

## Fiche

Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, les avancées de la recherche, à travers la découverte de l'induction électromagnétique ou les théories de l'électromagnétisme, ont permis la conception d'alternateurs électriques. Ceux-ci sont performants et ont un impact écologique moindre. Le changement de siècle a amené une physique nouvelle : la physique quantique. Les chercheurs ont ainsi mis au point des centrales nucléaires, mais également les cellules photovoltaïques constituées de silicium (un matériau semi-conducteur), qui transforment le rayonnement solaire en énergie électrique.

### L'induction électromagnétique de Faraday et Maxwell

En 1820, Ørsted découvre qu'un fil transportant du courant est capable de faire bouger l'aiguille d'une boussole : il montre ainsi qu'il peut y avoir interaction entre l'électricité et le magnétisme. Plusieurs physiciens se demandent alors si, inversement, le magnétisme peut créer des effets électriques. L'année suivante, Faraday réussit à inverser l'expérience d'Ørsted : il fait tourner un câble parcouru par un courant électrique autour d'un aimant. C'est l'invention du moteur électrique. En continuant ses expériences pendant de nombreuses années, Faraday découvre l'induction électromagnétique.

L'**induction électromagnétique** est le phénomène correspondant à l'apparition d'un courant électrique (appelé *courant induit*) dans une bobine, grâce à un champ magnétique produit par un aimant ou un électro-aimant. Lorsque le champ magnétique se déplace, les électrons libres du fil vont bouger : ce mouvement d'électrons est, par définition, le **courant électrique**. Pour obtenir un courant électrique, il y a donc deux possibilités :

- déplacer le champ magnétique au voisinage de la bobine ;
- déplacer la bobine au voisinage du champ magnétique.

Sans déplacement de l'un par rapport à l'autre, il ne peut pas y avoir de courant. Plus la vitesse de déplacement du champ magnétique par rapport à la bobine est grande, plus les électrons du fil métallique sont perturbés, et plus le courant électrique est important. Plus le champ magnétique est intense, plus l'intensité du courant sera importante. De même, plus la bobine comporte de tours, plus l'intensité du courant est importante. Ce phénomène d'induction électromagnétique est à la base du fonctionnement de la plupart des convertisseurs d'énergie électrique, comme l'alternateur.

Maxwell théorise les travaux de Faraday et d'autres scientifiques en proposant un ensemble d'équations qu'il présente à la Royal Society en 1864. Elles décrivent le champ électrique et le champ magnétique ainsi que leurs interactions avec la matière.

### Le principe de l'alternateur électrique

Un **alternateur** est un dispositif qui permet d'obtenir du courant électrique en utilisant le phénomène d'induction électromagnétique. C'est donc un dispositif qui permet de produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique.

**Plus de 95 % de l'énergie électrique est produite par des alternateurs** : ce sont des machines avec un rendement élevé.

L'alternateur est constitué de deux parties : le rotor qui est la partie tournante, et le stator qui est la partie fixe. Le **rotor**, qui sera appelé *inducteur*, est la partie associée au mouvement : c'est souvent l'aimant. Le **stator**, qui sera appelé *induit*, est constitué d'un enroulement de fil dans lequel apparaît le courant électrique. Le nom d'alternateur vient du fait qu'il fournit un courant électrique alternatif. En effet, les électrons vont dans un sens puis dans l'autre, selon les pôles de l'aimant qu'ils ont devant eux.

Si l'on observe le schéma d'alternateur ci-contre, on constate que le rotor est l'aimant, avec un pôle Nord et un pôle Sud. Grâce au mouvement, chaque pôle passe alternativement devant les bobines constituant le stator. Lorsqu'un pôle est devant une bobine, l'autre pôle ne l'est pas. Le passage de chaque pôle devant une bobine induit un courant électrique. Comme il y a alternance entre pôle Nord et pôle Sud, il y aura un courant électrique alternativement dans un sens, puis dans l'autre : c'est le courant alternatif.

