

# Note d'information

## **Exigences relatives aux plaques métalliques ondulées ou nervurées servant de plan d'étanchéité à l'eau, placées sous des modules verriers photovoltaïques**

Ce document a été entériné par le Groupe Spécialisé n° 21 le 1<sup>er</sup> octobre 2020

**Groupe Spécialisé n° 21  
Procédés photovoltaïques**



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](http://www.ccfat.fr)

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 – art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2020

# Note d'information

Exigences relatives aux plaques métalliques ondulées ou nervurées servant de plan d'étanchéité à l'eau, placées sous des modules verriers photovoltaïques

## SOMMAIRE

---

<b>1. Objet du document.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Constat et typologie des procédés existants.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Remarques préalables.....</b>	<b>3</b>
3.1 Conditions préalables à la pose.....	3
3.2 Mise en œuvre sur chantier .....	3
3.3 Dilatation différentielle .....	3
<b>4. Périmètre d'étude du présent document .....</b>	<b>3</b>
<b>5. Identification des aspects techniques à justifier .....</b>	<b>4</b>
5.1 Dispositions vis-à-vis des caractéristiques mécaniques des plaques métalliques ondulées ou nervurées .....	4
5.2 Exigence vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau.....	4
<b>6. Divers .....</b>	<b>5</b>
<b>ANNEXE 1 : Écrasement de nervures .....</b>	<b>6</b>
<b>ANNEXE 2 : Essai mixte « Fatigue-Étanchéité » .....</b>	<b>7</b>

## 1. Objet du document

Ce document est dédié à la définition des exigences techniques fondamentales relatives à la caractérisation des plaques métalliques ondulées ou nervurées incluses dans un procédé photovoltaïque, servant de plan d'étanchéité à l'eau, placées sous des modules verriers photovoltaïques.

Dans de tels procédés, le système de montage (avec profilés et/ou clips de fixation) est uniquement ou partiellement fixé dans des plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques : cela signifie que tout ou partie des charges climatiques, reprises par les modules, sont directement transmises par les plaques métalliques ondulées ou nervurées à la charpente de la toiture. Cette conception engendre de nombreux points techniques, notamment des contraintes importantes sur la plaque métallique ondulée ou nervurée, non dimensionnée à cet effet, mais également des effets de fatigue pouvant introduire des risques de perte d'étanchéité.

Ce document est à destination des demandeurs d'Avis Technique, tenants des procédés photovoltaïques relevant de cette Note d'information. Dans la suite du texte, le «demandeur» désigne le tenant du procédé photovoltaïque, demandeur d'un Avis Technique du GS n° 21.

Ce document constitue un guide destiné à préciser des principes/exemples d'évaluation de ces procédés vis-à-vis de la caractérisation mécanique et de l'étanchéité sous l'effet de fatigue des assemblages plaques métalliques ondulées ou nervurées/fixations.

À ce titre :

- dans la mesure où il s'inspire d'un retour d'expérience acquis sur les couvertures en plaques métalliques ondulées ou nervurées, il ne s'applique pas, à priori, à des procédés avec plaques non métalliques,
- il n'est en aucun cas exhaustif quant aux justifications techniques à apporter en termes de respects des réglementations en vigueur, de durabilité et d'aptitude à l'emploi du procédé photovoltaïque,
- il ne peut pas se substituer à une évaluation globale par le Groupe Spécialisé n° 21 des résultats des essais ainsi que des spécificités propres à chaque procédé (par exemple les risques de désordres inhérents aux conditions de mise en œuvre, ...).

Enfin, il est à noter que toutes les considérations mécaniques de ce document ont été formulées sur la base des contraintes admissibles.

