Avis Technique 21/19-68_V3

Annule et remplace l'Avis Technique 21/19-68_V2

Film souple photovoltaïque sur revêtement d'étanchéité

Flexible photovoltaic module on roofing membrane

EXCEL® SOLAR

avec modules :

EXCEL SOLAR 350 (de 110 à 130 Wc) de AXTER

EXCEL SOLAR 400 (de 100 à 113 Wc) de AXTER

EXCEL SOLAR 1000 (de 340 à 380 Wc) de AXTER

EXCEL SOLAR 1300 (de 460 à 520 Wc) de AXTER

Titulaire : AXTER
Immeuble Inspira
143 Avenue de Verdun
FR-92130 ISSY LES MOULINEAUX
Tél. : 01 55 95 45 50
Courrier : info@axter.fr
Internet : http://www.axter.eu

Par décision en date du 14 décembre 2022 du Groupe Spécialisé n° 21, ce procédé n'ayant pas fait l'objet de modifications de nature à mettre en cause l'appréciation dont il a fait l'objet, la validité de cet Avis Technique est prolongée jusqu'au 31 janvier 2024.

En date du 15 décembre 2023, une prolongation sans modification de 5 mois de validité de cet Avis Technique est accordée du fait du CSTB, destinée à l'instruction de la révision, jusqu'au 30 juin 2024.

Groupe Spécialisé n° 21

Procédés photovoltaïques

Publié le 15 décembre 2023

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

(arrêté du 21 mars 2012)

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

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)
© CSTB 2020

Le Groupe Spécialisé n° 21 "Procédés photovoltaïques" de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques a examiné, le 7 novembre 2019, le procédé photovoltaïque "EXCEL® SOLAR", présenté par la société AXTER. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine et dans les DROM.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Le procédé Excel® Solar est un procédé complet d'étanchéité bitumineuse avec modules photovoltaïques souples mis en œuvre par auto-adhésivité sur chantier, destinés à produire de l'électricité.

Le procédé Excel® Solar est composé :

- D'une étanchéité bitumineuse :
  - Soit Bicouche en travaux neufs et travaux de réfection :
    - La première couche, en bitume élastomère SBS est :
      - Soit fixée mécaniquement,
      - Soit soudée au chalumeau,
      - Soit autoadhésive.
    - La deuxième couche ALPAL 25 SOLAR à base de liant ALPA® est soudée en plein sur la première couche.
  - Soit Monocouche en travaux neufs et travaux de réfection avec la feuille ALPAL 4000 SOLAR à base de liant ALPA® :
    - Soit fixée mécaniquement,
    - Soit soudée au chalumeau.
- De modules photovoltaïques souples, dont les références sont indiquées en page de garde, collés sur le chantier par auto-adhésivité.

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 feuilles bitumineuses, conditionnées en rouleaux, sont emballées et étiquetées avec les mentions suivantes : appellation commerciale, dimensions des rouleaux, conditions de stockage, code repère de production.

2. AVIS

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

2.1 Domaine d'emploi accepté

Domaine d'emploi identique à celui proposé au *§ 2* du Dossier Technique.

2.2 Appréciation sur le produit

2.21 Conformité normative des modules

La conformité des modules photovoltaïques souples à la norme NF EN 61646 permet de déterminer leurs caractéristiques électriques et thermiques et de s'assurer de leur aptitude à supporter une exposition prolongée aux climats généraux d'air libre, définis dans la norme CEI 60721-2-1.

2.22 Aptitude à l'emploi

2.221 Fonction Génie Électrique

Sécurité électrique du champ photovoltaïque

- Conducteurs électriques

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

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

- Protection des personnes contre les chocs électriques

  Les films photovoltaïques sont certifiés d'une classe d'Application A selon la norme NF EN 61730, jusqu'à une tension maximum de 1 000 V DC et sont ainsi considérés comme répondant aux prescriptions de la classe de sécurité électrique II jusqu'à 1 000 V DC.

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

  Les connecteurs électriques utilisés, ayant au moins un indice de protection IP 68, sont des connecteurs avec système de verrouillage permettant un bon contact électrique entre chacune des polarités et assurant également une protection de l'installateur contre les risques de chocs électriques.

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

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

Sécurité par rapport aux ombrages partiels

Le phénomène de "point chaud" pouvant conduire à une détérioration du film photovoltaïque est évité grâce à l'implantation de diodes bypass dans la boite de connexion.

Puissance crête des modules utilisés

Les puissances crêtes des modules, validées par la norme NF EN 61646 et NF EN 61730 ont des puissances crêtes égales à :

- 110 Wc à 130 Wc pour les modules "EXCEL SOLAR 350",
- 100 Wc à 113 Wc pour les modules "EXCEL SOLAR 400",
- 340 Wc à 380 Wc pour les modules "EXCEL SOLAR 1000",
- 460 Wc à 520 Wc pour les modules "EXCEL SOLAR 1300".

2.222 Fonction étanchéité de toiture

Stabilité

La stabilité du procédé est convenablement assurée sous réserve d'effectuer un calcul au cas par cas des charges climatiques appliquées sur la toiture, en tenant compte lorsque nécessaire des actions locales au sens des NV65 modifiées (*voir §2.22 du DTED*).

Sécurité en cas de séisme

Compte tenu de la conception, les applications du procédé ne sont pas limitées. Elles sont donc applicables pour toutes les zones et catégories de bâtiments, au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite "à risque normal".

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

Étanchéité à l'eau

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

Accessibilité de la toiture

Ce revêtement convient aux toitures-terrasses et toitures inclinées inaccessibles.

Sécurité au feu

- Revêtement d'étanchéité seul

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

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

  La performance du comportement au feu sur le seul revêtement d'étanchéité n'a pas été déterminée dans les conditions de pose prévues dans le présent Avis Technique.

  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.

- Revêtement avec films souples photovoltaïques

  Aucune performance au feu n'a été déterminée à l'exception d'un classement B_{ROOF}(t3) uniquement valable pour les conditions de produit et d'utilisation finale indiquées dans le rapport mentionné au §B du Dossier Technique.

Sécurité des usagers

La sécurité des usagers est normalement assurée du fait de la nature même du procédé EXCEL® SOLAR.

Sécurité des intervenants

La sécurité des intervenants, lors de la pose, de l'entretien et de la maintenance est normalement assurée. Cependant, il est à noter que la surface du revêtement d'étanchéité EXCEL® SOLAR devient glissante lorsqu'elle est humide et qu'il est interdit de circuler directement sur les modules photovoltaïques.

Emploi en climat de montagne

Ce procédé n'est pas revendiqué pour une utilisation en climat de montagne.

Emploi dans les DROM

Dans les DROM, seuls les éléments porteurs en maçonnerie et tôle d'acier nervurée sont visés.

2.223 Données environnementales et sanitaires

Aspects environnementaux

Le procédé EXCEL® SOLAR ne dispose d'aucune Déclaration Environnementale (DE) et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

Aspects sanitaires

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

2.23 Durabilité - Entretien

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

Dans les conditions de pose prévues par le domaine d'emploi accepté par l'Avis et moyennant un entretien conforme aux indications portées dans le Dossier Technique, la durabilité de la toiture peut être estimée comme satisfaisante.

2.24 Fabrication et contrôle

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

2.25 Mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé effectuée, d'une part par des entreprises d'étanchéité qualifiées, formées aux techniques de pose des revêtements d'étanchéité avec modules souples EXCEL® SOLAR et d'autre part par des entreprises agréées par AXTER disposant de compétences électriques pour la connexion de l'installation photovoltaïque, complétées par une qualification et/ou certification professionnelles pour la pose de procédés photovoltaïques permet d'assurer une bonne réalisation des installations. À l'issue de la formation dispensée par AXTER, les personnels de ces entreprises reçoivent une attestation nominative (cf. § 10 du DTED).

Sous ces conditions, la mise en œuvre du procédé EXCEL® SOLAR ne présente pas de difficultés particulières.

2.3 Prescriptions Techniques

2.31 Prescriptions communes

En réfection, une reconnaissance préalable de la toiture-terrasse est à faire à l'instigation du maître d'ouvrage. 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 (DTU 43.5) vis-à-vis des risques d'accumulation d'eau.

Chaque mise en œuvre requiert une vérification des charges climatiques appliquées sur la toiture considérée.

Les films souples photovoltaïques doivent être installés de façon à ne pas subir d'ombrages portés afin de limiter les risques d'échauffement pouvant entraîner des pertes de puissance et une détérioration prématurée des modules.

Il est interdit de marcher sur les films photovoltaïques.

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

Les câbles et connecteurs électriques ne doivent pas reposer directement sur le revêtement d'étanchéité.

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

L'installateur recommandera de réaliser l'entretien et la maintenance en s'inspirant de la norme NF EN 62446-1:2017/A1:2018.

2.32 Prescriptions techniques particulières

2.321 Livraison

Le système de traçabilité du titulaire permet de tracer les livraisons, de la production jusqu'aux chantiers livrés et ce grâce au numéro de série du module. La fiche de suivi du module archivée chez le titulaire et un fichier d'archivage informatiques donnent accès aux dates et heures de production, au détail du produit fabriqué, à la valeur de puissance associée aux modules et aux équipes ayant procédé à la fabrication.

La notice de montage et la notice de câblage électrique, le plan de prévention concernant les risques liés aux travaux en hauteur et sous haute tension doivent être fournis avec le procédé.

L'installateur doit prévoir :

- La vérification visuelle que les emballages des modules photovoltaïques sont intacts à réception sur site.
- La vérification visuelle que les modules photovoltaïques sont intacts au déballage.
- La vérification de la conformité des kits avec le système de montage aux bons de commandes.

2.322 Installation électrique

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

2.323 Mise en œuvre

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

La mise en œuvre du procédé EXCEL® SOLAR doit être assurée par des installateurs formés aux particularités et aux techniques de pose du procédé.

2.324 Assistance technique

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

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (*cf §2.1 du Dossier Technique*) est appréciée favorablement.

Validité

À compter de la date de publication présente en première page et jusqu'au 30/06/2024.

Pour le Groupe Spécialisé n° 21
Le Président

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Les applications de ce procédé, en climat de montagne (*altitude > 900 m*), ne sont pas concernées par le domaine d'emploi accepté par l'Avis.

Comme pour l'ensemble des procédés de ce domaine, chaque mise en œuvre requiert une vérification des charges climatiques appliquées sur la toiture considérée, selon les règles NV65 modifiées, en tenant compte le cas échéant des actions locales, au regard des contraintes maximales admissibles du procédé.

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

Enfin le Groupe Spécialisé attire l'attention sur la complexité de cet Avis Technique qui présente deux revêtements, cinq modes de mise en œuvre et quatre types de résistance au vent. De ce fait, le concepteur de la toiture et l'entreprise doivent être particulièrement vigilants sur la composition du complexe et sa justification par rapport aux règles de l'art (DTU série 43, DTA des isolants, AT/DTA des éléments porteurs non traditionnels).

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 21

Dossier Technique
établi par le demandeur

A. Description

1. Principe

Le procédé Excel® Solar est un procédé complet d'étanchéité avec modules photovoltaïques souples mis en œuvre par auto-adhésivité sur chantier, destinés à produire de l'électricité.

Le procédé Excel® Solar est composé :

- D'une étanchéité bitumineuse :
  - Soit Bicouche en travaux neufs et travaux de réfection :
    - □ La première couche, en bitume élastomère SBS est :
      - Soit fixée mécaniquement,
      - Soit soudée au chalumeau,
      - Soit autoadhésive.
    - □ La deuxième couche ALPAL 25 SOLAR à base de liant ALPA® est soudée en plein sur la première couche.
  - Soit Monocouche en travaux neufs et travaux de réfection avec la feuille ALPAL 4000 SOLAR à base de liant ALPA® :
    - □ Soit fixée mécaniquement,
    - □ Soit soudée au chalumeau.
- De modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR (*cf. Figure 1*) :
  - EXCEL SOLAR 350, de puissance crête comprise entre 110 et 130 Wc, par pas de 5 Wc, collés sur chantier par auto-adhésivité sur la feuille ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR,
  - EXCEL SOLAR 400, de puissance crête comprise entre 100 et 113 Wc, par pas de 5 Wc, collés sur chantier par auto-adhésivité sur la feuille ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR,
  - EXCEL SOLAR 1000, de puissance crête comprise entre 340 et 380 Wc par pas de 10 Wc, collés sur chantier par auto-adhésivité sur la feuille ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR,
  - Et EXCEL SOLAR 1300, de puissance crête comprise entre 460 et 520 Wc, par pas de 10 Wc, collés sur chantier par auto-adhésivité sur la feuille ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR.

Le procédé Excel® Solar s'applique sur toitures-terrasses inaccessibles de pente minimale 2% sur maçonnerie, béton cellulaire et CLT faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un DTA et visant favorablement une telle pente, et de 3% sur tôles d'acier nervurées, sur bois et panneaux à base de bois. La pente maximale est de 40%. Dans le cas particulier de la mise en œuvre de la première couche par auto-adhésivité (Système H), la pente est limitée à 20%.

Les panneaux isolants non porteurs supports d'étanchéité sont de classe C minimum et leur Document Technique d'Application vise favorablement l'emploi en toitures-terrasses inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples.

2. Destination et domaine d'emploi

2.1 Généralités

Les règles propres aux travaux d'étanchéité, aux éléments porteurs et panneaux isolants, non modifiées par le présent document sont applicables, notamment :

- NF DTU 20.12.
- NF DTU 43.1, NF DTU 43.3 et NF DTU 43.4.
- Avis Techniques des toitures en béton cellulaire autoclavé armé.
- Avis Techniques ou DTA des toitures en CLT.
- Norme NF DTU 43.5 pour les travaux de réfections.
- Le Cahier des Prescriptions Techniques communes « 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, dans les départements européens », (*Cahier du CSTB* 3537_V2, de janvier 2009).
- En Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM), le Cahier des Prescriptions Techniques communes « Supports de système d'étanchéité de toitures dans les départements d'outre-mer (DROM) » (e-Cahier du CSTB 3644 d'octobre 2008) s'applique.

Les *Tableaux 2a à 5b* résument les conditions d'utilisation en France métropolitaine et dans les DROM. Leur emploi doit prendre en compte les règles propres aux éléments porteurs et aux panneaux isolants support qui peuvent affecter le domaine d'utilisation.

2.2 Cadre d'utilisation

2.21 Dispositions générales

Le procédé Excel® Solar est employé :

- en travaux neufs et de réfection,
- en France métropolitaine pour les climats de plaine,
- dans les DROM, sur éléments porteurs en maçonnerie ou tôle d'acier nervurée,
- sur versants plans et courbes,
- sur toitures-terrasses et toitures inclinées inaccessibles.

2.22 Domaine d'emploi du procédé en fonction de la zone de vent

Les limites d'exposition au vent (*selon les règles NV 65 modifiées*) du système Excel® Solar dépendent du mode de mise en œuvre du revêtement d'étanchéité :

- Revêtement fixé mécaniquement :

  Le procédé est destiné aux zones 1, 2, 3, 4 et 5 tous sites de vent (*selon Règles NV 65 modifiées*). La densité de fixation est calculée selon les dispositions du paragraphe 4.4.
- Revêtement soudé :

  Les valeurs limites de dépression dépendent du choix du pare vapeur et du mode de fixation de l'isolant (cf. *Tableau 6b*).
- Revêtement autoadhésif :

  Les valeurs limites de dépressions admissibles en fonction du support sont données dans le *Tableau 7*. Elles sont à comparer aux valeurs de dépression calculées par référence aux Règles NV 65 et leur modificatif n° 4 de février 2009 en vent extrême.

  Sur isolant thermique, le type d'isolant et sa mise en œuvre peuvent entrainer une restriction du domaine d'emploi comme prescrit dans son DTA. De plus, la dépression au vent extrême ne doit pas dépasser la valeur limite de 6 333 Pa.

Les valeurs limites de dépressions admissibles pour chacun des revêtements du procédé Excel® Solar sont reprises dans les Tableaux 2a et 2b.

2.23 Implantations des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR

Le procédé Excel® Solar se met en œuvre en ménageant des zones non photovoltaïques (cf. *Figure 3 et Figure 4*), sur une largeur :

- de 0,3 m de part et d'autre des faîtages,
- de 1,0 m en bordure des relevés périphériques, des lanterneaux, reliefs et émergences,
- de 1,0 m le long des noues,
- de 1,0 m sur le pourtour des évacuations d'eaux pluviales.

2.24 Travaux neufs

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

L'étanchéité de la surface non réalisée avec le procédé Excel® Solar sera mise en œuvre conformément au Document Technique d'Application ou Avis Technique de l'un des procédés d'étanchéité de la société AXTER, visant favorablement l'emploi considéré.

2.25 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 aux dispositions du paragraphe 4.7.

3. Prescriptions relatives aux éléments porteurs et aux supports

3.1 Généralités

Les éléments porteurs en maçonnerie, béton cellulaire autoclavé, bois et panneaux dérivés du bois, tôles d'acier nervurées et les supports doivent être conformes aux prescriptions des normes NF P 84-204 à NF P 84-207 (DTU série 43) ou des Avis Techniques les concernant. Toutefois, conformément aux *Tableaux 3a à 5b,* la pente minimale est de 2 % sur maçonnerie, béton cellulaire et CLT faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un DTA visant favorablement une telle pente et de 3 % sur tôles d'acier nervurées, bois et panneaux à base de bois.

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

3.2 Éléments porteurs et supports en maçonnerie

Sont admis, les éléments porteurs et supports en maçonnerie conformes à la norme NF P 10-203 (DTU 20.12) et non traditionnels bénéficiant d'un Avis Technique favorable pour cet emploi.

La préparation des supports et le pontage des joints sont effectués conformément aux prescriptions de la norme NF P 84-204-1 (DTU 43.1 P1) et des Avis Techniques. Les pontages sont réalisés avec une bande de largeur 20 cm d'ARMALU, face aluminium contre le support.

La pose en adhérence du revêtement d'étanchéité directement sur l'élément porteur en maçonnerie n'est pas visée.

La pose du revêtement d'étanchéité par fixation mécanique sur élément porteur en maçonnerie n'est pas visée.

Sur élément porteur à pente ≤ 2%, un isolant thermique avec forme de pente peut être mis en œuvre. Cet isolant bénéficie d'un Document Technique d'Application, visant favorablement l'emploi considéré.

3.3 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 à cet Avis Technique.

On se reportera à ce document notamment pour le traitement des joints et la constitution des pare-vapeur en cas d'isolation thermique complémentaire.

3.4 Éléments porteurs et supports en CLT

Sont admis, les panneaux bois à usage structurel (CLT) bénéficiant d'un Avis Technique visant leur emploi en tant que support d'isolation et d'étanchéité de toiture-terrasse.

3.5 Éléments porteurs et supports en bois et panneaux à base de bois

Sont admis, les éléments porteurs et supports en bois massif et panneaux à base de bois conformes aux prescriptions du NF DTU 43.4 P1, ainsi que les supports non traditionnels bénéficiant d'un Document Technique d'Application favorable pour l'emploi considéré.

Préparation des supports :

- Pour les revêtements et pare-vapeur adhérents soudés sur panneaux à base de bois, la préparation comporte le pontage des joints de panneaux en HYRENE 40 FP AR ou ARMALU de 20 cm de largeur sur les joints, la face aluminium ou ardoisée contre le support et l'application d'un EIF en évitant les joints de panneaux. Dans le cas de panneaux à base de bois sous Document Technique d'Application, l'application d'un EIF se fait conformément aux préconisations du Document Technique d'Application du panneau bois.
- Pour les revêtements semi-indépendants adhésifs, la préparation comporte l'application d'un EIF en évitant les joints de panneaux.

3.6 Éléments porteurs en tôles d'acier nervurés

Sont admis les éléments porteurs en tôles d'acier nervurées (pleines, perforées ou crevées) conformes à la norme NF DTU 43.3 ou bénéficiant d'un Document Technique d'Application 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 dans les départements européens », (e-*Cahier du CSTB* 3537_V2 de janvier 2009).

3.7 Supports isolants non porteurs

Les revêtements d'étanchéité n'apportent pas de limite à la résistance thermique des panneaux isolants.

Sont admis :

- Les panneaux isolants de classe C minimum, mentionnés dans les *Tableaux 3a à 5b et au Tableau 7*, bénéficiant d'un Document Technique d'Application visant favorablement l'emploi en toitures-terrasses techniques, ou en toitures-terrasses inaccessibles avec procédé d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples.
- Sont également admis les panneaux isolants PSE de classe B à 80°C et C à 60°C conformément à leur Document Technique d'Application visant favorablement l'emploi en toitures-terrasses inaccessibles avec procédé d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples.

3.71 Mise en œuvre du pare-vapeur

Les *Tableaux 6a à 6c* en fin de Dossier Technique s'appliquent au choix et au principe de mise en œuvre de l'écran pare-vapeur selon le mode de mise en œuvre du revêtement d'étanchéité.

Conformément à la norme NF P 84-204-1 (réf. DTU 43.1 P1), et à l'Avis Technique des dalles de béton cellulaire autoclavé armé, dans le cas de panneaux isolants placés sous le revêtement d'étanchéité, et lorsque le relief est en maçonnerie et blocs de béton cellulaire autoclavé, une équerre de renfort comportant un talon de 6 cm au minimum, avec une aile verticale dépassant d'au moins 6 cm au-dessus du nu supérieur de l'isolant de partie courante est soudée en plein horizontalement sur le pare-vapeur et verticalement.

Cette équerre de renfort est en :

- BANDE D'ÉQUERRE 35 PY pour les isolants d'épaisseur ≤ 130 mm ;
- HYRENE 35 PY RGH pour les isolants d'épaisseur ≥ 130 mm.

3.72 Mise en œuvre de l'isolant

3.721 Collage au Mastic HYRAFLEX

Le collage au MASTIC HYRAFLEX se fait uniquement sur verre cellulaire conformément aux normes P 84-série 200 (référence DTU série 43) concernées, à l'Avis Technique des dalles de béton cellulaire autoclavé armé et au Document Technique d'Application particulier de l'isolant. La pente maximale est de 20%.

La mise en œuvre par collage au MASTIC HYRAFLEX impose l'utilisation de fondoirs thermo régulés. La température de consigne doit être dans la plage d'usage du MASTIC HYRAFLEX, soit entre 150 °C et 180 °C. L'emploi est limité aux dépressions au vent extrême au plus égales à 4 712 Pa (cf. *Règles NV 65 modifiées*).

3.722 Collage à froid à la colle HYRA STIK (pente≤40%)

Voir § 3.633 du DTA 5.2/17-2567_V1 "Hyrene Spot".

Cas des isolants PIR et PSE :

L'emploi est limité aux dépressions au vent extrême au plus égales à 6 333 Pa (cf. *Tableau 7*).

Les panneaux PIR et PSE compatibles avec HYRA STIK dans le cadre du procédé Excel® Solar sont à ce jour :

- Epsitoit 20 (DTA n° 5/12-2321) ;
- Stisoletanch BBA (DTA n° 5/13-2340) ;
- Isomo 20 ET (DTA n° 5/14-2429) ;
- Efigreen Alu+ (DTA n° 5/16-2611) ;
- Knauf Thane MulTTi SE (DTA n° 5.2/17-2569_V1) ;
- Panel PIR 5 C (DTA n° 5/15-2446) ;
- Eurothane Autopro SI (DTA n° 5/16-2522) ;
- Iko Enertherm Alu PF (DTA n° 5/15-2468) ;
- Utherm Roof PIR K FRA (DTA n° 5/15-2490) ;

Cas de la laine minérale :

L'emploi est limité aux dépressions au vent extrême au plus égales à 3 966 Pa (cf. *Tableau 6b*).

La mise en œuvre de la laine minérale à la colle HYRA STIK n'est possible qu'en un seul lit.

Pour toitures de pente comprise entre 20 % et 40 %

Les dispositions dans ce cas sont les suivantes :

- Le sens de pose des cordons sera toujours parallèle à la ligne de plus grande pente ;
- Les panneaux isolants sont appuyés en bas de pente sur une butée en élément rigide bois ou métal fixée mécaniquement à l'élément porteur, conformément aux normes P 84 série 200 (référence DTU série 43 P1).

3.723 Fixations mécaniques

Les panneaux fixés mécaniquement peuvent être posés en plusieurs lits.

