

# SOLARAMA

COLLÈGE

**L'ÉNERGIE SOLAIRE :  
UNE SOLUTION  
POUR  
DEMAIN ?**

**D'OÙ VIENNENT  
LES PANNEAUX  
PHOTOVOLTAÏQUES ?**



**L'ÉNERGIE  
PHOTOVOLTAÏQUE :  
COMMENT  
ÇA MARCHE ?**

**CÔTÉ MÉTIERS :  
DES DÉBOUCHÉS POUR  
TOUS LES TALENTS**

**À NE PAS MANQUER !**





# SOMMAIRE

**P.03 ET DEMAIN ?**  
ON AURA TOUS BESOIN  
D'UN PEU DE SOLAIRE...

**P.04 EURÊKA**  
LE PHOTOVOLTAÏQUE,  
COMMENT ÇA MARCHE ?

**P.06 TECHNO**  
TRANSFORMER DU SABLE EN  
PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

**P.08 FICHES PRATIQUES**  
QUE PEUT-ON FAIRE AVEC  
L'ÉLECTRICITÉ SOLAIRE ?

**P.10 ARCHI...TECTURE !**  
DES ÉTUDIANTS INVENTENT  
LA MAISON DE DEMAIN

**P.10 ÉCOLO**  
RECYCLAGE DES PANNEAUX,  
C'EST DÉJÀ PRÉVU !

**P.11 CÔTÉ MÉTIERS**  
DES DÉBOUCHÉS POUR  
TOUS LES TALENTS



**L'énergie solaire ? C'est sûr, tu en as déjà entendu parler. Tu as peut-être même déjà aperçu des panneaux solaires sur le toit de ta maison ou de celle de ton voisin. Mais t'es-tu déjà demandé d'où ils venaient et à quoi ils servaient ? Solarama décrypte pour toi...**

**À RETENIR**  
**1 journée de soleil = 27 ans de consommation électrique mondiale !**



**POUR EN SAVOIR PLUS SUR TOUTES LES ENERGIES**  
Nous te conseillons d'aller naviguer sur le site **planete energies** Une initiative de **TOTAL**  
Si tu passes par Paris, va visiter : **cité EXPO ENERGIES**

**BON A SAVOIR**  
Ce magazine fait partie du kit pédagogique **Total Solar Expert** à destination des élèves de 4<sup>e</sup> et de 3<sup>e</sup>. Parles-en à tes professeurs : ils peuvent le commander gratuitement sur [www.kit-pedagogique.total.com](http://www.kit-pedagogique.total.com).



# L'ÉNERGIE SOLAIRE : UNE SOLUTION POUR DEMAIN ?



Se déplacer, se nourrir, se divertir, échanger... On a tendance à l'oublier et pourtant, tout ce que l'homme fait nécessite de l'énergie. Cette énergie est rare et précieuse. Mais avec l'augmentation de la population mondiale et l'émergence de nouveaux pays industrialisés, comme la Chine et l'Inde, les besoins en énergie continuent d'augmenter fortement. Cette consommation massive d'énergie est aussi l'une des causes principales du réchauffement climatique de la planète. Alors, pour répondre à la fois à cette demande croissante et au besoin de limiter les émissions de gaz à effet de serre, tous les types d'énergie sont nécessaires ; c'est pourquoi nous développons aujourd'hui de nouvelles formes d'énergies en complément des **énergies fossiles**.

L'énergie solaire est une de ces nouvelles énergies. Mais, si elle n'en est encore qu'à ses débuts et reste coûteuse, c'est sûr, on n'a plus le choix : on aura besoin de toutes les énergies pour répondre à la demande mondiale !

## LE SAIS-TU ?

En 2050, le solaire pourrait représenter 11 % de la production électrique mondiale, contre 0,5 % aujourd'hui !

# 11%



## CHER, LE SOLAIRE ?



Comme toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire est encore très coûteuse, notamment car les cellules photovoltaïques restent relativement chères à fabriquer. Les subventions de l'Etat constituent une solution pour aider cette filière à se développer dans certains pays, en particulier en Europe. L'idée, c'est que plus on produira de panneaux, moins ils seront chers. Et ça fonctionne ! Les coûts ont déjà été divisés par 100 en 20 ans. Il s'agit maintenant de réduire lentement ces subventions, jusqu'au jour où l'électricité solaire sera au même prix que l'électricité « classique ». Dans certaines régions comme le sud de l'Italie, l'Allemagne ou la Californie, on pense d'ailleurs y arriver dans moins de 5 ans.