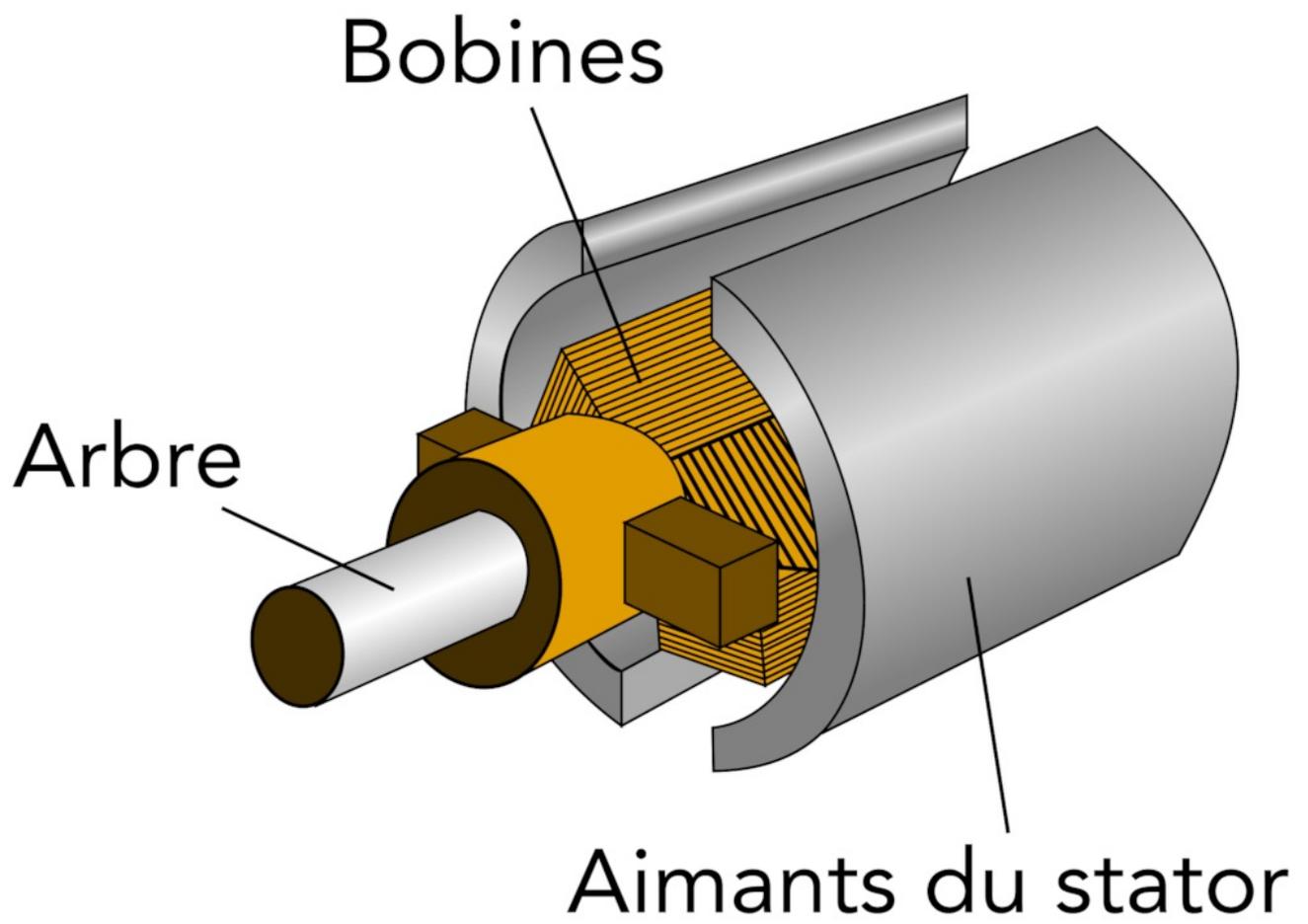


Figure 1. Exemple d'alternateur.

