

Systèmes Solaires

La lumière du soleil et l'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque consiste à utiliser la lumière du soleil pour produire de l'électricité en courant continu de manière silencieuse, propre et autonome. Les équipements nécessaires pour produire cette électricité sont communément appelés « panneaux solaires ». Ils sont modulaires et nécessitent un minimum d'entretien. Associés à leur longue durée de vie, les systèmes solaires gagnent en popularité dans les zones reculées ou lorsqu'une installation est censée durer.

Les panneaux solaires sont des dispositifs capables de transformer le rayonnement lumineux en électricité grâce à un processus consistant à piéger les photons et à les utiliser pour stimuler les semi-conducteurs de type P et N afin de déplacer les électrons libres. Les panneaux photovoltaïques modernes peuvent généralement convertir directement environ 15 à 20 % de l'énergie en électricité. Il existe des panneaux plus efficaces, mais ils sont très coûteux, faciles à endommager et ne sont généralement pas accessibles dans les endroits où les organisations humanitaires pourraient travailler.

La lumière pénètre dans le dispositif à travers un revêtement antireflet qui minimise la perte de lumière par réflexion. Le dispositif piège ensuite efficacement la lumière qui frappe la cellule solaire en favorisant sa transmission aux trois couches de conversion d'énergie situées en dessous.

- Couche de silicium de type N ; Fournit des électrons supplémentaires (négatifs).
- Couche de jonction P-N. La couche d'absorption, qui constitue le cœur du dispositif en orientant les électrons dans une direction.
- Couche de silicium de type P ; Crée une vacance d'électrons (positifs).

Deux couches de contact électrique supplémentaires sont nécessaires pour acheminer le courant électrique vers une charge externe et le ramener dans la cellule, complétant ainsi un circuit électrique.

La plupart des cellules solaires ont une superficie de quelques centimètres carrés et sont protégées de l'environnement par une fine couche de verre ou de plastique transparent. Comme une cellule solaire typique de 10 cm × 10 cm (4 pouces × 4 pouces) ne génère qu'environ deux watts d'énergie électrique, les cellules sont généralement combinées en série pour augmenter la tension ou en parallèle pour augmenter le courant. Un module solaire ou photovoltaïque (PV) se compose généralement de 36 cellules interconnectées ou plus, laminées sur du verre dans un cadre en aluminium.

Un ou plusieurs de ces modules photovoltaïques peu(ven)t être câblé(s) et encadré(s) ensemble pour former un panneau solaire, et plusieurs panneaux peuvent être combinés pour former un réseau solaire, fournissant ensemble de l'énergie comme une seule unité.

Un système photovoltaïque complet comprendrait...

- Un compteur d'électricité
- Un isolateur de courant alternatif
- Une boîte à fusibles
- Un onduleur
- Une batterie
- Un contrôleur de charge
- Du câblage



Dégradation des cellules solaires

Toutes les cellules solaires - et par extension les panneaux solaires - se dégradent avec le temps. Alors que les systèmes solaires tirent leur énergie du soleil, le soleil dégrade également lentement les composants des cellules solaires. La plupart des panneaux solaires disponibles dans le commerce se dégradent à un taux moyen de 2 % par année d'utilisation. La durée d'utilisation d'une installation doit être prise en compte à des fins de planification et de budgétisation. Par exemple, pour un réseau solaire installé en plein soleil, qui se dégrade à 2% par an, cela signifie qu'après 10 ans, les panneaux ne seront plus efficaces qu'à 80% environ comme au moment de leur installation. Moins d'efficacité signifie moins de puissance de sortie en Watts du tableau, ce qui signifie des périodes de temps plus longues pour charger les batteries et des temps de charge moins optimaux tout au long de la journée. Les organisations humanitaires qui prévoient d'utiliser des tableaux solaires pendant plus de 10 ans sur un même site peuvent envisager de budgétiser le remplacement des panneaux après 12 à 15 ans si la production globale ne répond plus aux besoins du site.

Architecture du Système

Un système photovoltaïque complet peut être composé d'un ou de plusieurs module(s) solaire(s), en fonction de la puissance nécessaire. Alors que les batteries peuvent être utilisées comme un système de secours pour toute alimentation électrique principale, les systèmes solaires ont besoin d'un système de batteries pour stocker l'énergie produite. Par conséquent, un système solaire comprend toujours une forme de système de batteries, petit ou grand. Ces batteries sont spécialement conçues pour fournir un courant limité sur une longue période.