## ZOOM SUR LES ÉNERGIES FOSSILES

On appelle « énergie fossile » l'énergie que l'on produit à partir de roches issues de la fossilisation des êtres vivants : pétrole, gaz naturel et houille (charbon). Elles sont présentes en quantité limitée et non renouvelable.



# L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE : COMMENT ÇA MARCHE ?

## D'ABORD, C'EST QUOI AU JUSTE ?

C'est la transformation de l'énergie lumineuse en énergie électrique.

## CELA FONCTIONNE-T-IL AVEC TOUTES LES MATIÈRES ?

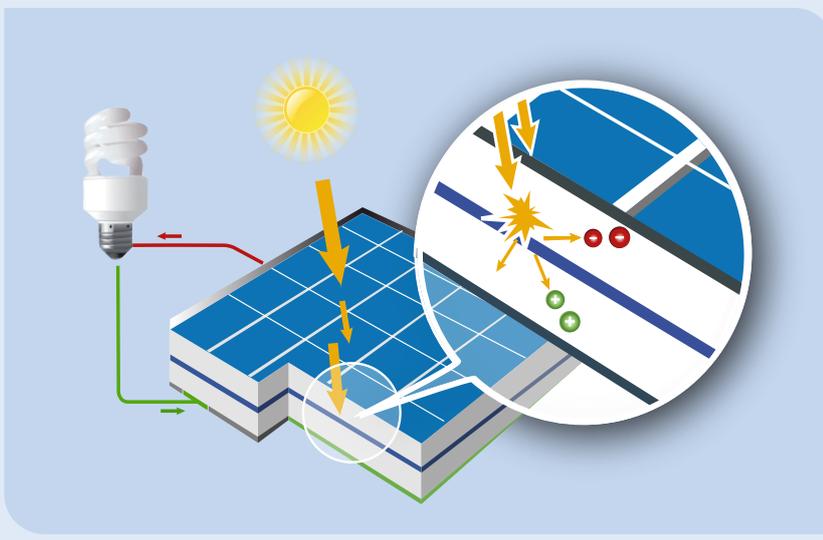
Non, cela ne fonctionne qu'avec certains matériaux, qu'on appelle des **semi-conducteurs**. Leur particularité : tantôt conducteurs, tantôt isolants, ils ne laissent passer le courant électrique qu'à partir d'un certain apport d'énergie, comme par exemple le rayonnement du soleil.

## ET QUAND LE CIEL EST NUAGEUX, DANS LES PAYS FROIDS, ÇA MARCHE QUAND MÊME ?

Oui, ce n'est pas parce qu'on ne voit pas le soleil ou qu'il fait froid que le panneau photovoltaïque ne fonctionne pas : c'est la lumière solaire directe et le rayonnement diffus qui l'active, pas la chaleur. Plus la luminosité extérieure est forte, plus le panneau produit de l'électricité, que le soleil soit visible ou non.

## COMMENT CRÉE-T-ON DE L'ÉLECTRICITÉ ?

C'est ce qu'on appelle « **l'effet photoélectrique** ». La lumière est composée de particules de lumière : les « photons », qui contiennent de l'énergie. Lorsque les photons du soleil frappent certains matériaux, ils excitent les électrons qui peuvent ainsi être collectés à la surface et produire un courant électrique.



## LE SAIS-TU ?

Le mot photovoltaïque vient du grec « **photos** » qui signifie lumière, et du nom du physicien italien **Alessandro Volta**, inventeur de la pile électrique. C'est aussi lui qui a donné son nom au volt, l'unité de mesure de la tension électrique bien sûr !



## Ne pas confondre :

Dans le soleil on peut utiliser deux choses : la **lumière** ou la **chaleur**.

1 Le **solaire photovoltaïque** utilise la **lumière du soleil** pour produire de l'électricité.

2 Le **solaire thermique** utilise la **chaleur du soleil** pour chauffer. Tu l'as peut être déjà expérimenté : un panneau noir, un peu d'eau... Et voilà une bonne douche chaude à peu de frais ! C'est le principe des chauffe-eau solaires qu'on voit fleurir sur les toits.

3 Le **solaire concentré** utilise la **chaleur** pour évaporer de l'eau. Avec cette vapeur on fait tourner des turbines et on produit l'électricité comme une dynamo.

# UN PEU D'HISTOIRE...

## UNE DÉCOUVERTE FRANÇAISE

Tout commence en 1839. Le physicien français Antoine Becquerel constate que certains matériaux font des étincelles lorsqu'on les expose à la lumière.