La densité et répartition de fixation de l'isolant sont celles prescrites par son Document Technique d'Application particulier.

La fixation mécanique des panneaux isolants est réalisée conformément aux normes P 84 série 200-1 (référence DTU 43 P1) et à l'Avis Technique des dalles de béton cellulaire autoclavé armé, complétés par le CPT Commun de l'*e-cahier du CSTB* 3564 de juin 2006.

Lorsque les fixations mécaniques des isolants sont utilisées dans le cas de tôles d'acier nervurées bénéficiant d'un Document Technique d'Application et de tôles d'acier nervurées dont l'ouverture haute de nervure est supérieure à 70 mm selon l'*e-Cahier du CSTB 3537_V2 de* janvier 2009, le Document Technique d'Application des panneaux isolants supports devra viser favorablement cet emploi.

Dans le cas où la compression à 10 % de déformation (norme NF EN 826) de l'isolant est inférieure à 100 kPa (cf. *tableau des caractéristiques spécifiées du Document Technique d'Application des panneaux isolants*), les attelages de fixations mécaniques, éléments de liaison et plaquettes, doivent être du type « solide au pas » qui empêche en service, le désaffleurement de la tête de l'élément de liaison au-dessus de la plaquette. Les attelages conformes à la norme NF P 30-317 répondent à cette condition.

3.8 Supports constitués par d'anciens revêtements d'étanchéité

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

Les critères de conservation et de préparation de ces anciennes étanchéités pour leur réemploi, le cas échéant, comme support ou comme écran pare vapeur sont définis dans la norme NF P 84-208 (DTU 43.5).

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

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

Si l'ancien isolant est conforme aux prescriptions du paragraphe 4.6, l'ancienne étanchéité peut être conservée.

4. Prescriptions de mise en œuvre relatives aux revêtements

4.1 Dispositions générales

Il est nécessaire d'apporter le plus grand soin lors de la manipulation des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR ; notamment, ceux-ci ne doivent ni être pliés ni être enroulés avec un rayon de courbure inférieur à 51 cm lors de la manutention ou de la mise en œuvre.

4.2 Mise en œuvre des revêtements d'étanchéité bicouche

Les revêtements d'étanchéité bicouche sont mis en œuvre de l'une des manières suivantes :

- Soit par fixations mécaniques : Systèmes A et B (cf. *Tableaux 3a* et *3b*),
- Soit soudée au chalumeau : Systèmes D et F (cf. *Tableaux 4a* et *4b*),
- Soit par auto-adhésivité : Système H (cf. *Tableaux 5a* et *5b*).

L'inversion des couches n'est pas admise.

4.21 Mise en œuvre de la première couche par fixations mécaniques (systèmes A et B)

4.211 Dispositions générales

La composition des revêtements fixés mécaniquement est indiquée aux *Tableaux 3a* et *3b*.

La feuille TOPFIX PY SOLAR est déroulée à sec (perpendiculairement aux nervures des tôles, sur tôles d'acier nervurées) et fixée mécaniquement en lisière sous les recouvrements longitudinaux.

Dans le cas de la feuille TOPFIX PY SPF SOLAR à galon mixte (adhésif (≥ 20 mm) – thermosoudable (≥ 80 mm)), la membrane de première couche est positionnée par rapport au lé précédent de manière à ce que le galon adhésif soit en vis-à-vis du galon adhésif de la membrane déjà posée (cf. *Figure 7*), puis ré-enroulée. Elle est ensuite déroulée en retirant les bandes pelables de protection des galons adhésifs au fur et à mesure du déroulage. Le recouvrement longitudinal est assuré par auto adhésivité en marouflant le galon adhésif de 2 cm, puis par soudure à la flamme du recouvrement restant.

En cas de mise en œuvre d'isolant support avec une résistance à la compression à 10 % < 100 kPa, les attelages de fixation doivent obligatoirement être de type solide au pas.

Recouvrements longitudinaux

Les recouvrements longitudinaux sont de 10 cm pour le TOPFIX PY SOLAR et de 12 cm pour le TOPFIX PY SPF SOLAR (cf. *Figure 7*).

La feuille TOPFIX PY SOLAR comporte deux lignages en surface, utilisables comme aide au positionnement des fixations et à la réalisation des joints de recouvrements longitudinaux, respectivement positionnés par rapport au bord du lé à 4 cm mini et 10 cm mini.

La feuille TOPFIX PY SPF SOLAR n'a qu'un seul lignage utilisable comme aide au positionnement de la fixation.

Recouvrements transversaux

Les recouvrements transversaux sont de :

- Soit 10 cm pour la feuille TOPFIX PY SOLAR,
- Soit 20 cm, soudé sur 10 cm pour la feuille TOPFIX PY SPF SOLAR sur PSE. En variante : protéger provisoirement l'isolant de la flamme en plaçant un écran thermique (BANDE D'EQUERRE 35 PY ou bande de 25 cm de TOPFIX PY SPF SOLAR découpée sur place) à l'emplacement du recouvrement. Dans ce cas, le recouvrement transversal est de 10 cm.

4.212 Densité et répartition des fixations en partie courante, rives et angles

Cf. Dispositions du paragraphe 4.4.

4.22 Mise en œuvre de la première couche soudée

4.221 Dispositions générales

La préparation des supports est réalisée conformément au § 3.

La première couche est appliquée selon le système, comme décrit ci-dessous.

La composition des revêtements est indiquée aux *Tableaux 4a* et *4b*.

Au droit des pontages, le revêtement n'est pas soudé.

Des fixations conformes aux normes NF P 84 série 200 (réf. DTU 43) sont obligatoires en tête des lés de la couche autoprotégée (4 fixations par mètre linéaire) pour les pentes supérieures ou égales à 40 % et 20 % sur isolant verre cellulaire surfacé par MASTIC HYRAFLEX refroidi.

4.222 Système adhérents (système F)

La première couche HYRENE TS PY SOLAR du revêtement est posée à recouvrements soudés de 6 cm au moins. Elle est soudée en plein.

- Soit, sur isolant apte à cet usage ou rendu apte par surfaçage au MASTIC HYRAFLEX refroidi (uniquement sur verre cellulaire) avant soudage ;
- Soit, soudée sur panneaux à base de bois après pontage des joints de panneaux et préparation du support par EIF ;
- Soit, sur ancien revêtement autoprotégé métallique délardé ou asphalte sous protection rapporté déposée, imprégné d'EIF.

4.223 Systèmes semi-indépendants (système D)

L'écran perforé THERMÉCRAN est déroulé à sec, le recouvrement est facultatif. Le revêtement est rendu adhérent au support sur 30 à 50 cm en périphérie des ouvrages et autour des émergences. L'écran est alors supprimé.

La première couche du revêtement est soudée en plein, à recouvrements de 6 cm au moins.

L'emploi est limité aux dépressions au vent extrêmes au plus égales à 4 712 Pa.

4.23 Mise en œuvre de la première couche par auto-adhésivité (système H)

4.231 Dispositions générales

La constitution des revêtements en fonction de l'élément porteur, du support et de la destination est donnée aux *Tableaux 5a* et 5*b.*

La feuille HYRENE SPOT PY SOLAR est posée en semi-indépendance par auto-adhésivité.

Le support doit être propre et sec, débarrassé de toute poussière ou élément non adhérent.

La température minimale d'application est de 5°C.

La pente maximale est de 20%.

La feuille HYRENE SPOT PY SOLAR se met en œuvre à des températures ≥ 5°C. L'adhésivité de la première couche est réactivée par soudure à l'avancement de la deuxième couche ALPAL 25 SOLAR (cf. *§ 5.3*).

La feuille HYRENE SPOT PY SOLAR est autocollée au support ou à l'élément porteur selon le mode opératoire suivant :

- Elle est positionnée en la déroulant sur le support puis en la ré-enroulant.
- La bande pelable protégeant le recouvrement du lé déjà en place est alors enlevée.
- La feuille HYRENE SPOT PY SOLAR est alors liaisonnée au support, et au lé déjà en place, en ôtant le film pelable de sous-face au fur et à mesure du déroulage, et en marouflant au fur et à mesure du déroulage.

Cas de la pose sur polyisocyanurate (PIR)

Les joints d'about de lé sont soudés au chalumeau. Le recouvrement est de 10 cm minimum.

Cas de la pose sur polystyrène expansé (PSE)

Les joints d'about de lé sont soudés au chalumeau en prenant les précautions maximales afin d'éviter le contact direct de la flamme avec l'isolant :

- Protéger provisoirement l'isolant de la flamme en plaçant un écran thermique (BANDE D'ÉQUERRE 35 PY ou bande de 25 cm d'HYRENE SPOT PY SOLAR découpée sur place) à l'emplacement du recouvrement.
- En variante, il est possible de faire un recouvrement d'au moins 20 cm, soudé sur 10 cm minimum.
- La protection de la tranche du panneau au droit des relevés ou émergences est prescrite par le Document Technique d'Application de l'isolant. Une équerre de STICKFLEX (développée à 10 cm) peut aussi être utilisée. En variante, la feuille de partie courante peut être remontée sur 5 cm environ.

4.24 Mise hors d'eau en fin de journée

En fin de journée, ou en cas d'arrêt inopiné pour cause d'intempéries, la couche isolante est mise hors d'eau comme suit :

Cas des systèmes fixés mécaniquement

Une bande de première couche est soudée sur le pare-vapeur ou sur les plages des tôles d'acier nervurées et sur le revêtement de partie courante, les équerres de renfort sont soudées en périphérie sur la couche de revêtement en place.

Cas des systèmes soudés

Une bande de première couche ou la première couche elle-même est soudée sur le pare-vapeur ou sur l'élément porteur (en cas d'absence de pare vapeur ou en cas de pare vapeur non adhérent à l'élément porteur) et sur le revêtement de partie courante. Les équerres de renfort sont soudées en périphérie sur la couche de revêtement en place et le relief préalablement préparé.

Cas des systèmes autoadhésifs

La seule première couche n'assure pas la mise hors d'eau du chantier :

- Une bande de HYRENE 25/25 TS, ou d'ALPAL 25 SOLAR ou de TOPFIX PY SOLAR est soudée sur le pare-vapeur adhérent et sur le revêtement de la partie courante en ayant pris soin de protéger le bord du panneau isolant. Les équerres de renfort sont soudées en périphérie sur la couche de revêtement en place.
- Lorsque le pare vapeur est posé en semi-indépendance, la fermeture du complexe se fait jusqu'à l'élément porteur.

4.25 Mise en œuvre de la deuxième couche ALPAL 25 SOLAR

L'ALPAL 25 SOLAR est soudé en plein sur la première couche du système d'étanchéité. Les recouvrements longitudinaux sont soudés sur 6 cm minimum et les recouvrements transversaux sont soudés sur 10 cm minimum.

Dans le cas de systèmes comportant des premières couches autoadhésives (cf. § 4.23), la mise en œuvre de la seconde couche se fera à l'avancement de la première.

Des fixations conformes aux normes – DTU série 43, sont obligatoires en tête de lés de la couche ALPAL 25 SOLAR, à raison de 4 fixations par mètre linéaire (le recouvrement d'about de lé dépasse d'au moins 5 cm les plaquettes) pour les pentes :

- égales à 40 % dans le cas de revêtements sans MASTIC HYRAFLEX,
- supérieures ou égales à 20 % sur supports isolants surfacés par MASTIC HYRAFLEX,
- supérieures ou égales à 20 % dans le cas de revêtements autoadhésifs.

4.3 Mise en œuvre des revêtements d'étanchéité monocouche

4.31 Dispositions générales

La feuille ALPAL 4000 SOLAR est mise en œuvre de l'une des manières suivantes :

- Soit par fixations mécaniques : Système C (cf. *Tableaux 3a* et *3b*),
- Soit soudée au chalumeau : Systèmes E et G (cf. *Tableaux 4a* et *4b*),

La composition de la feuille ALPAL 4000 SOLAR est indiquée au *Tableau 16.*

Le recouvrement longitudinal se fait :

- Soit sur 10 cm dans le cas d'une mise en œuvre par fixation mécanique. La feuille ALPAL 4000 SOLAR comporte deux lignages en surface, utilisables comme aide au positionnement des fixations et à la réalisation des joints de recouvrements longitudinaux, respectivement positionnés par rapport au bord du lé à 4 cm mini et 10 cm mini.
- Soit sur 8 cm minimum dans le cas d'une mise en œuvre par soudage au chalumeau.

Le recouvrement d'about de lé sur 15 cm, quel que soit le type de mise en œuvre.

a) Réduction des surépaisseurs :

Réchauffer légèrement et écraser avec une spatule chaude la lisière à recouvrir. En about de lé, noyer le surfaçage minéral à la spatule chaude sur 15 cm après léger réchauffage au chalumeau.

b) Croisements de joints :

Il est interdit de superposer 4 lés à un croisement de recouvrements.

Tous les croisements doivent donc être en T. Pour faciliter la réalisation des jonctions en T, il est recommandé de rallonger le fil d'eau éventuel en coupant à 45° l'about inférieur de la bande de soudure de chaque lé. Ces coupes biaises doivent également être mises en sifflet par écrasement, à la spatule chaude.

c) Contrôle de soudure :

Après soudure des jonctions, on doit constater la présence d'un petit bourrelet de bitume en bordure.

d) Fixations en tête :

Des fixations sont obligatoires en tête des lés de la couche autoprotégée (4 fixations par mètre linéaire) pour les pentes égales à 40 %.

Le recouvrement d'about est alors porté à 10 cm au-delà de la ligne de fixations, soudé sur 15 cm.

Les fixations, en fonction de l'élément porteur, sont conformes à la norme DTU série 43 concernée.

4.32 Mise en œuvre du revêtement monocouche par fixations mécaniques (système C)

4.321 Dispositions générales

Les feuilles ALPAL 4000 SOLAR sont fixées mécaniquement en lisière longitudinale sur la bande nue de recouvrement, par des fixations mécaniques composées de vis et de PLAQUETTE 40/40 Nervurée (système de référence SRB1 et SRB2).

4.322 Densité et répartition des fixations en partie courante, rives et angles

Cf. Dispositions du paragraphe 4.4.

4.33 Mise en œuvre du revêtement monocouche soudé

4.331 Système adhérent (système G)

La feuille ALPAL 4000 SOLAR est soudée en plein. Les recouvrements sont soudés sur 8 cm au moins.

- Soit, sur isolant apte à cet usage ou rendu apte par surfaçage au MASTIC HYRAFLEX refroidi (uniquement sur verre cellulaire) avant soudage ;
- Soit, soudée sur panneaux à base de bois après pontage des joints de panneaux et préparation du support par EIF ;
- Soit, sur ancien revêtement autoprotégé métallique délardé ou asphalte sans protection rapporté déposée, imprégné d'EIF.

4.332 Système semi-indépendant (système E)

L'écran perforé THERMÉCRAN est déroulé à sec, le recouvrement est facultatif. Le revêtement est rendu adhérent au support sur 30 à 50 cm en périphérie des ouvrages et autour des émergences. L'écran est alors supprimé.

La feuille ALPAL 4000 SOLAR est soudée en plein, à recouvrements de 8 cm au moins.

L'emploi est limité aux dépressions au vent extrêmes au plus égales à 4 712 Pa.

Sur ancien revêtement bitumineux apparent avec autoprotection minérale, l'imprégnation du support par un EIF n'est pas nécessaire.

4.4 Densité et répartition des fixations en partie courante, rives et angles pour les revêtements mis en œuvre par fixations mécaniques

4.41 Dispositions générales

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, pour des bâtiments d'élancement courant respectant les conditions suivantes :
  - $h \leq 2{,}5\ a$, avec h = hauteur du bâtiment et a = longueur,
  - $f \leq h/2$ pour des toitures à versants plans ou $f \leq 2/3.h$ pour des toitures à versants courbes avec f = flèche entre le faîtage et la noue ;
- aux dispositions du CPT « Résistance au vent des systèmes d'étanchéité de toiture fixés mécaniquement » (e-Cahier du CSTB 3563, de juin 2006).
- de la zone et du site de vent (zones 1 à 5) ; site (normal ou exposé) ;
- à la localisation en toiture : parties courantes, rives, angles, etc...(cf. *Tableau 8*).
- Au sens de pose des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR :
  - Modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR posés perpendiculairement aux lignes de fixations : systèmes de référence SRA1 (bicouche) et SRB1 (monocouche)
  - Modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR posés parallèlement aux lignes de fixations : système de référence SRA2 (bicouche) et SRB2 (monocouche)
  - à la charge dynamique admissible par fixation, Wadmsr, obtenue pour chacun des systèmes de référence (cf. tableau 1a) sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées pleines d'épaisseur 0,75 mm, pour une fixation de référence de résistance caractéristique Pksr de 1 520 N selon la norme NF P 30-313.

Les Wadmsr des systèmes fixés mécaniquement sont différents suivant le sens de pose des modules photovoltaïques souples (parallèles ou perpendiculaires aux lignes de fixations). Lorsque celui–ci ne sera pas indiqué dans les DPM, il conviendra d'utiliser le Wadmsr le plus faible.

Tableau 1a - Récapitulatif de la charge dynamique admissible par fixation

	Perpendiculaire aux lignes de fixations	Parallèle aux lignes de fixations
Étanchéité Bicouche	SRA1 WadmsrA1 = 491 N/fixation	SRA2 WadmsrA2 = 409 N/fixation
Étanchéité monocouche	SRB1 WadmsrB1 = 600 N/fixation	SRB2 WadmsrB2 = 467 N/fixation

Pour les éléments porteurs et/ou les fixations autres que ceux du dossier Technique, l'adaptation est faite conformément aux règles d'adaptation du CPT « Résistance au vent des systèmes d'étanchéité de toiture fixés mécaniquement » (e-Cahier du CSTB 3563, de juin 2006) (cf. Annexe A).

La densité de fixation n'est jamais inférieure à 3/m².

Lorsque l'intervalle entre fixations devient inférieur à 18 cm, on utilisera obligatoirement la solution mentionnée au paragraphe 4.42.

4.42 Fixations complémentaires

Lorsque l'espacement calculé entre fixations est inférieur à 18 cm, il est nécessaire de mettre en œuvre des fixations complémentaires

Cas des revêtements bicouche

La première couche est fixée en lisière, avec une ligne complémentaire de fixations en milieu de lé, ou deux lignes de fixations distantes de 30 cm, l'espacement des fixations en lisière et des fixations complémentaires étant identiques. Une bande de pontage, de largeur 16 cm minimum, de même nature que la feuille de première couche, est soudée en plein sur la première couche en recouvrement des fixations complémentaires (cf. *Figure 8*).

Cas des revêtements monocouche

Le revêtement monocouche ALPAL 4000 SOLAR est fixé en lisière avec :

- Soit une ligne complémentaire de fixations en milieu de lé,
- Soit deux lignes de fixations distantes de 30 cm,

L'espacement des fixations en lisière et des fixations complémentaires étant identique.

Une bande de pontage en ALPAL 4000 SOLAR, de largeur 16 cm minimum, est soudée en plein sur la couche d'étanchéité en recouvrement des fixations complémentaires.

4.43 Espacement des fixations

Les *Tableaux B1, B2, B3 et B4* de l'Annexe B récapitulent les espacements entre fixations dans les conditions simplifiées des Règles V 65 modifiées pour des bâtiments avec éléments porteurs en tôles d'acier nervurées et en bois de hauteur 20 m au plus, ouverts ou fermés, en travaux neufs ou en réfection.

Ces espacements sont calculés sur la base des Wadmsr des systèmes de référence obtenus avec une fixation de référence de résistance caractéristique selon NF P 30-313 Pksr = 1 520 N (avec une plaquette métallique) sur élément porteur en tôle d'acier nervurée à plage pleine de 0,75 mm d'épaisseur.

L'étude des autres cas (bâtiment de hauteur > 20 m ou élancé, toiture à versants courbes ...) est fournie par l'assistance technique d'Axter, sur demande.

Tolérances sur l'espacement maximal entre deux fixations

Les valeurs des tolérances ci-dessous permettent d'adapter les espacements entre fixations au pas réel des tôles d'acier nervurées.

Si l'espacement entre deux fixations est supérieur à la valeur calculée (cf. *Tableaux B1, B2*, B3 et B4, Annexe B), l'espacement entre les deux fixations suivantes sera réduit d'autant (cf. *Tableau 1b*).

Tableau 1b – Tolérances sur l'espacement maximal entre deux fixations

Espacement (cm)	≥ 35	de 35 à 25	de 25 à 18
Tolérance (cm)	+ 4	+ 3	+ 2

Cas des T.A.N. à ouverture haute de nervure (> 70 mm)

Dans le cas d'éléments porteurs en T.A.N. dont l'ouverture haute de nervure est > 70 mm (et ≤ 200 mm), un espacement entre 2 fixations < 18 cm (mais toujours > 12 cm) peut être appliqué lorsqu'une fixation tombe dans une ouverture haute de nervure. Celle-ci est reportée sur la plage précédente tout en conservant ensuite l'espacement théorique de pose des attelages de fixations.

4.44 Fixations mécaniques de référence

Les fixations mécaniques de référence sont constituées de la plaquette métallique 40/40 nervurée (cf. figure 6) associée à la vis EVDF 2C de Ø 4,8 mm de LR ETANCO de Pksr = 1 520 N selon la norme NF P 30-313 sur tôle d'acier de 0,75 mm d'épaisseur :

- Pour les systèmes de référence bicouche SRA1 (Modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR posés perpendiculairement aux lignes de fixations) et SRA2 (Modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR posés parallèlement aux lignes de fixations).
- Pour les systèmes de référence monocouche SRB1 (Modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR posés perpendiculairement aux lignes de fixations) et SRB2 (Modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR posés parallèlement aux lignes de fixations).

Axter SAS peut apporter son Assistance Technique au calcul du Wadmns de l'attelage de fixation mécanique et à l'étude des densités et répartitions des fixations.

4.5 Mise en œuvre des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR (cf. Figure 2)

4.51 Préparation du support ALPAL 25 SOLAR (ou ALPAL 4000 SOLAR)

La pente maximale est de 40%. Dans le cas particulier de la mise en œuvre de la première couche par auto-adhésivité (Système H), la pente est limitée à 20%.

Avant l'autocollage des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR, on veillera à ce que les membranes supports ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR soient sèches, propres et sans poussière.

Le film thermofusible de surface des membranes ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR sera impérativement effacé au chalumeau avant le collage des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR.

Lors de la mise en œuvre des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR, la température ambiante extérieure doit être comprise entre 10°C et 30°C.

La pose des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR se fera autant que possible à l'avancement de la pose de la membrane ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR, afin de minimiser la fixation de poussières sur le support.

4.52 Collage des modules photovoltaïques souples

La sous-face des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR est :

- soit munie de bandes autoadhésives en Butyl recouvertes de films pelables dans le cas des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 1000 et EXCEL SOLAR 1300 (cf. *Figure 1c cas a*)
- soit totalement couverte d'une bande autoadhésive en Butyl recouverte d'un film pelable dans le cas des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 350 et EXCEL SOLAR 400(cf figure 1c cas b).

Les films pelables sont retirés préalablement, avant l'autocollage des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR sur la surface des membranes ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR, préparée selon les prescriptions du § 4.51.

La mise en œuvre des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR est irréversible et nécessite l'intervention de deux personnes au minimum (cf. *Figure 2b*).

Les modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR sont ensuite marouflés au droit des bandes butyl à l'aide d'une roulette en plastique semi rigide.

Les membranes d'ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR non recouvertes de modules photovoltaïques souples n'ont pas besoin d'être protégées.

4.53 Raccordement électrique

Voir figure 10 et figure 11.

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

L'étancheur n'est pas habilité à connecter les modules entre eux, ou à les déconnecter lors d'une intervention de maintenance par exemple ; seul un professionnel habilité peut réaliser ces interventions.

Les laminés ne doivent être ni coupés ni percés.

Les travaux de raccordement électrique (fourniture et pose des onduleurs compris) seront confiés à une entreprise spécialisée dans le photovoltaïque, titulaire d'une qualification décernée par un organisme agréé comme Qualibat, Qualit'ENR ou Qualifelec. Cette entreprise devra également avoir les compétences pour raccorder l'installation en autoconsommation, si tel est le cas.

Le calepinage des laminés devra être conforme au plan établi afin de respecter le nombre de modules photovoltaïques souples connectés en série le nombre de branches en parallèle issus de l'étude fournie par l'électricien.

