

Cahier technique

PHOTOVOLTAÏQUE **2010**





SOMMAIRE

L'installation photovoltaïque

Principes généraux photovoltaïques	4
L'architecture photovoltaïque	5
Séparation galvanique d.c. / a.c.	7

Coupure d'un générateur photovoltaïque

Sectionnement	8
Coupure d'urgence	8
Coupure pompier	8

Protection d'un générateur photovoltaïque

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les chocs électriques	9
Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions	9
Les surintensités d'un générateur photovoltaïque	11
Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités	13
Prévention contre la dégradation des installations photovoltaïques	17

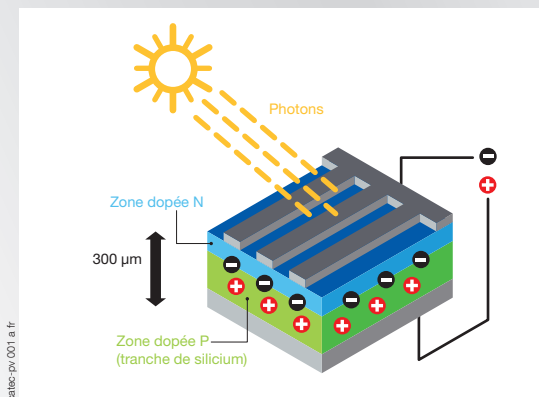
Lexique des termes utilisés dans le domaine photovoltaïque

Principes généraux photovoltaïques

La cellule photovoltaïque

La conversion de l'énergie solaire

En frappant les cellules semi-conductrices à base de silicium (ou d'autres matériaux) qui constituent le panneau solaire, les photons du rayonnement solaire provoquent l'apparition d'un courant électrique continu de l'ordre de quelques ampères sous une tension de l'ordre de quelques centaines de millivolts.



La « diode » photovoltaïque

Une diode photovoltaïque exposée à la lumière se comporte en générateur de courant d.c., comme indiqué dans le quadrant Q4 de la figure 1.

Dans le noir, cette cellule se comporte pratiquement comme une diode classique.

En cas de défauts dans l'installation ou dans la cellule, cette dernière peut se comporter en récepteur selon les quadrants Q1 ou Q3.

Q1 => $U > U_{oc}$: cette situation se présente lorsque la tension directe (U) appliquée à la cellule PV est plus grande que sa tension en circuit ouvert (U_{oc}), comme dans une diode polarisée « en tension directe ».

Q3 => $I > I_{sc}$: dans ce cas, le courant direct (I) imposé au module est plus élevé que celui I_{sc} qu'il est capable de générer, en court-circuit et en fonction de son ensoleillement, comme dans une diode polarisée « en tension inverse ».

De façon générale, le quadrant Q4 est utilisé de façon inversée pour y faciliter la lecture du comportement des générateurs photovoltaïques en fonctionnement « normal ».

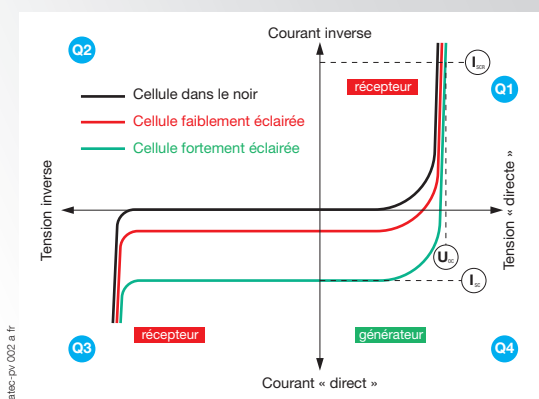
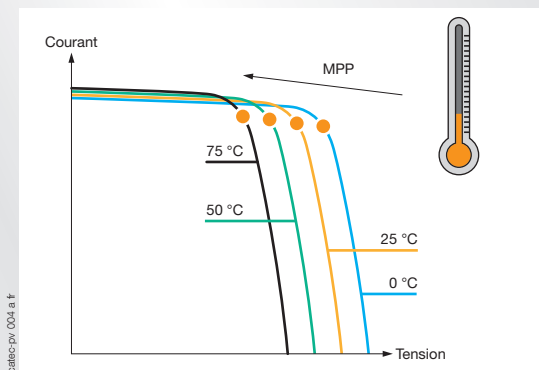
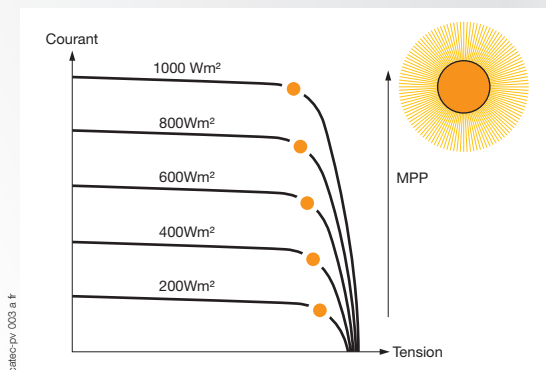


Fig. 1.

L'influence de la lumière et de la température

La puissance disponible sur un générateur photovoltaïque est liée à l'augmentation du rayonnement solaire qui impacte directement l'intensité générée.

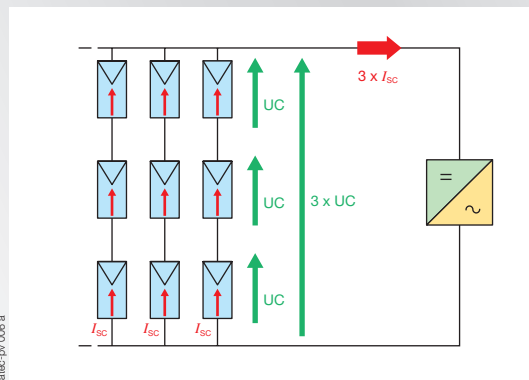
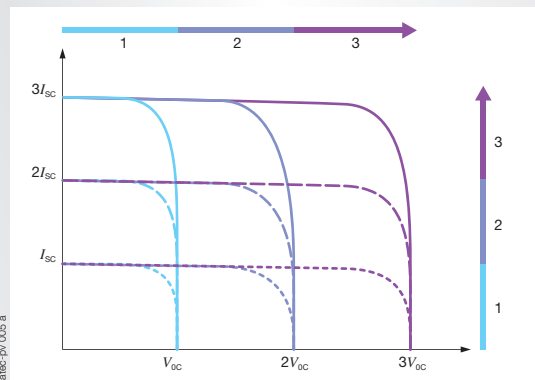
Une augmentation de la température va réduire la puissance (MPP) disponible en affectant la tension des cellules.



L'architecture photovoltaïque

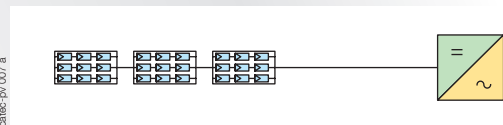
Module et Chaîne PV (ou string PV)

La mise en série de cellules va permettre d'augmenter la tension disponible d'un module, et la mise en parallèle des cellules va permettre d'augmenter le courant disponible de ce module.

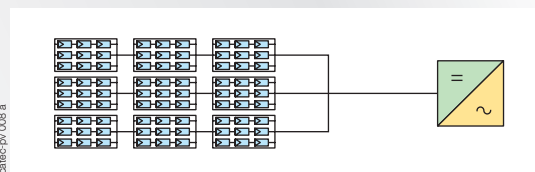


Générateur photovoltaïque

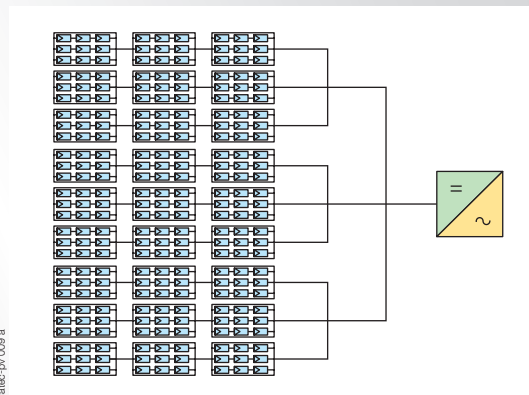
Les modules mis en série vont créer la tension utile d'une chaîne. Le couplage en parallèle de chaînes de même tension va créer des groupes permettant d'augmenter le courant, donc la puissance du générateur.