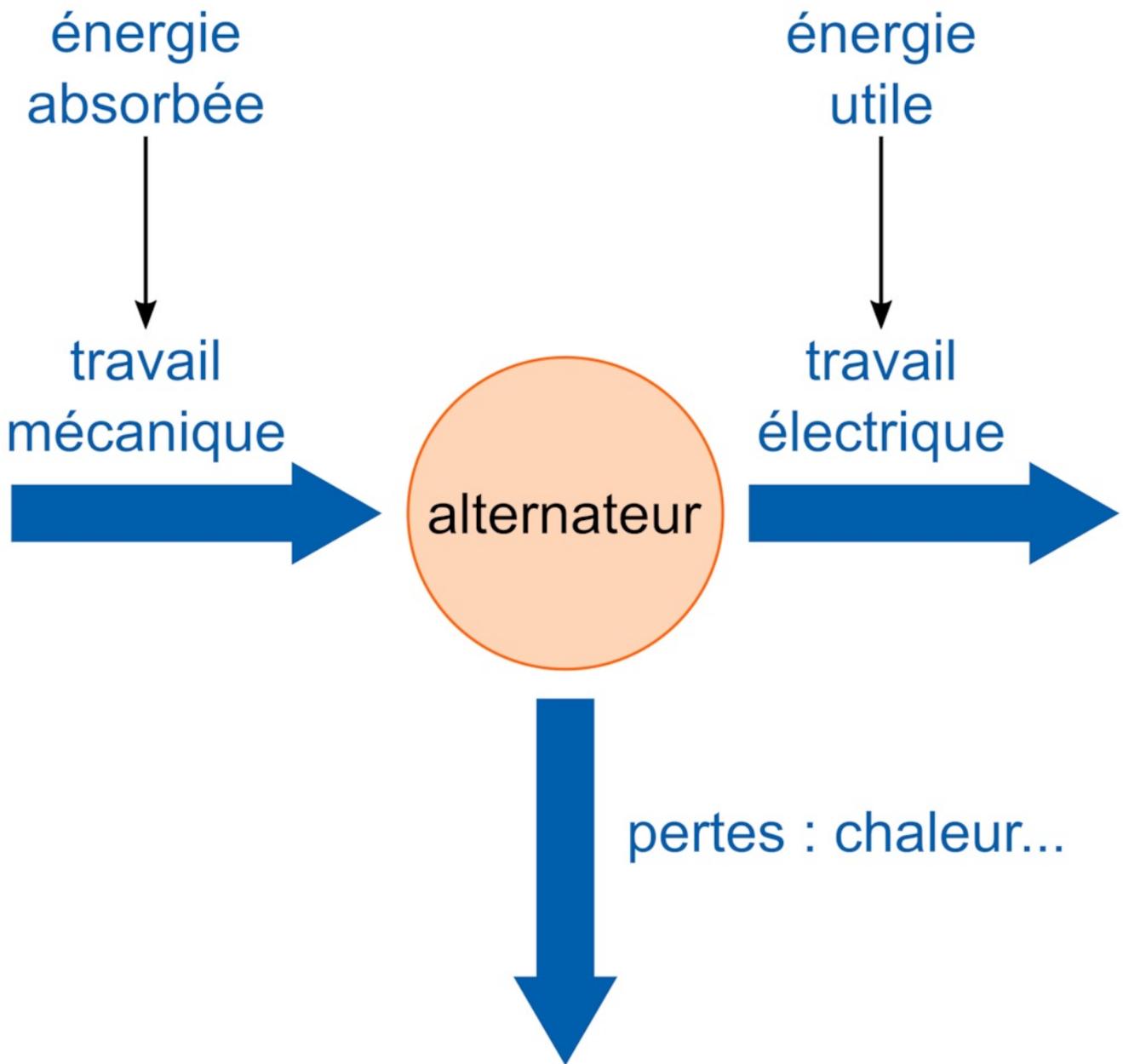


Figure 2. Bilan énergétique d'un alternateur.

On observe une perte (de chaleur, par exemple) pour tous les appareils traversés par un courant électrique. Par définition, le **rendement** de l'alternateur est donné par le rapport entre l'énergie utile (ou puissance utile) et l'énergie absorbée (ou puissance absorbée), où les énergies sont exprimées en joules (J), et les puissances en watt (W) :

$$\eta = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Energie absorbee}}$$

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance absorbee}}$$

Le rendement dépend de la vitesse de rotation et de la charge utilisée, c'est-à-dire du courant débité. Actuellement, le rendement est proche de 1. En effet, la courbe du rendement en fonction de la puissance utile montre des rendements compris entre 96,1 % et 97,2 %.

