVALON® V et EVALON® V Solar

Propriétés	Référentiel	EVALON® V	EVALON® V Solar
		Valeur	Valeur (membrane)
Épaisseur (mm) (1)	EN 1849-2	2,2 ou 2,5 (respectivement 1,2 /1,5 sans le feutre)	2,8 (1,8 sans le feutre)
Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> ) :	EN 1849-2	1 660	2 360
- membrane, - polyester en sous-face (g/m <sup>2</sup> ).		160	160
Contrainte maximale de traction (N/50mm)	EN 12311-2 (A)	≥ 500	≥ 500
Allongement à la charge maximale (%)	EN 12311-2 (A)	≥ 70	≥ 60
Résistance à la fatigue	Cahier du CSTB 2358	F5	F5
Résistance au poinçonnement statique	P 84-352	L4	L4
Résistance au poinçonnement dynamique	P 84-353	D3	D3
Tenue à la température	Cahier du CSTB 2358	T4	T4
Résistance au poinçonnement statique - méthode A sur polystyrène expansé 20 kg/m <sup>3</sup>	EN 12730	L5	L5
Résistance aux chocs	EN 12691 : 2006	≥ 300mm	≥ 300mm
Résistance à la grêle (m/s)	EN 13583	> 30	> 30
Stabilité dimensionnelle (%)	EN 1107-2	sens L : < 0,5 - sens T : < 0,2	sens L : < 0,5 - sens T : < 0,2
Pliage à froid (°C)	EN 495-5	- 30°	- 30°
Comportement au contact bitumes	EN 1548	Compatible bitume (2)	Compatible bitume (2)
Coefficient de diffusion de vapeur d'eau (valeur μ)	Guide UEAtc (1991)	< 20 000	< 20 000
Réaction au feu (euroclasse)		E (2)	E (2)
Utilisation		Partie courante, relevés	Partie courante
(1) Tolérances : ± 5 % (moyenne) ± 10 % (valeur individuelle).			
(2) Cf. § B.			

Tableau 5 - Caractéristiques des autres membranes

Propriétés	Référentiel	EVALON®
		Valeur
Épaisseur (mm) (1)	EN 1849-2	1,2 ou 1,5
Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	EN 1849-2	1 500
Contrainte maximale de traction (N/mm <sup>2</sup> )	EN 12311-2 (B)	≥ 12,5
Allongement à la rupture (%)	EN 12311-2 (B)	≥ 300
Résistance à la grêle (m/s)	EN 13583	> 40
Stabilité dimensionnelle (%)	EN 1107-2	sens L : < 1,0 sens T : < 0,1
Pliage à froid (°C)	EN 495-5	- 30°
Comportement au contact bitumes	EN 1548	Compatible bitume (3)
Coefficient de diffusion de vapeur d'eau (valeur μ)	Guide UEAtc	< 20 000
Utilisation		Accessoires (pièces d'angles, EEP), bandes de pontage, habillage tôle plastée, relevés
(1) Tolérances : ± 5 % (moyenne) ± 10 % (valeur individuelle).		
		EVALON® SKA (propriétés identiques à l'EVALON® V)
Utilisation		Relevés
(1) Tolérances : ± 5 % (moyenne) ± 10 % (valeur individuelle).		

**Tableau 6 – Attelages de fixations mécaniques en périphérie – membrane EVALON® V - Pk= 1450 N**

Support	Éléments de fixations
Maçonnerie	Société SFS Intec Vis TI Ø 6,3 mm et plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Rivet TPR Ø 6,3 mm plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Clou Spike Ø 4,8 mm et plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Société LR Étanco Cheville clou NAILFIX CH Ø 4,2mm et plaquette 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis BETOFAST Ø 6,6 mm et plaquette 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON®
Béton cellulaire autoclavé armé	Société SFS Intec Vis IGR - S Ø 8 mm plaquette IG8-C 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Société LR Étanco Vis MULTIFAST TB 3C Ø 6 mm et plaquette 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON®
Tôles d'acier nervurées	Société SFS Intec Vis IR2-C ou S Ø 4,8 mm plaquette IRC/W 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis IR3 Ø 4,8mm plaquette IR 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis IT2C ou S Ø 4,8 mm plaquette IRC/W 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Rivet TPR Ø 6,3 mm plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis VR Ø 4,8 mm plaquette PR 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis IF2 Ø 4,8 mm plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Société LR Étanco Vis EVF 2C Ø 4,8 mm et plaquette 82 × 40 R SC ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis EHBDF 2C Ø 4,8 mm et plaquette 82 × 40 RDF ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis EVDF 2C Ø 4,8 mm et plaquette 82 × 40 R DF ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis VMS 2C Ø 4,8 mm et plaquette 82 × 40 R DF ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis EGB 2C Ø 4, 8 mm et plaquette Étancoplast T 80 × 40 ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis ISODRILL Ø 4,8 mm et plaquette 82 × 40 R DF ou cornière en tôle colaminée EVALON®
Bois et panneaux dérivés du bois	Société SFS Intec Vis IG Ø 6 mm plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis IWT Ø 5 mm plaquette IRC/W 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Rivet TPR Ø 6,3 mm plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Société LR Étanco Vis EVF 2C Ø 4,8 mm et plaquette 82 × 40 R SC ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis EVDF 2C Ø 4,8 mm et plaquette 82 × 40 RDF ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis MULTIFAST TF Ø 6 mm et plaquette 82 × 40 R ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis IG Ø 6 mm plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Vis IW T Ø 5 mm plaquette IRC/W 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON® Rivet TPR Ø 6,3 mm plaquette IRD 82 × 40 mm ou cornière en tôle colaminée EVALON®