Exemple d'un générateur d'une chaîne de 3 modules.



Exemple d'un générateur d'un groupe de 3 chaînes de 3 modules.



Exemple d'un générateur de 3 groupes de 3 chaînes de 3 modules.

L'architecture photovoltaïque (suite)

➔ Onduleurs

Une installation photovoltaïque est constituée de façon générique des fonctions :

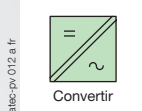
- de génération de l'énergie d.c., avec les panneaux photovoltaïques,



- de protection d.c., avec des appareillages :
 - de coupure,
 - de protection contre les surintensités,
 - de protection contre les surtensions (atmosphérique ou d'exploitation),
 - de surveillance complémentaire de dégradation de l'isolement,



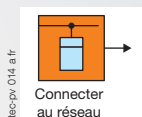
- de conversion d.c. / a.c., avec les onduleurs,



- de protection a.c., avec des appareillages :
 - de coupure,
 - de protection contre les surintensités,
 - de protection contre les surtensions (atmosphérique ou d'exploitation),
 - de contrôle ou protection des défauts d'isolement,

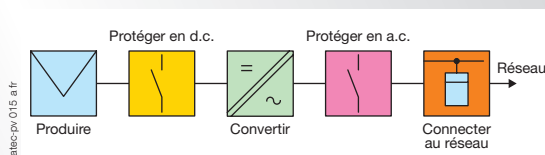


- de connexion au réseau avec les appareillages :
 - de comptage,
 - et en fonction de la puissance :
 - de déconnexion externe éventuels,
 - de transformation de basse tension en haute tension,
 - de coupure et protection haute tension.



• Installations onduleur centralisé

Ces installations sont caractérisées par le fait qu'un défaut risque d'arrêter toute la production. Ce type d'architecture est utilisé en application domestique avec une puissance limitée à 3 kWc en France et 6 kWc dans d'autres pays. Avec une à trois chaînes en parallèle, cette configuration permet de limiter la fonction de protection d.c. à la coupure amont de l'onduleur.

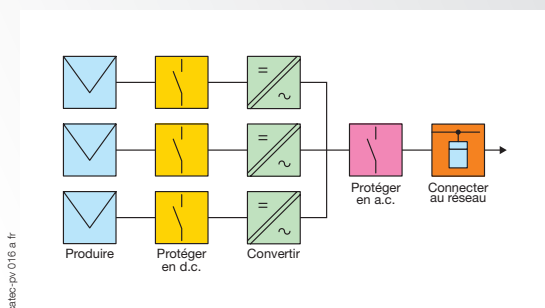


• Installations multi-onduleurs

En cas de défaut ou de maintenance, la perte de production est limitée à la machine concernée. Ce choix est fait pour les installations industrielles dont la puissance peut aller à plusieurs centaines de kWc pour les grandes toitures et à plusieurs MWc pour les centrales au sol. Au-delà de 250 kWc, le raccordement au réseau sera réalisé au travers d'un transformateur élévateur BT-H.

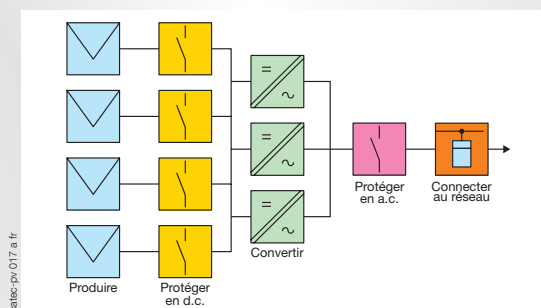
Multi-onduleurs à gestion individuelle

Ce type d'architecture a l'avantage de la simplicité avec l'utilisation d'onduleurs plus petits que celui qu'il aurait fallu installer en regroupant les générateurs en parallèle.



Multi-onduleurs à gestion centralisée

Ce type d'architecture va permettre une grande flexibilité de maintenance et une gestion du temps d'utilisation des machines en n'utilisant que le nombre d'onduleurs nécessaire. Cette gestion assure aussi l'utilisation des onduleurs à leur puissance optimale en fonction de l'ensoleillement.

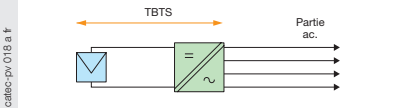
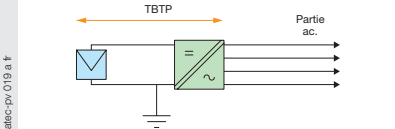
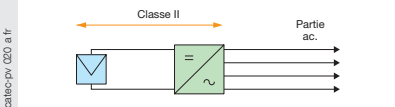
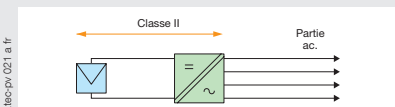
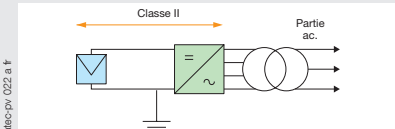
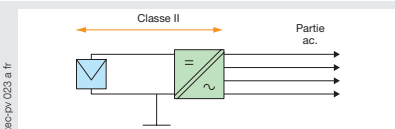


Séparation galvanique d.c. / a.c.

Le choix de mettre en œuvre ou pas une séparation galvanique va conditionner le choix des principes de protection et de surveillance, tant du côté d.c. que du côté a.c.

Ce tableau ci-après regroupe les possibilités :

- côté d.c. :
 - la classe de tension (TBT ou BT),
 - d'installation « flottante ou isolée »,
 - la polarisation fonctionnelle directe ou au travers d'une résistance.
- côté a.c. :
 - le choix des régimes de neutre TT, TN ou IT

Côté d.c.		Schéma de principe	Côté a.c.
U _{dc}	Principe de protection contre les contacts indirects		Principe de protection contre les contacts indirects : IT, TN ou TT
≤120 V	TBTS	 cattec-pv 018 a 1 ^r	Nécessité d'une séparation galvanique pour garantir le principe de protection par TBTS ou TBTP.
≤120 V	TBTP	 cattec-pv 019 a 1 ^r	
>120 V	Classe II	 cattec-pv 020 a 1 ^r	Sans isolation galvanique, la polarisation d.c. n'est pas envisageable.
		 cattec-pv 021 a 1 ^r	
		 cattec-pv 022 a 1 ^r	Séparation galvanique obligatoire en raison de la polarisation d.c.
		 cattec-pv 023 a 1 ^r	

Coupure d'un générateur photovoltaïque

Sectionnement

Le sectionnement a pour objectif d'assurer la sécurité des intervenants en garantissant la séparation effective de la source. Cette fonction doit être assurée sur les deux raccordements du ou des onduleurs côté d.c. et a.c. Si le générateur est constitué de plusieurs groupes de chaînes, cette fonction est à prévoir également par groupe afin de permettre d'intervenir individuellement sur chaque groupe.

Ce sectionnement doit répondre aux trois fonctions suivantes :

Fonction	Caractéristique	Valeur
Garantir la distance de coupure dans l'air	Tension de choc (Uimp)	5x Uoc
Garantir les valeurs de lignes de fuite	Tension d'isolement (Ui)	1,2 Uoc
Garantir la certitude de l'indication de position ouverte et assurer la consignation	Coupure pleinement apparente	3 F ou coupure visible

Coupure d'urgence

La coupure d'urgence a pour objectif d'assurer la sécurité des exploitants en cas de choc électrique, de brûlure, d'incendie sur ou dans l'équipement. La commande de ces appareils doit être rapidement et facilement accessible, située à proximité du ou des onduleurs tant du côté d.c que du côté a.c.

