



## CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

### 1. RAPPEL DU PRINCIPE

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant cette lumière. Sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures sont arrachés :

- si l'électron revient à son état initial, l'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.
- par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " arrachés " créent une tension électrique continue faible.

Une partie de l'énergie cinétique des photons est donc transformée en énergie électrique. C'est l'effet photovoltaïque. L'autre partie est restituée sous forme thermique.

Les cellules photovoltaïques sont réalisées à partir de matériaux semi-conducteurs, et en particulier le silicium qui constitue la majorité des cellules fabriquées (99 % des cellules fabriquées en 2001).

Voir détail ci-contre. La partie grisée n'est pas nécessaire à la compréhension de la fiche

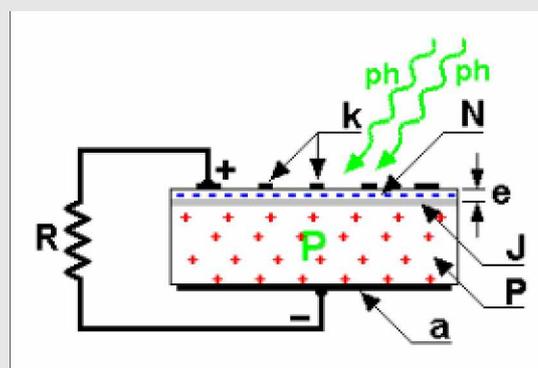
### 2. RENDEMENT

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est le rapport entre l'énergie électrique qu'elle fournit et l'énergie du rayonnement visible ou invisible qu'elle reçoit. Le rendement effectif dans les conditions de laboratoire varie de 15% à 13% suivant la nature de la cellule et dépend fortement de l'environnement du capteur en particulier,

- de l'incidence des rayons solaires par rapport à la surface du capteur,
- de la vitesse du vent
- de la température. Il est inférieur à 9% à 80°C. **En France on considère que le rendement moyen est de 10%**

Un cristal semi-conducteur dopé **P** est recouvert d'une zone très mince dopée **N** d'épaisseur **e** de l'ordre de quelques millièmes de mm. Entre les deux zones se trouve une jonction **J**.

La zone **N** est couverte par une grille métallique qui sert de cathode **k** tandis qu'une plaque métallique **a** recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode. L'épaisseur totale du cristal est de l'ordre du mm.



L'énergie disponible aux bornes d'une cellule photovoltaïque est fonction de l'énergie entrante et des pertes sous forme thermique :

$$E_{\text{électrique}} = E_{\text{lumineuse}} - P_{\text{thermique}} \quad \text{où :}$$

$E_{\text{électrique}}$  : énergie disponible aux bornes de la cellule (tension/courant).

$E_{\text{lumineuse}}$  : énergie incidente (flux lumineux)

$P_{\text{thermique}}$  : pertes thermiques (par convection, rayonnement et conduction).

L'énergie électrique disponible aux bornes d'une cellule photovoltaïque est fonction :

- des caractéristiques du type de rayonnement,
- de la répartition spectrale,
- de l'angle d'incidence,
- de la quantité d'énergie reçue (surface et forme de la cellule, caractéristiques dimensionnelles),
- des conditions ambiantes de fonctionnement (le rendement est inversement proportionnel à la température).

Le rendement de la cellule est :

