

PRINCIPE ET GENERALITES

ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE



!

## LE PRINCIPE PHOTOVOLTAÏQUE

### ▫ Les niveaux d'énergie

Lorsque les atomes sont rassemblés pour former un solide, les niveaux d'énergie discrets de chaque atome énoncés par Niels Bohr se différencient pour former des bandes continues d'énergie. Ces bandes ou couches constituent les zones de stabilité de l'atome et correspondent aux orbites possibles des électrons autour du noyau.

La couche la plus éloignée du noyau comportant des électrons (ayant le niveau d'énergie le plus faible) est appelée la bande de valence. Au-delà de cette bande de valence, on retrouve la bande de conduction qui correspond aux états énergétiques pour lesquels l'électron peut se déplacer librement au sein de la structure atomique du matériau. La bande de valence et la bande de conduction sont séparées par une bande interdite dont la largeur varie selon les matériaux.

La figure suivante présente les répartitions de bandes pour différents matériaux.

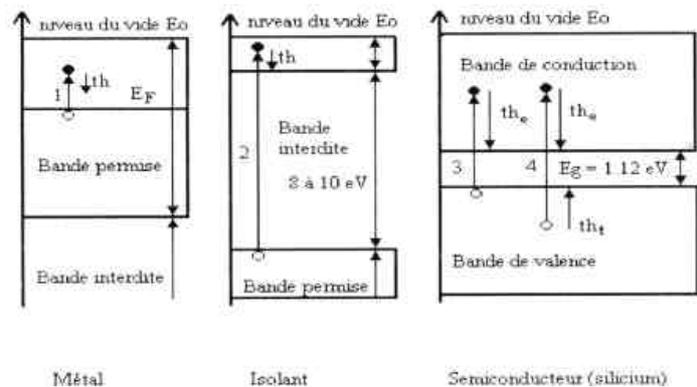


Figure. : Structure de bande pour les trois grandes familles de matériaux.

### ▫ L'effet photoélectrique

L'effet photovoltaïque consiste à fournir, à partir de l'énergie d'un photon, une énergie suffisante (supérieure ou égale à la largeur de bande interdite) pour faire franchir la bande interdite à un électron initialement dans la zone de valence et se retrouvant ainsi dans la bande de conduction. Les photons photovoltaïquement utiles ont une énergie supérieure ou égale à la largeur de bande interdite ; les autres ne provoquent pas d'interactions avec la matière.

Il s'avère que l'effet photovoltaïque n'est significatif que dans le cas des semi-conducteurs ; un métal réfléchit et absorbe quasiment toutes les longueurs d'onde et converti quasi instantanément cette énergie en chaleur, un isolant ne peut quant à lui pas absorber le rayonnement solaire car les photons issus du rayonnement solaire ont une énergie inférieure à sa largeur de bande interdite.

Pour les semi-conducteurs, la largeur de bande interdite varie de 0.6 eV à 2 eV et vaut 1.12 eV pour le silicium cristallin. Dans ce cas particulier, les photons d'énergie  $E > 1.12$  eV, ( $\lambda < 1.12 \mu\text{m}$ ) cèdent leur énergie aux électrons de la bande de valence qui franchissent alors la bande interdite. Les électrons ainsi libérés de leur liaison chimique pourront se circuler librement dans le cristal tels des électrons de conduction. Si l'énergie  $E$  est supérieure à l'énergie du gap  $E_G$  (nécessaire pour franchir la bande interdite), l'excès d'énergie est perdu par échauffement. La transition électronique précédemment décrite génère deux types de porteurs de charge : des électrons de conduction d'une part et des liaisons chimiques manquantes (absences d'électron de valence appelées lacunes ou trous).

Les deux composantes de la paire électron trou se meuvent dans le matériau suivant des modalités différentes. Le trou peut en effet se déplacer dans le matériau par le saut en sens inverse d'un électron de valence qui se déplace de liaison chimique lacunaire en liaison chimique lacunaire. La mobilité d'un trou donc est toujours plus faible que celle d'un électron de conduction.

Contrairement à ce qui se passe dans un métal, ces paires électron / trou pourront être utilisées pour générer un courant électrique avant de disparaître par recombinaison. La durée de vie des porteurs dans un semi-conducteur est un million de fois plus grande que dans un métal. Il est alors possible de séparer les électrons des trous par un champ électrique afin de les collecter en vue de créer un courant électrique utilisable.

