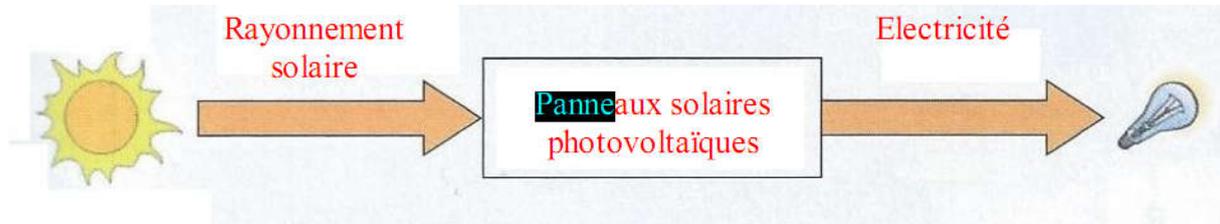


Chapitre1: Conversion électrique solaire

Introduction

Principe de l'énergie solaire photovoltaïque : transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.



Technologies des cellules et modules photovoltaïques

Cellule photovoltaïque

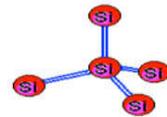
L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Becquerel. Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide.

Principe de fonctionnement d'une cellule.

Les matériaux semi-conducteurs :

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin.

Dans ce cas, tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant



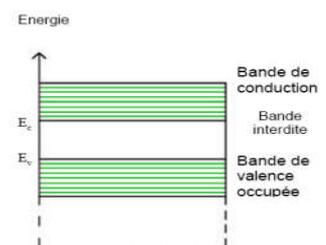
électrique.

Les semi-conducteurs intrinsèques :

Les électrons situés sur la couche la plus éloignée du noyau, qui participent aux liaisons covalentes peuvent, sous l'effet de l'agitation thermique, devenir porteur de charge.

Le diagramme énergétique est constitué de deux bandes (conduction et valence) séparé par une bande interdite. Pour franchir cette bande l'électron doit acquérir de l'énergie (thermique, photon, ...)

Mais le nombre d'électrons libres dans un semi-conducteur intrinsèque reste très faible. Ici le nombre de trou et d'électron est égal.

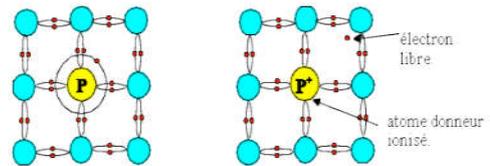


Les semi-conducteurs extrinsèques :

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

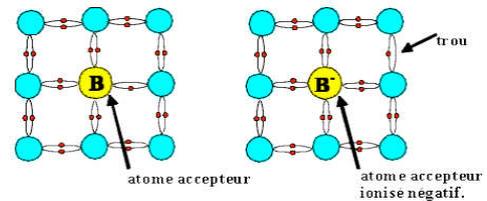
Dopage de type N :

On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent. Quatre d'entre eux assurent les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le cinquième resté disponible va être excité vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique. D'où le nombre d'électron libre qui va fortement augmenter : dans ce cas le nombre de trou est très inférieur au nombre d'électron libre. On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif).



Dopage de type P :

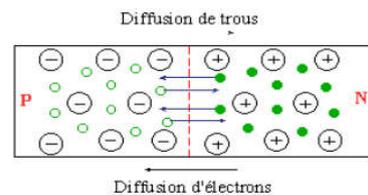
De la même façon on introduit des atomes trivalents, ses trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laisser un trou au quatrième. Ce trou se déplace de proche en proche dans le cristal pour créer un courant. Ici le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électrons libres du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du Bore.



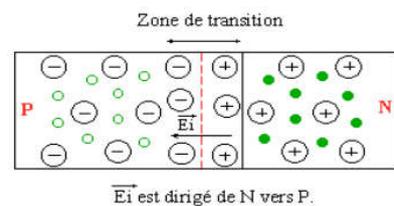
La jonction PN :

Une jonction PN est l'accolement d'une région dopé P et d'une région dopée N.

Lors de cet assemblage les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition.

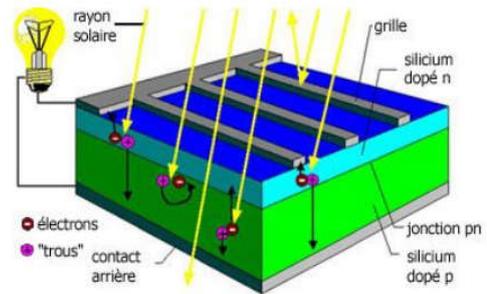


Il ne reste donc plus que les ions dans cette zone qui vont créent un champ électrique interne au niveau de la jonction et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner.