Tableau 7A – Fixations mécaniques de partie courante – membrane EVALON® V Solar

Support	Éléments de fixations	
Maçonnerie	<u>Sté SFS Intec</u> SPIKE DT-S Ø 6,3 mm + plaquette IRD 82 x 40	Pk 1000 N
Béton cellulaire	<u>Sté SFS Intec</u> Vis IGR S Ø 8 mm + plaquette IG8-C 82 x 40	Pk 1110 N
	<u>Sté Etanco</u> Vis MULTIFAST TB inox Ø 6 et plaquette 82 x 40 R Vis MULTIFAST TB DF inox Ø 6 et plaquette 82 x 40 R	Pk 1250 N Pk 1250 N
Tôles d'acier nervurées plein	<u>Sté SFS Intec</u> Vis IR2- S Ø 4,8mm + plaquette IR 82 x 40	Pk 1547 N
	<u>Sté Etanco</u> Vis ISODRILL TH DF Ø 4,8mm et plaquette 82 x 40 R Vis ISODRILL TT Ø 4,8 et ETANCOPLAST 82 x 40 et Ø 50	Pk 1550 N Pk 1550 N
Tôles d'acier nervurées, perforées ou crevées	<u>Sté SFS Intec</u> Vis BS S Ø 6,7 mm + plaquette TPS 82 x 40 , dans bac crevé Vis BS S Ø 6,7 mm + plaquette TPS 82 x 40 , dans bac perforé	Pk 2040 N Pk 2410 N
	<u>Sté Etanco</u> Rivet PER Ø 4.8 mm avec plaquette 82 x 40 R	Pk 1550 N
Bois et panneaux dérivés du bois	<u>Sté SFS Intec</u> Vis IR2- S Ø 4,8mm + plaquette IR 82 x 40,dans sapin 25mm Vis BS S Ø 6,7 mm + plaquette TPS 82 x 40, dans Ctbx 18 mm	Pk 2590 N Pk 2970 N
	<u>Sté Etanco</u> Vis MULTIFAST TF inox Ø 6 et plaquette 82 x 40 R	Pk 2100 N

Tableau 7B – Fixations mécaniques de partie courante – membrane EVALON® V - Pk=1450 N

Support	Éléments de fixations
Maçonnerie	<p><u>Sté SFS Intec</u>                      Vis TI Ø 6,3mm et plaquette IRD 82 x 40                      Rivet TPR Ø 6,3mm plaquette IRD 82 x 40                      Clou Spike Ø 4,8mm et plaquette IRD 82 x 40</p> <p><u>Sté Etanco</u>                      Cheville clou NAILFIX CH Ø 4,5mm et plaquette 82 x 40 R SC                      Vis BETOFAST TH 3 C Ø 6,6 mm et plaquette 82 x 40 R</p>
Béton cellulaire	<p><u>Sté SFS Intec</u>                      Vis IGR S Ø 8 mm plaquette IG8-C 82 x 40</p> <p><u>Sté Etanco</u>                      Vis MULTIFAST T.B inox Ø 6mm et plaquette 82 x 40 R</p>
Tôles d'acier nervurées	<p><u>Sté SFS Intec</u>                      Vis IR2-C ou S Ø 4,8mm plaquette IRC/W 82 x 40 Vis IR3 Ø 4,8mm plaquette IR 82 x 40                      Vis IT2-C ou S Ø 4,8mm plaquette IRC/W 82 x 40                      Rivet TPR Ø 6,3mm plaquette IRD 82 x 40                      Vis VR Ø 4,8mm plaquette PR 82 x 40                      Vis IF2 Ø 4,8mm plaquette IRD 82 x 40</p> <p><u>Sté Etanco</u>                      Vis EVF 2C Ø 4,8mm et plaquette 82 x 40 R SC                      Vis EHB DF2C Ø 4,8mm et plaquette 82 x 40 RDF                      Vis EVDF 2C Ø 4,8mm et plaquette LR 82 x 40 R DF                      Vis VMS 2C Ø 4,8mm et plaquette 82 x 40 RDF                      Vis EGB 2C Ø 4,8mm et plaquette Étancoplast T 80 x 40                      Vis Isodrill TT Ø 4,8mm et plaquette 82 x 40 R                      Vis 3036 TF Ø 6,5mm et plaquette 82 x 40 R                      Rivet TPR Ø 6,3mm plaquette IRD 82 x 40</p>
Bois et panneaux dérivés du bois	<p><u>Sté SFS Intec</u>                      Vis IG Ø 6 mm plaquette IRD 82 x 40                      Vis IW T Ø 5mm plaquette IRC/W 82 x 40                      Rivet TPR Ø 6,3mm plaquette IRD 82 x 40</p> <p><u>Sté Etanco</u>                      Vis EVF 2C Ø 4,8mm et plaquette 82 x 40 RSC                      Vis EVDF 2C Ø 4,8mm et plaquette 82 x 40 RDF                      Vis Multifast TF Ø 6mm et plaquette 82 x 40 R Vis IW T Ø 5mm plaquette IRC/W 82 x 40                      Rivet TPR Ø 6,3mm plaquette IRD 82 x 40</p>



alwira is supported by  
**LIT-SOLAR**  
 triple-junction  
 thin film technology