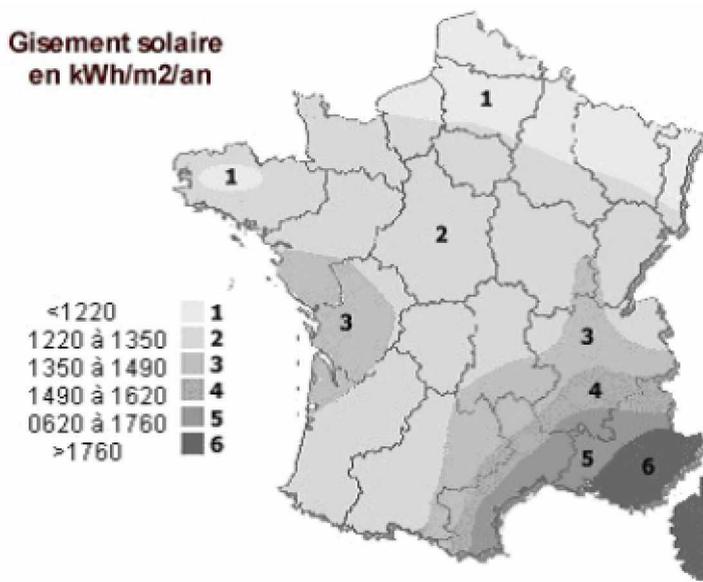
$$\eta = E_{\text{électrique}} / E_{\text{lumineuse}}$$

### 3. BALANCE ENERGETIQUE ET RENTABILITE des cellules photovoltaïques

Les fabricants estiment dans le cas des cellules photovoltaïques les plus performantes que l' « Energy payback time », temps nécessaire à une cellule pour produire une énergie égale à celle dépensée pour sa fabrication, est

de 2,5 à 5 ans suivant les sources. En considérant que la durée de vie d'une cellule photovoltaïque est de 20 ans, on peut ainsi affirmer **qu'elle fournit de l'énergie " propre " pendant 15 à 17,5 ans, soit de 75% à 87% de sa durée de vie.**

La rentabilité financière d'un capteur va dépendre essentiellement de la zone d'implantation. En France le flux solaire moyen varie de 1220 à 1760 kWh/m<sup>2</sup>/an (voir carte ci-dessous) soit un flux solaire moyen journalier de 4 kWh/m<sup>2</sup>. Si l'on exclut les aides étatiques et l'obligation par EDF de racheter le courant électrique produit à des tarifs très supérieurs au prix courant, **la durée d'amortissement calculée sur les coûts actuels est supérieure à 30 ans** (voir détail du calcul zone grisée ci-après). On est loin ici des 2,5 ans annoncés par les constructeurs, d'autant plus qu'il faut également amortir l'installation de régulation, de transformation et de stockage de l'énergie.



Comparons le coût global de fabrication avec l'équivalent en euro de la quantité d'énergie qu'elle produit. Un module photovoltaïque d'une surface d'environ 1 m<sup>2</sup> revient actuellement à environ 500 €. En France le flux solaire moyen varie de 1220 à 1760 kWh/m<sup>2</sup>/an. On retiendra pour l'évaluation un flux solaire moyen journalier de 4 kWh/m<sup>2</sup>. Le module produira alors environ 400 Wh/m<sup>2</sup> sur la base d'un rendement de 10%. Pour un coût de l'énergie du réseau public de 0,1 €/ kWh, la production moyenne d'un module est donc équivalente à 0,04 €/jour. La durée d'amortissement sera donc de 500 / 0,04 = 12500 jours soit environ 34 ans. Dans le coût d'amortissement de l'installation il faut rajouter la maintenance du matériel de régulation et le remplacement des batteries dont la durée de vie est limitée.

#### 4. DIMENSIONNEMENT ET COUT D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE

Des modules photovoltaïques génèrent de l'électricité quand ils reçoivent la lumière du soleil. Avec les technologies actuelles, un module de 1m<sup>2</sup> fournit une puissance crête de 100W, ceci dans les conditions normales (ensoleillement standard de 1000W/m<sup>2</sup> à 25°C, panneau perpendiculaire aux rayons).

Cette électricité doit être stockée dans des batteries d'accumulateurs, les besoins en électricité ne correspondant pas systématiquement aux heures d'ensoleillement ou celui-ci n'étant pas forcément optimal (taux de couverture solaire). La capacité de stockage dépend bien sûr du régime d'utilisation ou charge énergétique de l'installation. Ce courant électrique doit être transformé deux fois, une première fois pour être stocké dans les batteries et une deuxième fois pour alimenter les appareils électriques au cours duquel il est régulé. Le coût global pour une installation autonome est de l'ordre de 15000 €/kWc. (Le Watt crête Wc est l'unité de puissance maximale que l'on peut tirer d'une installation).