## 2. Constat et typologie des procédés existants

Les procédés photovoltaïques du marché avec plaques métalliques ondulées ou nervurées servant de plan d'étanchéité à l'eau, placées sous les modules verriers photovoltaïques présentent les variantes possibles suivantes :

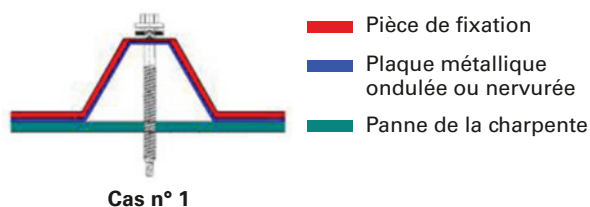
- Type de couverture en plaques métalliques ondulées ou nervurées : traditionnelle (conforme aux DTU 40.35 ou 40.36) ou non.
- Nature des plaques métalliques ondulées ou nervurées : aluminium, acier, etc.
- Nombre d'appuis de la plaque métallique ondulée ou nervurée : deux appuis ou plus.
- Type de fixation du système de montage : ponctuelle ou filante.

- Emplacement de la fixation du système de montage : en sommet de nervure, en biais sur la nervure ou en plage (cette dernière étant cependant à écarter, les fixations se trouvant dans les filets d'eau).
- Faisabilité : assemblage en usine ou sur chantier.

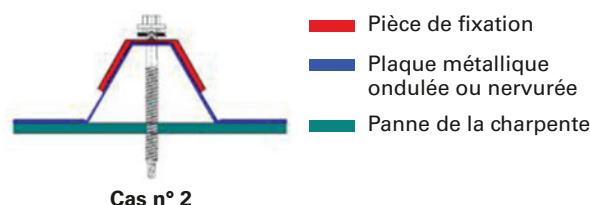
Avant toute chose, le recensement suivant des typologies de procédés photovoltaïques associés à des plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques a été établi afin de distinguer les différentes particularités de comportement en œuvre.

On peut ainsi distinguer trois cas principaux de montage (les schémas suivants sont donnés à titre d'exemple destinés à la compréhension) :

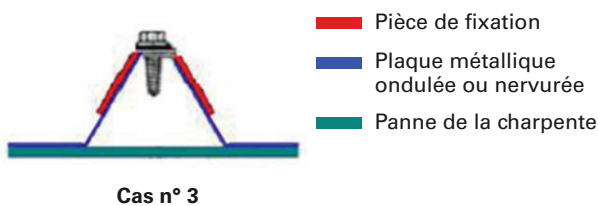
- « cas n° 1 » : le système de montage des modules photovoltaïques est fixé, au travers des plaques métalliques ondulées ou nervurées, sur les pannes de la charpente et les pièces de fixation reposent en partie sur les plages de la plaque métallique ondulée ou nervurée, transmettant ainsi intégralement les charges à la charpente.



- « cas n° 2 » : le système de montage des modules photovoltaïques est fixé, au travers des plaques métalliques ondulées ou nervurées, sur les pannes de la charpente mais les pièces de fixation ne reposent pas sur les plages de la plaque métallique ondulée ou nervurée. De ce fait, la plaque métallique ondulée ou nervurée reprend les charges descendantes et des questions se posent au regard de l'écrasement de la nervure.



- « cas n° 3 » : le système de montage des modules photovoltaïques est fixé directement dans la plaque métallique ondulée ou nervurée et les charges sont intégralement reprises par cette dernière.



Dans ces différents cas, l'étanchéité à l'eau est à considérer attentivement.

### 3. Remarques préalables

#### 3.1 Conditions préalables à la pose

Avant chaque projet, une étude (en cas de construction neuve) ou une reconnaissance (sur ouvrage existant) préalable de la toiture doit être réalisée à l'instigation du maître d'ouvrage afin de vérifier la capacité de la charpente à accueillir le procédé photovoltaïque et que les charges admissibles sur la toiture ne sont pas dépassées du fait de la mise en œuvre du procédé.

Lorsque le procédé génère, en complément de son poids propre, des charges supplémentaires sur les pannes liées à une mise en œuvre du procédé en continuité sur plusieurs appuis (réactions d'appuis différentes d'une panne à l'autre), de point fixe, etc..., le demandeur doit obligatoirement les fournir au Maître d'Ouvrage ou au Maître d'œuvre qui les transmettront au charpentier.

