



# La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau

TUNIS – 23 mars 2016

## Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

1. Introduction
2. Définition et types de toitures photovoltaïques
3. Les pathologies – Résultats audits PV SFAX
4. Les effets du vent
5. Calcul de lestage
6. Autres aspects
7. Remerciements - Bibliographie

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques



# 1. Introduction

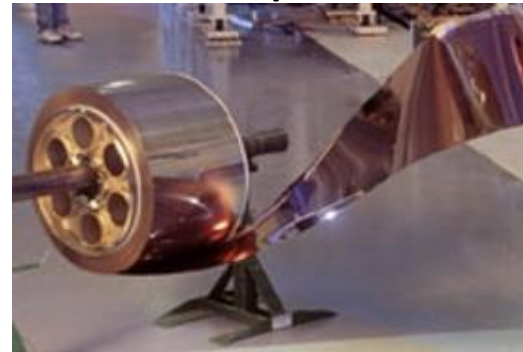
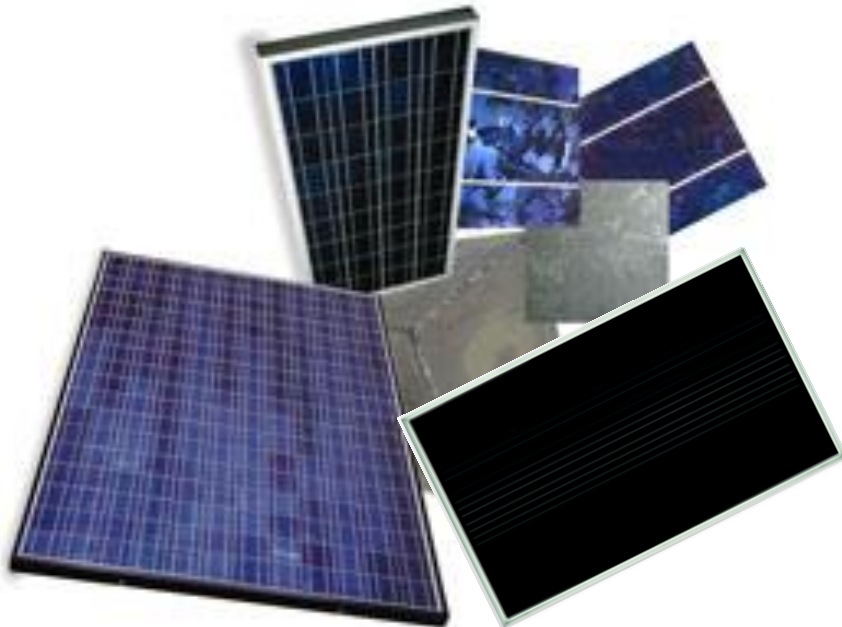
## Intérêt du solaire photovoltaïque raccordé au réseau

- La Tunisie souhaite devenir un acteur de référence dans le domaine de l'énergie solaire photovoltaïque.
- Programme PROSOL pour soutenir le développement de ces énergies dans le secteur résidentiel, tertiaire et industriel.
- Constat de la nécessité d'améliorer les pratiques pour réaliser des installations de qualité
- Former les installateurs à ces techniques nouvelles.

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

## Les types de panneaux

- Panneaux rigides cadrée ou non cadrés (laminé PV) au silicium Monocristallin, Multi-cristallin (poly-cristallin) ou amorphe (couche mince)
- Panneaux souples (membranes PV) couche mince

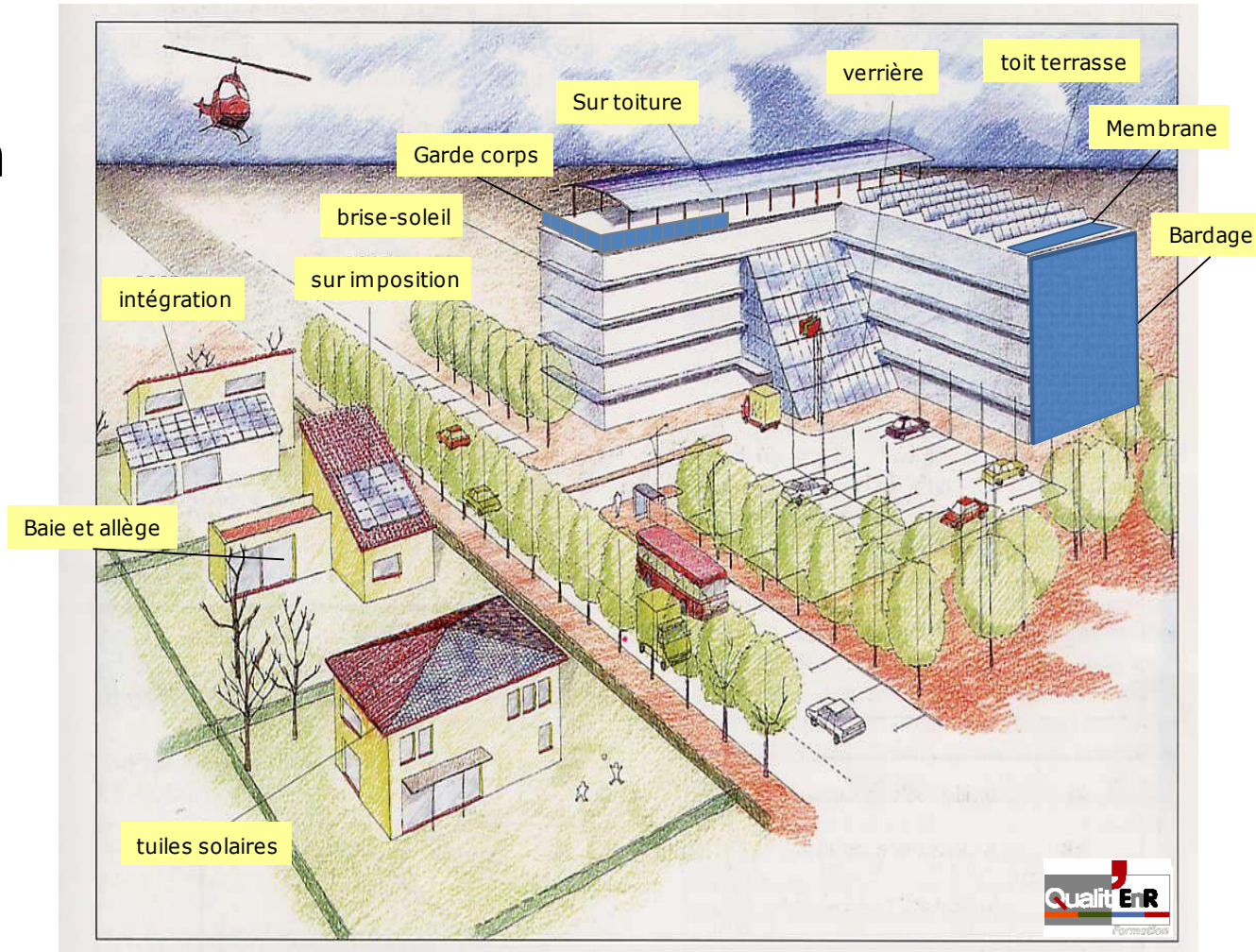


La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

## 2. Définitions

### Les types d'implantations des panneaux rigides, liées au bâti

- Intégration
- Sur imposition
- Baie – allège
- Brise soleil
- Verrière
- Garde corps
- Bardage
- Verrière
- **Toit terrasse**

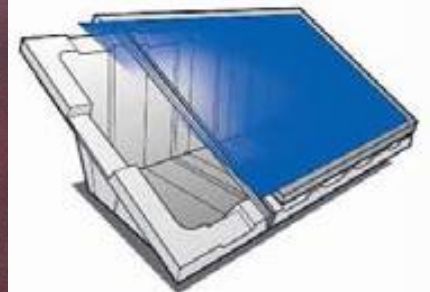


La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

## 2. Définitions

### Les implantations en toit terrasse

- Pose sur châssis ancrés
- Pose sur châssis lestés
- Pose sur bacs lestés



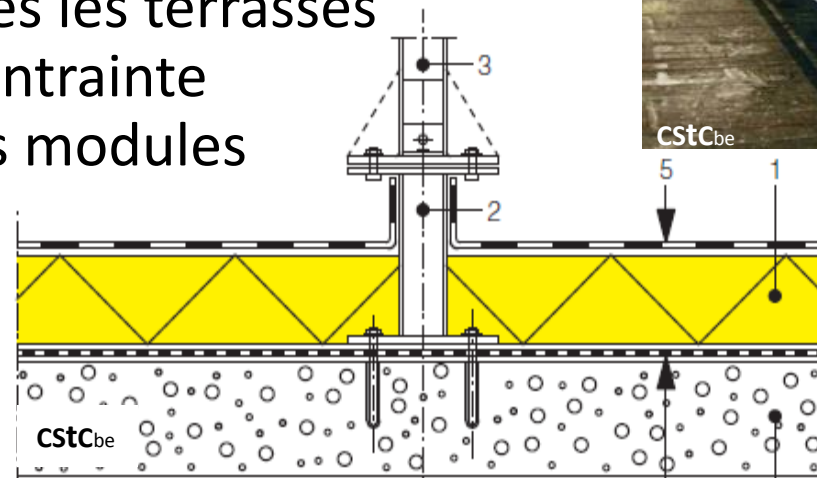
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