- La cellule solaire

Dans une cellule solaire, le champ électrique (permanent et indestructible) peut être généré par la jonction de deux semi-conducteurs de nature et de type différents (hétéro jonctions). Cette séparation peut aussi s'obtenir par la barrière de potentiel entre un métal et un semi-conducteur (diode Schottky), ou bien plus simplement encore, à l'interface de deux zones d'un même semi-conducteur dont les concentrations en électrons libres sont différentes (homo jonction ou jonction p-n).

L'homo jonction de silicium cristallin constitue la technologie la plus utilisée. Les concentrations en électrons libres sont obtenues par dopage : des impuretés soigneusement choisies pour leurs propriétés atomiques et cristallines sont insérées dans la structure cristalline et se substituent à quelques atomes du matériau de base. Une barrière de potentiel naît entre la couche dopée N (avec des impuretés augmentant la charge négative de la couche) et la couche dopée P (avec des impuretés augmentant la charge positive de la couche). Une telle jonction crée entre les deux zones un champ électrique élevé et permanent résultant du seul contact entre les deux matériaux. Tout porteur de charge mobile ayant pu diffuser (par l'effet d'un gradient de concentration) jusqu'à cette zone de champ, sera vigoureusement drainé vers le côté n pour les électrons et le côté p pour les trous.

Dès que les porteurs de charge se trouvent dans une zone de leur type, ils ne risquent plus de se recombinier autrement que par les défauts du réseau ou de la surface. Ils sont alors collectés par une grille métallique où ils peuvent circuler sans contrainte. En ce qui concerne les trous delà zone p, ils sont remplacés par des électrons injectés par la grille de collecte.

Comportement électrique d'une cellule

Une caractéristique fondamentale des cellules est que pour un éclairement et une température donnés, elles n'imposent ni le courant ni la tension de fonctionnement. C'est la valeur de la charge R aux bornes de la cellule qui va déterminer le point de fonctionnement. Une caractéristique fondamentale des cellules est que pour un éclairement et une température donnés, elles n'imposent ni le courant ni la tension de fonctionnement. C'est la valeur de la charge R aux bornes de la cellule qui va déterminer le point de fonctionnement. La figure suivante montre en particulier que, fermée sur une charge de résistance  $R_i$ , la cellule ne cédera qu'une puissance  $P_m$  bien inférieure à la puissance optimale  $P_{op}$  qu'elle pourrait débiter. ce comportement est à prendre en compte lorsque l'on veut adapter l'impédance d'un système, quelles que soient les conditions d'éclairement.

Modélisation électrique d'une cellule

Une cellule solaire ne peut donc être assimilée à aucun générateur classique. On peut en effet la considérer comme un générateur à tension constante dans la partie verticale de sa caractéristique et comme une source de courant constante dans la partie horizontale de sa caractéristique.

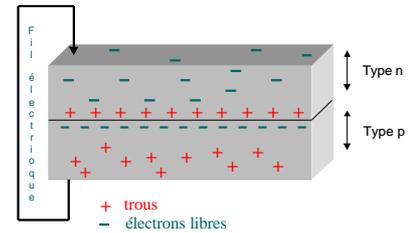


Figure : schéma d'une jonction p-n telle qu'elle serait dans le noir (sans mouvement des charges sous l'effet photovoltaïque).

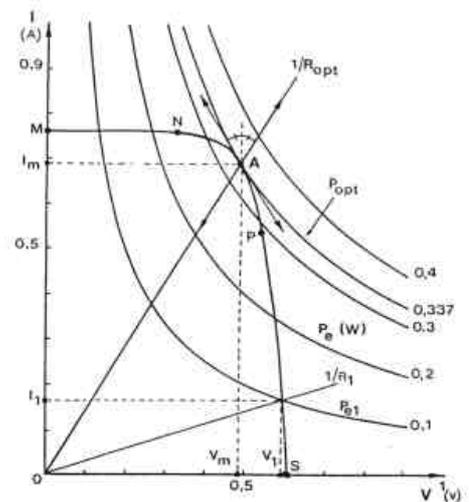


Figure : Courbe de puissance d'une photopile débitant sur une charge  $R_1$  et sur une charge optimale  $R_{opt}$ .