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.

4.54 Interdiction lors de la mise en œuvre

Lors de la pose des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR, il est interdit :

- de marcher directement sur les modules photovoltaïques souples. La circulation peut néanmoins s'effectuer après interposition d'une protection temporaire à base de panneaux isolants thermiques (PIR, PSE, laine),
- De déposer sur les modules photovoltaïques souples des équipements, matériau ou matériel de chantier,
- De déverser des produits agressifs sur modules photovoltaïques souples et sur la toiture,
- De plier les modules photovoltaïques souples,
- D'enrouler les modules photovoltaïques souples avec un rayon de courbure inférieur à 51 cm.
- De découper les modules photovoltaïques souples.

4.6 Mise en œuvre des chemins de câbles

Les câbles courant continu sont mis en œuvre dans des chemins de câbles de type Cablofil. 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 chemins de câbles 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 supports de chemins de câbles sont :

- Galvanisés à chaud (grammage galvanisation ≥ 85 µm selon la norme EN ISO 14713) en ambiance urbaine normale ou 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. Les chemins de câbles de type Cablofil en toiture sont fixés sur des supports (cf. Figure 5) permettant une surélévation de 20 mm minimum par rapport à la toiture. Ces supports sont soudés industriellement au préalable sur une platine de même nature de dimensions minimales 10 cm x 10 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 SAS et compatible avec le liant des membranes d'étanchéité. 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).
- Des dallettes en béton : les platines d'appuis du chemin de câbles sont fixées sur des dalles en béton de dimensions 30 cm x 30 cm x 3 cm minimum. Il convient de poser les dalles de béton sur un écran de protection (non-tissé polyester, 170 g/m²) afin de ne pas endommager le revêtement d'étanchéité. Ce système de dallettes peut être mis en œuvre par l'électricien qualifié pour la pose des installations photovoltaïques, pour des toitures de pente inférieure ou égale à 5%.
- Tout autre support (non visé par l'Avis) devant résister aux intempéries et être placé selon un espacement qui dépend de la portance du chemin de câbles utilisé et de leur aptitude en résistance au vent. Cette distance entre supports doit être précisée par l'électricien qualifié pour la pose des installations photovoltaïques, ou à défaut tous les 1,5 mètres.

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 ».

5. Relevés et émergences

5.1 Généralités

Les relevés d'étanchéité sont réalisés conformément aux dispositions de la norme NF DTU série 43 concernée, notamment pour ce qui concerne les hauteurs de relevés et les arrêts d'eau en tête des relevés, contre le ruissellement.

5.2 Relevés non isolés thermiquement

Les reliefs en maçonnerie, blocs de béton cellulaire autoclavé ou acier, non isolés sont imprégnés d'EIF.

Sur relief en bois ou en panneaux à base de bois est mise en œuvre une sous-couche HYRENE 35 PY RGH ou ARMA CPV conforme au NF DTU 43.4.

Dans le cas d'un isolant PSE de partie courante, la tranche des panneaux est protégée selon les prescriptions du Document Technique d'Application de l'isolant.

5.21 Mise en œuvre

Les feuilles utilisées en relevés sont soudées à joints décalés par rapport à la partie courante :

- avec talon de 10 cm mini sur la première couche de partie courante pour l'équerre de renfort, débordant de 4 cm mini le bord de la plaquette,
- et 15 cm mini pour la feuille de relevé (talon dépassant d'au moins 5 cm celui de l'équerre sur la deuxième couche de partie courante).

Cas d'une première couche de partie courante fixée mécaniquement

En pied de relief et d'émergences, la feuille de première couche de partie courante reçoit une rangée complémentaire de fixations d'entraxe ≤ 25 cm au maximum, (non comptées dans le calcul de densité moyenne), espacées de l'intervalle donné en rive et en angle, selon la localisation, et détaillé dans les *Tableaux B1 à B4* de l'*Annexe B*. Elles sont recouvertes par le talon de l'équerre de renfort du relevé. Le recouvrement soudé doit dépasser d'au moins 4 cm les bords des plaquettes.

Dans l'acier, les vis utilisées en pied de relevé doivent présenter une capacité de perçage :

≥ 20/10 mm si les fixations sont au droit de la costière,

≥ 8/10 mm si les fixations échappent à la costière.

5.22 Composition

Les relevés sont réalisés par soudure au chalumeau et comprennent (cf. *Figure 9* : exemple pour le cas d'un support en tôles d'acier nervurées) :

- EIF (sur maçonnerie ou costière métallique) ;
- une équerre de renfort BANDE D'ÉQUERRE 35 PY soudée de 0,25 m de développé, avec talon de 10 cm mini
- une feuille ARMALU soudée, avec talon de 15 cm min sur la 2ème couche de partie courante en terrasse inaccessible et technique
- Le § 8.44 précise les feuilles de substitution possibles en relevés

5.3 Relevés isolés thermiquement sur maçonnerie

Sur isolant soudable :

Les relevés isolés sont réalisés conformément aux dispositions de la norme NF-DTU série 43 concernée.

Sur isolant PIR :

L'isolant PIR utilisé doit être l'un des six isolants PIR mentionnés au §3.722.

Dans le cas d'un acrotère en béton, les feuilles de relevés sont identiques à celles des relevés non isolés en ajoutant préalablement une sous-couche autoadhésive HYRENE SPOT ST fixée et soudée en tête, conformément au CPT commun « Isolation thermique des relevés d'étanchéité sur acrotère béton des toitures inaccessibles, techniques, terrasses et toitures végétalisées sur élément porteur en maçonnerie », *e-Cahier du CSTB* 3741 de novembre 2013.

5.4 Dispositifs d'écartement des eaux de ruissellement

Les dispositifs d'écartement des eaux pluviales sont réalisés conformément aux dispositions de la norme NF P (DTU série 43) concernée.

Les protections par bandes solin doivent bénéficier d'un Avis Technique favorable.

6. Ouvrages particuliers

6.1 Noues

6.11 Noues en pente - faîtages - chéneaux

Ces ouvrages sont réalisés de manière analogue aux parties courantes, sans les modules photovoltaïques souples.

6.12 Noues de pente nulle avec revêtement monocouche

6.121 Cas des revêtements soudés

Le revêtement de partie courante est renforcé sur 1 mètre de part et d'autre du fil d'eau par une sous-couche HYRENE 25/25 TS, en adhérence totale.

La feuille ALPAL 4000 SOLAR est soudée en plein sur cette sous-couche.

6.122 Cas des revêtements fixés mécaniquement

La feuille ALPAL 4000 SOLAR est renforcée par une feuille de renfort en ALPAL 4000 SOLAR fixée avec des plaquettes 40/40 nervurées.

L'entraxe des fixations de la couche de renfort est le même que celui de la partie courante (calculé à partir de WadmsrB1 = 600 N/fix et WadmsrB2 = 467 N/fix. cf. *Tableaux B3 et B4,* Annexe B).

Pour les noues nécessitant une ou plusieurs lignes de fixations complémentaires, la feuille de renfort en ALPAL 4000 SOLAR est fixée avec des PLAQUETTES 40/40 Nervurée :

- Soit par une ligne complémentaire de fixations en milieu de lé,
- Soit par deux lignes de fixations distantes de 30 cm.

Une bande de pontage (16 cm) d'ALPAL 4000 SOLAR est ensuite soudée au droit des fixations complémentaires.

6.1221 Noue centrale

Le fil d'eau est renforcé sur 1m environ de part et d'autre, en déroulant la feuille de renfort de noues fixées mécaniquement en lisière à intervalles requis. Le recouvrement longitudinal entre ces deux feuilles est de 10 cm.

Le revêtement de partie courante recouvre celui de la noue sur 0,15 m au moins, soudé.

6.1222 Noues de rive

Le fil d'eau est renforcé sur 1 m environ, en déroulant la feuille de renfort de noues fixée mécaniquement en lisière à l'intervalle requis.

Si les feuilles ALPAL 4000 SOLAR de partie courante sont :

- Transversales au fil d'eau, alors elles sont soudées en plein sur la feuille de renfort de noue.
- Parallèles au fil d'eau, alors un demi-lé d'ALPAL 4000 SOLAR est préalablement soudé sur ce renfort en rive pour être recouvert par la partie courante sur 0,15 m.

6.2 Évacuation des eaux pluviales – pénétrations (cf. fig. 10)

Ces ouvrages sont réalisés conformément aux dispositions des normes NF P 84-204 à NF P 84-208 (référence DTU série 43 P1).

- Cas du système monocouche :

  Les raccordements aux ouvrages d'évacuations d'eaux pluviales se font sur des platines enduites d'EIF sur leurs deux faces insérées entre la couche du revêtement de partie courante ALPAL 4000 SOLAR et une pièce de renfort HYRENE 25/25 TS de dimensions telles qu'elle dépasse la platine de 20 cm au moins.
- Cas du système bicouche :

  Les raccordements aux ouvrages d'évacuations d'eaux pluviales se font sur des platines enduites d'EIF sur leurs deux faces insérées entre la première couche du revêtement de partie courante et une pièce de renfort HYRENE 25/25 TS de dimensions telles qu'elle dépasse la platine de 20 cm au moins.

6.3 Joints de dilatation

Les joints de dilatation sont exécutés conformément aux dispositions des normes P 84 série 200 (référence DTU série 43 P1), et de l'Avis Technique Exceljoint.

6.4 Chemins de circulations

Les chemins de circulations sont mis en œuvre préalablement à la pose des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR.

Les chemins de circulations sont réalisés par soudure sur la partie courante d'une chape de CAMINAXTER (ou FORCE 4000 S). Le renforcement s'effectue sur 1 m environ dans les zones de circulation.

7. Dispositions particulières aux départements et Régions d'Outre-Mer (DROM)

Les prescriptions des « Règles concernant les travaux d'étanchéité des toitures-terrasses plates (pente de 2 à 5%) et toitures rampantes (pente ≥ 5 %) avec éléments porteurs en maçonnerie en climats tropicaux ou équatoriaux humides et tropicaux secs » de la CSNE de mai 1990 sont applicables.

7.1 Prescriptions relatives aux éléments porteurs en maçonnerie et tôle d'acier nervurée, et aux supports en maçonnerie

Sont admis :

a) Les éléments porteurs et les supports en maçonnerie conformes au CPT Commun « Supports de système d'étanchéité de toitures dans les départements d'outre-mer (DOM) » (*e-Cahier du CSTB* 3644 d'octobre 2008), et les supports non traditionnels bénéficiant d'un Avis Technique pour cet emploi. Leur préparation ainsi que le pontage des joints sont effectués conformément aux prescriptions des normes NF P 84-204-1 (référence DTU 43.1 P1) et des Avis Techniques les concernant. Lorsque le support du système d'étanchéité est l'élément porteur lui-même, il est préparé à l'EIF. La pente minimum à mettre en œuvre est de 2 %. Les reliefs sont conformes aux spécifications des Règles de la CSNE de mai 1990.

b) Les éléments porteurs tôle d'acier nervurée conformes au CPT Commun « Supports de système d'étanchéité de toitures dans les départements d'outre-mer (DOM) (e-Cahier du CSTB 3644 d'octobre 2008). La pente minimum à mettre en œuvre est de 3 % sur plan.

c) En cas de réfections, seul le cas de la maçonnerie est envisagé. L'intégralité du système existant est déposée et le diagnostic de l'élément porteur est réalisé selon la norme NF P 84-208 (référence DTU 43.5). Dans le cas des TAN, la réfection s'effectue avec mise en œuvre d'une nouvelle TAN.

7.2 Mise en œuvre du pare-vapeur

Selon les dispositions du CPT Commun « Supports de système d'étanchéité de toitures dans les départements d'outre-mer (DOM) » (*e-Cahier du CSTB* 3644 d'octobre 2008), la mise en œuvre d'un pare-vapeur n'est pas obligatoire, sauf sur locaux chauffés. Le pare-vapeur est à choisir et à mettre en œuvre conformément aux *Tableaux 6a à 6c* sur locaux chauffés ou sinon s'il est prévu dans les documents particuliers du marché (DPM).

7.3 Étanchéité de partie courante et relevés

L'étanchéité se pose de la même manière que décrit dans le § 4 ci-avant.

Les relevés, de hauteur minimale 150 mm, sont traités de la même manière que ceux décrits au § 5.

7.4 Évacuation des eaux pluviales

L'intensité pluviométrique à prendre en compte et le dimensionnement des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales est donné dans le NF DTU 60.11-3 pour des débits de 4,5 l/m².min. Les DPM peuvent prévoir des débits à 6 l/m².min

8. Matériaux

8.1 Liants

8.11 Liants ALPA FC

Cf. *Tableau 9.*

Il s'agit d'un copolymère d'oléfines associé à un élastomère de type SBS (Styrène Butadiène Styrène), plastifié par des bitumes spéciaux, additionné d'un filler calcaire à raison de 30 % au plus par rapport au poids total.

8.12 Liants HYRENE MM

Cf. *Tableau 10.*

Il s'agit de mélanges conformes aux Directives UEAtc de 1984, en bitume SBS fillérisé à 35 % au plus.

8.13 Liant PSB d'imprégnation

Cf. *Tableau 11.*

Mélange du bitume direct (du liant HYRENE MM) et de copolymère d'éthylène, de performances spécifiées :

- TBA ≥ 80 °C,
- Viscosité Brookfield ≤ 5 Pa.s^{-1} (T = 180 °C; 58 s^{-1}).

8.14 Liant autoadhésif HYRENE adhésif

Cf. *Tableau 12.*

Liant HYRENE MM non fillérisé et dopes d'adhésivité.

8.15 Liant élastomérique pour chapes ARMA (ARMALU)

Cf. *Tableau 13.*

Il s'agit d'un mélange en bitume SBS fillérisé à 40 % au plus (utilisé pour la fabrication des feuilles ARMA CPV, ARMALU, ARMALU CPV, ALPHARDOISE CPV).

8.2 Feuilles manufacturées principales

8.21 Feuilles de première couche des systèmes bicouches

Les feuilles de première couche sont en bitume modifié par élastomère SBS, avec une armature R4 au moins, et conformes au Guide UEAtc de 2001 SBS et APP.

- Premières couches fixées mécaniquement : TOPFIX PY SOLAR ou TOPFIX PY SPF SOLAR : cf. *Tableau 14a*.
- Première couche soudée : HYRENE TS PY SOLAR : cf. *Tableau 14b.*
- Première couche autoadhésive : HYRENE SPOT PY SOLAR : cf. *Tableau 14c.*

8.22 Feuilles de deuxième couche des systèmes bicouches

La composition, la présentation et les caractéristiques des feuilles ALPAL 25 SOLAR intervenant dans le procédé sont indiquées dans le *Tableau 15* en fin de dossier Technique. Les membranes ne relèvent pas du Guide UEAtc SBS-APP de 2001. Néanmoins l'intégralité des caractéristiques y figurant est suivie et évaluée.

8.23 Feuille des systèmes monocouche

ALPAL 4000 SOLAR : cf. *Tableau 16.*

8.3 Modules Photovoltaïques souples EXCEL SOLAR

Les modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 350, EXCEL SOLAR 400, EXCEL SOLAR 1000 et EXCEL SOLAR 1300 sont à base de CIGS, alliage de Cuivre, d'Indium, de Galium et de Sélénium. Ils sont conformes à la norme CEI 61646 et à la norme CEI 61730.

La couche supérieure capture les photons.

Chaque module photovoltaïque souple résulte de l'association de plusieurs cellules raccordées en série, protégées par des diodes bypass.

Des bandes butyle adhésives sont appliquées en usine sur la face arrière des modules photovoltaïques souples.

Les caractéristiques électriques des modules photovoltaïques souples (cf. *Tableaux 17a et 17b* en fin de dossier technique) sont établies aux conditions STC (Standard Test Conditions) : éclairement de 1000 W/m2 et répartition spectrale solaire de référence selon CEI 60904-3 avec une température de cellule de 25°C).

Chaque module photovoltaïque souple subit un « flash test » chez le fabricant.

8.31 Boite de connexion

Les modules EXCEL SOLAR 350, EXCEL SOLAR 1000 et EXCEL SOLAR 1300 sont équipés d'une boîte de connexion du fabricant Amphenol Technology Shenzhen de dénomination commerciale "HBTGCNAND". Elle est collée sur la surface du module et possède les caractéristiques suivantes :

- Dimensions hors-tout : 66,4 mm x 63,2 mm x 12,2 mm,
- Classe II de sécurité électrique,
- Indice de protection : IP68,
- Tension de système maximum : 1000 V DC entre polarités,
- Courant maximal admissible (intensité assignée) : 20 A,
- Plage de température : - 40 °C à + 85 °C.

Les modules EXCEL SOLAR 400 sont équipés d'une boîte de connexion du fabricant TE Connectivity de dénomination commerciale "Micro2GBN1PA". Elle est collée sur la surface du module et possède les caractéristiques suivantes :

- Dimensions hors-tout : 67mm x 75mm x 16mm,
- Classe II de sécurité électrique,
- Indice de protection : IP67,
- Tension de système maximum : 1000 V DC entre polarités,
- Courant maximal admissible (intensité assignée) : 8 A,
- Plage de température : - 40 °C à + 90 °C.

8.32 Câbles électriques

Les modules EXCEL SOLAR 350, EXCEL SOLAR 1000 et EXCEL SOLAR 1300 sont équipés de deux câbles électriques de marque AMPHENOL, de 620 mm chacun, dont la section est de 4 mm². Ces câbles se trouvent en partie haute du module, en sortie de la boîte de connexion, et sont équipés de connecteurs adaptés (voir §8.33).

Ces câbles ont notamment les spécifications suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Plage de température ambiante maximum : - 40 °C à 90 °C,
- Courant maximum admissible (intensité assignée) de 25 A,
- Tension assignée : 1000 V,
- Double isolation,
- Certificat TÜV n°08.2007.

Les modules EXCEL SOLAR 400 sont équipés de deux câbles électriques, de marque TE Connectivity et de dénomination commerciale "ZHSCB", de 900 mm chacun dont la section est de 4 mm². Ces câbles se trouvent en partie haute du module, en sortie de la boîte de connexion, et sont équipés de connecteurs adaptés (voir §8.33).

Ces câbles ont notamment les spécifications suivantes :

- Classe II de sécurité électrique,
- Plage de température ambiante maximum : - 40 °C à 90 °C,
- Courant maximum admissible (intensité assignée) de 10 A,
- Tension assignée : 1 000 V,
- Double isolation,
- Certificat TÜV & UL.

Tous les câbles électriques de l'installation (en sortie des modules et pour les connexions entre séries de modules et vers l'onduleur) sont en accord avec la norme NF C 15-100 en vigueur, les guides UTE C 15-712 en vigueur, et les spécifications des onduleurs (longueur et section de câble adaptées au projet).

8.33 Connecteurs électriques

Les connecteurs électriques des modules EXCEL SOLAR 350, EXCEL SOLAR 1000 et EXCEL SOLAR 1300 sont des connecteurs préassemblés en usine aux câbles des modules. De dénomination commerciale "H4" de la société Amphenol, ces connecteurs sont certifiés par le TÜV et ont les caractéristiques suivantes :

- Indice de protection électrique IP 68,
- Classe II de sécurité électrique,
- Tension assignée de 1500 V,
- Courant maximum admissible (intensité assignée) de 40 A,
- Plage de température de - 40 °C à + 85 °C,
- Résistance de contact : 0,25 mΩ,
- Certificat TÜV & UL.

Les connecteurs électriques des modules EXCEL SOLAR 400 sont des connecteurs préassemblés en usine aux câbles des modules. De marque TE Connectivity et dénomination commerciale "PV4S", ces connecteurs sont certifiés par le TÜV et UL et ont les caractéristiques suivantes :

- Indice de protection électrique IP 68,
- Classe II de sécurité électrique,
- Tension assignée de 1500 V,
- Courant maximum admissible (intensité assignée) de 40 A,
- Plage de température de - 40 °C à + 90 °C,
- Résistance de contact : 0,35 mΩ,
- Conforme à la norme IEC 62852.

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

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

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

8.4 Autres matériaux en feuilles de la gamme Axter

8.41 Matériaux pour écran pare-vapeur

- VAP : voile de verre aluminium (conforme au CC2 - réf. DTU 43) ;
- HYRENE 25/25 TS : liant SBS épaisseur 2.5 mm, armature VV50 – filmé sous-face – grésé en surface – joint soudés 6 cm. Sd ≥ 280 m;
- VAP AL : membrane bitumineuse SBS de 3 mm d'épaisseur, armature composite aluminium voile de verre. Surface grésée, sous-face film. Rouleau 8 x 1 m, 30 kg, stockage debout. Sd ≥ 1000 m ;
- ROLL 25 ALPA : liant ALPA, épaisseur 2.5 mm, armature VV50 – filmé sous face – grésé en surface – joint soudés 6 cm - Rouleaux 8 × 1 m, 24 kg stockage debout. Sd ≥ 280 m.
- ROLL 25 ALPA ALU: liant ALPA, épaisseur 2.5 mm, armature composite aluminium voile de verre – filmé sous face – grésé en surface – joint soudés 6 cm - Rouleaux 8 × 1 m, 24 kg stockage debout. Sd ≥ 1000 m.
- VAP ADH : pare vapeur bitumineux autoadhésif de 2 mm : liant élastomère HYRENE MM - armature VV50 – autoadhésif (cf. *DTA Hyrene Spot*) en sous face protégé par un film pelable – surface grésée - joint adhésif 6 cm - Rouleaux 7 × 1 m, 25 kg stockage debout. Sd ≥ 240 m.
- VAP ALU ADH : pare vapeur bitumineux autoadhésif de 2 mm : liant élastomère HYRENE MM - armature composite aluminium voile de verre – autoadhésif en sous face protégé par un film pelable – surface grésée - joint adhésif 6 cm - Rouleaux 7 × 1 m, 25 kg stockage debout. Sd ≥ 1 000 m.
- STICKFLEX : Bande autoadhésive conforme à la norme NF DTU 43.3 P1-2.

8.42 Écran de semi-indépendance

- Écran perforé THERMÉCRAN couche de diffusion pour membrane soudée, cf. *NF P 84-204 (ref. DTU 43.1).*

8.43 Éléments constitutifs pour aires et chemins de circulations

- CAMINAXTER : rouleaux de 8 x 1 m sans lisière, poids 37 kg, épaisseur hors granulats 3,0 mm (- 5 %), armature PY stabilisée 170 g/m2, liant HYRENE MM : 3 050 g/m2, granulats minéraux 1 350 g/m2, sous-face filmée, résistance au poinçonnement statique sous-classe L4 ;

8.44 Feuilles soudables pour relevés

8.441 Sous-couche pour relevés isolés

- HYRENE SPOT ST : liant élastomère HYRENE MM - armature polyester – bandes autodhésives en sous face protégé par un film pelable – surface

grésée avec film macroperforé - joint autoadhésif 6 cm - Rouleaux 7 × 1 m, 24 kg stockage debout.

8.442 Première couche de relevés ou remontée pare-vapeur sur relief béton et bloc de béton cellulaire autoclavé

- BANDE D'ÉQUERRE 35 PY sous-face filmée - épaisseur minimum 3,5 mm, pour équerre de renfort conforme à la norme NF P 84 204 1 à NF P 84-207 (DTU 43.1 à DTU 43.4);
- HYRENE 35 PY RGH sous-face filmée - épaisseur minimum 3,5 mm pour renfort conforme aux normes NF P et P 84 série 200 (référence DTU série 43).

8.443 Deuxième couche de relevés

- ARMALU : membrane autoprotégée alu 8/100° - armature TV 60 g/m² - liant élastomérique – sous façage film - épaisseur en lisière 3,5 (-0) mm - lisière largeur 8 cm ;
- ALPHARDOISE CPV : même chape qu'ARMALU, armature polyester 120 g/m² avec finition de surface par paillettes d'ardoise ou granulés minéraux ;
- ARMA CPV : même chape que ARMALU CPV, armature polyester 120 g/m² avec autoprotection ardoisée ;

8.5 Autres matériaux électriques

8.51 Câbles électriques

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

Tous les câbles de l'installation (en sortie des modules photovoltaïques souples et pour les connexions entre séries de modules photovoltaïques souples 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 adaptées 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%).

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 une interposition d'écran.