La mise en œuvre du procédé est généralement envisagée sur des ossatures :

- En acier, conformément à la norme NF EN 1993-1-1/NA. Dans ce cas, les valeurs limites maximales à prendre en compte pour les flèches verticales sont celles de la ligne « Toiture en général » du Tableau 1 de la clause 7.2.1(1)B de la norme NF EN 1993-1-1/NA. Le cas échéant, en travaux neufs, les DPM doivent prescrire au lot charpente les tolérances fonctionnelles demandées (tolérances fonctionnelles de fabrication et de montage de classe 2 conformément à la norme NF EN 1090-2+A1).
- En bois, conformément à la norme NF EN 1995-1-1/NA. Dans ce cas, les valeurs limites à prendre en compte pour les flèches sont celles figurant à l'intersection de la colonne « Bâtiments courants » et de la ligne « Éléments structuraux » du Tableau 7.2 de la clause 7.2(2) de la norme NF EN 1995-1-1/NA,
- En béton avec insert métallique de 60 mm minimum de large et 3 mm minimum d'épaisseur, conformément aux normes NF EN 1992-1-1 et NF EN 1992-1-1/NA. Les classes de tolérances fonctionnelles de montage doivent être de classe 1 selon la NF EN 13670.
- Sur existant, la reconnaissance préalable de la charpente support doit tenir compte des tolérances de charpente. Le cas échéant, en cas de structure porteuse en acier, les pannes minces ne sont pas envisagées, dans le cadre de la présente note d'information, en cas d'installation sur toiture existante non prévue pour supporter les charges du procédé, compte tenu des difficultés de redimensionnement de ces éléments de charpente optimisés.

#### 3.2 Mise en œuvre sur chantier

Dans les « cas n° 2 », il est nécessaire pour la mise en œuvre sur chantier que des justifications probantes, relatives aux dispositions prises pour s'affranchir des difficultés de pose et les risques de mauvaise mise en œuvre, préjudiciables à la tenue des modules et à l'étanchéité du procédé soit portées au Dossier Technique (à minima en proposant un « document qualité » permettant de définir les conditions de mise en œuvre et les consignes à respecter : propreté, alignement, conditions climatiques, etc.). Ce cas de pose suppose la fourniture de l'ensemble des éléments de fixation et d'étanchéité liés aux plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques, par le demandeur.

### 3.3 Dilatation différentielle

Dans le cas où les procédés photovoltaïques avec plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques utilisent des profilés filants (souvent, des rails en aluminium) pour l'attache des modules, il est indispensable de tenir compte des efforts induits par la dilatation de ces éléments (au regard de la nature de leur matériau, de leur longueur et de leurs fixations) quant à leur tenue mécanique dans les plaques métalliques ondulées ou nervurées et à l'étanchéité de leurs fixations.

Effectivement, les profilés dilatent en fonction de la température ambiante et ne suivent pas nécessairement les déformations des plaques métalliques ondulées ou nervurées. En conséquence, par effet de fatigue (flèches des pannes, dilatation différentielle...), les points de fixation pourraient créer des risques de perte d'étanchéité.

En conséquence, les experts s'accordent pour dire qu'il est préférable que la fixation des profilés filants se fasse par l'intermédiaire de pièces ponctuelles positionnées sur les plaques métalliques ondulées ou nervurées, pour autant que ces pièces autorisent bien la libre dilatation des profilés (points fixes et points dilatants).

Autrement, le demandeur aura à sa charge d'apporter des justifications probantes sur le comportement dans le temps des points de fixations des profilés filants sur les plaques métalliques ondulées ou nervurées vis-à-vis de l'étanchéité de ces assemblages mais également sur le comportement mécanique des plaques métalliques ondulées ou nervurées au regard de la distribution des charges par l'intermédiaire de ces profilés (et ce, dans tous les cas énoncés au § 2).

