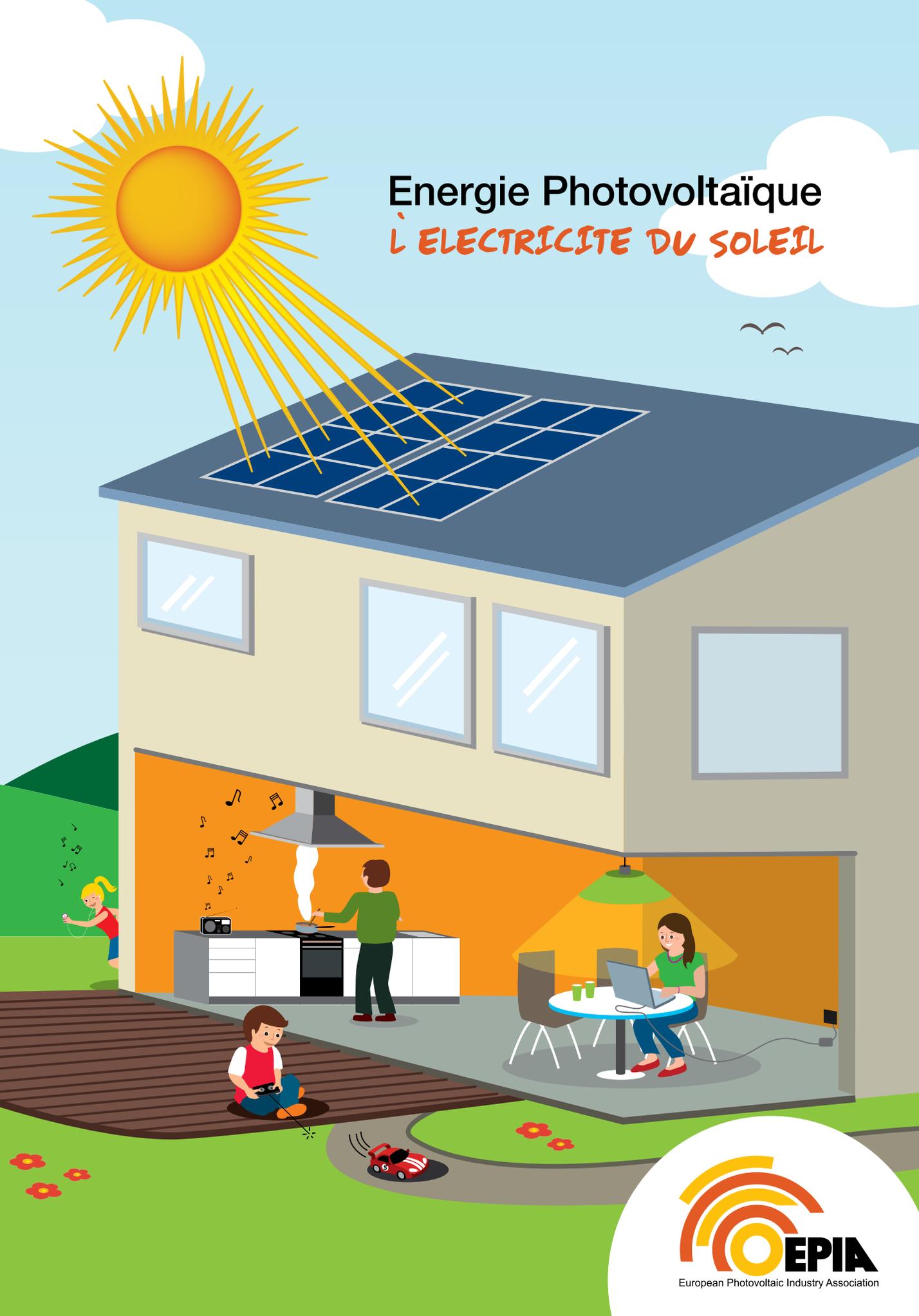


# Energie Photovoltaïque L'ÉLECTRICITÉ DU SOLEIL



European Photovoltaic Industry Association

# LE SOLEIL,

une énergie disponible gratuitement et utilisable de plusieurs façons



## L'énergie du soleil

peut être utilisée essentiellement de trois façons.

Quand on parle d'énergie solaire, il convient donc de faire la différence entre :

### Chaleur passive

Il s'agit de la chaleur que nous recevons naturellement du soleil. Cet élément peut être pris en compte dans la conception des bâtiments afin de réduire les besoins en chauffage.

### Energie photovoltaïque (PV)

Technologie utilisant l'énergie du soleil pour fournir l'électricité alimentant appareils électriques et éclairage. Un système photovoltaïque produit de l'électricité grâce à la lumière du jour et non pas uniquement grâce à la lumière du soleil.

### Solaire thermique

Technologie utilisant l'énergie du soleil pour fournir de l'eau chaude (ou du chauffage) aux maisons et aux piscines.

