

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE PHOTOVOLTAÏQUE

Serge Degueil

Résumé

Lorsqu'un matériau est soumis au rayonnement solaire il apparaît deux phénomènes qui dépendent de la nature du matériau. Pour la plupart d'entre eux il y a échauffement ; c'est ce phénomène qui est exploité dans les chauffe-eau solaires. Pour les matériaux semi-conducteurs il y a, en plus, création d'un courant électrique. C'est l'effet photovoltaïque.

Le rendement des capteurs photovoltaïques est essentiellement fonction de l'ensoleillement et l'on estime que le rendement moyen en France est de l'ordre de 10%. La lumière n'étant pas permanente par nature, il est nécessaire, pour les installations autonomes, de stocker cette énergie pour toute utilisation nocturne ou par temps couvert (batterie électrochimique). Pour les installations reliées à un réseau électrique, le courant produit est injecté dans les lignes du réseau. Cependant, quelque soit son utilisation, cette énergie n'est pas directement exploitable et doit être transformée, à l'aide d'un convertisseur, pour être mise à la norme 220V, 50Hz.

La durée de vie de ces capteurs est de 20 ans. Compte tenu de l'énergie consommée pour sa fabrication, on estime que le capteur donne une **énergie propre** pendant une durée de l'ordre de 15 ans. Pour les installations autonomes, ceci est toutefois à pondérer, par la durée de vie des batteries qui n'est que de 5 ans. De plus elles sont une grosse source de pollution en raison des matériaux toxiques qu'elles contiennent (plomb, lithium, cadmium, acides). Sur le plan financier, le temps de retour sur investissement est nettement supérieur à la durée de vie, de l'ordre de 30 ans, ce qui signifie que ce type d'énergie ne serait pas rentable sans une aide importante de l'état qui veut favoriser le développement des énergies renouvelables. Cette aide est actuellement en forte diminution rendant ces installations beaucoup moins avantageuses. Malgré tout, le prix de rachat de l'électricité est de l'ordre de quatre fois le prix de référence.

À titre d'exemple, pour satisfaire les besoins électriques de base d'une habitation entièrement autonome (éclairage par lampes fluocompactes, petit électroménager, téléviseur, chaîne hifi et ordinateur, lave-linge à double entrée eau chaude - eau froide, réfrigérateur économe), il faut 1,6 kW, soit 16 m² de panneaux solaires

Si, dans nos applications courantes, les capteurs photovoltaïques ne semblent pas présenter de grands avantages techniques, ils vont toutefois trouver tout leur intérêt dans les applications isolées des réseaux électriques et nécessitant que 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 apporter un minimum de confort à des populations isolées de tout.



Exemple d'un équipement photovoltaïque : refuge de Bésines (Hautes Pyrénées)

1. RAPPEL DU PRINCIPE

Lorsqu'un matériau reçoit 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 :

- quand 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.

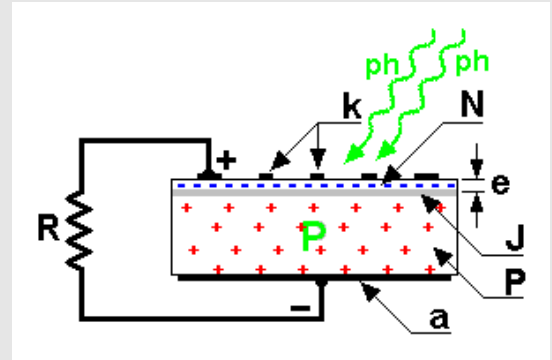
En France on considère que le rendement moyen est de 10%

3. BALANCE ÉNERGÉTIQUE ET RENTABILITÉ

Les fabricants estiment que, dans le cas des cellules photovoltaïques les plus performantes, 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.**

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).

