

Information technique

## Courants de fuite capacitifs

Indications pour le dimensionnement d'onduleurs sans transformateur  
**Sunny Boy, Sunny Tripower, Sunny Highpower**



Tous les panneaux photovoltaïques présentent, en raison de leurs propriétés physiques fondamentales, une capacité électrique à leur environnement. Cette capacité provient essentiellement de la structure mécanique des panneaux ou de leur montage mais n'est pas nécessaire au fonctionnement du générateur photovoltaïque. Elle est, pour cette raison, aussi appelée capacité « parasite ». Elle est particulièrement renforcée par les surfaces conductrices présentes dans le générateur photovoltaïque. Un champ photovoltaïque dont la surface et le rendement sont importants présente donc une capacité parasite en conséquence. Cette dernière sera d'autant renforcée par la présence d'une surface humide (pluie, rosée).

Ce phénomène n'a aucun impact sur l'isolation des panneaux photovoltaïques. La protection des personnes est donc toujours garantie. La capacité parasite est néanmoins susceptible de perturber le fonctionnement de l'onduleur. En cas d'utilisation d'onduleurs sans transformateurs, des courants de déplacement peuvent survenir qui déclenchent alors l'unité de surveillance des courants de défaut voire le câble d'injection. Cela entraîne dans le premier cas la déconnexion momentanée de l'onduleur du réseau électrique public qui se remet ensuite automatiquement en mode d'injection. Dans le deuxième cas, l'injection réseau est interrompue jusqu'à ce que le dispositif à courant différentiel résiduel (DDR) du câble d'injection soit réactivé manuellement.

Une planification d'installation photovoltaïque réalisée avec soin et dans les règles permet d'éviter en grande partie de telles coupures d'injection réseau. Ci-après sont donc mentionnées les caractéristiques techniques à observer lors de la planification d'une installation photovoltaïque ainsi que lors de son installation et de sa première mise en service. Cette information technique s'adresse à deux groupes de lecteurs : aux fabricants des panneaux photovoltaïques mentionnés ci-dessus, avec prière de transmettre les informations à leurs clients, mais également aux personnes qualifiées en électricité et aux planificateurs d'installations.