Les caractéristiques des câbles des modules photovoltaïques souples sont décrites au paragraphe 8.32.

8.52 Connecteurs DC

Les connecteurs sont des connecteurs débrochables avec blocage à lamelles, certifiés par le TÜV. Les caractéristiques des connecteurs sont données au *Tableau 19* en fin de dossier Technique.

Ils résistent aux conditions extérieures (UV, humidité, température,…).

Les connecteurs devant équiper les câbles de branches doivent être identiques, de même fabricant, de même marque et de même type.

Les connecteurs ne doivent pas reposer sur l'étanchéité.

Les caractéristiques des connecteurs des modules photovoltaïques souples sont décrites au paragraphe 8.33.

8.6 Autres matériaux

8.61 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 18* du Dossier Technique.

8.62 Enduit d'imprégnation à froid

- VERNIS ANTAC : vernis bitumineux d'imprégnation à froid à base de bitume en solution dans un solvant aromatique conforme à la norme NF P (DTU série 43) ;
- VERNIS ANTAC GC : vernis bitumineux à hautes performances à base de bitume élastomère et de dope adhésive en solution dans un solvant aromatique à séchage rapide conforme à la norme NF P (DTU série 43) ;
- EMULSION PROOFCOAT : émulsion de bitume sur-stabilisé de couleur brun foncé. Extrait sec 50 %. Conforme à la norme NF P (DTU série 43).

8.63 Colles

- MASTIC HYRAFLEX : Enduit d'Application à Chaud à base de bitume SBS :
  - TBA (EN 1427) : ≥ 110 °C,
  - pénétrabilité à 25 °C (EN 1426) : 60 à 80 1/10 mm,
  - pliabilité à froid (EN 1109) : -10 °C,
  - température d'utilisation : 150 à 180 °C. Cette température impose l'utilisation de fondoirs régulés thermiquement,
  - conditionnement : pains de 10 kg,
  - résistance à la traction perpendiculaire entre une feuille élastomère à surface grésée et un panneau isolant de Foamglass (vitesse : 10 mm/min sur 15 x 15 cm à 20 °C) : limitée par la valeur de décohésion de l'isolant. Fréquence de contrôle : 1/an,
  - La fabrication de ce produit fait l'objet d'un Cahier des charges spécifique entre Axter SAS et son fournisseur, le suivi qualité est réalisé avec un certificat qualité délivré et vérifié à chaque livraison. Fiche de données de sécurité disponible sur demande;
- HYRA STIK :
  - colle polyuréthanne mono composant, prête à l'emploi,
  - aspect : de couleur et d'aspect miel liquide,
  - densité 1,12,
  - durée de stockage : 9 mois à l'abri de la chaleur, dans un local sec et frais, dans son emballage d'origine hermétiquement fermé,
  - conditionnement : bidon de 6,5 kg, équipé d'un bec verseur,
  - étiquetage avec indication de la date de péremption,
  - résistance maximum atteinte après 5 jours à 20°C : rupture par décohésion de l'isolant,
  - résistance à la traction perpendiculaire entre une feuille élastomère à surface grésée et un panneau isolant de polyuréthanne Efigreen Alu (vitesse : 100 mm/min sur 15x15 à 20° C) : limitée par la valeur de décohésion de l'isolant. Fréquence de contrôle : 1/an.
  - La fabrication de ce produit fait l'objet d'un cahier des charges spécifique entre AXTER SAS et son fournisseur, ce dernier est certifié ISO 9001 : 2008. Les caractéristiques sont fournies à travers un certificat qualité à chaque livraison.

8.64 Fixations mécaniques

Fixations préalables des panneaux isolants

Les éléments de liaison et plaquettes, sont conformes aux normes P 84 série 200-1-2 (référence DTU série 43 P1-2), et au CPT Commun « Résistance au vent des isolants, supports de systèmes d'étanchéité de toitures » de l'*e-Cahier du CSTB* 3564, de juin 2006.

Fixations du revêtement d'étanchéité

Les fixations mécaniques de référence (cf. § 4.44) sont commercialisées par la Société LR ETANCO.

D'autres modèles de fixations ou de plaquettes métalliques sont admis sous réserve de respecter les Règles d'adaptation figurant en Annexe A.

9. Fabrication et contrôle

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

  L'autocontrôle de production fait partie de l'ensemble d'un système qualité conforme aux prescriptions de la norme ISO 9001 : 2015 certifié par l'AFAQ.

  De plus, AXTER SAS applique un système de management environnemental conforme à la norme ISO 14 001 : 2015 certifié par l'AFAQ.

  La nomenclature des autocontrôles internes de fabrication des feuilles bitumineuses et de l'adhérence des films EXCELSOLAR est indiquée au *Tableau 20*.
- La fabrication des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 350, EXCEL SOLAR 1000, EXCEL SOLAR 1300 d'une part et EXCEL SOLAR 400 d'autre part s'effectue respectivement sur les sites de production des fabricants de modules photovoltaïques souples : Miasolé à Santa Clara (Etats-Unis), Heyuan City (Chine), Zibo City (Chine) et Flisom à Zurich (Suisse). Chaque module est flashé en bout de chaine de fabrication ce qui permet de connaitre sa puissance exacte et ses caractéristiques électriques. Ils peuvent ainsi être classés :
  - Par pas de 4,99 Wc dans le cas des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 350 et EXCEL SOLAR 400.
  - par pas de 9,99 Wc dans le cas des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 1000 et EXCEL SOLAR 1300.

Un tableau sur fichier Excel avec code-barres permet un contrôle des caractéristiques électriques pour chaque livraison de modules.

L'application des bandes butyle sur la sous-face des modules photovoltaïques souples EXCELSOLAR 350, EXCELSOLAR 400, EXCELSOLAR 1000 et EXCELSOLAR 1300 est réalisée en usine au cours de leur fabrication.

La nomenclature des autocontrôles de fabrication réalisés par le fabricant de modules photovoltaïques souples est indiquée au *Tableau 21*.

10. Formation

La mise en œuvre, décrite au paragraphe 4, est assurée par les entreprises d'étanchéité qualifiées, formées aux techniques de pose des revêtements d'étanchéité avec modules photovoltaïques souples Excel Solar.

La société AXTER SAS organise une formation obligatoire "installateur" dispensée dans ses locaux à Courchelettes (59). Cette formation permet d'aborder les spécificités liées à la mise en œuvre du procédé EXCEL@SOLAR.

Cette formation se décline en 2 parties :

- L'une théorique : présentation de l'entreprise AXTER, sécurité des intervenants, exigences de qualité, description du procédé,
- L'autre pratique : démonstration concrète d'une installation avec le montage du procédé EXCEL@SOLAR sur une maquette.

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

Un guide de pose décrivant le matériel nécessaire, la mise en œuvre du procédé et les précautions particulières est transmis à l'entreprise de pose avant travaux.

Une assistance technique sur chantier est proposée à l'installateur pour la pose du premier kit EXCEL@SOLAR.

11. Assistance technique

La société Axter SAS apporte, à la demande de l'entreprise, son assistance technique pour la conception ainsi que pour la mise en œuvre sur chantier.

12. Utilisation, entretien et réparation

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

Il est interdit de circuler directement sur les modules photovoltaïques souples. Il est possible de circuler en périphérie des modules photovoltaïques souples en prenant garde à ne pas marcher sur les câbles électriques. Néanmoins en cas de nécessité, l'étancheur doit mettre en place une protection temporaire à base de panneaux isolants thermique (PIR, PSE, laine).

En cas d'intervention sur le procédé photovoltaïque nécessitant la dépose d'un module photovoltaïque, la procédure de déconnexion et de reconnexion électrique appliquée lors du remplacement d'un module doit être respectée (cf. §12.3).

Il est impératif que les opérations de maintenance et de réparation soient effectuées par des intervenants qualifiés. Ces opérations requièrent des compétences en électricité et en couverture (cf. § 4.5).

L'intervenant devra également prendre connaissance des consignes de sécurité indiquées dans la "Procédure remplacement panneaux EXCEL SOLAR" (document fourni avec le guide de pose).

12.1 Maintenance du champ photovoltaïque

L'entretien des toitures est celui prescrit par les normes NF P 84 série 200 (DTU série 43) concernées. Dans le cas de toiture concernée par la production d'électricité, le maître d'ouvrage doit obligatoirement opter pour un contrat d'entretien, visite semestrielle (après l'hiver ou avant l'été pour optimiser le rendement électrique, sinon selon les conditions environnementales du bâtiment d'implantation) :

- Inspection visuelle (éventuels dommages, éventuels décollement).
- Vérifier visuellement l'état d'encrassement des modules. Si ceux-ci sont sales, les nettoyer à l'eau, 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 dépassera pas 3 bars. Interdiction d'utiliser un produit contenant un solvant ou un objet dur, ne pas injecter d'eau directement au niveau des aérations hautes et basses.
- Nettoyage des ventilations du champ photovoltaïque.
- Vérification des jonctions d'abergements périphériques.
- Vérification du maintien des abergements et des éléments de couverture sur le pourtour du champ photovoltaïque.
- Vérification des risques d'ombres portées (arbres) : élagage si besoin.
- Vérification du câblage.

Il est interdit de marcher sur les modules photovoltaïques souples lors de l'entretien.

12.2 Maintenance électrique

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

12.3 Remplacement

Le remplacement du procédé Excel® Solar doit se faire après mise hors-circuit de l'installation et par une entreprise qualifiée.

Le revêtement Excel® Solar peut être facilement réparé en cas de blessure accidentelle sur :

- Les modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR :

  Arrachage du module incriminé, puis autocollage d'un nouveau module photovoltaïque souple sur la membrane ALPAL 25 SOLAR existante. Pour cette opération, se référer au document : "Procédure remplacement panneaux EXCEL SOLAR"
- Les modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR et le revêtement d'étanchéité sous-jacent :

  Arracher les modules photovoltaïques souples endommagés ainsi que les modules photovoltaïques souples avoisinants afin d'avoir un espace suffisant pour reconstituer l'étanchéité selon les § 4.2 et § 4.3 du présent Dossier Technique et remettre de nouveaux modules photovoltaïques souples selon le § 4.5.

13. Étiquetage et stockage

- Les feuilles bitumineuses sont conditionnées en rouleaux et étiquetées avec au minimum leur appellation commerciale, leurs dimensions et le marquage CE. Le stockage se fait debout.
- Chaque module photovoltaïque souple est identifié par un code barre.

B. Résultats expérimentaux

Les justifications expérimentales ont été établies par les laboratoires du CSTB, du Kiwa, du WarringtonFire et du demandeur selon les procédures des guides UEATC et des Guides Techniques du Groupe Spécialisé n° 5.2 Les rapports d'essais sont les suivants :

- Conformité des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR à la norme CEI 61646 : rapport d'essai n°4787115817-20161207 du 07 décembre 2016, délivré par le laboratoire TÜV Rheinland LGA Products GmbH.
- Conformité des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR à la norme CEI 61730 : rapport d'essai n°4787115817.1-20161207 du 07 décembre 2016, délivré par le laboratoire TÜV Rheinland LGA Products GmbH.
- Essais de tenue au vent d'une étanchéité de toiture (tôle d'acier nervurée perforée + isolation laine de roche + revêtement bicouche Excel®Solar fixé mécaniquement) selon l'ETAG 006 : rapports d'essais n° CAR17053-2 du 20 juin 2017 et n° CAR17053-3 du 20 juin 2017, délivrés par le CSTC.
- Essais de tenue au vent d'une étanchéité de toiture (tôle d'acier nervurée perforée + PIR + revêtement bicouche Excel®Solar autoadhésif) selon l'ETAG 006 : rapports d'essais n° CAR17053-1 du 20 juin 2017, délivrés par le CSTC.
- Essais de tenue au vent d'une étanchéité de toiture (tôle d'acier nervurée perforée + isolation laine de roche + revêtement monocouche Excel®Solar fixé mécaniquement) selon l'ETAG 006 : rapports d'essais n° 0240L17-1 et n° 0241L17-1 du 1er août 2017, délivrés par le Kiwa.
- Rapport de classement B_{ROOF}(t3) n° 18408 D pour le procédé Excel®Solar du 28 juillet 2017, délivré par le WarringtonFireGent conformément à la norme ENV 1187/A1:2005:Test 3.
- Essais de résistance au pelage du procédé Excel®Solar à l'état neuf et après vieillissement de 6 mois à 70°C selon la norme NF EN 1296 : rapport d'essai interne n° 17-046 en date du 29 mai 2017.
- Détermination de la stabilité de forme lors d'une variation cyclique de température selon la norme NF EN 1108 du procédé Excel®Solar (avec bicouche ALPAL 25 SOLAR) : rapport d'essai n° FaCeT 17-26068808 du 16 juin 2017 délivré par le CSTB.
- Détermination de la stabilité de forme lors d'une variation cyclique de température selon la norme NF EN 1108 du procédé Excel®Solar (avec monocouche ALPAL 4000 SOLAR) : rapport d'essai n° FaCeT 17-26070462 du 4 août 2017, délivré par le CSTB.
- Détermination du classement T en température du système Excel®Solar : rapport d'essai interne n°17-044 en date du 29 mai 2017.
- Détermination de la résistance au fluage à température élevée de l'ALPAL 25 SOLAR selon la norme NF EN 1110 : rapport d'essai interne n°17-045 en date du 29 mai 2017.
- Essais de tenue au vent d'une étanchéité de toiture (tôle d'acier nervurée perforée + isolation laine de roche + revêtement monocouche Excel®Solar fixé mécaniquement) selon l'ETAG 006 : rapports d'essais n° 0062L19-1 et n° 0063L19-1 du 19 avril 2019, délivrés par le Kiwa.
- Détermination de la stabilité de forme lors d'une variation cyclique de température selon la norme NF EN 1108 du procédé Excel®Solar (avec bicouche ALPAL 25 SOLAR) : rapport d'essai n° FaCeT 19-0060-24032726 du 3 avril 2019 délivré par le CSTB.

C. Références

C1. Données environnementales et sanitaires[1]

Le procédé EXCEL SOLAR ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale conforme à la norme NF P 01-010. Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

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

C2. Autres références

La commercialisation en France du procédé EXCEL SOLAR a débuté en 2017. Plus de 10 000 m² ont été mis en œuvre.

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

ANNEXE A

Règles d'adaptation de la densité de fixation avec plaquette métallique

1. Définitions

Le procédé a été évalué au caisson de vent sur tôles d'acier nervurées à plage pleine de 0,75 mm d'épaisseur avec deux systèmes de fixation de référence, pour deux sens de pose des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR.

Tableau A1 – Systèmes de référence

Système de référence	Type de revêtement	Sens de pose des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR	Type de plaquette (LR Étanco)	Type de vis (LR Étanco)	Pk_{ft} (en N)	$Wadm_{sr}$ (N/fixation)
SRA1	Bicouche	Perpendiculaires aux lignes de fixations	40 x 40 mm nervurée acier galva ép = 0,8 mm	EVDF 2C ∅ 4,8 mm	1520	491
SRA2	Bicouche	Parallèles aux lignes de fixations	40 x 40 mm nervurée acier galva ép = 0,8 mm	EVDF 2C ∅ 4,8 mm	1520	409
SRB1	Monocouche	Perpendiculaires aux lignes de fixations	40 x 40 mm nervurée acier galva ép = 0,8 mm	EVDF 2C ∅ 4,8 mm	1520	600
SRB2	Monocouche	Parallèles aux lignes de fixations	40 x 40 mm nervurée acier galva ép = 0,8 mm	EVDF 2C ∅ 4,8 mm	1520	467

Pour tout autre « nouveau système » (autre élément porteur et/ou fixation : vis, cheville, clou etc. et plaquettes de répartition), il convient de respecter les présentes règles d'adaptation issue du CPT « Résistance au vent des systèmes d'étanchéité de toiture fixés mécaniquement » *e-Cahier du CSTB* 3563 de juin 2006.

sr : système de référence,

ns : nouveau système correspondant au système à évaluer,

ft : fiche technique du fabricant décrivant la fixation,

Pk : résistance caractéristique à l'arrachement de l'attelage de la fixation (ensemble vis + plaquette) déterminée selon norme NF P 30-313,

$\mathbf{R_{ns}}$: résistance caractéristique à retenir pour la fixation du nouveau système,

D : densité de fixation u/m²,

A : nuance de l'acier support,

e : épaisseur du support,

Q : charge limite de service d'un ancrage sans le béton

CR : Classe de résistance à la compression du béton

ρ : Masse volumique du béton cellulaire autoclavé.

2. Règles d'adaptation en fonction de l'élément porteur et de l'isolant thermique

Règle d'adaptation en fonction de l'élément porteur

Pour les éléments porteurs en tôles d'acier perforées ou crevées, ou en bois, le nouveau système « ns » est déterminé après consultation et accord du fabricant de fixations et après essai in situ dans le cas de la réfection.

Concernant les éléments porteurs en tôles d'acier nervurées, la fixation mécanique (attelage complet : vis + plaquette associée) doit résister au dévissage selon les critères d'acceptation du Guide EOTA n° 6 *e-Cahier du CSTB* 3563 (rotation ≤¼ tour après 500 cycles et rotation ≤ ½ tour après 900 cycles).

Règle d'adaptation en fonction de l'isolant thermique

Règle d'adaptation applicable à tous les panneaux isolants

Dans le cas où la fixation mécanique du revêtement traverse une couche de panneaux isolants thermiques, les fixations doivent également être conformes aux prescriptions du Document Technique d'Application particulier du panneau isolant.

Prescriptions complémentaires concernant les panneaux en laine minérale

Dans le cas où le support direct du revêtement d'étanchéité est constitué d'une couche de panneaux isolants en laine minérale, les modèles de fixation mécanique sont du type : plaquette avec vis à filet sous tête (solide au pas) ou plaquette avec rivet à entretoise ou plaquette à rupture de pont thermique. Les attelages conformes à la norme NF P 30-317 conviennent.

3. Domaine de validité des adaptations

La densité de fixations du nouveau système « D_{ns} » doit être ≥ 3 fixations/m².

L'espacement entre fixations « E » d'une même rangée doit être ≥ 18 cm.

Dans le cas d'éléments porteurs en T.A.N. dont l'ouverture haute de nervure est > 70 mm (et ≤ 200 mm), un espacement entre 2 fixations < 18 cm (mais toujours > 12 cm) peut être appliqué lorsqu'une fixation tombe dans une ouverture haute de nervure. Celle-ci est reportée sur la plage précédente tout en conservant ensuite l'espacement théorique de pose des attelages de fixations.

Lorsqu'une fixation tombe dans une vallée, cette fixation est reportée sur la plage précédente tout en conservant ensuite le rythme théorique de pose des fixations.

L'espacement entre deux axes de fixations d'une même rangée ≤ deux fois l'entraxe des nervures des tôles.

4. Exigences concernant les plaquettes de répartition des fixations

Il est rappelé que, en conformité aux normes NF DTU de la série 43, l'utilisation dans le nouveau système « ns » de plaquettes différentes de celles du système de référence « sr » est possible aux conditions suivantes :

- les plaquettes sont admises avec leur Pk_{ft} ;
- l'épaisseur et la nuance d'acier sont ≥ à celles de la plaquette référence ;
- les dimensions respectent les conditions du *tableau A2*,
- les recouvrements entre feuilles d'étanchéité adaptés pour respecter une largeur en débord de 1 cm et une largeur de recouvrement au-delà de la plaquette de 3 cm (cf. figure A1).

Figure A1 – Recouvrements entre feuilles de première couche

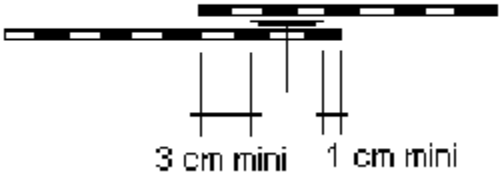


Tableau A2 – Dimension des plaquettes

Plaquette des systèmes sri		**Plaquette « ns »**	
		rondes	carrées, rectangulaires ou oblongues
SRA1 et SRA2	Carrée 40 x 40 mm	∅ ≥ 80 mm	largeur et longueur ≥ 40 mm
SRB1 et SRB2	Carrée 40 x 40 mm	∅ ≥ 80 mm	largeur et longueur ≥ 40 mm

5. Exigences et valeurs de la résistance Rns à retenir

Les *tableaux A3* (cas des travaux neufs) et *A4* (cas de la réfection) donnent, en fonction de l'élément porteur du nouveau système :

- Les caractéristiques exigées du nouvel élément porteur ;
- La résistance à la corrosion exigée pour les attelages complets (élément de liaison + plaquette) par référence à l'essai dit « Kesternich », avec 2 litres de SO2 et présentant une surface de rouille ≤ 15 % à l'issue des 15 cycles de corrosion conformément au § 5.3.7.1 de l'ETAG n° 006.
- la résistance caractéristique « Rns » à retenir pour le calcul corrigé des densités de fixations (Dns).

Tableau A3 – Travaux neufs

Exigences	**Élément porteur**			
	Tôle d'acier nervurée			**Bois et panneaux à base de bois**
	pleine	**perforée** (4)	**crevée** (4)	
Identification de l'élément porteur	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ Matériau de même type
Identification de l'élément de liaison	Vis ∅ 4,8 mini	Vis ∅ 6,3 mini	Vis ∅ 6,3 mini	Vis ∅ 4,8 mini
	Rivet ∅ 4,8 mini (1)	Rivet ∅ 4,8 mini (1)	Rivet ∅ 4,8 mini (1)	
Résistance à la corrosion de l'attelage complet (3) sur locaux à faible et moyenne hygrométrie (2)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)
Résistance à la corrosion de l'attelage complet (3) sur locaux à forte hygrométrie (2)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx
Pk minimal (daN)	90	90	90	90
Valeur de R_{ns} à retenir	Pk_{ft}	Pk_{ft} (5)	Pk_{ft} (5)	Pk_{ft} (7)

1. Rivet conforme au NF DTU 43.3 P1-2 avec clou acier et corps de rivet et entretoise alu.
2. Classes d'hygrométrie selon les normes P 84 série 200 (référence DTU série 43).
3. Certains panneaux isolants présentent des exigences particulières, cf. *Document Technique d'Application particulier*.
4. Le système de référence peut avoir utilisé une tôle pleine.
5. La valeur de Pk à retenir correspond au positionnement de la fixation le plus défavorable.
6. La valeur de Pk à retenir correspond à un Pk obtenu avec la fixation à une charge n'entraînant pas un déplacement de la fixation > 1 mm.
7. La profondeur d'ancrage des fixations du nouveau système doit être au moins égale à celle indiquée dans la fiche technique de la fixation.
8. Pk est la résistance au déboutonnage fixation/plaquette. Q est la charge limite de service correspondant à une charge n'entraînant pas un déplacement de la fixation > 2 mm ; le dispositif de fixation doit permettre ce déplacement de 2 mm sans désaffleurement de la tête de fixation. La connaissance des deux valeurs est nécessaire : si la valeur Q_{ft} est supérieure à la résistance caractéristique Pk_{ft} indiquée dans la fiche technique de la fixation, la valeur à retenir est celle de la fiche technique (Pk_{ft}).
9. Attelages complets présentant une surface de rouille ≤ 15 % à l'issue des 15 cycles de corrosion conformément au § 5.3.7.1 de l'ETAG n° 006 mars 2000.
10. Acier inoxydable austénitique 1.4301, 1.4302, 1.4306, 1.4401 ou 1.4404 conformément à la norme NF EN 10088.

