

Procédés photovoltaïques sous Avis Technique mis en œuvre en toiture

Vérification simplifiée des charges climatiques en toiture

Note d'information

Ce document a été entériné par le Groupe Spécialisé n° 21 le 3 juin 2022. Ce cahier annule et remplace le cahier 3803 de mai 2019.

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

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.

SOMMAIRE

1. Objet du document	5
2. Domaine d'emploi	5
3. Préambule	6
3.1. Définitions	6
3.2. Principes généraux	6
3.2.1. Domaine d'emploi de l'Avis Technique – vérification de l'adéquation du procédé avec un ouvrage déterminé 6	
3.2.2. Charges climatiques prises en compte	7
3.2.3. Inclinaison des modules photovoltaïques	7
4. Poids propre	8
5. Méthode de calcul simplifié des charges climatiques de l'ouvrage	8
5.1. Charges de neige	8
5.1.1. Dispositions simplifiées pour la prise en compte des charges accidentelles	9
5.1.2. Dispositions vis-à-vis des accumulations de neige	9
5.2. Charges de vent	10
5.2.1. Généralités	10
5.2.2. Coefficients de pression ci et ce	11
6. Combinaison des charges climatiques affectant l'ouvrage avec le poids propre	13
7. Tableaux précalculés et exemples	13
7.1. Tableaux	13
7.2. Exemples de calcul	20
7.2.1. Exemple de calcul pour une installation photovoltaïque intégrée en couverture en petits éléments de maison individuelle	20
7.2.2. Exemple de calcul pour une installation photovoltaïque surimposée au-dessus de grands éléments de couverture en bâtiment ouvert	22
7.2.3. Exemple de calcul pour une installation photovoltaïque surimposée sur toiture-terrasse	24
8. Annexe : Principes généraux – compléments	26
8.1. Règles de calculs	26
8.1.1. Définitions	26
8.1.2. Incompatibilité des méthodes de calculs aux états limites et des méthodes de calculs aux contraintes admissibles	27
8.2. Essai suivant la norme NF EN 12179	28
8.2.1. Généralités	28
8.2.2. Principe général de l'essai et son interprétation	28
8.2.3. Coefficients de sécurité γ_1 et γ_2 habituellement utilisés	28
8.3. Justification des efforts parallèles à la couverture	29
8.4. Justification de la résistance aux séismes	29
8.5. Justification de la résistance aux actions d'origine thermique (dilatations)	29
8.6. Autres justifications	30

1. Objet du document

Le présent document est destiné aux acteurs de la construction concernés par la mise en œuvre des procédés photovoltaïques : maître d'ouvrage, installateur, bureau d'études, etc.

Le but de ce document est de proposer des règles simplifiées pour le calcul des sollicitations climatiques propres à chaque ouvrage, pour vérifier qu'elles sont compatibles avec le domaine d'emploi de l'Avis Technique du procédé photovoltaïque à installer.

Dans le présent document, les calculs sont effectués selon les principes des règles NV 65 modifiées.

Note 1 : Le présent document ne concerne que les procédés photovoltaïques sous Avis Techniques, il ne concerne pas d'autres ouvrages (charpente, autres procédés de couverture).

Note 2 : Ce document a pour but de proposer des règles simplifiées en accord avec les règles NV 65 modifiées pour le calcul des sollicitations climatiques, moyennant l'application de coefficients particuliers dans le cas de modules photovoltaïques inclinés par rapport au plan d'une toiture-terrasse. Le calcul au cas par cas en conformité avec les règles NV 65 modifiées reste toujours possible.

Note 3 : La version V2 du présent document prend en compte le cas des modules photovoltaïques inclinés par rapport au plan d'une toiture-terrasse.

2. Domaine d'emploi

- **Zone géographique concernée :**

Le présent document ne concerne que les installations situées en France métropolitaine (Corse incluse) et en climat de plaine (< 900 m d'altitude).

- **Installations concernées :**

Les procédés photovoltaïques concernés par le présent document sont installés dans les configurations suivantes :

- Couverture – intégré.
- Couverture – surimposé parallèle à la couverture.
- Toiture-terrasse – surimposé avec modules photovoltaïques parallèles à la toiture – hors installations lestées.
- Toiture-terrasse – surimposé avec modules photovoltaïques inclinés jusqu'à 10° par rapport au plan de la toiture (voir notes 4 et 5) – hors installations lestées.

La pente de la toiture est inférieure à 75° (373 %).

- **Exemples d'installations non concernées :**

Les procédés de films souples photovoltaïques sur revêtements d'étanchéité ne sont pas concernés : il existe un cahier qui est déjà applicable à ce type de procédés, le Cahier du CSTB 3563 : « Résistance au vent des systèmes d'étanchéité de toitures fixés mécaniquement – Cahier des prescriptions techniques concernant la délivrance et l'application des Documents Techniques d'Application ».

Les procédés suivants ne sont pas pris en compte dans le présent document, leur Avis Technique précisera la méthode de vérification à appliquer :

- procédés photovoltaïques sur toitures-terrasses, avec modules photovoltaïques inclinés de plus de 10 ° par rapport à la toiture ;
- procédés lestés en toiture-terrasse ;
- procédés photovoltaïques en façade ou en verrière.

Note 4 : L'inclinaison des modules photovoltaïques peut être en "inclinaison simple shed" (type sheds) ou en "inclinaison double shed" (type toiture multiple à versants symétriques).

Note 5 : Au-delà d'une inclinaison de 10 ° des modules photovoltaïques en toiture-terrasse, des questions se posent sur la prise en compte des effets de l'inclinaison des modules vis-à-vis des actions du vent (engouffrement, effets collectifs) et des zones d'accumulation de neige.

3. Préambule

3.1. Définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

- **Procédé photovoltaïque :**

Les procédés photovoltaïques, définis dans chaque Avis Technique, incluent en général des modules photovoltaïques, un système de montage, ainsi que des éléments de couverture ou d'étanchéité de toiture associés.

- **Procédé photovoltaïque surimposé :**

Procédé photovoltaïque installé sur un support et n'assurant ni la fonction de couverture, ni celle de parement extérieur.

Les procédés dits en « intégré simplifié » au sens de l'ancien arrêté du 4 mars 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité photovoltaïque (modules photovoltaïques au-dessus du plan de toiture et au-dessus d'éléments de sous-face) sont considérés comme surimposés au sens du présent document.

Note 6 : La famille d'Avis Techniques « Module photovoltaïque rigide en surimposition couverture grands éléments » comporte soit des procédés dont les fixations sont rapportées sur les pannes, soit des procédés dont les fixations sont rapportées sur l'élément de couverture.

- **Procédé photovoltaïque intégré :**

Procédé photovoltaïque assurant la fonction de couverture ou de parement extérieur.

- **Petits éléments de couverture :**

Tuiles et ardoises.

- **Grands éléments de couverture :**

Plaques métalliques nervurées ou ondulées et panneaux sandwich.

- **Toiture-terrasse :**

Toiture étanchée dont la pente est $\leq 5 \%$.

3.2. Principes généraux

On décrit ici les principes généraux qui cadrent le présent document, se reporter en annexe (§ 8) pour des précisions complémentaires.

3.2.1. Domaine d'emploi de l'Avis Technique – vérification de l'adéquation du procédé avec un ouvrage déterminé

- **Contenu des Avis Techniques des procédés photovoltaïques :**

Le domaine d'emploi de l'Avis Technique du procédé photovoltaïque précise les charges climatiques descendantes p_{adm} et ascendantes q_{adm} maximales pour le procédé. Ces charges sont données en Pascal (Pa), en référence aux règles NV 65 modifiés ; elles sont données en valeur normale et dans leur composante perpendiculaire au plan de la couverture ou de la toiture-terrasse.

Lorsque nécessaire, les autres composantes de charges (actions sismiques, résistance des points fixes en cisaillement, dilatations, etc.) ont été justifiées par le titulaire de l'Avis Technique et acceptées par le GS n° 21 (Groupe Spécialisé n° 21 – Procédés photovoltaïques).

- **Opérations à réaliser pour vérifier la compatibilité du procédé photovoltaïque avec un ouvrage déterminé :**

Un intervenant qui souhaite vérifier la compatibilité d'un procédé photovoltaïque avec un ouvrage déterminé doit réaliser les actions suivantes :

- calculer les charges climatiques de neige p_n (cf. § 5.1 et § 6) et de vent p_v (cf. § 5.2 et § 6) affectant l'ouvrage, pour vérifier qu'elles sont, combinées avec le poids propre m_s (cf. § 4), inférieures ou égales à celles du domaine d'emploi accepté de l'Avis Technique, respectivement p_{adm} et q_{adm} ;
- s'assurer que l'Avis ne mentionne pas d'autres limitations de domaine d'emploi ou d'autres éléments à prendre en compte.

Il peut s'agir, par exemple (liste non exhaustive) :

- de la possibilité d'installer le procédé dans des situations pour lesquelles la prise en compte des actions sismiques est obligatoire,
- limitation du procédé à certains éléments génériques,
- bâtiment neuf et/ou en réfection,
- pente de la toiture,
- types de charpente,
- type d'élément porteur pour les procédés en toiture-terrasse (par exemple TAN),
- type de panneau sandwich,
- hygrométrie des locaux,
- altitude.

3.2.2. Charges climatiques prises en compte

Les charges climatiques prises en compte dans le cadre du présent document sont :

- les charges descendantes de neige ;
- les charges ascendantes de vent.

Dans le cadre du présent document, les combinaisons d'actions entre les charges de neige et les charges de vent ne sont pas prises en compte. Seules sont prises en compte les combinaisons entre chacune des charges climatiques et le poids propre.