# 1 Comment est calculée la capacité d'un générateur photovoltaïque par rapport à la terre ?

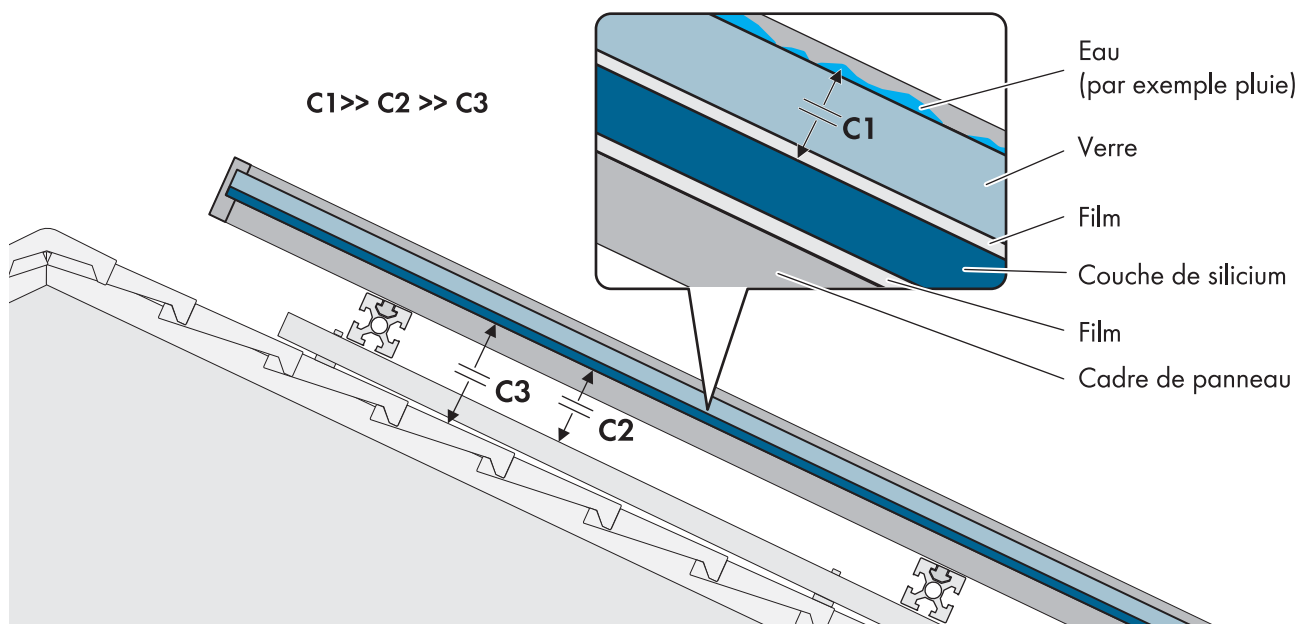


Figure 1: Représentation d'un panneau photovoltaïque en montage de toit et représentation schématique « Capacités parasites »

|    |  |
|----|--|
| C1 | Capacité parasite due à un film d'eau sur le verre |
| C2 | Capacité parasite due à l'armature mise à la terre |
| C3 | Capacité parasite due à la surface du toit         |

Un panneau photovoltaïque présente une surface électriquement conductible placée face à une armature mise à la terre. Un tel positionnement, qui permet d'accumuler une charge lorsqu'une tension est appliquée, s'appelle un condensateur. Sa capacité est généralement désignée par « C ». Dans la mesure où cette capacité apparaît ici sous la forme d'un effet secondaire indésirable, on parle de « capacité parasite »  $C_{PE}$  qui résulte de la somme de toutes les capacités individuelles :

$$C_{PE} = C1 + C2 + C3$$

La capacité se calcule d'après la formule suivante et dépend de quatre facteurs :

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot A/d$$

Signification des facteurs :

$\epsilon_0$ : Permittivité, constante naturelle ( $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ )

$\epsilon_r$ : Permittivité relative, en fonction du matériau : ( $\epsilon_{ra_{ir}} = 1$  ;  $\epsilon_{r_{verre}} \approx 5-10$ )

A : Surface efficace électriquement du condensateur

d : Distance entre les plaques de condensateur

Que représentent la surface « A » et la distance « d » ? La réponse n'est pas toujours simple, car il est indispensable de tenir compte à la fois des données des panneaux photovoltaïques et du type de montage. Pour cette raison, la fiche technique ne contient, en règle générale, aucune indication à ce sujet. Les deux exemples ci-après permettent d'expliquer comment une estimation peut toutefois être réalisée (pour le verre utilisé, une valeur respective de  $\epsilon_r = 6$  est supposée).

En ce qui concerne la taille de la capacité parasite dans la figure 1, le rapport suivant est valable en cas de pluie et d'humidité :

$$C1 \gg C2 \gg C3$$

Il apparaît qu'en cas de pluie et d'humidité, seule la capacité de C1 a une influence sur la capacité totale  $C_{PE}$  et que C2 et C3 ne doivent pas être prises en compte lors de l'examen ultérieur. En revanche, en cas de sécheresse, C1 est si faible que les autres capacités parasites doivent aussi être prises en compte. La capacité totale  $C_{PE}$  demeure néanmoins si faible que son influence sur le fonctionnement de l'installation photovoltaïque est négligeable. C'est pourquoi nous allons examiner la taille de C1 en cas de pluie et d'humidité dans ce qui suit.