# LE PROCÉDE

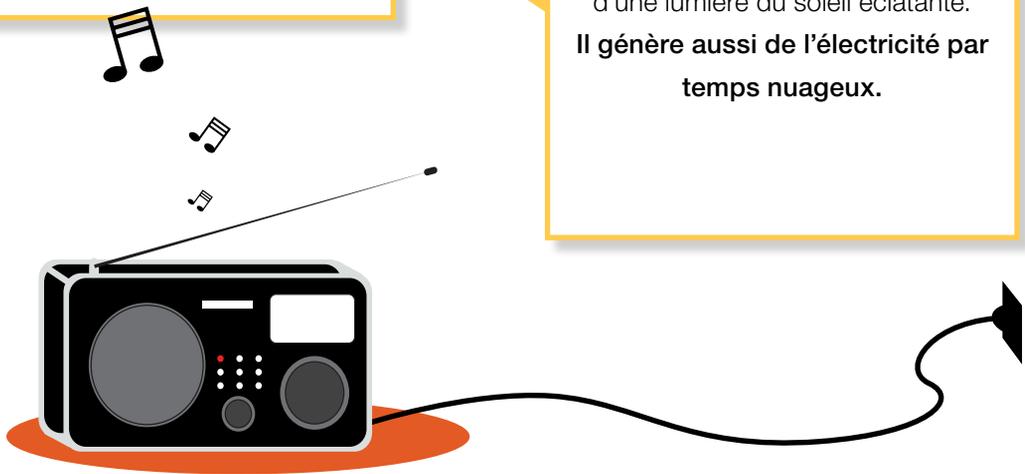
## qui transforme la lumière du soleil en électricité

Le mot « **Photovoltaïque** » est la combinaison de deux mots: « **photo** », mot d'origine grecque qui signifie **lumière** ; et « **voltaïque** », qui vient de « **volt** » et représente l'unité utilisée pour **mesurer le potentiel électrique**.

**Les systèmes photovoltaïques utilisent des cellules pour convertir la radiation solaire en électricité.** Une cellule photovoltaïque est constituée d'une ou deux couches de matériau semi-conducteur. Quand la lumière atteint la cellule, cela crée un champ électrique à travers les couches, créant ainsi un flux électrique. **Plus la lumière est intense, plus le flux électrique est important.**

Le matériau semi-conducteur le plus communément utilisé dans les cellules photovoltaïques est le **silicium**, un élément présent en grande quantité dans le sable. En tant que matière première, sa disponibilité est sans limite ; **le silicium est le second matériau le plus abondant sur Terre.**

Pour fonctionner, un système photovoltaïque n'a donc pas besoin d'une lumière du soleil éclatante. **Il génère aussi de l'électricité par temps nuageux.**



# LA TECHNOLOGIE PHOTOVOLTAÏQUE

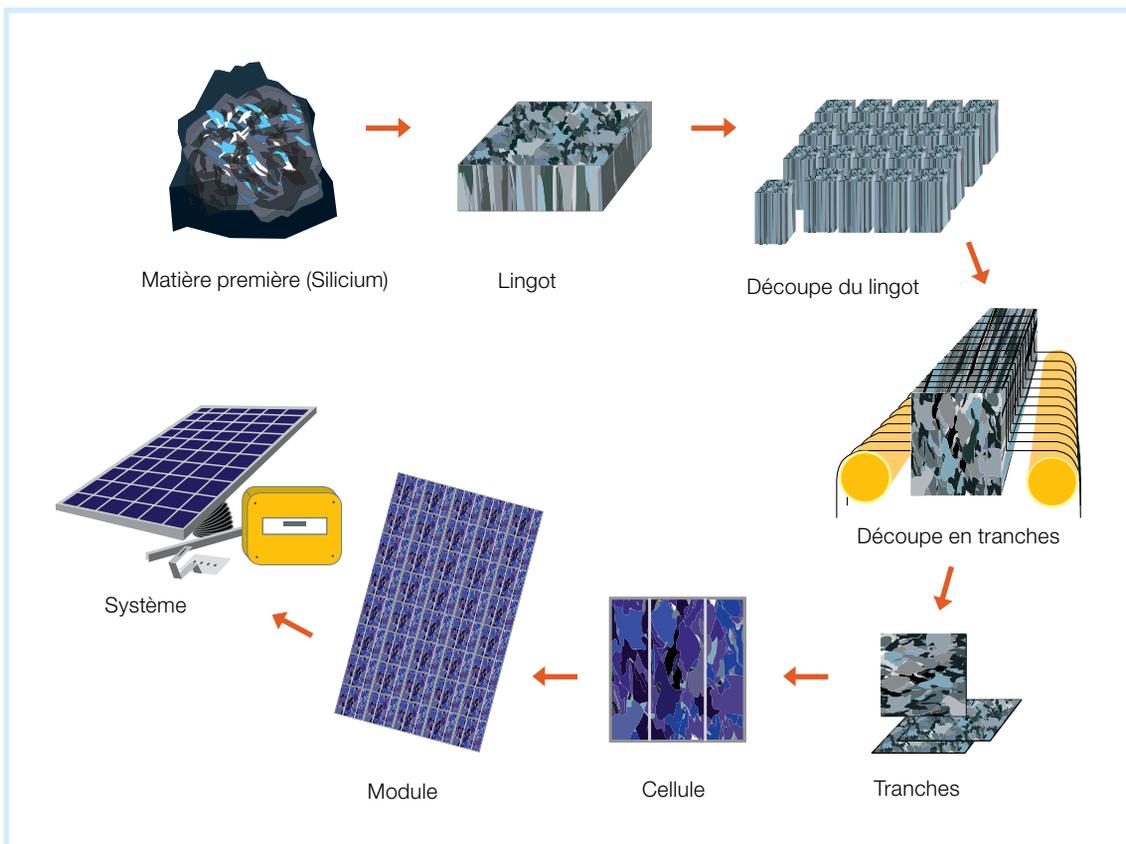
## comment ça marche concrètement?