Note 7 : Cette disposition n'est applicable qu'aux procédés visés par le présent document et ne peut être étendue à d'autres ouvrages. La charpente, par exemple, doit être calculée conformément aux DTU des séries 31 ou 32, selon le type de charpente, avec toutes les combinaisons d'actions et descentes de charges nécessaires.

3.2.3. Inclinaison des modules photovoltaïques

Soit β l'angle d'inclinaison des modules photovoltaïques par rapport au plan de la toiture-terrasse.

On rappelle que le domaine d'emploi de cette note d'information ne comprend que :

- les modules photovoltaïques parallèles au plan d'une toiture-terrasse ; dans ce cas $\beta = 0^\circ \pm 2^\circ$, une faible inclinaison étant admise pour tenir compte des tolérances de pose des modules et de leur ossature ;
- ou, en surimposition de toiture-terrasse, les modules photovoltaïques présentant une inclinaison par rapport au plan de la toiture jusqu'à 10° maximum ; dans ce cas, l'angle d'inclinaison des modules vérifie $5^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$.

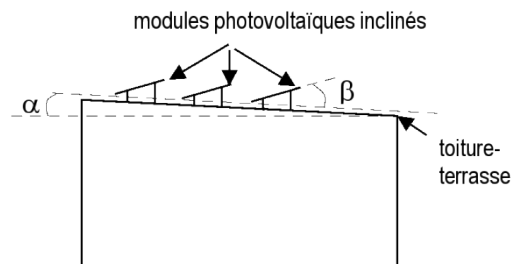


Figure 1 – Inclinaison des modules photovoltaïques
 α : pente de la toiture (cf. § 5.1)
 β : inclinaison des modules photovoltaïques

4. Poids propre

Il est nécessaire de considérer le poids propre du procédé photovoltaïque (modules + système de montage). La masse spécifique m_s est indiquée dans l'Avis Technique du procédé en kg/m^2 .

5. Méthode de calcul simplifié des charges climatiques de l'ouvrage

Le calcul des charges de neige et vent est réalisé à partir des NV 65 modifiées pour la neige et pour le vent.

5.1. Charges de neige

Pour une installation présentant une pente α par rapport à l'horizontale, la pression exercée par la neige (neige « normale » au sens des règles NV 65 modifiées) perpendiculairement au plan de la couverture ou de la toiture s'écrit :

$$p_n = (p_{n0} + \Delta p_{n0}) \times \mu \times \cos^2 \alpha$$

avec :

- $\cos^2 \alpha$: permet de projeter la charge de neige au sol sur la perpendiculaire au plan des modules.
- p_{n0} est la charge normale de neige normale au sol pour une altitude inférieure à 200 m, elle dépend de la localisation de l'ouvrage :

Région de neige (cf. § 7.1) suivant carte de la figure R-II-1 des NV 65 modifiées 2009	p_{n0} [Pa]
A1, A2	350
B1, B2	450
C1, C2	550
D	800
E	1 150

Tableau 1 – Charge normale de neige en fonction des régions

- Δp_{n0} est la majoration de la charge de neige en fonction de l'altitude :

Altitude A [m]	Δp_{n0} [Pa]
$200 \leq A \leq 500$	A - 200
$500 \leq A \leq 900$	$300 + 2,5 (A - 500)$

Tableau 2 – Charge normale de neige en fonction de l'altitude

- μ est le coefficient de forme. Dans le cadre des présentes règles simplifiées, μ est pris égal à 1 pour toutes les pentes entre 0 et 75 ° (373 %).

Les pentes supérieures à 75 ° n'entrent pas dans le cadre du présent document.

Note 8 : L'inclinaison éventuelle des modules photovoltaïques, dans le domaine d'emploi du présent document, ne nécessite pas de prise compte autre que celle de la pente de toiture.

5.1.1. Dispositions simplifiées pour la prise en compte des charges accidentelles

Les charges accidentelles (prenant en compte les risques résultant de fortes chutes à basse altitude) sont implicitement vérifiées lorsque la charge de neige est vérifiée pour les valeurs minimales suivantes :

Région de neige suivant carte de la figure R-II-1 des NV 65 modifiées 2009	Valeur minimale de p_{n0} + Δp_{n0} [Pa]
A1, C1, E	(neige accidentelle non applicable)
A2, B1	500
B2, C2	700
D	900

Tableau 3 – Charge accidentelle de neige

Pour la région de neige considérée, lorsque $p_{n0} + \Delta p_{n0}$ est inférieure à la valeur indiquée ci-dessus, la valeur de $p_{n0} + \Delta p_{n0}$ à prendre en compte dans les calculs correspond à la valeur $p_{n0} + \Delta p_{n0}$ indiquée dans le tableau ci-dessus et ce afin de prendre en compte la notion de charge accidentelle.

5.1.2. Dispositions vis-à-vis des accumulations de neige

Dans les zones de toiture avec accumulation de neige au sens des NV 65 modifiées, il faut être attentif à ce que la charge de neige ne dépasse pas la charge admissible du procédé.

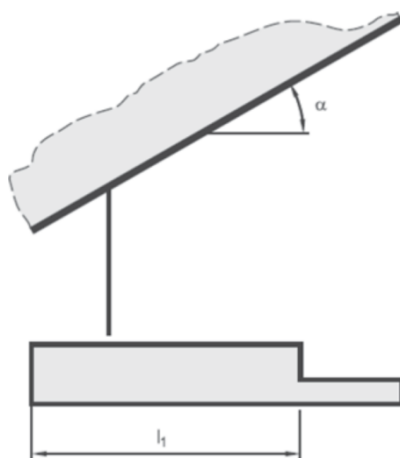


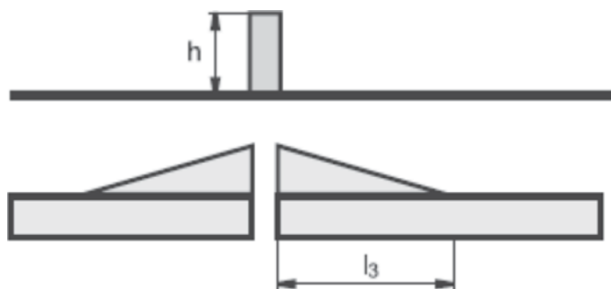
Figure 2 – Zones d'accumulations de neige pour les couvertures (source : NV 65 modifiées § II-3,31)

Altitude inférieure à 500 m	Pas de zone d'accumulation pour les installations visées par ce document
Altitude supérieure ou égale à 500 m	$l_1 = 0,05 \times (p_{n0} + \Delta p_{n0})$ avec l_1 en [cm], p_{n0} et Δp_{n0} en [Pa]

Tableau 4 – Longueurs de zone d'accumulation de neige

Région de neige suivant carte de la figure R-II-1 des NV 65 modifiées 2009	l ₁ [cm]	
	Altitude 500 m	Altitude 900 m
A1, A2	33	83
B1, B2	38	88
C1, C2	43	93
D	55	105
E	73	123

Tableau 5 – Valeurs de longueur de zone d'accumulation de neige



$$l_3 = 2h \text{ avec } 5 \text{ m} \leq l_3 \leq 15 \text{ m}$$

Figure 3 – Zones d'accumulations de neige pour les toitures-terrasses (source : NV 65 modifiées § II-3,32) ; valable pour les acrotères et les émergences de hauteur h.

5.2. Charges de vent

5.2.1. Généralités

L'action du vent normal est calculée à l'aide de la formule suivante (la valeur algébrique est négative) :

$$p_v = q_{10} \times (c_e - c_i) \times \delta \times 2,5 \frac{H + 18}{H + 60} \times k_s$$

avec :

- q_{10} est la pression dynamique normale, elle dépend de la localisation de l'ouvrage :

Zone de vent (cf. § 7.1) suivant carte de la figure R-III-1 des NV 65 modifiées 2009	q_{10} [Pa]
Zone 1	500
Zone 2	600
Zone 3	750
Zone 4	900

Tableau 6 – Pression dynamique normale en fonction de la localisation

- c_i et c_e sont les coefficients de pression intérieure et extérieure qui dépendent de la typologie de l'installation, ils sont détaillés au § 5.2.2.
- δ est le coefficient de réduction des pressions dynamiques :

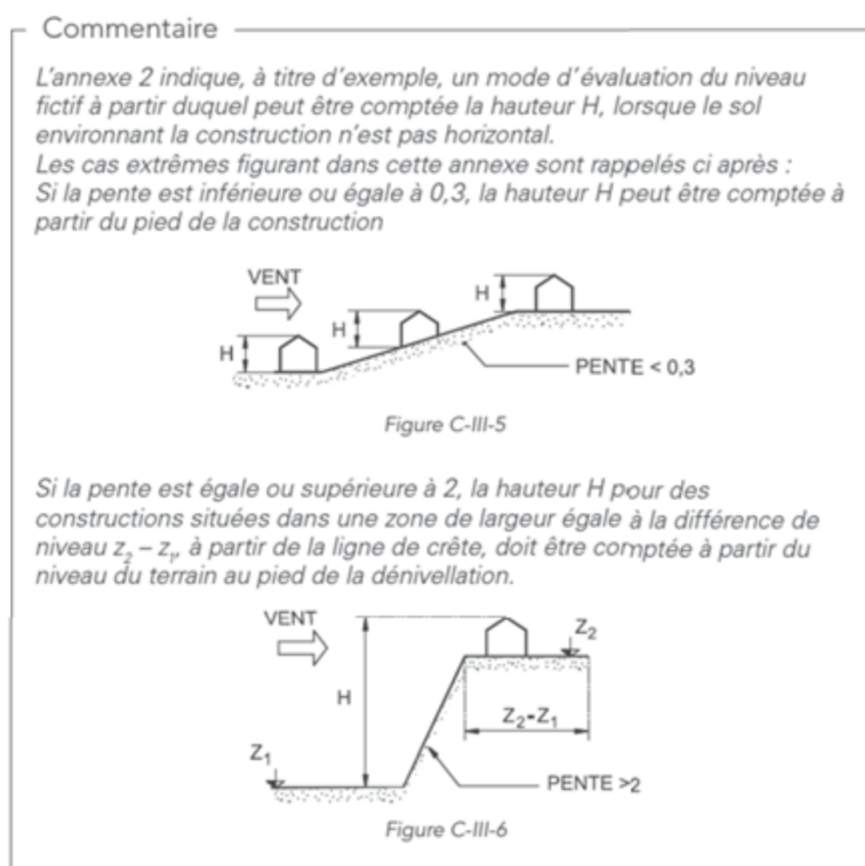
Type de procédé photovoltaïque	δ [-]
Surimposé au-dessus de couverture en grands éléments, avec fixations rapportées sur les pannes	0,92
Autres cas	1