Cette coupure doit répondre aux quatre fonctions suivantes :

Fonction	Caractéristique	Valeur
Garantir la coupure en charge	Tension d'emploi (Ue) Courant d'emploi (Ie) Cette caractéristique va demander au constructeur de s'engager, en plus des données de la norme CEI 60 947-3, sur toutes les valeurs de courant (petit courant, courant critique de l'appareil) Constante de temps (L/R)	1,2 Uoc De 0 à 1,25 Isc (non normalisée)
		1 ms
Assurer une coupure omnipolaire	Simultané Isolation galvanique	Coupure dans l'air
Permettre l'accès aux commandes	Directement, dans le domaine domestiques Directement, ou par télécommande dans les domaines autres que domestiques	Action manuelle directe Action manuelle directe, ou télécommande à émission de courant ou manque de tension
Regroupement des commandes	Commandes d.c. et a.c sont si possible regroupées dans la même localisation	

Coupure pompier

Une coupure générale pour intervention des pompiers peut être demandée.

De façon préférentielle, cette coupure doit être réalisée au plus près du champ PV.

Cette disposition est à prévoir à moins que :

- les câbles DC cheminent en extérieur (avec protection mécanique si accessible) et pénètrent directement dans chaque local technique onduleur du bâtiment,
- les onduleurs soient positionnés à l'extérieur, sur le toit, au plus près des modules,
- les câbles DC cheminent à l'intérieur du bâtiment, avec des dispositions de protection complémentaire spécifiées en fonction de la destination des locaux.

La « coupure pompier » doit répondre de façon générique aux besoins suivants :

- La coupure doit agir indifféremment sur toutes les « sources » du bâtiment à mettre en sécurité :
 - l'alimentation de la consommation du bâtiment (ex. : réseau de distribution publique),
 - l'alimentation de la partie a.c. du ou des onduleurs,
 - l'alimentation de la partie d.c. du ou des onduleurs.
- Les organes de commande doivent être regroupés et leur nombre limité (généralement à deux).
- Le séquençage des manœuvres doit pouvoir être indifférent.
- Les appareillages à mettre en œuvre sont des appareils à coupure électromécanique (coupure statique non autorisée).
- Certains corps de pompiers complètent cette action par une mise en court-circuit et à la terre de l'installation d.c. afin de sécuriser, pour les intervenants, la partie de l'installation des panneaux non atteinte par le sinistre.

Protection d'un générateur photovoltaïque

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les chocs électriques

☞ Protection contre les contacts directs

Les matériels PV partie courant continu doivent toujours être considérés comme sous tension et disposer de protection par isolation des parties actives ou par enveloppe. Cette disposition n'est pas nécessaire si la tension PV reste limitée respectivement à 60 et 30 V d.c. en TBTS et TBTP.

☞ Protection contre les contacts indirects

Les modes de protection doivent intégrer les dispositions mises en œuvre côté d.c. et a.c. ainsi que la présence ou non d'une séparation galvanique par transformateur entre les parties d.c. et a.c.

Les dispositions de protection doivent également intégrer quatre contraintes :

- l'impossibilité technico-économique de surveiller et de pouvoir isoler individuellement chaque générateur (un module PV) en cas de besoin comme dans une installation BT alimentée des sources centralisées (poste HT/BT, groupe tournant, ASI...),
- le niveau de courant de court-circuit des générateurs photovoltaïques, proche de leur courant nominal rendant la détection des défauts complexe,
- l'exposition aux intempéries avec les contraintes cycliques de jour/nuit,
- la présence d'une tension continue qui peut dégrader dans le temps les isolants et les canalisations de façon plus forte qu'une tension alternative.

Les dispositions de protection contre les contacts indirects sont assurées par la mise en œuvre dans toute la partie d'installation d.c. de la classe II ou de l'isolation renforcée. Cette disposition n'est pas nécessaire si la tension PV est réalisée en TBTS et TBTP (< 120 V d.c.).

Dans le cas d'installation d'armoires d.c. dans un local ou un emplacement de service électrique avec accès réservé à du personnel qualifié, cette armoire peut être de classe I dans la mesure où la protection contre les contacts indirects est complétée par une LES dans ce local.

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions

☞ Protection contre les surtensions liées à la foudre

Les surtensions sont présentes de plusieurs manières dans une installation PV. Elles peuvent être :

- transmises par le réseau de distribution et être d'origine atmosphérique (foudre) et/ou dues à des manœuvres,
- générées par des coups de foudre à proximité des bâtiments et des installations PV, ou sur les paratonnerres des bâtiments,
- générées par les variations de champ électrique dues à la foudre.

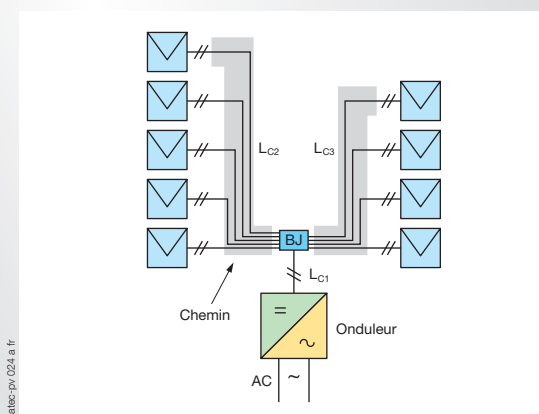
☞ Mise en œuvre ou dispense des parafoudres d.c.

La mise en œuvre ou non de parafoudres va dépendre de la longueur des installations exposée au risque et du niveau kéraunique (Nk) de l'endroit. (Nk: densité de foudroiement).

Cette longueur critique varie en fonction des types d'installation.

Pour un onduleur, la longueur des installations à considérer pour déterminer L est $L = L_{c1} + L_{c2} + L_{c3}$.

Pour une installation à plusieurs onduleurs individuels, la longueur à considérer est la longueur par onduleur ; pour une installation à plusieurs onduleurs à gestion centralisée, la longueur à considérer est la somme de toutes les longueurs.



Protection d'un générateur photovoltaïque

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions (suite)

Le tableau ci-dessous permet de valider la dispense de parafoudres.
Cette approche, basée sur une analyse de risque, ne limite pas la mise en œuvre de ces protections dès que la valeur de la protection devient dérisoire devant la valeur de l'installation ($P >$ quelques dizaines de kW).

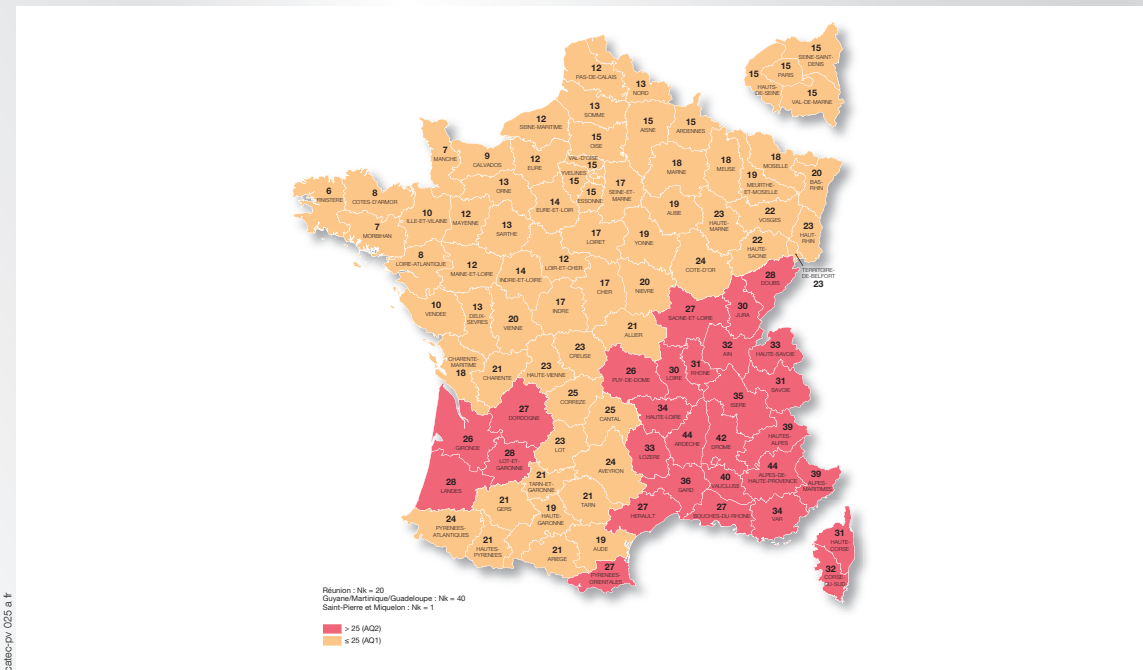
Fonction	Domestique	Installation au sol	Grandes toitures
L crit. (m)	1150 / Nk	2000 / Nk	4500 / Nk
$L \geq L \text{ crit.}$	Parafoudre obligatoire		
$L < L \text{ crit.}$	Parafoudre non obligatoire		
Présence de paratonnerre	Parafoudre obligatoire		

Exemple

L crit. à Strasbourg : domestique = 57,5 - installation au sol = 100 - grandes toitures = 225.

