

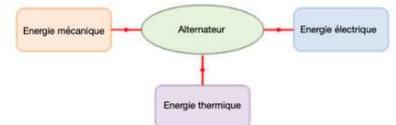
Chapitre 2 : Deux siècle d'énergie électrique

Depuis le XIXème siècle, les besoins énergétiques sont de plus en plus importants pour le développement de nos sociétés. L'énergie électrique est notamment indispensable dans de nombreux secteurs, de l'industrie aux particuliers en passant par les transports. De l'alternateur au panneau photovoltaïque, les progrès de la recherche fondamentales et l'innovation technologique permettent d'envisager la fabrication de générateurs d'énergie électrique de plus en plus performants.

Problématiques : Quelles découvertes ont permis la mise au point de l'alternateur ? Comment la physique quantique est-elle à l'origine des panneaux photovoltaïques ?

I) L'alternateur électrique, un convertisseur d'énergie mécanique (voir activité documentaire 2 et TP2)

Un alternateur est un **convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique**.



Le rendement η d'un alternateur mesure l'efficacité de la **conversion** de l'énergie **mécanique** en énergie **électrique**. Toute l'énergie mécanique n'est pas convertie en énergie électrique : par exemple des pertes sont dues aux frottements ou encore à l'effet joule (sous forme d'énergie thermique). Ces pertes sont faibles, le rendement est donc proche de 1 (ou 100%).

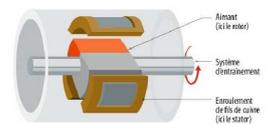
D'après le principe de conservation de l'énergie, on peut écrire : $E_{fournie} = E_{utile} + E_{dissipée}$ ou $P_{fournie} = P_{utile} + P_{dissipée}$

Le rendement de la machine noté η (lettre grecque êta) est alors défini par :

$$\eta = \frac{E_{utile}}{E_{fournie}} = \frac{P_{utile}}{P_{fournie}}$$

Avec E en Joule (J)
 P en Watt (W)
 η sans unité

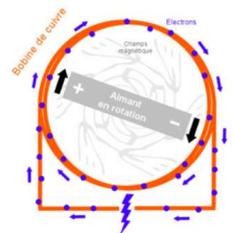
Remarque : La quantité d'énergie convertie par un alternateur dépend de sa vitesse de rotation, de l'intensité du champ magnétique et du nombre de spires (boucles) de la bobine de cuivre.



Un alternateur est constitué principalement d'une partie mobile, le rotor et d'une partie fixe, le stator. Le **rotor est constitué d'un aimant**, source de champ magnétique, et le stator d'une **bobine de fil de cuivre**.

Son fonctionnement est basé sur l'induction électromagnétique découverte expérimentalement par M. Faraday et décrite mathématiquement par J.C Maxwell au XIXème siècle.

Un **aimant en mouvement** par rapport à une bobine crée une **tension électrique par induction électromagnétique**. Un alternateur délivre une tension **alternative et périodique**.



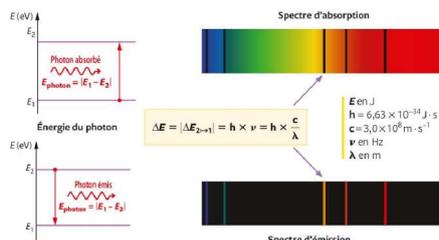
II) Description quantique de l'atome (voir activité documentaire 3)

Au début du XXème siècle, la physique a connu une révolution conceptuelle à travers la vision quantique qui introduit un comportement probabiliste de la nature. Ce nouveau domaine de la physique, appelé mécanique quantique, s'intéresse aux interactions entre la lumière et la matière.