L'effet photovoltaïque

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les photons constituant la lumière « attaquent » les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches électroniques supérieures, appelés aussi électrons de valence ont tendance à être arrachés. Dans les cellules PV, une partie des électrons ne revient pas à son état initial et les électrons « arrachés » créent une tension électrique continue et faible.



Energie lumineuse :

La lumière est constituée de photons vibrant à des fréquences f et sont donc porteurs d'une énergie

$$E = h \times f$$

h est la constante de Planck ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js)

f la fréquence de l'onde lumineuse en Hertz

E l'énergie de ce photon en Joules

Remarque : Unité couramment employée l'électron volt : Unité de mesure représentant l'énergie cinétique d'un électron, accéléré dans le vide sous une différence de potentiel de 1 Volt:

$$1 \text{ eV} = 160,217 \cdot 10^{-21} \text{ Joule} = 44,505 \cdot 10^{-24} \text{ Wh. Alors } E_{(eV)} = \frac{1,2419}{\lambda_{(\mu m)}}$$

Le flux de photons par seconde et par centimètre carré $N(\lambda)$ dépend du potentiel solaire $M(\lambda)$

Tel que $N(\lambda) = M_{\lambda} \frac{\lambda}{hc} d\lambda$ avec $N_{(\lambda)} (cm^{-2} \cdot s^{-1} \cdot \mu m^{-1})$ flux de photons

La conversion de photons en électrons dans un matériau pouvant produire un courant électrique nécessite que :

- les photons soient absorbés par le matériau (absorption optique) en transmettant leur énergie au matériau ;
- l'énergie transmise aux électrons soit une énergie potentielle et non une énergie thermique ;
- les électrons excités par les photons soient collectés avant de reprendre leur énergie initiale (relaxation), afin de fournir un courant électrique.

Module solaire

a-/ Association des cellules en série

Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut associer les cellules en série pour obtenir une tension plus importante : le module solaire ou panneau photovoltaïque.

Un panneau photovoltaïque est un assemblage en série de cellules permettant d'obtenir une tension de 12 volts.

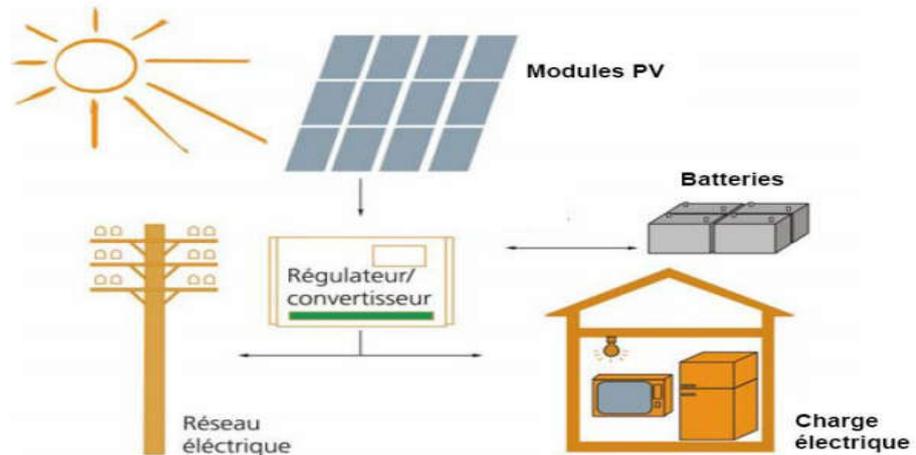
b-/ Diodes « by-pass »

La mise en série des cellules peut être dangereuse lorsque l'une d'entre elles se retrouve à l'ombre. Elle va s'échauffer et risque de se détruire.

En effet, une cellule "masquée" voit l'intensité qui la traverse diminuer. De ce fait, elle bloque la circulation de l'intensité "normale" produite par les autres modules. La tension aux bornes de cette cellule "masquée" augmente, d'où apparition d'une surchauffe.

Technologies des systèmes photovoltaïques

Composants d'un système photovoltaïque



* **Générateur photovoltaïque** : Modules et un ensemble de composants selon l'application.

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Il doit être purifié afin d'obtenir un silicium de qualité photovoltaïque.

Il se présente alors sous la forme de barres de section ronde ou carrée appelée lingots.

Les lingots sont ensuite découpés en wafers : fines plaques de quelques centaines de microns d'épaisseur. Ils sont ensuite enrichis en éléments dopants pour obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou N.

Des rubans de métal sont alors incrustés en surface et raccordés à des contacts pour constituer des cellules photovoltaïques.

Type de cellules.

- Les cellules mono-cristallines :
- Les cellules poly-cristallines
- Les cellules amorphes (cellules de calculatrices par exemple)
- Les cellules nanocristallines

* Batterie :

- De type Plomb-Acier
- Fonctionnement en continue.