Un système d'alimentation peut s'adapter à différentes charges électriques en régulant la tension et/ou le courant provenant des panneaux solaires et allant à la batterie pour éviter toute surcharge. La plupart des panneaux « 12 volts » peuvent fournir environ 16 à 20 volts dans des conditions optimales, donc s'il n'y a pas de régulation, les batteries peuvent être et seront endommagées par une surcharge. La plupart des batteries ont besoin d'environ 14 à 14,5 volts pour être complètement chargées. Comme tout autre système électrique, une évaluation et un câblage appropriés sont nécessaires.

Un système solaire est généralement composé des éléments suivants :

- Un module photovoltaïque, un panneau ou un réseau solaire, y compris ses multiples types de supports.
- Un système de batteries.

- Un régulateur solaire.
- Du câblage et des protections.

Les systèmes solaires peuvent répondre à presque tous les besoins spécifiques car ils sont modulaires par nature. Il est ainsi possible de connecter des modules photovoltaïques directement à de nombreux appareils, tels que des pompes submersibles ou des unités de congélation autonomes, ou encore de constituer des réseaux solaires complets capables de produire de l'énergie pour des bureaux ou des complexes entiers.

Modules Solaires

Les modules solaires sont évalués en Watt-crête, représentés par la puissance de crête nominale (P_{max}), obtenue en multipliant la tension de puissance de crête (V_{mp}) par son courant de puissance de crête (I_{mp}) :

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp}$$

Un panneau solaire de 100Wc produit 100W dans des conditions de test standards (STC). Les conditions de test standards n'existent que dans les laboratoires, appliquant aux panneaux un rayonnement solaire de 1 000 W/m² avec une température de cellule de 25 °C. Dans une installation réelle, la production réelle d'électricité est généralement bien inférieure à la puissance de crête, mais les mesures restent utiles comme référence qualitative pour comparer les tailles et les capacités, car chaque panneau est évalué dans les mêmes conditions.

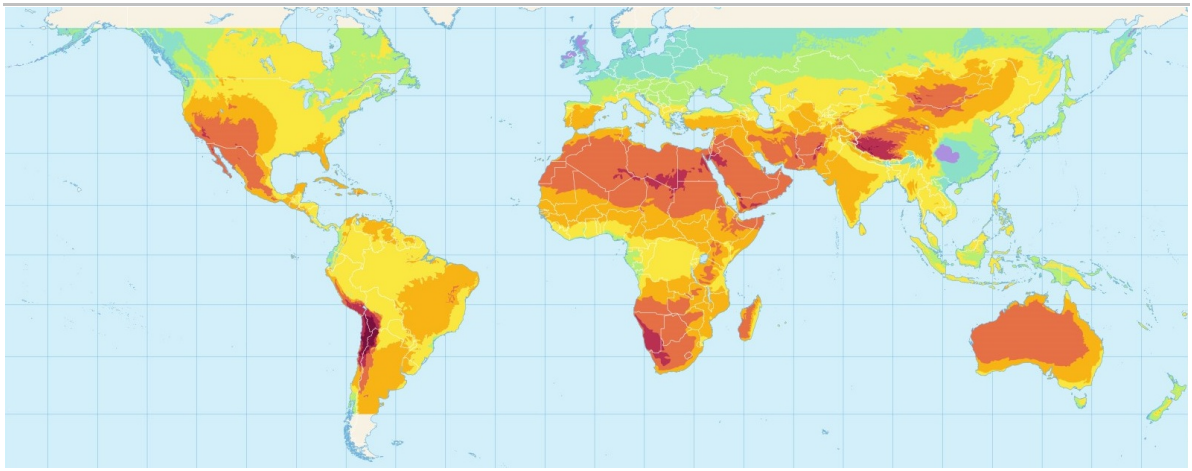
Exemple Étiquette fournie avec le panneau solaire

La quantité d'énergie électrique produite au cours d'une journée par un module solaire dépend principalement des facteurs suivants :

L'irradiance quotidienne : La quantité d'énergie fournie par le soleil en une journée est le paramètre le plus important. Les régions proches de l'équateur ont la meilleure irradiance moyenne, mais cette règle générale peut varier considérablement d'un endroit à l'autre et d'une saison à l'autre. La performance moyenne d'un système photovoltaïque exprimée en kWh/m² /jour peut être référencée dans le tableau ci-après.