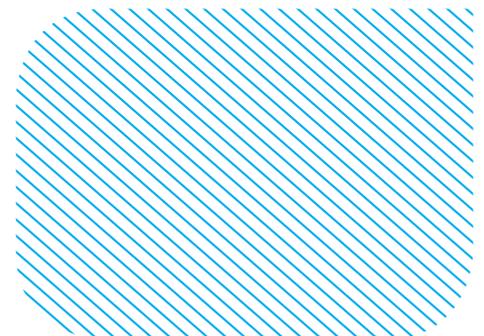
Pour lui, l'origine de cette réaction ne fait aucun doute : ces étincelles viennent d'une conversion directe de la lumière en électricité. Il vient de découvrir l'effet photovoltaïque, mais ce n'est qu'un siècle plus tard qu'on en verra les applications concrètes.



## LES DÉBUTS

Les premiers panneaux photovoltaïques ne sont utilisés qu'à partir de 1959. Ils servent d'abord à l'industrie spatiale : ils permettent aux satellites de produire leur propre énergie dans l'espace.

La première vraie maison expérimentale alimentée par des panneaux photovoltaïques date, elle, de 1973. Puis, dans les années 1980, montres, calculatrices, balises radio et météo se généralisent. Au milieu des années 1990, l'Allemagne et le Japon lancent des programmes d'installations photovoltaïques sur les toits. Depuis le début des années 2000, l'énergie photovoltaïque a entamé son développement dans de nombreux pays.



# D'OÙ VIENNENT LES PANNEAUX

## De la matière première aux panneaux photovoltaïques, visite guidée

### 1 SILICIUM

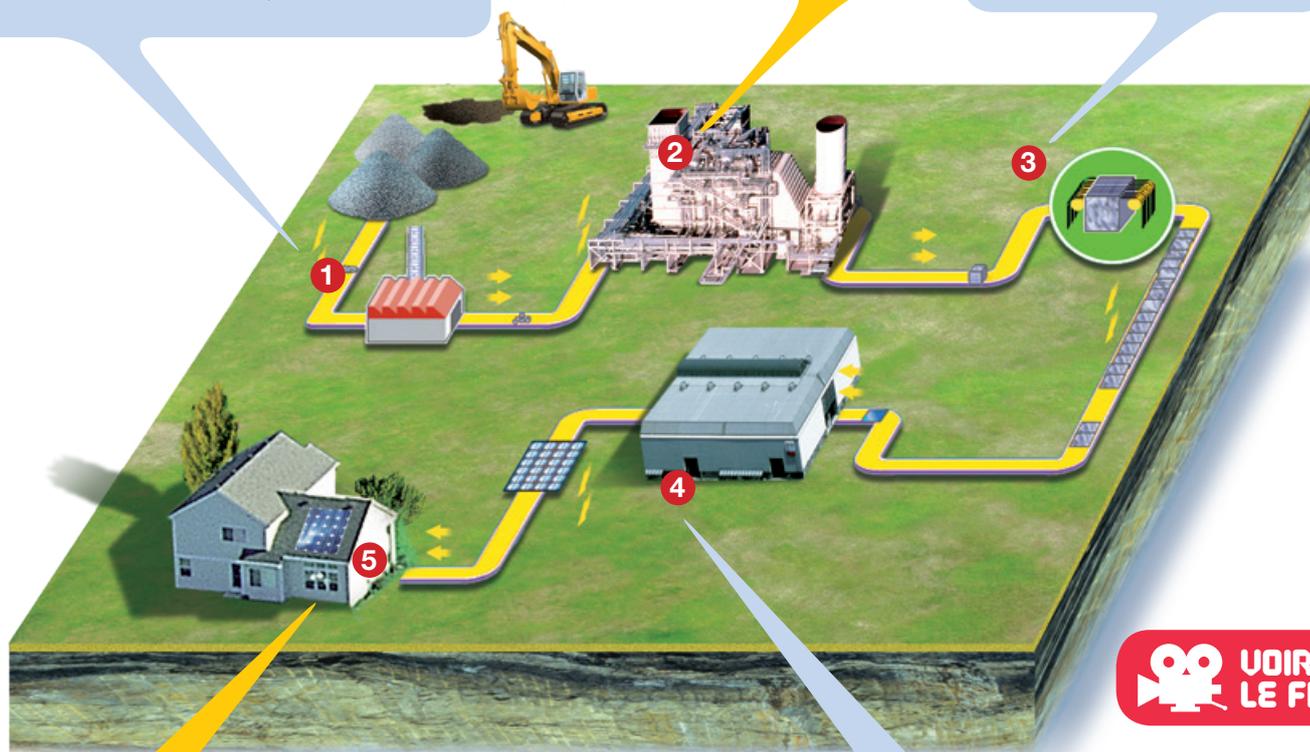
Le silicium est issu de la silice, principal composant du quartz et du sable. Très bon semi-conducteur, c'est la matière première d'une cellule photovoltaïque. Pour être utilisable, il faut le purifier à 99,999999 % en utilisant des réactions chimiques.