## 2. Définitions

### Pose sur châssis ancrés

- **Avantages :**

- Simplicité de mise en œuvre
- Adaptable à presque toutes les terrasses
- Inclinaison choisie sans contrainte
- Très bonne ventilation des modules
- Solution économique



- **Inconvénients**

- Reprise d'étanchéité des ancrages
- Apporter du soin aux pattes d'ancrage (DTU)
- Vérification des charges admissibles (poids structure + effets du vent)
- Calculs d'arrachement (effets du vent)

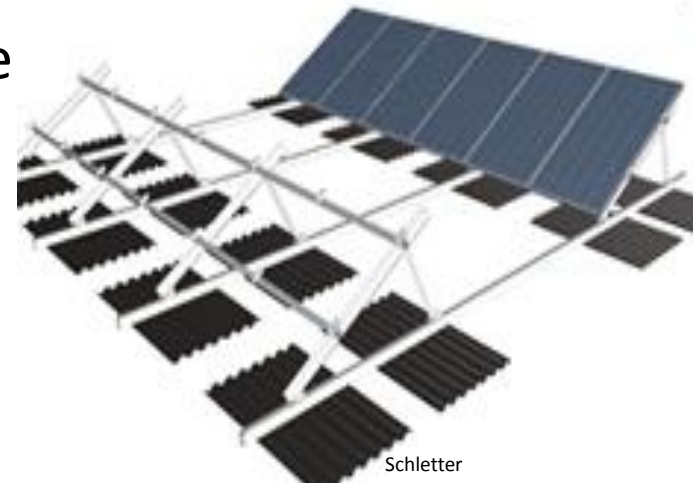
1. Isolation thermique
2. Fourreau
3. Support de l'installation solaire
4. Pare-vapeur [15]
5. Etanchéité de la toiture
6. Plancher (de toiture) en béton

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

## 2. Définitions

### Pose sur châssis lestés

- **Avantages :**
  - Simplicité de mise en œuvre
  - Adaptable à presque toutes les terrasses
  - Très bonne ventilation des modules
  - Solution économique
  - Orientation indépendante
  - Pas de percements
  - Déplacement possible pour maintenance
- **Inconvénients**
  - Vérification des charges admissibles (poids structure + effets du vent)
  - Calculs de soulèvement (effets du vent)
  - Influence de l'inclinaison sur le lest



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques



## 2. Définitions

### Pose sur bacs PEHD lestés

- **Avantages :**
  - Simplicité de mise en œuvre
  - Adaptable à presque toutes les terrasses
  - Solution économique
  - Orientation indépendante
  - Pas de percements
  - Déplacement possible pour maintenance
- **Inconvénients**
  - Plage de températures ambiantes (-30/50)
  - Vérification des charges admissibles (poids structure + effets du vent)
  - Calculs de soulèvement (effets du vent)
  - Manipulation du lest

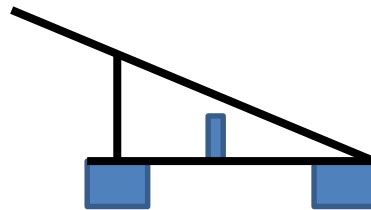
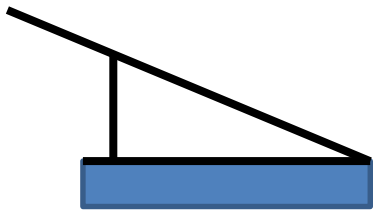
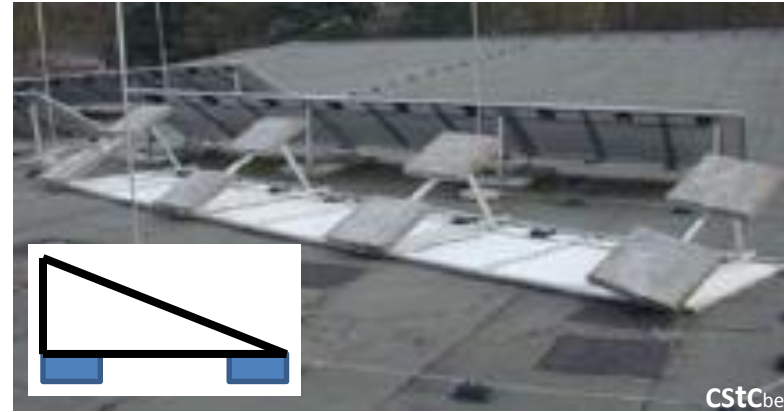


La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 3. Pathologies

## Effets de vents forts

- **Arrachements - retournements**
  - Lest insuffisant au renversement
  - Lest suffisant mais mal positionné
  - Lest insuffisant et mal positionné
  - Ancrages sous dimensionnés

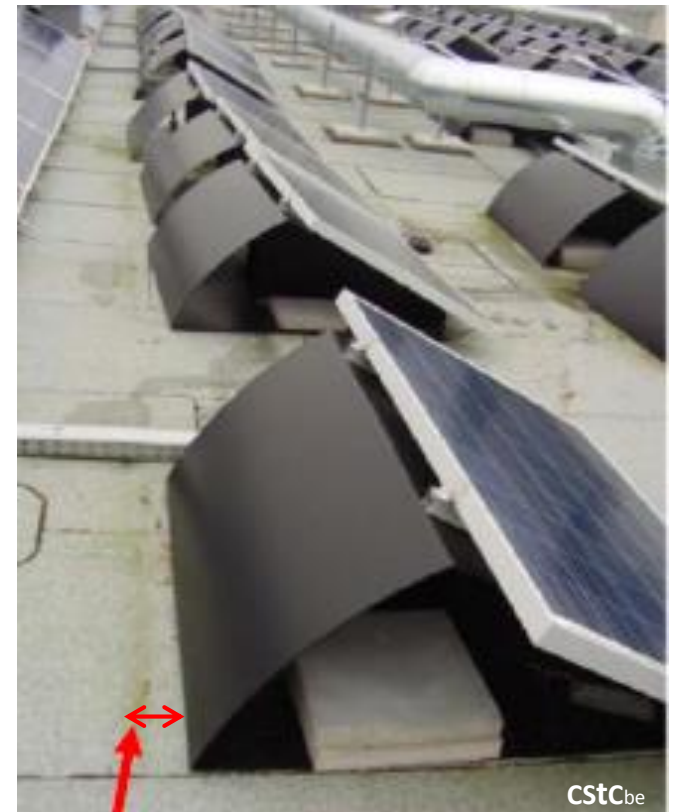


La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 3. Pathologies

## Effets de vents forts

- **Sous évaluation des moyens de stabilisation**
  - Glissements



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

## Effets de vents forts

- **Profilés inadaptés**
  - Pliages
  - Absence de contreventement

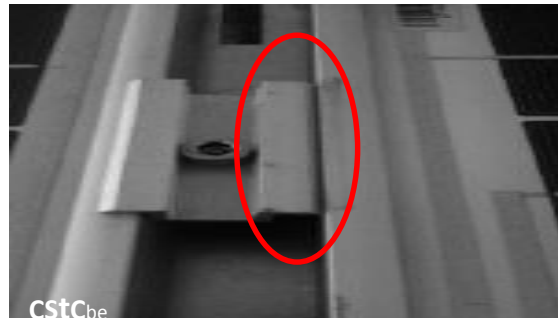
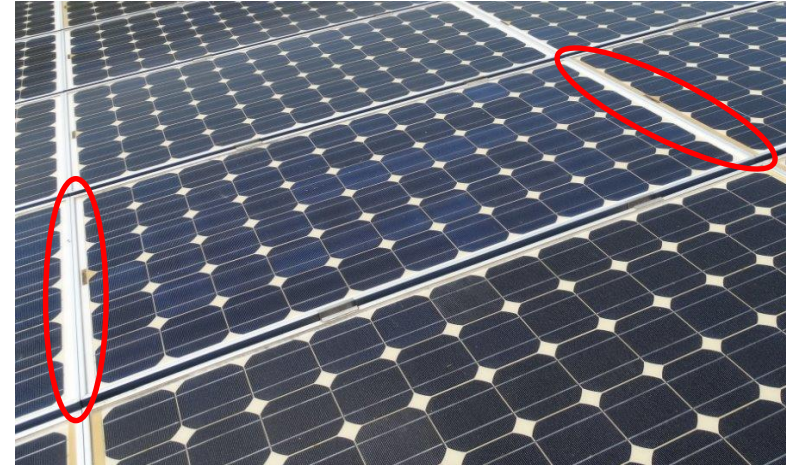