### 4. Périmètre d'étude du présent document

Les connaissances techniques actuelles ne permettent pas de considérer dans le cadre du présent document les procédés relevant du cas n° 3 (consistant à fixer sur chantier le procédé photovoltaïque directement et uniquement dans les plaques métalliques ondulées ou nervurées).

En effet, un ensemble de questions techniques doit être traité afin de s'assurer que les risques de pertes de stabilité et d'étanchéité sont maîtrisables, notamment :

- Effets de la neige et du vent sur l'ensemble des composants
- Effets de la dilatation différentielle
- Constance et contrôles de la mise en œuvre
- Etc.

Ainsi, au regard des questions techniques se posant à propos des dossiers du cas n° 3, ceux-ci pourront, sur décision des demandeurs, être présentés au GS n° 21 en question diverse pour s'assurer de leur recevabilité pour poursuivre ou pas la procédure d'Avis Technique.

Suite aux considérations précédentes, il convient de noter que la suite du présent document traite uniquement des procédés de « cas n° 1 et n° 2 » utilisant des pièces de fixation ponctuelles supportant l'ossature secondaire qui maintient les modules, au travers des plaques métalliques ondulées ou nervurées servant de plan d'étanchéité à l'eau, placées sous les modules verriers photovoltaïques.

## 5. Identification des aspects techniques à justifier

Au regard des différents types de montage définis au § 2 et des différents paramètres listés au § 3, des points techniques ont pu être identifiés.

Pour chacun d'entre eux, ce document propose des éléments de réponse en termes d'exigences minimales ou de justifications expérimentales qui peuvent être à compléter au cas par cas pour permettre l'utilisation de plaques métalliques ondulées ou nervurées, servant de plan d'étanchéité à l'eau, placées sous des modules verriers photovoltaïques, dans un procédé photovoltaïque.

### 5.1 Dispositions vis-à-vis des caractéristiques mécaniques des plaques métalliques ondulées ou nervurées

#### 5.1.1 Dispositions vis-à-vis des épaisseurs des plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques

Pour les procédés relevant des « cas n° 1 » et « cas n° 2 », les caractéristiques mécaniques (épaisseurs minimales nominales, nuance, type alliage) des plaques métalliques ondulées ou nervurées sont celles indiquées dans les DTU 40.35 et 40.36.

#### 5.1.2 Dispositions vis-à-vis des charges de montage

Les plaques métalliques ondulées ou nervurées, du fait de leur utilisation dans un procédé photovoltaïque, subissent des charges de montage supérieures à celles prévues dans le cadre des DTU 40.35 et 40.36. De ce fait et en première approche, les valeurs de charges de montage définies dans le DTU 43.3 doivent être prises en compte lors de l'établissement des tableaux de portées (pour rappel  $q = 100 \text{ daN/m}^2$  et  $F = 200 \text{ daN/ml}$ ).

La prise en compte de ces charges de montage sur les plaques métalliques ondulées ou nervurées doit être réalisée comme suit :

- pour les plaques métalliques ondulées ou nervurées en acier : réalisée conformément à l'annexe G, § 5 du DTU 40.35 en utilisant les combinaisons de charges et en ne retenant que la vérification pour une répartition élastique,
- pour les plaques métalliques ondulées ou nervurées en aluminium : réalisée en prenant comme portée maximale celle issue du tableau de portée correspondant à une charge de pression (charge descendante) de  $1\,200 \text{ Pa}$  ( $120 \text{ daN/m}^2$ ).

#### 5.1.3 Détermination des portées et des charges utiles des plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques

Dans le cas de couvertures traditionnelles en plaques métalliques ondulées ou nervurées (conformes aux DTU 40.35 ou 40.36), les tableaux des portées sont établis à partir de la réalisation d'essais de flexion selon les normes NF P 34-503 ou NF P 34-504 et de leur interprétation.