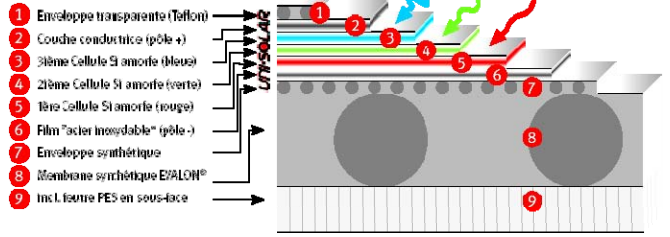


Figure 1 – Description d'un panneau photovoltaïque EVALON® V Solar

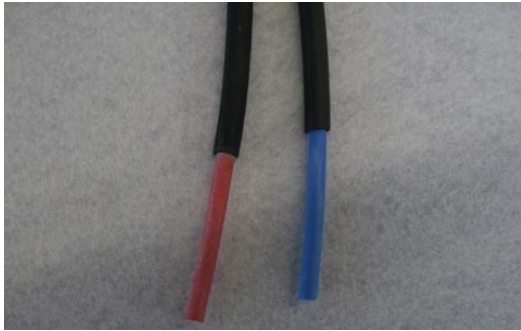


Figure 2 - Câbles en sortie des films photovoltaïques

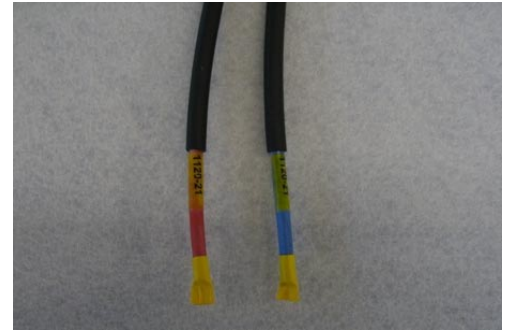


Figure 2 bis - Câbles avec protection isolante (jaune) et références

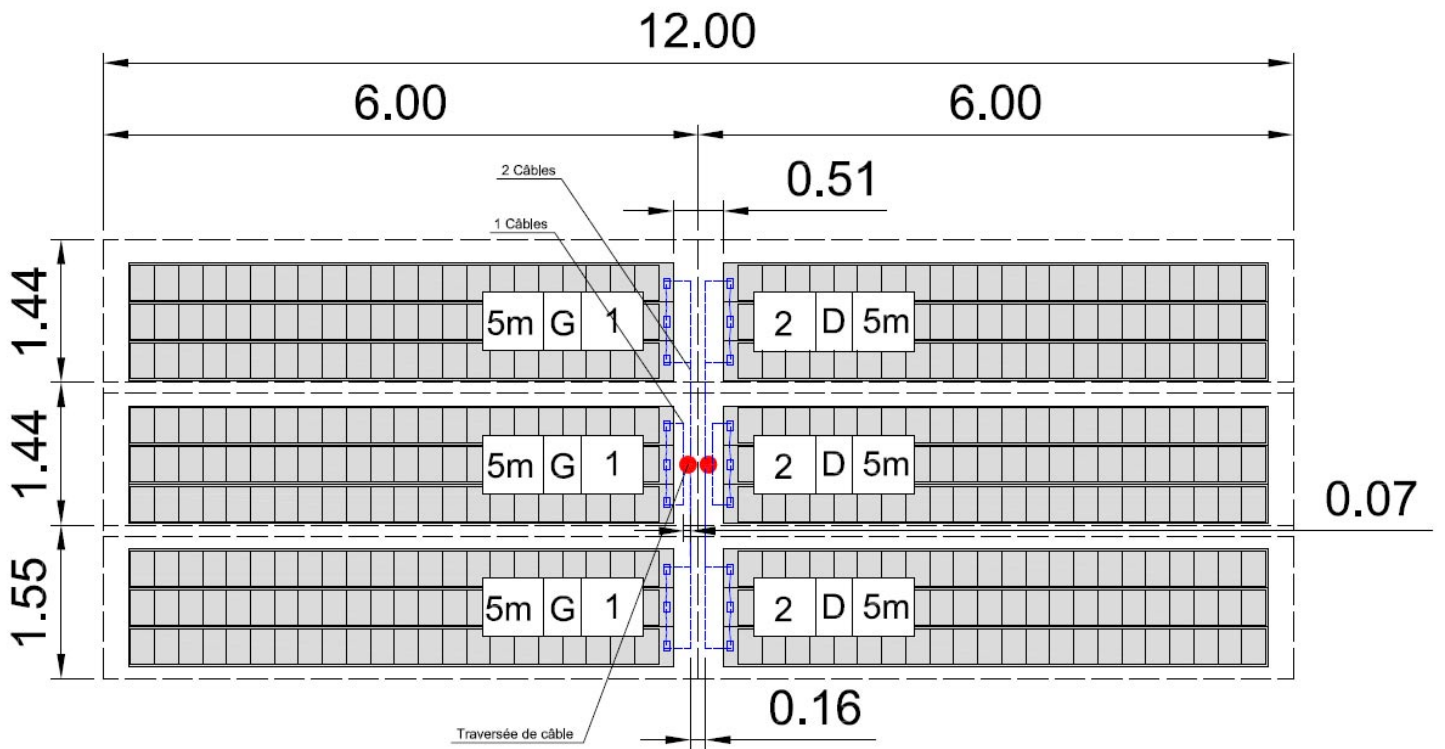


Figure 3 - Exemple de schéma de chemin de circulation et passage de câbles

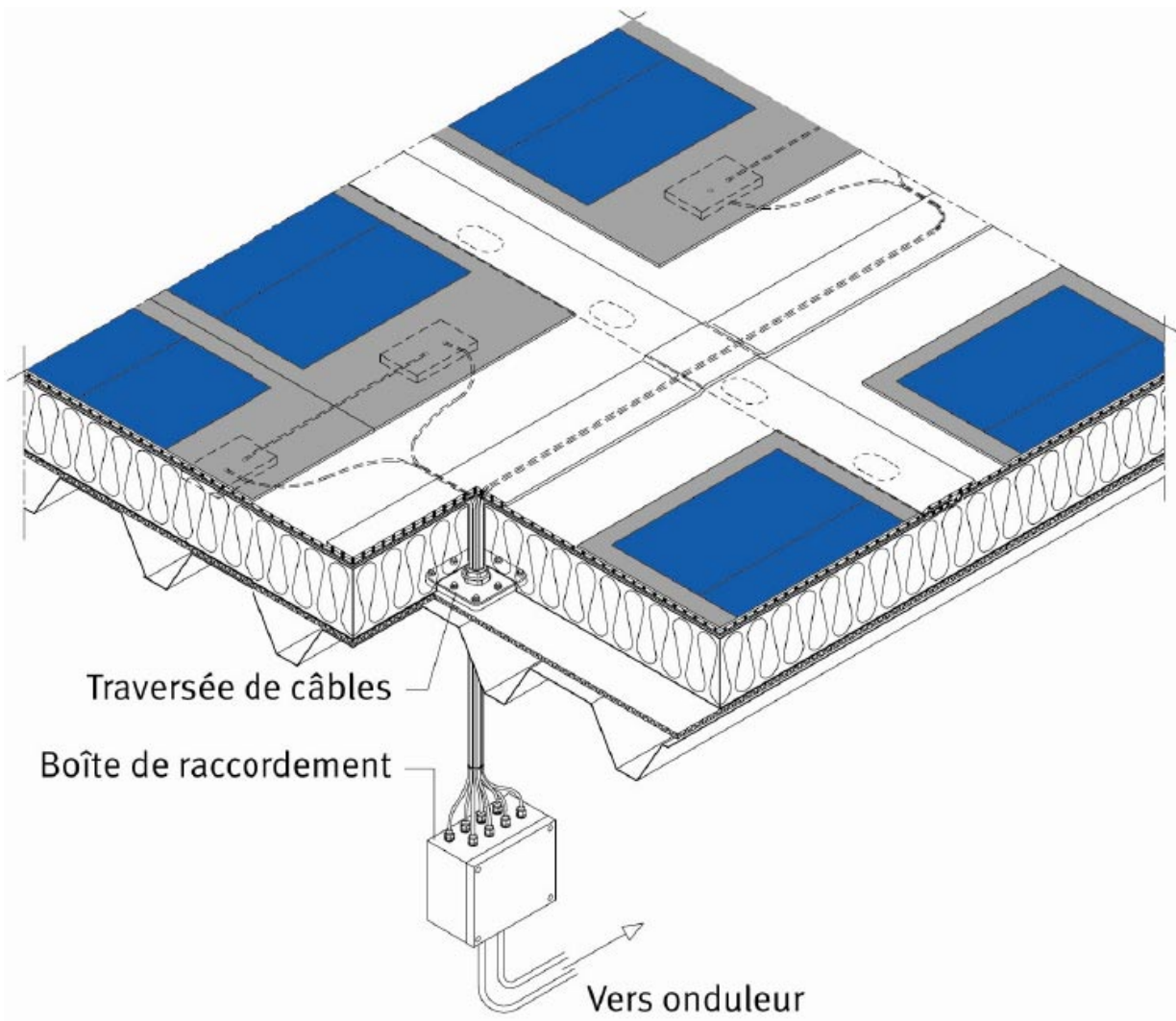
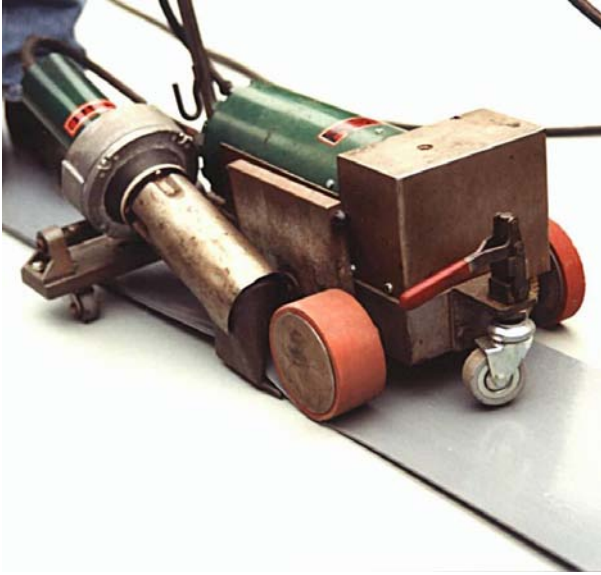