La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 3. Pathologies

## Mauvaise gestion des dilatations

- Pas de joints de dilatation ou joints de dilatation contraints
  - Fixations hors des cadres
  - Modules trop contraints (risque de casse du verre)

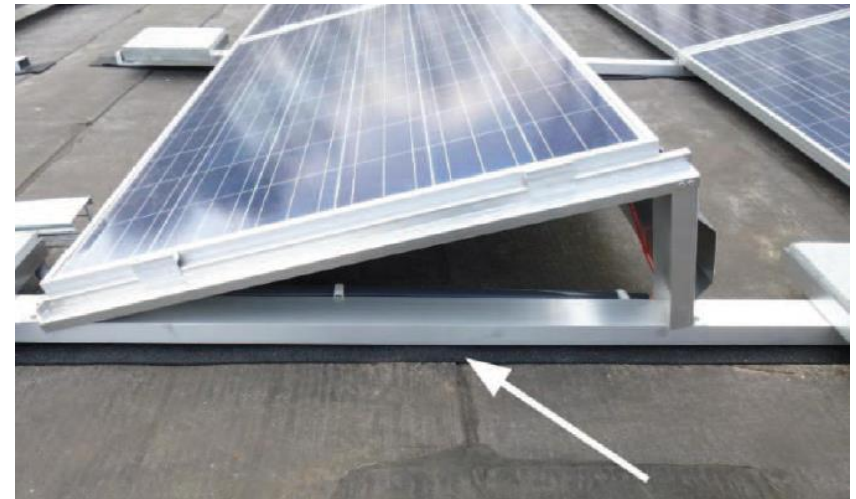
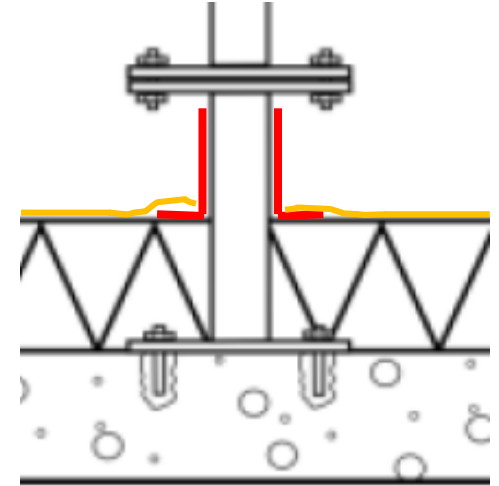


La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 3. Pathologies

## Défauts d'étanchéité

- **Cas des structures ancrées**
  - Fuites au niveaux des ancrages
  - Continuité de l'étanchéité mal réalisée
- **Cas des structures lestées**
  - Détérioration étanchéité par frottement (absence de couche protectrice)
  - Mauvais écoulement des eaux



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 3. Résultats audits

CSTCbe

## Défauts de lestage et d'ancrage

- **Cas des structures ancrées**
  - Scellement des pieds non fiables
- **Cas des structures lestées**
  - Lests insuffisants



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques



# 4. Les effets du vent

## Zone de vent de la TUNISIE

- **2 zones de vent selon l’OMS**
  - Zone 2 : Vent faible - Max réf. = 14,2m/s
  - Zone 3 : vent moyen - Max réf. = 22,6m/s

(Selon NV65 le coefficient entre vitesse normale et vitesse extrême = 1,32)

Légende	Vents moyens		Vents Extrêmes (≈133%)	
	Min	Max	Min	Max
<b>ZONE 2</b>	3,3m/s 11,9 km/h	10,7m/s 38,5 km/h	4,4 m/s 15,8 km/h	<b>14,2 m/s</b> <b>51 km/h</b>
<b>ZONE 3</b>	10,7m/s 38,5km/h	17,1m/s 61,6km/h	14,2 m/s 51 km/h	<b>22,6 m/s</b> <b>81,2 km/h</b>



**La valeur de référence est choisie à 23m/s (82,8km/h)**

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques



# 4. Les effets du vent

## Classes d'exposition au vent

- Selon les zones de rugosité et les hauteurs des bâtiments pour le vent de référence de 23m/s

		Hauteur de référence du vent (Ze) - Valeur maximum					
Classe d'exposition au vent		Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Vitesse de référence (m/s)		23	23	23	23	23	23
Catégories de rugosité		Hauteur de référence (Zc) jusqu'à					
Zone cotière	0						
Plaine	I				5m	11m	22m
Bocage	II		3m	6m	11m	16m	22m
Banlieue - Forêt	III	5m	9m	19m	21m	21m	22m
<b>Ville</b>	<b>IV</b>	<b>16m</b>	<b>25m</b>	<b>30m</b>	<b>30m</b>	<b>30m</b>	<b>30m</b>
Pression dynamique de pointe		<b>450 Pa</b>	<b>544 Pa</b>	<b>693 Pa</b>	<b>815 Pa</b>	<b>950 Pa</b>	<b>1086 Pa</b>

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 4. Les effets du vent

## Efforts exercés par le vent

- **Efforts verticaux**

- Arrachement
- Retournement
- Déformation structures

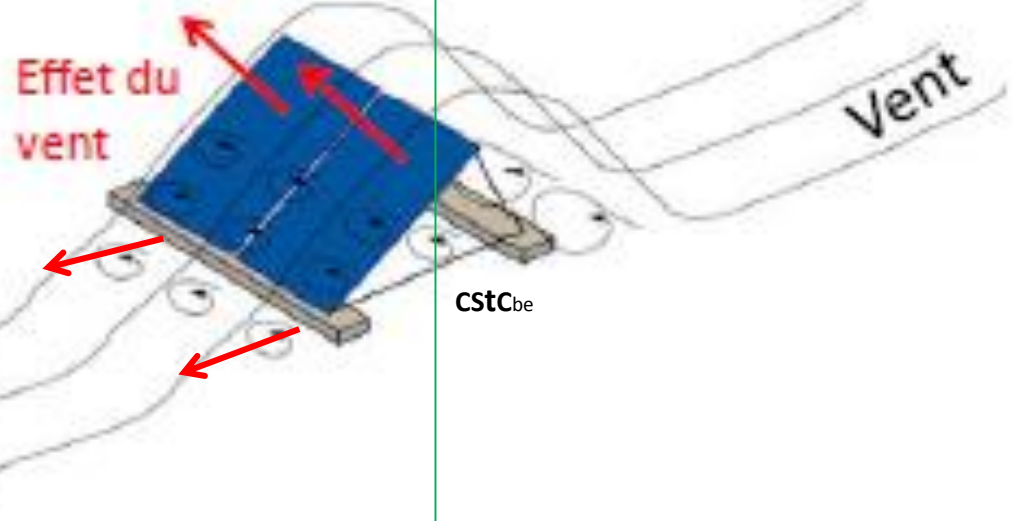
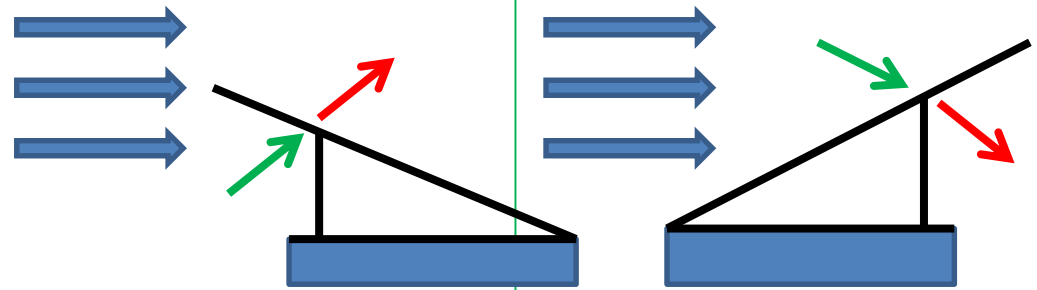
- **Efforts horizontaux**