Tableau 7 – Coefficient de réduction en fonction du type de procédé photovoltaïque

H est la hauteur en mètres du bâtiment ou de l'installation (retenir la plus grande des deux). Les dispositions des règles NV 65 modifiées (§ III-1.241) s'appliquent :

- La hauteur H est comptée à partir du sol environnant supposé sensiblement horizontal dans un grand périmètre en plaine autour de la construction.
- Pour les constructions en bordure immédiate du littoral, on adopte une pression constante entre 0 et 10 m égale à celle régnant à 10 m, donc $H \geq 10$.
- Lorsque le sol environnant la construction présente des dénivellations avec fortes pentes, la hauteur H est comptée à partir d'un niveau inférieur à celui du pied de la construction.

Extrait des règles NV 65 modifiées :



- k_s est le coefficient de site, sa valeur dépend de la zone de vent :

Site	k_s [-]			
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Site protégé / site normal	1	1	1	1
Site exposé	1,35	1,30	1,25	1,20

Définition des sites suivant NV 65 modifiées : § III-1.242

Tableau 8 – Coefficient de site en fonction de la zone de vent

5.2.2. Coefficients de pression c_i et c_e

Les coefficients sont donnés ici pour des bâtiments d'élancement courant, pour lesquels $\gamma_0 = 1$ (cf. NV 65 modifiées § III-2.12).

Type d'installation		c _i [-]		c _e [-]		
				Partie Courante	En rive	En angle
Intégré en petits et grands éléments		Bâtiment ouvert	+ 0,8	- 0,75	- 1,40	- 2,10
		Bâtiment fermé	+ 0,3			
Surimposé en	Module	0		- 0,75	- 1,40	- 2,10
petits et grands éléments	Élément de couverture en sous-face des modules	Vérification et mise en œuvre suivant DTU, Avis Technique ou DTA dont relève la couverture en sous-face des modules				
Avec :						
en rive : c _e - c _i ≥ - 2 / en angle : c _e - c _i ≥ - 3						

Tableau 9 – Installations en couverture

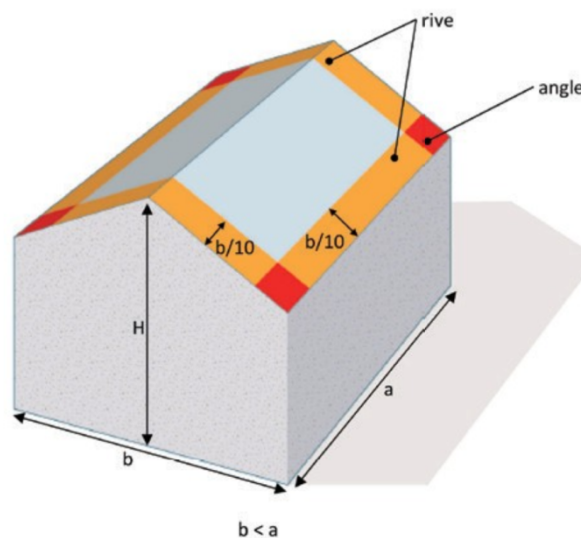


Figure 4 – Définitions des Rives et Angles pour les installations en couverture (source : NV 65 modifiées § III-2,9)

Type d'installation		c _i [-]	c _e [-]		
			Partie Courante	En rive	En angle
Surimposé sur toiture- terrasse	Modules parallèles* β = 0 ° ± 2 °	0	- 0,70	- 1,40	- 2,10
	Modules inclinés 5 ° ≤ β ≤ 10 ° (cf. note 9)	0	- 0,91	- 1,82	- 2,73
	Étanchéité en sous-face des modules	Vérification et mise en œuvre suivant l'Avis Technique du procédé photovoltaïque			
Avec :					
en rive : c _e - c _i ≥ - 2 / en angle : c _e - c _i ≥ - 3					
* : une faible inclinaison est admise compte tenu des tolérances de pose.					

Tableau 10 – Installations en toiture-terrasse

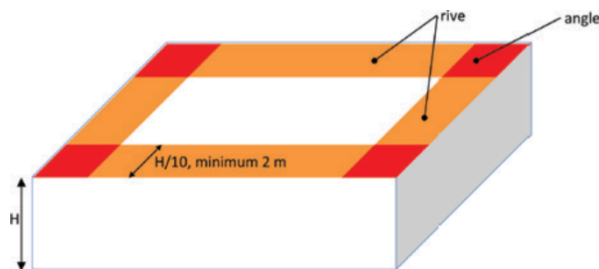


Figure 5 – Définitions des Rives et Angles pour les installations en toiture-terrasse
(source : cahier du CSTB 3563)

Note 9 : Les coefficients c_e choisis dans le cas des modules inclinés sont basés sur les données de la littérature et sur une expérience reconnue et réussie de titulaires d'Avis Technique.

Rappel : les films souples photovoltaïques sur revêtement d'étanchéité ne sont pas traités dans ce document, le cahier du CSTB 3563 leur est applicable.

6. Combinaison des charges climatiques affectant l'ouvrage avec le poids propre

Le calcul des charges descendantes et ascendantes affectant l'ouvrage est réalisé en combinant le poids propre de l'installation avec les charges de neige et de vent.

Les valeurs obtenues ici sont à comparer à celles indiquées dans le domaine d'emploi de l'Avis Technique du procédé envisagé.

Charges descendantes affectant l'ouvrage, perpendiculairement au plan de la couverture ou de la toiture :

$$p_n + m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq p_{adm}$$

Avec :

p_n : voir § 5.1 : charges de neige affectant l'ouvrage, perpendiculairement au plan des modules

m_s : voir § 4 : masse surfacique du procédé photovoltaïque exprimée en kg/m^2 indiquée dans l'Avis Technique

α : pente de toiture

p_{adm} : voir § 3.2.1 : charge descendante admissible du procédé indiquée dans l'Avis Technique

Charges ascendantes affectant l'ouvrage, perpendiculairement au plan de la couverture ou de la toiture :

$$|p_v| - m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq q_{adm}$$

Avec :

$|p_v|$: voir § 5.2 : charges de vent affectant l'ouvrage, en valeur absolue (positive)

m_s : voir § 4 : masse surfacique du procédé photovoltaïque exprimée en kg/m^2 indiquée dans l'Avis Technique

α : pente de toiture

q_{adm} : voir § 3.2.1 : charge ascendante admissible du procédé indiquée dans l'Avis Technique

Note 10 : Le calcul de p_v décrit en partie 5.2 donne une valeur négative, on utilise ici la valeur absolue de la pression de vent.

7. Tableaux précalculés et exemples

7.1. Tableaux

Les tableaux présentés dans cette partie sont établis en considérant :

- en charge descendante, une masse surfacique du procédé inférieure ou égale à 15 kg/m^2 .

- en charge ascendante, une masse surfacique du procédé supérieure ou égale à 10 kg/m².

Les valeurs de pression indiquées correspondent donc directement en charge descendante à $p_n + m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq p_{adm}$, et en charge ascendante à $|p_v| - m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq q_{adm}$.