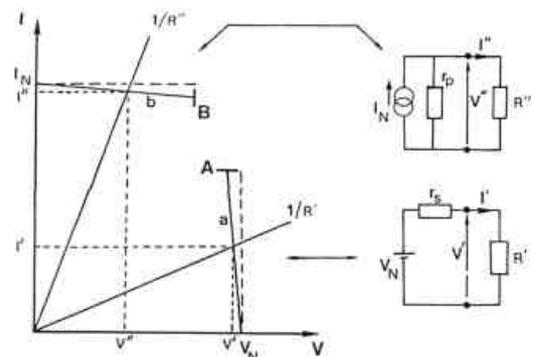


Figure : Schéma équivalent d'une cellule

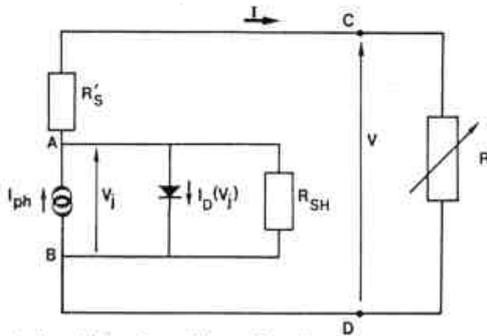


Figure : schéma d'une photopile en fonctionnement.

La figure ci-contre représente le schéma électrique équivalent d'une cellule sous éclairement. Il correspond en fait à un générateur de courant imparfait (qui présente une conductance shunt et une résistance série parasite) monté en parallèle sur une diode imparfaite.

□ Influence de l'éclaircement et de la température

L'intensité délivrée par la cellule est quasiment proportionnelle à l'éclaircement. Le réseau de courtes de la figure ci-contre met en évidence le problème de l'adaptation d'impédance en fonction de l'éclaircement. En particulier, pour une charge résistive, il est clair qu'une parfaite adaptation d'impédance ne peut s'obtenir que pour une seule valeur de l'éclaircement. On constate aussi que les points de puissance optimale se situent sur une courbe dont l'allure est assez proche d'une droite verticale (courbe en pointillé) ; ainsi, une batterie d'accumulateurs dont le point de fonctionnement est une tension fixée, est parfaitement adaptée à la caractéristique d'une cellule.

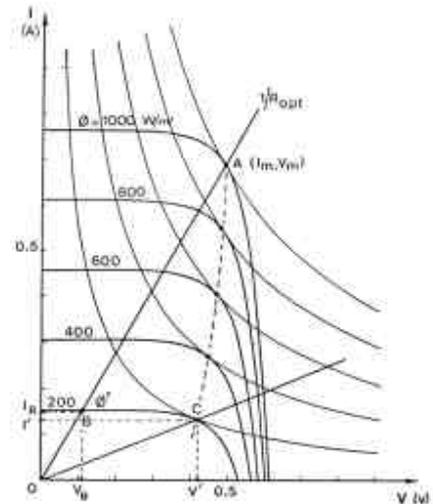
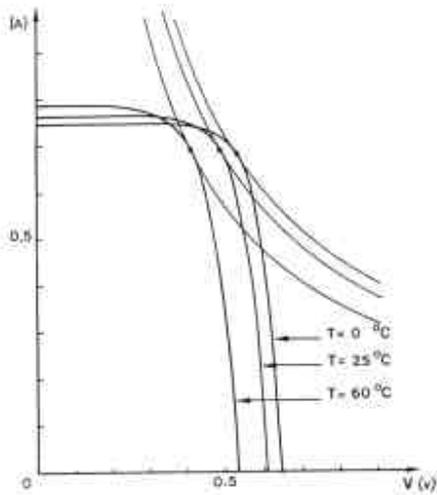


Figure. : Influence de l'éclaircement sur la courbe de puissance d'une cellule.



**Figure. :** Influence de la température sur la courbe de puissance d'une photopile.

La température est un paramètre important dans le comportement des cellules, ne serait-ce que parce qu'une cellule exposée à un éclairement de  $1\text{ kW/m}^2$  n'en transforme en électricité que 12% au plus, le reste étant réfléchi (6 à 8%) ou dissipé en chaleur (80 à 82%). Ainsi, si la photopile n'est pas correctement ventilée, elle peut monter très haut en température et ses performances électriques peuvent se dégrader. La figure IX.4. montre l'influence de la température