Somme quotidienne moyenne à long terme

Somme annuelle moyenne à long terme



Ombre, brume et temps nuageux : tout obstacle bloquant la lumière du soleil diminuera la production d'énergie du module. En outre, si un panneau solaire est partiellement ombragé, la production d'électricité peut s'arrêter car les cellules ombragées consommeront l'énergie produite par le reste du panneau. Dans certains cas, un phénomène appelé « chauffage par points chauds » se produit lorsque les parties ombragées d'un même panneau chauffent rapidement en consommant de l'électricité d'une partie non ombragée, et peut rapidement détruire le panneau. Ce phénomène peut être évité en utilisant des diodes de dérivation qui sont généralement incluses dans les modules photovoltaïques, mais il est fortement recommandé de vérifier cette caractéristique.

Orientation du panneau : un panneau mal orienté - par exemple, orienté vers le nord dans l'hémisphère nord - produira beaucoup moins d'énergie que la capacité nominale du panneau, voire pas d'énergie du tout.

Température : Une température supérieure à 25 °C peut également diminuer la quantité d'énergie produite par un panneau solaire.

Heures de lumière du jour : Les panneaux solaires produisent plus d'électricité lorsque les rayons verticaux du soleil sont plus rapprochés, fournissant plus d'énergie par cm carré. Par conséquent, les panneaux solaires produiront moins d'électricité lorsque le soleil est près de l'horizon que lorsqu'il est directement au-dessus d'eux. En termes pratiques, un panneau solaire près de l'équateur qui est à l'extérieur pendant une journée de 12 heures ne produira que l'équivalent de 6 heures d'électricité de pointe, et ce uniquement dans des conditions optimales. Les changements de saison ou le mauvais temps feront chuter encore plus cette production.

En raison des facteurs susmentionnés, la production réelle d'électricité à partir d'un système solaire peut être difficile à évaluer. Une méthode simple consiste à dimensionner l'installation de manière à ce qu'elle produise 30 % des besoins en énergie quotidiens pendant le mois le plus défavorable.

Montage des Panneaux et Réseaux

Les modules photovoltaïques combinés pour créer des panneaux solaires et des panneaux solaires combinés montés ensemble pour créer des réseaux solaires sont possibles en utilisant des boîtes de jonction standards - de type MC3/MC4 - qui sont étanches et faciles à connecter. Comme les batteries, les réseaux de panneaux ne doivent utiliser que des modules solaires ayant les mêmes caractéristiques, le même modèle et, dans la mesure du possible, le même historique.

Supports

Les pisteurs solaires - des dispositifs qui orientent les panneaux vers le soleil - sont complexes, coûteux et non recommandés en dehors des utilisations industrielles et/ou des hautes latitudes où le soleil se déplace considérablement. Certains supports sont conçus pour permettre un ajustement saisonnier, donnant la possibilité de passer manuellement d'une position à l'autre au cours de l'année, ce qui devrait être plus que suffisant pour la plupart des installations.

Il existe essentiellement deux types de supports solaires : Les supports au sol et les supports sur le toit. Les panneaux solaires montés au sol sont plus faciles à installer et à entretenir que les systèmes montés sur le toit. Les systèmes montés sur le toit sont difficiles ou impossibles à ajuster et peuvent causer des dommages structurels en raison du poids et de la pression du vent. Cependant, les montages au sol ont leurs propres problèmes : ils occupent un espace utilisable, sont plus sujets à l'ombre et courent le risque d'être endommagés accidentellement par des voitures et des personnes. Les décisions de montage doivent être prises en fonction de l'emplacement et de l'infrastructure disponible.

Systèmes de Batteries

Les batteries solaires sont essentielles pour assurer le fonctionnement des systèmes solaires. Sans stockage par batterie, l'électricité ne sera disponible que pendant que les panneaux solaires la produisent. Comme les panneaux ne produisent de l'énergie que pendant la journée alors que la consommation peut se faire à tout moment, une banque d'alimentation stable est essentielle pour stocker cette énergie. Veuillez vous référer à la [section sur les batteries](#) pour plus d'informations.

Régulateur Solaire

Les contrôleurs de charge, communément appelés régulateurs solaires, sont des unités électroniques conçues pour contrôler le flux de courant - à la fois le courant chargeant les batteries à partir des panneaux et le courant provenant des batteries vers les bureaux/complexes.

