

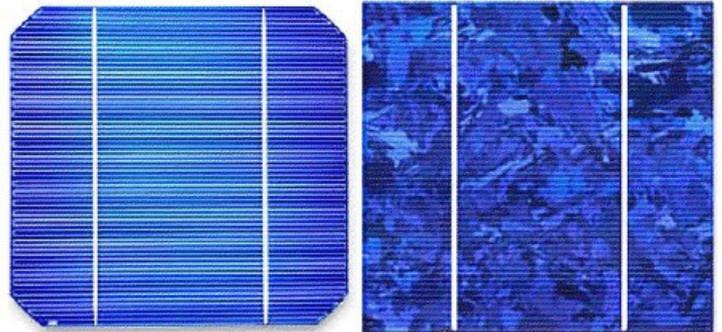
LES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

Situation de départ

(s'approprier) 

Une entreprise japonaise a conçu des cellules photovoltaïques au rendement énergétique amélioré. Elle espère poursuivre dans cette voie et ainsi permettre de commercialiser des panneaux solaires moins chers et encore plus efficaces.

Alors que l'énergie photovoltaïque est devenue, en 2016, moins chère que les combustibles fossiles dans une trentaine de pays du monde, une équipe d'ingénieurs de la Kaneka Corporation, un producteur japonais, a conçu des panneaux solaires plus performants que les modèles les plus répandus.



En dépassant le record précédent d'un rendement de 25,6 %, les scientifiques ont réalisé des cellules photovoltaïques — qui constituent les panneaux solaires — avec 26,3 % de rendement énergétique. Même s'il s'agit d'une hausse de performance minime sur le papier, il s'agit d'une grande avancée sachant que le plafond théorique de rendement maximal d'un panneau solaire s'élève à 29 %.

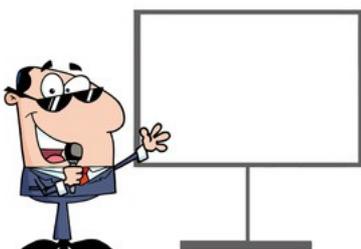
Source : <http://www.numerama.com/sciences/>



Problème

(analyser, réaliser, valider, communiquer) 

A l'aide de vos connaissances, des documents suivants, des réponses à l'étude préliminaire et du matériel disponible, déterminer le rendement de la cellule photovoltaïque mise à votre disposition.



L'ensemble de votre démarche et de vos résultats seront détaillés dans un **compte rendu numérique** de votre choix dont la forme devra être exploitable lors d'une **présentation orale**.

Etude préliminaire

(s'approprier, analyser)



1. Quel type de matériau est à la base des cellules photovoltaïques ?
2. Réaliser le bilan énergétique d'une cellule photovoltaïque.
3. En déduire l'expression du rendement de conversion d'une cellule photovoltaïque.

Documents

(s'approprier)



Doc.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Les matériaux semi-conducteurs constituent le cœur des cellules photovoltaïques. Leurs atomes possèdent des électrons présentant des niveaux d'énergie discrets bien définis (selon la théorie des bandes). Ils sont alors sur leur bande de valence. Cependant, l'arrivée de photons peut changer la donne.