Figure 4 - Vue en coupe du passage de câbles à travers l'isolant et l'élément porteur



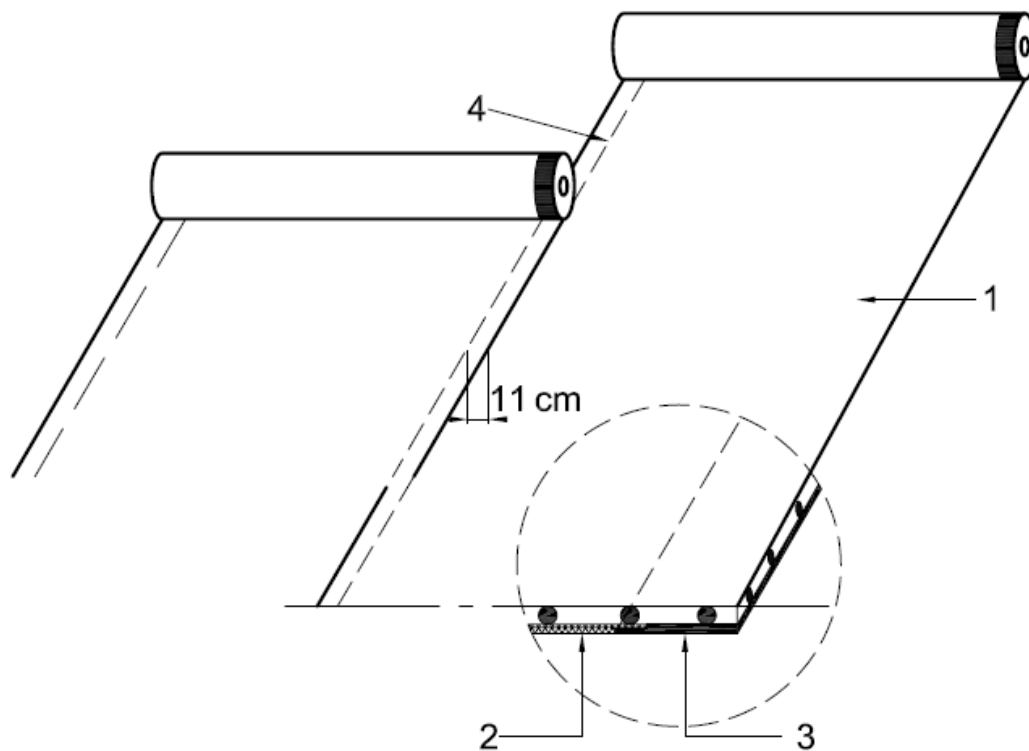
Figure 5 - Photos de la traversée de câbles



*Figure 6 - Soudure à l'air chaud*



*Figure 7 - Rainette et exemple de rainurage*



- 1 - Membrane EVALON V ® ou EVALON V Solar      3 - Bord de soudure  
 2 - Géotextile      4 - Zone de soudure

Figure 8 - Recouvrement longitudinal

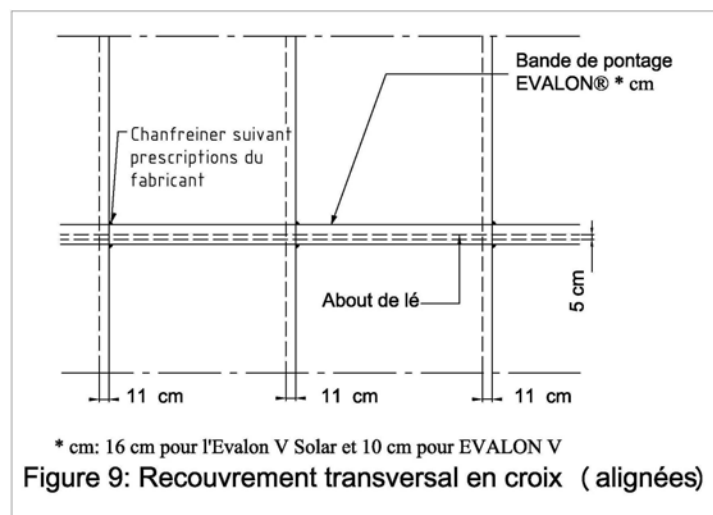


Figure 9: Recouvrement transversal en croix (alignés)

