

Deux siècles d'énergie électrique

I. Les grandeurs de l'électricité

Le courant est un déplacement de charges électriques. Dans les solides, ces charges sont portées par les électrons.

1. L'intensité du courant électrique : I en ampères (A)

L'intensité du courant électrique correspond au débit de charges électriques en ce point. L'intensité est proportionnelle au nombre d'électrons qui passent en une seconde.

Valeur usuelle en usage domestique : quelques ampères

André-Marie Ampère (1775 – 1836) est un savant français. Il fait d'importantes découvertes dans le domaine de l'électromagnétisme. Il en édifie les fondements théoriques, invente les termes de courant et de tension. Il est aussi l'inventeur de nombreux dispositifs et appareils tels que le solénoïde, le télégraphe électrique et l'électroaimant...

2. La tension électrique : U en volts (V)

La tension entre deux points est la différence des potentiels électriques de ce deux points. On peut la comprendre comme une « différence d'altitude électrique ».

Valeur usuelle en usage domestique : 240 V

Le comte Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745 – 1827) est un physicien et chimiste lombard. Il est connu pour ses travaux sur l'électricité et pour l'invention de la première pile électrique, appelée pile voltaïque : il fit d'abord l'essai avec deux gobelets remplis de saumure dans laquelle trempaient les électrodes, l'une en zinc et l'autre en argent ; puis il remplaça les gobelets par des lamelles de carton imbibées de saumure, interposées entre les rondelles de zinc et d'argent empilées alternativement.

3. La puissance électrique : P en watts (W)

La puissance correspond à la quantité d'énergie absorbée ou fournie par un système en une seconde. Elle peut se calculer par la relation :

$$P = U \times I \quad \text{avec} \quad \begin{cases} P : \text{puissance en watts (W)} \\ U : \text{tension en volts (V)} \\ I : \text{intensité en ampères (A)} \end{cases}$$

James Watt (1736 – 1819) est un ingénieur écossais qui a grandement contribué à la transformation de la machine à vapeur embryonnaire en un moyen de production d'énergie fiable et économique : ses améliorations sur la machine à vapeur furent une des étapes clé dans la révolution industrielle.

4. L'énergie électrique : E en joules (J)

L'énergie est ce qui permet à un système de modifier un état, de produire un mouvement, un rayonnement électromagnétique (lumière, radio...) ou de la chaleur...

On la calcule à partir de la puissance du système et de la durée d'utilisation :

$$E = P \times t \quad \text{avec} \quad \begin{cases} E : \text{énergie en joules (J)} \\ P : \text{puissance en watts (W)} \\ t : \text{durée en secondes (s)} \end{cases}$$

Unités d'énergie :

- l'unité d'énergie du système international est le joule (J).
- le joule est une unité faible pour un usage domestique : on le remplace souvent par le kilowatt.heure (1kWh= 3,6.10⁶ J)
- le joule est important à l'échelle atomique : on peut le remplacer par l'électron-volt (1eV= 1,6.10⁻¹⁹ J)

James Prescott Joule (1818 – 1889) est un physicien anglais. Il a découvert la nature de la chaleur, établi la relation entre le travail mécanique et la chaleur, énoncé la loi de la conservation de l'énergie et a travaillé avec Lord Kelvin pour développer l'échelle absolue de température.

II. Produire de l'électricité

Toutes les sources d'électricité ne sont basées que sur trois principes physiques :

- l'induction électromagnétique qui est à la base de l'alternateur lui-même utilisé dans les centrales nucléaires, les barrages, les éoliennes...
- l'effet photoélectrique utilisé dans les cellules et les panneaux solaires
- les réactions d'oxydoréduction utilisées dans les piles et les batteries

III. L'alternateur, un convertisseur d'énergie mécanique

1. L'induction électromagnétique

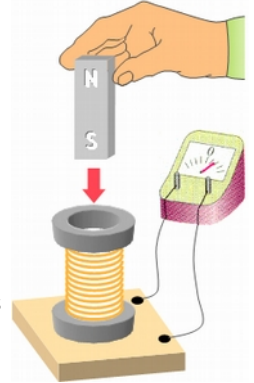
source : maxicours

L'induction électromagnétique est le résultat des influences exercées entre les conducteurs, les courants électriques et les champs magnétiques : lorsqu'on déplace un conducteur dans un champ magnétique, cela induit une tension dans ce conducteur (action génératrice).