Les éléments les plus importants d'un système photovoltaïque sont les **cellules**, éléments de base de l'unité qui collectent la lumière du soleil; les **modules**, qui rassemblent un grand nombre de cellules au sein d'une unité; et, dans certains cas, les **onduleurs**, qui transforment l'électricité générée en électricité utilisable au quotidien.



## . PROCÉDE DE FABRICATION: la Chaîne de Valeur Photovoltaïque

Le schéma suivant décrit les différentes étapes de la production d'un système photovoltaïque (technologie cristalline).



# MODULES ET CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

Les cellules photovoltaïques sont généralement réalisées à base de silicium cristallin, soit tranchées à partir de lingots, soit sous forme de rubans de silicium, soit en couches minces déposées sur un support à bas-coût. La performance d'une cellule solaire se mesure en termes de **rendement** de transformation de la lumière du soleil en électricité. Les cellules solaires les plus répandues dans le commerce ont un rendement de 15% - ce qui signifie qu'environ un sixième de la lumière du soleil frappant une cellule produit de l'électricité. Améliorer le rendement des cellules tout en poursuivant la réduction des coûts de production est un objectif important pour l'industrie photovoltaïque.

## Présentation des technologies photovoltaïques existantes

### ➤ Technologie du silicium cristallin

Les cellules en silicium cristallin sont composées de fines tranches coupées à partir d'un seul cristal de silicium (monocristallin) ou d'un bloc de cristaux de silicium (polycristallin). Leur rendement varie entre 12% et 17%.

**Il s'agit de la technologie la plus répandue, représentant aujourd'hui environ 90% du marché.**

**Trois principaux types de cellules cristallines peuvent être distingués :**

- Monocristallines (Mono c-Si)
- Polycristallines (Poly c-Si)
- Rubans (ribbon c-Si)



### ➤ Technologie des couches minces (Thin Film)

Les modules en couches minces sont constitués de très fines couches d'un matériau photosensible déposées sur un support à bas-coût tel que **le verre, l'acier inoxydable ou le plastique.**

**Les coûts de production du procédé des couches minces sont inférieurs** à ceux de la technologie cristalline qui nécessite davantage de matière première. Cet avantage en termes de prix est toutefois contrebalancé par des rendements généralement moins élevés (entre 5% et 13%).

**Quatre types de modules en couches minces (en fonction de la matière active utilisée) sont actuellement disponibles dans le commerce :**

- Silicium amorphe (a-Si)
- Tellure de Cadmium (CdTe)
- Cuivre Indium/Gallium Diselenide/disulphide (CIS, CIGS)
- Cellules multi-jonction (a-Si/m-Si)



Couches minces intégrées sur une verrière, Allemagne



Mur antibruit photovoltaïque le long d'une autoroute

## Autres types de cellules

Il existe d'autres types de technologies photovoltaïques actuellement commercialisées ou encore à l'étude, les principales étant :

### > Photovoltaïque à concentration

Certaines cellules sont destinées à fonctionner avec des rayons solaires concentrés. Elles sont alors placées à l'intérieur d'un collecteur qui concentre la lumière du soleil sur les cellules au moyen d'une lentille. L'idée est d'**utiliser le moins possible de matériau photovoltaïque semi-conducteur, et le plus possible la lumière du soleil. Leur rendement se situe entre 20 et 30%.**



Module photovoltaïque à concentration



Cellules solaires flexibles, faciles à intégrer

### > Cellules flexibles

Basées sur un processus de production similaire à celui des couches minces, ces cellules sont constituées d'un dépôt de matière active sur un plastique fin, rendant le tout flexible.