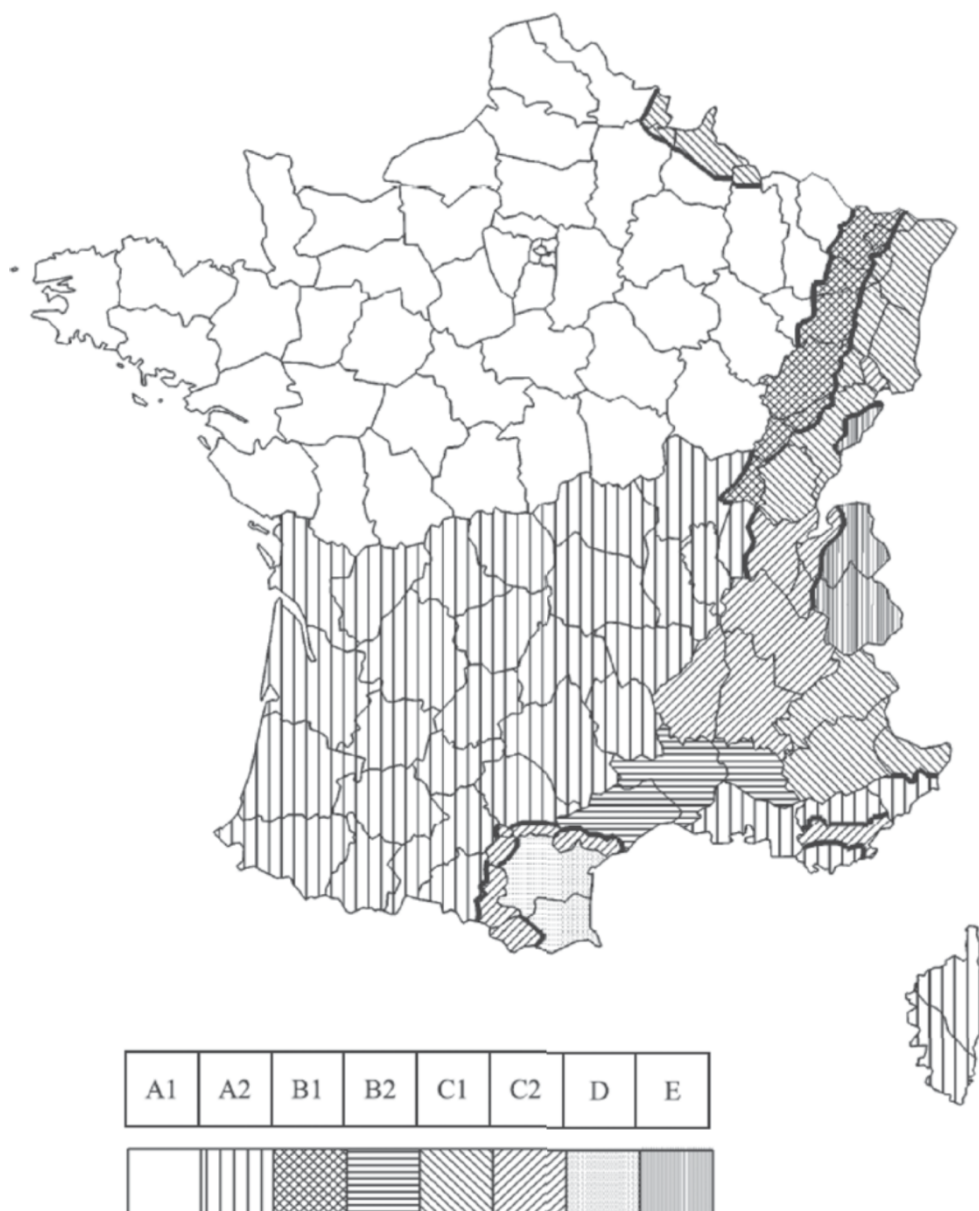
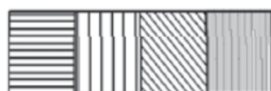
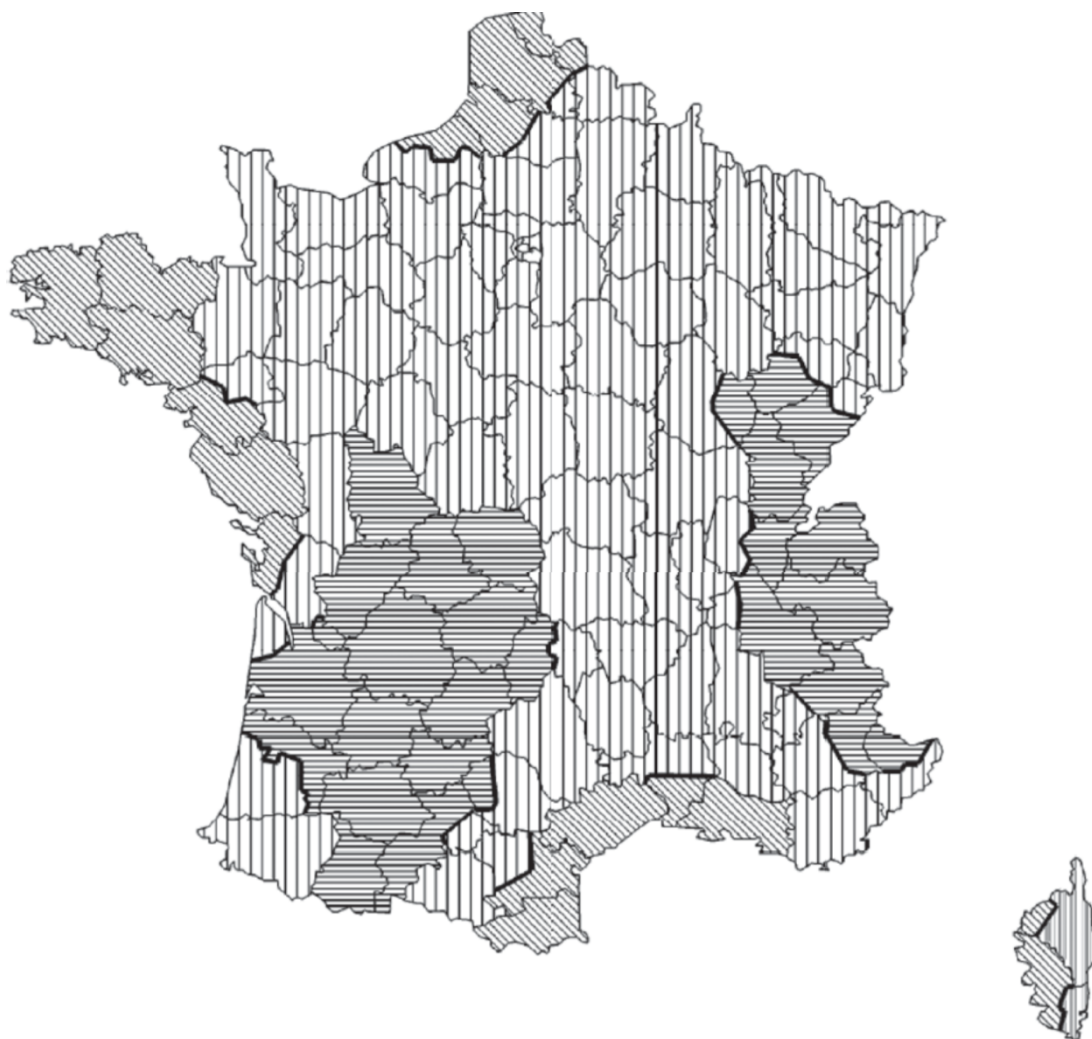


Figure 6 – Carte des régions de neige (source : NV 65 modifiées figure R-II-1)



Zones :

1	2	3	4
---	---	---	---

Figure 7 – Carte des zones de vent (source : NV 65 modifiées figure R-III-1)

Région de neige	Altitude [m]	Pente de la toiture				
		0	10 % ($\approx 6^\circ$)	25 % ($\approx 14^\circ$)	60 % ($\approx 31^\circ$)	100 % (45°)
A1	200	497	493	472	384	279
	500	797	790	755	604	429
	900	1797	1780	1696	1339	929
A2	200	647	641	613	494	354
	500	797	790	755	604	429
	900	1797	1780	1696	1339	929
B1	200	647	641	613	494	354
	500	897	889	849	678	479
	900	1897	1879	1790	1413	979
B2	200	847	839	802	641	454
	500	897	889	849	678	479
	900	1897	1879	1790	1413	979
C1	200	697	691	660	531	379
	500	997	988	943	751	529
	900	1997	1978	1884	1486	1029
C2	200	847	839	802	641	454
	500	997	988	943	751	529
	900	1997	1978	1884	1486	1029
D	200	1047	1038	990	788	554
	500	1247	1236	1178	935	654
	900	2247	2226	2119	1670	1154
E	200	1297	1285	1225	972	679
	500	1597	1582	1507	1192	829
	900	2597	2572	2449	1928	1329

Tableau 11 – Charge descendante [Pa] – tous types d'installations

Hauteur [m]	Pente α (TT : toiture-terrasse)	Position	Zone de vent (N : site normal / Ex : site exposé)							
			1		2		3		4	
			N	Ex	N	Ex	N	Ex	N	Ex
10	TT Modules parallèles $\beta = 0^\circ \pm 2^\circ$	Courante	252	375	322	448	427	558	532	658
		Rives	602	847	742	994	952	1215	1162	1414
		Angles	952	1320	1162	1540	1477	1871	1792	2170
	TT Modules inclinés $5^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$	Courante	357	516	448	612	585	755	721	885
		Rives	812	1131	994	1322	1267	1608	1540	1868
		Angles	1267	1745	1540	2031	1950	2461	2359	2850
	$\alpha = 25\%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	280	411	355	490	467	608	580	715
		Rives	605	850	745	997	955	1217	1165	1417
		Angles	955	1322	1165	1543	1480	1874	1795	2173
	$\alpha = 60\%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	291	422	366	501	478	619	591	726
		Rives	616	861	756	1008	966	1228	1176	1428
		Angles	966	1333	1176	1554	1491	1885	1806	2184
	$\alpha = 100\%$ (45°)	Courante	306	437	381	516	493	634	606	741
		Rives	631	876	771	1023	981	1243	1191	1443
		Angles	981	1348	1191	1569	1506	1899	1821	2199
15	TT Modules parallèles $\beta = 0^\circ \pm 2^\circ$	Courante	287	422	364	503	480	624	595	734
		Rives	672	942	826	1103	1057	1346	1288	1565
		Angles	1057	1461	1288	1704	1635	2068	1981	2397
	TT Modules inclinés $5^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$	Courante	403	578	503	683	653	840	803	983
		Rives	903	1253	1103	1464	1404	1779	1704	2064
		Angles	1404	1929	1704	2244	2154	2717	2605	3145
	$\alpha = 25\%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	317	462	400	548	524	678	647	796
		Rives	675	944	829	1106	1060	1349	1291	1568
		Angles	1060	1464	1291	1707	1637	2070	1984	2400
	$\alpha = 60\%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	328	473	411	559	535	689	658	807
		Rives	686	955	840	1117	1071	1360	1302	1579
		Angles	1071	1475	1302	1718	1648	2082	1995	2411
	$\alpha = 100\%$ (45°)	Courante	343	488	426	574	549	704	673	822
		Rives	701	970	855	1132	1086	1374	1317	1594
		Angles	1086	1490	1317	1732	1663	2096	2010	2425
20	TT Modules parallèles $\beta = 0^\circ \pm 2^\circ$	Courante	318	463	401	550	525	681	650	800
		Rives	733	1024	900	1199	1149	1461	1398	1698
		Angles	1149	1585	1398	1847	1772	2240	2146	2595
	TT Modules inclinés $5^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$	Courante	442	631	550	745	712	915	875	1069
		Rives	983	1361	1199	1588	1523	1928	1847	2236
		Angles	1523	2090	1847	2431	2333	2941	2820	3403
	$\alpha = 25\%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	350	506	439	600	573	740	706	867
		Rives	736	1027	902	1202	1152	1463	1401	1700
		Angles	1152	1588	1401	1850	1775	2243	2149	2598
	$\alpha = 60\%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	361	517	450	611	584	751	717	878
		Rives	747	1038	913	1213	1163	1474	1412	1711
		Angles	1163	1599	1412	1861	1786	2254	2160	2609
	$\alpha = 100\%$ (45°)	Courante	376	532	465	625	599	766	732	893
		Rives	762	1053	928	1227	1178	1489	1427	1726
		Angles	1178	1614	1427	1876	1801	2269	2175	2624