• Définition du niveau Nk niveau kéraunique

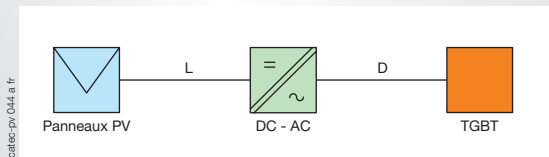
Remarque : N_g (niveau de foudroiement) = N_k (niveau kéraunique) / 10.



➤ Conditions de mise en œuvre des parafoudres côté a.c. et d.c.

Suivant la NT C15-100 et le guide UTE C 15-712-1, les conditions d'installation des parafoudres côté d.c. et a.c. dépendent des différents critères suivants :

- Côté d.c., un parafoudre est obligatoire au niveau de l'onduleur :
 - soit en présence de paratonnerre,
 - soit lorsque la longueur L entre les panneaux PV et l'onduleur est $> L \text{ crit.}$Un deuxième parafoudre est recommandé pour protéger les panneaux PV si $L > 10 \text{ m}$.
- Côté a.c., un parafoudre est obligatoire au niveau du TGBT (ou de l'AGCP) :
 - soit en présence de paratonnerre,
 - soit lorsque le niveau kéraunique est > 25 .Un deuxième parafoudre est nécessaire pour protéger l'onduleur si la distance entre le TGBT (ou l'AGCP) et l'onduleur $D > 10 \text{ m}$.



		DC		AC	
		Panneaux PV	onduleur DC	Onduleur AC	TGBT
		$L < 10 \text{ m}$	$L > 10 \text{ m}$	$D < 10 \text{ m}$	$D > 10 \text{ m}$
Installation avec paratonnerre	Non isolé	— T1	T1 — T1	— T1	T2 — T1
	Isolé	— T2	T2 — T2	— T1	T2 — T1
Installation sans paratonnerre		— T2	T2 — T2	— T2	T2 — T2

Remarque : T1 = parafoudre type 1 ou class 1, T2 = parafoudre type 2 ou class 2.

Les surintensités d'un générateur photovoltaïque

➔ Ombrage d'un générateur

• Ombrage partiel sur un générateur photovoltaïque

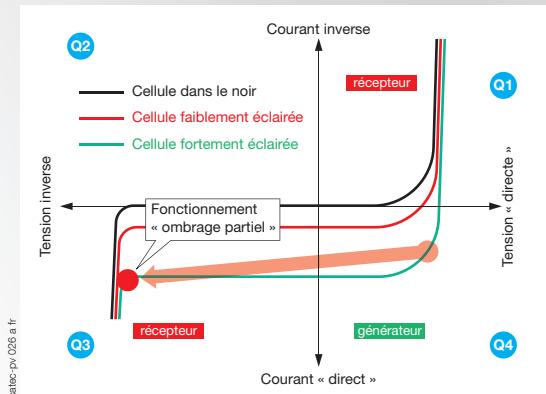
L'ombrage partiel d'une cellule va forcer cette dernière à travailler dans le quadrant Q3 (voir figure 1), c'est-à-dire d'inverser la polarité de la tension de l'élément et de l'élever au seuil tension inverse de la jonction ($UC \approx -15 \text{ V}$ à -25 V).

La puissance absorbée par les cellules à l'ombre dépasse très nettement la puissance normalement dissipée et provoque des points chauds.

Les points chauds peuvent endommager définitivement le module PV. Une protection contre les surintensités est sans effet, car l'augmentation de la puissance à dissiper est liée à l'apparition d'une tension inverse dans la cellule affectée et non à une augmentation significative du courant I_{sc} .



cellec-pv 026 a

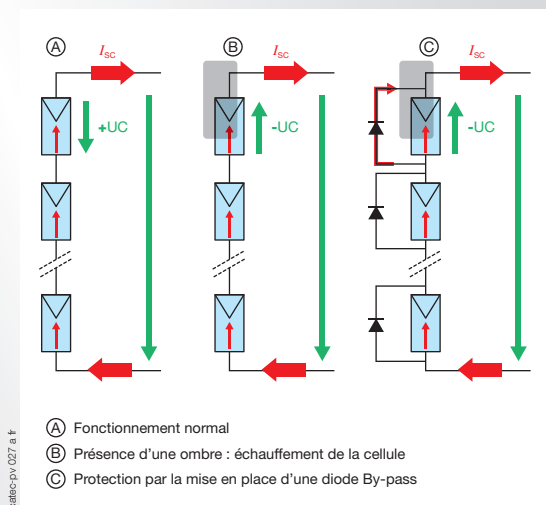


cellec-pv 026 a fr

Fig. 1.

Une diode By-pass va, en permettant au courant des autres éléments en série de contourner la cellule « ombrée » :

- éviter la surtension inverse ainsi que les points chauds liés à cet ombrage,
- laisser les autres cellules non ombragées de la chaîne générer leur courant normal, à la place du courant sensiblement égal au courant réduit fourni par la cellule ombragée.



cellec-pv 027 a fr

Fig. 2. : ombrage partiel

Les surintensités d'un générateur photovoltaïque (suite)

• Ombrage total d'une chaîne sur un générateur photovoltaïque

Les courants inverses peuvent être imposés à un module présentant une tension plus faible, comme par exemple un module complet à l'ombre par les modules en parallèle exposés à de hauts niveaux de rayonnement.

Le module à l'ombre représente une charge et exploite le quadrant Q1 de la figure 1.

En conditions normales, la tension de fonctionnement est limitée à la tension en circuit à vide UOC.

En conséquence, le courant maximum inverse ne dépasse guère le courant de court-circuit au niveau du module et ne représente pas une surcharge dangereuse pour le module et l'installation d.c.

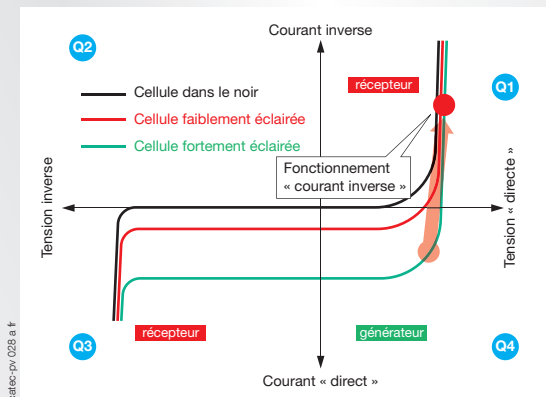


Fig. 1.: courant inverse

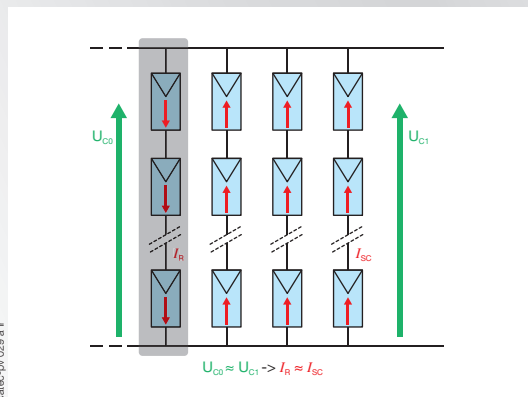


Fig. 2.: ombrage total

• Court-circuit total d'un générateur photovoltaïque

Contrairement aux autres sources d'énergie, un court-circuit d'un générateur PV complet sans dispositif de stockage ne génère pas de surintensités dangereuses dans celui-ci. Le courant de défaut va être limité à I_{sc} total du générateur. L'ensemble des canalisations et équipements doivent être dimensionnés pour cette éventualité, afin justement de ne pas à mettre en œuvre de dispositions de protection complexe et sans grand intérêt.