Compte tenu que les procédés engendrent des contraintes spécifiques sur les plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques, les tableaux de portées de ces plaques, déterminés conformément aux DTU 40.35 et 40.36 ne peuvent pas être repris au regard de l'utilisation très spécifique qu'il en est fait.

Ainsi, dans les « cas n° 2 », la caractérisation mécanique des plaques métalliques ondulées ou nervurées doit suivre l'essai spécifique suivant.

#### 5.1.4 Caractérisation de la plaque métallique ondulée ou nervurée sous charges descendantes

Dans le cas où le système de montage ne transmet pas les charges descendantes directement à la charpente mais par l'intermédiaire de la plaque métallique ondulée ou nervurée, il est nécessaire de déterminer ces performances via des essais statiques.

Un essai « Écrasement de nervure » (cf. protocole en annexe 1) est à réaliser sur 3 échantillons.

#### 5.1.5 Caractérisation de la plaque métallique ondulée ou nervurée sous charges ascendantes

Cette caractérisation n'est a priori pas nécessaire dans le cadre de cette Note d'Information.

## 5.2 Exigence vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau

### 5.2.1 Conception des plaques métalliques ondulées ou nervurées servant de plan d'étanchéité à l'eau, placées sous les modules verriers photovoltaïques, vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau

Dans le cas de couvertures traditionnelles en plaques métalliques ondulées ou nervurées (conformes aux DTU 40.35 et 40.36), l'étanchéité à l'eau de la toiture constituée de ces plaques métalliques ondulées ou nervurées repose sur des spécifications géométriques et des dispositions de mise en œuvre définies dans les DTU (recouvrements des plaques entre elles, ...), résultant d'un important retour d'expérience.

Pour les couvertures non traditionnelles, justifier de l'étanchéité à l'eau intrinsèque de la toiture s'avère par conséquent compliqué. Dans ce cas, il faudra au mieux se rapprocher des dispositions décrites dans ces référentiels en considérant que ces spécifications sont des minima à appliquer. Lors de l'instruction et de l'examen de la demande d'Avis Technique, une étude au cas par cas sera établie pour valider ou non l'étanchéité à l'eau de la toiture. Si cet examen théorique ne permet pas de statuer, il conviendra de justifier expérimentalement l'étanchéité à l'eau de la toiture : un essai en soufflerie au CSTB de Nantes devra éventuellement être envisagé. À noter cependant que cet essai ne permet pas de se prononcer si des pièces (rondelles, joints, etc.) sont soumises à un vieillissement (mécanique, thermique, UV, ...).

### 5.2.2 Résistance mécanique en fatigue

Ce paragraphe concerne éventuellement les « cas n° 2 » en fonction de leur conception.

L'évaluation de l'étanchéité à l'eau au regard de la fatigue est basée sur un essai mixte « fatigue-étanchéité » (cf. protocole en annexe 2). Cet essai est réalisé sur une maquette sur à minima la plus grande portée du procédé et voire également sur la plus petite portée si cela est prévue en adaptant les charges revendiquées à chaque portée, et de largeur fonction du système de montage. La maquette comporte la plaque métallique ondulée ou nervurée avec au minimum 4 éléments de fixation du procédé photovoltaïque sur la plaque métallique ondulée ou nervurée.

## 6. Divers

Dans le cas d'un procédé dont le système de montage serait parfois fixé sur les plaques métalliques ondulées ou nervurées placées sous les modules verriers photovoltaïques et parfois dans les pannes de la charpente (procédé hybride entre les « cas n° 2 » et « cas n° 3 ») du fait par exemple d'un calepinage spécifique, les contraintes et déformations dans la plaque métallique ondulée ou nervurée seraient alors d'intensité différente : la vérification devra alors regarder tous les cas de figures possibles. De plus, si ce même procédé utilise une structure secondaire pour le maintien des modules, les réactions aux appuis peuvent devenir très importantes.

