

4 Le capteur photovoltaïque

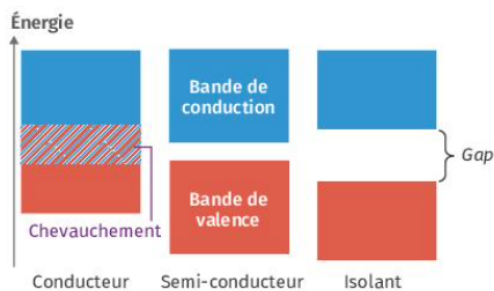
En dix ans, la capacité mondiale de production d'énergie électrique à partir de l'énergie solaire a été multipliée par 25. Elle représente environ 4 % de la production mondiale d'énergie en 2019 et devrait atteindre 8 % en 2023.

→ Quel est le principe de fonctionnement d'un capteur photovoltaïque ?

Ce que j'ai déjà vu

- Spectre d'émission et d'absorption
- Structure électronique de l'atome

Doc. 1 Conducteur, isolant et semi-conducteur



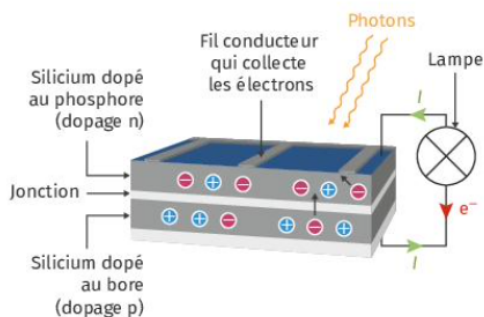
Un matériau conducteur est constitué d'atomes dont les électrons périphériques peuvent passer librement d'un niveau d'énergie de valence vers un niveau d'énergie de conduction et ainsi permettre le passage du courant électrique. Dans un matériau isolant, la différence d'énergie entre les deux niveaux d'énergie (appelée *gap*) est trop importante : le courant électrique ne peut s'établir. Dans un matériau semi-conducteur, le *gap* est suffisamment faible pour qu'un apport d'énergie, par des photons par exemple, permette le passage des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction. Le matériau passe ainsi d'un état isolant vers un état conducteur.



Visionnez une introduction à la théorie des bandes.

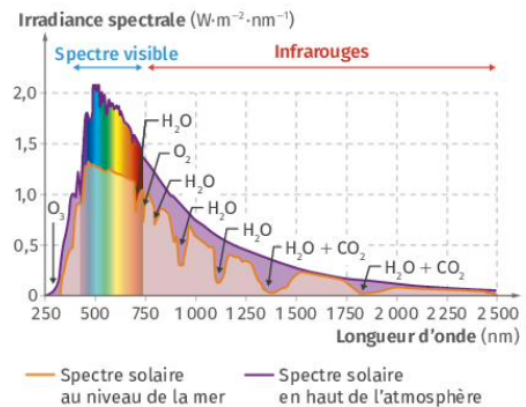
[LLS.fr/ESTbandes](https://lls.fr/ESTbandes)

Doc. 2 Cellule photovoltaïque à simple jonction



Un semi-conducteur à simple jonction est constitué de deux couches de silicium. L'une contient un excédent de charges négatives obtenu par ajout d'un autre élément riche en électrons (couche dopée n), l'autre un excédent de charges positives obtenu par ajout d'un élément déficitaire en électrons (couche dopée p). Ces deux couches agissent comme les deux pôles d'une pile. Lorsque les rayons du Soleil atteignent la couche n, ils fournissent l'énergie nécessaire aux électrons pour passer dans les fils conducteurs situés à la surface et circuler dans le circuit électrique extérieur.

Doc. 3 Spectre solaire



Les molécules de l'atmosphère absorbent une partie du rayonnement solaire. Le graphique ci-dessus montre l'allure du profil spectral du Soleil en haut de l'atmosphère et au niveau de la mer. Selon la position sur Terre, l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement solaire n'est pas la même.

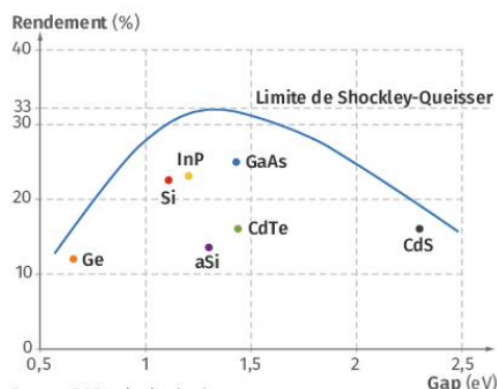


Retrouvez plus d'informations sur

[LLS.fr/ESTspectresolaire](https://lls.fr/ESTspectresolaire)

Doc. 4 Limite de Shockley-Queisser

William Shockley et Hans-Joachim Queisser ont calculé que le rendement maximum théorique d'une cellule photovoltaïque à simple jonction en silicium est de 33 %. En effet, l'énergie des photons du rayonnement solaire varie entre 0,5 et 2,9 eV. Or, près de la moitié des photons reçus ont une énergie supérieure à la valeur du *gap* (1,1 eV pour le silicium) et leur énergie est convertie en énergie thermique et non en énergie électrique. De plus, un peu moins de 20 % des photons ont une énergie trop faible et ne sont pas absorbés par la cellule. À l'heure actuelle, les meilleures cellules photovoltaïques ont un rendement qui se situe entre 20 et 25 %.