• Court-circuit partiel du générateur

Si un défaut de court-circuit interne au générateur PV est établi, il va réduire la tension utile de la chaîne en défaut et lui faire subir des surintensités inverses dangereuses pour les modules, fournies par :

- l'une ou plusieurs chaînes en parallèles,
- des sources externes comme les accumulateurs,
- ou les deux.

Les courts-circuits dans les modules peuvent s'établir dans les boîtes de jonction, le câblage, suite à un défaut de terre dans le réseau du générateur. De même, il est impératif d'envisager un « claquage » d'une protection foudre du générateur ou de l'onduleur, voire de l'onduleur lui-même.

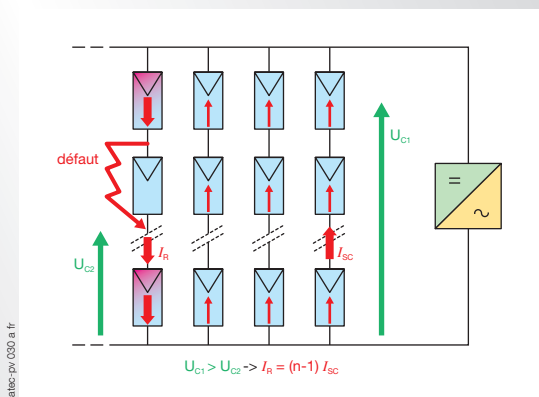


Fig. 1.: court-circuit dans une chaîne

Les surintensités d'un générateur photovoltaïque (suite)

Ce court-circuit partiel peut être assuré par deux défauts de masse dans une installation isolée de la terre (figure 2) ou par un défaut de masse dans une installation où une polarité est raccordée à la terre pour des raisons fonctionnelle (figure 3). Dans cette éventualité, une surintensité dangereuse pour les modules peut apparaître : le courant de boucle s'élève à $I_{\text{fault}} \approx n I_{\text{scSTC}}$ et le courant inverse dans la chaîne en défaut à $I_R \approx (n - 1) I_{\text{scSTC}}$.

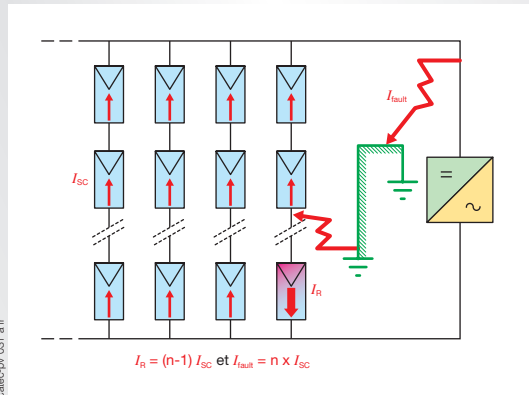


Fig. 2. : double défaut de masse

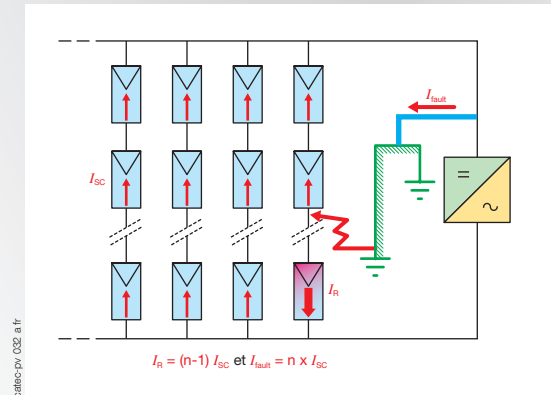


Fig. 3. : simple défaut de masse sur une installation avec polarisation fonctionnelle

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités

➤ Nécessité de protection contre les courants inverses

Le dimensionnement des câbles de chaînes dépend fortement des chutes de tension ; les notions de courants admissibles pour la protection des canalisations contre les surcharges sont généralement automatiquement satisfaites et ne nécessitent pas la mise en place de protection pour assurer cette fonction.

Le principal critère de sélection des fusibles est la valeur de I_{RM} (courant inverse maximum PV) que le module peut supporter temporairement jusqu'à ce que le fusible de protection choisi interrompe le courant de défaut généré suite à un défaut (voir figures 2 et 3 ci-dessus).

Le choix de mettre ou non un fusible de protection est guidé selon le principe suivant :

$$(N_{C_{\max}} - 1) I_{scSTC} \leq I_{RM} < N_{C_{\max}} I_{scSTC}$$

Pour les générateurs PV avec un nombre de chaînes N_c supérieur à $N_{C_{\max}}$, l'utilisation de dispositifs de protection contre les courants inverses est donc à prévoir.

La figure 1 donne le nombre de chaînes en parallèle $N_{C_{\max}}$ qui ne nécessitent pas de protection en fonction de la valeur du courant I_{RM} d'une chaîne dans une installation sans batterie de stockage :

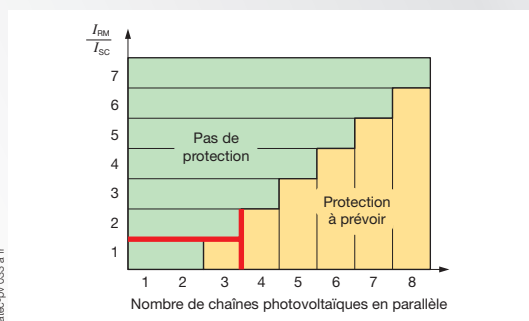


Fig. 1.

Nota : assez généralement, dans une installation sans batterie de stockage : les valeurs d' I_{RM} de modules PV en silicium cristallin sont supposées entre 2 et 3 I_{scSTC} .

Protection d'un générateur photovoltaïque

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités (suite)

La règle générale est que chaque chaîne soit protégée individuellement par un dispositif de protection. Dans certains cas de modules ayant une tenue très élevée en courant inverse, N_p chaînes peuvent être raccordées en parallèle à un dispositif de protection unique.

N_{pmax} : Nombre maximal de chaînes en parallèle par dispositif de protection

Tenue en courant inverse du module	N_{pmax}
$1,4 I_{scSTC} \leq I_{RM} < 3,8 I_{scSTC}$	1
$3,8 I_{scSTC} \leq I_{RM} < 6,2 I_{scSTC}$	2
$6,2 I_{scSTC} \leq I_{RM} < 8,6 I_{scSTC}$	3
Cas général : $(2,4 N_{pmax} - 1) I_{scSTC} \leq I_{RM} < (2,4 N_{pmax} + 1,4) I_{scSTC}$	

Information des I_{RM} données par les constructeurs de modules photovoltaïques

Certains fabricants de modules précisent un courant inverse maxi à peu près égal au courant nominal de court-circuit et un calibre de fusible nettement plus élevé.

Apparemment, ce faible courant inverse communiqué est destiné à définir des courants de dégivrage ou de l'enlèvement de couche fine de neige, la valeur du fusible désignant effectivement la protection dans des conditions de défaut.

Lorsque le constructeur définit un fusible maxi, cette donnée doit être prise en compte. Mais en cas de doute sur le type exact du fusible, ceci est impérativement à clarifier avec le « service client » du fabricant des modules.

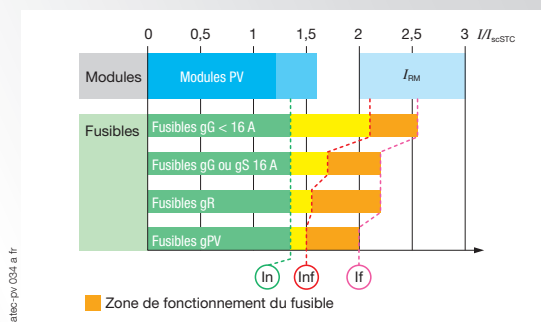
Choix de la protection en cas de surensoleillement

L'exploitation du fusible au-dessus de sa caractéristique nominale doit être évitée. Cette zone critique est la zone entre le courant nominal et le courant de non fusion (Inf). Cela est d'autant plus impératif pour des fusibles soumis à des fluctuations de température de façon cyclique, typiques des systèmes PV.