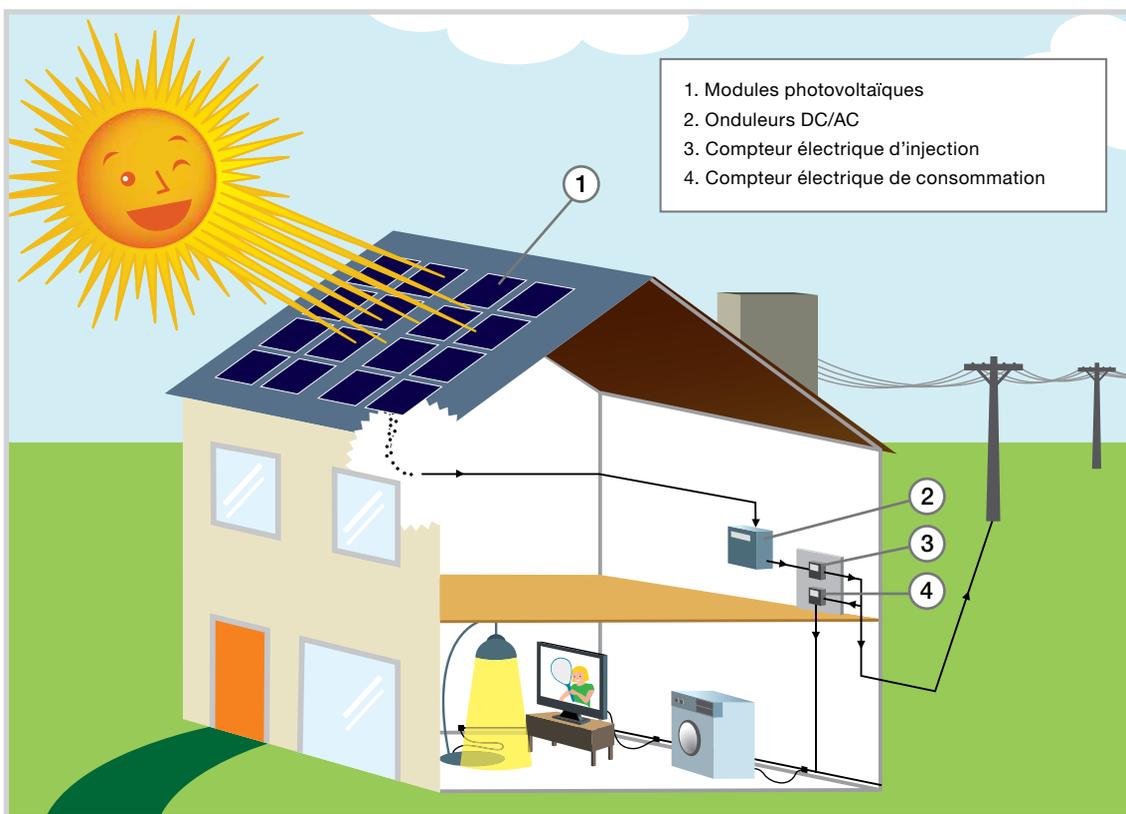
**Cela ouvre la voie à une série d'applications, en particulier pour l'intégration aux bâtiments (toiture) et pour les applications domestiques.**

# . APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

La technologie photovoltaïque peut être utilisée pour plusieurs types d'applications:

## > Systèmes domestiques connectés au réseau

Il s'agit du système photovoltaïque le plus populaire pour les maisons et entreprises situées en zones développées. La connexion au réseau local d'électricité permet d'injecter et de revendre l'électricité produite. En cas d'ensoleillement insuffisant, l'électricité est importée du réseau. Un onduleur est utilisé pour transformer le courant continu produit par le système photovoltaïque en courant alternatif afin d'alimenter les équipements électriques standards.



## > Centrales connectées au réseau

Ces systèmes, également connectés au réseau, produisent une grande quantité d'électricité photovoltaïque en un seul endroit. La taille de ces installations varie de plusieurs centaines de kilowatts à plusieurs mégawatts. Certaines sont situées sur de grands bâtiments industriels tels que des aéroports ou des gares ferroviaires. Ceci permet à la fois d'utiliser des espaces disponibles et de compenser en partie l'électricité consommée par ces activités énergivores.



Grande installation photovoltaïque en Bavière

## > Systèmes isolés pour l'électrification rurale

Quand le raccordement au réseau électrique n'est pas disponible, le système photovoltaïque est connecté à une batterie via un contrôleur de charge. Un onduleur peut être utilisé pour fournir du courant alternatif, permettant l'alimentation d'appareils électriques standards. La plupart des applications hors-réseau sont utilisées pour fournir de l'électricité à des zones reculées (chalets de montagne, pays en voie de développement). **L'électrification rurale** regroupe à la fois les petites installations solaires couvrant les besoins de base en électricité d'une maison individuelle et les installations plus grandes et semi-connectées fournissant de l'électricité à plusieurs maisons. Plus d'information sur [www.ruralelec.org](http://www.ruralelec.org)



Application isolée en Amérique du Sud

## > Systèmes hybrides

Un système photovoltaïque peut être combiné à une autre source de production d'électricité – biomasse, turbine éolienne ou générateur diesel – afin de garantir un approvisionnement constant en électricité. Un système hybride peut être relié au réseau, fonctionner en autonomie ou être soutenu par le réseau.