- Glissement
- Déformation structures

- **Selon le sens du vent**

- **Surpression**

- **Dépression**



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

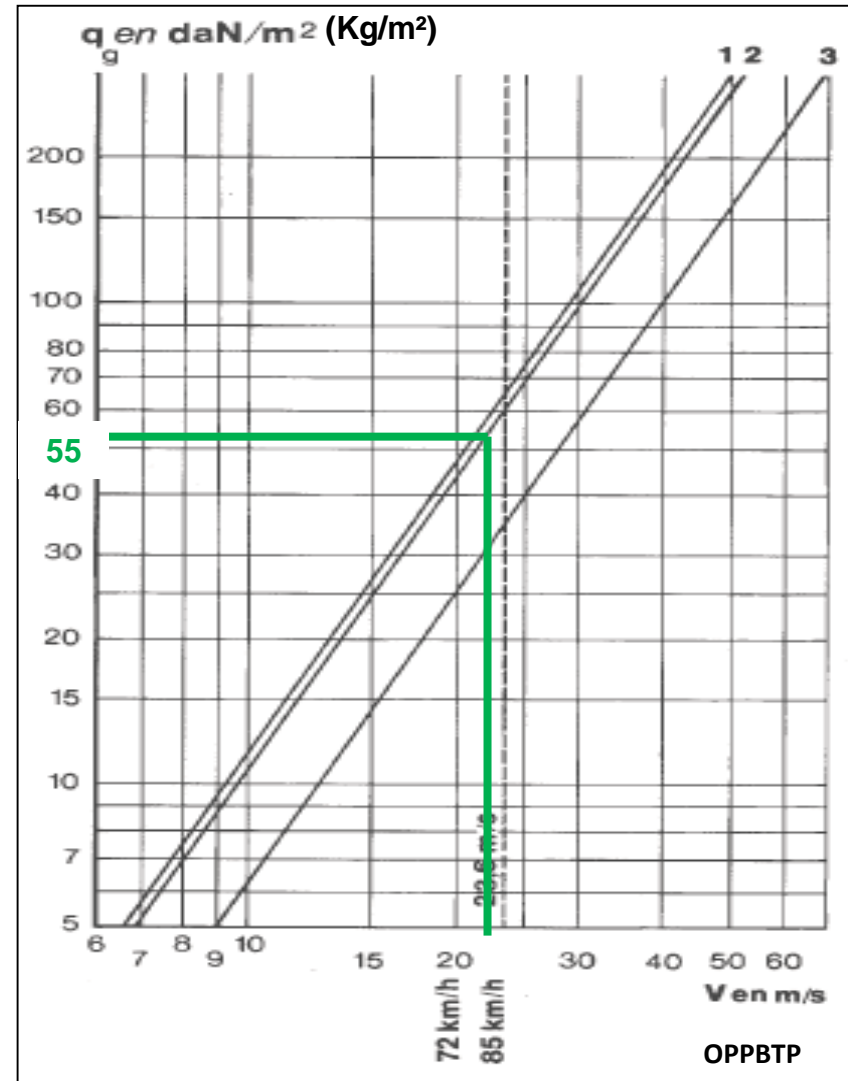
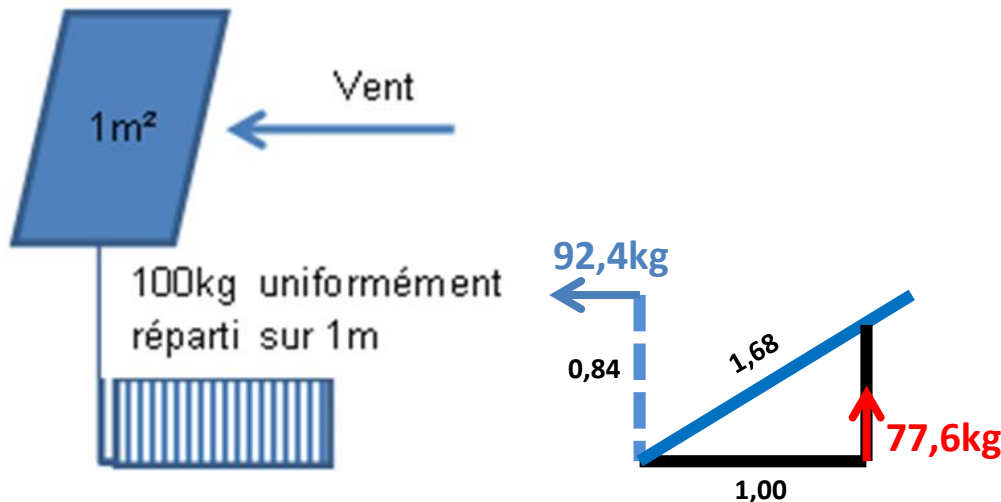


# 4. Les effets du vent

## Force appliquée sur une surface

- Selon valeur de référence  
55 kg/m<sup>2</sup> sur une surface  
perpendiculaire au vent

Exemple : module 1,68m x 1m en  
mode portrait à 30° d'inclinaison



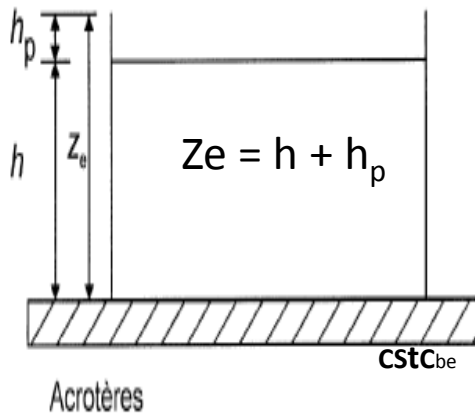
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 4. Les effets du vent

## Zones de vent en toiture terrasse

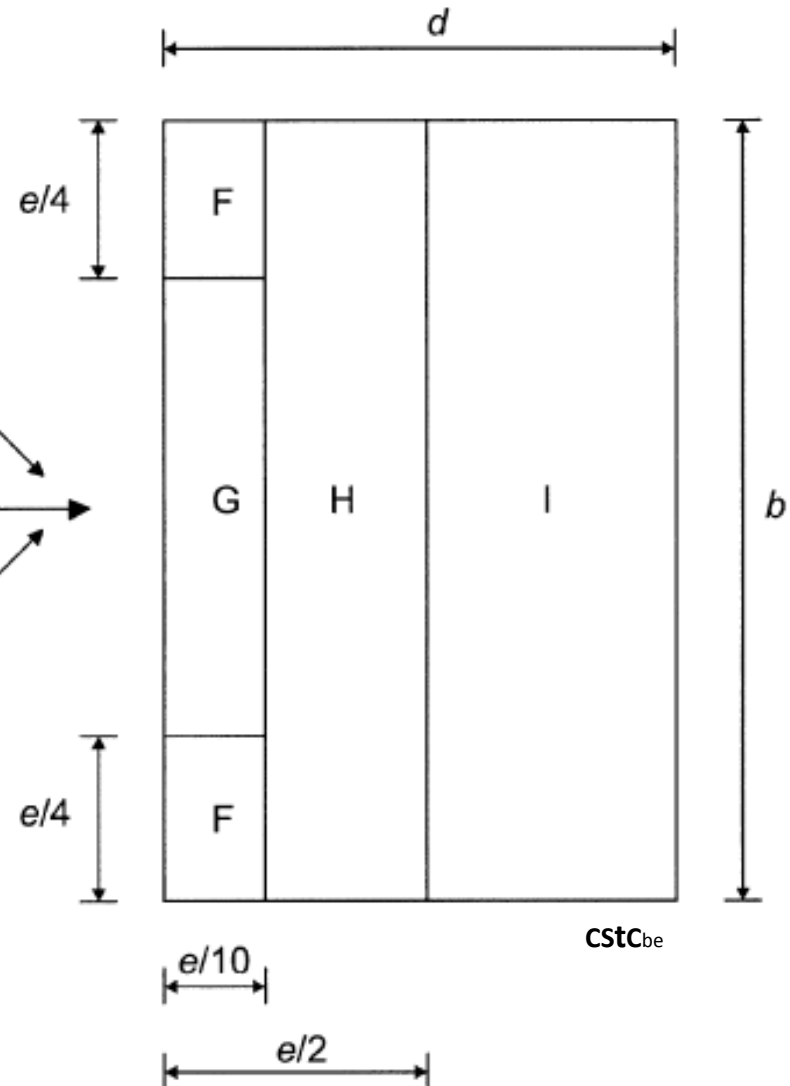
- 4 zones définies selon la norme EN 1991-1-4