A titre d'exemple, une installation de 1,6 kWc (soit 16 m<sup>2</sup> de modules) permet de fournir les besoins de base d'une habitation : éclairage par lampes fluocompactes, petit électroménager, téléviseur, chaîne hifi et ordinateur, lave-linge à double entrée eau chaude - eau froide, réfrigérateur économe (Données ADEME Coût 2002).

## 5. DUREE DE VIE, MAINTENANCE ET POLLUTION.

La durée de vie des modules photovoltaïques est donnée pour 20 ans.

Les batteries par contre ont une durée de vie limitée (5 à 8 ans) et leur coût de remplacement représente une part importante des frais de maintenance ; elles contiennent des matériaux toxiques comme le plomb, le lithium, le cadmium ainsi que des acides variés. L'utilisation des batteries électrochimiques présente donc des risques pour l'environnement. Leur recyclage en fin de vie est donc indispensable.

## 6. UTILISATION DES CAPTEURS SOLAIRES

A cause de son prix au kWh, de son caractère aléatoire en matière de production d'énergie (jour/nuit, météo) et du mauvais rendement des capteurs, la part de l'énergie solaire dans la production d'électricité reliée au réseau électrique restera sans doute négligeable pendant encore longtemps si aucune révolution technologique ne vient changer la donne, d'autres énergies abondantes et sans émission de gaz à effet de serre étant disponibles à un prix très inférieur (hydraulique, nucléaire et dans une moindre mesure éolien)

Toutefois les capteurs photovoltaïques trouvent tout leur intérêt dans les applications isolées des réseaux électriques et nécessitant de faibles quantités d'énergie. A titre d'exemple, on peut citer les habitations de montagne, les refuges, les télé-transmissions, la signalisation, le traitement de l'eau, les stations de pompage et naturellement le spatial. Mais l'intérêt principal va se trouver dans les pays sous-équipés et bénéficiant d'un maximum d'ensoleillement. Ainsi, ces dispositifs vont permettre d'offrir l'électricité et ainsi apporter un minimum de confort à des populations qui ont difficilement accès à un réseau électrique.

Remarque : Actuellement en France, le choix d'une énergie renouvelable permet de bénéficier de soutiens publics dans le cadre du FACE (Fonds d'Amortissement des Charges d'Electrification) si le site est en zone rurale ou d'une aide financière de l'ADEME et d'EDF si le site est en zone urbaine. De plus EDF est dans l'obligation de racheter le surplus d'électricité des particuliers à des tarifs forts avantageux. Mais ceci *ne peut pas être un critère de choix* pour les générateurs électriques solaires car ce ne sont que des dispositions momentanées pour satisfaire les critères européens en matière d'énergie renouvelable et permettre à la France de rattraper son retard dans ce domaine.

## 7. L'AVENIR

Comme on l'a vu précédemment, les électrons porteurs de charge, générés par la lumière du soleil, sont partiellement perdus dans le volume du silicium à cause de la présence d'impuretés résiduelles (atomes de fer, titane). Pour palier ce problème les chercheurs font appel aux nanotechnologies pour créer la cellule solaire de troisième génération. La technique consiste à introduire des nanoparticules de silicium ou de germanium (5 nanomètres de diamètre) dans une fine couche de verre placée à la surface de la cellule pour que la lumière solaire soit mieux absorbée. Les recherches s'orientent également vers l'introduction des nanoparticules dans des supports souples en plastique polymère, qui peuvent être fabriqués selon un processus beaucoup plus simple. Ces cellules auraient l'avantage d'être flexibles et résistantes. D'autres voies de recherche s'orientent vers des matériaux capables d'exploiter la lumière infrarouge ce qui permettra de fonctionner même par temps couvert et ainsi porter le rendement à 30%.

-----