Plus d'information sur [www.ruralelec.org](http://www.ruralelec.org)



Système hybride photovoltaïque-éolien



Toit solaire utilisé pour refroidir la voiture

## > Biens de consommation

Les cellules photovoltaïques sont utilisées par divers équipements électriques de la vie quotidienne, comme les montres, calculatrices, jouets, chargeurs de batterie, toits de voitures. Des services utilisent également l'électricité photovoltaïque : arrosage automatique, signalisation routière, éclairage public, cabines téléphoniques.

## > Applications industrielles isolées

L'utilisation de l'électricité solaire en zones reculées est très répandue dans le secteur des télécommunications, en particulier pour relier les zones isolées au reste du pays. Les stations-relais pour téléphones mobiles fonctionnant grâce au photovoltaïque ou à un système hybride ont aussi un large potentiel. On peut également citer la signalisation routière et autoroutière, l'aide à la navigation maritime, les téléphones d'urgence et les installations de traitement des eaux usées. **Ces applications sont d'ores et déjà compétitives en termes de coût dans la mesure où elles fournissent en électricité des zones trop éloignées pour que leur raccordement au réseau ne soit rentable.**

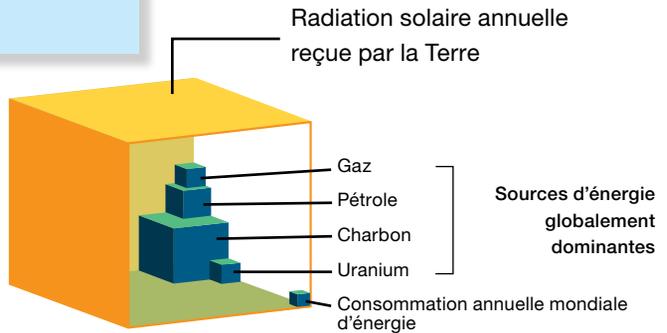


Utilisation du photovoltaïque pour une station de télécommunication isolée

# 10 BONNES RAISONS

## de passer à l'électricité solaire photovoltaïque

Grâce à ses nombreux avantages environnementaux et économiques, ainsi qu'à sa fiabilité avérée, le photovoltaïque s'affirme comme **une source majeure d'électricité.**



Source: Eco Solar Equipment Ltd.

1

### Son carburant est gratuit.

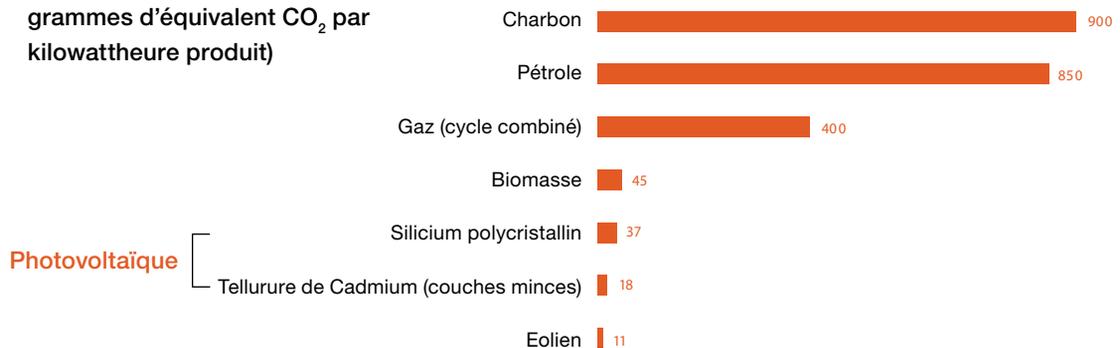
Le soleil est la seule ressource dont a besoin un panneau solaire. Et le soleil brillera jusqu'à la fin des temps. De plus, la plupart des cellules photovoltaïques sont fabriquées à base de silicium, un matériau abondant et non-toxique (second matériau le plus abondant sur Terre).

2

### L'énergie solaire photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions nocives, ni gaz polluants.

La combustion de ressources naturelles pour fabriquer de l'énergie engendre de la fumée, provoque des pluies acides, pollue l'eau et l'air. Cela génère aussi du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'un des principaux gaz à effet de serre. L'électricité solaire utilise seulement l'énergie du soleil comme carburant. Elle ne crée aucun co-produit nocif et contribue activement à réduire le réchauffement climatique.