Tableau 12 – Charge ascendante [Pa] – installation surimposée – cas général

Hauteur [m]	Pente	Position	Zone de vent (N : site normal / Ex : site exposé)							
			1		2		3		4	
			N	Ex	N	Ex	N	Ex	N	Ex
10	$\alpha = 25 \%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	250	371	319	443	422	552	526	650
		Rives	549	774	678	909	871	1112	1064	1296
		Angles	871	1209	1064	1412	1354	1716	1644	1991
	$\alpha = 60 \%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	261	382	330	454	433	563	537	661
		Rives	560	785	689	921	882	1123	1075	1307
		Angles	882	1220	1075	1423	1365	1727	1655	2002
	$\alpha = 100 \%$ (45°)	Courante	276	396	345	469	448	578	552	676
		Rives	575	800	703	935	897	1138	1090	1322
		Angles	897	1235	1090	1438	1380	1742	1669	2017
15	$\alpha = 25 \%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	284	417	360	497	474	616	588	725
		Rives	613	861	755	1010	967	1233	1180	1435
		Angles	967	1339	1180	1562	1499	1897	1818	2200
	$\alpha = 60 \%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	295	428	371	508	485	627	599	736
		Rives	624	872	766	1021	978	1244	1191	1446
		Angles	978	1350	1191	1574	1510	1908	1829	2211
	$\alpha = 100 \%$ (45°)	Courante	310	443	386	523	500	642	614	750
		Rives	639	887	781	1036	993	1259	1206	1461
		Angles	993	1365	1206	1588	1525	1923	1843	2226
20	$\alpha = 25 \%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	315	458	396	544	519	673	642	790
		Rives	670	937	823	1098	1052	1339	1281	1557
		Angles	1052	1453	1281	1694	1626	2056	1970	2383
	$\alpha = 60 \%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	326	469	408	555	530	684	653	801
		Rives	681	948	834	1109	1063	1350	1292	1568
		Angles	1063	1464	1292	1705	1637	2067	1981	2394
	$\alpha = 100 \%$ (45°)	Courante	340	484	422	570	545	699	668	816
		Rives	695	963	848	1124	1078	1365	1307	1582
		Angles	1078	1479	1307	1720	1651	2081	1995	2408

Tableau 13 – Charge ascendante [Pa] – installation surimposée au-dessus de couverture en grands éléments, avec fixations rapportées sur les pannes ($\delta = 0,92$)

Hauteur [m]	Pente	Position	Zone de vent (N : site normal / Ex : site exposé)							
			1		2		3		4	
			N	Ex	N	Ex	N	Ex	N	Ex
10	$\alpha = 25\%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	430	614	535	724	692	889	850	1039
		Rives	755	1052	925	1231	1180	1499	1435	1741
		Angles	1105	1525	1345	1777	1705	2155	2065	2497
	$\alpha = 60\%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	441	625	546	735	703	900	861	1050
		Rives	766	1063	936	1242	1191	1510	1446	1752
		Angles	1116	1536	1356	1788	1716	2166	2076	2508
	$\alpha = 100\%$ (45°)	Courante	456	639	561	750	718	915	876	1065
		Rives	781	1078	951	1257	1206	1524	1461	1767
		Angles	1131	1551	1371	1803	1731	2181	2091	2523
15	$\alpha = 25\%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	482	684	598	806	771	988	944	1152
		Rives	840	1167	1027	1363	1307	1658	1588	1924
		Angles	1225	1687	1489	1964	1885	2380	2281	2756
	$\alpha = 60\%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	493	696	609	817	782	999	955	1163
		Rives	851	1178	1038	1374	1318	1669	1599	1935
		Angles	1236	1698	1500	1975	1896	2391	2292	2767
	$\alpha = 100\%$ (45°)	Courante	508	710	624	832	797	1013	970	1178
		Rives	866	1193	1053	1389	1333	1684	1614	1950
		Angles	1251	1713	1515	1990	1911	2406	2307	2782
20	$\alpha = 25\%$ ($\approx 14^\circ$)	Courante	528	746	653	877	840	1074	1027	1251
		Rives	914	1267	1116	1479	1419	1797	1722	2085
		Angles	1330	1829	1615	2128	2042	2577	2470	2983
	$\alpha = 60\%$ ($\approx 31^\circ$)	Courante	539	758	664	888	851	1085	1038	1263
		Rives	925	1279	1127	1491	1430	1808	1733	2096
		Angles	1341	1840	1626	2139	2053	2588	2481	2994
	$\alpha = 100\%$ (45°)	Courante	554	772	679	903	866	1100	1053	1277
		Rives	940	1293	1142	1505	1445	1823	1748	2111
		Angles	1356	1854	1641	2154	2068	2603	2496	3009

Tableau 14 – Charge ascendante [Pa] – installation intégrée – bâtiment fermé

Hauteur [m]	Pente	Position	Zone de vent (N : site normal / Ex : site exposé)							
			1		2		3		4	
			N	Ex	N	Ex	N	Ex	N	Ex
10	$\alpha = 25 \% (\approx 14^\circ)$	Courante	680	951	835	1114	1067	1358	1300	1579
		Rives	905	1255	1105	1465	1405	1780	1705	2065
		Angles	1355	1862	1645	2167	2080	2624	2515	3037
	$\alpha = 60 \% (\approx 31^\circ)$	Courante	691	962	846	1125	1078	1369	1311	1590
		Rives	916	1266	1116	1476	1416	1791	1716	2076
		Angles	1366	1873	1656	2178	2091	2635	2526	3048
	$\alpha = 100 \% (45^\circ)$	Courante	706	977	861	1140	1093	1384	1326	1605
		Rives	931	1281	1131	1491	1431	1806	1731	2091
		Angles	1381	1888	1671	2193	2106	2649	2541	3063
15	$\alpha = 25 \% (\approx 14^\circ)$	Courante	757	1056	928	1235	1184	1503	1439	1746
		Rives	1005	1390	1225	1621	1555	1967	1885	2281
		Angles	1500	2058	1819	2393	2297	2895	2776	3350
	$\alpha = 60 \% (\approx 31^\circ)$	Courante	768	1067	939	1246	1195	1514	1450	1757
		Rives	1016	1401	1236	1632	1566	1978	1896	2292
		Angles	1511	2069	1830	2404	2308	2907	2787	3361
	$\alpha = 100 \% (45^\circ)$	Courante	783	1082	954	1261	1209	1529	1465	1772
		Rives	1031	1416	1251	1647	1581	1993	1911	2307
		Angles	1526	2084	1845	2419	2323	2921	2802	3376
20	$\alpha = 25 \% (\approx 14^\circ)$	Courante	825	1147	1009	1341	1285	1630	1561	1893
		Rives	1092	1508	1330	1757	1686	2131	2042	2470
		Angles	1627	2229	1971	2591	2488	3133	3004	3624
	$\alpha = 60 \% (\approx 31^\circ)$	Courante	836	1158	1020	1352	1296	1641	1572	1904
		Rives	1103	1519	1341	1768	1697	2142	2053	2481
		Angles	1638	2240	1982	2602	2499	3144	3015	3635
	$\alpha = 100 \% (45^\circ)$	Courante	851	1173	1035	1366	1311	1656	1587	1919
		Rives	1118	1534	1356	1783	1712	2157	2068	2496
		Angles	1653	2255	1997	2617	2513	3159	3030	3650

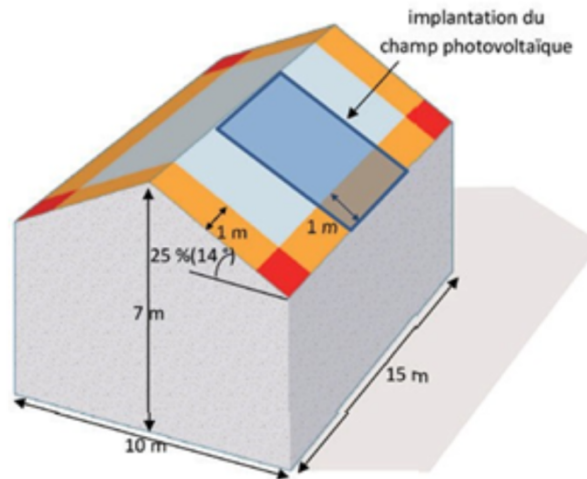
Tableau 15 – Charge ascendante [Pa] – installation intégrée – bâtiment ouvert

7.2. Exemples de calcul

7.2.1. Exemple de calcul pour une installation photovoltaïque intégrée en couverture en petits éléments de maison individuelle

Maison située à Grasse (Alpes maritimes) à une altitude de 200 m : région A2 de neige, zone 2 de vent en plaine (site normal).