Tableau A4 – Travaux de réfections

Exigences	**Élément porteur**			
	Tôle d'acier nervurée			**Bois et panneaux à base de bois**
	pleine	**perforée** (4)	**crevée** (4)	
Identification de l'élément porteur	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	e_{ns} Matériau de même type
Identification de l'élément de liaison	Vis ∅ 4,8 mini	Vis ∅ 6,3 mini	Vis ∅ 6,3 mini	Vis ∅ 4,8 mini
	Rivet ∅ 4,8 mini (1)	Rivet ∅ 4,8 mini (1)	Rivet ∅ 4,8 mini (1)	
Résistance à la corrosion de l'attelage complet (3) sur locaux à faible et moyenne hygrométrie (2)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)
Résistance à la corrosion de l'attelage complet (3) sur locaux à forte hygrométrie (2)	15 cycles avec surface rouille ≤ 15 % (9) ou acier inoxydable austénitique (10)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx
Pk minimal (daN)	90	90	90	
Valeur de R_{ns} à retenir	Pk_{ft}	Pk_{ft} (5)	Pk_{ft} (5)	$Pk_{réel}$ (7)

1. Rivet conforme au NF DTU 43.3 P1-2 avec clou acier et corps de rivet et entretoise alu.
2. Classes d'hygrométrie selon les normes P 84 série 200 (référence DTU série 43).
3. Certains panneaux isolants (par exemple, mousse phénolique - Résol) présentent des exigences particulières, cf. *Document Technique d'Application particulier*.
4. Le système de référence peut avoir utilisé une tôle pleine.
5. La valeur de Pk à retenir correspond au positionnement de la fixation le plus défavorable.
6. La valeur de Pk à retenir correspond à un Pk obtenu avec la fixation à une charge n'entraînant pas un déplacement de la fixation > 1 mm.
7. Le $Pk_{réel}$ ou $Q_{réel}$ s'évalue par mesures *in situ* selon le protocole d'essai de l'annexe 4 du CPT Commun de l'*e-Cahier du CSTB* 3563 de juin 2006 :
   - les essais sont effectués par zones différenciées susceptibles de conduire à des résultats homogènes (même activité dans le local sous-jacent, même constitution et état de la toiture),
   - chaque zone fait l'objet d'un minimum de 15 essais et d'un rapport d'essai distinct.

La profondeur d'ancrage des fixations du nouveau système à la mise en œuvre doit être au moins égale à celle des essais préparatoires *in situ*.

8. Pk est la résistance au déboutonnage fixation/plaquette. Q est la charge limite de service. La connaissance des deux valeurs est nécessaire si :
   - la valeur issue des essais sur chantier $Q_{réel}$ est supérieure à celle indiquée dans la fiche technique de la fixation Pk_{ft},
   - la valeur à retenir est celle de la fiche technique (Pk_{ft}).
9. Attelages complets présentant une surface de rouille ≤ 15 % à l'issue des 15 cycles de corrosion conformément au § 5.3.7.1 de l'ETAG n° 006 mars 2000.
10. Acier inoxydable austénitique 1.4301, 1.4302, 1.4306, 1.4401 ou 1.4404 conformément à la norme NF EN 10088.

6. Détermination de la densité de fixations Dns du nouveau système

La valeur R_{ns} à retenir est donnée par les *tableaux A1* et *A2*, les règles d'adaptation sont les suivantes :

- si Rns (en N) ≥ 1520 N (Pksr), alors Wadmns = WadmSR,
- si R_{ns} (en N) ≤ 1520 N (Pk_{sr}), alors $Wadm_{ns} = Wadm_{SR} \times R_{ns} / Pk_{SR}$.

La densité corrigée de fixation à prévoir pour le nouveau système = « Dns » avec :

« D_{ns} » = pression de vent/Wadns (avec $D_{ns} \geq 3$ dans tous les cas)

avec pression de vent calculée en fonction de la région, du site, de la hauteur du bâtiment, de la forme du versant, de la zone de toiture (partie courante, rive et angle) selon Règles V 65 et modificatif n°4 de de février 2009.

ANNEXE B

Espacements des fixations pour les systèmes de référence

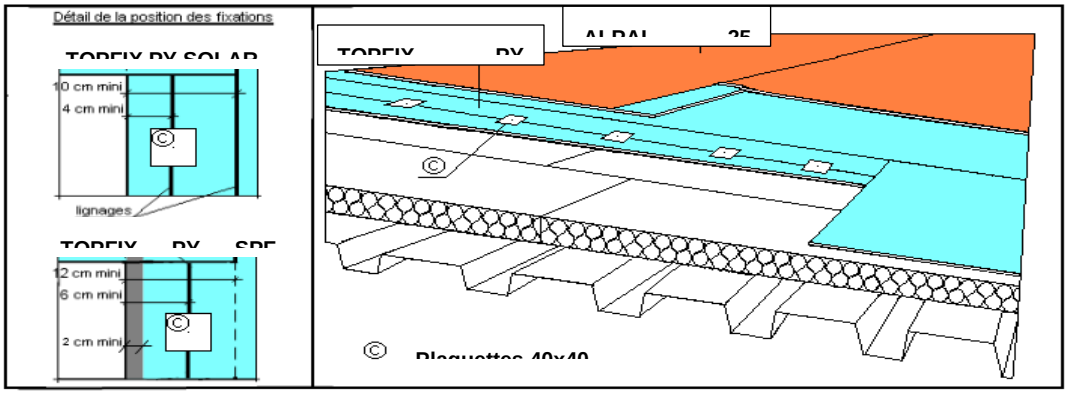
<u>SYSTÈME SRA1</u> : $W_{ADMSRA1}$ = 491 N/FIXATION

Attelages des systèmes de référence :

$PK_{sr} \geq$ 1 520 N (selon la norme NF P 30-313) avec plaquette métallique 40 x 40 mm

<u>Première couche</u> : TOPFIX PY SOLAR ou TOPFIX PY SPF SOLAR

Modules photovoltaïques souples perpendiculaires aux lignes de fixations



<u>Tableau B1 : Espacements entre fixations pour SRA1</u>

<u>Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m.</u>

<u>Travaux neufs et de réfection pour les TAN – hors DROM</u>

A. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	37	37	33	34	28
	Rive	36	27	30	23	24	19	20	32*
	Angles	25	19	21	32*	34*	26*	28*	24*
15	Partie courante	37	37	37	36	37	30	31	26
	Rive	33	24	27	21	22	34*	18	30*
	Angles	23	34*	19	30*	30*	24*	26*	20*
20	Partie courante	37	37	37	33	35	28	29	24
	Rive	30	22	25	19	20	32*	34*	28*
	Angles	21	32*	18	28*	28*	22*	24*	20*

B. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	30	34	26	27	22	23	19
	Rive	31	23	25	19	20	32*	34*	28*
	Angles	21	30*	34*	26*	28*	22*	22*	18*
15	Partie courante	37	27	31	24	25	20	20	34*
	Rive	28	20	23	18	18	30*	30*	26*
	Angles	19	28*	32*	24*	26*	20*	20*	18*
20	Partie courante	35	25	29	22	23	18	19	32*
	Rive	26	19	21	32*	34*	28*	28*	24*
	Angles	18	26*	30*	22*	24*	18*	20*	24**

C. Tôles d'acier nervurées, bois et base de bois: réfections - Bâtiments fermés
sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde (dans ce cas : partie A du tableau)

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	37
	Rive	37	32	37	28	29	23	24	20
	Angles	29	21	24	19	19	30*	32*	26*
15	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	37
	Rive	37	29	33	25	26	21	22	18
	Angles	26	19	22	34*	34*	28*	28*	24*
20	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	34
	Rive	37	27	31	24	25	20	20	34*
	Angles	25	18	20	32*	32*	26*	26*	22*

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

SYSTÈME SRA2 : $W_{ADM_{SRA2}}$ = 409 N/FIXATION

Attelages des systèmes de référence :

$PK_{sr} \geq$ 1 520 N (selon la norme NF P 30-313) avec plaquette métallique 40 x 40 mm

Première couche : TOPFIX PY SOLAR ou TOPFIX PY SPF SOLAR

Modules photovoltaïques souples parallèles aux lignes de fixations

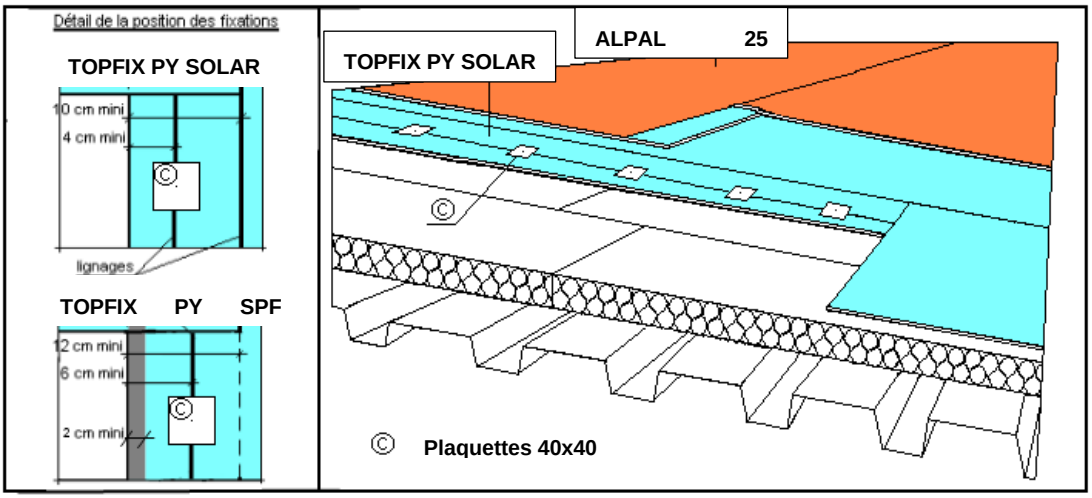


Tableau B2 : Espacements entre fixations pour SRA2
Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m.
Travaux neufs et de réfection pour les TAN – hors DROM

A. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	33	34	27	28	24
	Rive	30	22	25	19	20	32*	32*	28*
	Angles	21	32*	18	26*	28*	22*	24*	20*
15	Partie courante	37	34	37	30	31	25	26	21
	Rive	27	20	23	34*	18	28*	30*	24*
	Angles	19	28*	32*	24*	26*	20*	20*	18*
20	Partie courante	37	32	36	28	29	23	24	20
	Rive	25	19	21	32*	34*	26*	28*	22*
	Angles	18	26*	30*	22*	24*	18*	20*	24**

B. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	34	25	28	22	23	18	19	32*
	Rive	25	19	21	32*	34*	26*	28*	24*
	Angles	34*	26*	28*	22*	22*	18*	18*	24**
15	Partie courante	31	23	26	20	20	32*	34*	28*
	Rive	23	34*	19	30*	30*	24*	26*	20*
	Angles	32*	24*	26*	20*	20*	24**	18*	21**
20	Partie courante	29	21	24	18	19	30*	32*	26*
	Rive	21	32*	18	28*	28*	22*	24*	20*
	Angles	30*	22*	24*	18*	20*	24**	24**	18**

C. Tôles d'acier nervurées, bois et base de bois: réfections - Bâtiments fermés
sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde (dans ce cas : partie A du tableau)

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	34
	Rive	37	27	30	23	24	19	20	34*
	Angles	24	18	20	30*	32*	26*	26*	22*
15	Partie courante	37	37	37	37	37	35	37	31
	Rive	33	24	28	21	22	34*	18	30*
	Angles	22	32*	18	28*	28*	22*	24*	20*
20	Partie courante	37	37	37	37	37	33	34	28
	Rive	31	23	26	20	20	32*	34*	28*
	Angles	20	30*	34*	26*	26*	22*	22*	18*

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

Tableau B1 Bis : Espacements entre fixations pour SRA1

Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m - DROM.

Travaux neufs pour les TAN et la maçonnerie

et en travaux de réfection pour la maçonnerie après dépose complète de l'étanchéité existante

A. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	25	21
	Rive	36	27	30*	24*
	Angles	25	19	20*	18*
15	Partie courante	37	37	23	19
	Rive	33	24	26*	22*
	Angles	23	34*	18*	24**
20	Partie courante	37	37	21	18
	Rive	30	22	24*	20*
	Angles	21	32*	18*	21**

B. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	30	34*	28*
	Rive	31	23	24*	20*
	Angles	21	30*	24**	21**
15	Partie courante	37	27	30*	26*
	Rive	28	20	22*	18*
	Angles	19	28*	24**	18**
20	Partie courante	35	25	28*	24*
	Rive	26	19	20*	18*
	Angles	18	26*	21**	18**

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

Tableau B2 Bis : Espacements entre fixations pour SRA2

Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m - DROM.

Travaux neufs pour les TAN et la maçonnerie

et en travaux de réfection pour la maçonnerie après dépose complète de l'étanchéité existante

A. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	21	18
	Rive	30	22	24*	20*
	Angles	21	32*	18*	21**
15	Partie courante	37	34	19	32*
	Rive	27	20	22*	18*
	Angles	19	28*	24**	18**
20	Partie courante	37	32	18	30*
	Rive	25	19	20*	24**
	Angles	18	26*	21**	18**

B. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	34	25	28*	24*
	Rive	25	19	20*	18*
	Angles	34*	26*	21**	18**
15	Partie courante	31	23	26*	20*
	Rive	23	34*	18*	24**
	Angles	32*	24*	18**	
20	Partie courante	29	21	24*	20*
	Rive	21	32*	18*	21**
	Angles	30*	22*	18**	

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

SYSTÈME SRB1 : $W_{ADM_{SRB1}}$ = 600 N/FIXATION

Attelages des systèmes de référence :

$PK_{sr} \geq$ 1 520 N (selon la norme NF P 30-313) avec plaquette métallique ø 40 x 40 mm

Monocouche : ALPAL 4000 SOLAR

Modules photovoltaïques souples perpendiculaires aux lignes de fixations

Tableau B3 : Espacements entre fixations pour SRB1
Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m.
Travaux neufs et de réfection pour les TAN – hors DROM

A. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	35
	Rive	37	33	37	28	29	23	24	20
	Angles	31	23	26	20	21	32*	34*	28*
15	Partie courante	37	37	37	37	37	36	37	32
	Rive	37	30	33	26	27	21	22	18
	Angles	28	21	24	18	19	30*	32*	26*
20	Partie courante	37	37	37	37	37	34	35	29
	Rive	37	27	31	24	25	20	20	34*
	Angles	26	19	22	34*	34*	28*	28*	24*

B. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	32	33	27	28	23
	Rive	37	28	31	24	25	20	21	34*
	Angles	26	19	21	32*	34*	28*	28*	24*
15	Partie courante	37	34	37	29	30	24	25	21
	Rive	34	25	28	22	23	18	19	32*
	Angles	23	34*	19	30*	30*	24*	26*	22*
20	Partie courante	37	31	35	27	28	22	23	19
	Rive	32	23	26	20	21	34*	34*	28*
	Angles	22	32*	18	28*	28*	22*	24*	20*

C. Tôles d'acier nervurées, bois et base de bois: réfections - Bâtiments fermés
sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde (dans ce cas : partie A du tableau)

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	37
	Rive	37	37	37	34	36	29	30	25
	Angles	36	26	30	23	24	19	20	32*
15	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	37
	Rive	37	36	37	31	32	26	27	22
	Angles	32	24	27	21	21	34*	18	30*
20	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	37
	Rive	37	33	37	29	30	24	25	21
	Angles	30	22	25	19	20	32*	32*	28*

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

SYSTÈME SRB2 : $W_{ADM_{SRB2}}$ = 467 N/FIXATION

Attelages des systèmes de référence :

$PK_{sr} \geq$ 1 520 N (selon la norme NF P 30-313) avec plaquette métallique 40 x 40 mm

Monocouche : ALPAL 4000 SOLAR

Modules photovoltaïques souples parallèles aux lignes de fixations

Tableau B4 : Espacements entre fixations pour SRB2
Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m.
Travaux neufs et de réfection pour les TAN – hors DROM

A. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	37	37	31	32	27
	Rive	34	25	29	22	23	18	19	32*
	Angles	24	18	20	30*	32*	26*	26*	22*
15	Partie courante	37	37	37	34	35	28	29	24
	Rive	31	23	26	20	21	32*	34*	28*
	Angles	22	32*	18	28*	28*	22*	24*	20*
20	Partie courante	37	36	37	32	33	26	27	23
	Rive	29	21	24	18	19	30*	32*	26*
	Angles	20	30*	34*	26*	26*	22*	22*	18*

B. Tôles d'acier nervurées, bois et à base de bois- Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	29	32	25	26	21	21	18
	Rive	29	21	24	19	19	30*	32*	26*
	Angles	20	30*	34*	26*	26*	20*	22*	18*
15	Partie courante	35	26	29	23	23	19	19	32*
	Rive	26	19	22	34*	34*	28*	28*	24*
	Angles	18	26*	30*	22*	24*	18*	20*	24**
20	Partie courante	33	24	27	21	22	34*	18	30*
	Rive	24	18	20	32*	32*	26*	26*	22*
	Angles	34*	24*	28*	22*	22*	18*	18*	21**

C. Tôles d'acier nervurées, bois et base de bois: réfections - Bâtiments fermés
sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde (dans ce cas : partie A du tableau)

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	37
	Rive	37	31	35	27	28	22	23	19
	Angles	28	20	23	18	18	30*	30*	26*
15	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	35
	Rive	37	28	32	24	25	20	21	34*
	Angles	25	19	21	32*	34*	26*	28*	22*
20	Partie courante	37	37	37	37	37	37	37	33
	Rive	35	26	29	22	23	19	19	32*
	Angles	23	34*	19	30*	30*	24*	26*	22*

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

Tableau B3 Bis : Espacements entre fixations pour SRB1

Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m - DROM.

Travaux neufs pour les TAN et la maçonnerie

et en travaux de réfection pour la maçonnerie après dépose complète de l'étanchéité existante

A. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	31	26
	Rive	37	33	18	30*
	Angles	31	23	26*	22*
15	Partie courante	37	37	28	24
	Rive	37	30	32*	28*
	Angles	28	21	24*	20*
20	Partie courante	37	37	26	22
	Rive	37	27	30*	26*
	Angles	26	19	22*	18*

B. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	21	34*
	Rive	37	28	30*	26*
	Angles	26	19	20*	18*
15	Partie courante	37	34	19	32*
	Rive	34	25	28*	24*
	Angles	23	34*	18*	24**
20	Partie courante	37	31	34*	28*
	Rive	32	23	26*	22*
	Angles	22	32*	18*	21**

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

Tableau B4 Bis : Espacements entre fixations pour SRB2

Versants plans - Bâtiments d'élancement courant, hauteur ≤ 20 m - DROM.

Travaux neufs pour les TAN et la maçonnerie

et en travaux de réfection pour la maçonnerie après dépose complète de l'étanchéité existante

A. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie- Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	37	24	20
	Rive	34	25	28*	24*
	Angles	24	18	20*	24**
15	Partie courante	37	37	22	18
	Rive	31	23	26*	22*
	Angles	22	32*	18*	21**
20	Partie courante	37	36	20	34*
	Rive	29	21	24*	20*
	Angles	20	30*	24**	21**

B. Tôles d'acier nervurées, maçonnerie - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hau-teur	Position	Zone 1		Zone 5	
		Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	Partie courante	37	29	32*	26*
	Rive	29	21	24*	20*
	Angles	20	30*	24**	21**
15	Partie courante	35	26	28*	24*
	Rive	26	19	22*	18*
	Angles	18	26*	21**	18**
20	Partie courante	33	24	26*	22*
	Rive	24	18	20*	24**
	Angles	34*	24*	21**	

* Avec fixations complémentaires à mi-lé (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

** Avec deux rangs de fixations complémentaires (cf. paragraphe 4.42 du Dossier Technique)

Tableaux et figures du Dossier Technique

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

Tableau 2a – Synthèse des complexes Excel Solar – éléments porteurs béton et béton cellulaire autoclavé

Revêtements BICOUCHES	Revêtements MONOCOUCHES
Revêtements bicouches fixés mécaniquement	***Revêtement monocouche fixé mécaniquement***
Type A : TOPFIX PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR **Type B :** TOPFIX PY SPF SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR	**Type C :** ALPAL 4000 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR
Revêtements bicouches soudés au chalumeau	***Revêtements monocouches soudés au chalumeau***
Type D : THERMÉCRAN + HYRENE TS PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR **Type F :** HYRENE TS PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR	**Type E :** THERMECRAN + ALPAL 4000 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR **Type G** : ALPAL 4000 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR
Revêtement bicouche autoadhésif	
Type H : HYRENE SPOT PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Films PV EXCEL SOLAR	

Elément porteur	Support	Hygrométrie	Pare vapeur en France Européenne Cas des DROM : cf. § 7.2		Isolant	Mise en œuvre isolant	Revêtement	Limites d'exposition au vent selon NV65 modifiées	Zone géographique	
			Nature	Mise en œuvre					France Européenne	DROM
Elément porteur maçonnerie	Isolant	Cas courant – climat de plaine	EIF + HYRENE 25/25 TS	Soudé	Laine minérale *	HYRA STIK	F * ou G *	3 966 Pa	✓	✓
						Fixations mécaniques	F * ou G *	cf. DTA de l'isolant	✓	✓
					Perlite expansée *	Fixations mécaniques	F * ou G *	cf. DTA de l'isolant	✓	✓
					PIR / PSE***	HYRA STIK	H	6 333 Pa **	✓	✓
						Fixations mécaniques	H	6 333 Pa	✓	✓
					Verre Cellulaire	EIF + MASTIC HYRAFLEX	MASTIC HYRAFLEX + F ou G	4 712 Pa	✓	✓
		Locaux à forte hygrométrie ou planchers chauffants n'assurant qu'une partie du chauffage et climat de montagne	EIF + ALPHARDOISE CPV EIF + VAP AL	Soudé	Laine minérale *	HYRA STIK	F * ou G *	3 966 Pa	✓	✓
					PIR / PSE ***	HYRA STIK	H	6 333 Pa **	✓	✓
					Verre Cellulaire	EIF + MASTIC HYRAFLEX	MASTIC HYRAFLEX + F ou G	4 712 Pa	✓	✓
		Locaux à très forte hygrométrie ou planchers chauffants assurant la totalité du chauffage	EIF + THERMÉCRAN + ALPHARDOISE CPV EIF + THERMÉCRAN + VAP AL	Soudé	Laine minérale *	HYRA STIK	F * ou G *	3 966 Pa	✓	✓
					PIR / PSE ***	HYRA STIK	H	4 712 Pa	✓	✓
					Verre Cellulaire	EIF + MASTIC HYRAFLEX	MASTIC HYRAFLEX + F ou G	4 712 Pa	✓	✓
	Maçonnerie sans isolant						EIF + D EIF + E ou EIF + H	4 712 Pa	✓	✓
	Aspahlte apparent						EIF + D, EIF + E ou H	4 712 Pa	✓	
	Bitumineux protection minérale						EIF + D, EIF + E ou H	4 712 Pa	✓	
	Bitumineux protection métallique délardée						F ou G	4 712 Pa	✓	
							H	6 666 Pa	✓	
Elément porteur béton cellulaire	Isolant	Locaux à faible ou moyenne hygrométrie	EIF + THERMÉCRAN + HYRENE 25/25 TS	Soudé	Laine minérale *	HYRA STIK	F * ou G *	3 966 Pa	✓	
						Fixations mécaniques	F * ou G *	cf. DTA de l'isolant	✓	
					Perlite expansée *	Fixations mécaniques	F * ou G *	cf. DTA de l'isolant	✓	
					PIR / PSE ***	HYRA STIK	H	4 712 Pa	✓	
						Fixations mécaniques	H	6 333 Pa	✓	
					Verre Cellulaire	EIF + MASTIC HYRAFLEX	MASTIC HYRAFLEX + F ou G	4 712 Pa	✓	
	Béton cellulaire sans isolant						EIF + D, EIF + E ou EIF + H	4 712 Pa	✓	
	Aspahlte apparent						EIF + D, EIF + E ou H	4 712 Pa	✓	
	Bitumineux protection minérale						EIF + D, EIF + E ou H	4 712 Pa	✓	
	Bitumineux protection métallique délardée						F ou G	4 712 Pa	✓	
							H	6 666 Pa	✓	

** sur isolant thermique apte à recevoir un revêtement soudé*

*** sans dépasser la limite d'exposition au vent extrême de l'isolant (cf. DTA HYRENE SPOT)*

**** Dans le cas du collage de l'isolant à l'HYRA STICK se référer au § 3.722*

Tableau 2b – Synthèse des complexes Excel Solar – éléments porteurs bois, panneaux à base de bois et TAN