Gaz à effet de serre (en grammes d'équivalent CO<sub>2</sub> par kilowattheure produit)



Source: Externe project, 2003; Kim and Dale, 2005; Fthenakis and Kim, 2006; Fthenakis and Kim, 2007; Fthenakis and Alsema, 2006

3

**Les systèmes photovoltaïques sont très sûrs et d'une grande fiabilité.**

L'espérance de vie d'un module solaire est d'environ 30 ans. La performance des cellules photovoltaïques est généralement garantie par les fabricants pour une durée de 20 à 25 ans. Au-delà, la puissance d'une cellule reste néanmoins supérieure à 80% de la puissance initiale. Le photovoltaïque est donc une technologie fiable sur le long terme. De plus, la fiabilité des produits est garantie aux consommateurs par des standards de qualité très élevés au niveau européen.

4

**Les modules photovoltaïques sont recyclables** et les matériaux utilisés pour leur production (silicium, verre, aluminium, etc.) peuvent être réutilisés. Le recyclage n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, il contribue également à réduire l'énergie nécessaire pour produire ces matériaux et ainsi à réduire leur coût de fabrication. Plus d'information sur le site [www.pvcycle.org](http://www.pvcycle.org)



5

**L'énergie solaire photovoltaïque exige peu de maintenance.**

Les modules solaires ne nécessitent pratiquement aucune maintenance et sont faciles à installer.

6

**L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales les plus isolées.**

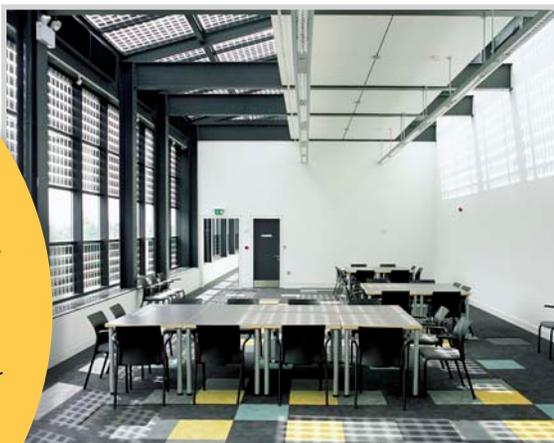
Les systèmes photovoltaïques apportent une valeur ajoutée aux zones rurales (en particulier dans les pays en développement où il n'y a pas de réseau électrique disponible). L'éclairage domestique, les systèmes de réfrigération des hôpitaux et le pompage de l'eau font partie des nombreuses applications possibles des systèmes non connectés au réseau. Les systèmes de télécommunications en zones isolées utilisent également des panneaux solaires.



7

**L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments (BIPV).**

Les modules solaires peuvent couvrir toits et façades, contribuant ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments. Ils sont silencieux et peuvent être intégrés de manière très esthétique. Les législations européennes sur les bâtiments sont en cours de révision afin d'intégrer des impératifs d'énergies renouvelables pour les édifices publics et les logements. Celles-ci permettent d'accélérer le développement des éco-bâtiments et des bâtiments à énergie positive (E+ Bâtiments) et ouvrent la voie vers une meilleure intégration des systèmes photovoltaïques dans le bâti. Plus d'information sur [www.pvsunrise.eu](http://www.pvsunrise.eu)



Cellules photovoltaïques utilisées comme pare-soleil dans un bâtiment de bureaux au Royaume-Uni



Système photovoltaïque intégré à une façade



Façade semi-transparente



Système photovoltaïque intégré à une façade

8

**Le temps de retour énergétique d'un module diminue constamment.**

Cela signifie que le temps mis par un module photovoltaïque pour générer autant d'énergie qu'il en a fallu pour le produire est très court ; il varie entre 1,5 et 3 ans. Sur sa durée de vie, un module produit donc entre 6 et 18 fois plus d'énergie qu'il n'en faut pour le fabriquer.

9

**L'énergie solaire photovoltaïque permet la création de milliers d'emplois.**

Avec une croissance annuelle moyenne de 40% ces dernières années, le secteur photovoltaïque contribue de plus en plus à la création de milliers d'emplois en Europe et dans le monde.

10

**L'énergie solaire photovoltaïque contribue à améliorer la sécurité de l'approvisionnement énergétique de l'Europe.**

Pour répondre à 100% de la demande européenne en électricité, il suffirait de recouvrir 2% de la superficie totale de l'Europe de panneaux solaires. Le photovoltaïque peut donc jouer un rôle important dans l'amélioration de la sécurité de l'approvisionnement énergétique de l'Europe.

# CETTE TECHNOLOGIE M'INTERESSE

et je voudrais aller plus loin...

## Comment faire ? Qui dois-je contacter ?

Vous êtes convaincu que l'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie de plus en plus importante et vous souhaiteriez contribuer à son développement en installant un système photovoltaïque chez vous.

### BONNE NOUVELLE !

Dans un nombre croissant de pays, des mécanismes de soutien adaptés aident les citoyens à aller plus loin en leur fournissant une aide financière. C'est particulièrement le cas en France, en Allemagne, en Espagne, en Italie, en Grèce et en Slovénie où des tarifs préférentiels de rachat de l'électricité ont été adoptés.