Le courant nominal I_n du fusible PV de la chaîne doit être supérieur au courant maximal d'exploitation de la chaîne, qui varie de 1,25 à 1,6 I_{scSTC} selon les conditions climatiques et l'ensoleillement.

Les fusibles PV ne doivent pas fonctionner, ni dégrader l'installation en conditions normales d'utilisation afin d'éviter les pertes d'exploitation.

Afin de répondre à ce besoin, le courant nominal I_n du fusible est choisi à 40 % au-dessus de I_{sc} de la chaîne PV.



Inf: courant de non fusion des fusibles

If ou I_2 : courant maximum de fusion des fusibles

$$I_n \geq 1,4 I_{scSTC}$$

Choix de la protection en fonction de la tenue des modules en courant inverse (I_{RM})

Le courant I_{RM} , selon la norme IEC 61730, correspond à un essai de 2 heures à 1,35 I_{RM} ; ainsi, la protection est assurée si le fusible choisi fonctionne correctement avant cette valeur de 1,35 I_{RM} .

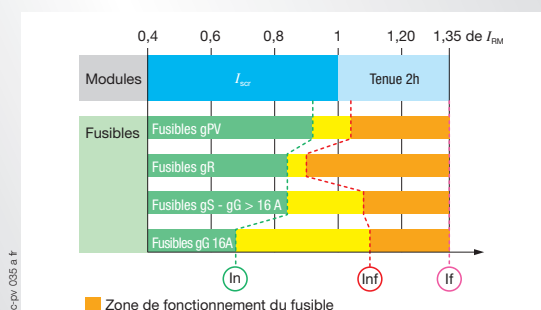
Le temps conventionnel de coupure I_f (ou I_2) d'un fusible est de 1 heure, soit au-dessous des 2 heures du module, ce qui procure une marge de sécurité en donnant un courant maxi de fusible pour un module spécifique.

Les différents types de fusibles ayant des temps et des courants conventionnels de fusion différents, il est nécessaire de valider avec les règles de coordination mentionnées ci-après.

$I_n \leq 0,85 I_{RM}$ pour les fusibles gR, gS ou gG ≥ 16 A

$I_n \leq 0,7 I_{RM}$ pour les fusibles gG < 16 A

Les fusibles « gPV », conformes à la future norme CEI 60 269-6, établissent la protection PV, $I_f = 1,45 I_n$ et peuvent être choisis à $I_n \leq I_{RM}$.



Inf: courant de non fusion des fusibles

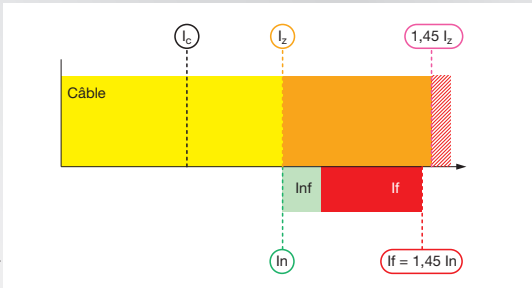
If ou I_2 : courant maximum de fusion des fusibles

$$I_f \leq 1,35 I_{RM} \text{ ou } I_n \leq I_{RM}$$

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités (suite)

Choix de la protection des canalisations du générateur

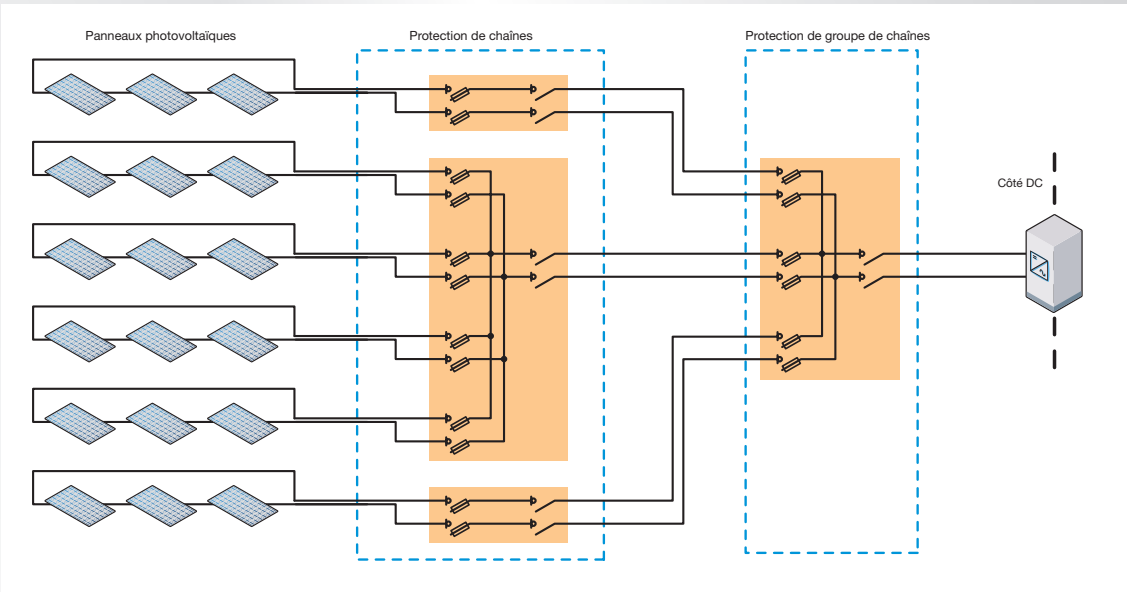
Le choix de la protection de la canalisation consiste à définir un fusible qui va éliminer une surintensité avant que cette dernière ne dégrade la canalisation par échauffement. Cette disposition est assurée si le courant de fusion du fusible est inférieur à 1,45 fois le courant admissible dans cette canalisation (I_z). Cette valeur de courant I_z doit prendre en compte l'ensemble des coefficients de déclassement habituels tels que la température ambiante, le nombre de canalisations en parallèle, etc.



Choix du fusible de protection des canalisations du groupe de chaînes (N: nb de chaînes)

$$I_n \geq 1,4 I_{\text{groupe}} = N \times 1,4 I_{\text{chaîne}}$$
$$I_z \geq 1,45 I_z$$

Fusible de protection générateur photovoltaïque (N: nb de groupes)



$$I_n \geq 1,4 I_{scSTC} \text{ générateur} = N \times 1,4 I_{scSTC} \text{ groupe}$$

Cette protection de générateur n'est nécessaire qu'en présence d'une batterie de stockage.

En synthèse

Courants admissibles des câbles de chaînes PV et choix des dispositifs de protection associés.

Nc Nombre de chaînes du générateur	Courant inverse maximal dans une chaîne	Obligation de Protection	In Courant assigné des dispositifs de protection de chaînes	Iz Courant admissible des câbles de chaînes PV
1	-	Non		$I_z \geq 1,25 I_{scSTC}$
2	$1,25 I_{scSTC}$			$I_z \geq 1,25 I_{scSTC}$
$Nc \leq Nc_{max}$	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$			$I_z \geq (Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$
$Nc > Nc_{max}$ et $Np = 1$	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$	Oui	$I_n \geq 1,4 I_{scSTC}$ $I_n \leq I_{RM}$	$I_z \geq I_2$
$Nc > Nc_{max}$ et $Np > 1$	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$		$I_n \geq Np 1,4 I_{scSTC}$ $I_n \leq I_{RM} - (Np - 1) I_{scSTC}$	$I_z \geq I_2$

Protection d'un générateur photovoltaïque

Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités (suite)

• Pouvoir de coupure des fusibles photovoltaïques

Les fusibles PV de chaînes doivent avoir un pouvoir de coupure supérieur ou égal au courant maximum de défaut du système PV. Une valeur de 25 kA d.c. est recommandée pour prendre en compte d'éventuelles dispositions de stockage d'énergie ou des retours éventuels de puissance du réseau de distribution. La constante de temps d'un circuit PV est communément inférieure à 2 ms (L/R), les fusibles PV acceptent des constantes de temps bien supérieures.