**Exemples d'évaluation des capacités parasites  $C_{PE}$  pour différents types de panneaux dans l'hypothèse d'une humidification continue de la surface vitrée avec de l'eau**

---

**Exemple 1 : panneau courant à silice cristalline (monocristallin, polycristallin)**

- Rendement typique : 15 % à 20 %
  - Épaisseur de verre : 3 mm à 4 mm
  - Le panneau présente une capacité de 12 nF à 17 nF par m<sup>2</sup> de surface de panneau
  - L'installation possède 60 nF à 110 nF par kW de puissance DC installée
  - Pour une installation de 5 kW, cela donnerait une valeur de 330 nF à 550 nF pour  $C_{PE}$
- 

**Exemple 2 : Panneau à couche mince, par exemple CdTe**

- Rendement typique : 10 % à 15 %
  - Épaisseur de verre : 3,2 mm
  - Le panneau présente une capacité de 16 nF par m<sup>2</sup> de surface de panneau
  - L'installation possède 100 nF à 160 nF par kW de puissance DC installée
  - Pour une installation de 5 kW, cela donnerait une valeur de 500 nF à 800 nF pour  $C_{PE}$
-

## 2 Comment se forme un courant de fuite capacitif ?

En service, le panneau photovoltaïque est relié via l'onduleur au réseau à courant alternatif. Selon le type d'appareil, une partie de l'amplitude de la tension alternative alimente le panneau photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque complet oscille alors avec une tension alternative vis-à-vis de son environnement. Deux cas de figure sont à différencier :

Pour la plupart des onduleurs **monophasés** sans transformateur, la moitié de l'amplitude de réseau est transmise au panneau photovoltaïque pour des raisons de fonctionnement. Dans de nombreux réseaux électriques publics utilisant 230 V/50 Hz, la disposition oscille par exemple avec 115 V/50 Hz.

Dans le cas d'onduleurs **triphasés** sans transformateur, les oscillations présentent des amplitudes nettement moins importantes et produisent donc des courants de fuite plus faibles. La transmission de la tension AC au panneau photovoltaïque est fortement restreinte.

La tension oscillante modifie en permanence l'état de charge du condensateur photovoltaïque parasite décrit au chapitre précédent. Un courant de déplacement proportionnel à la capacité ainsi qu'à l'amplitude de la tension y est associé. Le circuit électrique de ce courant de déplacement est tout d'abord raccordé par le biais du point de mise à la terre des panneaux photovoltaïques et de la barre de terre au niveau du raccordement particulier. C'est pourquoi ce courant électrique est également nommé courant de fuite (capacitif).

---

**Pour les experts :** les propriétés physiques du courant de déplacement  $I$  (valeur efficace) peuvent se décrire comme suit :

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

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 (115 V sur les onduleurs monophasés sans transformateur). Ce courant de fuite est un courant réactif dont le conducteur de ligne est décalé de 90° par rapport à la tension du réseau. A priori, il est sans perte.

---

### 3 Comment le courant de fuite influence-t-il la détection du courant de défaut ?

Le courant de fuite capacitif décrit au paragraphe 2 est un courant réactif (sans perte).

Si, en revanche, suite à une erreur, par exemple une isolation défectueuse, un câble conducteur entre en contact avec une personne reliée à la terre (voir figure 3), un courant supplémentaire se constitue à la terre. Ce courant involontaire provoque des pertes et est désigné en tant que courant de défaut. La somme de ces deux courants (courant de fuite et courant de défaut) résulte en un courant différentiel résiduel.

---


$$\text{Courant différentiel résiduel} = \text{courant de fuite} + \text{courant de défaut}$$


---

Des courants de défaut AC supérieurs à 30 mA représentent un risque mortel pour les personnes.