### La physique de Einstein

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les scientifiques remarquent qu'un métal éclairé avec une lumière ultraviolette peut émettre des électrons. Comme Max Planck postule que l'énergie ne peut s'échanger que par paquets, Einstein en arrive à la conclusion, en 1905, que la lumière est constituée de petits « grains » (ultérieurement baptisés *photons*) porteurs d'un quantum d'énergie.

En 1913, ces théories permettent à Bohr d'imaginer un nouveau modèle de l'atome. L'atome ne peut exister que dans certains états d'énergie, caractérisés par des niveaux d'énergie bien identifiés. Un photon de longueur d'onde  $\lambda$  est émis lorsque l'atome effectue une transition entre deux niveaux d'énergie, de  $E_2$  à  $E_1$ . L'atome change de niveau d'énergie par à-coup.

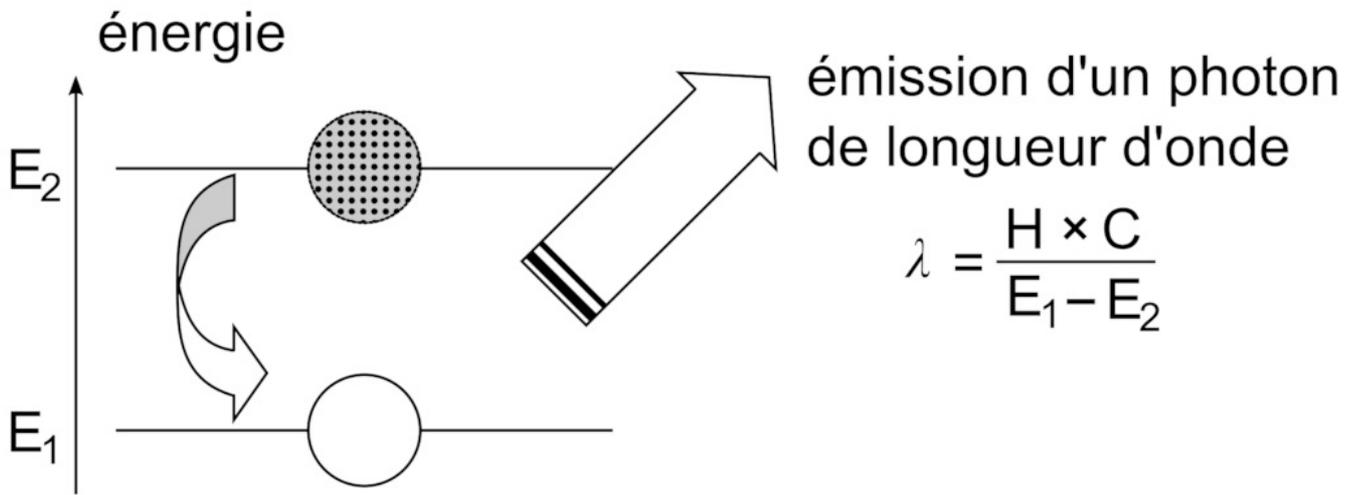


Figure 3. Niveaux d'énergie et émission d'un photon.

En bref, l'atome se désexcite. Lorsqu'un atome passe d'un niveau d'énergie élevé à un niveau d'énergie plus faible, il perd de l'énergie qu'il émet sous forme de rayonnement. Chaque rayonnement émis ne peut avoir qu'une valeur très précise de longueur d'onde, qui dépend de la différence d'énergie entre les deux niveaux. On a ainsi un spectre de raies, où chaque raie correspond à une transition entre deux niveaux d'énergie. Comme ces niveaux sont différents d'un atome à l'autre, chaque spectre de raies est caractéristique de l'atome considéré.