#### Comment les mécanismes de tarifs préférentiels fonctionnent-ils en pratique?

Si vous installez un système photovoltaïque à la maison, l'intégralité de l'électricité produite peut être injectée sur le réseau et rachetée par le fournisseur d'électricité à un prix plus élevé que celui figurant sur votre facture. Ce mécanisme permet d'amortir son investissement en peu de temps. Le pays ayant à ce jour le mieux réussi à développer l'énergie photovoltaïque est l'Allemagne. La France, l'Espagne, l'Italie et la Grèce ont aussi mis en place ce système et, progressivement, les consommateurs d'électricité, conscients de l'importance des énergies renouvelables, passent à l'électricité solaire et sont récompensés pour leur effort. D'autres systèmes existent pour développer les énergies renouvelables (certificats verts, appels d'offres, réductions fiscales) mais ceux-ci n'ont pas démontré une aussi grande efficacité en particulier quand ils dépendent des budgets nationaux.

Plus d'information sur [www.epia.org](http://www.epia.org).



A long terme, plus aucun soutien ne sera nécessaire au développement de l'électricité photovoltaïque. Les économies d'échelle réalisées grâce à l'augmentation des ventes, ainsi que les efforts des fabricants pour réduire le coût des produits, permettront au photovoltaïque d'être compétitif avec les prix de l'électricité du réseau d'ici à 2015 dans le sud de l'Europe et sur la plupart du continent d'ici à 2020.

Système photovoltaïque intégré au toit d'une maison en Allemagne

Vous souhaitez savoir quelle est la situation dans votre pays, de quel type de soutien vous pouvez bénéficier pour passer à l'énergie verte ? Vous trouverez les informations les plus récentes auprès des agences de l'énergie. Un annuaire européen des agences de l'énergie locales, régionales et nationales est disponible sur

<http://www.managenergy.net/emap/maphome.html>



Système photovoltaïque intégré à la façade d'un logement social en France

## LE SECTEUR PHOTOVOLTAÏQUE

devient un employeur majeur en Europe et dans le monde

Le secteur photovoltaïque est particulièrement prometteur en termes de création d'emplois et de richesses au niveau local. Le secteur investit massivement dans la recherche et l'innovation technologique et génère dans une très large mesure de l'emploi qualifié et de bonne qualité. De plus, la structure décentralisée du secteur photovoltaïque et des énergies renouvelables permet la création d'emplois dans les zones moins industrialisées.

**L'industrie photovoltaïque a créé plus de 75 000 emplois en Europe ces dernières années, en particulier :**

- > En Allemagne (premier marché photovoltaïque dans le monde), le nombre de personnes employées dans le secteur photovoltaïque est passé de 1 500 en 1999 à environ 40 000 en 2007.
- > En Espagne, 23 000 emplois ont été créés jusqu'en 2007.
- > En Italie, au total 1 700 emplois ont été créés jusqu'en 2007.
- > En France, environ 2 100 personnes sont aujourd'hui directement employées par le secteur photovoltaïque.

La Plateforme Européenne pour la Technologie Photovoltaïque (European Photovoltaic Technology Platform) estime que l'industrie photovoltaïque peut potentiellement créer plus de 200 000 emplois dans l'Union Européenne d'ici à 2020 et dix fois plus à l'échelle mondiale.

# ELECTRICITE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

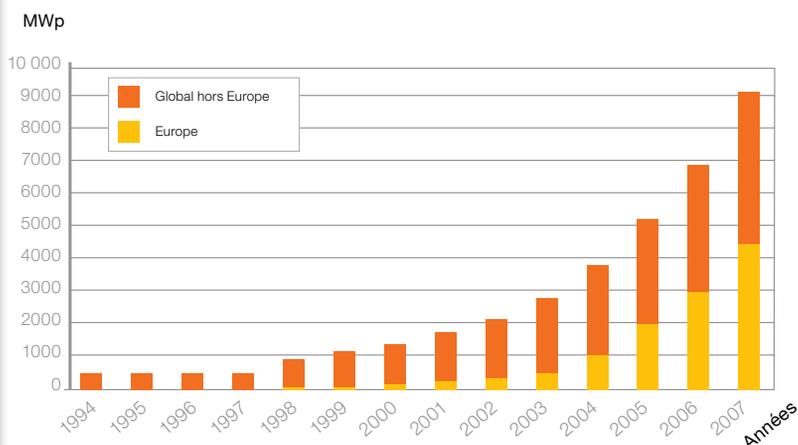
en avant pour un futur rayonnant !