Bâtiment fermé dont la hauteur au faîtage est de 7 m entouré d'un terrain de pente inférieure à 30 %. Largeur parallèlement à l'égout de 15 m du pan de toiture sur lequel le champ photovoltaïque est installé.



Pente de toiture de 25 % (14 °).

Le champ photovoltaïque, large de 5 m, est installé du faîtage à l'égout, centré sur le pan de toiture, laissant des tuiles à droite sur une largeur de 5 m et à gauche sur une largeur de 5 m également.

L'Avis Technique du procédé photovoltaïque utilisé indique au chapitre 1.1 (Domaine d'emploi accepté) du Dossier technique établi par le demandeur :

Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :

- sur des toitures soumises à des charges climatiques sous neige normale (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1 400 Pa,
- sur des toitures soumises à des charges climatiques sous vent normal (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 900 Pa.

Par conséquent, selon le § 3.2.1 de cette note d'information, $p_{adm} = 1\,400\text{ Pa}$ et $q_{adm} = 900\text{ Pa}$.

L'Avis Technique du procédé photovoltaïque utilisé indique au chapitre 5 (Caractéristiques dimensionnelles) du Dossier technique établi par le demandeur : Masse spécifique (kg/m^2) de 11 kg/m^2 .

Selon le § 4 de cette note d'information : $m_s = 11\text{ kg/m}^2$.

On calcule selon le § 5.1 de cette note d'information :

$$p_n = (p_{n0} + \Delta p_{n0}) \times \mu \times \cos^2 \alpha$$

avec :

- $\cos^2 \alpha = 0,94$ (pente de toiture $\alpha = 14^\circ$)
 - $p_{n0} = 350\text{ Pa}$ (région A2 de neige)
 - $\Delta p_{n0} = 0$ (altitude $A = 200$)
 - $\mu = 1$ (règle simplifiée)
 - charge accidentelle = $500\text{ Pa} > 350\text{ Pa} + 0\text{ Pa}$
 - à retenir pour $p_{n0} + \Delta p_{n0}$: 500 Pa
 - pas de zone d'accumulation (altitude inférieure à 500 m)
- $p_n = 470\text{ Pa}$

On calcule selon le § 5.2 de cette note d'information :

$$p_v = q_{10} \times (c_e - c_i) \times \delta \times 2,5 \frac{H + 18}{H + 60} \times k_s$$

avec :

- $q_{10} = 600\text{ Pa}$ (zone 2 de vent)
 - $\delta = 1$ (autres cas)
 - $H = 7\text{ m}$ (hauteur du bâtiment)
 - $k_s = 1$ (site normal)
 - $c_i = +0,3$ (bâtiment fermé)
 - $c_e = -1,40$ (implantation en rive basse)
- $p_v = -951\text{ Pa}$

On vérifie enfin selon le § 6 de cette note d'information, que les charges climatiques affectant l'ouvrage avec le poids propre sont inférieures ou égales à celles du domaine d'emploi accepté de l'Avis Technique :

$$p_n + m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq p_{adm}$$

soit : 574 Pa ≤ 1 400 Pa

le résultat est satisfaisant

Par défaut, on peut utiliser le Tableau 11 (Charge descendante [Pa] – tous types d'installations) qui donne 613 Pa (au lieu des 574 Pa calculés). Le résultat ≤ 1 400 Pa reste donc satisfaisant :

Région de neige	Altitude [m]	Pente de la toiture				
		0	10% (≈ 6°)	25% (≈ 14°)	60% (≈ 31°)	100% (45°)
A1	200	497	493	472	384	279
	500	797	790	755	604	429
	900	1797	1780	1696	1339	929
A2	200	647	641	613	494	354
	500	797	790	755	604	429
	900	1797	1780	1696	1339	929

$$|p_v| - m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq q_{adm}$$

soit : 846 Pa ≤ 900 Pa

le résultat est satisfaisant

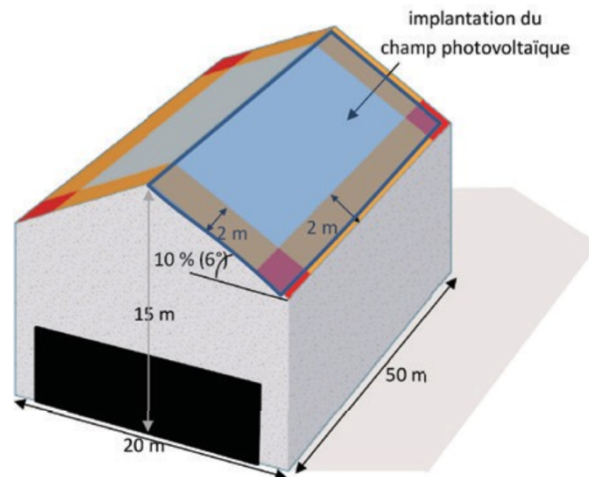
Par défaut, on peut utiliser le Tableau 14 (Charge ascendante [Pa] – installation intégrée – bâtiment fermé) qui donne 925 Pa (au lieu des 846 Pa calculés). Dans ce cas, le résultat n'est pas satisfaisant (925 Pa > 900 Pa) et il conviendra soit de modifier l'implantation du champ photovoltaïque en évitant par exemple une pose en rive de toiture, soit de réaliser le calcul complet pour s'assurer de la compatibilité du procédé photovoltaïque avec l'ouvrage visé :

hauteur [m]	pente	position	Zone de vent (N : site normal / Ex : site exposé)						
			1		2		3		N
			N	Ex	N	Ex	N	Ex	
10	25% (≈ 14°)	courante	430	614	535	724	692	889	850
		rives	755	1052	925	1231	1180	1499	1435
		angles	1105	1525	1345	1777	1705	2155	2065
	60% (≈ 31°)	courante	441	625	546	735	703	900	861
		rives	766	1063	936	1242	1191	1510	1446
		angles	1116	1536	1356	1788	1716	2166	2076
	100% (45°)	courante	456	639	561	750	718	915	876
		rives	781	1078	951	1257	1206	1524	1461

7.2.2. Exemple de calcul pour une installation photovoltaïque surimposée au-dessus de grands éléments de couverture en bâtiment ouvert

Bâtiment industriel situé à Gérardmer (Vosges) à une altitude de 500 m : région C2 de neige, zone 2 de vent dans une vallée où le vent s'engouffre (site exposé).

Bâtiment ouvert dont la hauteur au faîtage est de 15 m entouré d'un terrain de pente inférieure à 30 %. Largeur parallèlement à l'égout de 50 m du pan de toiture sur lequel le champ photovoltaïque est installé.



Pente de toiture de 10 % (6 °).

Le champ photovoltaïque, installé en toiture complète, est surimposé au-dessus d'une couverture en plaques nervurées en acier, avec fixations rapportées sur les pannes.

L'Avis Technique du procédé photovoltaïque utilisé indique au chapitre 1.1 (Domaine d'emploi accepté) du Dossier technique établi par le demandeur :

Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :

- sur des toitures soumises à des charges climatiques sous neige normale (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1 800 Pa,
- sur des toitures soumises à des charges climatiques sous vent normal (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1 600 Pa.

Par conséquent, selon le § 3.2.1 de cette note d'information, $p_{adm} = 1\,800\text{ Pa}$ et $q_{adm} = 1\,600\text{ Pa}$.

L'Avis Technique du procédé photovoltaïque utilisé indique au chapitre 5 (Caractéristiques dimensionnelles) du Dossier technique établi par le demandeur : Masse spécifique (kg/m^2) de 13 kg/m^2 .

Selon le § 4 de cette note d'information : $m_s = 13\text{ kg/m}^2$.