### 2 LINGOT

Le silicium est fondu à haute température, puis refroidi pour en faire un lingot.

### 3 WAFER

Le lingot est découpé en fines tranches d'environ 0,2 mm d'épaisseur, qu'on appelle *wafers* ou plaquettes.



VOIR  
LE FILM

### 5 PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE

Plusieurs dizaines de cellules sont assemblées entre elles, encapsulées dans un film plastique puis insérées entre une feuille de verre et une plaque support.

### 4 CELLULE

Pour transformer ces *wafers* en cellules sensibles à la lumière, on leur fait subir un traitement physico-chimique : à la fin du processus, elles sont dotées d'un pôle  $\oplus$  et d'un pôle  $\ominus$ . On les recouvre alors de conducteurs électriques pour collecter le courant.

## LES DEUX DÉFIS TECHNOLOGIQUES PRINCIPAUX :

### • Réduire les coûts :

Pour devenir intéressante, il faut que l'électricité produite soit moins chère que l'électricité qu'on achète au réseau (EDF en France). Aujourd'hui, elle coûte entre 0,7 et 5 fois plus cher. On pourra réduire ces coûts en combinant plusieurs facteurs : produire à grande échelle, réduire le nombre d'étapes de fabrication, introduire de nouvelles technologies... Théoriquement, il faudra encore 5 à 10 ans pour y parvenir.

### • Augmenter le rendement :

Aujourd'hui, avec la technologie la plus répandue du silicium cristallin, les panneaux les plus utilisés ne transforment en moyenne que 15 à 20 % des rayons du soleil (surtout les rayons visibles), même si les panneaux les plus productifs atteignent un rendement record à hauteur de 25,2 % en laboratoire. Tous les efforts des chercheurs tendent à augmenter ce rendement pour produire plus d'électricité avec un même panneau, c'est-à-dire mieux piéger la lumière. Il existe donc des laboratoires de recherche, notamment aux États-Unis, en Allemagne, au Japon et en France.

# PHOTOVOLTAÏQUES ?

des 5 grandes étapes de fabrication.

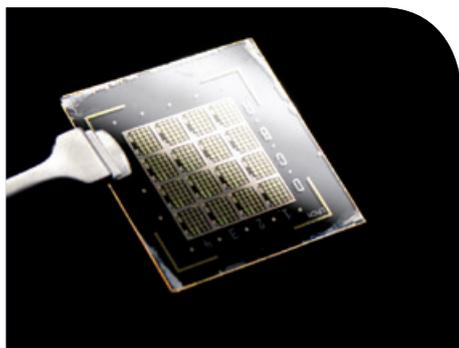
## LA GRANDE FAMILLE DU PHOTOVOLTAÏQUE

Les technologies s'améliorent sans cesse pour réduire les coûts et améliorer les rendements.



**Famille silicium cristallin**

La plus répandue : c'est aujourd'hui la plus fiable et celle qui produit le plus d'électricité pour un coût raisonnable.



**Famille couches minces**

Elle commence à se développer. Pour réduire les coûts de matière première, on la projette en fines couches sur un support. Elle a un moins bon rendement que la technologie précédente, mais permet d'autres applications comme les panneaux souples, par exemple.



**Famille organique**

Encore au stade du laboratoire. Moins chères, flexibles, transparentes et recyclables, ces cellules utilisent des polymères. On pourra les intégrer partout, (vêtements, sacs, emballages).



## CHIFFRES CHOCS

2<sup>e</sup>

LE SILICIUM EST LE  
2<sup>e</sup> ÉLÉMENT LE  
PLUS ABONDANT  
SUR TERRE APRÈS  
L'OXYGÈNE.

30 ANS

C'EST ENVIRON  
LA DURÉE DE VIE ESTIMÉE  
D'UN PANNEAU  
PHOTOVOLTAÏQUE.