Les régulateurs solaires contrôlent la charge et la décharge des batteries en déconnectant les panneaux lorsque les batteries sont complètement chargées et en coupant l'alimentation de la charge lorsque la batterie est trop faible. Une autre fonction importante des régulateurs solaires est d'optimiser la production d'énergie des panneaux en convertissant la tension de sortie plus élevée provenant des panneaux en une tension d'entrée plus faible nécessaire pour les batteries. Le régulateur fonctionne comme une plaque tournante de l'installation, et l'obtention d'une puissance maximale dépend de son bon fonctionnement.

Il existe deux types de régulateurs solaires.

Le MPPT (Suivi du Point de Puissance Maximum) :

Le MPPT (Suivi du Point de Puissance Maximum) :

	Le MPPT détecte la tension et le courant de sortie du panneau solaire en temps réel et suit en permanence la puissance maximale ($P=U \cdot I$), en régulant la tension de sortie en conséquence afin que le système puisse toujours charger la batterie avec la puissance maximale. Ce type de suivi de la puissance permet une meilleure production d'énergie en cas de couverture nuageuse et de températures variables. Bien que plus coûteux au départ, le Contrôleur de Charge MPPT donnera plus de puissance (et réduira potentiellement la taille du module photovoltaïque) et prolongera la durée de vie des batteries qui y sont connectées. Certains contrôleurs permettent même la connexion à des appareils intelligents pour le contrôle et la surveillance à distance.
Méthode de Charge	MPPT à plusieurs étages
Transformation de l'énergie solaire en électricité	99%
Taux d'ampérage	30A -100A
Gamme de Produits	>2KW Système de grande puissance
Prix Moyen	120\$
Avantages	• L'algorithme de suivi du point de puissance maximum augmente le taux de conversion de puissance jusqu'à 99 %. • La charge en 4 étapes est meilleure pour les batteries. • Ils sont évolutifs pour les grands systèmes d'alimentation hors réseau. • Ils sont disponibles pour les systèmes solaires jusqu'à 100 ampères. • Ils sont disponibles pour une entrée solaire jusqu'à 200V. • Ils offrent de la flexibilité lorsque la croissance du système est nécessaire. • Ils sont équipés de plusieurs dispositifs de protection.
Inconvénients	• Leur coût est élevé, généralement le double d'un PWM. • Leur taille est plus importante que celle d'un régulateur PWM.

Le PWM (Modulateur de Largeur d'Impulsion) :

Le PWM (Modulateur de Largeur d'Impulsion) :

	Les contrôleurs de charge PWM peuvent être considérés comme un interrupteur électrique entre le panneau solaire et l'ensemble de batteries, programmé pour ne laisser passer qu'un courant prédéterminé dans les batteries. Le contrôleur réduit lentement la quantité d'énergie entrant dans les batteries à mesure que celles-ci approchent de leur capacité maximale. Les Contrôleurs de Charge PWM ne règlent pas la tension, ce qui signifie que les batteries et les panneaux doivent avoir des tensions compatibles pour fonctionner correctement. Ce type de contrôleur de charge est donc adapté aux applications solaires de petite taille ou aux installations comportant des panneaux à faible tension et des bancs de batteries de taille limitée. Les PWM sont une option plus abordable, mais ils produisent moins de puissance à partir des panneaux photovoltaïques.
Méthode de Charge	3 étapes PWM
Transformation de l'énergie solaire en électricité	75%-80%
Taux d'ampérage	20A-60A
Gamme de Produits	<2KW Petit système solaire
Prix Moyen	65\$
Avantages	• Les Régulateurs PWM ont une histoire plus longue et éprouvée. • Les Régulateurs PWM ont une structure plus simple et sont plus rentables. • Ils sont faciles à déployer.
Inconvénients	• Ils ont un faible taux de conversion. • La tension d'entrée doit correspondre à la tension du banc de batteries. • Ils ont moins d'évolutivité pour la croissance du système. • Ils ont une sortie inférieure. • Ils offrent moins de protection.

Installation du Panneau

L'emplacement de stockage des batteries connectées au réseau solaire doit être identifié avant de dimensionner et d'acheter tout équipement. Non seulement l'espace doit être suffisamment grand pour monter les panneaux requis, mais la distance et la longueur du câble à partir de l'emplacement de stockage des batteries auront un impact sur les besoins en énergie calculés. Veuillez vous référer à la [section sur l'installation des batteries](#).

