

# Avis Technique 21/10-14

*Procédé photovoltaïque*  
*Photovoltaic system*  
*Photovoltaiksysteme*

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

---

## Excelflex<sup>®</sup> Solar

---

**Titulaire :** SMAC  
40 rue Fanfan La Tulipe  
FR-92653 Boulogne Billancourt  
Tél. : 01 47 61 72 00  
Fax : 01 47 61 72 10  
Site internet : [www.smac-sa.fr](http://www.smac-sa.fr)

**Usines :** Axter  
Usine de Courchelettes (59)  
United Solar Ovonic  
Usine de Auburn Hills (USA)

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

### Groupe Spécialisé n° 21

Procédés photovoltaïques

Vu pour enregistrement le 5 novembre 2010



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 7 juillet 2010 le revêtement d'étanchéité photovoltaïque mis en œuvre en toiture « Excelflex® Solar » présenté par la société SMAC. Il a été formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France européenne.**

## 1. Définition succincte

### 1.1 Description succincte

Le procédé Excelflex® Solar est un revêtement d'étanchéité mono-couche composé de membranes en liant ALPA® et de films photovoltaïques souples collés industriellement en surface de la membrane. Ce procédé est destiné à produire de l'électricité.

Le procédé se décline de la manière suivante :

- Excelflex® Solar 136 lorsque constitué :
  - d'une membrane Excelflex® S de 4 mm d'épaisseur,
  - de deux modules photovoltaïques, présentés en films PVL-68.
- Excelflex® Solar 288 lorsque constitué :
  - d'une membrane Excelflex® S de 4 mm d'épaisseur,
  - de deux modules photovoltaïques, présentés en films PVL-144.

Dans la suite du présent document la dénomination Excelflex® Solar vaut pour les deux dénominations Excelflex® Solar 288 et Excelflex® Solar 136.

La partie courante est réalisée par le procédé Excelflex® Solar et les angles et rives sont réalisées par les membranes de la gamme Axter.

Le procédé est mis en œuvre :

- sur éléments porteurs acier et bois et panneaux dérivés du bois :  
Pose directe de la membrane Excelflex® Solar sur isolant support, par fixations mécaniques en lisière recouverte, avec un attelage de fixation muni exclusivement d'une plaquette Axter,
- sur tout élément porteur :  
Après mise en œuvre d'une couche préalable Excelflex® S ou Excelrenfort fixée mécaniquement en lisière ou soudée sur isolant support, pose de la membrane Excelflex® Solar soudée par bande sur la couche préalable, sous les lisières de recouvrements.

Le soudage des recouvrements de la membrane Excelflex® Solar et des bandes sur la couche préalable se fait exclusivement à l'air chaud.

### 1.2 Identification des produits

Chaque film 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 revêtements d'étanchéité Excelflex® Solar conditionnés en caisse sont étiquetés avec les mentions suivantes : appellation commerciale, dimensions, numéro de référence de la caisse. Le bordereau de livraison mentionne la liste des films photovoltaïques de la caisse.

## 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

Le procédé Excelflex® Solar s'applique sur toiture-terrasse et toiture inclinée inaccessible plane ou cintrée.

La pente minimale est de 3 % quelque soit l'élément porteur et inférieure ou égale à 100 %.

Le procédé est utilisé en France européenne, en climat de plaine (altitude inférieure à 900 m), en travaux neufs et de réfection en zones de vent 1, 2, 3 et 4 selon les règles NV 65 modifiées.

### 2.2 Appréciation sur le produit

#### 2.2.1 Conformité normative des films photovoltaïques

Les films photovoltaïques PVL-68 et PVL-144 sont conformes aux normes NF EN 61646 et NF EN 61730.

Le procédé Excelflex® Solar est conforme à la norme NF EN 61646.

#### 2.2.2 Aptitude à l'emploi

##### 2.2.2.1 Fonction Génie Electrique

###### 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 peuvent être mis en œuvre jusqu'à une tension de 1000 V en courant continu, ce qui permet d'assurer une bonne aptitude à l'emploi des câbles électriques de l'installation.

- Protection des personnes contre les chocs électriques

Les 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.

Les connecteurs utilisés entre les films photovoltaïques ont un indice de protection électrique IP 65 ou IP 67 et sont des connecteurs débouchables permettant un bon contact électrique entre chacune des polarités et assurant également une protection de l'installateur contre les risques de chocs électriques.

###### 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 deux diodes bypass entre chaque cellule ; le film photovoltaïque PVL-144 étant constitué de 22 cellules et le film PVL-68 de 11 cellules.

###### Puissance crête des modules utilisés

Les puissances crêtes des films photovoltaïques sont 68 Wc pour le PVL-68 et 144 Wc pour le PVL-144.

##### 2.2.2.2 Fonction toiture

###### Sécurité au feu

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

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

Le système Excelflex® Solar sur isolant en laine de roche nue de masse volumique 145 kg/m<sup>3</sup> et d'épaisseur 100 mm, est classé B<sub>ROOF</sub> (t3) pour une pente comprise entre 0° et 10° (dans les conditions du rapport de classement n° 13534D de Warringtonfiregent en date du 26 novembre 2008).

Le système « Excel Renfort CPV en combinaison avec Excelflex® Solar » sur isolant en laine de roche nue de masse volumique 135 kg/m<sup>3</sup> et d'épaisseur 100 mm, est classé B<sub>ROOF</sub> (t3) pour une pente comprise entre 0° et 10° (dans les conditions du rapport de classement n°13909B de Warringtonfiregent en date du 18 juin 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.

Dans le cas des Etablissements Recevant du Public (ERP), la Commission Centrale de Sécurité (CCS) préconise par ailleurs la réalisation de mesures visant à assurer la sécurité des intervenants et des usagers (Voir « Avis de la CCS sur les mesures de sécurité à prendre en cas d'installation de panneaux photovoltaïques dans un ERP – Relevé des Avis de la réunion du 5 novembre 2009 de la sous-commission permanente de la CCS).

###### Sécurité des intervenants

Elle peut être normalement assurée.

###### 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 panneaux isolants, doit

être pris en compte dans les calculs thermiques conformément aux dispositions prévues dans le fascicule 4/5 des Règles Th-U.

## Résistance au vent

Les dispositions prévues permettent d'escompter un comportement satisfaisant en zones de vent 1, 2, 3 et 4 (cf. Règles NV 65 modifiées).

Pour la mise en œuvre de type A et B, 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 :  
 $W_{adm_{sr}} = 460 \text{ N}$ .
- Attelage de fixations du système de référence :
  - résistance à l'arrachement de l'attelage  $P_{K_{sr}} = 150 \text{ daN}$ ,
  - dimensions de la plaquette Axter : 40 mm × 40 mm.

Pour la mise en œuvre de type C, la limite d'exposition au vent est donnée par le Document Technique d'Application de l'isolant.

## 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 du système d'étanchéité bitumineuse avec films photovoltaïques.

L'entretien de la toiture, dans les zones avec ou sans films photovoltaïques, doit être réalisé conformément au chapitre 8 du Dossier Technique.

## 2.24 Fabrication et contrôles

Les feuilles bitumineuses et les revêtements d'étanchéité photovoltaïque Excelflex® Solar sont fabriqués par la société Axter, sur son site de production situé à Courchelettes, et dont le système de management de la qualité est certifié conformément à la norme ISO 9001.

Le site de production des films photovoltaïques de la société United Solar Ovonic est situé à Auburn Hills aux Etats-Unis.

Les contrôles systématiques effectués en usines permettent de préjuger favorablement de la constance de qualité de la fabrication des feuilles bitumineuses, des films photovoltaïques et des revêtements d'étanchéité photovoltaïques.

## 2.25 Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé Excelflex® Solar effectuée par SMAC et ses filiales et par des entreprises ayant les compétences requises en génie électrique, conformément au Dossier Technique, permet d'assurer une bonne réalisation des installations.

Les dispositions de mise en œuvre relèvent de techniques classiques de mise en œuvre des systèmes d'étanchéité de toiture.

## 2.3 Cahier des Prescriptions Techniques

### 2.31 Prescriptions communes

Les films photovoltaïques doivent être installés de façon à ne pas subir d'ombrages portés afin de limiter les risques d'échauffement pouvant entraîner des pertes de puissance et une détérioration prématurée des 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 dans les conditions visées par le paragraphe 5.13 du Dossier Technique.

Le procédé Excelflex® Solar s'applique sur toiture-terrasse et toiture inclinée inaccessible de pente minimale de 3 %.

### 2.32 Prescriptions techniques particulières

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

La mise en œuvre du procédé sur un support en bois (bois massif, panneaux de contreplaqué, 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.

#### 2.322 Attelages de fixations mécaniques de panneaux isolants

- a) Les attelages de fixations mécaniques 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 ».

- b) L'usage de fixations mécaniques est exclu au-dessus de locaux à très forte hygrométrie ( $\frac{W}{n} > 7,5 \text{ g/m}^3$ ).

#### 2.323 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.

#### 2.324 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.

#### 2.325 Mise en œuvre

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

La mise en œuvre du procédé Excelflex® Solar doit être assurée par SMAC et ses filiales, formés aux particularités et aux techniques de pose du procédé.

#### 2.326 Entretien et réparation

Un contrat d'entretien est établi entre SMAC et le maître d'ouvrage.

L'entretien du procédé Excelflex® Solar doit être réalisé conformément au paragraphe 8.1 du Dossier Technique.

La réparation et le remplacement du procédé Excelflex® Solar doivent être réalisés conformément au paragraphe 8.2 du Dossier Technique.

## Conclusions

### Appréciation globale

L'utilisation du procédé Excelflex® Solar dans le domaine d'emploi accepté, fait l'objet d'une appréciation favorable.

### Validité

Jusqu'au 31 juillet 2013.

Pour le Groupe Spécialisé n° 21  
Le Président  
Alain Duigou

# Dossier Technique

## établi par le demandeur

## A. Description

### 1. Principe

Le procédé Excelflex® Solar est un revêtement d'étanchéité monocouche composé de membranes en liant ALPA® revêtues et de films photovoltaïques souples collés industriellement en surface de la membrane. Ce procédé est destiné à produire de l'électricité.

Le procédé se décline de la manière suivante :

- Excelflex® Solar 136 lorsque constitué :
  - d'une membrane Excelflex® S de 4 mm d'épaisseur,
  - de deux modules photovoltaïques, présentés en films PVL-68.
- Excelflex® Solar 288 lorsque constitué :
  - d'une membrane Excelflex® S de 4 mm d'épaisseur,
  - de deux modules photovoltaïques, présentés en films PVL-144.

Dans la suite du présent document la dénomination Excelflex® Solar vaut pour les deux dénominations Excelflex® Solar 288 et Excelflex® Solar 136.

Le procédé est mis en œuvre :

- sur éléments porteurs acier et bois :

Pose directe de la membrane Excelflex® Solar sur isolant support, par fixations mécaniques en lisière recouverte, avec un attelage de fixation muni exclusivement d'une plaquette Axter,
- sur tout élément porteur :

Après mise en œuvre d'une couche préalable Excelflex® S ou Excelrenfort fixée mécaniquement en lisière ou soudée sur isolant support, pose de la membrane Excelflex® Solar soudée par bande sur la couche préalable, sous les lisières de recouvrements.

Le soudage des recouvrements de la membrane Excelflex® Solar et des bandes sur la couche préalable se fait exclusivement à l'air chaud.

### 2. Organisation de la mise en œuvre

Pour chaque toiture photovoltaïque, une étude préalable est menée par SMAC afin d'établir un calepinage définissant précisément l'emplacement des membranes Excelflex® Solar, en fonction de la géométrie de l'ouvrage, des points particuliers et des risques d'ombrages.