Pour une direction de vent



$e$  = la plus petite des deux dimensions suivantes :  $b$  ou  $2h$

avec  $h$  = hauteur du bâtiment et  
 $b$  = longueur du côté perpendiculaire au vent



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 4. Les effets du vent

## Zones de vent en toiture terrasse

- 4 zones définies selon la norme EN 1991-1-4

Pour toutes les directions de vent

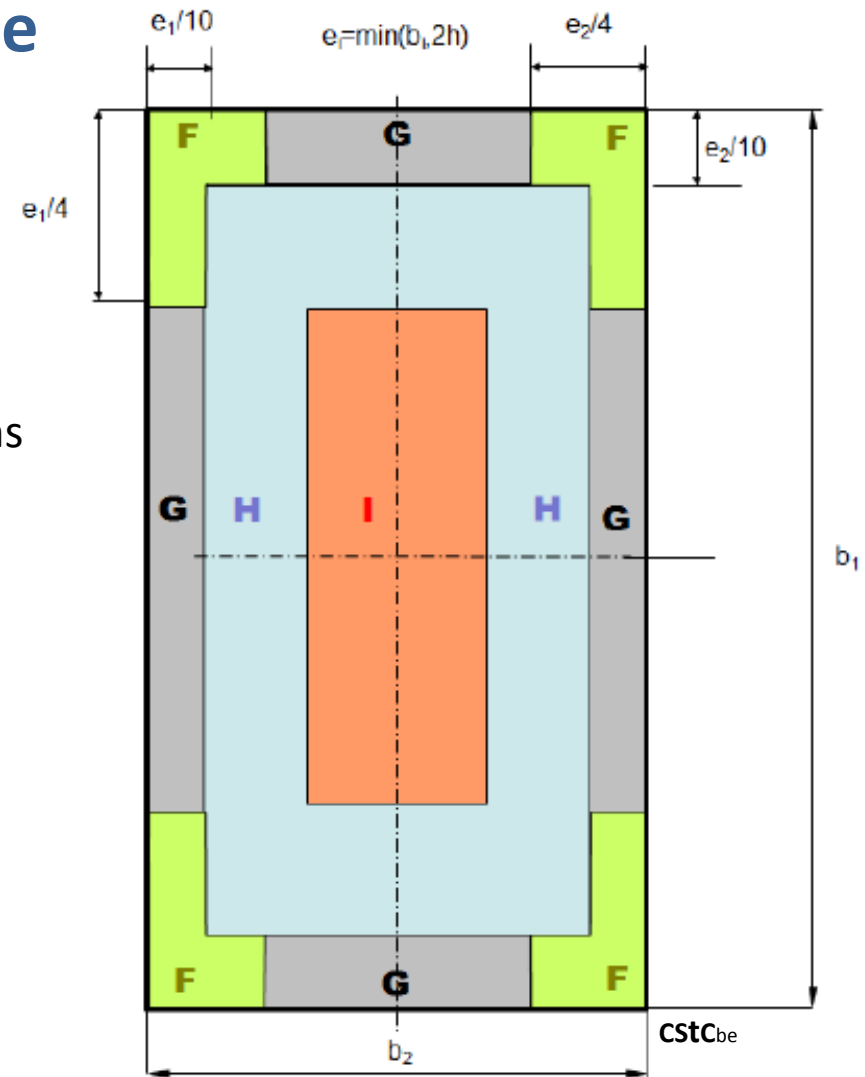
$e_1$  = la plus petite des deux dimensions suivantes :  $b_1$  ou  $2h$

$e_2$  = la plus petite des deux dimensions suivantes :  $b_2$  ou  $2h$

Il y a donc 2 zones de bord, les zones F et G où de fortes turbulences se produisent

et 2 zones centrales H et I caractérisées par un écoulement du vent plus laminaire

**Seules les zones centrales H et I doivent être utilisées pour la pose des capteurs PV**



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 4. Les effets du vent

## Zones de vent en toiture terrasse

- 4 zones définies selon la norme EN 1991-1-4

Pour toutes les directions de vent

$e_1$  = la plus petite des deux dimensions suivantes :  $b_1$  ou  $2h$

$e_2$  = la plus petite des deux dimensions suivantes :  $b_2$  ou  $2h$

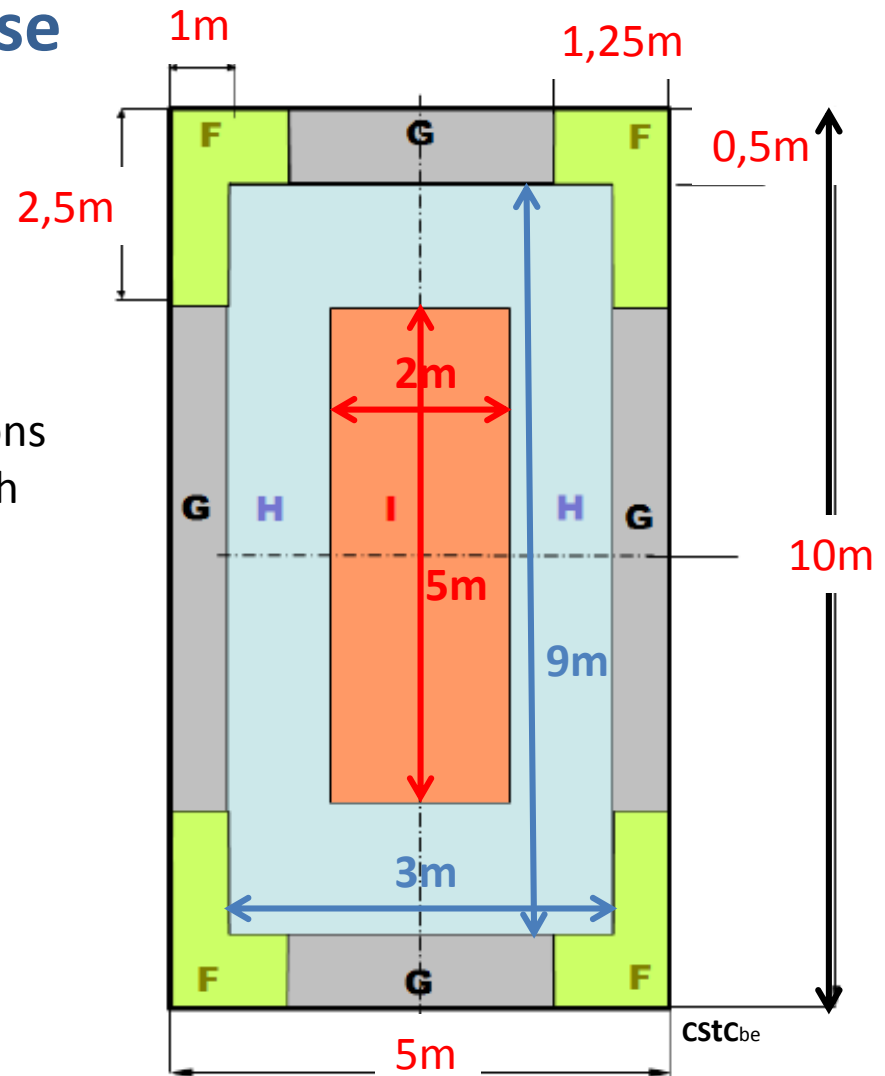
Exemple :

$$h = 10\text{m} - b_1 = 10\text{m} - b_2 = 5\text{m}$$

$$2h = 20\text{m}$$

$$e_1 = 10\text{m} - e_2 = 5\text{m}$$

Seules les zones centrales H et I doivent être utilisées pour la pose des capteurs PV