Pour augmenter la valeur de la tension induite dans un conducteur on enroule le fil conducteur soumis au champ magnétique sous forme de bobine.

De même, on peut remplacer l'aimant par un électroaimant pour que le champ magnétique soit plus grand.

L'induction magnétique est à la base des alternateurs mais aussi des microphones, des plaques à induction... C'est le principe inverse qui est utilisé dans les moteurs.

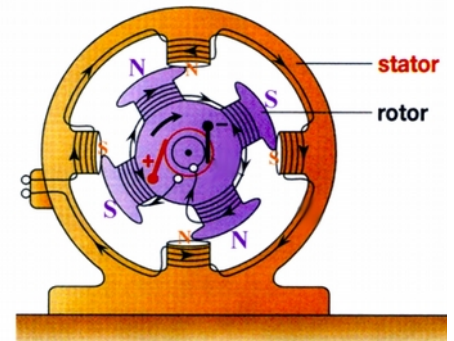


2. L'alternateur : constitution

Un alternateur est un dispositif qui produit un courant alternatif lorsqu'il est mis en rotation. Un alternateur est toujours constitué de deux éléments essentiels :

- une bobine fixe : le stator
- une source de champ magnétique rotative (aimant ou un électroaimant) : le rotor

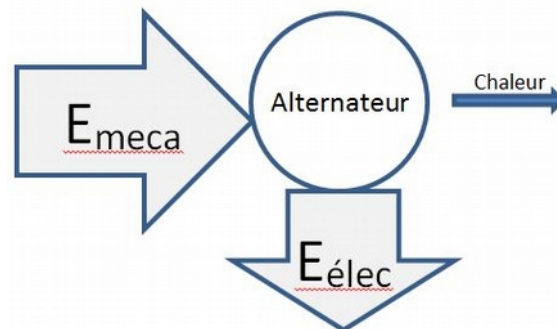
Ce sont les bornes de la bobine fixe qui fournissent une tension alternative lorsque l'aimant ou l'électroaimant tourne.



3. Alternateur = Convertisseur d'énergie

L'alternateur est un convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique. Il produit aussi de la chaleur (énergie thermique) qui représentent les pertes de la conversion.

Cette conversion d'énergie se réalise avec un rendement très proche de 1 (pertes très faibles).



Le rendement de cette conversion est donnée par les relations :

$$\eta = \frac{E_{elec}}{E_{meca}} = \frac{\text{Énergie électrique délivrée par l'alternateur}}{\text{Énergie mécanique fournie à l'alternateur}} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{P_{elec}}{P_{meca}} = \frac{\text{Puissance délivrée par l'alternateur}}{\text{Puissance mécanique fournie à l'alternateur}}$$

Le rendement η est sans unité. Les deux énergies ou les deux puissances doivent être exprimées dans les mêmes unités.

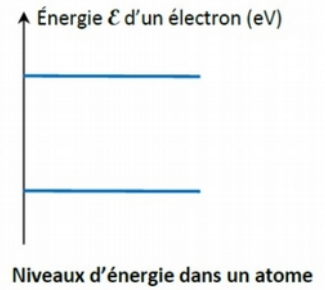
IV. Le capteur photovoltaïque, un convertisseur d'énergie radiative

Les capteurs photovoltaïques, fabriqués en matériaux semi-conducteurs, comme le silicium, absorbent l'énergie radiative et la convertissent en partie en énergie électrique. Pour comprendre leur fonctionnement, il faut étudier le cœur de la matière.

1. Description quantique de l'atome

Découverte au début du 20^e siècle, la physique quantique explique le comportement des particules et en particulier des électrons.

L'énergie d'un électron est quantifiée : elle ne peut prendre que des valeurs précises appelées niveaux d'énergie : voir schéma ci-contre



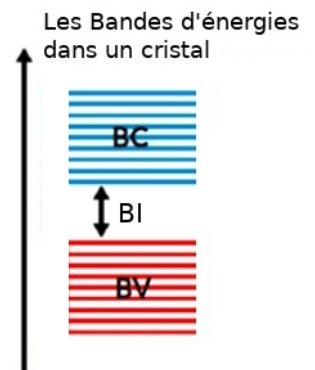
2. bande de valence (BV) et la bande de conduction (BC)

Dans un solide, la proximité des atomes induisent un décalage des niveaux d'énergie des atomes qui le constituent : ceci forme des bandes d'énergie.