* Régulateur de charge:

Protection des batteries contre les surcharges solaires excessives et les décharges profondes.

* Convertisseur :

- Intercalé entre modules et utilisation.
- Conversion du DC en CC.
- Fonctionnement au maximum de puissance

Outils de mesure et d'évaluation des ressources solaire

Le luxmètre

Les luxmètres modernes fonctionnent selon le principe d'une cellule C.C.D ou cellule photovoltaïque ; un circuit intégré reçoit une certaine quantité de lumière (photons constituant le « signal » qui est une énergie de rayonnement) et la transforme en signal électrique (signal analogique). Ce signal est visualisé par le déplacement d'une aiguille, l'allumage d'une diode, l'affichage d'un chiffre...

Une photorésistance associée à un ohmmètre jouerait le même rôle.

Un filtre de correction de spectre permet d'éviter que les différences de spectre ne faussent la mesure (la lumière jaune est par exemple plus efficace que la bleue pour produire un électron à partir de l'énergie d'un paquet de photons)

Les luxmètres peuvent avoir plusieurs échelles pour s'adapter aux faibles ou fortes luminosités (jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de lux).

Correspondance lux W/m^2

Approximation concernant l'Eclairement en W/m^2



Tableau 5 – Caractéristiques de quelques sources lumineuses [16]

Sources lumineuses	Température de couleur (K)	Grandeurs visuelles		Grandeurs énergétiques		Efficacité lumineuse (lm/W)
		Luminance ($cd \cdot m^{-2}$)	Éclairement ($lm \cdot m^{-2}$)	Luminance ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$)	Éclairement ($W \cdot m^{-2}$)	
Lumières naturelles						
Soleil hors atmosphère sur un plan de front au niveau de la Terre	6 200	$1,96 \times 10^9$	$1,35 \times 10^5$	$2,04 \times 10^7$	$1,39 \times 10^3$	97,5
Soleil au zénith vu du niveau de la mer sur un plan de front (avec ciel bleu)	5 760		$1,16 \times 10^5$	$1,37 \times 10^7$	$1,03 \times 10^3$	112
— diffusé par un papier blanc		$2,6 \times 10^4$		$2,3 \times 10^2$		
— diffusé par un sol moyen				$1,7 \times 10^2$		

Le pyranomètre

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré. Il est sensible dans un domaine spectral de 300 à 2500 nanomètres selon le filtre utilisé.

Le pyranomètre est utilisé, par exemple, lors de la mesure de rayonnement solaire en serre, évalué en comparaison de la valeur du rayonnement en extérieur pour estimer les pertes d'énergie directe lors de la traversée des toitures. L'unité du rayonnement est le watt par mètre carré (W/m^2).

Il s'agit d'une pile thermoélectrique générant une force électromotrice (fem) à la réception du rayonnement solaire incident. La mesure de cette fem permet de déterminer l'intensité du rayonnement solaire (valeur instantanée en W/m^2). Le montage horizontal illustré ici mesure le rayonnement solaire global horizontal.

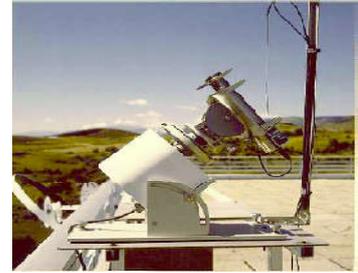


Le pyranomètre à rayonnement diffus

Cet appareil identique au précédent comporte une "bande d'ombre" qui évite la composante directe du rayonnement incident. Ce dispositif permet de mesurer le rayonnement solaire diffus.

Le pyrhéliomètre

Il mesure la composante directe du rayonnement solaire. Il a besoin d'un "suiveur solaire" et d'un collimateur pour maintenir en permanence le disque solaire focalisé et masquer le reste de la voûte céleste. Le capteur est une pile thermoélectrique. Elle mesure le rayonnement solaire direct.



L'héliographe

Cet appareil en réalité ne mesure pas le rayonnement solaire mais la période au cours de laquelle la puissance de ce rayonnement au mètre carré a dépassé un certain seuil (env. 120 à 300 W/m²).

L'extrémité de la fibre optique tourne sur l'axe du soleil. Elle est équipée d'un diaphragme pour minimiser l'influence du rayonnement diffus. A l'autre extrémité se trouve un photodétecteur au silicium précis, compensé en température. Il reçoit des impulsions lumineuses à chaque passage devant le soleil. Le détecteur délivre un signal analogique proportionnel à l'intensité du rayonnement. Lorsque l'intensité dépasse 120 W/m² une impulsion est délivrée.



Albédomètre