15 % à 20 %

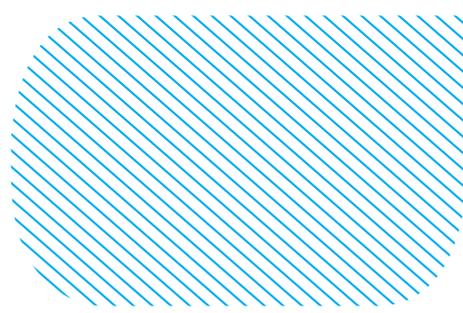
C'EST LE  
RENDEMENT  
DES CELLULES LES PLUS  
UTILISÉES.



## ZOOM SUR LE RENDEMENT



Le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque, c'est le rapport entre la quantité d'électricité produite et l'énergie solaire reçue par le panneau. Il s'exprime en pourcentage.



# ET APRÈS LE PANNEAU SOLAIRE : QUE FAIT

## Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau

### UNE CONNEXION AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE LOCAL

Pour favoriser le développement de l'énergie solaire, la plupart des pays européens incitent leurs réseaux locaux d'électricité à racheter plus chère l'électricité d'origine solaire. C'est pourquoi, dans ces pays, l'électricité est souvent revendue au réseau (EDF en France).

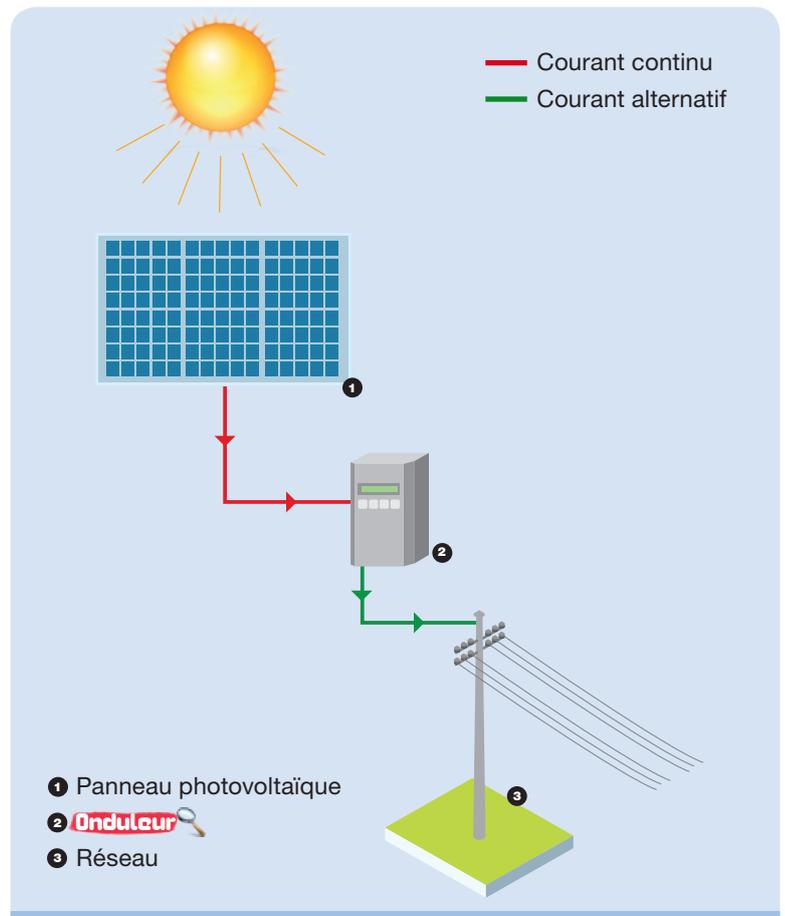
#### ZOOM SUR L'ONDULEUR

Le courant produit par les cellules photovoltaïques est un courant continu. Pour pouvoir alimenter les équipements électriques, il faut le transformer en courant alternatif grâce à un appareil électronique appelé onduleur.



### UN DÉFI TECHNIQUE : LE RÉSEAU

Aujourd'hui, l'électricité est produite par quelques centrales et acheminée aux consommateurs via le réseau électrique. Mais multiplier les panneaux solaires revient à multiplier les sources de production d'électricité dans un pays. Or, si l'on sait aujourd'hui acheminer l'électricité produite par quelques usines à des milliers de consommateurs, il n'est pas évident qu'on sache la transporter depuis plusieurs milliers de points de production. Et c'est d'autant plus compliqué que l'énergie solaire n'est produite... qu'en plein jour alors qu'en France, la consommation électrique se fait souvent en soirée. Il va falloir adapter les réseaux à ce décalage entre l'offre et la demande !



### OÙ PEUT-ON METTRE DU SOLAIRE ?



Toits des particuliers



Bâtiments industriels, hôpitaux, écoles...