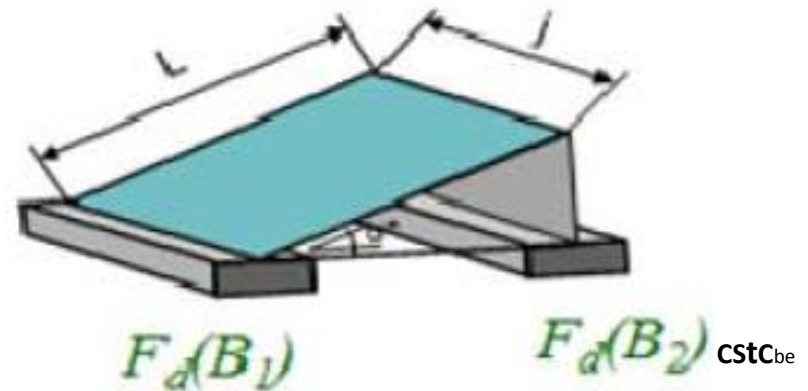
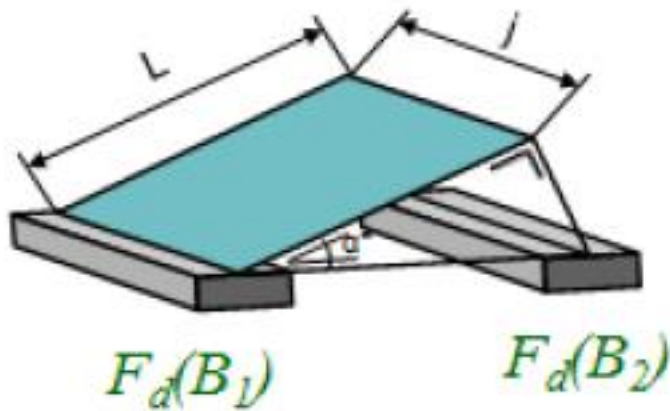
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 4. Les effets du vent

## Zones de vent en toiture terrasse

- Champs de capteurs – zones – effet de protection

Il est considéré que les capteurs présentent un profil dissymétrique avec ou sans déflecteur arrière



L'effet du vent sera différent selon son incidence sur le capteur et la position des panneaux dans le générateur

**En fonction du profil offert au vent par la rangée, la différence peut être significative**

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

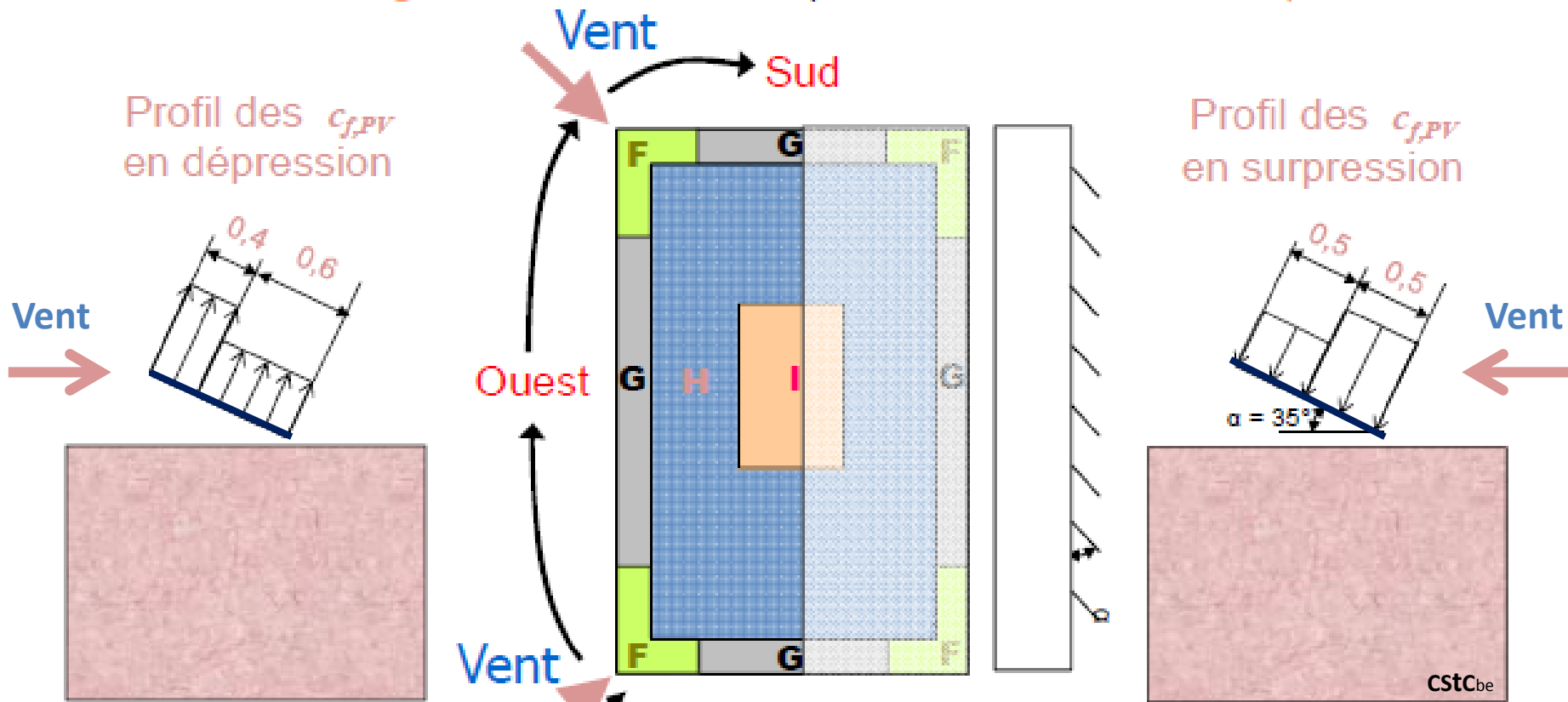


# 4. Les effets du vent

## Zones de vent en toiture terrasse

- Champs de capteurs – zones – effet de protection

Profil des forces en dépression et en surpression



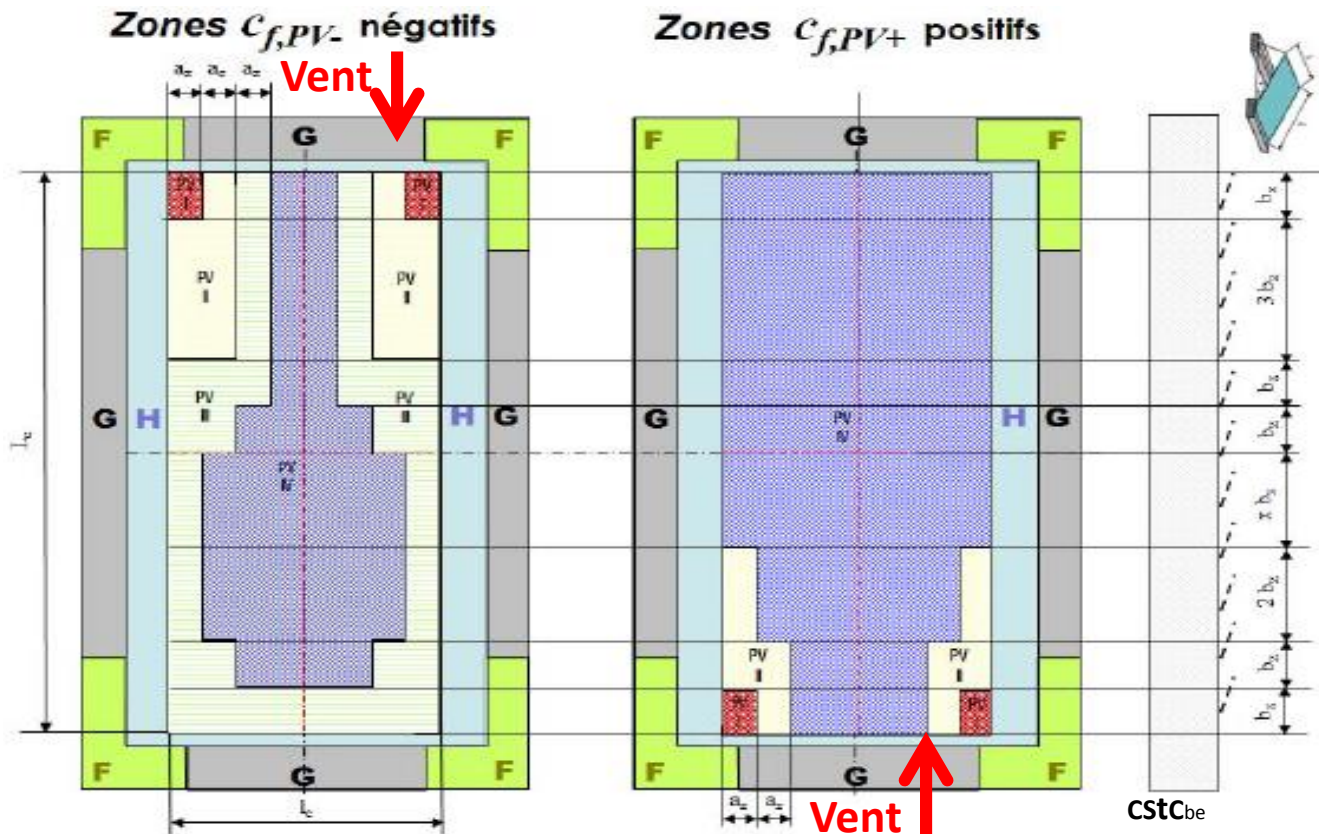
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques



# 4. Les effets du vent

## Zones de vent en toiture terrasse

- Définition des zones de vent PV des capteurs non symétriques sans déflecteur (4 zones PV I à PV IV)



$C_{f,PV}$  = coefficient de force applicable au panneau propre à chaque configuration de pose

$C_{f,PV-}$  négatif = coefficient de force du à la dépression

$C_{f,PV+}$  positif = coefficient de force du à la surpression

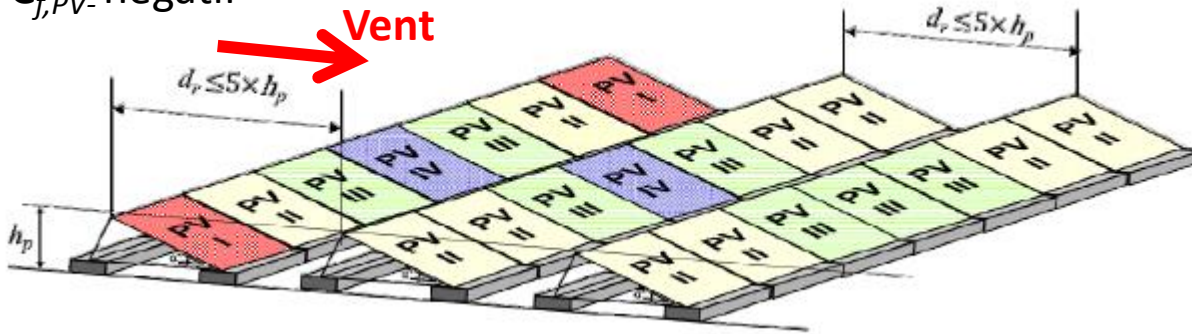
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 4. Les effets du vent

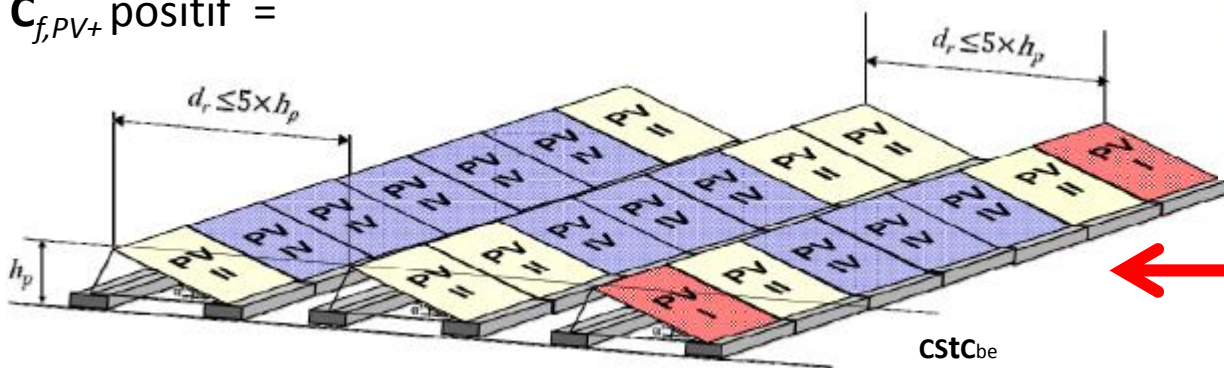
## Zones de vent en toiture terrasse

- Exemple pour des capteurs non symétriques sans déflecteur (4 zones PV I à PV IV)

$C_{f,PV-}$  négatif =



$C_{f,PV+}$  positif =



CStCbe

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

## 4. Les effets du vent

### Zones de vent en toiture terrasse

- Coefficients  $\psi_{mc}$  de réduction pour les zones PV pour des capteurs inclinés à 30°

Zones PV		PV I	PV II	PV III	PV IV
Coefficient réduction surpression	$\psi_{mc}$	1	0,9	0,7	0,6
Coefficient réduction en dépression	$\psi_{mc}$	1	0,8	0,6	0,5

CStCbe

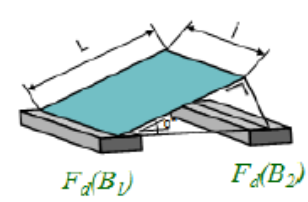
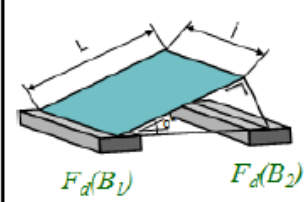
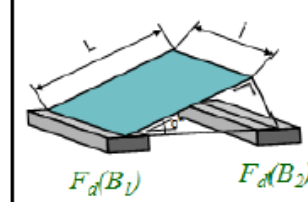
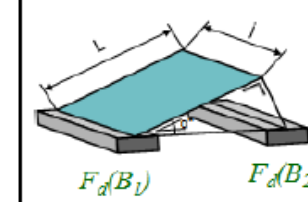
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 5. Calcul de lestage

## Exemple de ballast pour une structure à 1 versant à 30°

Unités en N/m<sup>2</sup> (100N/m<sup>2</sup> = 10kg/m<sup>2</sup>)

Attention, valeurs indicatives ne remplaçant pas une étude détaillée

Zones PV	Zone PV I	Zone PV II	Zone PV III	Zone PV IV
Coefficients de force	$C_{f,PV} = -1,4 / +1,2$	$C_{f,PV} = -1,12 / +1,08$	$C_{f,PV} = -0,84 / +0,84$	$C_{f,PV} = -0,7 / +0,72$
L = j = 1m Inclinaison toiture $\alpha' \leq 2^\circ$ (3,5 cm/m) Inclinaison du panneau/toiture $\alpha^* = 30^\circ$				

**Classe d'exposition au vent 0** : Poids de l'installation  $\geq 200$  N/m<sup>2</sup>

Pression de calcul du vent Fd(w) – ELU [Pa]	-845	714	-676	643	-507	500	-423	428
	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$
Ballast au renversement N/(m[j]xm[L])	452	505	336	389	220	273	163	216
Ballast au soulèvement (N/(m[j]xm[L])	267	298	192	222	117	145	80	107
Ballast au glissement (f= 0,5) - (N/(m[j]xm[L])	681	761	519	601	356	442	274	363

**Classe d'exposition au vent 1** : Poids de l'installation  $\geq 200$  N/m<sup>2</sup>

Pression de calcul du vent Fd(w) – ELU [Pa]	-1043	881	-834	793	-626	617	-521	529
	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$	$F_d(B_1)$	$F_d(B_2)$
Ballast au renversement N/(m[j]xm[L])	587	640	444	497	302	355	230	283
Ballast au soulèvement (N/(m[j]xm[L])	354	386	262	293	169	199	123	152
Ballast au glissement (f= 0,5) - (N/(m[j]xm[L+1])	870	949	671	751	471	554	370	455

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 5. Calcul de lestage

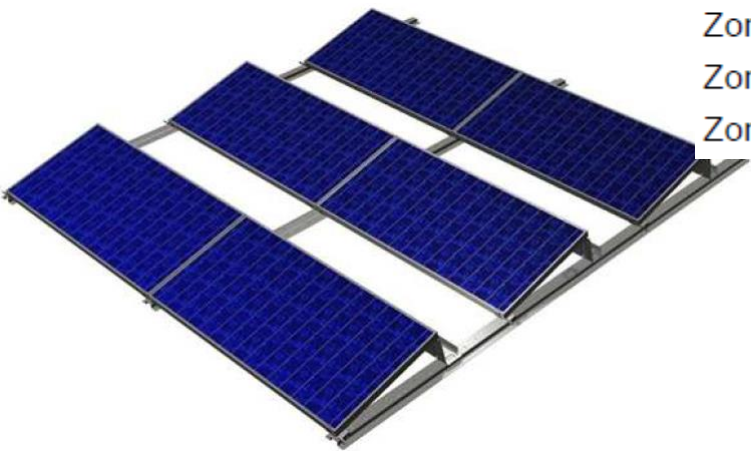
## Exemple de calcul par logiciel constructeur (SCHLETTER)