Figure 9 - Recouvrement transversal en croix (alignés)

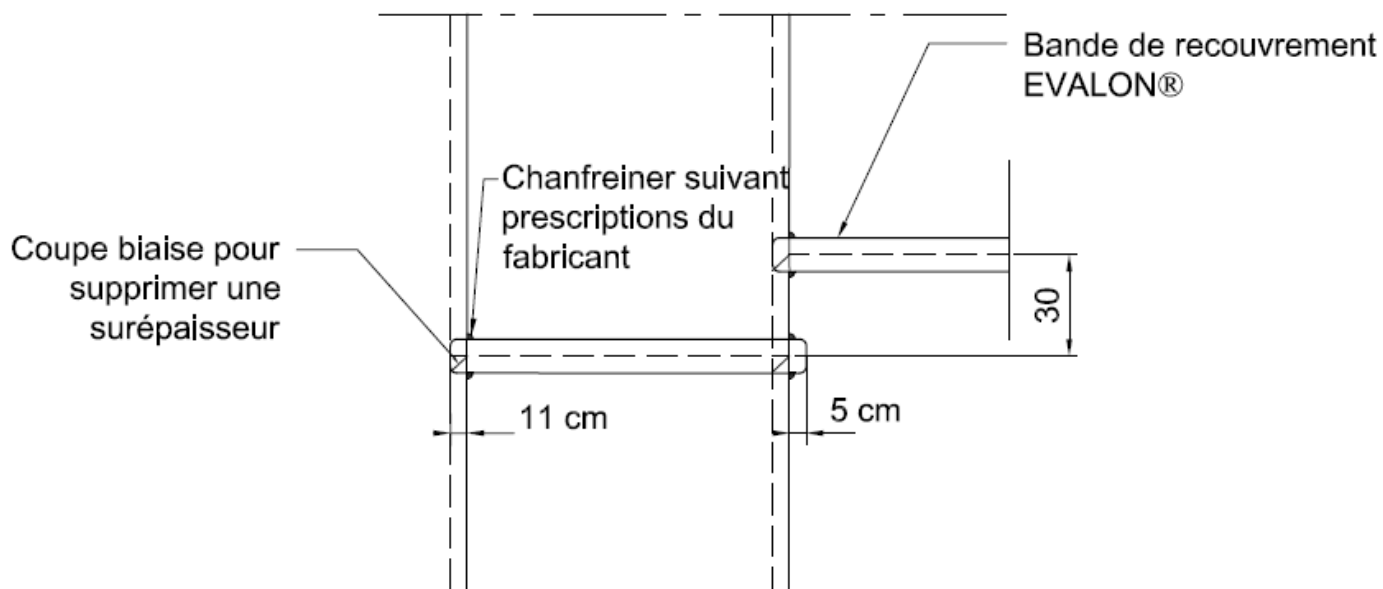
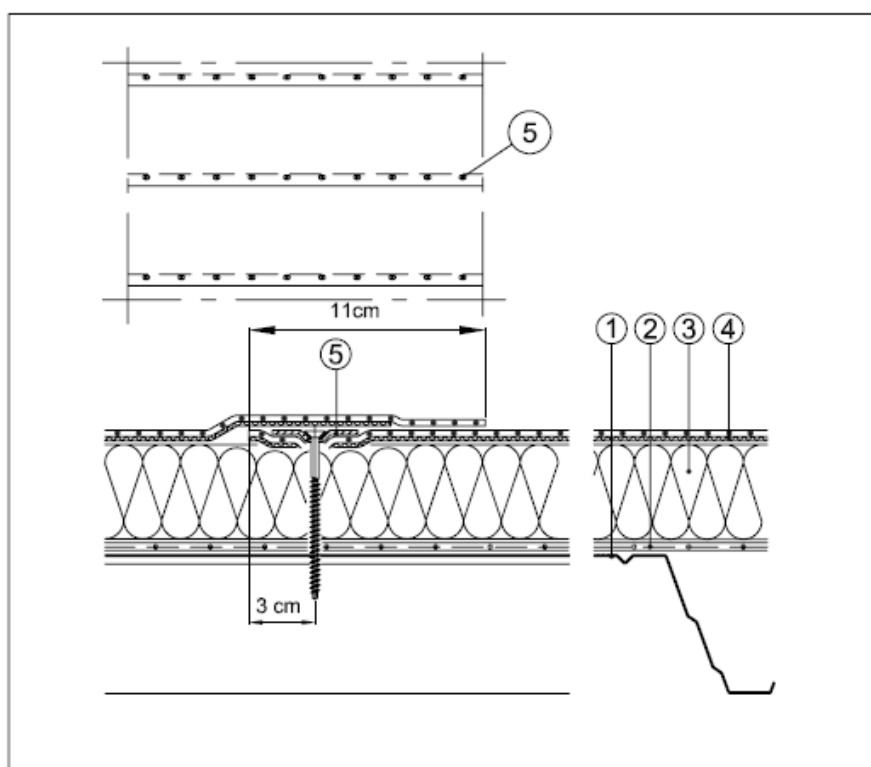


Figure 10 - Recouvrement transversal en T (décalés)



- ① Élément porteur bac acier
- ② Pare vapeur suivant DTU serie 43
- ③ Isolant
- ④ Membrane d'étanchéité EVALON V® ou EVALON V Solar®
- ⑤ élément de fixation