Elément porteur	Support	Hygrométrie	Pare vapeur	Mise en œuvre	Isolant	Mise en œuvre isolant	Revêtement	Limites d'exposition au vent selon NV65 modifiées	Zone géographique	
									France Européenne	DROM
Elément porteur Bois, panneaux à base de bois ou CLT	Isolant support sur panneaux à base de bois ou CLT	Locaux à faible ou moyenne hygrométrie	HYRENE 25/25 TS ROLL 25 ALPA (uniquement avec isolant ou revêtement fixé mécaniquement) VAP AL	Soudé	Perlite expansée *	Fixations mécaniques	F * ou G *	cf. DTA de l'isolant	✓	
							A, B ou C	cf. Annexe B	✓	
					Laine minérale *	HYRA STIK	F * ou G *	3 966 Pa	✓	
						Fixations mécaniques	F * ou G *	cf. DTA de l'isolant	✓	
							A, B ou C	cf. Annexe B	✓	
					PIR / PSE ***	HYRA STIK	H	6 333 Pa **	✓	
						Fixations mécaniques	A,B ou C	cf. Annexe B	✓	
							H	6 333 Pa	✓	
					Verre Cellulaire	EIF + MASTIC HYRAFLEX	MASTIC HYRAFLEX + F ou G	4 712 Pa	✓	
			EIF + VAP ADH	Adhésif	Perlite expansée * Laine minérale * PIR / PSE	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	
	Bois						A, B ou C	cf. Annexe B	✓	
	Panneaux à base de bois ou CLT						A, B ou C	cf. Annexe B	✓	
							EIF + H	6 666 Pa	✓	
							Pontage + F ou G	4 712 Pa	✓	
	Asphalte apparent, Bitumineux protection minérale						A, B, ou C	cf. Annexe B	✓	
							EIF + D, EIF + E ou H	4 712 Pa	✓	
	Bitumineux protection métallique délardée						F ou G	4 712 Pa	✓	
							H	6 666 Pa	✓	
	Bitumineux protection métallique non délardée						A, B ou C	cf. Annexe B	✓	
	Membrane synthétique						VAP + A, VAP + B ou VAP + C	cf. Annexe B	✓	
Elément porteur TAN	Isolant support sur TAN pleine ou perforée	Locaux à faible ou moyenne hygrométrie	VAP (face alu au dessus)	libre	Perlite expansée * Laine minérale * PIR	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
					PSE	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
							H	6 333 Pa	✓	✓
			VAP ADH	Adhésif	Perlite expansée * Laine minérale * PIR	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
					PSE	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
							H	6 333 Pa	✓	✓
					Verre Cellulaire	EIF + MASTIC HYRAFLEX	MASTIC HYRAFLEX + F ou G	4 712 Pa	✓	✓
	TAN pleine avec isolant	Locaux à forte hygrométrie	VAP (face alu au dessus) joints pontés Pontages recouvrements TAN par STICKFLEX VAP AL joints soudés ou cf. NF DTU 43.3	libre	Perlite expansée * Laine minérale * PIR	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
					PSE	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
							H	6 333 Pa	✓	✓
			VAP ALU ADH	Adhésif	Perlite expansée * Laine minérale * PIR	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
					PSE	Fixations mécaniques	A, B ou C	cf. Annexe B	✓	✓
							H	6 333 Pa	✓	✓
					Verre Cellulaire	EIF + MASTIC HYRAFLEX	MASTIC HYRAFLEX + F ou G	4 712 Pa	✓	✓
	Asphalte apparent, Bitumineux protection minérale						A, B, ou C	cf. Annexe B	✓	
							EIF + D, EIF + E ou H	4 712 Pa	✓	
	Bitumineux protection métallique délardée						F ou G	4 712 Pa	✓	
							H	6 666 Pa	✓	
	Bitumineux protection métallique non délardée						A, B ou C	cf. Annexe B	✓	
	Membrane synthétique						VAP + A, VAP + B ou VAP + C	cf. Annexe B	✓	

** sur isolant thermique apte à recevoir un revêtement soudé*
*** sans dépasser la limite d'exposition au vent extrême de l'isolant (cf. DTA HYRENE SPOT)*
**** Dans le cas du collage de l'isolant à l'HYRA STICK se référer au § 3.722*

Tableau 3a - Revêtements mis en œuvre par fixations mécaniques – travaux neufs et de réfection – France métropolitaine

Revêtements BICOUCHES fixés mécaniquement	**Revêtements MONOCOUCHES fixés mécaniquement**
Type A : TOPFIX PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR **Type B :** TOPFIX PY SPF SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR	**Type C :** ALPAL 4000 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR

Elément porteur	**Support direct du revêtement**		**Revêtements fixés mécaniquement**
TAN, Pente ≥ 3% Bois et panneaux à base de bois, Pente ≥ 3%	Bois et panneaux à base de bois		**A, B ou C**
	Perlite expansée (fibrée)		
	Laine de roche de classe C minimum		
	Polyisocyanurate		
	Polystyrène expansé (1)		**A (2), B ou C (2)**
	Ancien revêtement d'étanchéité **avec isolant existant de classe C minimale** **Ou sans isolant existant**	Asphalte	**A ou C**
		Bitumineux protection minérale	
		Bitumineux protection métallique non délardée	
		Membrane synthétique (3)	VAP + **A ou C**
	Ancien revêtement d'étanchéité **avec isolant existant de classe B ou inconnue**	Asphalte	Panneau isolant de classe C (4) + **A** Panneau isolant de classe C (4) + **C**
		Bitumineux protection minérale	
		Bitumineux protection métallique non délardée	
		Membrane synthétique (3)	

(1) Admis si la classe de compressibilité de l'isolant est de classe B à 80°C mais de classe C à 60°C
(2) Avec interposition d'un pare flamme HYRENE 40 FP AR, face ardoisée vers le bas
(3) Dans le cas d'une ancienne membrane sur isolant avec pare-vapeur polyéthylène (cf. Tableau 1 de la norme NF P 84-208, DTU 43.5), la totalité du complexe est déposée.
(4) Peut être remplacé par un panneau de perlite expansée relevant d'un DTA d'épaisseur 15 mm minimum, dans le cas où aucun complément d'isolation thermique n'est recherché

Tableau 3b - Revêtements mis en œuvre par fixations mécaniques – travaux neufs – DROM

Revêtements BICOUCHES fixés mécaniquement	**Revêtements MONOCOUCHES fixés mécaniquement**
Type A : TOPFIX PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR **Type B :** TOPFIX PY SPF SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR	**Type C :** ALPAL 4000 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR

Elément porteur	**Support direct du revêtement**	**Revêtements fixés mécaniquement**
TAN Pente ≥ 3%	Perlite expansée (fibrée)	**A, B ou C**
	Laine de roche de classe C minimum	
	Polyisocyanurate	
	Polystyrène expansé (1)	**A (2), B ou C (2)**

(1) Admis si la classe de compressibilité de l'isolant est de classe B à 80°C mais de classe C à 60°C
(2) Avec interposition d'un pare flamme HYRENE 40 FP AR, face ardoisée vers le bas

Tableau 4a - Revêtements mis en œuvre par soudage au chalumeau – travaux neufs et de réfection – France métropolitaine

Revêtements BICOUCHES soudés au chalumeau	**Revêtements MONOCOUCHES soudés au chalumeau**
Type D (6) **:** THERMÉCRAN + HYRENE TS PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR **Type F :** HYRENE TS PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR	**Type E** (6) **:** THERMECRAN + ALPAL 4000 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR **Type G :** ALPAL 4000 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR

Elément porteur	**Support direct du revêtement**		**Revêtements soudés au chalumeau**	
			Semi-indépendant	**Adhérent**
Maçonnerie, Pente ≥ 2% Béton Cellulaire Autoclavé, Pente ≥ 2% TAN, Pente ≥ 3% Bois et panneaux à base de bois, Pente ≥ 3%	Maçonnerie		**EIF + D** (1) ou **E** (1)	
	Béton cellulaire Autoclavé		**EIF + D** ou **E**	
	Panneaux à base de bois			Pontage + **F ou G**
	Perlite expansée (fibrée)			**F** (2) ou **G** (2)
	Verre Cellulaire			MASTIC HYRAFLEX refroidi + **F** (3) ou **G** (3)
	Laine de roche de classe C minimum			**F** (2) ou **G** (2)
	Ancien revêtement d'étanchéité **avec isolant existant de classe C minimale** **Ou sans isolant existant**	Asphalte	**EIF + D** ou **E**	
		Bitumineux protection minérale (4)		
		Bitumineux protection métallique délardée (4)		**F** ou **G**
	Ancien revêtement d'étanchéité **avec isolant existant de classe B ou inconnue**	Asphalte		Panneau isolant de classe C (5) + **F ou G**
		Bitumineux protection minérale (4)		
		Bitumineux protection métallique délardée (4)		
		Membrane synthétique (4)		

(1) Sont également admises les formes en mortier allégé bénéficiant d'un Avis Technique des GS 5 + 13 favorable pour un emploi en toiture, limité à la dépression équivalente au vent extrême de l'Avis Technique de ce support (soit 2757 Pa au sens des NV65 modifiées)
(2) Sur panneaux isolants aptes à recevoir des revêtements soudés
(3) Ce surfaçage confère un classement T2 au lieu de T4
(4) La réfection sur ancien revêtement bitumineux indépendants est exclue
(5) Peut être remplacé par un panneau de perlite expansée relevant d'un DTA d'épaisseur 15 mm minimum, dans le cas où aucun complément d'isolation thermique n'est recherché
(6) L'emploi est limité aux dépressions au vent extrême au plus égales à 4712 Pa

Tableau 4b - Revêtements mis en œuvre par soudage au chalumeau – travaux neufs – DROM

Revêtements BICOUCHES soudés au chalumeau	**Revêtements MONOCOUCHES soudés au chalumeau**
Type D (3) **:** THERMÉCRAN + HYRENE TS PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR **Type F :** HYRENE TS PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR	**Type E** (3) **:** THERMECRAN + ALPAL 4000 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR **Type G :** ALPAL 4000 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR

Elément porteur	**Support direct du revêtement**	**Revêtements soudés au chalumeau**	
		Semi-indépendant	**Adhérent**
Maçonnerie, Pente ≥ 2% TAN, Pente ≥ 3%	Maçonnerie	**EIF + D** ou **E**	
	Perlite expansée (fibrée)		**F** (1) ou **G** (1)
	Verre Cellulaire		MASTIC HYRAFLEX refroidi + **F** (2) ou **G** (2)
	Laine de roche de classe C minimum		**F** (1) ou **G** (1)

(1) Sur panneaux isolants aptes à recevoir des revêtements soudés
(2) Ce surfaçage confère un classement T2 au lieu de T4
(3) L'emploi est limité aux dépressions au vent extrême au plus égales à 4712 Pa

Tableau 5a - Revêtements mis en œuvre par auto-adhésivité – travaux neufs et de réfection – France métropolitaine

Revêtements BICOUCHES autoadhésifs			**Revêtements MONOCOUCHES autoadhésifs**
Type H (4) **:** HYRENE SPOT PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR			
Elément porteur	**Support direct du revêtement**		**Revêtements autoadhésifs**
Maçonnerie, Pente ≥ 2% **Béton Cellulaire Autoclavé, Pente ≥ 2%** **Bois et panneaux à base de bois, Pente ≥ 3%** **TAN, Pente ≥ 3%**	Maçonnerie		**EIF + H**
	Béton cellulaire Autoclavé		
	Panneaux à base de bois, CLT		
	Polyisocyanurate (5): ceux nommément cités au § 3.722		**H**
	Polystyrène expansé (1) : ceux nommément cités au § 3.722		
	Ancien revêtement d'étanchéité **avec isolant existant de classe C minimale nommément désigné** **Ou sans isolant existant**	Asphalte autoprotégé	**H**
		Bitumineux protection minérale (2)	
		Bitumineux protection métallique délardée (2)	
	Ancien revêtement d'étanchéité **avec isolant existant de classe B ou inconnue**	Asphalte autoprotégé	ou Panneau PIR ou PSE (1) + **H**
		Bitumineux protection minérale (2)	
		Bitumineux protection métallique délardée (2)	
		Membrane Synthétique	

(1) Admis si la classe de compressibilité de l'isolant est de classe B à 80°C mais de classe C à 60°
(2) La réfection sur ancien revêtement bitumineux indépendants est exclue
(3) Dépose complète de l'étanchéité
(4) En réfection, dans le cas d'une protection lourde ou s'il n'y a pas apport de nouvel isolant, le type H est exclu
(5) Exclu sur élément porteur TAN

Tableau 5b - Revêtements mis en œuvre par auto-adhésivité – travaux neufs et de réfection – France métropolitaine

Revêtements BICOUCHES autoadhésifs		**Revêtements MONOCOUCHES autoadhésifs**
Type H (2) **:** HYRENE SPOT PY SOLAR + ALPAL 25 SOLAR + Modules PV EXCEL SOLAR		
Elément porteur	**Support direct du revêtement**	**Revêtements autoadhésifs**
Maçonnerie, Pente ≥ 2% **TAN, Pente ≥ 3%**	Maçonnerie	**EIF + H**
	Polyisocyanurate (3) : ceux nommément cités au § 3.722	**H**
	Polystyrène expansé (1) : ceux nommément cités au § 3.722	

(1) Admis si la classe de compressibilité de l'isolant est de classe B à 80°C mais de classe C à 60°C
(2) En réfection, dans le cas d'une protection lourde ou s'il n'y a pas apport de nouvel isolant, le type H est exclu
(3) Exclu sur élément porteur TAN

Tableau 6a – Choix et mise en œuvre des pare-vapeur sous revêtement fixé mécaniquement (SRA1, SRA2, SRB1, SRB2)

Élément Porteur	Hygrométrie et chauffage locaux	Mise en œuvre	Pare-vapeur
Panneaux à base de bois, CLT (1)	Faible et moyenne	soudé	- HYRENE 25/25 TS - VAP AL - ROLL 25 ALPA
		adhésif	- EIF + VAP ADH (2)
TAN pleines	Faible et moyenne	libre	- VAP (face alu dessus)
		adhésif	- VAP ADH (2)
	Forte	libre	- VAP (face alu dessus) joints pontés - Pontages recouvrements TAN longitudinaux et transversaux par STICKFLEX - VAP AL joints soudés - ou cf. NF DTU 43.3
		adhésif	- VAP ALU ADH (2)
	Très forte		
TAN perforées ou crevées	Faible et moyenne	Libre	- VAP (face alu dessus) - VAP ADH (2)

(1) Pontage des joints si besoin selon les normes – DTU ou Avis Technique et Document Technique d'Application

(2) Mis en œuvre sur panneaux à base de bois ou sur CLT conformes à la norme NF DTU 43.4 et sur tôle d'acier nervuré conforme à la norme NF 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. VAP ADH et VAP ALU ADH sont mis en œuvre sur TAN avec un recouvrement des joints de 6 cm placés à l'aplomb des plages.

Tableau 6b – Constitution, mise en œuvre du pare-vapeur et mise en œuvre de l'isolant sous revêtement soudé de type F ou G

Élément Porteur	Hygrométrie et chauffage locaux	Mise en œuvre pare-vapeur	Pare-vapeur	Mise en œuvre de l'isolant
Maçonnerie	Cas courant – climat de plaine	Soudé	- EIF + HYRENE 25/25 TS - EIF + ROLL 25 ALPA	- HYRA STIK (2) - MASTIC HYRAFLEX (3) - Fixations mécaniques
	Locaux à forte hygrométrie ou planchers chauffants n'assurant qu'une partie du chauffage et climat de montagne	Soudé	- EIF + ALPHARDOISE CPV - EIF + VAP AL	- HYRA STIK (2) - MASTIC HYRAFLEX (3)
	Locaux à très forte hygrométrie ou planchers chauffants assurant la totalité du chauffage	Soudé	- EIF + THERMÉCRAN (1) + ALPHARDOISE CPV - EIF + THERMÉCRAN (1) + VAP AL	- HYRA STIK (2) - MASTIC HYRAFLEX (3)
Béton cellulaire	Locaux à faible ou moyenne hygrométrie	Soudé	- EIF + THERMÉCRAN (1) + HYRÈNE 25/25 TS	- HYRA STIK (2) - MASTIC HYRAFLEX (3) - Fixations mécaniques
Panneaux à base de bois, CLT	Locaux à faible et moyenne hygrométrie	Soudé	- HYRÈNE 25/25 TS - ROLL 25 ALPA	- HYRA STIK (2) - MASTIC HYRAFLEX (3) - Fixations mécaniques

(1) L'écran perforé THERMÉCRAN est déroulé bord à bord ou à recouvrements de 5 à 10 cm. Performance au vent limitée à 4 712 Pa.

(2) Pour le collage d'isolant laine minérale uniquement. L'emploi est limité aux dépressions au vent au plus égales à 3966 Pa (cf. *Règles NV 65 modifiées*)

(3) Pour le collage d'isolant en verre cellulaire uniquement

Tableau 6c – Constitution, mise en œuvre du pare-vapeur et mise en œuvre de l'isolant sous revêtement autoadhésif de type H

Élément Porteur	**Hygrométrie et chauffage locaux**	**Mise en œuvre pare-vapeur**	**Pare-vapeur**	**Mise en œuvre de l'isolant (Polyisocyanurate ou Polystyrène expansé)**
Maçonnerie	Cas courant – climat de plaine	Soudé	- EIF + HYRENE 25/25 TS	- HYRA STIK
	Locaux à forte hygrométrie ou planchers chauffants n'assurant qu'une partie du chauffage et climat de montagne	Soudé	- EIF + ALPHARDOISE CPV - EIF + VAP AL	- HYRA STIK
	Locaux à très forte hygrométrie ou planchers chauffants assurant la totalité du chauffage	Soudé	- EIF + THERMÉCRAN (1) + ALPHARDOISE CPV - EIF + THERMÉCRAN (1) + VAP AL	- HYRA STIK
Béton cellulaire	Locaux à faible ou moyenne hygrométrie	Soudé	- EIF + THERMÉCRAN (1) + HYRÈNE 25/25 TS	- HYRA STIK - Fixations mécaniques
Panneaux à base de bois, CLT	Locaux à faible et moyenne hygrométrie	Soudé	- HYRÈNE 25/25 TS - ROLL 25 ALPA	- HYRA STIK - Fixations mécaniques
(1) L'écran perforé THERMÉCRAN est déroulé bord à bord ou à recouvrements de 5 à 10 cm. Performance au vent limitée à 4 712 Pa.				

Tableau 7 – Tenue en vent extrême en système autoadhésif

Ces valeurs sont à comparer à celles du tableau 4, issues du CPT Commun « Résistance au vent des isolants supports des systèmes d'étanchéité de toitures » de *l'e-Cahier du CSTB* 3564 de juin 2006.

Les densités et modes d'application de l'HYRA STIK sont décrits dans le § 3.722 du Dossier Technique.

Support direct du revêtement	**Mode de mise en œuvre de l'isolant**	**Wadm (en Pa)**
Maçonnerie		4 712 Pa
Béton cellulaire autoclavé armé		4 712 Pa
Panneaux à base de bois conformes au DTU 43.4, CLT		6 666 Pa
Polystyrène expansé (valides à ce jour) • Epsitoit 20 • Isomo 20 ET • Stisoletanch BBA	HYRA STIK	6 333 Pa (2)
	Fixations mécaniques	6 333 Pa (1)
Polyisocyanurate parementé composite (valides à ce jour) • Panel PIR 5 C • Knauf Thane MulTTi SE • Eurothane Autopro SI • Efigreen Alu+ • Iko Enertherm Alu PF • Utherm Roof PIR K FRA	HYRA STIK	6 333 Pa (2)
	Fixations mécaniques	6 333 Pa (1)
Sur ancienne étanchéité autoprotégée minérale		4 712 Pa
Sur ancienne étanchéité autoprotégée métallique délardée		6 666 Pa
(1) La dépression est plafonnée, selon les Règles V 65 avec modificatif n° 4 de février 2009 (2) Performance plafonnée à 4 712 Pa sur maçonnerie et dalles de béton cellulaire si le pare-vapeur est soudé en semi-indépendance (sur THERMÉCRAN) (cf. *Tableau 6c*).		

Tableau 8 – Localisation en toiture

	Localisation	Largeur concernée
1	Parties courantes	
2	Rives, comprenant le pied de bâtiments surélevés, murs coupe-feu, ...	1/10ème de la hauteur du bâtiment, sans être inférieure à 2 m
3	Angles	Intersections de 2 rives
4	Pourtour des édicules dont la hauteur est > 1 m et dont l'une des dimensions en plan est > 1 m	1 m
5	Pourtour des autres émergences de dimensions plus petites : souches, lanterneaux, joints de dilatation, ...	pied de relevé

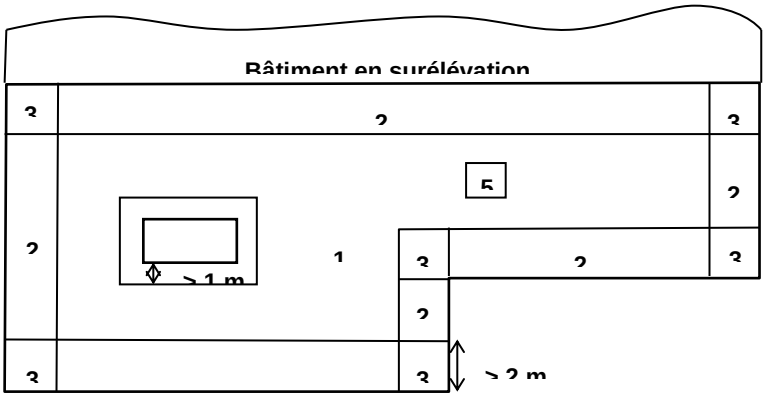


Tableau 9 – Caractéristiques du liant ALPA FC

Caractéristiques	Unité	État neuf		Après 6 mois à 70°C		Référentiel
		Valeur nominale	Valeur spécifiée	Valeur nominale	Valeur spécifiée	
Ramollissement - TBA	°C	150	≥ 140		≥ 140	NF EN 1427
Pénétration à + 25 °C (indicatif)	dmm	40				NF EN 1426
Température limite de pliage à froid	°C		≤ - 20		≤ -15	Directives UEAtc de 1984
Contrainte maximale en traction	N/cm²	35	≥ 30		≥ 40	Épaisseur 2 mm – 100 mm/mn (méthode interne)
Allongement à la rupture	%	1 200	≥ 1 000		≥ 500	Épaisseur 2 mm – 100 mm/mn (méthode interne)
Recouvrance après allongement	%	90	≥ 80		≥ 75	Étirement 100 % à 100 mm/mn Relaxation 1 h à 20 °C

Tableau 10 – Caractéristiques du liant HYRENE MM

Caractéristiques	Unité	Valeur spécifiée à l'état initial	Valeur spécifiée après 6 mois à + 70°C	Référentiel
Ramollissement - TBA	°C	≥ 110	≥ 100	NF EN 1427
Pénétration à + 25 °C (indicatif)	dmm	≥ 40		NF EN 1426
Température limite de pliage à froid	°C	≤ -20	≤ -5	Guide UEAtc : 2001
Retour élastique après élongation		Après déformation de 200%, rémanence ≤ 10%	Après déformation de 25%, rémanence ≤ 10%	XP P 84-360

Tableau 11 – Contrôles spécifiques de l'imprégnation au liant PSB

Nature du contrôle	Fréquence
Ramollissement - TBA	1/lot
Prise d'imprégnation (g/m²)	1/lot

Tableau 12 – Caractéristiques du liant autoadhésif HYRENE adhésif

Caractéristiques	Unité	Valeur spécifiée à l'état initial	Valeur spécifiée après 6 mois à + 70 °C	Référentiel
Ramollissement TBA	°C	≥ 100	≥ 100	NF EN 1427
Pénétration à + 25 °C	dmm	≥ 70		NF EN 1426
Température limite de souplesse à froid	°C	≤ - 20	≤ -5	Guide UEAtc : 2001
Limite élastique (24h)	(%)	Après déformation de 200 %, rémanence ≤ 10 %	Après déformation de 25 %, rémanence ≤ 10 %	XP P 84-360

Tableau 13 – Caractéristiques du liant ARMA

Caractéristiques	Unité	Valeur spécifiée à l'état initial	Valeur spécifiée après 3 mois à + 70°C	Référentiel
Ramollissement - TBA	°C	≥ 105	≥ 105	NF EN 1427
Température limite de souplesse à froid	°C	≤ -10	≤ 0	NF EN 1426
Allongement de rupture à 23°C	%	≥ 1000	≥ 100	Epaisseur 2 mm

Tableau 14a –Composition, présentation et caractéristiques des premières couches pour systèmes fixés mécaniquement