• Type de fusibles à mettre en œuvre

Les fusibles PV doivent être choisis avec une courbe de type usage général « g », car ils ont à interrompre en toute sécurité l'ensemble de la plage des courants, de la valeur minimale de fusion au maximum du pouvoir de coupure.

Les fusibles de la série « a » (type accompagnement) sont totalement inadaptés et ne doivent en aucun cas être utilisés, car ils présentent des risques de non gestion d'arc en dessous de leur pouvoir de coupure minimum.

L'utilisation de fusibles inadaptés dans une installation PV peut provoquer beaucoup plus de désordre que le niveau de protection recherché.

• Tension d'emploi du fusible photovoltaïque

Pour prendre en compte les influences de la température en conditions « froides », il est préconisé d'augmenter de 20 % la tension d'utilisation du fusible à mettre en place.

$$U_n \geq U_{ocSTC} \times 1,2$$

U_{ocSTC} : tension en circuit ouvert de la chaîne PV

Nota :

le coefficient 1,2 permet la prise en compte des variations de la tension U_{ocSTC} en fonction de la température basse jusqu'à -25 °C pour des panneaux mono ou polycristallins. Pour des installations où les températures minimales sont différentes, il est possible d'adapter ce coefficient.

• Déclassement thermique

Bien que les fusibles PV dissipent relativement peu de chaleur, la température interne des boîtes de jonction assurant la protection des chaînes doit être prise en compte en raison de l'exposition aux températures ambiantes élevées et du nombre important de matériels comme les diodes de blocages ou autres équipements de surveillance.

Les facteurs de diversité (RDF) préconisés par la norme CEI 61 439 ne sont pas applicables, car il est nécessaire de considérer tous les circuits à leur charge maximale et en même temps (facteur de diversité =1).

Les facteurs de déclassement en température préconisés par le constructeur de fusibles sont à appliquer.

• Protection bipolaire

Quel que soit le réseau d.c. polarisé ou flottant, la protection contre les courants inverses doit être assurée sur les deux polarités « + » et « - ». La polarisation fonctionnelle pouvant être coupée, les courants de défaut peuvent se reboucler par l'une ou l'autre des polarités.

De même, il est fortement recommandé d'associer ces fusibles à des sectionneurs fusibles adaptés pour assurer le remplacement éventuel des fusibles en toute sécurité (IPxxB).

Cette opération devant se faire impérativement hors charge, il est fondamental de prévoir, à proximité immédiate de ces protections fusible, un interrupteur sectionneur qui assure la coupure en charge du générateur PV amont et le sectionnement de sécurité (distance d'isolement, garantie des lignes de fuites, coupure certaine ou visible...).

Dans une installation accessible par du personnel autre que qualifié ou averti, l'accès au sectionneur fusible, parafoudre et autres appareils n'ayant pas de pouvoir de coupure doit être asservi à l'ouverture d'un interrupteur qui autorise l'accès à ces matériels.



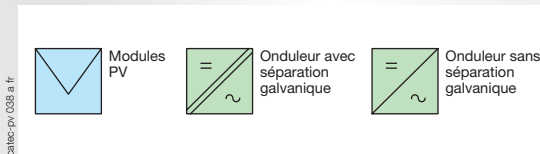
COFF 343 A

Prévention contre la dégradation des installations photovoltaïques

Les courants de défaut dans les générateurs PV sont fortement tributaires de l'ensoleillement et peuvent être bien au-dessous de I_{scSTC} . Des arcs électriques peuvent se maintenir avec des courants incapables de déclencher le dispositif de protection contre les surintensités.

C'est pour cette raison que tout doit être mis en œuvre pour se prémunir des défauts susceptibles de générer des arcs électriques dans un générateur PV.

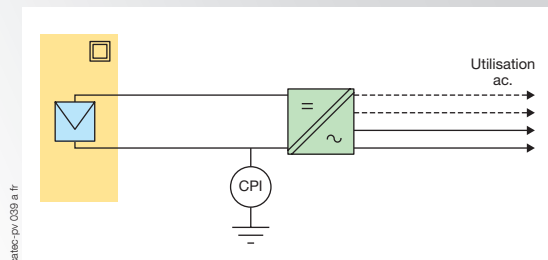
Les principales précautions consistent à mettre en place des modules normalisés CEI 61730-2 de classe II, et une installation en amont des onduleurs de classe II ou à isolation renforcée. Ensuite, il faut prendre en compte l'utilisation d'onduleurs avec ou sans isolation galvanique.



• Prévention des risques d'arcs dans une installation non polarisée et onduleur avec séparation galvanique

Dans ce cas, les moyens complémentaires de prévention consistent à installer des contrôleurs permanents d'isolement avec alarme sonore et/ou visuelle; cet équipement doit pouvoir assurer la surveillance de défaut dans une installation en d.c. pour les tensions $U_{oc} \times 1,2$.

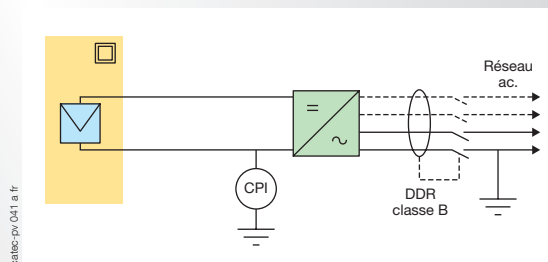
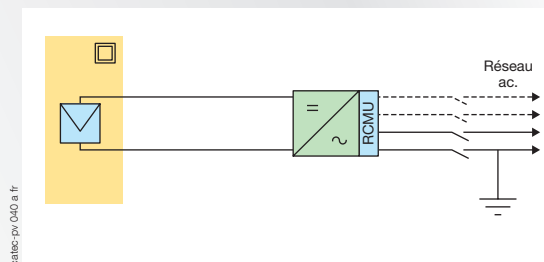
Dans le cas d'un générateur étendu ($> 100 \text{ kWc}$), il est fortement recommandé de prévoir la mise en œuvre de dispositions permettant la localisation sous tension des défauts d'isolement.



• Prévention des risques d'arcs dans une installation non polarisée et onduleur sans séparation galvanique

Dans ce cas, les moyens complémentaires de prévention consistent à prévoir un dispositif de détection de composantes continues qui commande la déconnexion automatique du raccordement de l'onduleur au réseau.

À ce dispositif, il est nécessaire d'ajouter un équipement qui assure une mesure journalière de l'isolement de toute l'installation (générateur et onduleur). Cette mesure est réalisée lorsque le système de déconnexion de l'onduleur coté a.c. est en position ouverte.



Nota :

Ces dispositions sont assurées notamment par le dispositif RCMU des onduleurs conforme à la prénorme VDE 0126-1.

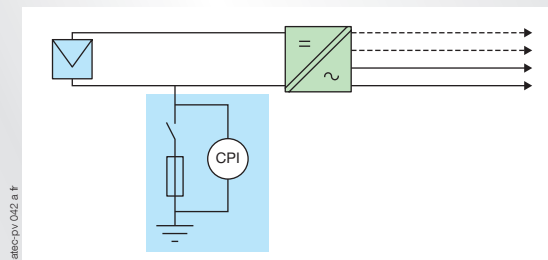
• Prévention des risques d'arcs dans une installation polarisée directement à la terre

Ce choix impose l'utilisation d'onduleurs avec séparation galvanique.

Dans ce cas, les moyens complémentaires de prévention consistent à prévoir un fusible en série dans la mise à la terre fonctionnelle pour limiter le courant de défaut ou un dispositif de coupure automatique commandé par un relais différentiel de type B).

Afin de s'affranchir de l'aveuglement de ce principe de détection par un défaut sur la polarité raccordée, une surveillance de l'isolement de toute l'installation, générateur et onduleur, doit pouvoir être réalisée journalièrement, mise à la terre fonctionnelle ouverte.

L'ouverture de la protection contre les surintensités en série, ou le seuil de d'isolement franchi, doit déclencher une alarme sonore et/ou visuelle pour alerter l'exploitant.



Prévention contre la dégradation des installations photovoltaïques (suite)

• Prévention des risques d'arcs dans une installation polarisée au travers d'une résistance à la terre

Ce choix impose l'utilisation d'onduleurs avec séparation galvanique.