Gap et rendement de semi-conducteurs (InP : phosphore d'indium, Si : silicium cristallin, GaAs arsénium de gallium, Ge : germanium, aSi : silicium amorphe, CdTe : tellurure de cadmium, CdS : sulfure de cadmium).

Numérique

Découvrez le fonctionnement d'un semi-conducteur en vidéo. [LLS.fr/ESTsemiconducteur](https://lls.fr/ESTsemiconducteur)

Doc. 6 Coût de certains semi-conducteurs comparé au coût du silicium

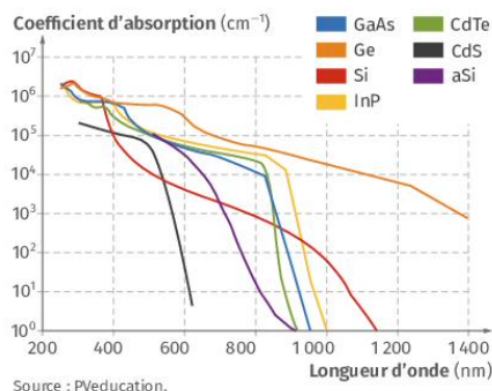
Semi-conducteur	Si	Ge	InP	GaAs
Comparaison par rapport au silicium	1	× 4	× 8	× 10

Vocabulaire

Électronvolt (eV) : unité d'énergie souvent utilisée pour étudier les phénomènes d'interaction entre la matière et le rayonnement ou encore en physique des particules. $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.
Capteur photovoltaïque : appareil convertissant l'énergie radiative en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont des capteurs photovoltaïques.

Doc. 5 Spectre d'absorption de semi-conducteurs

La capacité d'absorber le rayonnement solaire dépend de la nature du semi-conducteur. Le graphique ci-dessous présente la capacité d'absorption de sept différents semi-conducteurs en fonction de la longueur d'onde du rayonnement perçu.



Coefficient d'absorption de semi-conducteurs en fonction de la longueur d'onde.

Questions

- Doc. 1 et 2** Dans une cellule photovoltaïque, d'où provient l'énergie nécessaire aux électrons des semi-conducteurs pour franchir le *gap* ?
- Doc. 2** À l'intérieur d'une cellule à simple jonction, dans quel sens circulent les électrons ?
- Doc. 4** Un bon semi-conducteur pour des panneaux photovoltaïques doit avoir une énergie de *gap* ni trop basse ni trop élevée. Le meilleur compromis est obtenu en choisissant des semi-conducteurs ayant un *gap* compris entre 1 et 1,7 eV. Identifier les semi-conducteurs qui répondent le mieux à ces critères.
- Doc. 5** Identifier le semi-conducteur qui possède la plus large bande d'absorption. Pourquoi n'est-il pas utilisé à la place du silicium pour fabriquer la plupart des cellules photovoltaïques à simple jonction ?
- Doc. 3** Identifier la partie du spectre solaire absorbée par les semi-conducteurs.
- L'une des possibilités explorées pour augmenter le rendement des cellules photovoltaïques est la cellule multi-jonctions, un empilement de deux ou trois semi-conducteurs différents. Une cellule multi-jonctions est constituée de trois couches. La couche supérieure contient les semi-conducteurs InP et Ga, la seconde InP et GaAs et la dernière Ge. Expliquer l'intérêt de ce choix de semi-conducteur.

1. Dans une cellule photovoltaïque, l'énergie nécessaire aux électrons des semi-conducteurs pour franchir le « gap » provient de l'énergie rayonnante (ou radiative ou lumineuse).
2. Dans une cellule à simple jonction, les électrons circulent de la couche dopée P (chargée positivement vers la couche dopée N chargée négativement) grâce à l'énergie lumineuse. Naturellement, les électrons circulent de la couche N vers la couche P **à l'extérieur de la cellule** dans le circuit électrique, provoquant le courant électrique.
3. Les semi-conducteurs répondant à ces critères (rendement de + de 20% et énergie gap entre 1 et 1,7 eV) sont les suivants :
 - Phosphure d'indium (InP)
 - Silicium cristallin (Si)
 - Arséniure de gallium (GaAs)
4. Le semi-conducteur possédant la plus large bande d'absorption est le germanium. Il est moins utilisé que le silicium car c'est un mauvais semi-conducteur (gap < 1 eV) avec un mauvais rendement. De plus il coûte 4 fois plus cher que le Silicium.
5. La partie du spectre solaire absorbée par les semi-conducteurs est l'ensemble de la lumière visible et une partie du spectre des rayonnements infrarouges.
6. InP et GaAs sont des semi-conducteurs possédant un bon gap (entre 1 et 1,7 eV) et un bon rendement, malgré leur coût élevé. Il serait intéressant de les placer **au-dessus** du panneau photovoltaïque. La couche de Germanium a un mauvais rendement mais permet de récupérer l'énergie solaire dont la longueur d'onde se situe au-delà de 800 nm dans le domaine infrarouge. On pourrait donc la placer **en dessous** du panneau photovoltaïque.