Deux bandes sont très importantes pour la conduction :

- la bande de valence (BV) contient les électrons périphériques lorsqu'ils sont au repos.
- la bande de conduction (BC) est la première bande dans laquelle les électrons ne sont plus attachés à leur noyau : un électron dans cette bande peut s'éloigner de son atome et participer alors à un courant électrique.

Entre ces deux bandes, il existe une zone d'énergie dans laquelle les électrons ne peuvent pas se trouver appelée bande interdite (BI).



3. Excitation des électrons

Si on apporte suffisamment d'énergie à un électron de valence en le chauffant ou en l'éclairant avec une lumière suffisamment énergétique, il peut franchir la bande interdite et passer dans la bande de conduction. On parle d'un « gap » d'énergie (E_g).

On peut calculer la longueur d'onde (la couleur) des photons nécessaires grâce à la formule (à ne pas apprendre):

$$\lambda = \frac{h \times c}{\Delta E} \text{ avec } \begin{cases} \lambda : \text{longueur d'onde du photon (m)} \\ h : \text{constante de Planck } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ c : \text{célérité de la lumière } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s} \\ \Delta E : \text{Énergie de la bande interdite (J)} \end{cases}$$

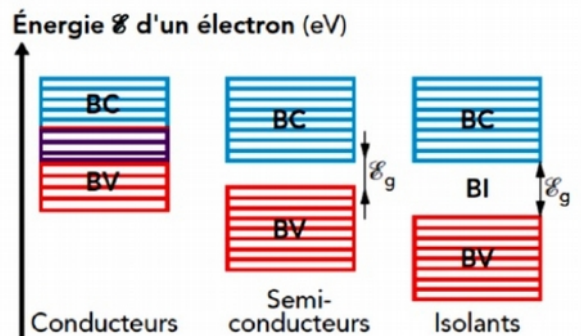
Plus la longueur d'onde est faible, plus l'énergie de la lumière est importante.

La longueur d'onde de la lumière visible est compris entre 400 nm et 800 nm, c'est le spectre visible.

4. Matériau conducteur, isolant, semi-conducteur

La largeur de la bande interdite BI va donner les propriétés électriques du matériau :

- matériau conducteur : BI n'existe pas (il y a chevauchement des bandes BV et BC), les électrons sont directement dans la bande de conduction : ils peuvent passer d'un atome du cristal à l'autre ;
- matériau semi-conducteur : BI est faible, (E_g de l'ordre de 1 eV) l'excitation thermique va permettre si elle est un peu forte de faire passer des électrons de BV à BI : la conductivité du matériau dépend de la température
- matériau isolant : BI est très large, (E_g de l'ordre de 6 eV) les électrons même excités par l'excitation thermique ne vont pas pouvoir passer de la bande de valence à la bande de conduction



5. Cellule solaire

a. convertisseur E. lumineuse > E. électrique

Une cellule solaire convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique ainsi qu'en chaleur.

b. Dopage P-N

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs. Lorsque les photons lumineux frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, les photons arrachent des électrons à ses atomes (ils franchissent la bande interdite).

Pour qu'il y ait un courant électrique, on doit associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Un courant continu se crée aux bornes de la cellule.

En assemblant plusieurs cellules, on forme des panneaux solaires.

c. Rendement

Le rendement d'une cellule est assez faible (environ 15 %). De plus, la position des panneaux n'est souvent pas optimisée et toute l'énergie lumineuse n'est pas captée ce qui réduit encore le rendement global.

Le rendement de cette conversion est donnée par la relation :

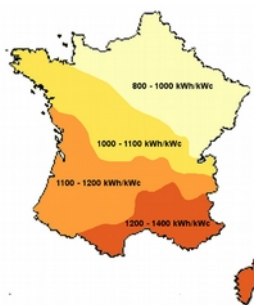
$$\eta = \frac{E_{\text{électrique}} (J)}{E_{\text{lumineuse}} (J)} = \frac{P_{\text{électrique}} (W)}{P_{\text{lumineuse}} (W)}$$

Les capteurs photovoltaïques nécessitent des semi-conducteurs à large spectre d'absorption afin d'absorber un maximum d'énergie radiative du Soleil et ainsi augmenter le rendement de conversion.