Le calepinage général des chemins de câbles est réalisé préalablement à la mise en œuvre sur un fond de plan ou figure le calepinage des lés d'Excelflex® Solar, en concertation avec l'entreprise chargée de la prestation de raccordement électrique.

Le procédé est mis en œuvre par la société SMAC et ses filiales.

Pour la mise en œuvre à l'air chaud, les soudeurs bénéficient d'une formation aux techniques de soudure à l'air chaud des membranes Axter à base de liant ALPA. La formation consiste à faire maîtriser par les soudeurs, le fonctionnement de l'automate de soudure, spécifique aux feuilles bitumineuses, en modulant notamment les réglages de la vitesse d'avancement (nominal 2 m/mn) et la température de chauffe (nominal 500°C) en fonction des conditions atmosphériques (température et humidité). Cette formation au maniement de l'appareil s'accompagne de l'apprentissage du mode opératoire de contrôle des soudures (essais de pelage à pratiquer sur des bandes témoins avant chaque démarrage de phase de soudage). Cette formation est réalisée en interne, dans les agences travaux par SMAC ou par Axter.

Les travaux de raccordement électrique (fourniture et pose des onduleurs compris) sont confiés à une entreprise spécialisée dans le photovoltaïque et titulaire de l'appellation QualiPV.

### 3. Destination et domaine d'emploi

#### 3.1 Généralités

Le procédé Excelflex® Solar est employé :

- en France européenne,
- en climat de plaine,
- sur versants plans et courbes (rayon de courbure de 20 m minimum).
- sur toitures-terrasses et toitures inclinées inaccessibles.
- en zones de vent 1, 2, 3, 4, tout site, selon les Règles NV 65 modifiées.

- en travaux neufs :

- sur éléments porteurs et supports en maçonnerie conformes à la norme NF DTU 20.12 (NF P 10-203),
- sur dalles de béton cellulaire autoclavé armées conformes au cahier du CSTB 2192 d'octobre 1987 ou à leur Avis Technique particulier,
- sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées conformes à la norme NF DTU 43.3 ou conformes au cahier du CSTB 3537-V2 de janvier 2009,
- sur éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois conformes à la norme NF DTU 43.4 ou à leur Document Technique d'Application particulier.

- en travaux de réfection avec ou sans apport d'un nouvel isolant en conformité à la norme NF DTU 43.5 (NF P 84-208).

- selon la nature de l'élément porteur, sur des locaux à hygrométrie faible, moyenne ou forte, et sur des locaux à très forte hygrométrie lorsque l'Excelflex® Solar est mis en œuvre sur une couche préalable sans fixations mécaniques.

La pente minimale des éléments porteurs quels qu'ils soient en travaux neufs ou en réfection est de 3 % au sens des DTU de la série 43 (normes NF P 84 série 200). Sur éléments porteurs acier et bois, cette disposition amène une restriction par rapport au DTU dans le cas des noues en pentes : même au droit du point haut de la noue, la pente de versant doit rester supérieure à 3% sur plan.

Le *tableau 1* résume les conditions d'utilisation. L'emploi doit prendre en compte les règles propres aux éléments porteurs et aux panneaux isolants supports qui pourraient affecter le domaine d'utilisation.

#### 3.2 Cadre d'utilisation

##### 3.2.1 Dispositions générales

Le procédé se met en œuvre en ménageant des zones non photovoltaïques conformément au plan de calepinage, sur une largeur :

- de 1 m en bordure des relevés périphériques, des lanterneaux, reliefs, émergences,
- de 0,5 m de part et d'autre des faitages,
- de 1,5 m le long des noues dans les cas courants.

Cette distance peut être réduite à 1 m si la pente de versant est d'au moins 7% et :

- soit les noues sont en pente,
  - soit les noues sont sans pente avec EEP distantes de moins de 10 m,
- ou si la pente de versant est d'au moins 10% et :
- soit les noues sont en pente,
  - soit les noues sont sans pente avec EEP distantes de moins de 15 m.

##### 3.2.2 Travaux neufs

Le procédé peut être mis en œuvre sur toute la toiture ou sur une partie seulement.

L'étanchéité de la surface non concernée par la production d'électricité, ainsi que celle des rives, angles, et points singuliers est réalisée selon les dispositions des paragraphes 5.22 ou 5.33.

##### 3.2.3 Travaux de réfection

Le support doit être rendu apte à supporter la mise en œuvre du nouveau revêtement d'étanchéité conformément à la norme NF DTU 43.5 et les dispositions du paragraphe 4.8 s'appliquent.

### 4. Prescriptions relatives aux éléments porteurs et aux supports

#### 4.1 Généralités

Les éléments porteurs et les supports sont conformes aux prescriptions des normes NF P 84-204 à NF P 84-207 (réf. DTU série 43) ou des Avis Techniques les concernant.

Les supports destinés à recevoir l'étanchéité doivent présenter une surface propre et libre de tout corps étranger.

## 4.2 Éléments porteurs et supports en maçonnerie

Sont admis les éléments porteurs et supports en maçonnerie conformes à la norme NF DTU 20.12 (NF P 10-203).

La préparation des supports et le pontage des joints sont effectués conformément aux prescriptions de la norme NF DTU 43.1 (NF P 84-204-1) et des Avis Techniques. Les pontages sont réalisés avec une bande d'Armalu de 20 cm de largeur, face aluminium contre le support.

Les fixations mécaniques de l'isolant support ou du revêtement d'étanchéité ne sont pas autorisées sur les formes de pente en béton lourd ou léger, les voiles précontraints, les voiles minces préfabriqués, les corps creux avec ou sans chape de répartition, les planchers à chauffage intégré, les planchers comportant des distributions électriques noyées, et les planchers de type D définis dans la norme NF DTU 20.12 (NF P 10-203).

## 4.3 Éléments porteurs et supports en dalles de béton cellulaire autoclavé armé

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

Le support est mis en œuvre conformément aux « Conditions générales d'emploi des dalles de toiture en béton cellulaire autoclavé armé » (cahier du CSTB n° 2192, octobre 1987). On se reportera à ce document notamment pour le traitement des joints et la constitution du pare-vapeur en cas de réalisation d'une isolation thermique complémentaire.

## 4.4 Éléments porteurs et supports en bois et panneaux dérivés du bois

La mise en œuvre du procédé sur un support en bois (bois massif, panneaux de contreplaqué, 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.

## 4.5 Éléments porteurs en tôles d'acier nervurées

Sont admis les éléments porteurs en tôles d'acier nervurées conformes à la norme NF DTU 43.3, ou bénéficiant d'un Avis Technique particulier visant cet emploi. Sont également admis les éléments porteurs en tôles d'acier nervurées conformes au CPT « Panneaux isolants non porteurs supports d'étanchéité mis en œuvre sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées dont l'ouverture haute de nervure est supérieure à 70 mm », Cahier du CSTB 3537-V2 de janvier 2009.

## 4.6 Constitution et mise en œuvre du pare-vapeur

Le *tableau 2* définit le choix et le principe de mise en œuvre de l'écran pare-vapeur.

## 4.7 Supports isolants non porteurs

Le revêtement ne limite pas la résistance thermique des supports isolants.

### Nature de l'isolant

Sont admis les panneaux isolants mentionnés dans le *tableau 1* dans les conditions de leur Document Technique d'Application particulier pour l'emploi considéré.

Les isolants admis sont de classe de compressibilité C au minimum (selon le Guide UEAtc) pour emploi en toiture autoprotégée.

Les polystyrènes expansés de classe de compressibilité B à 80° C sont également admis.

### Mise en œuvre de l'isolant

Les panneaux isolants sont mis en œuvre en quinconce et jointifs selon les prescriptions de leur Document Technique d'Application particulier.

Sur élément porteur en tôles d'acier nervurées, le joint filant est perpendiculaire aux nervures des tôles.

La mise en œuvre sur pare-vapeur adhésif impose la fixation mécanique de l'isolant, selon les densités définies dans le Document Technique d'Application propre à cet isolant.

## 4.8 Supports constitués par d'anciens revêtements d'étanchéité

Ce sont d'anciennes étanchéités type multicouche traditionnel ou à base de bitume modifié autoprotégé ou membrane synthétique.

Les critères de conservation et de préparation des autres éléments de la toiture (éléments porteurs, pare-vapeur, isolant thermique, protection) sont conformes à la norme NF DTU 43.5 (NF P 84-208).

- Si l'ancien isolant est conforme aux prescriptions du paragraphe 4.7, l'ancienne étanchéité peut être conservée.

Les critères de conservation et de préparation de l'ancienne étanchéité pour son réemploi comme support sont conformes à la norme NF DTU 43.5 (NF P 84-208).

Les anciens revêtements d'étanchéité en membranes synthétiques doivent recevoir un écran Alu-VV avant la pose du complexe, conformément aux spécifications de la norme NF DTU 43.5 (NF P 84-208).

- Dans le cas contraire est interposé un nouvel isolant conforme au paragraphe 4.7, les critères de préparation de l'ancienne étanchéité étant conformes à la norme NF DTU 43.5.

Si aucun complément d'isolation thermique n'est recherché, un panneau FESCO ou FESCO S de 20 mm d'épaisseur convient pour remplir la seule fonction platelage. Il est mis en œuvre conformément aux dispositions du Document Technique d'Application Gamme Fesco non revêtu, si l'Excellflex Solar est mis en œuvre par fixation mécanique ou sur couche préalable elle-même fixée mécaniquement, ou du Document Technique d'Application Gamme Fesco surfacé bitume si l'Excellflex Solar est mis en œuvre sur couche préalable soudée.

Les panneaux de la Gamme Fesco surfacé bitume sont également utilisables dans le domaine d'emploi de la Gamme Fesco non revêtu.

Dans le cas d'élément porteur en TAN, les restrictions d'emploi liant les épaisseurs de panneaux aux largeurs de vallées deviennent sans objet.

## 5. Prescriptions de mise en œuvre relatives aux revêtements

### 5.1 Dispositions générales

#### 5.1.1 Mise en œuvre de l'isolant

Les panneaux isolants sont mis en œuvre en quinconce et jointifs selon les prescriptions de leur Document Technique d'Application particulier.

Sur élément porteur en tôles d'acier nervurées, le joint filant est perpendiculaire aux nervures des tôles.

La mise en œuvre sur pare-vapeur adhésif impose la fixation mécanique de l'isolant, selon les densités définies dans le Document Technique d'Application propre à cet isolant.

#### 5.1.2 Stockage et manutention

Les conditions de stockage sur chantier sont déterminées préalablement auprès du maître d'ouvrage et/ou de l'entreprise générale.

L'Excellflex® Solar est livré en caisses, dont le poids nominal est de 1,2 tonne. Le stockage en toiture est réparti au droit des éléments de charpente.

Les lés d'Excellflex® Solar sont stockés à plat, dans leur conditionnement d'origine, à l'abri des souillures éventuelles pouvant affecter la soudure des recouvrements. Ils sont sortis de la caisse et manipulés par au moins 2 hommes, en évitant de faire glisser le bas de la zone fléchie sur des lés Excellflex® Solar déjà posés.

Les lés, lorsqu'ils sont dans leur position de mise en œuvre, sont déposés à plat et ne doivent pas être roulés sur eux-mêmes comme des membranes bitumineuses classiques.

La soudure est ensuite réalisée en introduisant la buse de chauffe sous le recouvrement et en la faisant coulisser sans soulever le lé.

Le stockage et la manutention des matériaux doivent être exécutés en conformité avec les règles d'hygiène et de sécurité en vigueur.

#### 5.1.3 Précautions de mise en œuvre

Lors de la pose, il convient d'éviter de circuler sur les films des membranes Excellflex® Solar. Un passage des poseurs sur les films est toléré si nécessaire pendant la mise en œuvre du produit. Les poseurs doivent être équipés en conséquence de chaussures à semelles propres.