				TOPFIX PY SOLAR		TOPFIX PY SPF SOLAR	
				25 CPV 170	25 PY 180	25 CPV 170	25 PY 180
Composition							
Armature	Polyester		g/m²	170 (*)	180	170 (*)	180
Liant	Imprégnation PSB (1)		g/m²		350± 60		350±60
	HYRENE MM		g/m²	2500	2200	3000	2650
Finition de surface	Film macroperforé		g/m²	10			
	Grès		g/m²	80			
Finition de sous-face	Grès		g/m²	300(1)			
	Film		g/m²			10	
Présentation							
Épaisseur + ou – 5 %	EN 1849-1		mm	2,65 (±5 %)			
Dimensions	EN 1848-1		m	7 x 1			
Poids	Indicatif		kg	23		23	
Lisière de recouvrement	Minimum		mm	100		20 adhésif et 80 soudé	
Lignages (position par rapport au bord du lé)			mm	40 et 100		20 et 100	
Caractéristiques							
Propriété en traction : Force maximale L × T	Moyenne	NF EN 12311-1	N/50 mm	750 x 750			
	Minimum			500 x 500			
Propriété en traction : allongement maximal L × T	Moyenne	NF EN 12311-1	%	35 x 35			
	Minimum			25 x 25			
Résistance à la déchirure au clou	Moyenne	NF EN 12310-1	N	200 x 250			
	Minimum			180 x 230			
Souplesse à basse température -Etat neuf	NF EN 1109		°C	≤ -16			
- Etat vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de déc. 2001	NF EN 1109 + NF EN 1296		°C	≤ -2			
Résistance au fluage à température élevée -Etat neuf	NF EN 1110		°C	≥ 100			
- Etat vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de déc. 2001	NF EN 1110 + NF EN 1296		°C	≥ 90			
Stabilité dimensionnelle	NF EN 1108		%	≤ 0.3			
Résistance au poinçonnement statique	NF EN 12730 (A)		kg	≥ 20			
Résistance au choc	NF EN 12691 : 2006		H (mm)	≥ 1000			

(1) ou liant HYRENE MM non fillérisé
(*) NT Polyester stabilisé

Tableau 14b –Composition, présentation et caractéristiques de la feuille de première couche pour systèmes soudés

				HYRENE TS PY SOLAR
Composition				
Armature	Polyester		g/m^2	180
Liant	Imprégnation PSB (1)		g/m^2	350± 60
	HYRENE MM		g/m^2	2000
Finition de surface	Film macroperforé		g/m^2	10
	Grès		g/m^2	80
Finition de sous-face	Grès		g/m^2	300
Présentation				
Épaisseur + ou – 5 %	EN 1849-1		mm	2,65 (±5 %)
Dimensions	EN 1848-1		m	7 x 1
Poids	Indicatif		kg	22
Caractéristiques				
Propriété en traction : Force maximale L × T	Moyenne	NF EN 12311-1	N/50 mm	700 x 550
	Minimum			500 x 440
Propriété en traction : allongement maximal L × T	Moyenne	NF EN 12311-1	%	35 x 35
	Minimum			25 x 25
Résistance à la déchirure au clou	Moyenne	NF EN 12310-1	N	
	Minimum			50
Souplesse à basse température -Etat neuf	NF EN 1109		°C	≤ -16
- Etat vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de déc. 2001	NF EN 1109 + NF EN 1296		°C	≤ -1
Résistance au fluage à température élevée -Etat neuf	NF EN 1110		°C	≥ 100
- Etat vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de déc. 2001	NF EN 1110 + NF EN 1296		°C	≥ 90
Stabilité dimensionnelle	NF EN 1108		%	≤ 0.5
Résistance au poinçonnement statique	NF EN 12730 (A)		kg	≥ 20
Résistance au poinçonnement statique du système (NF P 84-352 et FIT) avec 2ème couche HYRENE 25/25 TS sous-classe L				L4
Résistance au poinçonnement dynamique du système (NF P 84-353 et FIT) avec 2ème couche HYRENE 25/25 TS sous-classe D				D3
(1) ou liant HYRENE MM non fillérisé				

Tableau 14c –Composition, présentation et caractéristiques de la feuille de première couche pour systèmes autoadhésif

				HYRENE SPOT PY SOLAR
Composition				
Armature		Polyester stabilisé	g/m²	180
Liant		Imprégnation PSB (1)	g/m²	350 ± 60
		HYRENE MM	g/m²	2 700
Finition surface		Film macroperforé	g/m²	10
		Grès	g/m²	80
Finition sous face		Liant autoadhésif		Bandes autoadhésives semi continues (Taux d'adhésivité ≥ 50 %)
		Film pelable	g/m²	40
Présentation				
Épaisseur minimale		NF EN 1849-1	mm	2,5 hors liant autoadhésif
Dimensions		NF EN 1848-1	m	7 x 1
Poids		Indicatif	kg	24
Lisière de recouvrement		Minimum	mm	60 autoadhésif
Caractéristiques				
Propriété en traction : Force maximale L x T	VDF	NF EN 12311-1	N/50mm	700 × 550
	VLF			500 × 440
Propriété en traction : Allongement maximal L x T	VDF	NF EN 12311-1	%	35
	VLF			25
Souplesse à basse température (surface / sous face) :				
- état neuf		NF EN 1109	°C	≤ - 16
- après vieillissement en température 24 semaines à 70 C		NF EN 1109 + NF EN 1296	°C	≤ 0
Résistance au fluage à température élevée				
-Etat neuf		NF EN 1110	°C	≥ 100
- Après vieillissement en température 24 semaines à 70°C (selon Guide UEAtc de 2001)		NF EN 1109 + NF EN 1296	°C	≥ 90
Stabilité dimensionnelle		NF EN 1107-1	%	≤ 0,3
Résistance au poinçonnement statique		NF EN 12730 (A)	kg	≥ 20
Résistance au choc		NF EN 12691 : 2006 (B)	H (mm)	≥ 1000
Résistance au poinçonnement statique du système (NF P 84-352 et Guide FIT) avec 2ème couche HYRENE 40 AR (VV 50) Sous-classe L				L4
Résistance au poinçonnement dynamique du système (NF P 84-353 et FIT) avec 2ème couche HYRENE 40 AR (VV 50) Sous-classe D				D3
(1) Ou liant HYRENE MM non fillérisé.				

Tableau 15 – Composition et caractéristiques des feuilles de deuxième couche

				ALPAL 25 SOLAR
Composition				
Armature	Voile de Verre		g/m²	50
Liants	ALPA FC		g/m²	3000
Finition surface	Film		g/m²	10
Finition sous face	Film (1)		g/m²	10
Présentation				
Épaisseur (BN)	NF EN 1849-1		mm	2,65 (± 5 %)
Dimensions	NF EN 1848-1		m	8 x 1
Poids	Indicatif		kg	25
Lisière de recouvrement	Minimum		mm	60
Caractéristiques				
Propriété en traction : Force maximale L × T	Moyenne	NF EN 12311-1	N/50 mm	250 x 150
	Minimum			200 x 120
Propriété en traction : Allongement maximal L × T	Moyenne	NF EN12311-1	%	3
	Minimum			2
Résistance à la déchirure au clou	Moyenne	EN 12310-1	N	80
	Minimum			50
Souplesse à basse température surface / sous face -Etat neuf	NF EN 1109		°C	≤-14
-État vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de décembre 2001	NF EN 1109 + Guide UEAtc 2001		°C	≤-1
Résistance au fluage à température élevée -Etat neuf	NF EN 1110		°C	≥ 120
-État vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de décembre 2001	NF EN 1110 + Guide UEAtc 2001		°C	≥ 100
Stabilité dimensionnelle	NF EN 1107-1		%	≤ 0,1
Résistance au poinçonnement statique	NF EN 12730 (A)		kg	PND
Résistance au poinçonnement statique du système (NF P 84-352 et FIT) avec première couche HYRENE TS PY SOLAR ou HYRENE SPOT PY SOLAR sous-classe L				L4
Résistance au poinçonnement dynamique du système (NF P 84-353 et FIT) avec première couche HYRENE TS PY SOLAR ou HYRENE SPOT PY SOLAR sous-classe D				D3

Tableau 16 – Composition et caractéristiques de la feuille ALPAL 4000 SOLAR

				ALPAL 4000 SOLAR
Composition				
Armature	Polyester stabilisé		g/m²	170
Liants	Imprégnation ALPA non fillérisé		g/m²	350 ± 60
	ALPA FC		g/m²	4000
Finition surface	Film		g/m²	40
Finition sous face	Film (1)		g/m²	10
Présentation				
Épaisseur (BN)	NF EN 1849-1		mm	4.0 (± 5 %)
Dimensions	NF EN 1848-1		m	8 x 1
Poids	Indicatif		kg	37
Lisière de recouvrement	Minimum		mm	80
Caractéristiques				
Propriété en traction : Force maximale L × T	Moyenne	NF EN 12311-1	N/50 mm	600
	Minimum			500
Propriété en traction : Allongement maximal L × T	Moyenne	NF EN12311-1	%	35
	Minimum			25
Résistance à la déchirure au clou	Moyenne	EN 12310-1	N	
	Minimum			
Souplesse à basse température (surface / sous face) : -Etat neuf -État vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de décembre 2001	NF EN 1109		°C	≤-14 ≤-1
Résistance au fluage à température élevée -Etat neuf	NF EN 1110		°C	≥ 120
-État vieilli (6 mois à 70°C) selon Guide UEAtc de décembre 2001	NF EN 1110 + Guide UEAtc 2001		°C	≥ 100
Stabilité dimensionnelle	NF EN 1107-1		%	≤ 0,3
Résistance au poinçonnement statique	NF EN 12730 (A)		kg	20
Résistance au poinçonnement statique du système (NF P 84-352 et FIT) classe L				L4
Résistance au poinçonnement dynamique du système (NF P 84-353 et FIT) classe D				D3

Tableau 17a : Caractéristiques des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 350 selon les normes IEC 61646 & IEC 61730

Caractéristiques	**Unités**	**EXCEL SOLAR 350**						
Puissance nom. P_{mpp}	Wc	110	115	120	125	130	135	140
Epaisseur	mm	2,5						
Dimensions	mm	2583 x 348						
Poids	kg	2,3						
Masse surfacique	Kg/m²	2,6						
U_{co}	V	36,3	37	37,8	38,6	39,4	40,1	40,9
U_{mpp}	V	28,4	29,3	30,3	31,2	32,1	33	33,9
I_{cc}	A	4,66	4,62	4,58	4,53	4,49	4,45	4,41
I_{mpp}	A	3,89	3,93	3,97	4,01	4,06	4,10	4,14
αT (P_{mpp})	%/°C	-0,38						
αT (U_{co})	%/°C	-0,28						
αT (I_{cc})	%/°C	0,008						

Tableau 17b : Caractéristiques des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 400 selon les normes IEC 61646 & IEC 61730

Caractéristiques	**Unités**	**EXCEL SOLAR 400**			
Puissance nom. P_{mpp}	Wc	100	105	110	113
Epaisseur	mm	2,2			
Dimensions	mm	3105 x 411			
Poids	kg	3,3			
Masse surfacique	Kg/m²	2,59			
U_{co}	V	46,9	47,3	47,8	48,2
U_{mpp}	V	34	34,5	35,1	35,7
I_{cc}	A	3,86	3,89	3,92	3,96
I_{mpp}	A	2,96	3,04	3,13	3,22
αT (P_{mpp})	%/°C	-0,35			
αT (U_{co})	%/°C	-0,3			
αT (I_{cc})	%/°C	0,01			

Tableau 17c : Caractéristiques des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 1000 selon les normes IEC 61646 & IEC 61730

Caractéristiques	**Unités**	**EXCEL SOLAR 1000**					
Puissance nom. P_{mpp}	Wc	340	350	360	370	380	390
Epaisseur	mm	2,5					
Dimensions	mm	2598 x 1000					
Poids	kg	6,2					
Masse surfacique	Kg/m²	2,39					
U_{co}	V	37,5	37,9	38,3	38,6	38,8	39,4
U_{mpp}	V	29,3	29,9	30,4	31,0	31,5	32,1
I_{cc}	A	13,89	13,81	13,73	13,64	13,56	13,47
I_{mpp}	A	11,76	11,84	11,92	12	12,09	12,17
αT (P_{mpp})	%/°C	- 0,38					
αT (U_{co})	%/°C	- 0,28					
αT (I_{cc})	%/°C	0,008					

Tableau 17d : Caractéristiques des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 1300 selon les normes IEC 61646 & IEC 61730

Caractéristiques	**Unités**	**EXCEL SOLAR 1300**						
Puissance nom. P_{mpp}	Wc	460	470	480	490	500	510	520
Epaisseur	mm	2,5						
Dimensions	mm	2583 x 1292						
Poids	kg	6,6						
Masse surfacique	Kg/m²	1,97						
U_{co}	V	74,1	74,8	75,6	76,4	77,2	77,9	78,7
U_{mpp}	V	58,7	59,6	60,5	61,4	62,4	63,3	64,2
I_{cc}	A	9,23	9,19	9,15	9,11	9,07	9,02	8,98
I_{mpp}	A	7,87	7,91	7,95	7,99	8,03	8,07	8,11
αT (P_{mpp})	%/°C	-0,38						
αT (U_{co})	%/°C	-0,28						
αT (I_{cc})	%/°C	0,008						

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

Tableau 18 – 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 19 – Caractéristiques des connecteurs DC

Indice de protection électrique	-	IP 68	
Plage de Température	°C	-40°C à +85 °C	
Tension d'assignation	V	1000	
Classe de sécurité électrique	-	II	
Résistance de contact	mΩ	EXCEL SOLAR 350	0,25
		EXCEL SOLAR 1000	
		EXCEL SOLAR 1300	
		EXCEL SOLAR 400	0,35

Tableau 20 – Nomenclature de l'autocontrôle de fabrication pour les feuilles bitumineuses

Sur matières premières	**Fréquence**
Bitume de base : TBA - pénétration à 25° C	1 certificat / livraison
Fines : granulométrie	1 certificat / livraison
Copolymères d'oléfine TBA – pénétration 25°C – viscosité 190°C	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
Sur produits finis	**Fréquence**
Épaisseur - longueur - largeur - lisières - poids	Permanent
Tenue à la chaleur à l'état neuf	1/semaine/produit
Pliage à froid à l'état neuf	1/semaine/produit
Retrait libre	1/semaine/produit
Résistance au poinçonnement statique	1/an
Traction - Allongement	1/mois/produit
Pelage Film EXCELSOLAR – Force maximale ≥ 100 N/50mm (NF EN 12316-1)	1/2ans/fournisseur
Vieillissement : « Guide UEAtc 6 mois à 70°C » (souplesse à basse température – fluage)	2/an

Tableau 21 – Nomenclature de l'autocontrôle de fabrication pour les modules photovoltaïques souples

Caractéristiques	**Fréquence**
Puissance nom. P_{mpp}	≥1x par module photovoltaïque souple
Dimensions	≥1x par module photovoltaïque souple
Poids	≥1x par module photovoltaïque souple
Masse surfacique	≥1x par module photovoltaïque souple
Tension en circuit ouvert U_{co}	≥1x par module photovoltaïque souple
Tension nominale au point de puissance maximum U_{mpp}	≥1x par module photovoltaïque souple
Courant de court-circuit I_{cc}	≥1x par module photovoltaïque souple
Courant nominal au point de puissance maximum I_{mpp}	≥1x par module photovoltaïque souple
Coefficient de température pour la puissance maximum αT (P_{mpp})	≥1x par module photovoltaïque souple / production
Coefficient de température pour la tension en circuit ouvert αT (U_{co})	≥1x par module photovoltaïque souple / production
Coefficient de température pour l'intensité de court-circuit αT (I_{cc})	≥1x par module photovoltaïque souple / production

SOMMAIRE DES FIGURES

Figure 1 – Présentation des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 42
Figure 2 – Mise en œuvre du module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR 47
Figure 3 – Implantation des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 48
Figure 4 – Espacement entre modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR 48
Figure 5 – Support de chemin de câble Cablofil R55 49
Figure 6 – Plaquette 40/40 49
Figure 7 – Recouvrements longitudinaux en système fixé mécaniquement 49
Figure 8 – Exemple de fixations complémentaires en système bicouche 50
Figure 9 – Exemple de constitution du relevé avec un élément porteur en tôles d'acier nervurées 50
Figure 10 – Pénétration des câbles 42
Figure 11 – Exemple de plan de raccordement des modules photovoltaïques sur toiture terrasse 49

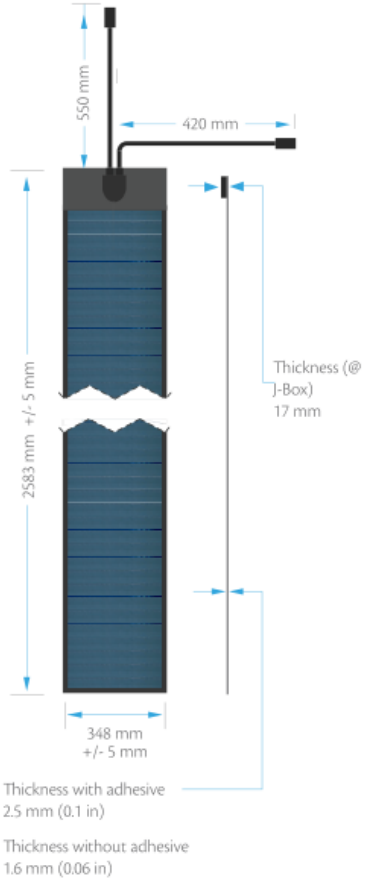


Figure 1 – Présentation des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR

Figure 1a – module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR 350 (largeur 0,35m)

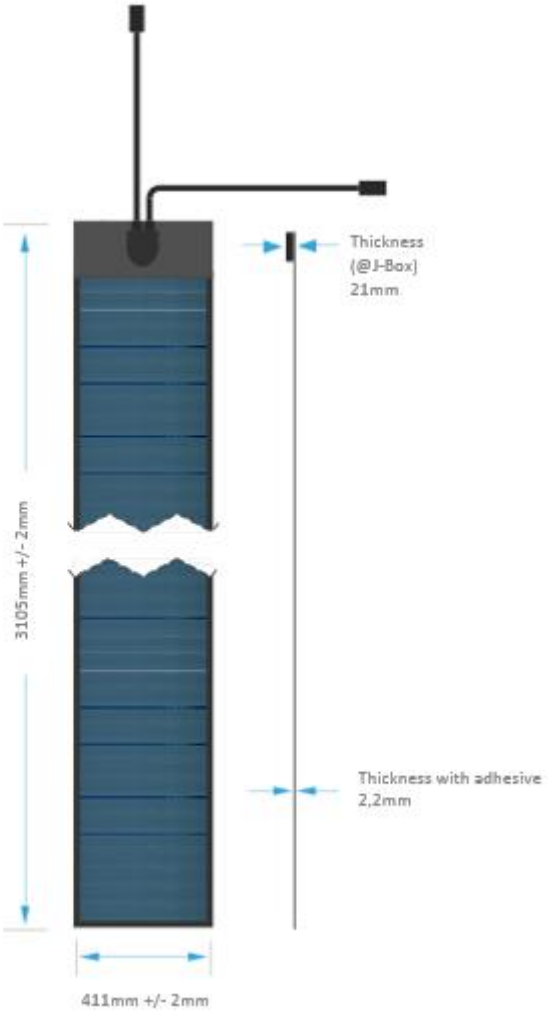


Figure 1b – module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR 400 (largeur 0,4m)

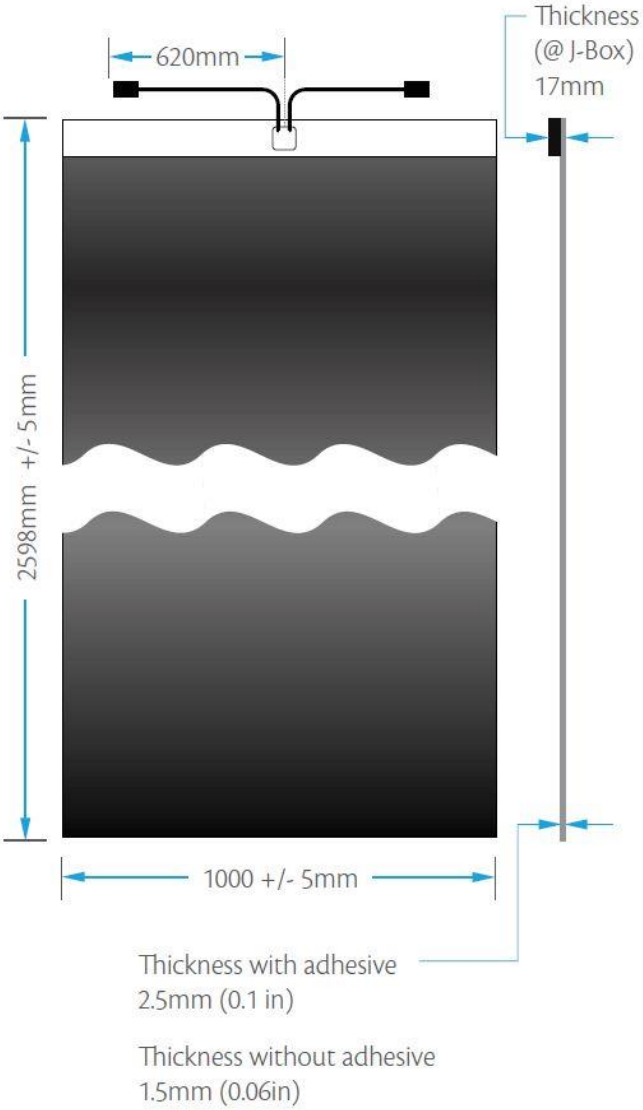


Figure 1c – module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR 1000 (largeur 1m)

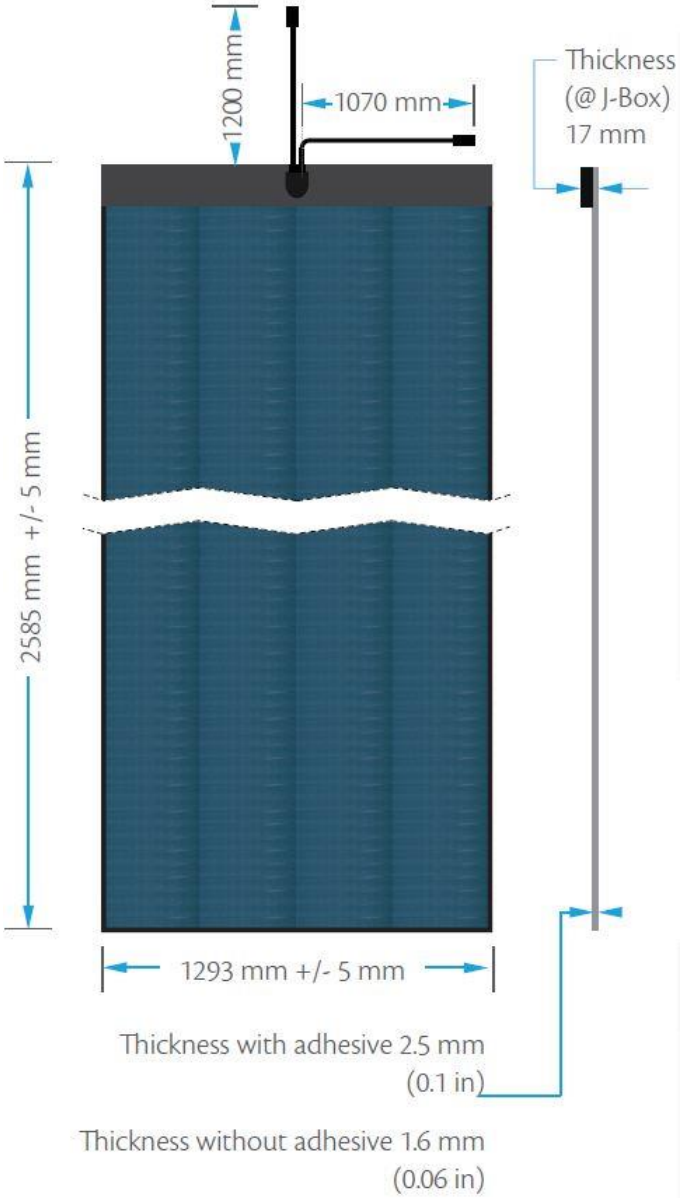


Figure 1d – module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR 1300 (largeur 1,30 m)