## . DEVELOPPEMENT HISTORIQUE

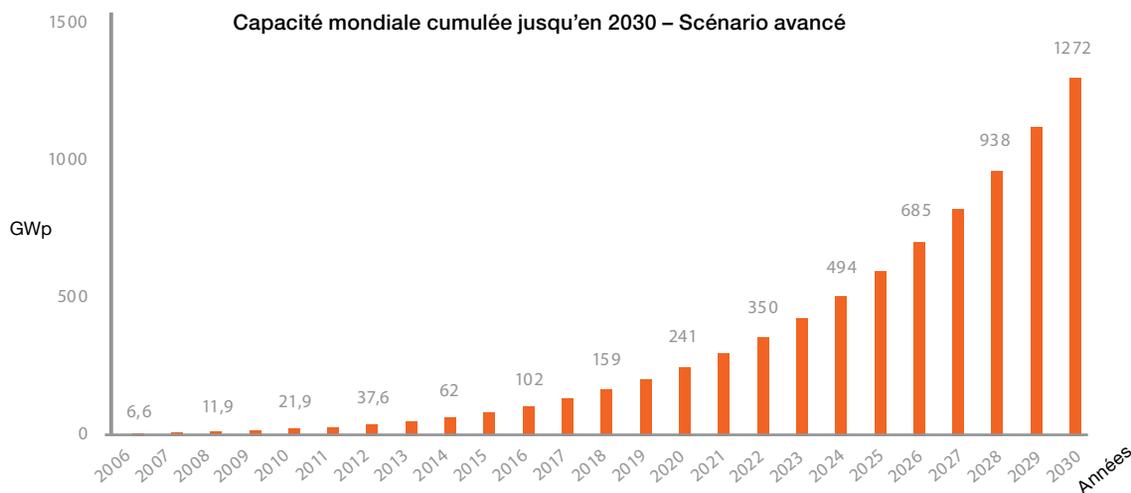
de la capacité photovoltaïque installée cumulée en Europe et dans le monde

Le marché de l'énergie solaire photovoltaïque a explosé ces dernières années et cette tendance devrait se poursuivre dans les années à venir.

Fin 2007, la capacité mondiale cumulée dépassait les 9 Gigawatts crête (GWc). L'Union Européenne y contribue à hauteur d'environ 50%. On estime qu'aujourd'hui environ 1,5 million de foyers européens consomment une électricité produite grâce à l'énergie solaire photovoltaïque.



## . POTENTIEL DE L' ELECTRICITE SOLAIRE A LONG TERME



Sur le long-terme, on estime que l'électricité solaire pourrait contribuer de façon significative à la consommation totale d'énergie. Avec le soutien de politiques publiques adaptées dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement, EPIA et Greenpeace ont élaboré un scénario commun selon lequel, en 2030, le photovoltaïque pourrait produire assez d'énergie pour fournir de l'électricité à 3,7 millions de personnes dans le monde. La majorité d'entre eux se situe dans des zones isolées, dépourvues de tout accès au réseau électrique.

**Les efforts à mettre en œuvre pour réaliser ce potentiel doivent commencer dès maintenant. En passant aujourd'hui à l'énergie verte, vous pouvez contribuer à ce changement.**

## Crédits

### Photos

BP Solar (page 11)  
First Solar (page 5)  
Isototon (pages 6)  
Phoenix Solar (page 7)  
Q-Cells (page 4)  
Schott Solar (pages 8 & 11)  
Sharp (page 15)  
SMA (pages 8 & 11)  
SolarWorld (page 12)  
Tenesol (page 13)  
TramaTecnoambiental (page 8)  
Unweltamt Augsburg (page 5)  
United Solar Ovonic (page 9)

### Textes

Adel El Gammal  
Benjamin Fontaine  
Daniel Fraile  
Marie Latour  
Sophie Lenoir  
Denis Thomas



Challenge Solaire en Frise,  
compétition de bateaux solaires aux Pays-Bas

### **EPIA – L'Association Européenne de l'Industrie Photovoltaïque**

*L'Association Européenne de l'Industrie Photovoltaïque (EPIA : European Photovoltaic Industry Association) est la plus grande association industrielle au monde consacrée au marché de l'électricité solaire photovoltaïque. Sa mission est de promouvoir le photovoltaïque au niveau national, européen et mondial et d'assister ses membres dans le développement de leurs activités dans l'Union Européenne comme à l'export.*

“Publié dans le cadre du projet RESTMAC 'Creating Markets for Renewable Energy Sources' (Créer des Marchés pour les Energies Renouvelables)  
Financé par le 6ème Programme Cadre Européen pour la Recherche”



European Photovoltaic Industry Association  
Renewable Energy House  
Rue d'Arlon 63-65  
1040 Brussels - Belgium  
Tel.: +32 2 465 38 84 - Fax: +32 2 400 10 10  
com@epia.org  
www.epia.org

Imprimé sur « Edixion » un papier sans-chlore et certifié par le  
FSC - Forest Stewardship Council (Conseil de Gestion des Forêts)



European Photovoltaic Industry Association

"Bright Future with Solar Photovoltaic Electricity"  
("Un futur rayonnant avec l'électricité solaire photovoltaïque")

Design: [www.blisscommunication.be](http://www.blisscommunication.be)