Niels Bohr postule en 1913 qu'un atome ne peut exister que dans des états d'énergie bien définis. On dit que l'énergie des atomes est **quantifiée**. Un atome n'est pas fixé dans un état d'énergie, il peut :

Passer d'un état d'énergie E_1 à un état d'énergie E_2 : **absorption**

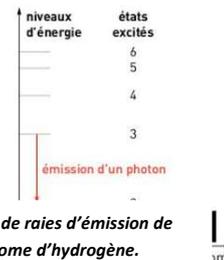
Passer d'un état d'énergie E_2 à un état d'énergie E_1 : **émission**



Grâce à ce modèle, Bohr expliqua la présence des raies dans les spectres d'absorption et d'émission des atomes. Les raies noires sur le spectre d'absorption et les raies « colorées » sur ce celui d'émission correspondent parfaitement.

Remarque : Un atome peut absorber un photon si l'énergie du photon correspond à l'écart entre deux niveaux et il ne peut émettre que des photons d'énergie égale à l'écart entre deux niveaux.

Exemple : L'atome d'hydrogène a gagné de l'énergie et est dans l'état excité 3. Il va libérer cette énergie pour atteindre l'état plus stable d'énergie 2 en émettant un photon de longueur d'onde $\lambda=656$ nm. Cela correspond à une raie rouge sur le spectre d'émission de l'hydrogène.



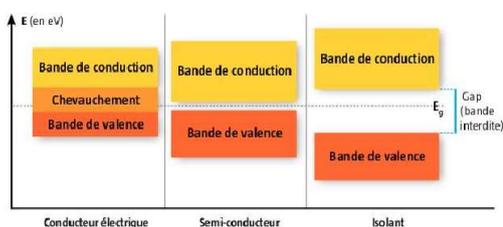
Le modèle quantique de l'atome a été un outil indispensable au développement de l'électronique, en particulier des semi-conducteurs (comme le silicium).

III) De l'atome unique au solide

La répartition des électrons dans un atome se fait de manière discrète (non continue). Mais que se passe-t-il dans un solide ?

Dans un solide, il y a beaucoup d'atomes. Les électrons vont donc subir l'influence de multiples noyaux et vont se réarranger. A cause des interactions qu'ils subissent, leur énergie ne prendra plus des valeurs discrètes bien définies, mais pourra prendre des valeurs contenues dans des intervalles continus, chacun de ces intervalles continus étant séparé des autres par un intervalle « interdit ».

Dans un solide, on ne parle plus de niveau d'énergie, mais de bandes d'énergie (bande de valence et bande de conduction) et de bandes interdites (gap).

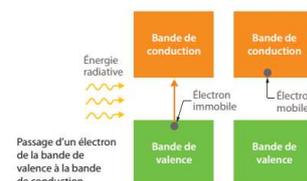


- Si le gap est nul, autrement dit si les bandes de valence et de conduction se « chevauchent », alors les électrons pourront être facilement excités. **Le solide est conducteur.**
- Si le gap n'est pas nul, mais assez petit, alors des électrons pourront être suffisamment excités (gagner une énergie suffisante) pour passer dans la bande de conduction. Isolant au départ, le solide devient alors conducteur. On parlera alors de **semi-conducteur**.
- Si le gap est important, alors aucun électron ne pourra passer dans la bande de conduction. Le solide est **isolant**.

Cas des matériaux semi-conducteurs

Pour qu'un solide semi-conducteur devienne conducteur, il faut que certains électrons de la bande de valence gagnent de l'énergie pour passer le gap et ainsi se retrouver dans la bande de conduction.

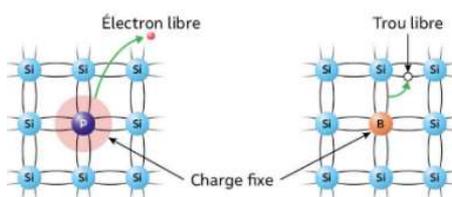
Par exemple, un courant électrique, même faible, pourra exciter suffisamment les électrons pour les faire passer dans la bande de conduction (cas des transistors). La lumière pourra aussi apporter cette énergie aux électrons et rendre le solide conducteur. Les cellules photovoltaïques utilisent ce principe pour transformer la lumière solaire en électricité.