On calcule selon le § 5.1 de cette note d'information :

$$p_n = (p_{n0} + \Delta p_{n0}) \times \mu \times \cos^2 \alpha$$

avec :

- $\cos^2 \alpha = 0,989$ (pente de toiture $\alpha = 6^\circ$)
 - $p_{n0} = 550\text{ Pa}$ (région C2 de neige)
 - $\Delta p_{n0} = 300\text{ Pa}$ (altitude $A = 500$)
 - $\mu = 1$ (règle simplifiée)
 - charge accidentelle = $700\text{ Pa} < 550\text{ Pa} + 300\text{ Pa}$
 - à retenir pour $p_{n0} + \Delta p_{n0}$: 850 Pa
 - zone d'accumulations de neige 43 cm : attention, le champ photovoltaïque ne doit pas être relié à l'égout et doit rester distant d'au moins 43 cm de l'égout.
- $p_n = 840\text{ Pa}$

On calcule selon le § 5.2 de cette note d'information :

$$p_v = q_{10} \times (c_e - c_i) \times \delta \times 2,5 \frac{H + 18}{H + 60} \times k_s$$

avec :

- $q_{10} = 600\text{ Pa}$ (zone 2 de vent)
- $\delta = 0,92$ (surimposé au-dessus de couverture en grands éléments, avec fixations rapportées sur les pannes)
- $H = 15\text{ m}$ (hauteur du bâtiment)
- $k_s = 1,30$ (site exposé)
- $c_i = 0$ (surimposé)

- $C_e = -2,10$ (implantation en Angles)
 $p_v = -1\,657\text{ Pa}$

On vérifie enfin selon le § 6 de cette note d'information, que les charges climatiques affectant l'ouvrage avec le poids propre sont inférieures ou égales à celles du domaine d'emploi accepté de l'Avis Technique :

$$p_n + m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq p_{adm}$$

$$\text{soit : } 966\text{ Pa} \leq 1\,800\text{ Pa}$$

le résultat est satisfaisant sous réserve de respecter les 43 cm minimum d'écart à l'égout

Par défaut, on peut utiliser le Tableau 11 (Charge descendante [Pa] – tous types d'installations) qui donne 988 Pa (au lieu des 966 Pa calculés). Le résultat $\leq 1\,800\text{ Pa}$ reste donc satisfaisant :

	200	847	839
C2	500	997	988
	900	1997	1978

$$|p_v| - m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq q_{adm}$$

$$\text{soit : } 1\,530\text{ Pa} \leq 1\,600\text{ Pa}$$

le résultat est satisfaisant

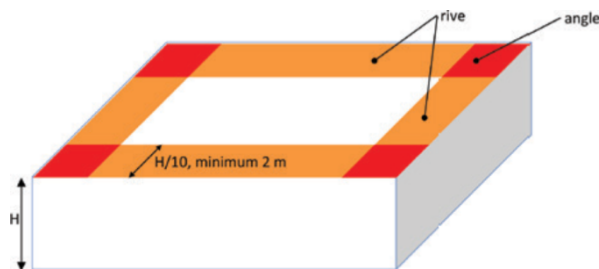
Par défaut, on peut utiliser le Tableau 13 (Charge ascendante [Pa] – installation surimposée au-dessus de couverture en grands éléments, avec fixations rapportées sur les pannes ($\delta = 0,92$) qui donne 1 562 Pa (au lieu des 1 530 Pa calculés). Le résultat $\leq 1\,600\text{ Pa}$ reste donc satisfaisant :

hauteur [m]	pente	position	Zone de vent (N : site normal / Ex : site exposé)							
			1		2		3		4	
			N	Ex	N	Ex	N	Ex	N	Ex
10	25% ($\approx 14^\circ$)	courante	250	371	319	443	422	552	526	650
		rives	549	774	678	909	871	1112	1064	1296
		angles	871	1209	1064	1412	1354	1716	1644	1991
	60% ($\approx 31^\circ$)	courante	261	382	330	454	433	563	537	661
		rives	560	785	689	921	882	1123	1075	1307
		angles	882	1220	1075	1423	1365	1727	1655	2002
	100% (45°)	courante	276	396	345	469	448	578	552	676
		rives	575	800	703	935	897	1138	1090	1322
		angles	897	1235	1090	1438	1380	1742	1669	2017
15	25% ($\approx 14^\circ$)	courante	284	417	360	497	474	616	588	725
		rives	613	861	755	1010	967	1233	1180	1435
		angles	967	1339	1180	1562	1499	1897	1818	2200
	60% ($\approx 31^\circ$)	courante	295	428	371	508	485	627	599	736
		rives	624	872	766	1021	978	1244	1191	1446
		angles	978	1350	1191	1574	1510	1908	1829	2211

7.2.3. Exemple de calcul pour une installation photovoltaïque surimposée sur toiture-terrasse

Centre commercial situé en région parisienne à une altitude de 100 m : région A1 de neige, zone 2 de vent (site normal).

Bâtiment fermé dont la hauteur au faîtiage est de H=10 m entouré d'un terrain de pente inférieure à 30 %. Base de 25 m x 25 m.



Pente de toiture de 3 % (1,7 °).

Le champ photovoltaïque, installé en toiture, sans acrotère, est composé de modules inclinés à 10 ° par rapport au plan de la toiture et surimposés au-dessus du complexe d'étanchéité, en laissant 2 m d'espace entre le bord de toiture et les modules photovoltaïques.

L'Avis Technique du procédé photovoltaïque utilisé indique au chapitre 1.1 (Domaine d'emploi accepté) du Dossier technique établi par le demandeur :

Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :

- sur des toitures soumises à des charges climatiques sous neige normale (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 1 100 Pa,
- sur des toitures soumises à des charges climatiques sous vent normal (selon les règles NV 65 modifiées) n'excédant pas 500 Pa.

Par conséquent, selon le § 3.2.1 de cette note d'information, $p_{adm} = 1\,100\text{ Pa}$ et $q_{adm} = 500\text{ Pa}$.

L'Avis Technique du procédé photovoltaïque utilisé indique dans les caractéristiques dimensionnelles de la première gamme de modules référencée dans la Grille de modules associée à l'Avis Technique : Masse spécifique (kg/m^2) de 11 kg/m^2 .

Selon le § 4 de cette note d'information : $m_s = 11\text{ kg/m}^2$.

On calcule selon le § 5.1 de cette note d'information :

$$p_n = (p_{n0} + \Delta p_{n0}) \times \mu \times \cos^2 \alpha$$

avec :

- $\cos^2 \alpha = 0,999$ (pente de toiture $\alpha = 1,7^\circ$)
- $p_{n0} = 350\text{ Pa}$ (région A1 de neige)
- $\Delta p_{n0} = 0$ (altitude $A < 200\text{ m}$)
- $\mu = 1$ (règle simplifiée)
- charge accidentelle : N/A (région A1)
- à retenir pour $p_{n0} + \Delta p_{n0}$: 350 Pa
- zone d'accumulations : N/A (pas d'acrotère)
- $p_n = 349\text{ Pa}$

On calcule selon le § 5.2 de cette note d'information :

$$p_v = q_{10} \times (c_e - c_i) \times \delta \times 2,5 \frac{H + 18}{H + 60} \times k_s$$

avec :

- $q_{10} = 600\text{ Pa}$ (zone 2 de vent)
- $\delta = 1$ (autres cas)
- $H = 10\text{ m}$ (hauteur du bâtiment)
- $k_s = 1$ (site normal)
- $c_i = 0$ (surimposé)
- $c_e = -0,91$ (implantation en partie courante)
- $p_v = -546\text{ Pa}$

On vérifie enfin selon le § 6 de cette note d'information, que les charges climatiques affectant l'ouvrage avec le poids propre sont inférieures ou égales à celles du domaine d'emploi accepté de l'Avis Technique :

$$p_n + m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq p_{adm}$$

soit : 457 Pa ≤ 1 100 Pa
le résultat est satisfaisant

Par défaut, on peut utiliser le Tableau 11 (Charge descendante [Pa] – tous types d'installations) qui donne 497 Pa (au lieu des 457 Pa calculés). Le résultat ≤ 1 100 Pa reste donc satisfaisant :

Région de neige	Altitude [m]	Pente de la toiture		
		0	10 % (≈ 6°)	25 % (≈ 14°)
A1	200	497	493	472
	500	797	790	755
	900	1797	1780	1696
A2	200	647	641	613
	500	797	790	755

$$|p_v| - m_s \times \cos \alpha \times 9,81 \leq q_{adm}$$

soit : 438 Pa ≤ 500 Pa
le résultat est satisfaisant

Par défaut, on peut utiliser le Tableau 12 (Charge ascendante [Pa] – installation surimposée – cas général) qui donne 448 Pa (au lieu des 438 Pa calculés). Le résultat ≤ 500 Pa reste donc satisfaisant :

Hauteur [m]	Pente α (TT : toiture-terrasse)	Position	Zone de vent (N : site normal / Ex : site exposé)							
			1		2		3		4	
			N	Ex	N	Ex	N	Ex	N	Ex
	TT Modules parallèles β < 2°	Courante	252	375	322	448	427	558	532	658
		Rives	602	847	742	994	952	1215	1162	1414
		Angles	952	1320	1162	1540	1477	1871	1792	2170
	TT Modules inclinés 5° ≤ β ≤ 10°	Courante	357	516	448	612	585	755	721	885
		Rives	812	1131	994	1322	1267	1608	1540	1868
		Angles	1267	1745	1540	2031	1950	2461	2359	2850

8. Annexe : Principes généraux – compléments

Cette annexe fournit des explications complémentaires concernant les principes ayant guidé la rédaction du présent document. L'objet de cette annexe est :

- d'apporter des précisions sur les éléments ayant été volontairement simplifiés dans le document,
- de fournir des indications sur certains éléments qui sont évalués dans les Avis Techniques des procédés photovoltaïques.

8.1. Règles de calculs

Le présent document ne vise que les ouvrages dimensionnés selon le principe des contraintes admissibles avec comme référentiel climatique les Règles NV 65 modifiées. Tous les Avis Techniques photovoltaïques utilisent en effet (à la date de rédaction de ce document) ces règles, largement utilisées par les professionnels de la couverture, pour définir le domaine d'emploi des procédés photovoltaïques. Ce chapitre aborde la question du choix des méthodes de justification de la résistance aux charges climatiques.

8.1.1. Définitions

- **Ouvrage**

De façon générale, mise en œuvre de matériaux sur de l'ouvrage, travaux exécutés sur ces matériaux (par exemple ciselage, ponçage), et résultat concret des travaux.