Un bon emplacement pour installer un réseau solaire doit présenter les caractéristiques suivantes :

- Être à l'intérieur d'un complexe et non visible de l'extérieur. Les panneaux solaires montés

au sol doivent idéalement être protégés par un mur ou une clôture, il est donc important de disposer d'un espace au sol suffisant.

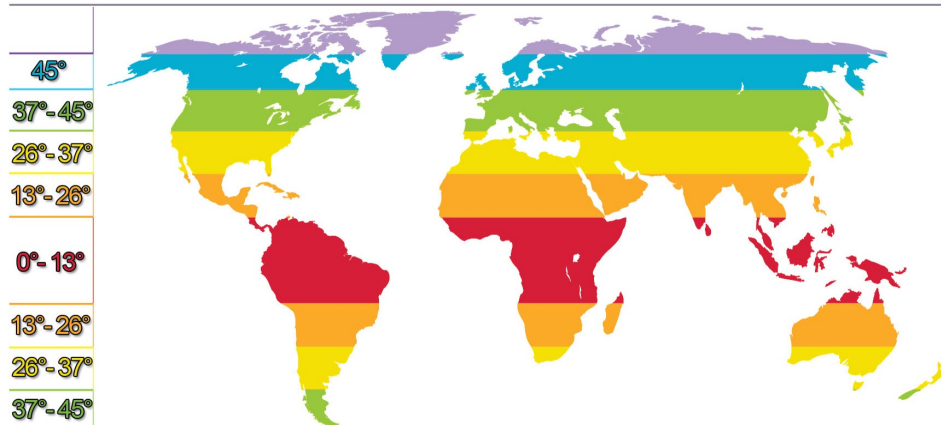
- Il convient d'être aussi près que possible du système de batteries.
- Il convient de s'éloigner de l'ombre, comme les arbres ou les bâtiments.

Parfois, il est difficile d'éviter complètement les zones d'ombre. La priorité doit être d'éviter l'ombre pendant les heures les plus ensoleillées de la journée (généralement de 10h00 à 16h00). Il convient de ne pas oublier que la position et la taille des ombres changent avec les saisons.

Position du Panneau Solaire

Pour optimiser la production d'énergie, les panneaux solaires doivent être soigneusement orientés pour profiter pleinement de l'exposition au soleil. Le pointage du panneau solaire comprend les éléments suivants :

- **Orientation** - L'orientation est l'angle du panneau solaire par rapport à l'axe nord-sud. Les panneaux solaires doivent faire face au sud dans l'hémisphère nord et au nord dans l'hémisphère sud.
- **Inclinaison** - L'inclinaison est l'angle du panneau solaire par rapport au plan horizontal. L'inclinaison est plus difficile à optimiser. La latitude peut être utilisée comme une approximation de l'angle d'inclinaison optimal, tel qu'indiqué dans le guide ci-après pour les panneaux à angles fixes. Cependant, même sur l'équateur, les panneaux doivent avoir un angle d'inclinaison minimum de 5 à 10° pour éviter l'accumulation d'eau et de poussière sur le panneau.



Connexion

La sortie des panneaux solaires est connectée au régulateur solaire, tandis que la sortie du régulateur solaire est connectée aux batteries. Le cadre de montage du panneau solaire est relié à la terre, et une connexion de mise à la terre/mise à la masse est fortement recommandée pour le régulateur et le protecteur de surtension.

Selon la puissance ou l'énergie requise, les panneaux peuvent suivre trois schémas différents qui donneront des résultats différents en termes de puissance et de courant. Les modules connectés en série, en parallèle ou une combinaison des deux donneront des sorties de puissance et d'énergie différentes.

Dimensionnement de l'Installation

Modules Photovoltaïques

Voici une méthode simple pour dimensionner les installations afin qu'elles produisent 30 % des besoins en énergie quotidiens pendant les pires mois de l'année :

Pour couvrir 30% des besoins en énergie d'une installation, combien de panneaux solaires seront nécessaires pour :

- Un besoin énergétique prévu de 12 880 Wh
- Une production moyenne journalière annuelle de 4,32 kWh par 1 kWp
- Pendant le mois le plus défavorable, la production journalière moyenne est de 2,62 kWh pour 1 kWc.