Figure 11 - Fixation mécanique EVALON® V Solar et EVALON® V

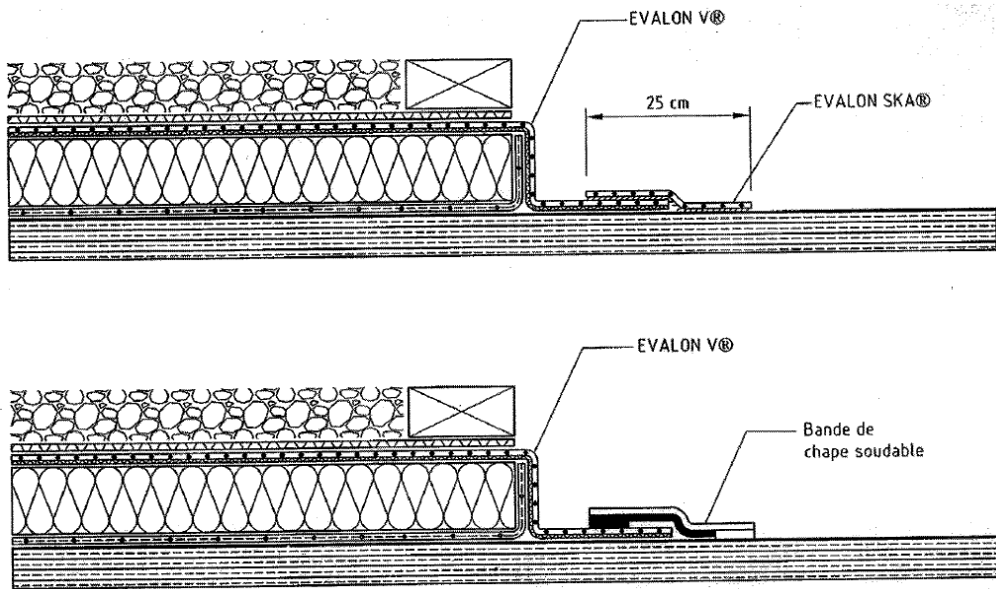
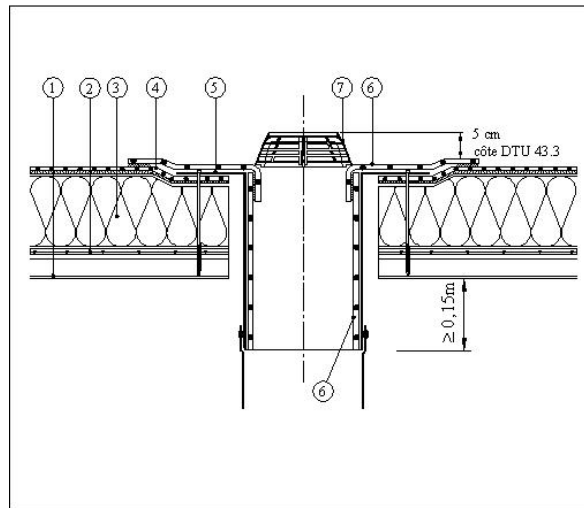
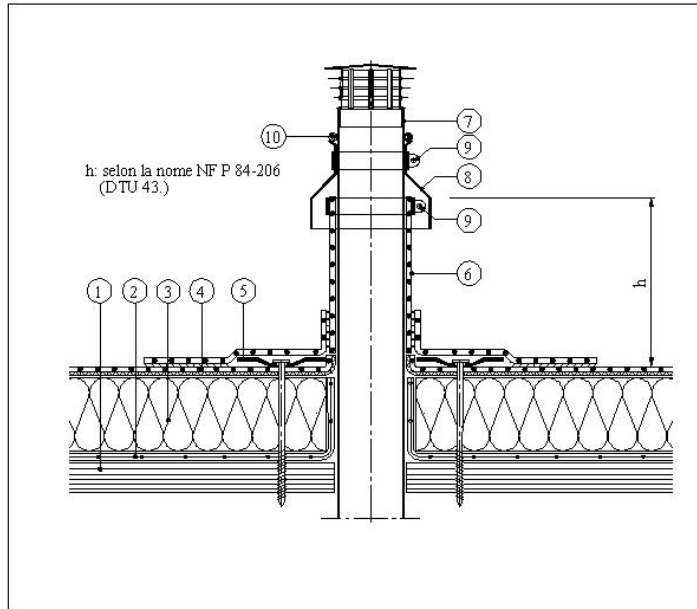


Figure 12 - Mise hors d'eau en fin de journée



- |   |                                 |   |                                |
|---|---------------------------------|---|--------------------------------|
| ① | Élément porteur bac acier       | ⑤ | EEP                            |
| ② | Pare vapeur suivant DTU 43.3    | ⑥ | Membrane d'étanchéité EVALON ® |
| ③ | Isolant                         | ⑦ | Crapaudine                     |
| ④ | Membrane d'étanchéité EVALON V® |   |                                |

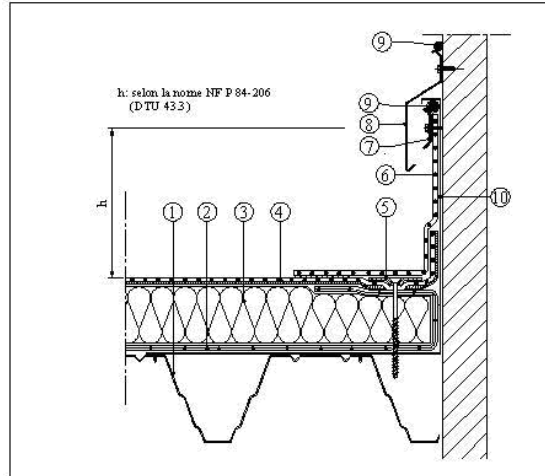
Figure 13 - Traitement de l'évacuation des eaux pluviales



- |                                    |                                 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| ① Élément porteur                  | ⑥ Membrane d'étanchéité EVALON® |
| ② Pare vapeur suivant DTU serie 43 | ⑦ Ventilation voir DTU          |
| ③ Isolation thermique              | ⑧ Colerette de protection       |
| ④ Membrane d'étanchéité EVALON V®  | ⑨ Collier de serrage            |
| ⑤ 4 fixations /pièce               | ⑩ Mastic                        |