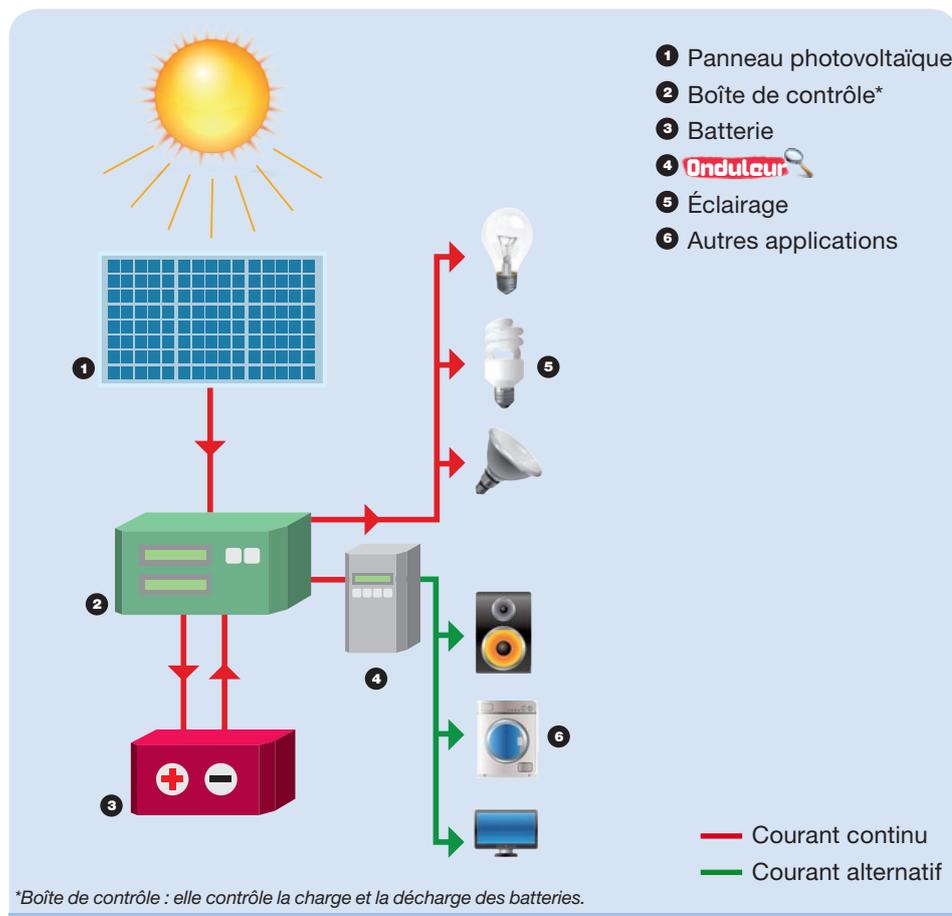
Grandes centrales au sol

# -ON DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE PRODUITE ?

## Les systèmes photovoltaïques isolés

### AUTOCONSOMMATION

Dans les zones qui ne peuvent pas être alimentées par le réseau public, l'énergie photovoltaïque est une solution logique pour produire de l'électricité de manière autonome et la stocker par un système de batteries.



### LES APPLICATIONS



Électrification de villages isolés



Antenne de transmission d'information



Alimentation d'une pompe pour puiser l'eau

### UN DÉFI TECHNIQUE : LA BATTERIE

Le principal enjeu pour ceux qui souhaitent consommer l'électricité solaire qu'ils produisent est de pouvoir stocker cette électricité. Pour que ce système devienne accessible, il va falloir rallonger la durée de vie des batteries, trouver des matériaux moins toxiques pour leur fabrication et réduire leur coût. Autant de défis passionnants à relever pour les chercheurs et les industriels !

### DE L'ÉLECTRICITÉ POUR TOUS

Plus de 1,3 milliard de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'électricité. La grande majorité vit en milieu rural, notamment dans les pays émergents ou en voie de développement : le coût de raccordement au réseau électrique est souvent trop cher parce que les populations sont dispersées. Dans ces zones, les installations photovoltaïques apportent une solution concrète : la production d'électricité directement sur le lieu de consommation. De nombreux programmes d'électrification rurale prouvent que cela marche. Mais cela a un coût. L'enjeu de ces prochaines années est de faire baisser ce coût.

### LE POMPAGE SOLAIRE : UNE VRAIE BONNE IDÉE !

Comme on ne sait pas bien stocker l'électricité, on stocke... de l'eau ! On la pompe quand il y a du soleil et on la consomme quand on en a besoin.