Afin d'assurer une protection individuelle supplémentaire au-delà de la classe de protection de l'onduleur, les onduleurs sans transformateur doivent donc être déconnectés du réseau électrique public au plus tard à un courant de défaut de 30 mA (IEC 62109-2). À cet effet, le courant différentiel résiduel (courant de fuite + courant de défaut) est mesuré par le biais d'une unité de surveillance du courant de défaut sensible à tous les courants (Residual Current Monitoring Unit) pendant le mode d'injection. Le courant de défaut est calculé à partir de cette valeur mesurée. Pour des courants de fuite élevés, il n'est pas toujours possible de calculer avec précision le courant de défaut. Les erreurs de calcul qui en résultent peuvent entraîner un arrêt non désiré de l'onduleur.

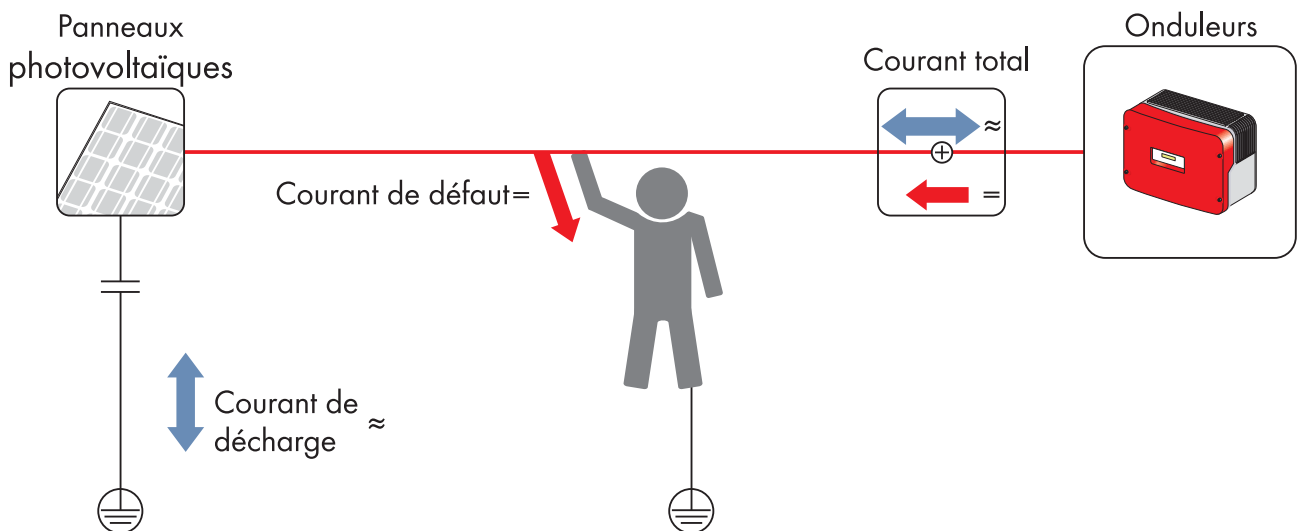


Figure 2: Création d'un courant de défaut suite à un contact entre une personne reliée à la terre et un câble conducteur

## 4 Quand les problèmes peuvent-ils survenir ?

### Capacité limite

Comme décrit ci-dessus, les courants de fuite élevés doivent être évités afin d'éviter un déclenchement intempestif de la surveillance du courant de défaut du générateur photovoltaïque. Étant donné que le courant de fuite dépend directement de la capacité du panneau photovoltaïque par rapport à la terre, il est possible de spécifier une capacité limite pour chaque tension AC par rapport à la terre à partir de laquelle il faut s'attendre à un fonctionnement sensible aux perturbations. La limite de capacité de l'onduleur est indiquée dans le manuel de l'onduleur.

Une étude approfondie sur le terrain a démontré que, pour la plupart des panneaux verre/verre, les valeurs de la limite de capacité correspondaient à des valeurs de crête ne pouvant être atteintes qu'en cas de très forte pluie. En cas de condensation matinale, les valeurs sont également élevées, tandis qu'en période de rendement optimal (ensoleillement), les valeurs sont très basses. Le schéma suivant permet de déceler la réaction du courant de fuite d'un générateur photovoltaïque lors de ce genre d'événements.