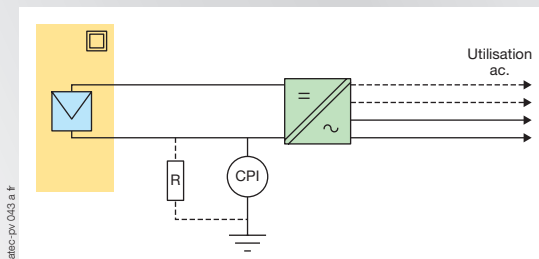
Dans ce cas, les moyens complémentaires de prévention consistent à prévoir un contrôleur permanent d'isolement avec alarme sonore et/ou visuelle; il doit pouvoir assurer la dégradation de l'isolement pour les tensions $U_{oc} \times 1,2$.

Le seuil d'alarme prend en compte cette résistance.

La résistance doit être dimensionnée selon les spécifications du constructeur de panneaux (valeur et puissance).

Nota :

Dans le cas d'installation non surveillée pendant la production par du personnel BA4 ou BA5 (ex. : domestique), la détection de défaut interdit le redémarrage de l'installation le lendemain matin.



Lexique des termes utilisés dans le domaine photovoltaïque

Cellule PV

Dispositif PV fondamental pouvant générer de l'électricité lorsqu'il est soumis à la lumière telle qu'un rayonnement solaire.

Module PV

Le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées complètement protégé contre l'environnement.

Chaîne PV

Circuit dans lequel des modules PV sont connectés en série afin de former des ensembles, de façon à générer la tension de sortie spécifiée.

Groupe PV

Ensemble mécanique et électrique intégré de chaînes et d'autres composants pour constituer une unité de production d'énergie électrique en courant continu.

Boîte de jonction de groupe PV

Enveloppe dans laquelle toutes les chaînes PV de tous groupes PV sont reliées électriquement et où peuvent être placés les dispositifs de protection éventuels.

Générateur PV

Ensemble de groupes PV, également appelé champ PV.

Équipement de conversion PV

Dispositif transformant la tension et le courant continu en tension et en courant alternatif, également appelé onduleur.

Conditions d'essai normalisées (STC)

Conditions d'essais prescrites dans la NF EN 60904-3 (C 57-323) pour les cellules et les modules PV.

Tension en circuit ouvert U_{ocSTC}

Tension en conditions d'essai normalisées, aux bornes d'un module PV, d'une chaîne PV, d'un groupe PV non chargés (ouvertS) ou aux bornes, partie courant continu, de l'équipement de conversion PV.

Courant de court-circuit I_{scSTC}

Courant de court-circuit d'un module, d'une chaîne, d'un groupe PV ou d'un générateur PV en conditions d'essai normalisées.

Courant inverse maximal I_{RM}

Valeur maximale du courant inverse auquel un module peut résister sans dégâts. Cette valeur est donnée par le constructeur.

Note 1 : Cette valeur ne concerne pas le courant supporté par les diodes de contournement, mais le courant parcourant les cellules PV dans la direction inverse au courant normal.

Note 2 : La valeur typique pour des modules en silicium cristallin est comprise entre 2 et $2,6 I_{scSTC}$ du module.

Point Maximum de Puissance (MPP ou MPPT)

Ce principe, comme son nom anglais l'indique (Maximum Power Point Tracker), permet de suivre le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire tel qu'un générateur photovoltaïque.

Le ou les « MPPT » désignent aussi communément un composant de l'onduleur permettant à ce dernier d'utiliser l'irradiation de façon optimale, en adaptant sa charge aux caractéristiques du générateur PV en fonction de l'ensoleillement effectif.

Socomec proche de vous

AGENCES ET DÉPÔTS

BORDEAUX (16 - 17 - 24 - 33 - 40 - 47 - 64)

SOCOMECC

5, rue Jean-Baptiste Perrin - ZI, Parc d'activités Mernoz
33320 Eysines
Tél. 05 57 26 85 00 - Fax 05 56 36 25 42
scp.bordeaux@socomec.com

GRENOBLE (07 Nord - 26 Nord - 38 (hors région lyonnaise) - 73 - 74)

SOCOMECC

17, avenue du Granier
38240 Meylan
Tél. 04 76 90 52 53 - Fax 04 76 41 08 62
scp.grenoble@socomec.com

LILLE (59 - 62 - 80)

SOCOMECC

Parc de la Cimaïse - 8 rue du Carrousel
59650 Villeneuve d'Ascq
Tél. 03 20 61 22 80 - Fax 03 20 91 16 81
scp.lille@socomec.com

LYON

(01 - 03 - 21 - 38 (région lyonnaise) - 39 - 42 - 43 - 58 - 63 - 69 - 71 - 89)

SOCOMECC

Le Mas des Entreprises - 15/17 rue Emile Zola
69153 Décines Charpieu Cedex
Tél. 04 78 26 66 57 - Fax 04 78 26 65 96
scp.lyon@socomec.com

MARSEILLE - CORSE - MONACO

(04 - 05 - 06 - 07 Sud - 13 - 26 Sud 30 - 83 - 84)

SOCOMECC

Parc d'Activité Europarc Sainte Victoire - Le Canet - Bât. N° 7
13590 Meyreuil
Tél. 04 42 59 61 98 - Fax 04 42 52 46 14
scp.marseille@socomec.com

METZ (02 - 08 - 10 - 51 - 52 - 54 - 55 - 57 - 88)

SOCOMECC

62, rue des Garennes
57155 Marly
Tél. 03 87 62 55 19 - Fax 03 87 56 16 98
scp.metz@socomec.com

NANTES (22 - 29 - 35 - 44 - 49 - 53 - 56 - 79 - 85 - 86)

SOCOMECC

5, rue de la Bavière - Erdre Active
44240 La Chapelle-sur-Erdre
Tél. 02 40 72 94 72 - Fax 02 40 72 88 23
scp.nantes@socomec.com

PARIS - ÎLE-DE-FRANCE (60 - 75 - 77 - 78 - 91 - 92 - 93 - 94 - 95)

SOCOMECC

Z.I. de la Pointe - 95, rue Pierre Grange
94132 Fontenay-sous-Bois Cedex
Tél. 01 45 14 63 40 - Fax 01 48 75 50 61
scp.paris@socomec.com

ROUEN (14 - 27 - 50 - 61 - 76)

SOCOMECC

15, allée Robert Lemasson - Technoparc des Bocquets
76230 Bois Guillaume
Tél. 02 35 61 15 15 - Fax 02 35 60 10 44
scp.rouen@socomec.com

STRASBOURG (25 - 67 - 68 - 70 - 90)

SOCOMECC

1, rue de Westhouse - B.P. 60010
67235 Benfeld Cedex
Tél. 03 88 57 41 30 - Fax 03 88 57 42 78
scp.strasbourg@socomec.com

TOULOUSE

(09 - 11 - 12 - 15 - 19 - 23 - 31 - 32 - 34 - 46 - 48 - 65 - 66 - 81 - 82 - 87)

SOCOMECC

Rue Guglielmo Marconi - Z.A. Triasis
31140 Launaguet
Tél. 05 62 89 26 10 - Fax 05 62 89 26 19
scp.toulouse@socomec.com

TOURS (18 - 28 - 36 - 37 - 41 - 45 - 72)

SOCOMECC

La Milletière - 7 allée Colette Duval
37100 Tours
Tél. 02 47 41 64 84 - Fax 02 47 41 94 92
scp.tours@socomec.com

SIÈGE SOCIAL

GROUPE SOCOMECC

S.A. SOCOMECC au capital de 11313400 €
R.C.S. Strasbourg B 548 500 149
B.P. 60010 - 1, rue de Westhouse - F-67235 Benfeld Cedex
Tél. 03 88 57 41 41 - Fax 03 88 57 78 78

DIRECTION COMMERCIALE ET MARCHÉ

SOCOMECC

Z.I. de la Pointe - 95, rue Pierre Grange
F-94132 Fontenay-sous-Bois Cedex
Tél. 01 45 14 63 30 - Fax 01 45 14 63 38
scp.dcm@socomec.com

Document non contractuel. © 2010, Socomec SA. Tous droits réservés.