Aucun équipement, matériau ou matériel de chantier ne doit être déposé sur les films photovoltaïques, tant pendant la phase de mise en œuvre des membranes photovoltaïques que pendant l'intervention de l'électricien.

L'assemblage par soudure à l'air chaud des membranes Excelflex® Solar doit être réalisé à une température du matériau supérieure à + 2°C, mesurée par thermomètre à infrarouge.

La soudure est réalisée après réglage de la vitesse de déplacement et de la température de chauffe de l'automate. Ces réglages sont effectués avant chaque phase de soudage, après un essai de contrôle des paramètres nominaux de soudure (vitesse 2m/mn - T° = 500 °C). L'essai de contrôle consiste à :

- prélever dans des chutes ou lès d'Excelflex, des bandes d'environ 2 m de longueur et 15 à 20 cm de large, soudées l'une sur l'autre avec l'automate ;
- découper après assemblage et refroidissement 2 ou 3 bandes transversales de 5 cm de largeur environ ;
- effectuer un pelage manuel en tirant à 180 ° les 2 extrémités des échantillons.

Les critères d'acceptabilité de la soudure sont :

- bourrelet visible en bordure de la soudure ;
- rupture dans le matériau ;
- absence de film dans la zone soudée ;
- soudure effective sur une largeur d'au moins 7 cm.

Les résultats sont consignés dans un registre d'autocontrôle conservé pendant toute la durée du chantier.

La membrane Excelflex® Solar ne doit jamais être coupée.

## 5.2 Type A : Excelflex® Solar monocouche fixé mécaniquement

### 5.21 Mise en œuvre de la partie photovoltaïque (voir figure 1)

#### 5.211 Généralités

Ce mode de pose est réservé aux éléments porteurs en TAN et bois ou panneaux dérivés du bois.

Sur TAN, les lés sont positionnés perpendiculairement aux nervures.

La fixation se fait à l'aide d'un attelage constitué d'une plaquette Axter (voir figure 2) et d'un élément de liaison adapté à l'élément porteur et au support.

La plaquette Axter est disponible en 2 versions adaptées aux vis de 4,8 mm de diamètre ou aux vis de 6,3 ou 6,5 mm de diamètre.

L'attelage est du type « solide au pas » (voir paragraphe 9.5) si le support n'a pas une résistance à la compression à 10% supérieure à 100 kPa.

Le bord retombé de la plaquette doit impérativement être au contact du bord longitudinal du lé à fixer, afin d'assurer le bon positionnement de la vis à 3 cm de la lisière. (Voir figure 3).

#### 5.212 Mise en œuvre des lés (voir figures 4 et 5)

L'emplacement prévisionnel des abouts de lés d'Excelflex® Solar est déterminé à partir du calepinage préalable.

Avant leur mise en œuvre, une Bande de Pontage de 30 cm de large, face filmée au-dessus (définie au paragraphe 9.7), est disposée longitudinalement à l'axe des abouts de lés d'Excelflex® Solar. Elle est fixée sur ses 2 lisières à raison de 2 fixations avec plaquettes Axter disposées en vis-à-vis tous les mètres environ.

Les Bandes de Pontage sont posées bout à bout sans recouvrement.

Les lés d'Excelflex® Solar sont ensuite positionnés à sec sur le support, avec leurs abouts de lés alignés et posés bord à bord avec les lés en vis-à-vis, avec un recouvrement de 15 cm sur la Bande de Pontage. Les lés sont manipulés à plat, par au moins deux personnes, et posés à plat sur le support à l'avancement, selon le plan de calepinage.

La jonction entre 2 Bandes de Pontage doit être décalée d'au moins 20 cm du recouvrement des lés d'Excelflex® Solar.

Les lés d'Excelflex® Solar sont alors fixés mécaniquement en lisière selon la densité définie au paragraphe 5.213. Le recouvrement longitudinal de 8 cm est soudé à l'air chaud en continu, y compris au dessus de la Bande de Pontage.

Les abouts de lés sont soudés également à l'air chaud sur la Bande de Pontage sur 8 cm de largeur.

La jonction des abouts de lés est complétée par une Bande de Finition de 20 cm de largeur face filmée au dessous, alignée sur la jonction longitudinale entre abouts de lés (la Bande de Finition est définie au paragraphe 9.7).

La jonction entre 2 Bandes de Finition doit être décalée d'au moins 20 cm par rapport au recouvrement longitudinal des lés d'Excelflex® Solar, ainsi que du raccord entre Bandes de Pontage. La Bande de Finition est soudée à l'air chaud aux recouvrements de ses 2 bords longitudinaux sur les abouts de lés d'Excelflex® Solar sur une largeur de 8 cm de part et d'autre.

## 5.213 Densité et répartition des fixations

La densité de fixations est calculée en fonction de la zone et du site de vent par référence:

- aux Règles NV 65 modifiées, en vent extrême,
- à un système de référence composé de la membrane Excelflex S ou Excelflex® Solar, et de l'attelage de référence composé de la plaquette Axter et d'une vis FASTO 3036 DF d'ETANCO,
- à une charge dynamique admissible par fixation,  $W_{adm} = 460$  N, obtenue pour ce système de référence sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées perforées de 0,75 mm d'épaisseur, pour la fixation de référence caractéristique  $P_k$  égale à 1500 N sur ce même élément porteur.

Pour les éléments porteurs et/ou les attelages autres que ceux du système de référence, l'adaptation est faite conformément aux règles d'adaptation du cahier du CSTB 3563.

### Règles simplifiées d'espacement des fixations des lés d'Excelflex® Solar

Les tableaux 3 et 3 bis récapitulent les calculs des espacements entre fixations dans les conditions simplifiées des Règles NV 65 modifiées (bâtiments d'élanement courant), en prenant en compte des bâtiments avec éléments porteurs en tôles d'acier nervurées ou en bois, ou panneaux dérivés du bois, à versants plans et courbes de hauteur 20 m au plus, ouverts ou fermés, en travaux neufs ou en réfection.

Cette règle simplifiée ne concerne que l'Excelflex® Solar, uniquement mis en œuvre en partie courante.

Pour les rives, les angles, et autour des émergences, et les parties non photovoltaïques, la densité de fixations est celle du procédé utilisé en complément, selon son Avis Technique ou Document Technique d'Application.

### Tolérances sur l'espacement maximal entre deux fixations dans le cas d'une pose sur tôle d'acier nervurée

Les valeurs des tolérances définies au tableau 4 permettent d'adapter les espacements entre fixations au pas réel des tôles d'acier nervurées.

Si l'espacement réel entre deux fixations est supérieur à la valeur calculée, l'espacement entre les deux fixations suivantes sera réduit d'autant (voir tableau 4).

Pour les autres cas (bâtiment de hauteur supérieure à 20 m,...), l'étude doit être effectuée en fonction des règles NV 65 modifiées.

## 5.22 Partie non photovoltaïque

Les surfaces non photovoltaïques sont traitées :

- avec les feuilles Excelflex® S définies dans le présent Avis Technique ou les feuilles Alpal Decor CPV définies dans l'Avis Technique ALPAL. Les feuilles sont mises en œuvre par fixation mécanique en lisière avec plaquette Axter, avec recouvrements de 8 cm, soudé à l'air chaud en bordure du champ photovoltaïque ou au chalumeau.

Le  $W_{adm}$  des fixations de l'Excelflex S est également de 460 N pour une fixation de référence identique à celle de l'Excelflex® Solar. Sur 0,50 m autour de la zone photovoltaïque, l'ensemble des soudures se fait exclusivement à l'air chaud, de façon à ne pas exposer l'Excelflex® Solar à la flamme du chalumeau. Les renforts de noues de pente nulle sont réalisés avec une feuille Excelrenfort conformément aux dispositions figurant dans l'Avis Technique Alpal.

- avec un autre procédé de la gamme AXTER conformément à son Avis Technique ou Document Technique d'Application. Une zone de transition de 0,50 m est réalisée comme ci-dessus autour de la zone photovoltaïque, et raccordée à celle-ci (voir figure 6) par soudure au chalumeau selon les dispositions suivantes :

- Si étanchéité monocouche :

- l'étanchéité monocouche de la partie non photovoltaïque est mise en œuvre selon les dispositions de son Avis Technique ou Document Technique d'Application et raccordée à la zone de transition par soudure au chalumeau.

- Si étanchéité bicouche :

- l'étanchéité bicouche de la partie non photovoltaïque est mise en œuvre selon les dispositions de son Avis Technique ou Document Technique d'Application et est raccordée à la zone de transition par soudure au chalumeau. La première couche est mise en œuvre sous la membrane de la zone de transition, la seconde couche au dessus.

### 5.3 Types B et C : Excelflex® Solar soudé sur la couche d'étanchéité préalable

Ces types de pose associent la membrane Excelflex® Solar à la couche préalable pour constituer un système complet.

La composition des revêtements est indiquée au *tableau 1*.

La couche préalable est constituée d'une membrane Excelflex S ou d'Excelrenfort CPV (face grésée au dessus). Elle est appliquée selon le système, comme décrit ci-dessous.

#### 5.31 Mise en œuvre de la couche d'étanchéité préalable

##### 5.311 Type B : couche préalable fixée (voir *figure 5*)

La feuille de couche préalable est déroulée à sec (perpendiculairement aux nervures des tôles, sur tôles d'acier nervurées) et fixée mécaniquement en lisière sous les recouvrements. Les recouvrements transversaux sont de 10 cm.

La largeur des recouvrements longitudinaux et la position des fixations par rapport au bord du lé sont fonction des fixations employées (voir *figure 5*).

Le système de fixation est identique à celui de l'Excelflex® Solar en montage de type A, avec plaquette Axter ; le  $W_{adm}$  est de 460 N, pour une fixation de référence identique à celle de l'Excelflex® Solar.

La densité de fixations est calculée en fonction de la zone et du site de vent par référence :

- aux Règles NV 65 modifiées, en vent extrême,
- aux dispositions du Cahier du CSTB n°3563 relatives à la « résistance au vent des systèmes d'étanchéité de toitures fixé mécaniquement » en vent extrême,
- au système de référence.

Pour les éléments porteurs et/ou les fixations autres que ceux du système de référence, l'adaptation à d'autres attelages de fixations est faite conformément aux règles du cahier du CSTB 3563.

La densité de fixation n'est jamais inférieure à 3/m<sup>2</sup>.

##### 5.312 Type C : couche préalable soudée (voir *figure 5*)

La couche préalable est soudée au chalumeau.

- En adhérence totale :

La couche préalable du revêtement est posée à recouvrements soudés de 6 cm au moins. Elle est soudée en plein :

- sur isolant conforme au paragraphe 4.7 apte à cet usage ou rendu apte par surfacage à l'EAC avant soudage,
- ou sur panneaux dérivés du bois après pontage des joints de panneaux et préparation du support par EIF,
- ou sur ancien revêtement autoprotégé métallique délardé imprégné d'EIF.

- En semi-indépendance :

- sur éléments porteurs bois et dérivés du bois, la couche préalable est mise en œuvre dans les mêmes conditions qu'au chapitre 5.311 avec vis en lisière et recouvrements longitudinaux soudés de 6 cm, ou clouée dans les conditions de la norme NF DTU 43.4 pour les sous-couches clouées (tous les 33 cm en quinconce et tous les 15 cm en bordure des feuilles), avec recouvrements soudés.
- sur maçonnerie, béton cellulaire et ancienne étanchéité bitume à protection minérale, la couche préalable est soudée en plein à recouvrements de 6 cm, à travers un écran perforé Thermecran : l'écran perforé est déroulé à sec, le recouvrement est facultatif. La couche préalable est rendue adhérente au support sur 30 à 50 cm en périphérie des ouvrages et autour des émergences.
- sur ancienne étanchéité bitume à protection minérale, par un soudage partiel de la couche préalable après enduction d'EIF.