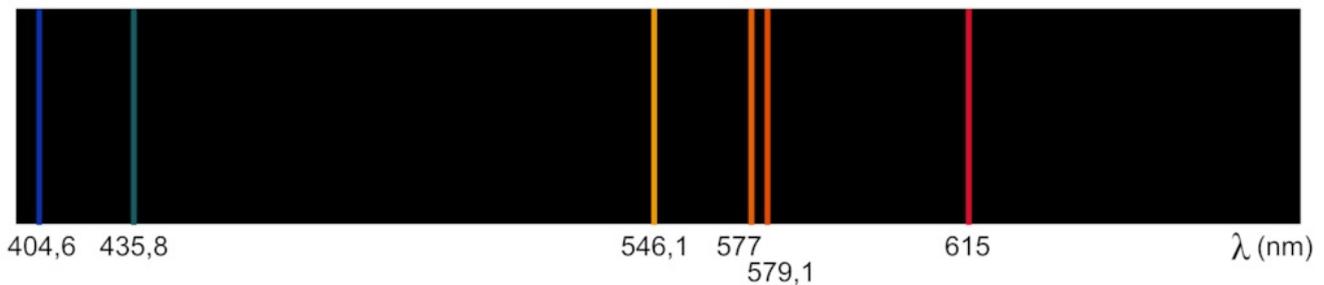


Figure 4. Spectre d'émission du mercure.

### Application aux cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques exploitent les photons d'Einstein. L'énergie solaire, qui est un flux de photons, peut arracher et déplacer les électrons d'un matériau exposé. Le mouvement des électrons qui en résulte correspond au courant électrique. Cet effet photovoltaïque est découvert en 1839 par Becquerel, mais il faut attendre les années 1960 pour que les cellules trouvent de réelles applications. Le matériau choisi pour les cellules photovoltaïques est un semi-conducteur comme le silicium. En effet, le spectre d'absorption des semi-conducteurs est proche du spectre solaire. Leurs propriétés sont également à la base de l'électronique et de l'informatique actuelles.

La cellule photovoltaïque ne délivre pas un courant constant en fonction de la tension à ses bornes. Ainsi, on peut voir trois zones (figure 5) : la zone 1, où le courant varie peu quelle que soit la tension ; la zone 2, où le courant diminue lorsque la tension augmente ; la zone 3, où la tension varie peu quelle que soit l'intensité.