Exemples d'ouvrages distincts : couverture, charpente

- **Procédé**

Un procédé peut constituer un ouvrage complet ou une partie de l'ouvrage, exemples :

- procédé photovoltaïque intégré mis en œuvre en toiture partielle : l'ouvrage de couverture est constitué de 2 procédés distincts.
- procédé photovoltaïque intégré mis en œuvre en toiture complète : l'ouvrage de couverture et le procédé se confondent.
- procédé photovoltaïque rigide en surimposition couverture grands éléments :
 - si le procédé est fixé sur l'élément de couverture : l'ouvrage de couverture est constitué de 2 procédés distincts.
 - si la fixation du procédé est rapportée directement sur la charpente : 2 procédés distincts sont présents pour réaliser l'ouvrage de couverture. Toutefois, si les 2 procédés sont parfaitement indépendants, on peut également considérer que l'on est en présence de 2 ouvrages distincts.
- procédé photovoltaïque rigide en surimposition couverture petits éléments : si les petits éléments sont inclus dans les éléments constitutifs, il s'agit d'1 ouvrage de couverture ayant 2 procédés, sinon ce sont 2 ouvrages.

- **Calcul aux états limites**

Exemples de documents de référence pour le calcul aux états limites : Eurocodes, N84, BAEL.

- **Calcul aux contraintes admissibles**

Exemples de documents de référence pour le calcul aux contraintes admissibles : NF P21-400, NV 65, CB71, AL76, CM66.

8.1.2. Incompatibilité des méthodes de calculs aux états limites et des méthodes de calculs aux contraintes admissibles

La publication des Eurocodes et de leurs principes induit un dimensionnement des ouvrages selon le principe des états limites. Il a fallu clarifier les liens entre cette méthode et les méthodes de calcul aux contraintes admissibles préexistantes pour de nombreux ouvrages.

La note d'information du GCNorBât du 19 mars 2014 précise :

« Les Eurocodes et règles DTU étant basés sur des méthodes et des hypothèses différentes, le panachage est à éviter car il peut conduire à des aberrations. »

Il est donc impossible de « panacher » ces deux méthodes de calcul sur un même ouvrage.

Exemple n° 1 : sur un même bâtiment, il est aberrant :

- de justifier un procédé photovoltaïque mis en œuvre en couverture partielle en utilisant un calcul aux états limites (issu des Eurocodes) ;
- et en même temps de justifier la partie traditionnelle de la couverture aux contraintes admissibles (en utilisant les NV 65).

Exemple n° 2 : sur un même bâtiment, il est possible :

- de justifier une charpente aux états limites, en appliquant l'ensemble des Eurocodes pertinents ;
- et en même temps de justifier un procédé photovoltaïque en couverture complète selon un calcul aux contraintes admissibles (en utilisant notamment les NV 65).

Il est impératif que les textes utilisés dans chacun des calculs indépendants fassent partie du même corpus et de ne pas chercher à les rapprocher ni à les panacher.

En tout état de cause, les procédés photovoltaïques n'étant pas des éléments structuraux, les Eurocodes ne leur sont pas nécessairement applicables :

Extrait de l'annexe nationale

à l'Eurocode 0 NF EN 1990/NA:2011 :

AN 1 Application nationale de l'Annexe A1

Clause A1.1 Domaine d'application

Les dispositions de la norme NF EN 1990 ne s'appliquent pas aux éléments de construction non structuraux.

Note : C'est le cas de certains éléments d'enveloppe ou de partition dans le bâtiment. Ces derniers font l'objet de dispositions spécifiques dans les normes DTU ou les Avis Techniques.

Cas particuliers

Certains procédés pourraient présenter des particularités techniques permettant de justifier le procédé photovoltaïque et les autres composants de l'ouvrage en utilisant des méthodes de calcul différentes.

Si ce cas se présentait, il serait précisé dans l'Avis Technique du procédé.

8.2. Essai suivant la norme NF EN 12179

8.2.1. Généralités

L'un des moyens généralement accepté par le GS n° 21, mais pas nécessairement suffisant, pour justifier de la tenue mécanique d'un procédé photovoltaïque aux charges climatiques est un essai réalisé suivant la norme NF EN 12179.

Pour les charges de neige, les résultats d'essais de charges statiques (IEC 61215) peuvent également être exploités.

À la suite de l'essai, l'application de coefficients de sécurité adaptés permet de définir les charges climatiques maximales du procédé.

8.2.2. Principe général de l'essai et son interprétation

- Étape 1 : Définition de la maquette d'essai suite la concertation entre le demandeur et l'instructeur du dossier.
- Étape 2 : Le demandeur définit la pression cible P_c .
- Étape 3 : L'essai est conduit dans un premier temps à une pression égale à $1,5 P_c$. Si à ce niveau de pression aucune déformation permanente de la maquette n'est constatée l'essai peut être poursuivi (étape 4). Dans le cas contraire, un nouvel essai sera à faire en diminuant par exemple la pression cible P_c .
- Étape 4 : L'essai est conduit jusqu'à la pression de ruine P_r .
- L'interprétation de l'essai s'effectue de la manière suivante :
 - $p_{adm} = \min (P_r/\gamma_1 ; P_c)$
 - $q_{adm} = \min (P_r/\gamma_2 ; P_c)$
 - où γ_1 et γ_2 sont des coefficients de sécurité dont les valeurs sont définies par le GS n°21.

Note : Dans le cas de modules photovoltaïques inclinés, la maquette devra inclure l'inclinaison revendiquée des modules.

8.2.3. Coefficients de sécurité γ_1 et γ_2 habituellement utilisés

Pour un procédé dans lequel aucune pièce en matière polymère n'intervient dans la tenue mécanique, la valeur maximale du coefficient de sécurité est de $\gamma_1 = 3,3$ pour la neige et $\gamma_2 = 3,5$ pour le vent.

Les coefficients de sécurité peuvent être réduits en fonction du mode de ruine. Ceci est à examiner au cas par cas lors de l'instruction de l'Avis Technique, selon l'argumentation du demandeur, et à valider par le GS n° 21.

Mode de ruine couramment rencontré	Coefficient γ_1 (neige)	Coefficient γ_2 (vent)
Flexion d'élément en acier de nuance minimale S 320 GD ou en inox selon la norme NF EN 10088 d'épaisseur \geq à 1,50 mm	2	2
Flexion d'élément en aluminium de série supérieure ou égale à 3000 et présentant une limite d'élasticité garantie $R_{p0,2}$ supérieure ou égale à 110 MPa, d'épaisseur \geq à 1,50 mm	2	2
Casse du verre	3,3	3,5
Arrachement de vis dans une panne acier à chaud de nuance minimale S 235 JR et d'épaisseur \geq à 3 mm	-	2
Arrachement de vis dans une panne mince en acier de nuance minimale S 320 GD et d'épaisseur \geq à 1,50 mm et $<$ à 3 mm	-	2,4
Arrachement de vis dans un support aluminium de série supérieure ou égale à 3000 et présentant une limite d'élasticité garantie $R_{p0,2}$ supérieure ou égale à 110 MPa, d'épaisseur \geq à 2,5 mm	-	2,4
Arrachement de vis dans une panne bois de section minimale 60 x 80 mm avec ancrage de la fixation de 50 mm minimum	-	2,4
Échappement du module photovoltaïque complet hors du système de montage	3	3

Tableau 16 – Valeurs indicatives de coefficients γ_1 et γ_2 habituellement utilisées

8.3. Justification des efforts parallèles à la couverture

Les actions de neige entraînent des efforts parallèles au plan de la couverture.

La résistance du procédé photovoltaïque à ces sollicitations est justifiée par le titulaire de l'Avis Technique.

Ces justifications font partie des éléments pris en compte par le GS n° 21 pour rendre son avis et sont prises en compte pour la définition du domaine d'emploi de l'Avis technique.

Si besoin :

- Le domaine d'emploi de l'Avis peut être limité.
- L'Avis précise les efforts complémentaires générés par le procédé photovoltaïque qui doivent être pris en compte par le charpentier.

8.4. Justification de la résistance aux séismes

La résistance du procédé photovoltaïque aux actions sismiques est justifiée par le titulaire de l'Avis Technique.

Ces justifications font partie des éléments pris en compte par le GS n° 21 pour rendre son avis.

En tant qu'élément non structural du cadre bâti, un procédé photovoltaïque peut se justifier sur la base du Guide ENS PS (Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti – Justifications parasismiques pour le bâtiment « à risque normal »). Celui-ci explicite une méthode simplifiée pour l'application des clauses réglementaires (arrêté du 22 octobre 2010 modifié) :

- Si le procédé photovoltaïque réalise le clos et le couvert, il entre dans le domaine d'application du Guide ENS PS.
- Si le procédé photovoltaïque est un équipement technique qui ne fait pas le clos et le couvert, il est exclu du domaine d'application du Guide ENS PS.

8.5. Justification de la résistance aux actions d'origine thermique (dilatations)

La résistance d'un procédé photovoltaïque aux actions d'origine thermique fait partie des éléments pris en compte par le GS n° 21.

Pour les profilés, la présence de joints de dilatation, régulièrement répartis pour rendre négligeables les conséquences des actions d'origine thermique, fait partie des éléments de justification.

8.6. Autres justifications

La procédure d'Avis Technique permet de s'adapter aux particularités des procédés innovants qui sont présentés.

Les éléments informatifs fournis ici ne sont pas exhaustifs. En fonction des particularités de son procédé, le demandeur d'Avis Technique est tenu d'apporter toutes les justifications nécessaires pour démontrer les performances qu'il annonce.

Le GS n° 21 se base sur l'ensemble des justifications fournies pour rendre son avis.

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

CSTB
le futur en construction

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