Remarque : Pour rendre un semi-conducteur plus efficace, on peut augmenter sa conductivité, en procédant à un dopage.

Exemple du Silicium (Si), semi-conducteur le plus utilisé :

En ajoutant des atomes, comme le phosphore, ayant un électron de valence supplémentaire, il y a un surplus d'électrons dans la bande de valence : c'est le **dopage de type N** (négatif).

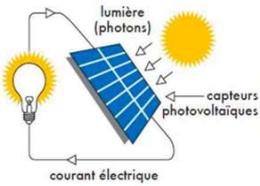


En ajoutant des atomes, comme le bore, possédant un électron de valence en moins, il y a un déficit d'électrons dans la bande de valence : c'est le **dopage de type P** (positif). Ce déficit d'électron, appelé « trous » se comporte comme une charge positive, car il a tendance à attirer un électron pour le combler.

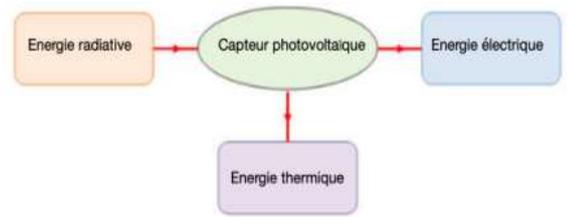
C'est en associant des semi-conducteurs dopés différemment que l'on peut obtenir les propriétés que l'on souhaite. Ainsi, quand deux couches P et N sont mises en contact (jonction PN), les électrons en excès de la couche N vont être diffusés vers la couche P, déficitaire en électrons, et crée un champ électrique. C'est ce type de jonction qui est à la base des **cellules photovoltaïques**.

IV) Le capteur photovoltaïque, un convertisseur d'énergie radiative

(voir activité documentaire 3 et TP3)



Un capteur photovoltaïque est un **convertisseur d'énergie radiative (lumineuse) en énergie électrique.**



1) Le rendement

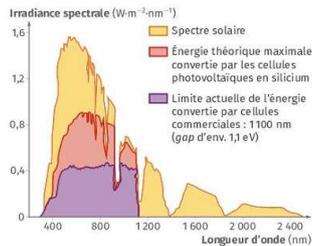
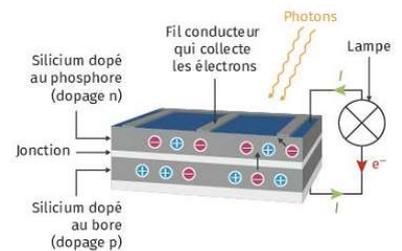
Le rendement de cette conversion est donné par la relation :

$$\eta = \frac{E_{\text{électrique}}}{E_{\text{radiative}}} = \frac{P_{\text{électrique}}}{P_{\text{radiative}}}$$

Avec E en Joule (J)
P en Watt (W)
 η sans unité

En 1883, la première cellule photovoltaïque atteignait un rendement très faible (de l'ordre de 1%) et utilisait de l'or et du sélénium, matériaux coûteux.

Mais des études sur la superposition des semi-conducteurs, sur les techniques de dopage, ont ensuite permis des progrès importants. Ainsi, la conquête spatiale, à partir des années 1950, a trouvé un moyen d'alimenter ses satellites notamment. La plupart des capteurs photovoltaïques sont réalisés à partir du silicium et leur rendement est d'environ 20 à 25%.



Conversion de l'énergie solaire en électricité en fonction de la longueur d'onde.

Une cellule photovoltaïque est un capteur photovoltaïque obtenu en réalisant la jonction de deux semi-conducteurs.