# SOLAR DECATHLON EUROPE : LE CONCOURS INTERNATIONAL D'ARCHITECTURE SOLAIRE

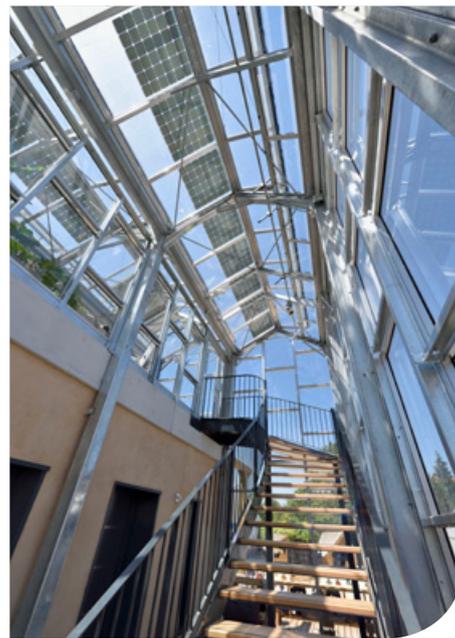
Organisée tous les deux ans dans une ville européenne, cette compétition unique réunit des centaines d'étudiants en architecture et ingénierie venus du **monde entier** pour relever un même défi : **grâce au solaire**, imaginer et construire une maison qui produit **plus d'énergie qu'elle n'en consomme**. Les prouesses techniques et le sens de l'innovation sont au rendez-vous. Durant cette compétition, c'est **l'habitat de demain** qui se dessine et l'énergie solaire photovoltaïque y joue un rôle clé. Elle propose des solutions intelligentes, performantes et compétitives adaptées aux besoins de la société du futur, telle que les jeunes l'imaginent.



Canopée®, le projet d'une des équipes françaises pour l'édition 2012, grand vainqueur de la compétition.



La maison OnTop de l'équipe allemande. Elle sera construite à Francfort, en Allemagne.



Le projet Philéas de l'équipe française Atlantic Challenge. Il a remporté le 2<sup>e</sup> prix de la compétition 2014.

## ENVIRONNEMENT

### RECYCLAGE DES PANNEAUX : DÉJÀ AU PROGRAMME !

Les premiers panneaux photovoltaïques, installés dans les années 1990, commencent à arriver en fin de vie. La filière de recyclage est déjà organisée grâce à l'association PV CYCLE qui réunit les principaux industriels européens du photovoltaïque. La technique de recyclage consiste à récupérer les cellules photovoltaïques, le verre, les métaux et le plastique, en séparant les éléments du module par un traitement thermique. Tous ces éléments pourront ensuite être réutilisés dans la chaîne de production de nouveaux panneaux. Il suffisait d'y penser...



En savoir plus : [www.pvcycle.org/fr](http://www.pvcycle.org/fr)

# DES DÉBOUCHÉS POUR TOUS LES TALENTS

**Qui dit marché en progression dit métiers et emplois, avec des débouchés à la clé ! En France, 10 000 personnes travaillent dans les métiers du solaire et ils sont 10 fois plus en Allemagne. Le solaire ? Un secteur d'avenir, en France ou à l'international !**

**Les explications de Jean-Pierre Joly, Directeur Général de l'INES (Institut National de l'Energie Solaire).**



Jean-Pierre Joly, Directeur Général de l'INES

**Solarama : Quels types de métiers la filière solaire propose-t-elle et quel niveau d'étude faut-il avoir pour y accéder ?**

**J-P.J :** Les métiers du solaire sont accessibles à tous les niveaux d'étude et correspondent à des métiers variés qui peuvent à la fois réclamer des compétences très opérationnelles, comme des compétences plutôt théoriques et techniques. Laissez-moi vous citer trois exemples :

– L'installateur. C'est un professionnel qui va directement installer les systèmes photovoltaïques, que ce soit sur les toitures des particuliers, ou dans les grandes centrales. Aujourd'hui il n'existe pas encore de "diplôme photovoltaïque" à proprement parler, et ces professionnels ont généralement un BAC PRO ou un CAP<sup>1</sup> dans le domaine du "génie électrique" qu'ils enrichissent par la suite avec des formations continues spécifiques.

– Le chef de chantier. Il a un rôle de supervision, sur des chantiers d'installation photovoltaïque par exemple. De même que pour l'installateur, le chef de chantier est passé par une formation généraliste en "génie électrique", puis va se spécialiser par la suite dans tout ce qui a trait au solaire. On

accède à ce métier par un niveau BAC +2 comme un BTS<sup>2</sup>, ou un IUT<sup>3</sup> par exemple.