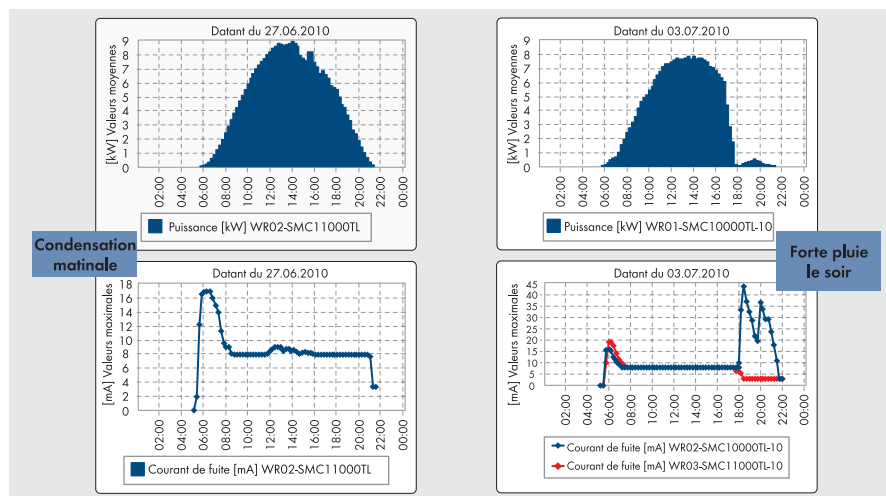


Figure 3: Déroulement d'un courant de fuite en tant que réaction par rapport à la modification de la capacité parasite du générateur de panneaux verre/verre en cas de condensation et de forte pluie

## 5 Liste de contrôle

Chaque installation photovoltaïque doit être contrôlée dès la phase de planification pour savoir si elle répond aux exigences mentionnées dans les chapitres précédents. En complément, nous vous recommandons les points de contrôle suivants :

### Point de contrôle 1

Le panneau photovoltaïque concerné présente, en raison de ses propriétés physiques fondamentales, une capacité électrique élevée à la terre  $C_{PE}$  (laminé, face arrière en métal intégrée) ou une interruption de l'injection réseau en cas de pluie /condensation doit absolument être évitée. Mesurez la capacité critique à la terre :

1. Calculez la surface totale d'un panneau photovoltaïque raccordé à un onduleur.
2. Identifiez la plus petite distance  $d$  entre les cellules photovoltaïques et une surface conductrice.  
La surface conductrice peut, le cas échéant, ne l'être que temporairement (en cas de pluie ou de condensation par ex.). Pour la distance, ce sont donc l'épaisseur de la couverture en verre en cas de pluie et l'épaisseur de l'isolation de la face arrière en cas de condensation matinale qui sont à prendre en compte.
3. (voir chapitre 1 « Comment est calculée la capacité d'un générateur photovoltaïque par rapport à la terre ? », page 2)

### Point de contrôle 2

Si la capacité à la terre atteint une valeur critique (voir les instructions de l'onduleur), des mesures doivent être envisagées afin d'éviter les interruptions d'injection réseau :

- Utilisation d'un dispositif à courant différentiel résiduel externe à courant différentiel résiduel assigné plus élevé
- Utilisation d'un onduleur avec une limite de capacité plus élevée (données selon les instructions)
- Répartition du générateur photovoltaïque en strings partiels plus petits et utilisation d'onduleurs supplémentaires

### Point de contrôle 3

Veuillez consulter le fabricant de panneaux photovoltaïques. Est-ce que des problèmes avec la capacité parasite sont déjà survenus ?

En cas de doute, il est vivement recommandé d'impliquer le fabricant de panneaux photovoltaïques dans le processus de conception. Ceci est en particulier valable lorsqu'un type de panneau photovoltaïque doit être exploité pour la première fois avec un onduleur sans transformateur.

## Contact

[www.SMA-Solar.com](http://www.SMA-Solar.com)