Si les couvertures en plaques métalliques ondulées ou nervurées ne sont pas traditionnelles, il est impératif qu'il n'y ait pas de découplage entre la mise en œuvre de celles-ci et celle du reste du procédé photovoltaïque.



## ANNEXE 1 Écrasement de nervures

### 1. Corps d'épreuve

- Les corps d'épreuves doivent présenter à minima une nervure de part et d'autre de la (des) nervure(s) de la plaque métallique ondulée ou nervurée accueillant la fixation de l'élément de montage.
- Dans le cas où différentes configurations sont possibles (recouvrements de nervures pouvant accueillir les éléments de fixations, fixation décalée de quelques cm du cavalier courant etc), différents corps d'épreuve doivent être confectionnés pour prendre en compte les différentes configurations.
- Dimension des échantillons :
  - Largeur : largeur de plaque métallique ondulée ou nervurée ou deux  $\frac{1}{2}$  largeurs dans le cas de pose de l'élément de fixation du procédé au droit des nervures de recouvrement.
  - Longueur : longueur du système de fixation du procédé plus 200 mm de part et d'autre.
- Les nervures doivent être fixées comme spécifiées dans le dossier technique.
- La panne formant appui est de largeur 60 mm, sauf spécification du dossier technique. Il est également possible d'effectuer cet essai sur différentes largeurs de panne.

### 2. Protocole

- Le corps d'épreuve est instrumenté de 2 capteurs de déplacement mesurant le déplacement vertical relatif entre la panne (appui) et le plan situé entre la sous-face du système de fixation et le sommet de nervure, ainsi que d'un capteur de force destiné à mesurer les charges appliquées.
- Le chargement est appliqué sur le système de montage par paliers successifs croissants avec retour à zéro à chaque fin de palier jusqu'à la ruine.
- Au cours de l'essai, les courbes « charges/flèches sous charge » et « charges/flèches résiduelles » sont enregistrées. L'essai est conduit jusqu'à la ruine.

### 3. Interprétation

- La charge d'essai à retenir,  $P^+_0$ , est prise égale à la charge minimale entre :
  - la charge  $R^+_0$ , vis-à-vis du critère résistance, elle-même égale à la charge de ruine divisée par un coefficient de sécurité  $\gamma_R = 2,00$ ,
  - la charge  $E^+_0$ , vis-à-vis du critère étanchéité, elle-même égale à la charge ayant conduit à un déplacement résiduel n'excédant pas 1 mm.