La production totale d'énergie réelle nécessaire par jour est de :

$$12,88 \times 0,3 = 3,87 \text{ kWh}$$

Exemple : Pour une production journalière moyenne de 2,62 kWh pour 1 kWc de module, le besoin journalier total est de :

$$3,87 / 2,62 = 1,48 \text{ kWp}$$

Le nombre réel de panneaux solaires requis dépendra de la puissance de crête de chaque panneau individuel. La configuration peut être la suivante :

12 panneaux de 130Wp (1,56kWp)	ou	9 panneaux de 180Wp (1,62kWc)	ou	6 panneaux de 260Wp (1,56kWc)
--	----	---	----	---

Comme la production quotidienne moyenne annuelle est de 4,32 kWh pour 1 kWp, une installation de 1,48 kWc produira $4,32 \times 1,48 = 6,39$ kWh par jour en moyenne annuelle, ce qui s'ajoute à l'augmentation globale des économies d'énergie.

Régulateur

Le régulateur solaire doit être dimensionné en fonction du nombre et du type de modules solaires utilisés. La taille du régulateur comprend les éléments suivants :

- La tension doit être la plus élevée possible en fonction du nombre de modules solaires dans les systèmes.
- Le courant maximum doit être égal au courant de court-circuit (ISC) de votre panneau solaire. Le courant de court-circuit pour un panneau individuel figure sur l'étiquette d'identification du panneau ou dans le manuel du fabricant. Pour calculer le courant de

court-circuit d'un réseau entier, il convient de combiner les courants de court-circuit de tous les panneaux connectés en parallèle.

Batteries

Des informations sur le dimensionnement des batteries figurent dans la section sur l'[installation d'un système de batteries](#).

Câbles et Protection

Vous trouverez des informations sur les longueurs de câbles et les calibres de fils dans le chapitre sur les [installations électriques](#).

Sûreté et Sécurité

Les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité comme un générateur ordinaire. Bien que la méthode de production puisse être différente et, selon la taille du réseau, la puissance globale inférieure à celle d'un générateur, les panneaux solaires peuvent toujours produire des quantités nocives d'électricité.

Manutention

Chaque fois que des personnes doivent manipuler des panneaux solaires photovoltaïques, elles doivent porter les équipements et [vêtements de protection](#) adéquats à tout moment.

Plus important encore - les panneaux solaires photovoltaïques produisent un courant électrique, même lorsqu'ils ne sont connectés à aucun autre appareil ! Tant qu'un panneau est partiellement exposé à la lumière, il produira une certaine forme de courant et peut toujours présenter un risque. Un panneau produisant de l'électricité ne fera pas de bruit, ne vibrera pas et peut même ne pas être chaud au toucher. Habituellement, les panneaux solaires photovoltaïques n'ont aucune forme d'indicateur qu'ils produisent de l'électricité du tout. Pour cette raison, les panneaux solaires photovoltaïques ont tendance à sembler sûrs au toucher, même s'ils ne le sont pas.

Lors de l'installation, du retrait ou simplement du réglage des panneaux solaires, ils doivent être complètement recouverts. Si possible, le travail peut également être effectué la nuit. Lors du transport ou de la manutention de panneaux solaires, les manutentionnaires doivent noter toutes les sorties de connecteurs électriques sur le côté, en évitant tout contact accidentel avec eux. Il convient d'examiner tous les fils provenant d'un panneau solaire de la même manière qu'un fil sous tension provenant d'un réseau électrique ou d'un générateur sous tension.

Sécurité

Les panneaux solaires photovoltaïques doivent toujours être dans un endroit sûr, tout comme les générateurs et les batteries. L'orientation des bâtiments et la végétation peut rendre cette tâche difficile, mais les planificateurs devraient envisager le contrôle d'accès.

- Si possible, il convient d'installer des panneaux sur les toits des bâtiments et dans les zones où les personnes ne se rendent pas fréquemment - il convient d'éviter les terrasses sur les toits ou les aires de repos.
- Il convient d'installer des panneaux solaires à l'intérieur des espaces clos, à l'intérieur de la sécurité d'un mur d'enceinte dans la mesure du possible. Même si les réseaux sont à l'intérieur d'un mur d'enceinte, il devrait y avoir une certaine forme de signalisation et une clôture pour empêcher les visiteurs ou la main-d'œuvre temporaire d'accéder à la zone.

- Si les réseaux solaires sont installés à l'air libre ou dans des endroits éloignés, il conviendra de construire une clôture ou un mur de sécurité séparé(e) autour de l'enceinte extérieure. L'équipement est cher, mais il peut aussi nuire aux humains et aux animaux de passage. Les personnes qui ne connaissent pas les panneaux solaires peuvent être attirées par curiosité, la signalisation doit donc être affichée dans la langue locale appropriée.