#### 5.32 Mise en œuvre de la partie photovoltaïque

Les lés d'Excelflex® Solar sont positionnés à sec sur la couche préalable, décalés par rapport à ces derniers d'environ un demi-lé ou croisés.

La soudure de l'Excelflex® Solar sur la couche préalable est réalisée à l'air chaud par automate sur toute la périphérie des membranes.

Le 1<sup>er</sup> lé est soudé sur 8 cm de large sur la couche préalable, sur les 2 bords longitudinaux et sur les 2 abouts.

Le lé suivant est soudé longitudinalement sur 8 cm en recouvrement du 1<sup>er</sup> lé, puis les 3 autres côtés sont soudés sur la couche préalable sur 8 cm, et ainsi de suite à l'avancement.

Une Bande de Finition (voir paragraphe 9.7) est soudée dans l'axe des abouts de lés d'Excelflex® Solar en vis-à-vis, en 2 passes, avec une largeur de soudure de 8 cm. Ces bandes sont posées jointives sans recouvrement.

La jonction entre 2 Bandes de Finition est décalée d'au moins 20 cm par rapport au recouvrement longitudinal des lés d'Excelflex® Solar.

#### 5.33 Partie non photovoltaïque

Les surfaces non photovoltaïques sont traitées :

- soit avec la membrane Excelflex® S ou la membrane Alpal Decor CPV (selon l'Avis Technique Alpal), soudées en plein au chalumeau sur la couche préalable. Toutefois, sur 0,50 m autour de la zone photovoltaïque, l'ensemble des soudures se fera exclusivement à l'air chaud sur la couche préalable, de façon à ne pas exposer l'Excelflex® Solar à la flamme du chalumeau.

La présence de la couche préalable dispense de mettre en place les renforts dans les noues de pente nulle.

- soit par tout autre procédé de la gamme Axter.

Dans ce cas, une zone de transition en membrane Excelflex® S ou Alpal Decor CPV est à prévoir sur 0,50 m entre la zone photovoltaïque et le reste de la toiture, traitée de la même façon qu'au chapitre 5.22.

## 6. Partie électrique

### 6.1 Dispositions générales

L'ensemble des travaux doit s'effectuer dans le respect des normes, ainsi que des règlements administratifs auxquels certaines installations sont tenues de satisfaire.

### 6.2 Mise en œuvre

#### 6.21 Câbles

Les câbles cheminant en toiture et raccordant les films photovoltaïques doivent être dimensionnés pour une température de surface de l'étanchéité de 70°C.

Le choix des câbles doit être effectué en fonction des courants et tensions déterminés selon les précisions apportées au paragraphe 6.27.

Tous les câbles de l'installation (en sortie des films photovoltaïques et pour les connexions entre séries de films photovoltaïques et vers l'onduleur) respectent les prescriptions de la norme NF C 15-100, le Guide UTE C 15-712 et les spécifications des onduleurs (longueur et section des câbles adaptés au projet).

Les câbles doivent être dimensionnés de telle sorte que la chute de tension entre le champ PV (aux conditions STC) et l'onduleur soit inférieure à 3% (idéalement 1%).

Dans le cas des bâtiments collectifs d'habitations, les installations photovoltaïques à usage collectif ne doivent pas traverser ou cheminer dans les parties privatives.

Les connexions et les câbles doivent être mis en œuvre de manière à éviter toute détérioration due aux effets du vent et de la glace.

Les réseaux continus et alternatifs doivent être distincts, sauf ponctuellement au niveau des croisements.

#### 6.22 Câblage des chaînes

Il y a lieu de dimensionner les câbles des chaînes en fonction du courant de défaut maximum éventuel et de la présence ou non d'une protection par fusible.

La norme CEI 60364 admet qu'une protection contre les surcharges peut être omise sur les câbles des chaînes si le courant admissible du câble est égal ou supérieur à 1,25 I<sub>cc</sub> (stc) en tout point.

Pour des systèmes comportant davantage de chaînes en parallèle, la protection par fusibles (sur chaque polarité de chaque chaîne) est indispensable pour les systèmes ne répondant pas aux exigences ci-dessus.

Dans tous les cas, les câbles sont dimensionnés en appliquant les facteurs classiques multiplicatifs de correction en courant (coefficient de mode de pose, coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble, coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble).

#### 6.23 Connecteurs DC

Des connecteurs débouchables tels que définis au paragraphe 9.82 sont utilisés au niveau des films photovoltaïques.

Les connecteurs sont spécifiés pour le courant continu et sont dimensionnés pour des valeurs de tensions et courants identiques ou supérieures à celles des câbles qui en sont équipés.

Une étiquette « ne pas déconnecter en charge » doit être fixée à proximité des connecteurs.

## 6.24 Boîte de jonction DC

Si le système est constitué de plusieurs chaînes, la boîte de jonction permet leur mise en parallèle. Celle-ci peut contenir aussi d'autres composants tels que fusibles, interrupteurs, sectionneurs, parafoudres et points de tests.

La boîte de jonction doit être implantée en un lieu accessible pour les exploitants, et comporte des étiquettes de repérage et de signalisation de danger : « Boîte de jonction panneau PV : BJPV N° » avec une étiquette « danger, conducteurs actifs sous tension ». Les étiquettes doivent être facilement visibles et fixées d'une manière durable pour résister aux conditions ambiantes (température, humidité, UV,...).

Chaque chaîne du champ photovoltaïque doit pouvoir être déconnectée et isolée individuellement. Ceci peut être réalisé par le biais de porte fusible ou d'autres liaisons déconnectables mais sans risque pour l'opérateur.

En aucun cas, le sectionnement ne doit être réalisé en charge et ceci doit être clairement indiqué par une étiquette apposée à l'intérieur de la boîte de jonction.

Un interrupteur général DC est intégré dans chaque boîte de jonction sur le départ de la liaison principale.

## 6.25 Fusibles

Compte tenu du principe de ne pas relier à la terre une des polarités DC, des fusibles doivent être installés à la fois sur la polarité positive et négative de chaque chaîne.

## 6.26 Diodes de découplage

Si les diodes de découplage sont spécifiées, elles doivent avoir une tension inverse minimum égale à  $2 V_{co} (stc) \times \text{nombre de films}$  dans la chaîne.

## 6.27 Liaison principale DC

Pour un système de N chaînes connectées en parallèle, chacune d'elle étant constituée de M modules connectés en série, les liaisons principales DC sont dimensionnées de la manière suivante :

- Tension :  $V_{co} (stc) \times M \times 1,15$ .
- Courant :  $I_{cc} (stc) \times N \times 1,25$ .

La liaison principale est réalisée par 2 câbles unipolaires double isolation et de section suffisante pour limiter les chutes de tension au minimum.

## 6.28 Interrupteur DC

Le sectionneur DC sur la liaison principale, en amont de l'onduleur, est un moyen d'isoler électriquement le champ photovoltaïque tout entier.

Il est mis en place un interrupteur/sectionneur remplissant à la fois la fonction de coupure en charge et de sectionnement.

L'interrupteur DC doit être dimensionné pour la tension et le courant maximum déterminés selon les précisions apportées au paragraphe 6.27.

L'interrupteur doit être étiqueté « Interrupteur Sectionneur principal champ PV » avec un repérage clair des positions ON/OFF.

Le coffret comportant l'interrupteur/sectionneur doit être étiqueté « danger, conducteurs actifs sous tension ». Les étiquettes devront être très visibles et fixées d'une manière durable pour résister aux conditions ambiantes (température, humidité, ...).

## 6.29 Chemins de câbles

Les câbles courant continu sont mis en œuvre dans des chemins de câbles Cablofil R55 tels que définis au paragraphe 9.85. Le choix et la mise en œuvre du matériel répondront aux spécifications suivantes :

- Le chemin de câble doit être relié à la masse de l'installation tous les 15 à 20 mètres à l'aide d'accessoires dédiés (raccord à griffes, bornes...).
- Le dimensionnement des canalisations est effectué conformément aux spécifications de la norme NF C 15-100 sur la base des canalisations à isolation PR. Dans le cas particulier des canalisations soumises au rayonnement solaire direct, la température ambiante à prendre en compte pour leur dimensionnement est considérée égale à 70 °C, par conséquent un facteur de correction de 0,58 est à appliquer conformément au tableau 52K de la NF C 15-100.

Les chemins de câbles Cablofil R55 en toiture sont fixés sur des supports (voir figure 7) permettant une surélévation de 50 mm minimum par rapport à la toiture. Ces supports sont soudés industriellement au préalable sur une platine de même nature et dimensions 15 cm x 15 cm environ, la platine étant dimensionnée de telle sorte que la pression admissible sur le revêtement d'étanchéité reste inférieure à 0,1 daN/cm<sup>2</sup>, angles coupés 2 x 2 cm, l'entraxe entre supports est limité dans tous les cas à 2 m maximum.

Pour les pentes de toiture inférieures à 5%, la platine est collée sur la membrane d'étanchéité à l'aide de la colle Ruberfix commercialisée par Axter et compatible avec le liant des membranes d'étanchéité courante.

La platine est collée sur toute sa surface avec une épaisseur minimale de 3 mm de colle Ruberfix, le plan de collage ne doit pas être sollicité durant le temps de prise de la colle (qui dépend de la température ambiante, 24 h à 10°C ou 4 h à 25°C) donc le chemin de câble ne doit pas être installé avant ce délai minimal à respecter.

Pour des pentes de toiture supérieures à 5%, le collage est renforcé par un plastron de 35 cm x 35 cm minimum évidé au droit du support, et soudé sur la platine et le revêtement d'étanchéité (le plastron est réalisé dans une feuille de finition du complexe).

La mise en œuvre doit répondre aux exigences de la norme CEI 61 537 « Systèmes de chemins de câbles et systèmes d'échelle à câbles pour installations électriques ».

## 7. Assistance technique

L'assistance technique pour la pose du revêtement d'étanchéité photovoltaïque Excelflex® Solar est assurée par la DT SMAC.

Les travaux de raccordement électrique sont réalisés sous la responsabilité de l'entreprise titulaire du lot.

## 8. Entretien et réparation

### 8.1 Entretien

Un contrat d'entretien entre SMAC et le maître d'ouvrage doit être établi au jour de la réception de l'ouvrage.

L'entretien minimal est conforme à celui des normes NF P 84 série 200 (DTU série 43).

Au minimum, une visite semestrielle est obligatoire afin de contrôler l'étanchéité, l'état des films photovoltaïques et les connexions électriques. Il convient de retirer des films les éventuels objets pouvant les cacher (cartons, plastiques, etc.). Une fréquence de visite plus importante peut être imposée, en fonction de l'exposition de l'ouvrage après étude de site.

Si un nettoyage des films photovoltaïques s'impose, il doit se faire impérativement à l'eau claire en utilisant un chiffon non abrasif ou une serpillère, notamment en fin de chantier. Un tuyau d'eau peut être utilisé, sa pression de service ne dépassant pas 3 bars.

Le nettoyage des films photovoltaïques impose, selon les dimensions de la zone photovoltaïque, l'implantation de points d'alimentation en eau sur la toiture, à prévoir dès l'origine par le concepteur.

Chaque entretien donne lieu à un rapport de visite.

La circulation sur le champ photovoltaïque est réalisée prioritairement sur les bandes en bout de lés qui ne reçoivent pas les câbles. Exceptionnellement (voir paragraphe 5.13), un passage sur le film est admis dès lors que l'opérateur est muni de chaussures adaptées (semelles en caoutchouc propres). Des chemins de circulation peuvent être prévus en périphérie du champ photovoltaïque, notamment pour l'accès aux équipements (onduleurs,...).

### 8.2 Réparation

Les réparations du procédé Excelflex® Solar s'effectuent après mise hors circuit de l'installation, par SMAC pour ce qui concerne l'étanchéité et par une entreprise qualifiée pour ce qui concerne la partie électrique.

L'intervention sur les membranes est effectuée :

- hors zone photovoltaïque, de façon conventionnelle pour les revêtements d'étanchéité à base de bitume.
- sur la zone photovoltaïque : découpe du lé autour des films photovoltaïques, puis mise en place d'un nouveau lé Excelflex® Solar soudé à l'air chaud sur le galon périphérique de l'ancien lé conservé.

## 9. Matériaux

### 9.1 Liant ALPA FE / FC

Les caractéristiques du liant sont données au *tableau 5* (voir Avis Technique Alpal).

### 9.2 Membranes d'étanchéité

Les caractéristiques des membranes Excelflex® S et Excelrenfort CPV sont données au *tableau 6*.

Ces membranes sont conformes à la norme NF EN 13707 et au Guide Technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en feuilles de bitume polymère polypropylène atactique (APP) ou styrène-butadiène-styrène (SBS) armées (e-cahiers du CSTB – Cahier 3542 de janvier 2006).

### 9.3 Films photovoltaïques

Les films photovoltaïques PVL-144 et PVL-68 sont à base de silicium amorphe. Ils conformes à la norme CEI 61646 et à la norme CEI 61730.

Les cellules sont déposées sur un substrat en acier inox et encapsulées dans un composé à base de polymère ETFE. 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.

Chaque film résulte de l'association de 22 cellules raccordées en série, protégées par une diode bypass.

Caractéristiques des films :

	PVL-144	PVL-68
Puissance crête	144 Wc	68 Wc
Dimensions	5 486 mm x 394 mm x 4 mm	2 849 mm x 394 mm x 4 mm
Poids	7,7 kg	3,9 kg

Performances électriques (par film 144 Wc) :

Les caractéristiques ci-dessous sont établies aux conditions STC (Standard Test Conditions : éclairage de 1000 W/m<sup>2</sup> et répartition spectrale solaire de référence selon CEI 60904-3 avec une température de cellule de 25°C).

- P<sub>mpp</sub> (W) = 144 (puissance au point de puissance maximum).
- U<sub>co</sub> (V) = 46,2 (tension en circuit ouvert).
- U<sub>mpp</sub> (V) = 33 (tension nominale au point de puissance maximum).
- I<sub>cc</sub> (A) = 5,3 (courant de court circuit).
- I<sub>mpp</sub> (A) = 4,36 (courant nominal au point de puissance maximum).
- $\alpha_T (P_{mpp}) [ \% / K ] = - 0,21$  (coefficient de température pour la puissance maximum).
- $\alpha_T (U_{co}) [ \% / K ] = - 0,38$  (coefficient de température pour la tension en circuit ouvert).
- $\alpha_T (I_{cc}) [ \% / K ] = 0,10$  (coefficient de température pour l'intensité de court circuit).

Chaque film subit un « flash test » chez Unisolar Ovonix.

### 9.4 Revêtement d'étanchéité photovoltaïque Excelflex® Solar

Les membranes sont de dimensions 6 m x 1 m et de puissance 288 Wc ou 3,33 m x 1 m et de puissance 136 Wc. Les deux films sont collés sur la membrane avec un espacement de 5 mm ± 2 mm.

Le procédé Excelflex® Solar est conforme à la norme CEI 61646.

### 9.5 Fixations mécaniques pour Excelflex® Solar, Excelflex® S et Excelrenfort

La fixation (système Type A ou couche préalable pour Type B) se compose de :

- vis de diamètre 4,8 mm, 6,3 mm ou 6,5 mm,
- plaquette AXTER de dimensions 40 mm x 40 mm, en acier galvanisé d'épaisseur 0,8 mm.

Elles font l'objet d'une fiche technique établie par le fabricant, précisant notamment la valeur du P<sub>k<sub>ft</sub></sub> par référence à la norme NF P 30-313.

### 9.6 Colle Ruberfix pour support de chemin de câble

Colle bitumineuse modifiée en pâte à prise rapide, monocomposante, épaisse, thixotrope, à élasticité permanente.

La colle est conditionnée en bidons de 25, 12,5 et 5 kg.

Le stockage doit se faire dans un endroit tempéré, à l'abri des intempéries et du gel. La colle peut se conserver 12 mois au sec dans son emballage d'origine.

Pour les conditions d'emploi, se référer à la fiche sécurité.

Elle est caractérisée par une résistance à la traction perpendiculaire entre une feuille élastomère grésée et un panneau de PSE > 50 kPa - Fréquence de contrôle : 1/an.

Les caractéristiques de la colle sont données au *tableau 7*.

### 9.7 Autres matériaux

#### Ecran de semi-indépendance

Thermécran : 36 S VV HR perforé, sous-face filmée, épaisseur minimale 1 mm.

#### Matériaux pour écran pare-vapeur

- VAP : voile de verre aluminium ; Alu-VV (conforme aux normes - DTU série 43), pour pare-vapeur.
- STICKFLEX autoadhésif : cf. Avis Technique Hyrène.
- HYRÈNE 25/25 : cf. Avis Technique Hyrène.
- ANTIVAP, HYRENE 25/25 TS, VAP AL, VAP AL SK, ALPHARDOISE, STICKFLEX VV 50 : Voir Document Technique d'Application HYRENE TS.

#### Autres matériaux en feuille

Excelflex® S : lé de 6 m x 1 m, armé polyester 180 g/m<sup>2</sup>, 4 mm épaisseur, liant ALPA FE, filmé surface, grésé en sous-face, classement Broof(t3) (PV n° 13780 du WFG).

#### Matériaux en bandes

Les matériaux en bandes sont extraits à partir de feuilles Excelflex S ; ils présentent les caractéristiques dimensionnelles suivantes :

- Bande de Pontage : bande de 30 cm de large et 10 m de long,
- Bande de Finition : bande de 20 cm de large et 10 m de long,
- Bande de Pourtour : bande de 50 cm de large et 10 m.

### 9.8 Câbles et équipements électriques

#### 9.8.1 Câbles

Les films photovoltaïques sont équipés de 2 câbles de 4 mm<sup>2</sup>, fournis par Unisolar et certifiés par le TÜV, et ayant les caractéristiques suivantes :

- plage de température : - 40°C à + 120 °C,
- classe de sécurité électrique II,
- tension assignée 1000 V.

Tous les câbles sont sélectionnés de manière à ce que les risques de défaut à la terre ou de courts-circuits soient minimisés après installation, ceci peut être réalisé par renforcement de la protection du câblage de 2 manières :

- câble simple conducteur avec double isolation,
- câble conducteur simple isolation cheminant dans un conduit spécifique.

Les câbles extérieurs doivent être à la fois, flexibles, stables aux UV, résistants aux intempéries, à la corrosion (pollution, brouillard salin...) et compatibles avec la connectique rapide le cas échéant.

Les câbles sont de type C2 (non propagateur de la flamme) et choisis parmi ceux ayant une température admissible sur l'âme d'au moins 90°C en régime permanent.

Les câbles soumis directement au rayonnement solaire doivent répondre à la condition d'influence externe AN3 (résistants aux rayons ultraviolets). Toutefois, la résistance à la condition d'influence externe AN3 pourra être réalisée par installation (interposition d'écran,...).

Tous les câbles de l'installation (connexion entre séries de films et vers les onduleurs) respectent la norme NF C 15-100 et le guide UTE C 15-712.

#### 9.8.2 Connecteurs DC

Les connecteurs sont des connecteurs débouchables de marque Multi-Contact de type MC3 ou MC4.

- Ils assurent une protection contre les contacts directs (> IP21).
- Ils sont de classe II de sécurité électrique.
- Ils résistent aux conditions extérieures (UV, humidité, température,...).
- Ils ont un indice de protection IP 65 pour les MC3 et IP 67 pour les MC4.

#### 9.8.3 Boîte de jonction DC

Afin de garantir un bon niveau de sécurité, les dispositions constructives suivantes s'appliquent :

- choix d'une enveloppe non-propagatrice de la flamme,
- protection contre les contacts directs par utilisation des appareils possédant au moins un degré de protection IP2X ou IPXXB,
- ouverture possible seulement à l'aide d'un outil,
- séparation des borniers positifs et négatifs avec une isolation appropriée,
- disposition des bornes terminales de telle sorte que les risques de court-circuit durant l'installation ou la maintenance soit improbables.

## 9.84 Fusibles

Les fusibles doivent être appropriés pour le courant continu et doivent être calibrés pour une valeur de courant comprise entre 1,5 Icc et 2 Icc (stc).

## 9.85 Chemins de câbles

Les chemins de câble sont des chemins de câbles Cablofil R55 (voir figure 7).

Les chemins de câbles et leurs supports sont :

- galvanisés à chaud en ambiance urbaine normale.
- en acier inoxydable 316 L en ambiance urbaine sévère ou industrielle ou marine.

Les chemins de câbles et support galvanisés à chaud ne doivent pas être coupés.

## 10. Fabrication et contrôles en usine

- Les feuilles sont produites par la société Axter dans son usine de Courchelettes (59).

L'autocontrôle de fabrication (voir *tableau 8*) fait partie de l'ensemble d'un système d'Assurance Qualité conforme à la norme ISO 9001:2000 et certifié par l'AFAQ.

- La fabrication des films photovoltaïques PVL-68 et PVL-144 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  $\pm 5\%$ ,
  - contrôle visuel des films photovoltaïques.
- Fabrication de l'Excelflex® Solar :  
La fabrication de l'Excelflex® Solar s'effectue sur le site de la société Axter à Courchelettes et comprend les étapes suivantes :
    - chargement des films photovoltaïques et des feuilles Excelflex® S dans la chaîne de fabrication,
    - traitement des films et encollage,
    - positionnement des films photovoltaïques sur la feuille Excelflex® S,
    - pressage et calandrage,
    - stockage temporaire pour réticulation,
    - réalisation de la connectique,
    - contrôles, conditionnement et stockage.

Les contrôles à réception des films, réalisés sur chaque film, sont les suivants :

- Vérification de la correspondance entre la livraison et le bordereau de l'essai Flash Test,
- Vérification visuelle de l'aspect des films photovoltaïques selon les préconisations d'Unisolar,

Les contrôles sur l'Excelflex® Solar sont les suivants (la liste détaillée des contrôles réalisés par AXTER est communiquée confidentiellement au CSTB) :

- contrôle pour la préparation du collage et du grammage / fabrication,
- contrôle en continu de la tenue en traction des câbles, de la polarité et de la tension électrique,
- contrôle de l'adhérence du film photovoltaïque par traction en pelage (1 par semaine),
- contrôle visuel en continu avant conditionnement.

## 11. Etiquetage et stockage

Les membranes Excelflex® Solar sont livrées à plat, en caisse standard de 20 lés. Les membranes sont empilées dans la caisse, face PVL au-dessus, avec alternance droite/gauche des extrémités câblées ; une feuille d'interposition est disposée entre chaque lé.

Ces caisses sont munies d'étiquettes comprenant au minimum l'appellation commerciale, les dimensions et un numéro de référence de la caisse. Le bordereau de livraison mentionne la liste des films photovoltaïques dans la caisse.

Les autres membranes sont stockées debout sur palettes.

## B. Résultats expérimentaux

- Conformité des films photovoltaïques PVL-68 et PVL-144 à la norme CEI 61646 : rapport d'essai n° 21209765-1 d'avril 2009 et Certificat n° PV 60024982 en date du 22 avril 2009.
- Conformité des films photovoltaïques PVL-68 et PVL-144 à la norme CEI 61730 : rapport d'essai n° 21209765-2 du 24 juin 2009 et Certificat n° PV 60025819 en date du 1<sup>er</sup> juillet 2009.
- Conformité du procédé Excelflex® Solar à la norme CEI 61646 : 2008 : Rapport d'essais n°21151222.001 délivré par le TÜV le 27 mai 2010 et certificat n° PV 60032655 en date du 29 juillet 2010.
- Essai de tenue au vent d'une étanchéité de toiture (tôle d'acier nervurée perforée + isolation laine de roche + Excelflex® Solar monocouche fixé) : rapport d'essais n° 651 XI 055 selon l'ETAG 006 délivré par le CSTC le 25 mai 2010.
- Essai de tenue au vent d'une étanchéité de toiture (bac acier + laine minérale + Excelflex S + fixation mécanique) : rapport d'essais n° 651XG893 selon l'ETAG 006 délivré par le CSTC le 1<sup>er</sup> avril 2009.
- Essai de tenue au vent d'une étanchéité de toiture (bac acier + isolation laine de roche + Excelflex® Solar bicouche sur couche préalable fixée) : rapport d'essais n°651XH204 selon l'ETAG 006 délivré par le CSTC le 24 octobre 2008.
- Rapport de classement B<sub>ROOF</sub>(t3) pour le procédé Excelflex® Solar n° 13534D du 26 novembre 2008 et rapport d'essai n° 13534C délivré par Warringtonfiregent le 26 novembre 2008 conformément à la norme ENV 1187/A1:2005:Test 3.
- Rapport de classement B<sub>ROOF</sub>(t3) pour le système « Excel Renfort CPV en combinaison avec Excelflex® Solar » n° 13909B du 18 juin 2009 délivré par Warringtonfiregent.
- Rapport d'essai n° 08/9126 de résistance au pelage du procédé Excelflex® Solar à l'état neuf, après vieillissement selon la norme NF EN 1296 et après vieillissement cycle D3 de la norme NF EN ISO 9142, en date du 12 décembre 2008.
- Rapport d'essais du CSTB n°RSET 09-26017226 concernant les revêtements d'étanchéité Excelflex S et Excelflex Solar en date du 18 mars 2009 : Détermination des défauts d'aspect après méthode de vieillissement selon la norme NF EN 1297 : 2004.
- Rapport d'essai n° 09-018 de résistance au pelage du procédé Excelflex® Solar après vieillissement selon la norme NF EN 1297 de 1000 h, en date du 25 mars 2009.
- Rapport d'essais du CSTB n° RSET 09-26017326-1 concernant le revêtement d'étanchéité Excelflex Solar en date du 17 mars 2009 : détermination de la stabilité de forme lors d'une variation cyclique de température selon la norme NF EN 1108.
- Rapport d'essai n°10-023 de détermination de la souplesse à basse température selon la norme NF EN 1109 après vieillissement de 168 jours à 70±2°C, en date de juin 2009.
- Rapport d'essai n°10-022 de détermination de la résistance au fluage à température élevée selon la norme NF EN 1110 après vieillissement de 168 jours à 70±2°C, en date de juin 2009.

## C. Références

La puissance installée du procédé Excelflex® Solar est d'environ 4 MWc depuis 2008.

# Tableaux et figures du Dossier Technique

Tableau 1 – Domaine d'emploi des revêtements d'étanchéité « Excelflex® Solar »

		Toitures inaccessibles		
Élément porteur (1)	Support direct du revêtement	Monocouche fixé	Monocouche soudé par bandes sur couche préalable	
		Type A Excelflex® Solar fixé mécaniquement, recouvrements soudés à l'air chaud	Type B couche préalable fixée mécaniquement, joints soudés + Excelflex® Solar soudé à l'air chaud par bande sous les recouvrements	Type C couche préalable soudée + Excelflex® Solar soudé à l'air chaud par bande sous les recouvrements
Maçonnerie	Maçonnerie			EIF + THERMECRAN + C
	Perlite expansée (fibrée) Composite perlite + phénolique (Résol) Laine minérale			C(2)
	Polyuréthane Polyisocyanurate			
	Polystyrène expansé			
	Verre cellulaire			C (2)
Béton cellulaire autoclavé	Béton cellulaire autoclavé			EIF + THERMECRAN + C
	Perlite expansée (fibrée) Composite perlite + phénolique (Résol) Laine minérale			C (2)
	Polyuréthane Polyisocyanurate			
	Polystyrène expansé			
	Verre cellulaire			C (2)
TAN	Perlite expansée (fibrée) Laine minérale	A	B	C (2)
	Polyisocyanurate	A	B	
	Polystyrène expansé	A	HYRENE 40 AR(4) + B	
	Verre cellulaire			C (2)
Bois et panneaux dérivés du bois	Bois	A	B	
	Panneaux dérivés du bois	A	B	
	Laine minérale Perlite expansée (fibrée) Composite perlite + phénolique (Résol)	A	B	C (2)
	Polyuréthane parementé Polyisocyanurate	A	B	
	Polystyrène expansé	A	HYRENE 40 AR(4) + B	
	Verre cellulaire			C (2)
Ancien revêtement (cf. § 4.8)	Bitumineux protection métallique non délardée	A (3)	B (3)	EIF + C (6)
	Bitumineux protection minérale	A (3)	B (3)	THERMECRAN + C (5)
	Membrane synthétique	VAP + A(3)	VAP + B(3)	

(1) Pentes conformes aux normes NF P 84-206 à NF P 84-208 (réf. DTU 43.3 à DTU 43.5) et aux « Conditions générales d'emploi des dalles en toitures en béton cellulaire armé » avec une pente minimale de 3%

(2) Sur panneaux isolants aptes à recevoir des revêtements soudés

(3) Sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées ou en bois et panneaux dérivés du bois

(4) Face ardoisée vers le bas. Peut être remplacé par un HYRENE 30

(5) Ou : EIF + soudage partiel + C dans les conditions de l'Avis Technique Alpal

(6) Après avoir délardé

Tableau 2 – Constitution et mise en œuvre du pare-vapeur

Élément Porteur	Hygrométrie et chauffage locaux	Mise en œuvre	Pare-vapeur
Maçonnerie (1)	Cas courant	EAC	• EIF + EAC + HYRENE 25/25 + EAC (3)
		soudé	• EIF + HYRENE 25/25 TS (3) • EIF + VAP AL(3)
		Adhésif	• EIF + STICKFLEX VV 50 (4) (6) (3) • EIF + VAP AL SK (4) (6) (3)
	Locaux à forte hygrométrie Planchers chauffants n'assurant qu'une partie du chauffage (10)	EAC	• EIF + EAC + ANTIVAP + EAC (3)
		soudé	• EIF + ALPHARDOISE soudé (3) • EIF + VAP AL (3)
		Adhésif	• EIF + VAP AL SK (4) (6)
Locaux à très forte hygrométrie ou planchers chauffants assurant la totalité du chauffage (10)	EAC	• EIF + PLANIVENT (2) + EAC + ANTIVAP + EAC (3)	
	soudé	• EIF + THERMÉCRAN (2) + ALPHARDOISE (3)	
Béton cellulaire (1)	Faible et moyenne	soudé	• EIF + THERMÉCRAN(2) + HYRENE 25/25 TS soudé (3) ou se reporter aux « Conditions générales d'emploi »
Bois	Faible et moyenne	cloué	• HYRENE 25/25 cloué (5), joints soudés (3)
Panneaux dérivés du bois (7)	Faible et moyenne	cloué	• HYRENE 25/25 cloué (5) (9) joints soudés (3)
		soudé	• HYRENE 25/25 TS (3) • VAP AL (3)
		Adhésif	• EIF + STICKFLEX VV 50 (4) (6) (3) • EIF + VAP AL SK (4) (6) (3)
TAN pleines	Faible et moyenne	inutile	
	Fort		• VAP libre joints pontés (6) (8) • Pontages recouvrements TAN par STICKFLEX (6) • ANTIVAP joints soudés (6) (8) • HYRENE 25/25 TS joints soudés (11) (6) (3)
	Très forte (10)		• ANTIVAP collé à l'EAC sur platelage conforme au DTU 43.3 (3)
TAN perforées ou crevées	Faible et moyenne		• VAP libre (6) (8)

(1) Pontage des joints si besoin.

(2) L'écran perforé est déroulé bord à bord ou à recouvrement de 5 à 10 cm.

(3) Les pare-vapeur sont jointoyés soudés sur 6 cm au moins

(4) Mis en œuvre sur support béton présentant un très bon fini de surface, correspondant à « l'aspect régulier » des bétons surfacés selon la norme NF P 10-103 (DTU 20.12), sur panneaux dérivés du bois conformes à la norme NF P 84-207 (DTU 43.4) et sur tôle d'acier nervurées conforme à la norme NF P 84-206 (DTU 43.3). Après enduction EIF (VERNIS ANTAC), sauf sur TAN, le pare-vapeur adhésif est déroulé en retirant le film siliconé de sous-face ; les recouvrements sur 5 cm sont jointoyés en retirant la bande siliconée pelable et en marouflant soigneusement.

(5) Le clouage utilise des clous à tête large, à raison d'un clou tous les 33 cm en quinconce sur toute la surface.

(6) L'isolant et/ou le revêtement doit être fixé mécaniquement ou mis en œuvre selon son DTA pour ce cas d'emploi

(7) Avec pontage des joints.

(8) Recouvrement de 10 cm.

(9) Panneaux isolants collés à froid exclus.

(10) Exclu sous revêtement ou isolant fixé

(11) On s'assurera de la compatibilité de la protection en sous face des tôles d'acier nervurées avec la chaleur apportée par le soudage

**Tableau 3 – Espacements entre fixations – Versants plans – Bâtiment d'élanement courant, hauteur ≤ 20 m – Fixations de  $Pk \geq 1500 N$**

Hauteur (m)	DESTINATION							
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
<b>Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs - Bâtiments fermés</b>								
10	36	36	36	36	36	30	31	26
15	36	36	36	33	34	27	28	24
20	36	35	36	30	32	25	26	22
<b>Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts</b>								
10	36	28	31	24	25	20	21	17
15	34	25	28	22	23	18	19	16
20	32	23	26	20	21	17	17	14
<b>Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections - Bâtiments fermés</b>								
10	36	36	36	36	36	36	36	36
15	36	36	36	36	36	36	36	34
20	36	36	36	36	36	36	36	31

**Tableau 3 bis – Espacements entre fixations – Versants courbes – Bâtiment d'élanement courant, hauteur ≤ 20 m – Fixations de  $Pk \geq 1500 N$**

Hauteur (m)	DESTINATION							
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
<b>Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs - Bâtiments fermés</b>								
10	36	36	36	33	34	27	28	24
15	36	34	36	30	31	25	26	21
20	36	32	36	28	29	23	24	20
<b>Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts</b>								
10	35	26	29	22	23	19	19	16
15	32	24	27	20	21	17	18	15
20	30	22	25	19	20	16	16	13
<b>Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections - Bâtiments fermés</b>								
10	36	36	36	36	36	36	36	33
15	36	36	36	36	36	34	36	30
20	36	36	36	36	36	32	33	27

**Tableau 4 – Tolérances sur l'espacement maximal entre deux fixations**

Espacement (cm)	≥ 35	de 35 à 25	de 25 à 18	de 18 à 12
tolérance (cm)	+ 4	+ 3	+ 2	+1

**Tableau 5 – Caractéristiques du liant ALPA FE/FC**

Caractéristiques	Unité	État neuf		Après 6 mois à 70 °C		
		Valeur nominale	Valeur spécifiée	Valeur nominale	Valeur spécifiée	
Ramollissement - TBA	°C	145	> 140		> 140	NF EN 1427
Pénétration à + 25 °C (facultatif)	dmm	40				NF EN 1426
Contrainte maximale en traction	N/cm <sup>2</sup>	35	> 30		> 40	Épaisseur 2 mm
Allongement à la rupture	%	1200	> 1000		> 500	Épaisseur 2 mm
Température limite de pliage à froid	°C		< - 20		< -15	Épaisseur 2 mm
Recouvrance après allongement	%	90	> 80		> 75	Étirement 100 % à 100 mm/mn Relaxation 1h à 20 °C

**Tableau 6 – Caractéristiques des membranes d'étanchéité**

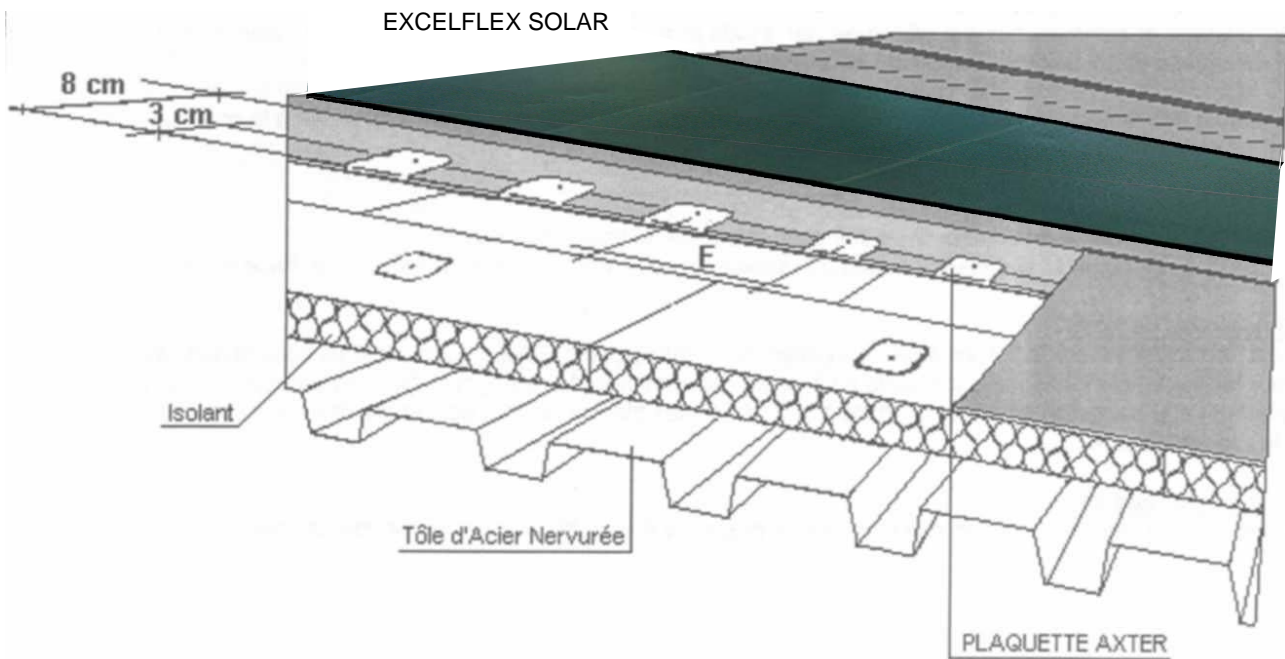
			Appellation commerciale			
			Excellflex® Solar	Excellflex S	Excelrenfort CPV	
Composition						
Armature	Polyester stabilisé	g/m <sup>2</sup>	180	180	120	
Liant	ALPA (Fe ou FC)	g/m <sup>2</sup>	(FE) 4200	(FE) 4200	(FC) 3000	
Sous-face	Film	g/m <sup>2</sup>	10 (thermofusible)	10 (thermofusible)	10	
Surface	grès Film photovoltaïque	g/m <sup>2</sup> Wc	2x144 ou 2x68	300	300 -	
Présentation						
Epaisseur (tolérance)	EN 1849-1	mm	8,0 (±5%)	4,0 (±5%)	3,0 (±5%)	
Dimensions	EN 1848-1	m x m	6 x 1 / 3,33 x 1	6 x 1 / 3,33 x 1	10 x 1	
Poids	Indicatif	kg	48 / 27	32 / 20	36	
Lisière de recouvrement	Mini	mm	80 (thermofusible)	80 (thermofusible)		
Caractéristiques de la membrane						
Propriété en traction : Force maximale LxT	Moy.	EN 12311-1	N / 50mm		950 x 850	400 x 275
	Min.				700 x 650	320 x 250
Propriété en traction : Allongement maximal LxT	Moy.	EN 12311-1	%		25 x 25	15 x 15
	Min.				15 x 15	10 x 10
Résistance à la déchirure au clou	Moy.	EN 12310-1	N		650 x 650	180 x 150
	Min.				500 x 500	140 x 120
Souplesse à basse température Surface / sous-face	EN 1109	°C		-14	-14	
Résistance au fluage à température élevée	EN 1110	°C		140	120	
Stabilité dimensionnelle	EN 1108	%		0.1	0.5	
Résistance au poinçonnement statique	EN 12730 (A)	Kg		20		
Résistance au choc	EN 12691	H mm		≥ 1750		
Résistance au poinçonnement statique classe L	NF P 84 352			L4		
Résistance au poinçonnement dynamique classe D	NF P 84 353			D3		
Comportement au feu extérieur : - monocouche fixée - sur sous-couche préalable fixée	PV 13534 D PV 139090 B			Broof(t3) Broof(t3)		

**Tableau 7 – Caractéristiques de la colle Ruberfix**

Extrait sec	%	86
Point d'inflammation cc (astm d 93)	°C (Pensky Martens)	56
Densité à 20°C	-	1,25
Couleur	-	Noire

**Tableau 8 – Nomenclature de l'autocontrôle**

Sur matières premières	Fréquence
Bitume de base : TBA - pénétration à 25° C	1 certificat / livraison
Fines : granulométrie	1 certificat / livraison
Granulats : granulométrie - coloris	1 certificat / livraison
Armatures : poids - traction	1 certificat / livraison
Sur bitume modifié	Fréquence
TBA - pénétration 25 °C	1 / lot
Image microscope par fluorescence	1 / lot
Taux de fines	1 / lot
Reprise élastique	2 / an
% SBS : analyse GPC	1 / semaine / liant
Sur la membrane d'étanchéité non équipée	Fréquence
Épaisseur - longueur - largeur - lisières - poids	permanent
Tenue à la chaleur	1 / semaine / produit
Pliage à froid	1 / semaine / produit
Retrait libre	1 / semaine / produit
Résistance au poinçonnement statique	1 / an
Traction - Allongement	1 / mois / produit
Déchirure au clou	2 / an
Tenue des granulats	1 / mois
Viellissement	2 / an



**Figure 1 - Principe de mise en œuvre de l'Excelflex® Solar avec plaquette AXTER sur tôles d'acier nervurées en monocouche fixé**

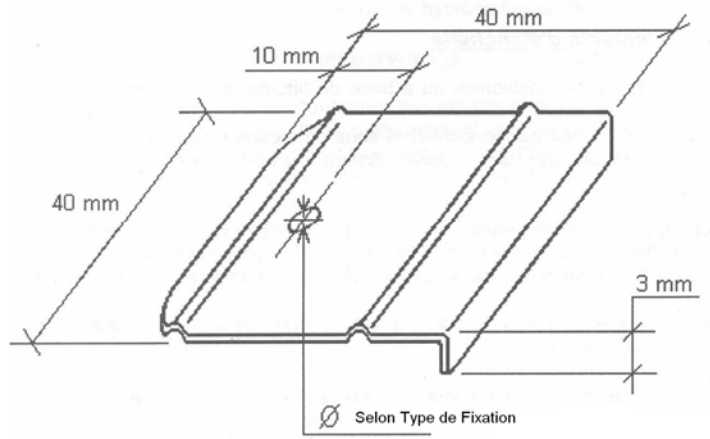
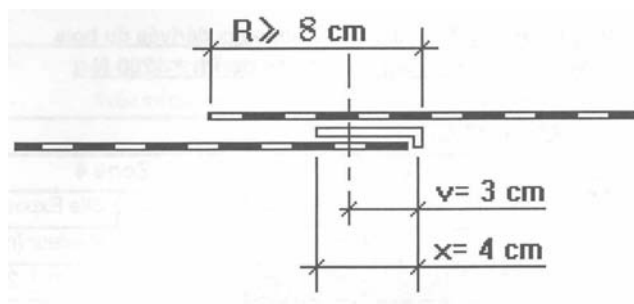


Figure 2 - Plaquette Axter



R : largeur du recouvrement  
 x : largeur de la PLAQUETTE AXTER  
 v : distance vis de fixation/bord du lé à fixer

Figure 3 - Recouvrement et fixations en lisière en monocouche fixé

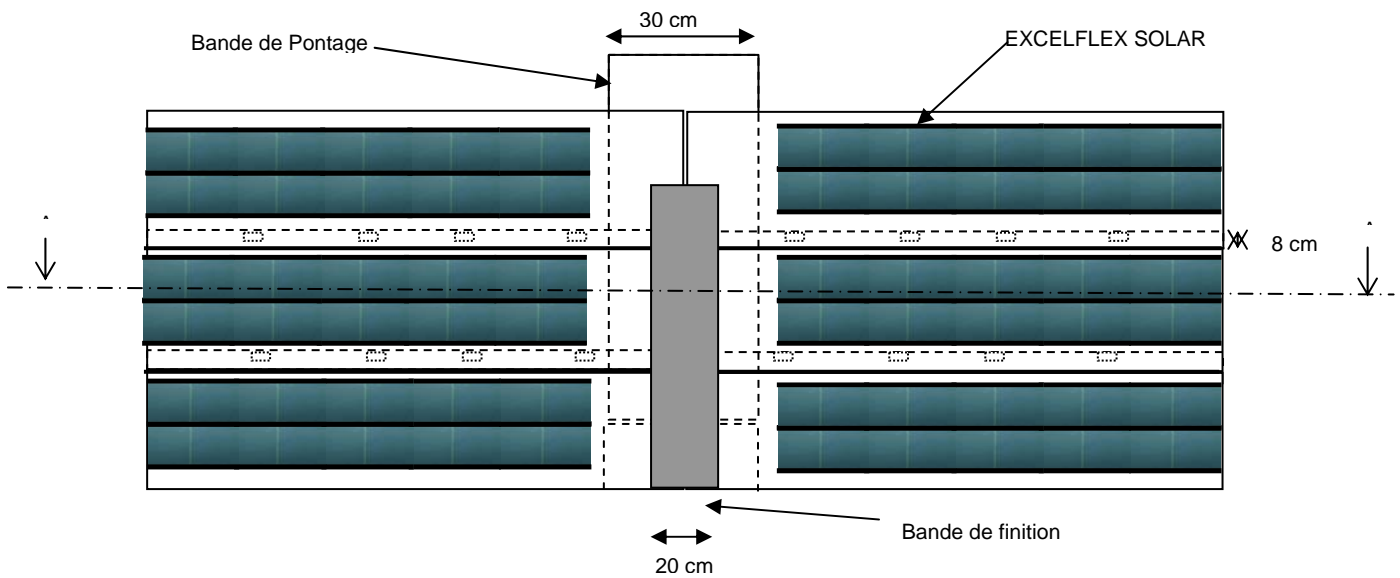


Figure 4 - Principe de mise en œuvre de l'Excelflex® Solar en monocouche fixé

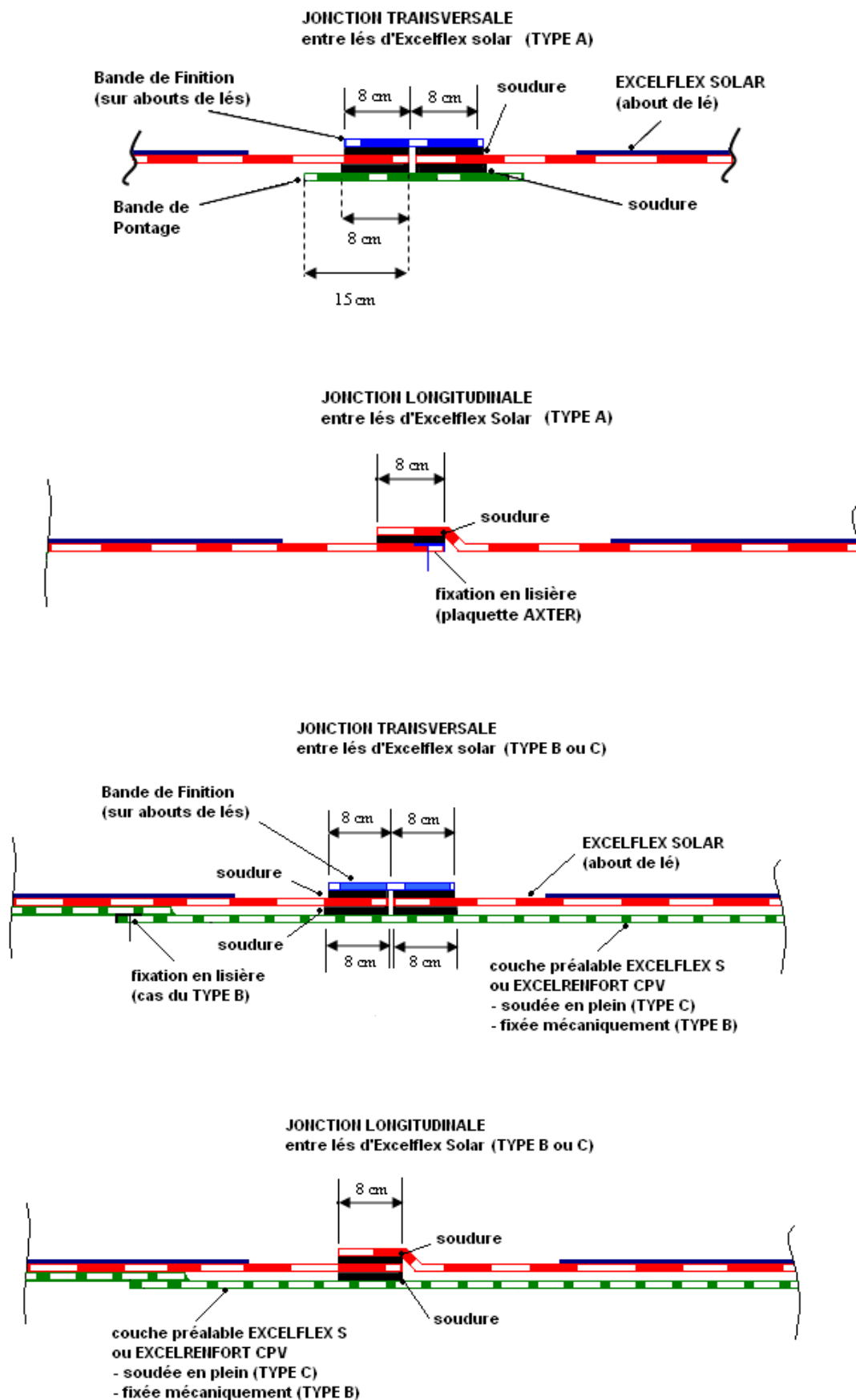


Figure 5 - Recouvrement en about de lé de l'Excelflex® Solar

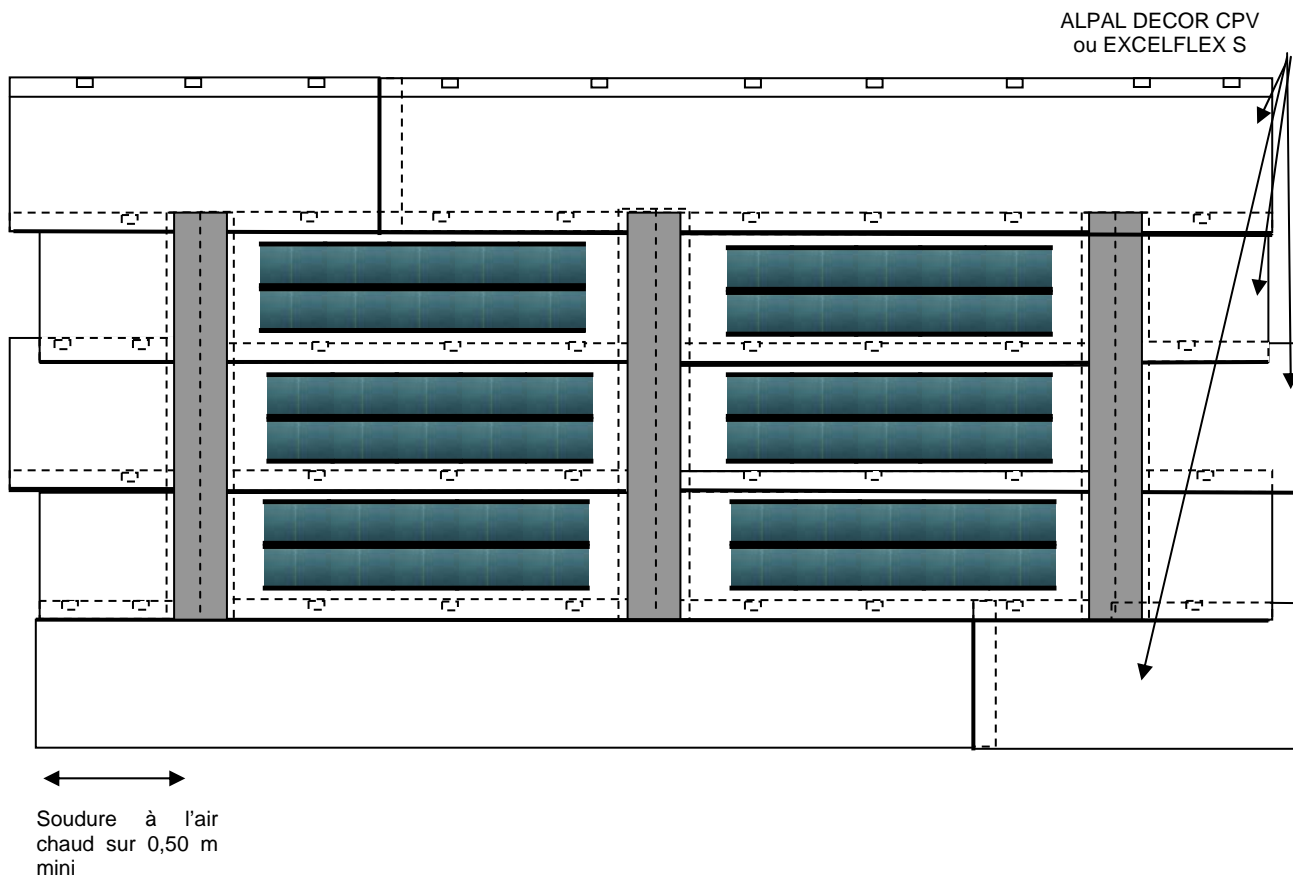


Figure 6 - Jonction de la zone photovoltaïque avec le reste de la toiture en neuf en monocouche fixé

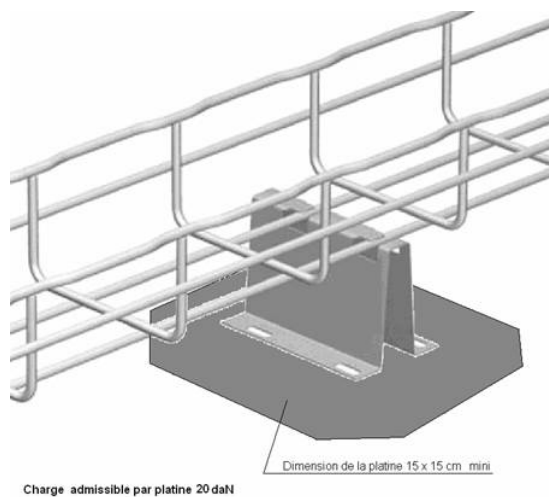


Figure 7 - Support de chemin de câble Cablofil R55

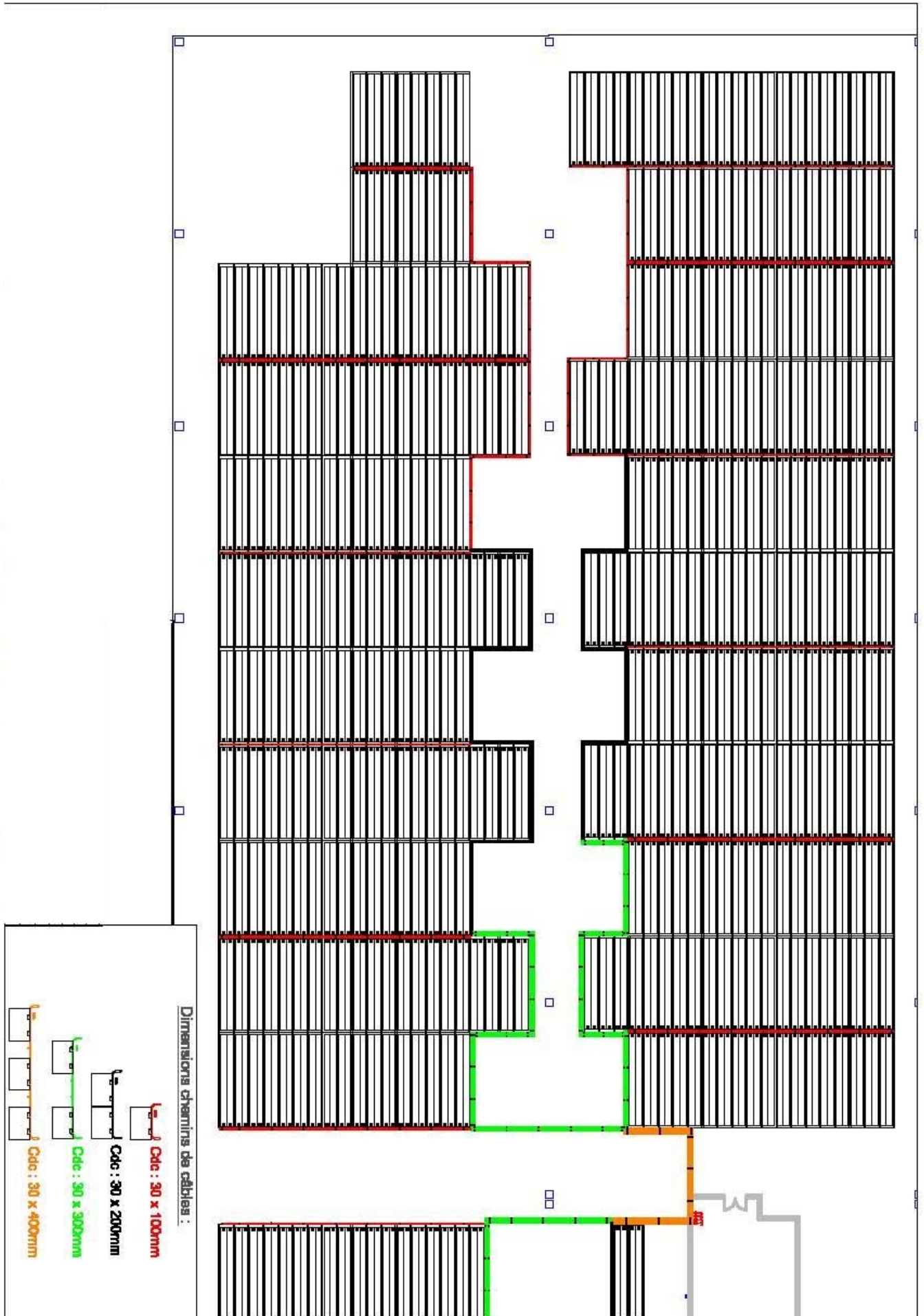


Figure 8 - Exemple de plan de calepinage