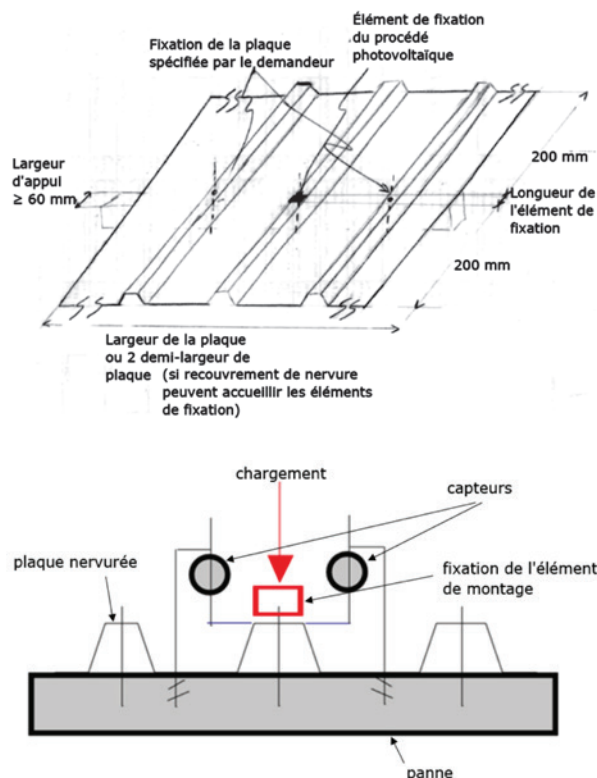


Figure 1 : Corps d'épreuve



## ANNEXE 2

### Essai mixte « Fatigue-Étanchéité »

#### 1. Corps d'épreuve

- Il se compose de la plaque métallique ondulée ou nervurée et de 4 éléments de fixation du procédé photovoltaïque sur la plaque métallique ondulée ou nervurée.
- Dimension de la maquette :
  - Largeur : une largeur ou deux  $\frac{1}{2}$  largeurs de plaque métallique ondulée ou nervurée dans le cas de pose de l'élément de fixation du procédé envisagé au droit des nervures de recouvrement,
  - Longueur : à minima sur la plus grande portée du procédé et voire également sur la plus petite portée si cela est prévu en adaptant les charges revendiquées à chaque portée, plus des débords de 250 mm.
- La pose est effectuée sur 3 pannes de largeur d'appui 60 mm, sauf spécification du dossier technique.
- Les nervures de la plaque métallique ondulée ou nervurée doivent être fixées comme spécifiées dans le dossier technique.
- Le positionnement des éléments de fixation du procédé photovoltaïque sur la plaque métallique ondulée ou nervurée est réalisé dans la configuration la plus défavorable.
- Une étanchéité autour des zones des éléments de fixation du procédé est effectuée sur une hauteur égale à 100 mm.

#### 2. Protocole

- Avant essai, il est nécessaire
  - de déterminer une valeur de charges descendantes  $C^-$  et une valeur de charges ascendantes  $C^+$ , égales aux charges admissibles en neige normale et vent normal à valider. Les limites d'utilisation mécanique du procédé complet sont déterminées en tenant compte des limites d'utilisation mécanique des plaques métalliques ondulées ou nervurées d'une part, du système de montage et des modules photovoltaïques d'autre part. Ces valeurs sont à minima déterminées à partir des essais statiques décrits dans l'annexe précédente.
  - de remplir le corps d'épreuve avec 2 cm d'eau au-dessus des nervures pendant une durée de 24 heures afin de vérifier qu'aucune fuite ne se produit, puis de le vider.
- Le chargement est appliqué directement sur les éléments de fixation du système de montage et perpendiculairement à ces derniers avec une fréquence comprise entre 0,5 et 1 Hz selon les cycles suivants :
  - 50 000 cycles entre  $\frac{3}{4} C^-$  et  $\frac{3}{4} C^+$
  - 20 000 cycles entre  $C^-$  et  $C^+$
- Une fois les cycles terminés, le corps d'épreuve est rempli d'eau avec environ 2 cm d'eau au-dessus des nervures pendant une durée de 24 heures.

#### 3. Interprétation

Si après l'essai :

- Aucune fuite n'est constatée, les valeurs de charges  $C^-$  et  $C^+$  sont validées.
- Des fuites sont constatées, l'essai est à refaire avec une nouvelle maquette en diminuant les valeurs de  $C^-$  et  $C^+$ .

*Nota : Dans le cas où les valeurs de  $C^-$  et  $C^+$  ont été validées par l'essai et où elles sont inférieures aux limites d'utilisation mécanique du procédé photovoltaïque, le demandeur peut poursuivre l'essai pour valider des valeurs de charges supérieures. Dans ce cas, le même corps d'épreuve peut faire l'objet de 20 000 cycles supplémentaires pour de nouvelles valeurs de  $C^-$  et  $C^+$ . Après ces cycles, le corps d'épreuve doit être rempli avec environ 2 cm d'eau au-dessus des nervures pendant une durée de 24 heures. Si aucune fuite n'est constatée les nouvelles valeurs de  $C^-$  et  $C^+$  sont validées. Le demandeur peut ensuite poursuivre cette démarche s'il souhaite encore optimiser ces valeurs de  $C^-$  et  $C^+$ .*

---

**SIÈGE SOCIAL**

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2  
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

**CSTB**  
*le futur en construction*

---

**CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT** | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS