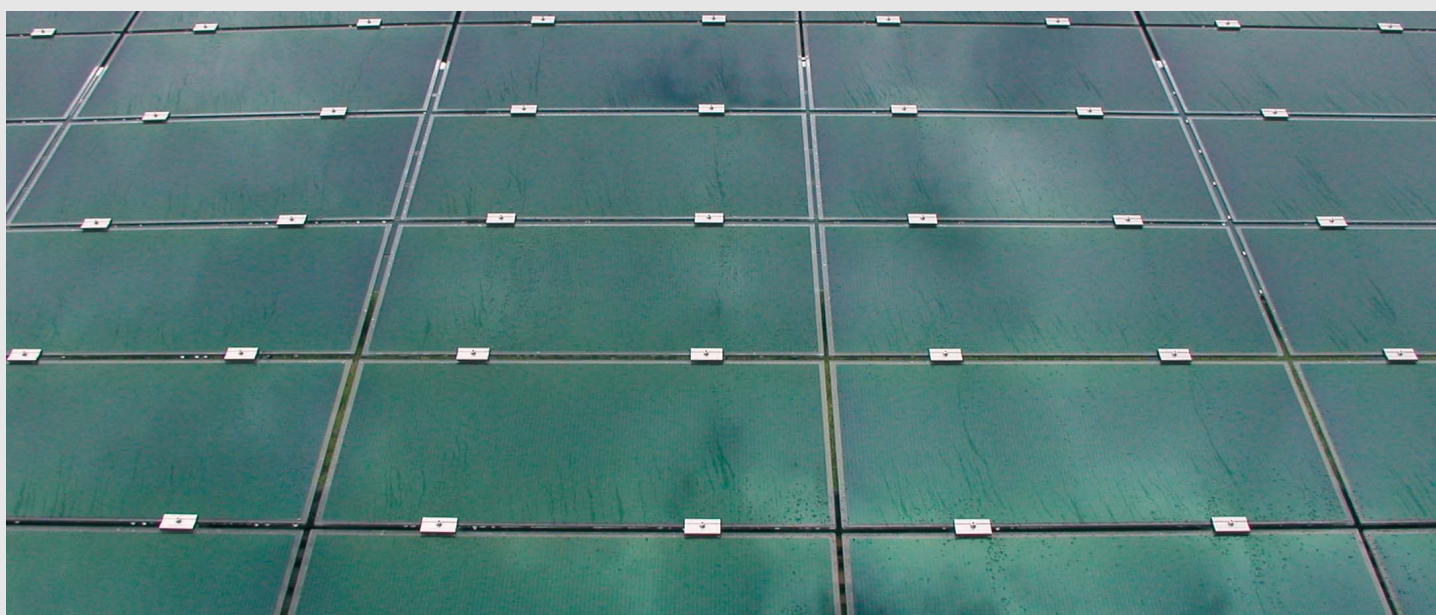


Technologie de panneaux

Les onduleurs SMA offrent une solution adaptée à chaque type de panneaux



Contenu

Parallèlement aux panneaux photovoltaïques à base de silicium cristallin, de nouvelles technologies de cellules et évolutions des panneaux photovoltaïques traditionnels arrivent sans cesse sur le marché. Ainsi, des technologies novatrices, telles que les panneaux à couche mince et les cellules à contact en face arrière, promettent-elles de réels progrès, comme des coûts de fabrication réduits, des temps de retour énergétique courts ou des rendements particulièrement élevés.

Il ne faut cependant pas oublier que certaines technologies sont uniquement recommandées dans des conditions bien définies. Par conséquent, les panneaux photovoltaïques doivent à tout prix être mis en œuvre conformément aux recommandations du fabricant.

Grâce à la diversité des offres et des topologies, les onduleurs SMA et leurs options complémentaires offrent la souplesse d'installation requise pour proposer une solution optimale pour chaque technologie de panneaux.

Ce document d'information technique décrit l'état actuel des connaissances en matière de mise en œuvre des diverses technologies de cellules et de panneaux. Ces informations sont complétées par des recommandations concrètes sur le choix d'un onduleur approprié.

1 Potential Induced Degradation (PID)

De nombreux installateurs et exploitants d'installations ont sans doute entendu parler ces derniers temps de pertes de puissance inexplicables. Ce phénomène s'observe notamment sur le panneau photovoltaïque le plus proche du pôle négatif. À cet endroit, le potentiel (tension à la terre) des cellules photovoltaïques se situe généralement entre -200 V et -350 V , selon la longueur du string et le type d'onduleur utilisé. Le cadre des panneaux photovoltaïques affiche quant à lui un potentiel de 0 V puisque, pour des raisons de sécurité, il doit être mis à la terre.

En raison de cette tension électrique entre les cellules photovoltaïques et le cadre, il peut arriver que des électrons issus des matériaux constitutifs des panneaux photovoltaïques s'échappent via le cadre relié à la terre (figure 1). De ce phénomène subsiste une charge (polarisation) susceptible de dégrader la courbe caractéristique des cellules photovoltaïques (figure 2). Il apparaît que ce type de polarisation est généralement réversible. C'est pourquoi, il convient de le distinguer des effets irréversibles, tels que la corrosion et le vieillissement normal des installations.

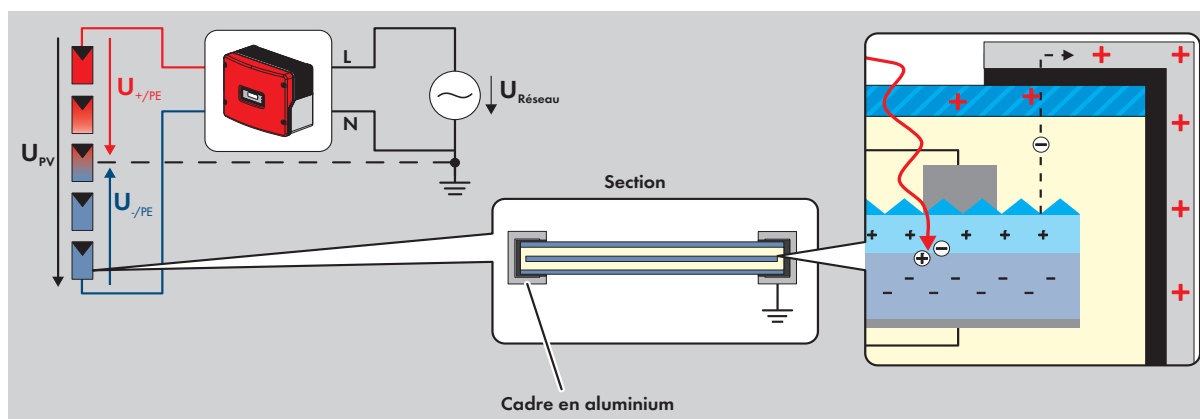


Figure 1: Capture de charges électriques par un courant de fuite entre la cellule photovoltaïque et le cadre du panneau

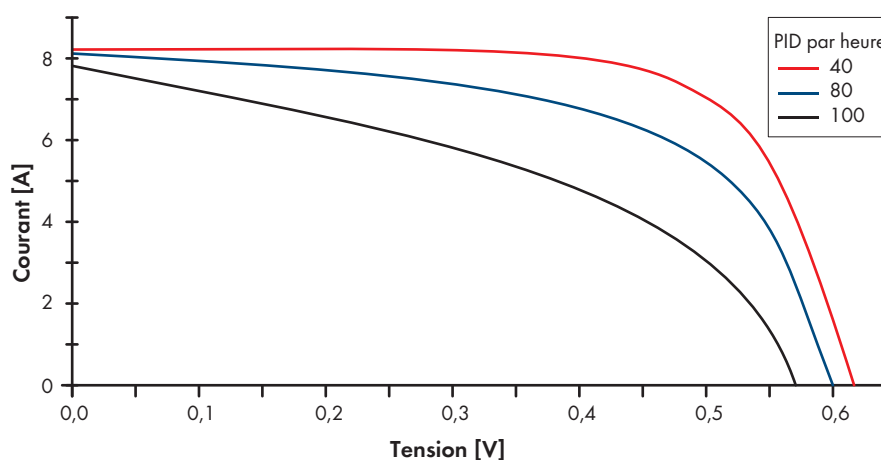


Figure 2: Courbe caractéristique d'un panneau photovoltaïque avant et après le processus de dégradation. On constate un tassement de la courbe caractéristique, où la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit restent quasi inchangés, tandis que la puissance maximale (MPP) peut chuter de 70 %.*

Par le passé, les phénomènes de polarisation n'étaient connus que sur de rares types de cellules, pour lesquels les fabricants recommandaient une manipulation appropriée. Depuis peu, d'autres types de cellules présentent des défauts similaires. Il convient par conséquent de distinguer deux cas :

- Depuis plusieurs années, la société SunPower signale la polarisation de ses panneaux dotés de cellules A-300 (type n) lorsqu'ils fonctionnent sous un potentiel électrique positif. Le remède préconisé est une mise à la terre du pôle positif du générateur.
- Parmi les cas apparus récemment, beaucoup concernent également des fabricants employant des cellules de type p. Dans ce cas, la polarisation est néanmoins due au potentiel négatif et peut être empêchée par une mise à la terre du pôle négatif du générateur.

Si l'onduleur utilisé ne permet pas la mise à la terre du générateur ou si les panneaux photovoltaïques ont déjà été polarisés, une neutralisation de la polarisation est requise. SMA Solar Technology AG a développé à cet effet la PVO-Box, qui soumet le pôle concerné à une tension inverse durant la nuit. De plus amples informations à ce sujet sont disponibles dans l'information technique « Potential Induced Degradation » (voir www.SMA-France.com).

* d'après J. Berghold et al. : « Potential Induced Degradation of Solar Cells and Panels » ; 25th EU PVSEC / 5th World Conf. on PV Energy Conversion, 6-10 septembre 2010, Valence, Espagne

2 Corrosion TCO

Après une durée de fonctionnement relativement courte, une dégradation de la couche dite TCO (Transparent Conductiv Oxide) a été décelée sur certains panneaux à couche mince. L'endommagement de cette couche conductrice sur l'intérieur du vitrage est irréparable et entraîne des pertes de puissance considérables.

Causes

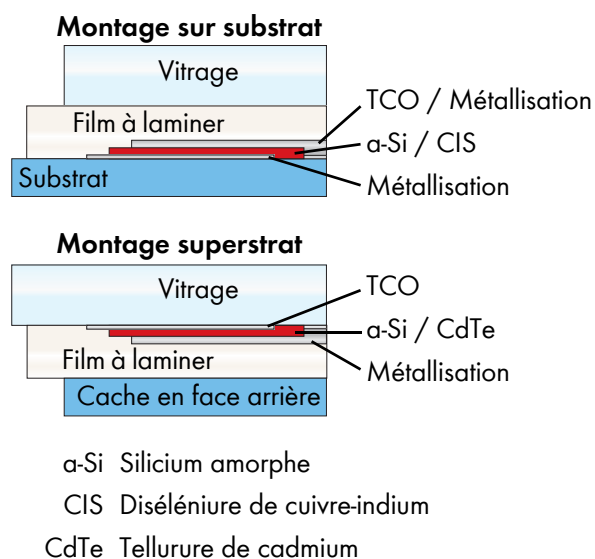
Le Florida Solar Energy Center (FSEC) étudie les causes de la corrosion TCO depuis l'an 2000. D'après les recherches de ce centre, ce sont principalement les panneaux dotés de cellules en α -Si et CdTe, fabriqués selon la technologie superstrat, qui sont concernés. Lors de ce processus de fabrication, l'installation de chaque couche du panneau débute par le vitrage.

La corrosion TCO apparaît en priorité en bordure des panneaux photovoltaïques, suite à la réaction de l'humidité avec le sodium contenu dans le vitrage.

La corrosion rend le TCO laiteux et lui fait perdre ses propriétés conductrices. Le rendement du panneau photovoltaïque diminue alors progressivement.

Contre-mesures

- Les phénomènes de corrosion dépendent directement des courants de fuite, liés au potentiel du générateur photovoltaïque à la terre. Contrairement à la tension photovoltaïque entre les raccordements positif et négatif, la tension à la terre n'est guère prise en compte lors de la configuration de l'installation. Selon la topologie de l'onduleur, cette tension peut être très variable (voir chapitre 5 « Potentiel à la terre », page 7). Une augmentation de la distance entre les panneaux et la mise à la terre des structures (par exemple le cadre du panneau) limitent certes les courants de fuite, mais le choix d'une certaine topologie d'onduleurs ne peut à lui seul résoudre le problème.
- L'utilisation d'onduleurs à séparation galvanique et la mise à la terre négative du générateur photovoltaïque avec un kit de mise à la terre (référence : ESHV-N-NR) permettent de créer un champ électrique dans lequel les ions de sodium chargés positivement sont repoussés de la couche TCO. La corrosion est ainsi évitée en toute sécurité. Cette mesure devrait par conséquent être privilégiée.
- Les fabricants de panneaux développent par ailleurs des solutions visant à empêcher l'apparition de cet effet. Un meilleur scellage des bords du panneau, par exemple, empêche la pénétration d'humidité, ce qui élimine un ingrédient essentiel du processus de corrosion.



3 Courants de décharge capacitifs

Un panneau photovoltaïque représente une surface capable de se charger électriquement, placée dans un cadre mis à la terre. Une telle configuration se comporte comme un condensateur électrique, dont la capacité est d'autant plus grande que sa surface est importante et la distance avec le pôle opposé relié à la terre (cadre) est réduite. Cette capacité prenant ici la forme d'un effet indésirable, on emploie parfois le terme de « capacité parasite ». La capacité se calcule à l'aide de la formule suivante, comportant 4 facteurs :

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \times A \div d$$

Signification des facteurs :

Facteur	Signification
ϵ_0	Constante diélectrique ou permittivité, constante naturelle : $8,85 \times 10^{-12}$ As/Vm
ϵ_r	Constante de permittivité, dépend du matériau : $\epsilon_{r\text{Air}} = 1$; $\epsilon_{r\text{Verre}} \approx 5-10$
A	Surface efficace du condensateur
d	Distance entre les plaques de condensateur

En outre, lorsqu'ils sont en fonctionnement, les panneaux photovoltaïques sont reliés au réseau public par l'intermédiaire de l'onduleur. Selon le type d'onduleur utilisé, une partie de l'amplitude de la tension alternative est transmise aux panneaux photovoltaïques. Pour de nombreux onduleurs sans transformateur, ceci correspond à la moitié de la tension alternative (115 V/50 Hz). Les fluctuations de tension modifient en permanence l'état de charge du condensateur photovoltaïque parasite et engendrent un courant de déplacement, qui est proportionnel à la capacité et à l'amplitude de la tension.

Pour les experts : le courant de déplacement (valeur efficace) peut se déduire comme suit :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \times \frac{\Delta U}{\Delta t} = C \times 2\pi \times f \times U$$

où $f = 50$ Hz correspond à la fréquence du réseau et U à la valeur efficace de la tension alternative au niveau du générateur photovoltaïque (env. 115 V sur les onduleurs sans transformateur). Ce courant de décharge est un courant réactif dont la phase est décalée de 90° par rapport à la tension d'alimentation. A priori, il est donc sans perte.

Le courant de décharge dont il question ci-dessus est certes un courant réactif, qui ne présente pas de danger en soi, mais il transmet également un éventuel courant de défaut, qui peut par exemple survenir au niveau d'une isolation défectueuse en cas de contact avec un câble sous tension, dont il peut d'ailleurs sérieusement compliquer la détection. À partir d'un courant de décharge de 50 mA, la détection d'un courant de défaut de 30 mA – potentiellement mortel – devient quasi impossible. Dans ce cas, l'onduleur se déconnecte automatiquement du réseau public pour des raisons de sécurité. De nombreux onduleurs monophasés sans transformateur atteignent ces 50 mA avec une capacité parasite de 1 400 nF. De plus amples informations à ce sujet sont disponibles dans l'information technique « Courants de fuite capacitifs » (voir www.SMA-France.com).

4 Résistance d'isolement R_{iso}

La plupart des cellules d'une installation photovoltaïque affichent durablement un potentiel différent de zéro. Afin d'éviter des courants de fuite trop importants, pour des raisons de sécurité des personnes et de protection anti-incendie, les panneaux photovoltaïques doivent être correctement isolés. En d'autres termes, la résistance d'isolement R_{iso} ne doit pas être inférieure à une certaine valeur. En raison de leur liaison directe avec le réseau public relié à la terre, les onduleurs sans transformateur ne peuvent pas mesurer continuellement la valeur R_{iso} en cours de fonctionnement. Par conséquent, l'isolation du générateur photovoltaïque fait l'objet d'une surveillance permanente : avant le couplage au réseau par la mesure de la résistance d'isolement et en mode d'injection via le contrôle du courant de décharge.

La valeur R_{iso} doit satisfaire aux critères suivants :

- Pour les panneaux photovoltaïques, R_{iso} doit atteindre au moins $40 \text{ M } \Omega \times \text{m}^2$. Cela signifie qu'un panneau photovoltaïque d'une surface de 1 m^2 doit afficher une résistance d'isolement minimum de $40 \text{ M } \Omega$, tandis qu'un panneau d'une surface de 2 m^2 ne devra atteindre que $20 \text{ M } \Omega$ au minimum.
- Pour les systèmes photovoltaïques sans séparation galvanique (sans transformateur), R_{iso} doit atteindre au moins $2 \text{ 000 k}\Omega$ par kW de puissance d'entrée de l'onduleur. Le respect de cette valeur limite doit être contrôlé par l'onduleur.

Jusqu'à fin 2010, les valeurs limites étaient même encore plus sévères, ce qui entraînait fréquemment un conflit entre les deux directives dans les grandes installations photovoltaïques. Bien qu'elle soit devenue plus rare, cette situation reste possible, comme le montre l'exemple suivant :

Conflit de normes

Pour réaliser une installation photovoltaïque de 17 kW avec des panneaux ayant un rendement de 8,5 %, il faut couvrir une surface de 200 m^2 . Conformément à la norme, ces panneaux peuvent avoir une résistance d'isolement de $40 \text{ M } \Omega / 200 \text{ m}^2 = 200 \text{ k } \Omega$. Cela ne laisse aucune marge de sécurité vis-à-vis des normes actuelles et peut donc conduire à des problèmes au moment de raccorder l'onduleur au réseau public. Les panneaux photovoltaïques dont le rendement est encore inférieur (par exemple a-Si) ou les générateurs photovoltaïques toujours plus grands sont donc davantage concernés par le problème.

De plus amples informations à ce sujet sont disponibles dans l'information technique « Résistance d'isolement » (voir www.SMA-France.com).

5 Potentiel à la terre

Pour trouver un onduleur adapté à toutes les exigences auxquelles doivent satisfaire les panneaux photovoltaïques, le potentiel qui apparaît entre les pôles positif et négatif du générateur en mode d'injection doit être connu. C'est ce qu'illustre le graphique suivant :

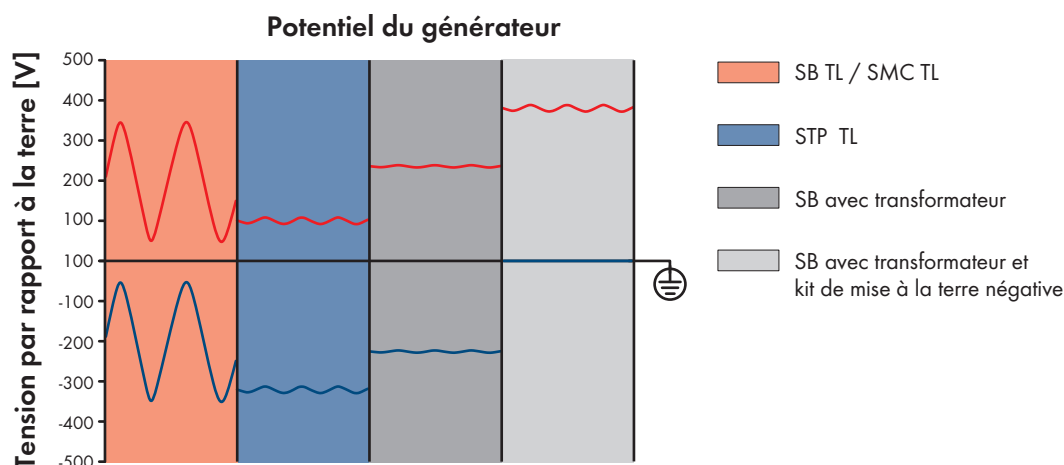


Figure 3: Le potentiel respectif des panneaux photovoltaïques inférieur (bleu) et supérieur (rouge) d'un string (voir aussi figure 1) dépend de l'onduleur utilisé et de la mise à la terre éventuelle d'un pôle du générateur. Exemple pour une tension MPP de 400 V.

SB = Sunny Boy, SMC = Sunny Mini Central, STP = Sunny Tripower, TL = Transformerless (sans transformateur)

Les potentiels de générateurs diffèrent selon le type (la topologie) de l'onduleur. Il convient par ailleurs de distinguer mise à la terre directe (onduleurs avec transformateur) et mise à la terre indirecte par déplacement du potentiel (onduleurs sans transformateur). En somme, les onduleurs SMA offrent les possibilités suivantes :

- Kit de mise à la terre classique : ce mode de mise à la terre est uniquement possible pour les onduleurs SMA avec transformateur. Le point mise à la terre du pôle positif ou négatif est assurée par un fusible interne offrant une sécurité supplémentaire (protection incendie). La surveillance du fusible préserve la surveillance d'isolation. Le kit de mise à la terre est disponible aussi bien pour la mise à la terre positive que négative.
- Les onduleurs SMA SB xxxxHF possèdent une fiche de mise à la terre pouvant être branchée sur l'onduleur dans deux positions distinctes. Un seul et même connecteur permet par conséquent d'effectuer une mise à la terre positive ou négative.
- Sur les onduleurs à certification UL, destinés aux États-Unis et au Canada, la fonction du kit de mise à la terre est incorporée aux appareils, car ceux-ci doivent être munis d'un dispositif GFDI (Ground Fault Detection Interrupter).

- TL-Grounding Solution : sur les onduleurs sans transformateur, le potentiel du générateur photovoltaïque est couplé au réseau public. Dans ce cas, une mise à la terre directe n'est pas possible, mais le potentiel du point neutre du système triphasé peut être déplacé suffisamment pour qu'au niveau du générateur photovoltaïque même le pôle négatif reste toujours dans la plage positive. Supérieure à une simple mise à la terre, cette mesure baptisée « TL-Grounding Solution » se limite pour l'instant aux installations avec Sunny Tripower qui injectent dans le réseau moyenne tension par l'intermédiaire de leur propre transformateur.

Par ailleurs, il est possible d'inverser le potentiel durant la nuit, afin de neutraliser d'éventuelles accumulations de porteurs de charge, grâce à la PVO-Box, utilisée pour la régénération des panneaux photovoltaïques réversibles (voir section 1 : « Potential Induced Degradation »).

6 Liste de contrôle

Afin de faciliter le choix d'un onduleur adapté à chaque type de panneau, les principales recommandations sont répertoriées ci-après :

1. Vérifier si le fabricant de panneaux photovoltaïques a communiqué des recommandations relatives à la mise à la terre du générateur ou à la topologie de l'onduleur à utiliser.
2. Si le fabricant de panneaux photovoltaïques ne fournit pas d'instructions concernant l'utilisation de ses produits, il convient de procéder au choix de l'onduleur sur la base des caractéristiques indiquées dans le tableau suivant.

Si ces recommandations divergent de celles du fabricant, suivez en priorité les instructions de ce dernier.

Technologie de cellules / structure du panneau	Onduleurs sans transformateur		Onduleurs avec transformateur		
	SB xxxxTL SMC xxxxTL	STP xxxxTL	Appareil de série SB xxxx SMC xxxx		
			sans kit de mise à la terre	avec kit de mise à la terre nég.	avec kit de mise à la terre pos.
c-Si*	●	●	●	○	○
Couche mince**	–	–	–	●	–
Si monocristallin (A-300)*	–	–	–	–	●
Souple ou à feuille de métal***	–	○	●	●	●

Légende : ● recommandé ; ○ possible ; – non recommandé

* voir chapitre 1 « Potential Induced Degradation (PID) », page 2

** voir chapitre 2 « Corrosion TCO », page 4 et chapitre 4 « Résistance d'isolement R_{iso} », page 6

*** voir chapitre 3 « Courants de décharge capacitifs », page 5

Exemple : la société Sunpower recommande de mettre à la terre le raccordement positif pour les générateurs photovoltaïques des panneaux dotés de cellules du type A-300.

Le bon choix : Sunny Boy avec transformateur et un kit de mise à la terre positive (voir chapitre 1 « Potential Induced Degradation (PID) », page 2).

Exemple : les panneaux à couche mince dotés de cellules en CdTe ou en silicium amorphe emploient souvent une vitre revêtue d'une couche TCO qui joue le rôle de substrat pour l'installation des cellules.

Le bon choix : Sunny Boy avec transformateur et kit de mise à la terre négative (voir chapitre 2 « Corrosion TCO », page 4).

Exemple : une feuille d'acier inoxydable est souvent utilisée en tant que substrat de support pour les cellules souples à couche mince.

Le bon choix : Sunny Boy avec transformateur (voir chapitre 3 « Courants de décharge capacitifs », page 5).