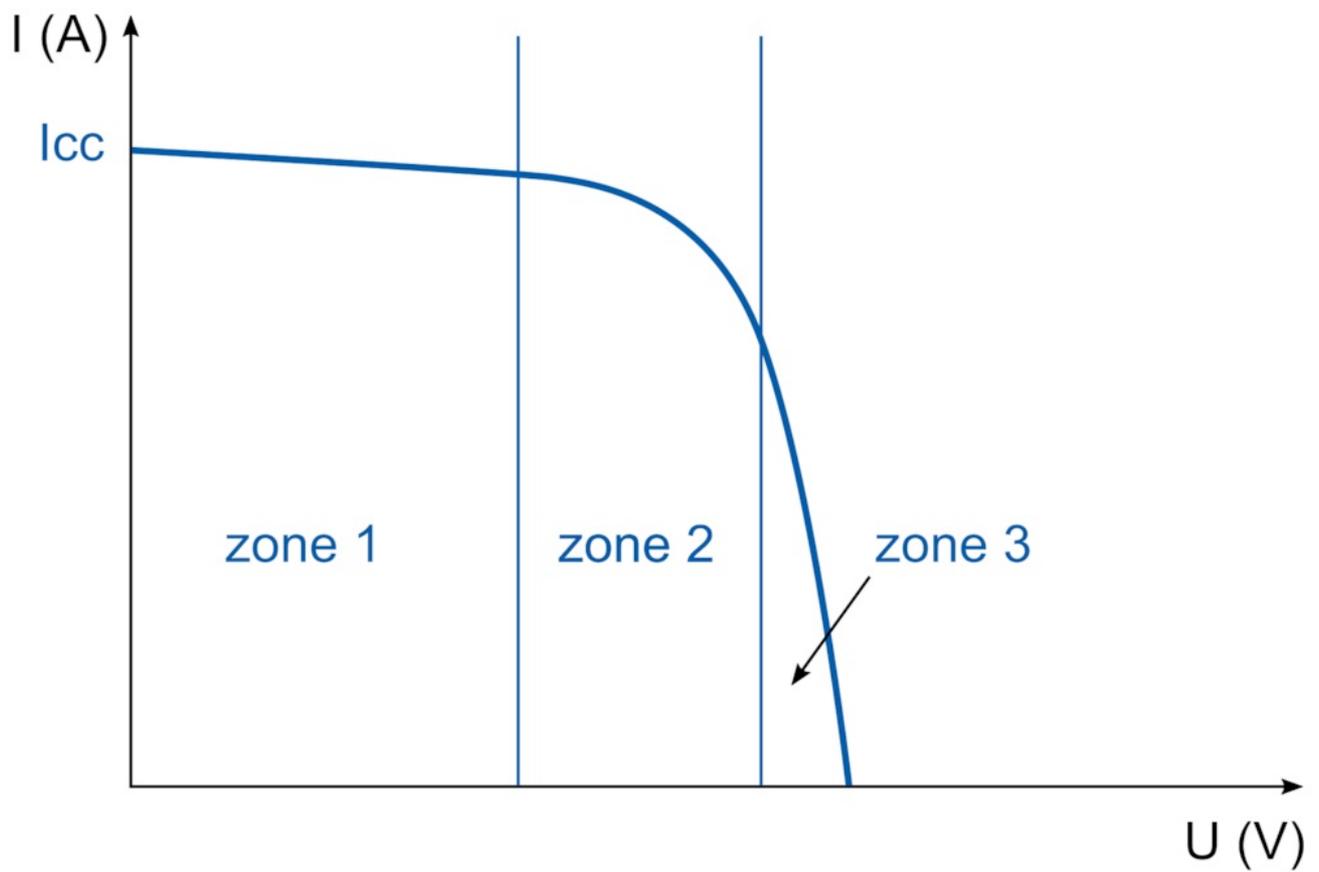


Figure 5. Caractéristique intensité-tension.

On peut aussi tracer la caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque (figure 6). On note ainsi que la puissance maximale se trouve pour une tension et une intensité de la zone 2 de la courbe intensité-tension. Ainsi, on pourra déduire la résistance d'utilisation en ( $R = \frac{U_m}{I_m}$  en  $\Omega$ ) en rendant la puissance électrique maximale. La puissance est donnée par  $P = U \times I$ ; son unité est le watt (W).