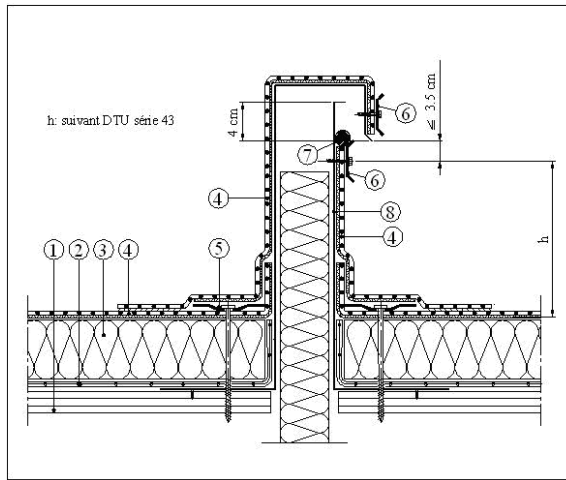
Figure 14 - Relevé de

ventilation



- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| ① Élément porteur bac acier       | ⑥ Membrane d'étanchéité EVALON® / EVALON SKA® |
| ② Pare vapeur suivant DTU 43.3    | ⑦ feuillard                                   |
| ③ Isolant                         | ⑧ Contre solin / hors fourrure alvéaire®      |
| ④ Membrane d'étanchéité EVALON V® | ⑨ Mastic                                      |
| ⑤ 4 fixations au mètre            | ⑩ Costière métallique                         |

Figure 15 – Relevé sur costière mur-béton : bande porte solin sous Avis Technique



- |   |  |   |                      |
|---|--|---|----------------------|
| ① | Élément porteur                                  | ⑤ | 4 fixations au mètre |
| ② | Pare vapeur suivant DTU série 43                 | ⑥ | Feuillard            |
| ③ | Isolant  | ⑦ | Mastic               |
| ④ | Membrane d'étanchéité<br>EVALON V® / EVALON SKA® | ⑧ | Costière             |

**Figure 16 – Traitement d'un joint de dilatation**

## Annexe A :

**Tableau 1**

**EVALON® V Solar**

**Intervalle "f" entre fixations en fonction de la densité théorique et de la largeur nominale des lés ( "f" en m )**

Densité théorique nombre/m <sup>2</sup>	Largeur nominale des lés (m)	
	1,55	1,05
3	0,23	0,35
4		0,26
5		0,21
6		0,18

**Tableau 2**

**EVALON® V**

**Intervalle "f" entre fixations en fonction de la densité théorique et de la largeur nominale des lés ( "f" en m )**

**Entraxes des fixations avec lés standard**

Densité théorique nombre/m <sup>2</sup>	Largeur nominale des lés (m)			
	1,55	1,05	0,79	0,54
3	0,23	0,35	0,48	
4		0,26	0,36	0,57
5		0,21	0,29	0,45
6		0,18	0,24	0,38
7			0,21	0,32
8			0,18	0,28
9				0,25
10				0,23
11				0,21
12				0,19

Entraxes des fixations avec lignes de fixations intermédiaires

Densité théorique nombre/m <sup>2</sup>	Entraxe lignes de fixation		Entraxe fixation
	1,45		
3	1,45		0,23
4	0,72	1 bande	0,34
5	0,72	1 bande	0,27
6	0,72	1 bande	0,23
7	0,72	1 bande	0,20
8	0,48	2 bandes	0,26
9	0,48	2 bandes	0,23
10	0,48	2 bandes	0,20
11	0,36	3 bandes	0,25
12	0,36	3 bandes	0,23
13	0,36	3 bandes	0,21
14	0,36	3 bandes	0,19
15	0,36	3 bandes	0,18
16	0,29	4 bandes	0,21
17	0,29	4 bandes	0,20
18	0,29	4 bandes	0,19
19	0,29	4 bandes	0,18

Entraxe lignes de fixation		Entraxe fixation
0,95		
0,95		0,35
0,95		0,26
0,95		0,21
0,95		0,18
0,47	1 bande	0,30
0,47	1 bande	0,26
0,47	1 bande	0,23
0,47	1 bande	0,21
0,47	1 bande	0,19
0,31	2 bandes	0,26
0,31	2 bandes	0,24
0,31	2 bandes	0,23
0,31	2 bandes	0,21
0,31	2 bandes	0,20
0,31	2 bandes	0,18

## Annexe B

Wadm = 700 N

EVALON® V Solar

Pk ≥ 1450 N

**Tableau 1 - Versants plans - Tôle d'acier nervurée, bois et dérivés - Travaux neufs - Bâtiments fermés**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00
	Rives	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	6,00	
	Angles	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
15	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	6,00	
	Angles	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00		6,00			
20	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	
	Angles	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
30	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
	Angles	4,00	6,00	5,00		6,00					
40	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00	6,00
	Rives	3,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
	Angles	5,00	6,00	6,00							

**Tableau 2 - Versants plans - Tôle d'acier nervurée, bois et dérivés - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts,**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00	6,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	6,00	
	Angles	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
15	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00		
	Angles	4,00	6,00	5,00		6,00					
20	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	6,00	
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
	Angles	5,00	6,00	6,00							
30	Courante	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	
	Rives	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00		6,00			
	Angles	5,00		6,00							
40	Courante	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00	6,00		
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
	Angles	6,00									

**Tableau 3 - Versants plans - Béton et béton cellulaire: Travaux neufs et réfections - Bâtiments fermés et ouverts,-Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections (sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde, voir alors tableau 1 - Bâtiment fermés**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Rives	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00
	Angles	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00		
15	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Rives	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Angles	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
20	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Rives	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Angles	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
30	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	6,00	7,00
	Angles	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
40	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	
	Angles	4,00	6,00	5,00	6,00	6,00					

Nota: les zones de toiture ombrées seront étanchées avec la membrane EVALON® V (cf. tableau 4 et suivants)

Wadm = 700 N

EVALON® V Solar

Pk ≥ 1450 N

**Tableau 4 - Versants courbes - Tôle d'acier nervurée, bois et dérivés -Travaux neufs - Bâtiments fermés**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	
	Angles	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00		6,00			
15	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00		
	Angles	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
20	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00		
	Angles	4,00	6,00	5,00		6,00					
30	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00	6,00
	Rives	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
	Angles	5,00	6,00	6,00							
40	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	6,00
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
	Angles	5,00		6,00							

**Tableau 5 - Versants courbes - Tôle d'acier nervurée, bois et dérivés -Travaux neufs et réfections- Bâtiments ouverts,**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	
	Angles	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
15	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	6,00	
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00		
	Angles	5,00	6,00	5,00							
20	Courante	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
	Angles	5,00	6,00	6,00							
30	Courante	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00		
	Rives	3,00	5,00	4,00	6,00	5,00		6,00			
	Angles	5,00		6,00							
40	Courante	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
	Angles	6,00									