– L'ingénieur. Il a un rôle de conception. Ce sont généralement des professionnels qui travaillent dans les bureaux d'étude et qui vont concevoir la centrale solaire par exemple. Une fois encore, il n'y a pas de diplôme spécialisé dans le photovoltaïque, mais on peut y accéder par n'importe quelle formation d'ingénieur à consonance électrique, mécanique ou même relevant du génie civil. Il existe aussi des diplômes en énergies renouvelables. Pour accéder à ces métiers, il faut viser le niveau Master ou un diplôme d'ingénieur (BAC +5).

**Solarama : Pensez-vous que la filière solaire soit une voie d'avenir pour les jeunes ?**

**J-P.J :** Malgré la crise qu'a subie la filière solaire récemment, je pense que les métiers du solaire ont un bel avenir devant eux. Par contre, il est intéressant de garder en tête qu'au cours d'une carrière, il est possible de changer de métier, et les jeunes qui se lanceront dans le solaire n'y travailleront pas forcément toute leur vie. A l'inverse, ces métiers sont également accessibles à des professionnels plus expérimentés qui souhaiteraient se spécialiser.

1. CAP : Certificat d'Aptitude Professionnelle
2. BTS : Brevet de Technicien Supérieur
3. IUT : Institut Universitaire de Technologie



## CES MÉTIERS T'INTÉRESSENT ?

**ALORS, RENDEZ-VOUS SUR**  
**[www.kit-pedagogique.total.com](http://www.kit-pedagogique.total.com)**

Tu y trouveras en ligne des fiches métiers  
et des interviews d'experts du solaire.

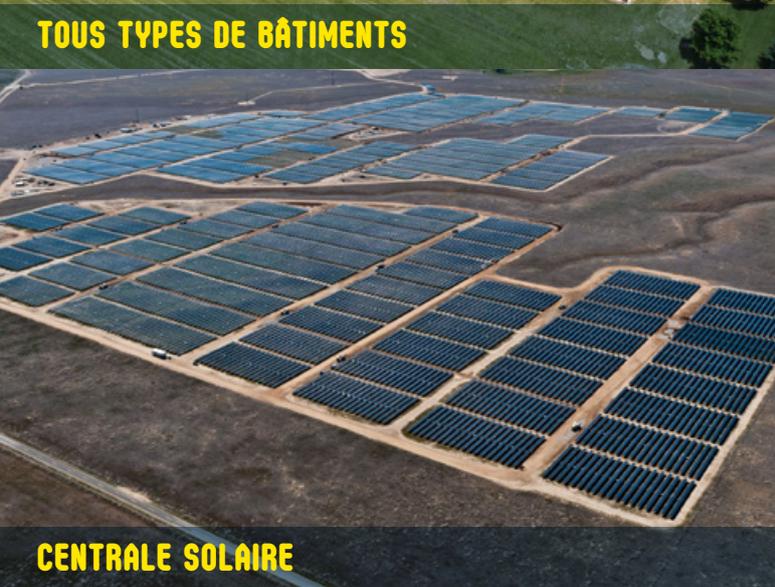


Ce document est la propriété de TOTAL : il ne peut être divulgué sans son autorisation. Toute copie et diffusion, totale ou partielle, ne peut être effectuée sans l'accord de TOTAL. Ce document a été élaboré dans le cadre exclusif d'un enseignement pédagogique scolaire alloué par un établissement agréé, il ne peut être utilisé dans un autre cadre. Tous les documents et données fournis par le présent document ont été élaborés avec le plus grand soin. TOTAL ne saurait garantir l'exactitude, l'actualité, l'intégralité ou la qualité de ces informations.

Crédits photos : © Photothèque Total, SunPower, Tenesol, Konarka, Marco Dufour, Etienne Follet, Javier Alonso Huerta, P. Avavian, Corbris, GettyImages, Fotolia.

# QUE PEUT-ON FAIRE AVEC DE L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ?

## Des systèmes connectés au réseau



## Des systèmes autonomes



Ce document a été imprimé sur du papier recyclé. L'imprimeur qui a réalisé ce document est certifié Imprim'Vert.



Avec EcoFolio Total encourage le recyclage des papiers. En triant vos déchets, vous participez à la préservation de l'environnement. [www.ecofolio.fr](http://www.ecofolio.fr)



AVEC

planete  
energies

Une initiative de  TOTAL