d. Puissance d'un panneau solaire

La puissance délivrée par un panneau solaire dépend :

- du rendement des cellules variable en fonction des cellules (réseau monocristallin, polycristallin...)
- de la puissance lumineuse reçue variable en fonction de la latitude (figure de gauche)
- de l'inclinaison et de l'orientation des panneaux (figure de droite)



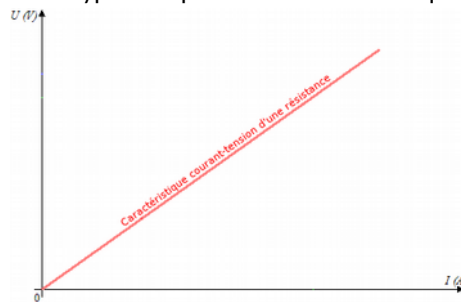
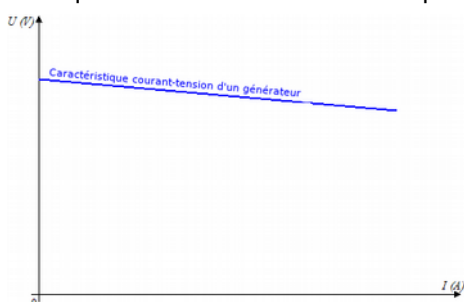
INCLINAISON ORIENTATION	0°	30°	60°	90°
EST	0,93	0,90	0,78	0,55
SUD-EST	0,93	0,96	0,88	0,66
SUD	0,93	1,00	0,91	0,68
SUD-OUEST	0,93	0,96	0,88	0,66
OUEST	0,93	0,90	0,78	0,55



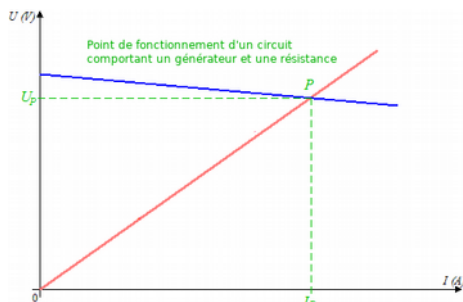
V. caractéristique intensité-tension d'une cellule solaire

1. généralité

La caractéristique intensité-tension d'un dipôle est la courbe représentative de la tension aux bornes du dipôle en fonction de l'intensité du courant qui le traverse. Cette caractéristique varie selon le type de dipôle et ses caractéristiques :

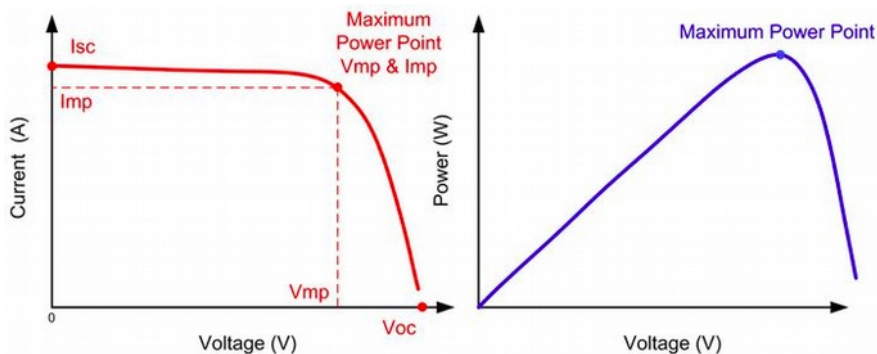


Si on crée un circuit composé d'un générateur et d'une résistance en série, la tension et l'intensité dans le circuit prennent la valeur donnée à l'intersection des deux courbes, c'est le point de fonctionnement :