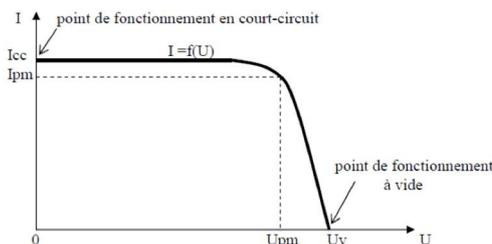
Pour qu'un semi-conducteur soit utilisé dans les capteurs photovoltaïques, il faut que le spectre d'absorption du matériau, limité par l'énergie de la bande interdite, recouvre la plus grande partie possible du spectre solaire (c'est le cas du Silicium) : ainsi les photons provenant du Soleil ont l'énergie nécessaire pour rendre le matériau conducteur.

Le rendement des cellules photovoltaïques reste encore faible. Pour l'augmenter, l'une des techniques consiste à superposer plusieurs couches de semi-conducteurs différents (cellules à multi-jonctions).

Pour aller plus loin : Bien que le silicium est aujourd'hui indispensable aux cellules photovoltaïques et aux batteries, son extraction est à l'origine de problèmes environnementaux, éthiques... La recherche porte aujourd'hui sur des polymères et matériaux organiques susceptibles de remplacer le silicium.

2) Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

En présence de lumière, une cellule photovoltaïque (générateur) reliée à un récepteur (conducteur ohmique) produit un courant d'intensité I et une tension U . Pour un éclairement et une température fixes, si on fait varier la tension entre ses bornes et que l'on relève les intensités correspondantes du courant produit, on peut tracer sa caractéristique $I=f(U)$:



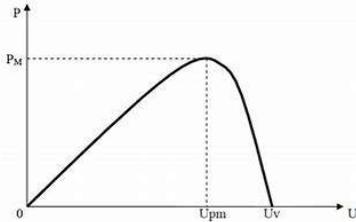
Analyse du graphique :

Pour $U = 0$ V, on détermine l'intensité de court-circuit notée I_{cc} .
Pour $I = 0$ A, on détermine la tension à vide U_v qui correspond à la tension existante entre les bornes de la cellule photovoltaïque lorsqu'elle n'est pas reliée à un récepteur.
On observe que l'intensité délivrée reste stable alors que la tension augmente puis chute rapidement.

Pour déterminer les valeurs optimales d'utilisation, on calcule la puissance électrique :

$$P = U \times I \text{ avec } P \text{ la puissance en W, } U \text{ la tension en V et } I \text{ l'intensité du courant en A}$$

On trace la courbe représentant la puissance en fonction de la tension :

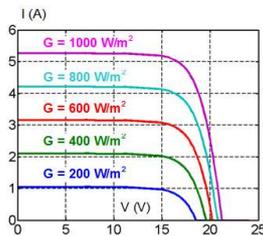


On observe que cette courbe passe par un maximum de puissance P_M pour une valeur de tension U_{pm} . Sur la courbe $I=f(U)$, il est alors possible de déterminer la valeur de l'intensité correspondante I_{pm} .

Pour une optimisation de la cellule photovoltaïque, elle doit être utilisée dans des conditions telles que la puissance qu'elle délivre soit maximale. Il est donc nécessaire de faire un compromis entre la tension et l'intensité. La connaissance de sa caractéristique permet de prévoir la valeur de la résistance du dipôle ohmique qui maximise la puissance électrique qu'elle délivre.

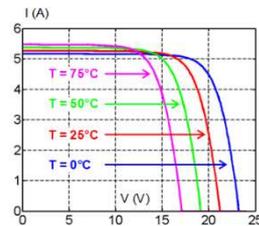
Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque dépend des paramètres suivants :

L'éclairement énergétique



Plus l'éclairement énergétique est important, plus l'intensité du courant produit est importante pour une même valeur de tension. Une cellule photovoltaïque est d'autant plus efficace que l'éclairement qu'elle reçoit est important.

La température



Plus la température est élevée, plus la valeur de la tension à partir de laquelle l'intensité chute est faible. Une cellule photovoltaïque est d'autant plus efficace que la température est faible.

Quelques vidéos utiles :

Bilan



Spectres



Alternateur



Effet photovoltaïque