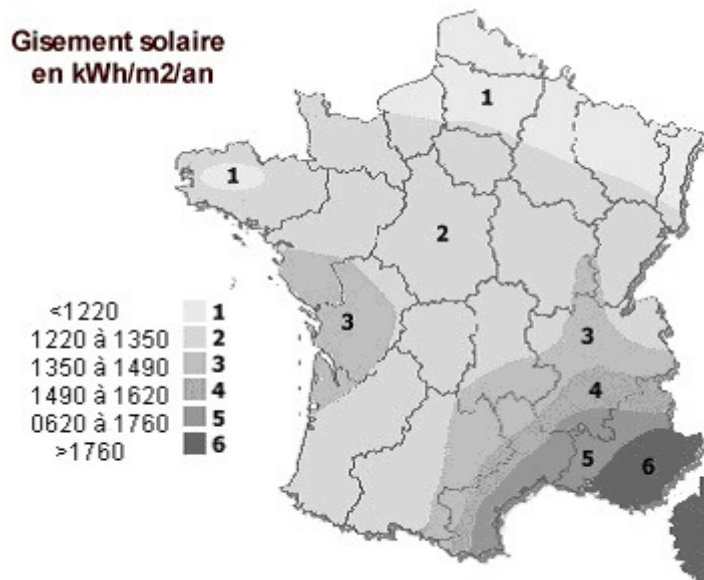
L'énergie électrique disponible aux bornes d'une cellule photovoltaïque est fonction :

- 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 :

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

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/m²/an (voir carte ci-dessous) soit un flux solaire moyen journalier de 4 kWh/m². **La durée d'amortissement calculée sur les coûts actuels est de l'ordre de 30 ans bien supérieur à la durée de vie des capteurs** (voir détail du calcul zone grisée ci-après). Ceci signifie que ce type d'énergie ne peut pas être rentable sans une aide importante de l'état qui veut favoriser le développement des énergies renouvelables.



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 m² revient actuellement à environ 500 € (3€ à 3.5€ /Wc pour le capteur, 0.6€/Wc pour le matériel de régulation auxquels se rajoute 25% pour l'installation). En France le flux solaire moyen varie de 1220 à 1760 kWh/m²/an. On retiendra pour l'évaluation, un flux solaire moyen journalier de 4 kWh/m². Le module produira alors environ 400 Wh/m² sur la base d'un rendement de 10%. Pour un coût de l'énergie du réseau public de 0,11€ / kWh, la production moyenne d'un module est donc équivalente à 0,044 €/jour. La durée d'amortissement sera donc de 500 / 0,044 = 11300 jours soit environ 30 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.

(Wc=puissance max fournie par le capteur)

Remarque : Jusqu'à maintenant, le choix d'une énergie renouvelable a permis 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. Bien que les aides soient actuellement en forte diminution de rachat de l'électricité est en moyenne de 0,40 €/kWh, alors que le prix de référence de l'électricité réseau est de 0,11€/kWh.

4. DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Des modules photovoltaïques génèrent de l'électricité quand ils reçoivent la lumière du soleil. Avec les technologies actuelles, un module de 1m² fournit une puissance crête de 100W, ceci dans les conditions normales (ensoleillement standard de 1000W/m² à 25°C, panneau perpendiculaire aux rayons).

Pour les installations autonomes, 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, au cours duquel il est régulé, pour alimenter les appareils électriques. A titre d'exemple, une installation de 1,6 kWc (soit 16 m²

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)

Pour les installations connectées au réseau électrique général, l'électricité produite est mise aux normes EDF (50Hz, 220V) puis injectée dans le réseau. L'importance de l'installation dépend essentiellement de la place disponible pour les panneaux solaires et de l'investissement envisagé.

5. DURÉE DE VIE, MAINTENANCE ET POLLUTION

La durée de vie des modules photovoltaïques est donnée pour 20 ans. Dans les installations autonomes il faut tenir compte de la durée de vie des batteries comprise entre 5 et 8 ans, Le coût de remplacement représente une part importante des frais de maintenance.

Compte tenu des éléments entrant dans la réalisation de ces matériels (silicium ou germanium pour les capteurs, plomb, lithium, cadmium et acides pour les batteries), le recyclage de ces matériels est impératif en fin de vie.

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 restera sans doute négligeable pendant encore longtemps si aucune révolution technologique ne vient changer la donne, car d'autres énergies abondantes et sans émission de gaz à effet de serre sont 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 que 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.

Dans l'attente de la mise au point de moyens de stockage direct de l'électricité, l'avenir du photovoltaïque se situera en grande partie dans les énergies d'appoint pour la production d'hydrogène par électrolyse ou le pompage de l'eau.

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 un fonctionnement même par temps couvert et ainsi permettre un rendement de 30%.