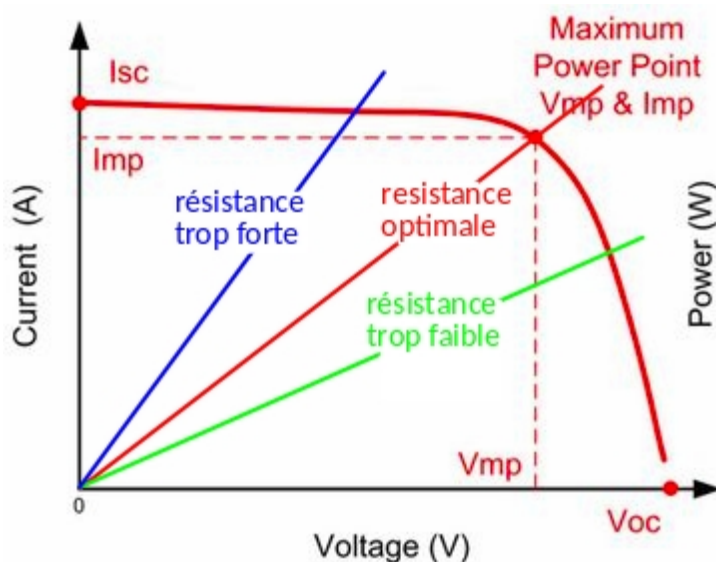


2. Caractéristique intensité-tension d'une cellule solaire

La caractéristique courant-tension (courbe rouge) d'une cellule solaire n'est pas rectiligne. Cette « cassure » implique de la puissance délivrée (courbe bleue) est maximale pour une certaine tension.



Pour bénéficier d'une puissance maximale, il faut que la résistance du circuit associé soit optimisée pour que le point de fonctionnement du circuit passe par le point de puissance maximale :



VI. Histoire de l'électricité : quelques dates

Sources : [superprof \(dates importantes\)](#) - [la main à la pâte \(explicatif\)](#) - [EDF\(très visuel\)](#)

ANTIQUITÉ : Découverte du magnétisme : certaines pierres et en particulier celles en provenance de la ville de magnésie ont la propriété d'attirer le fer.

~ -600 : Découverte de l'électricité statique attribuée à Thales de Milet. Celui observe que l'ambre jaune (elektron en grec) est capable d'attirer de petit objet après avoir été frottée.

17^e siècle

1600 : William Gilbert publie « De magnete » dans laquelle il compare la Terre à un aimant dont les pôles magnétiques coïncideraient avec les pôles géographiques.

1660 : Otto von Guericke invente une machine pour produire de l'électricité avec une boule de soufre frottée par rotation : il constate des étincelles qu'il rapproche des éclairs.

18^e siècle

1729 : Distinction des matériaux conducteurs et isolants par Stephen Gray qui fait l'hypothèse que l'électricité est un fluide.

1733 : Distinction des électricités positives et négatives (vitreuses et résineuses) par Charles-François de Cisternay du Fay. Chaque type d'électricité attire l'autre mais repousse celle de même nature.

1751 : Découverte de la nature électrique des éclairs par Benjamin Franklin

1785 : Formulation de la loi de Coulomb qui décrit la force électrique s'exerçant entre deux corps chargés.

19^e siècle

1800 : Invention de la pile : le savant italien Alessandro Volta met au point un dispositif chimique capable de produire de l'électricité. Celui-ci est constitué d'un empilement (d'où le nom de pile) de disques de cuivre et de zinc séparés par du tissu imbibé d'eau salée.

1820 : Expérience d'Oersted : le physicien danois Christian Oersted montre qu'il existe un lien entre électricité et magnétisme en se basant sur l'influence que possède la circulation d'un courant électrique sur une aiguille aimantée.

1820 : Invention du solénoïde par André Marie Ampère : un enroulement de fil électrique, aussi appelé solénoïde, se comporte comme un aimant droit lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

1827 : Formulation de la loi d'Ohm par Georg Simon Ohm : la tension aux bornes d'un conducteur est proportionnel à sa résistance électrique et à l'intensité du courant électrique qui le parcourt.

1831 : Découverte de l'induction électromagnétique par Michael Faraday et Joseph Henry. Un champ magnétique variable donne naissance à un courant électrique.

1831 : Michael Faraday invente la dynamo, un générateur électrique fonctionnant grâce à l'induction.

1831 : Invention du moteur électrique par Joseph Henry

1865 : James Clerk Maxwell établit les équations qui portent son nom (les équations de Maxwell). Celles-ci décrivent les champs magnétiques et électriques ainsi que leur propagation.

1885 : L'ingénieur américain William Stanley invente le transformateur électrique. Celui-ci permet d'élever ou d'abaisser une tension continue ou alternative.

1887 : Le physicien allemand Heinrich Rudolph Hertz découvre l'effet photoélectrique : des électrons sont libérés par des atomes exposés à des ondes électromagnétiques.