Lestage nécessaire      kg      Coefficient de glissement 0,51

	Vérification de glissement	Sécurité contre soulève.
Zone a	58,7	37,5
Zone b	57,9	36,2
Zone c	41,7	17,2
Zone d	33,6	7,4


### Lestage nécessaire

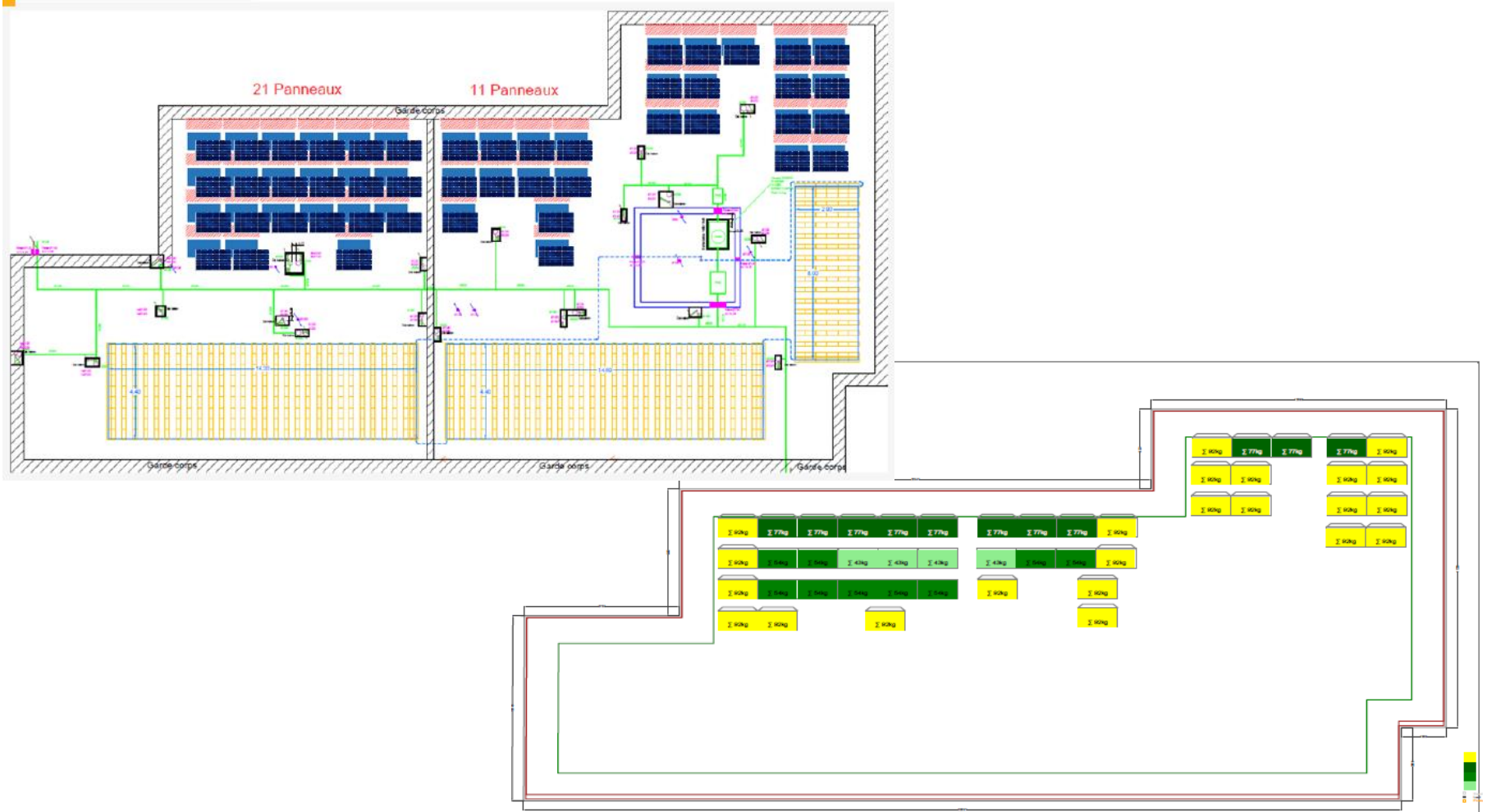
- Zone a  58,7 kg/Module
- Zone b  57,9 kg/Module
- Zone c  41,7 kg/Module
- Zone d  33,6 kg/Module



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

# 5. Calcul de lestage

## Exemple de calcul par logiciel constructeur (RENUSOL)



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

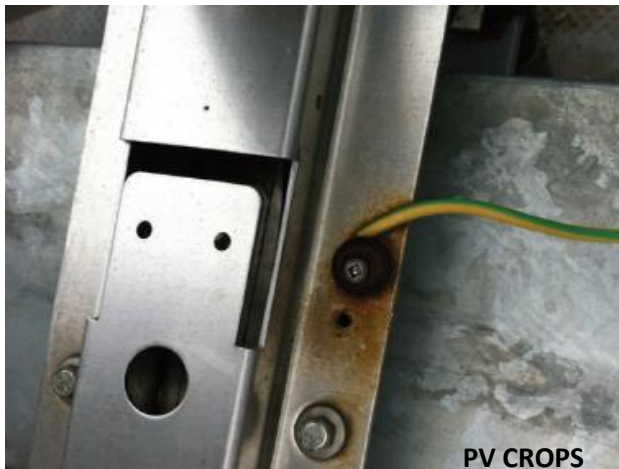
## 6. Autres aspects

### Mise à la terre des châssis

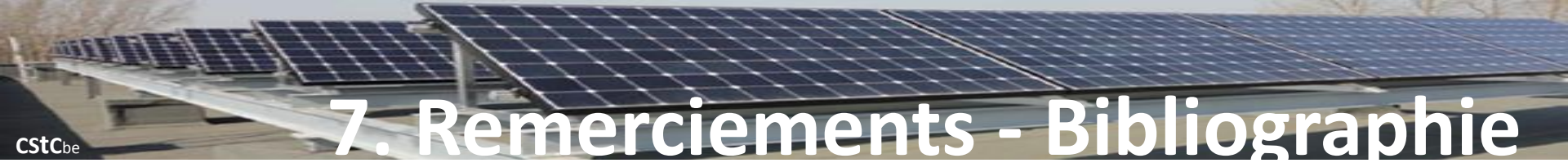
- Chaque module doit être mis à la terre
- Chaque structure doit être mise à la terre

### Respect des compatibilités entre les matériaux

- Attention au couples électrolytiques
- Résistances aux conditions climatiques



La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques



# 7. Remerciements - Bibliographie

## Remerciements

- **Au Centre Scientifique et Technique de la Construction de Bruxelles** pour ces nombreux documents et l'autorisation de les utiliser

## Bibliographie

- Code expérimental de dimensionnement du ballast pour capteurs solaires en toiture plate – Août 2013 – CSTC – rue Lombard 42, 1000 Bruxelles (M. Wagneur, F. Van Rickstal, P. Van Den Bossche, J. Dekeyser, E. Dupont)
- Les panneaux photovoltaïques en toitures plates – Les Isnes 25/02/2013 – CSTC (B. MICHAUX)
- Manuel afin d'augmenter la qualité et de réduire les coûts des installations PV – Novembre 2013 - PV CROPS (Photovoltaic Cost reduction, Reliability, Operational performance, Prediction and Simulation) – Institut d'énergie solaire (IES-UPM, Universidad Politécnica de Madrid)
- Fiche prévention du vent A1 F 01 09 - 2009 – OPPBTP
- Campagne de mesures des installations solaires photovoltaïques existantes dans la région pilote de Sfax – INES, GIZ, AMME – M. VALIN
- Norme NF EN 1991-1-4 – novembre 2005 – AFNOR
- Les dossiers du CSTC – N°4/2010 – Cahier n° 7
- règles NV 65 (DTU P 06-002) – CSTB – avril 2000
- Wind Speed Hazard – World Health Organization – 2010
- Référentiel QualiPV – Qualit'Enr – Paris
- [www.schletter.fr](http://www.schletter.fr)
- [www.renusol.fr](http://www.renusol.fr)

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques





## Merci de votre attention

La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au réseau – Bonnes pratiques pour la fixation des installations photovoltaïques

Antoine FARCOT – A.C.E. ENERGIES – 23/03/2016