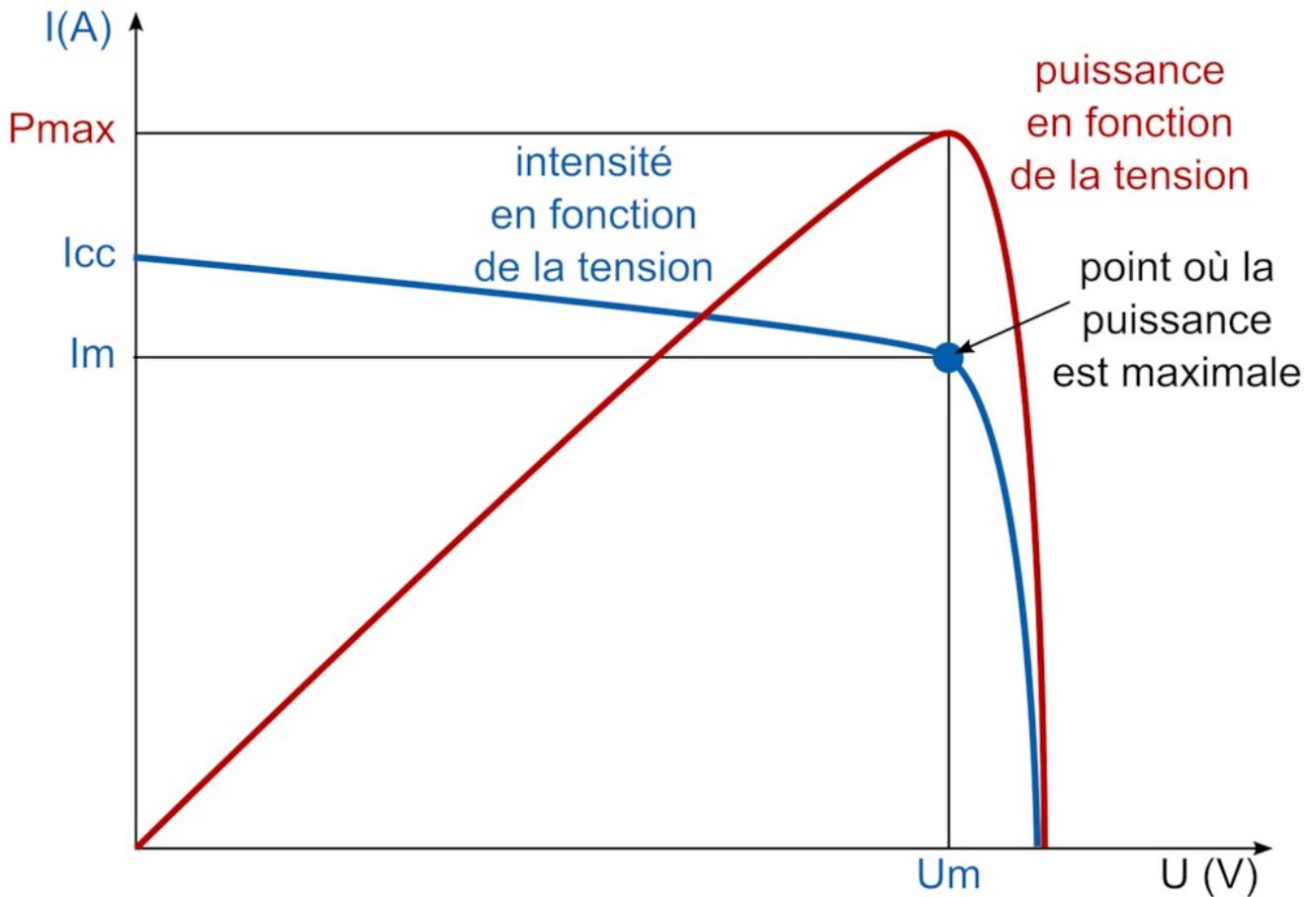


Figure 6. Caractéristique puissance-tension.

### Zoom sur...

#### Les matériaux semi-conducteurs

Les matériaux semi-conducteurs comme le carbone, le silicium, le germanium, l'étain ou le plomb ont la particularité d'avoir des propriétés électriques qui sont à la fois celles des isolants et celles des conducteurs. On peut prédire leur comportement électrique en agissant sur les conditions telles que la température, le rayonnement lumineux ou le magnétisme.

Pour faire varier les propriétés électriques des matériaux semi-conducteurs, on pratique le dopage, qui consiste à introduire des atomes différents dans la structure cristalline. Les atomes insérés d'un côté (comme le phosphore) ont un nombre d'électrons plus grand que celui du silicium ; les atomes insérés de l'autre côté (comme le bore) ont un nombre d'électrons plus petit que celui du silicium . On retrouve ainsi la configuration d'une pile : d'un côté, la borne négative avec un surplus d'électrons ; de l'autre, la borne positive avec un déficit d'électrons. Ces deux bornes sont reliées à un récepteur. Dès que la lumière arrive sur les panneaux, les électrons se mettent en mouvement et constituent ainsi le courant électrique. L'avantage de cette technologie est qu'elle est inépuisable : tant qu'il y a de la lumière, les électrons circulent et alimentent le récepteur. Cependant, l'inconvénient des panneaux solaires actuels est leur rendement. Seule une petite partie de la lumière est convertie en courant électrique, le reste est converti en chaleur. Les recherches scientifiques sont donc axées sur l'obtention de meilleures cellules photovoltaïques.

### Notions-clés

**Induction électromagnétique** : phénomène d'apparition d'un courant électrique dans un circuit s'il est soumis à un champ magnétique variable ; ou à l'inverse, phénomène d'apparition d'un champ magnétique autour d'un circuit s'il est soumis à un courant électrique variable.

**Stator** : partie fixe dans un moteur électrique ; le plus souvent, la partie circuit électrique.

**Rotor** : partie en mouvement dans un moteur électrique ; le plus souvent, la partie aimant.

**Matériau semi-conducteur** : matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais aussi celles d'un conducteur puisqu'il a des électrons libres.

**Cellule photovoltaïque** : cellule capable de convertir l'énergie solaire en courant électrique ; elle est constituée de matériaux semi-conducteurs.