**Tableau 6 - Versants courbes - Béton et béton cellulaire: Travaux neufs et réfections - Bâtiments fermés et ouverts,-Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections (sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde, voir alors tableau 4 - Bâtiment fermés**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Rives	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Angles	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
15	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00
	Rives	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	6,00	
	Angles	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00		6,00			
20	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	
	Angles	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00					
30	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00		
	Angles	4,00	6,00	5,00		6,00					
40	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00			
	Angles	5,00	6,00	6,00							

Nota: les zones de toiture ombrées seront étanchées avec la membrane EVALON® V (cf. tableau 4 et suivants)

Tableau 7 - Versants plans - Tôle d'acier nervurée, bois et dérivés - Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	9,00
	Angles	5,00	6,00	5,00	7,00	7,00	8,00	8,00	9,00	10,00	13,00
15	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Rives	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	7,00	8,00	10,00
	Angles	5,00	7,00	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	10,00	11,00	14,00
20	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	11,00
	Angles	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00	9,00	11,00	12,00	15,00
30	Courante	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	6,00	7,00
	Rives	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	9,00	10,00	12,00
	Angles	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	11,00	10,00	13,00	14,00	17,00
40	Courante	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	8,00
	Rives	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	8,00	10,00	11,00	13,00
	Angles	6,00	9,00	8,00	10,00	10,00	12,00	11,00	14,00	15,00	18,00

Tableau 8 - Versants plans - Tôle d'acier nervurée, bois et dérivés - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts,

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	7,00	8,00
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	10,00
	Angles	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00	10,00	11,00	13,00	15,00
15	Courante	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	9,00
	Rives	4,00	6,00	5,00	6,00	6,00	8,00	7,00	9,00	10,00	11,00
	Angles	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	11,00	10,00	12,00	14,00	16,00
20	Courante	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	9,00
	Rives	5,00	6,00	5,00	7,00	7,00	8,00	8,00	9,00	10,00	12,00
	Angles	6,00	9,00	8,00	10,00	9,00	12,00	11,00	13,00	15,00	18,00
30	Courante	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	
	Rives	5,00	7,00	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	10,00	12,00	
	Angles	7,00	10,00	9,00	11,00	11,00	13,00	13,00	15,00	17,00	
40	Courante	3,00	6,00	5,00	6,00	6,00	8,00	7,00	9,00	10,00	
	Rives	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00	10,00	11,00	13,00	
	Angles	8,00	10,00	9,00	12,00	11,00	14,00	14,00	16,00	18,00	

**Tableau 9 - Versants plans - Béton et béton cellulaire: Travaux neufs et réfections - Bâtiments fermés et ouverts,-Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections (sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde, voir alors tableau 7 - Bâtiment fermés**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00
	Angles	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	11,00
15	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	7,00	8,00
	Angles	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	9,00	10,00	12,00
20	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	9,00
	Angles	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	9,00	8,00	10,00	11,00	13,00
30	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	7,00	8,00	10,00
	Angles	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00	9,00	11,00	12,00	15,00
40	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00	6,00
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	11,00
	Angles	5,00	8,00	7,00	9,00	8,00	10,00	10,00	12,00	13,00	16,00

Wadm = 500 N

EVALON® V

Pk ≥ 1450 N

**Tableau 10 - Versants courbes - Tôle d'acier nervurée, bois et dérivés -Travaux neufs - Bâtiments fermés**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Rives	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00
	Angles	5,00	7,00	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	11,00	12,00	14,00
15	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	7,00
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	11,00
	Angles	6,00	7,00	7,00	9,00	8,00	10,00	10,00	12,00	13,00	15,00
20	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	6,00	7,00
	Rives	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	9,00	10,00	12,00
	Angles	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	11,00	11,00	13,00	14,00	17,00
30	Courante	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	7,00	8,00
	Rives	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	9,00	8,00	10,00	11,00	13,00
	Angles	7,00	9,00	8,00	10,00	10,00	12,00	12,00	14,00	16,00	19,00
40	Courante	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00	5,00	
	Rives	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	9,00	9,00	11,00	12,00	
	Angles	7,00	10,00	9,00	11,00	11,00	13,00	13,00	15,00	17,00	

**Tableau 11 - Versants courbes - Tôle d'aciers nervurés, bois et dérivés -Travaux neufs et réfections- Bâtiments ouverts,**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00	7,00	8,00
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	10,00
	Angles	6,00	7,00	7,00	9,00	8,00	10,00	10,00	12,00	13,00	16,00
15	Courante	3,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	9,00
	Rives	4,00	6,00	5,00	6,00	6,00	8,00	7,00	9,00	10,00	11,00
	Angles	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	11,00	11,00	13,00	14,00	17,00
20	Courante	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00
	Rives	5,00	6,00	5,00	7,00	7,00	8,00	8,00	9,00	10,00	12,00
	Angles	7,00	9,00	8,00	10,00	10,00	12,00	12,00	14,00	15,00	18,00
30	Courante	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	
	Rives	5,00	7,00	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	10,00	12,00	
	Angles	7,00	10,00	9,00	11,00	11,00	14,00	13,00	16,00	17,00	
40	Courante	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	9,00	10,00	
	Rives	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00	10,00	11,00	13,00	
	Angles	8,00	11,00	10,00	12,00	12,00	15,00	14,00	17,00	19,00	

**Tableau 12 - Versants courbes - Béton et béton cellulaire: Travaux neufs et réfections - Bâtiments fermés et ouverts,-Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections (sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde, voir alors tableau 10 - Bâtiment fermés**

Hauteur (m)	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
	Rives	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00	7,00	8,00
	Angles	5,00	6,00	5,00	7,00	7,00	8,00	8,00	9,00	10,00	13,00
15	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	3,00	5,00	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	9,00
	Angles	5,00	7,00	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	10,00	11,00	14,00
20	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	Rives	4,00	5,00	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00
	Angles	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00	9,00	11,00	12,00	15,00
30	Courante	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	5,00	6,00
	Rives	4,00	5,00	5,00	6,00	6,00	7,00	7,00	8,00	9,00	11,00
	Angles	6,00	8,00	7,00	9,00	9,00	11,00	10,00	13,00	14,00	17,00
40	Courante	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00
	Rives	4,00	6,00	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	9,00	10,00	12,00
	Angles	6,00	9,00	8,00	10,00	10,00	12,00	11,00	14,00	15,00	18,00