Cas a : Application semi-indépendante

(EXCEL SOLAR 1000 & EXCEL SOLAR 1300)

Cas b : Application en adhérence totale

(EXCEL SOLAR 350 & EXCEL SOLAR 400)

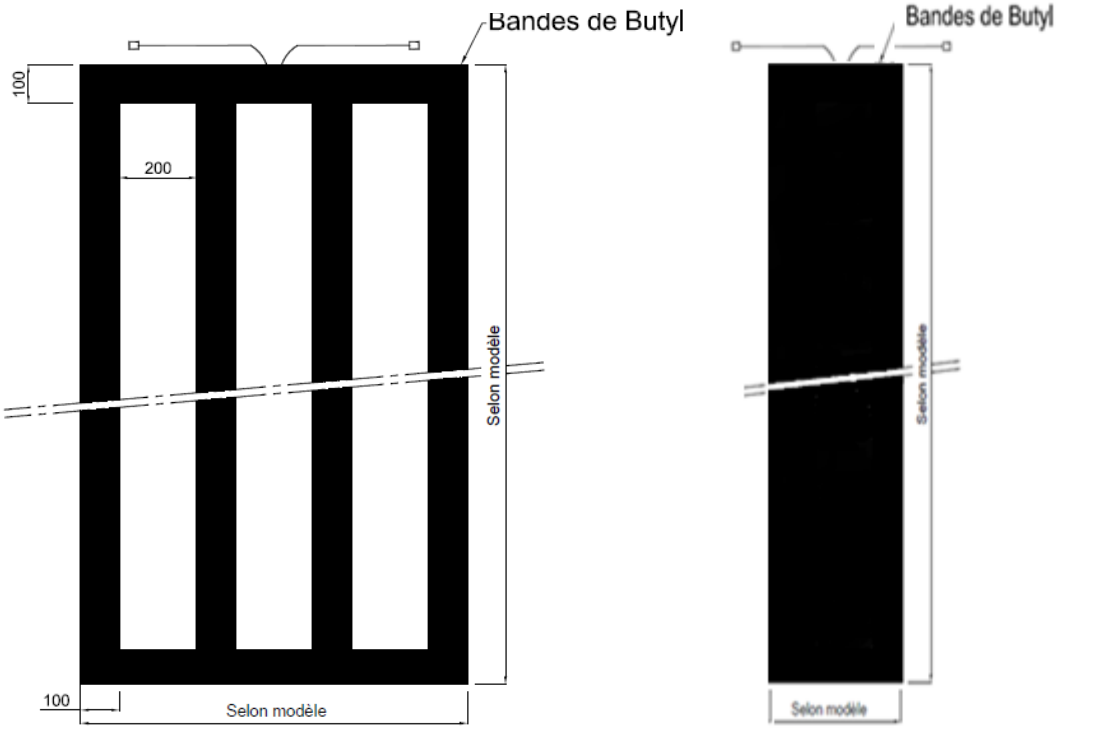


Figure 1e – Disposition des bandes butyl autoadhésives en sous-face du module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR

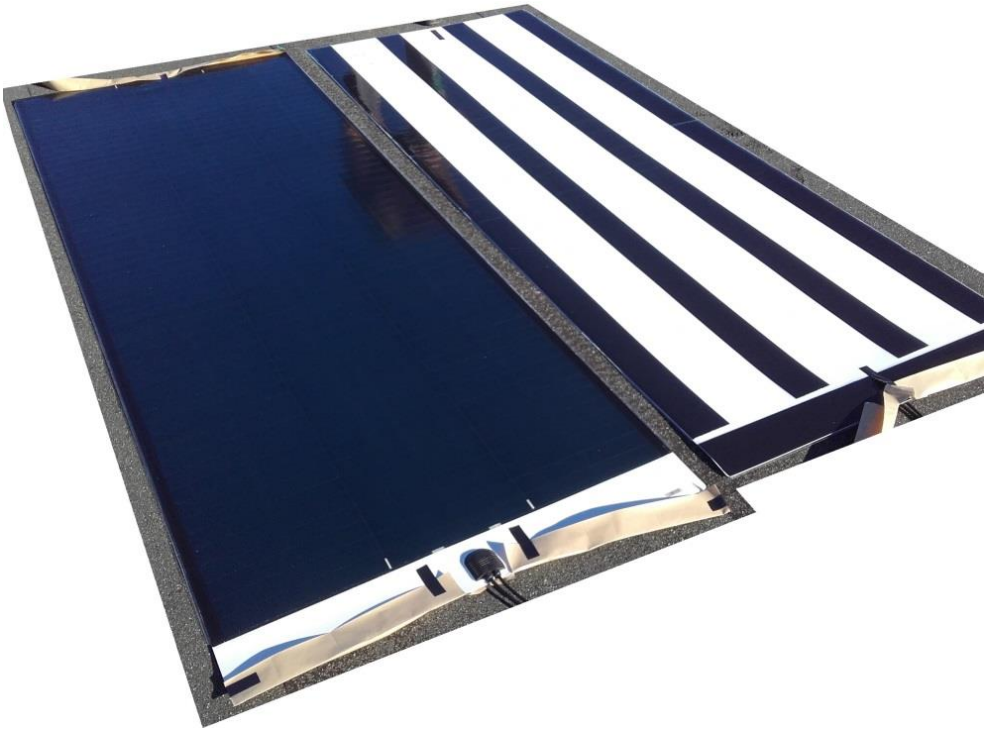


Figure 1f – Surface (à gauche) et sous-face (à droite) du module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR

Figure 2a – On retire le film pelable des bandes Butyle

Figure 2b – Pose du module photovoltaïque souple sur la surface ALPAL 25 SOLAR ou ALPAL 4000 SOLAR

Figure 2 – Mise en œuvre du module photovoltaïque souple EXCEL SOLAR

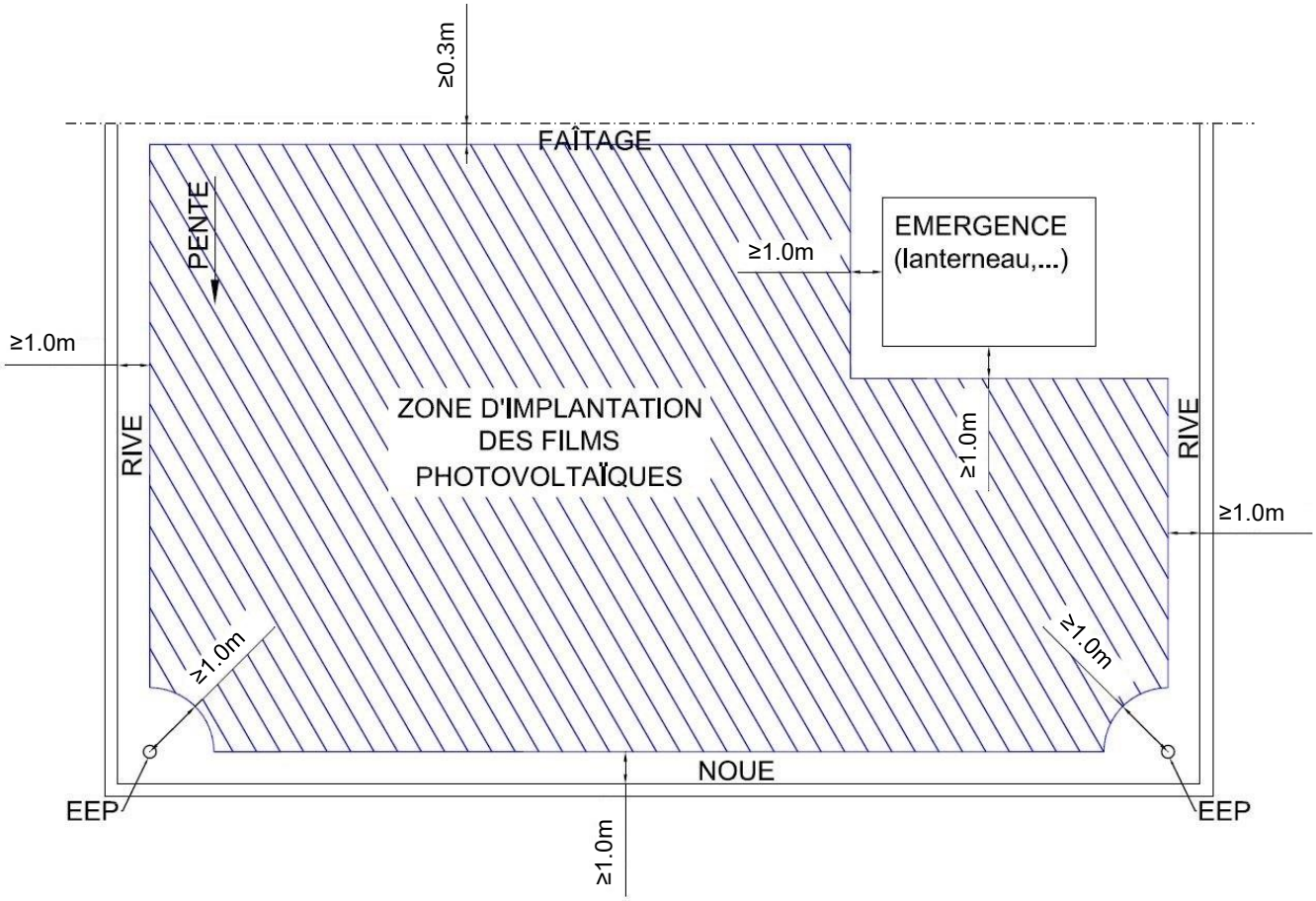


Figure 3 – Implantation des modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR

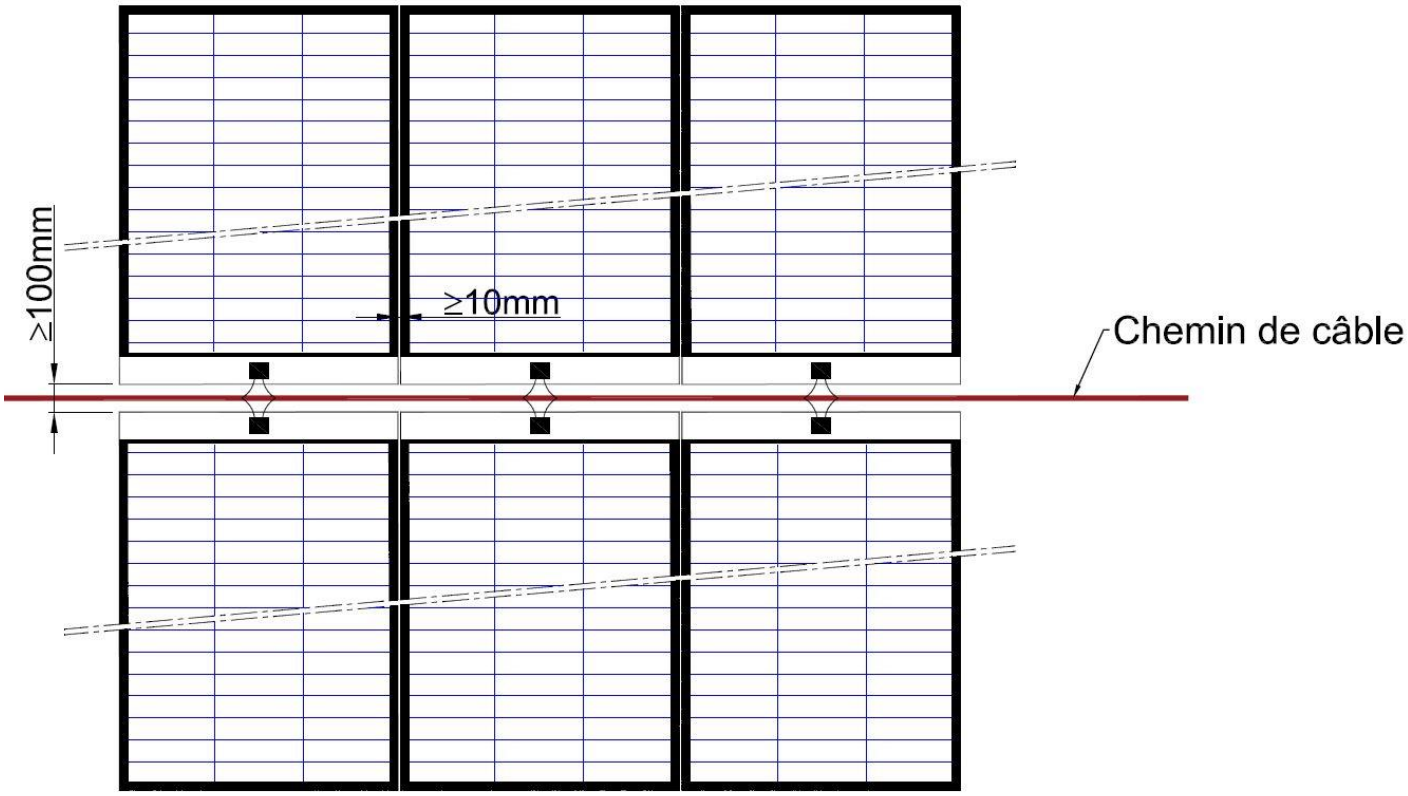


Figure 4 – Espacement entre modules photovoltaïques souples EXCEL SOLAR

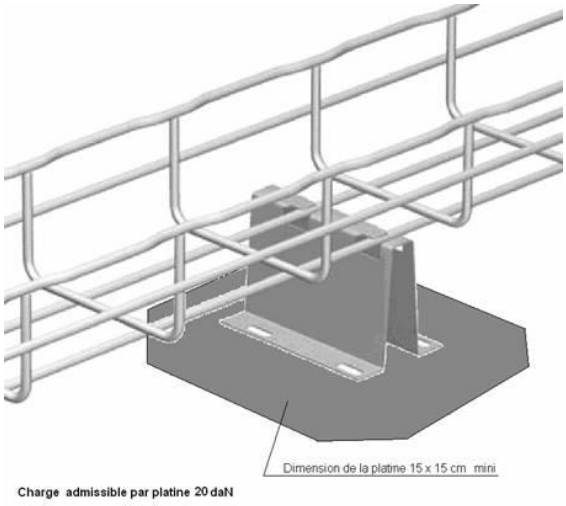


Figure 5 – Support de chemin de câble Cablofil R55

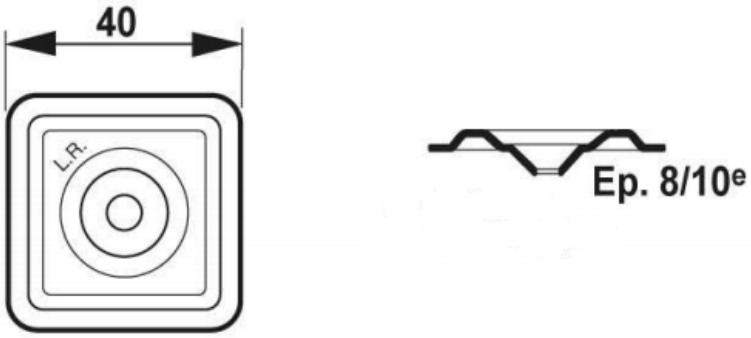


Figure 6 – Plaquette 40/40

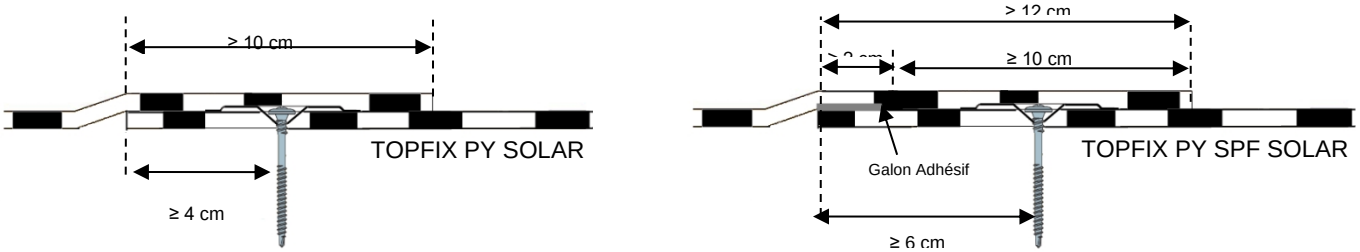


Figure 7 – Recouvrements longitudinaux en système fixé mécaniquement

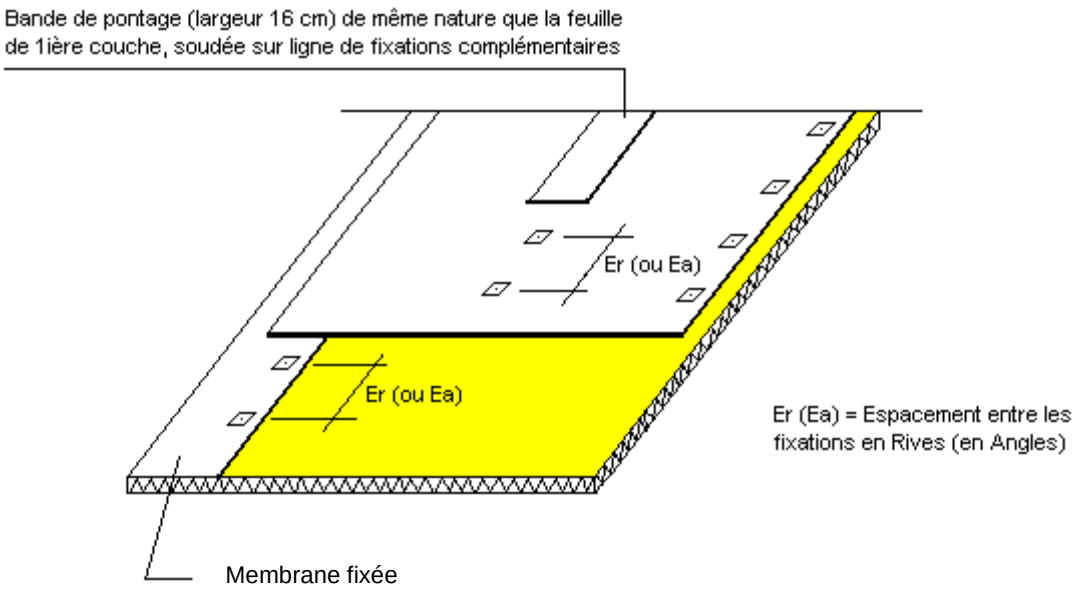


Figure 8 – Exemple de fixations complémentaires en système bicouche

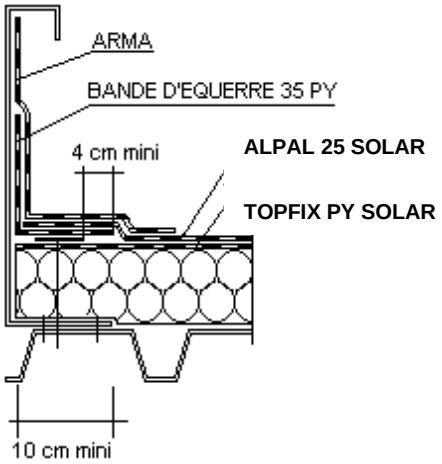


Figure 9 – Exemple de constitution du relevé avec un élément porteur en tôles d'acier nervurées

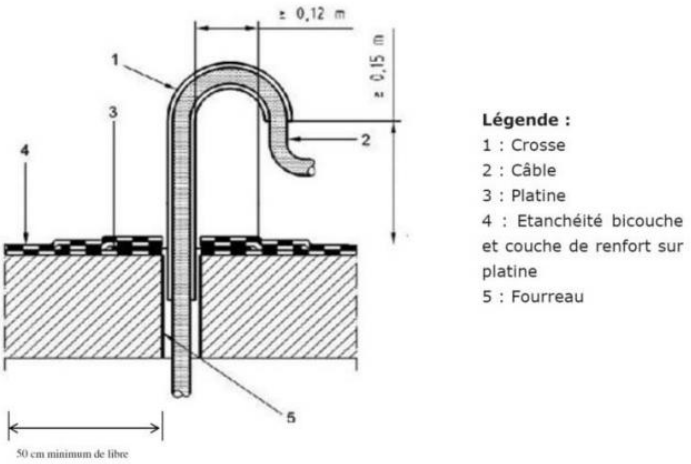
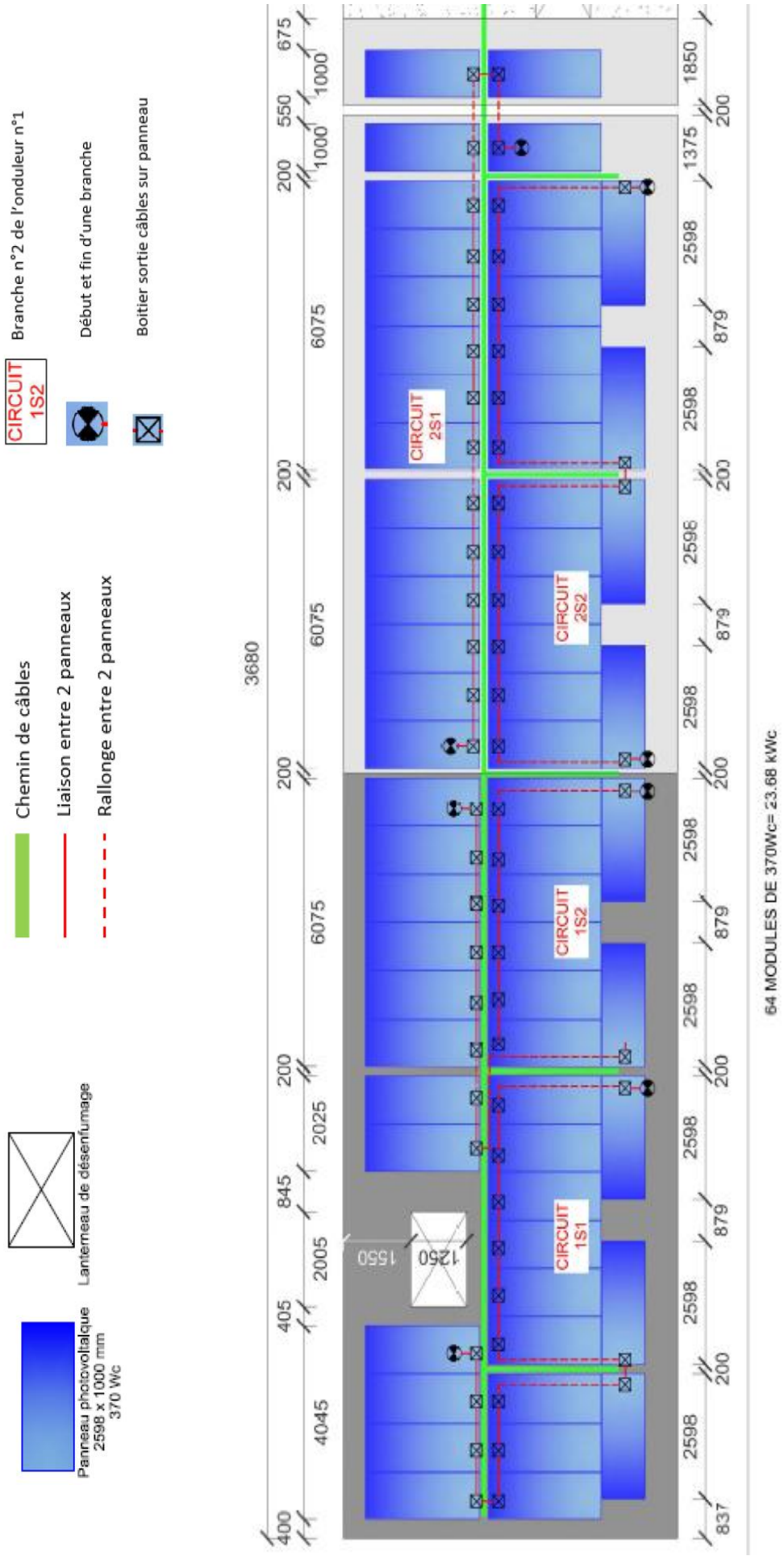


Figure 10 – Pénétration des câbles



Le cas d'une pente nulle

Figure 11 – Exemple de plan de raccordement des modules photovoltaïques sur toiture terrasse