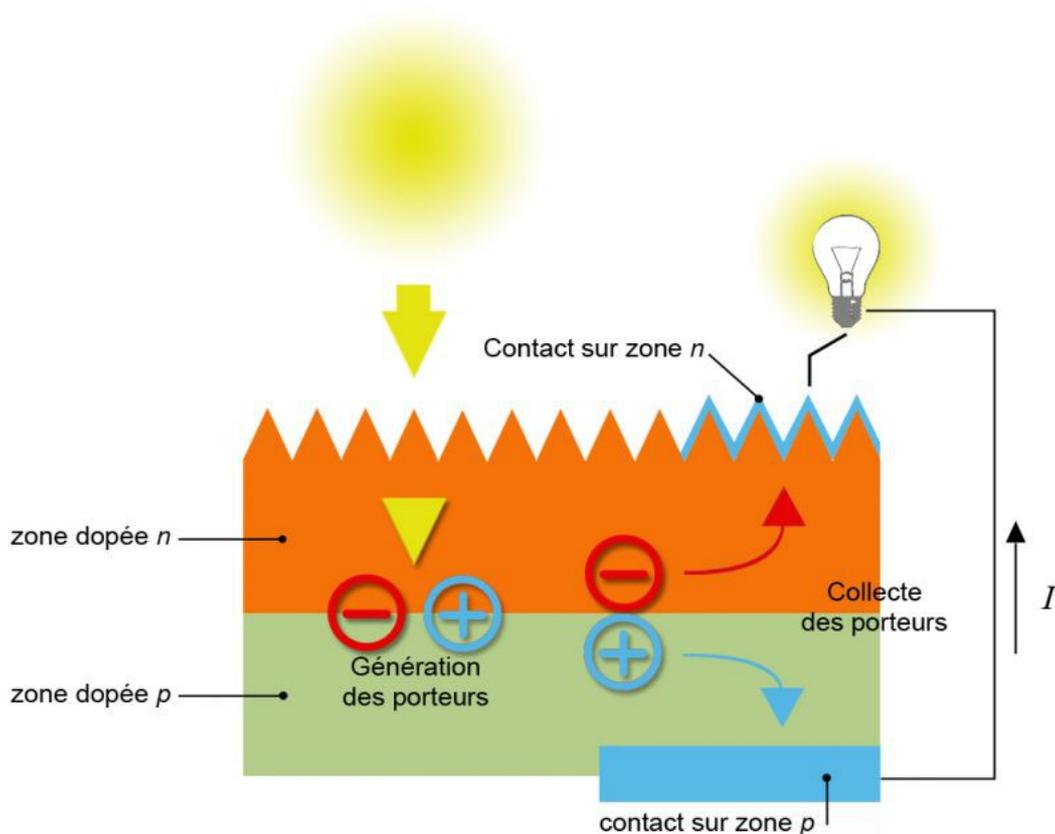
Lors de collisions avec les atomes, les photons peuvent transférer leur énergie aux électrons, au point de les exciter et ainsi de les forcer à quitter leur bande de valence pour rejoindre la bande de conduction (ce qui est possible grâce à la faible épaisseur de la bande interdite). Ils peuvent alors se déplacer dans la matière, tout en laissant un « trou » derrière eux. Pour rappel, les électrons sont chargés négativement. Les trous ont donc une charge positive.

Cette première étape est importante, mais elle ne suffit pas pour générer le courant souhaité. Il faut parvenir à séparer les trous des électrons pour éviter leur recombinaison.

La meilleure solution pour séparer les charges consiste à utiliser un champ électrique qui doit, pour bien faire, apparaître spontanément durant la fabrication des cellules. C'est pourquoi le fonctionnement même des cellules photovoltaïques repose sur l'utilisation de jonctions p-n.

Les cellules photovoltaïques au silicium cristallin, les plus vendues dans le monde, se composent en réalité d'un semi-conducteur dont les parties supérieures et inférieures sont dopées différemment. Elles se distinguent par le nombre de charges négatives qu'elles possèdent. La première est dite « dopée de type n » (pour négatif), car elle renferme un surplus d'électrons par rapport au matériau non dopé, tout en restant neutre électriquement. La seconde est quant à elle « dopée de type p » (pour positif), car elle affiche un déficit en électrons.

Lorsque les deux couches sont mises en contact, les électrons en excès de la partie n diffusent spontanément vers la région déficitaire. Les couches n et p deviennent alors respectivement positive et négative. Il se crée donc un champ électrique qui tend à repousser les électrons excités par les photons vers la couche n, et les trous vers la couche p, où des collecteurs se chargent de les récolter. On peut ainsi mesurer une différence de potentiel entre les deux structures. Si la cellule est illuminée et que l'on ferme le circuit en raccordant ses deux bornes à un réseau électrique ou sur un appareil, un courant électrique est fourni par la cellule.

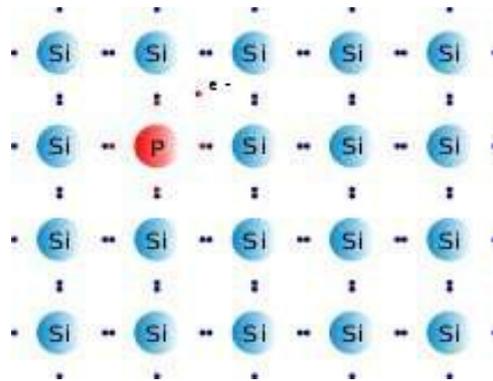


En interagissant avec les atomes du semi-conducteur, les photons provoquent la formation d'une paire électron-trou. Les charges sont séparées grâce à la jonction p-n qui se crée lorsque l'on met en contact deux couches de semi-conducteurs dopés différemment. © CEA

L'efficacité du système repose donc sur la facilité avec laquelle le semi-conducteur peut donner des électrons, ainsi que sur le dopage des différentes couches qui améliore la conductivité des charges. Concrètement, en quoi consiste ce dopage ?

Les atomes de silicium (Si) possèdent quatre électrons de valence. Cet élément est donc classé dans la colonne IVA du tableau de Mendeleïev. Tous ces électrons de valence établissent des relations avec les atomes voisins au sein du matériau. Il n'y a donc pas d'électron à donner pour la réalisation de la jonction p-n.

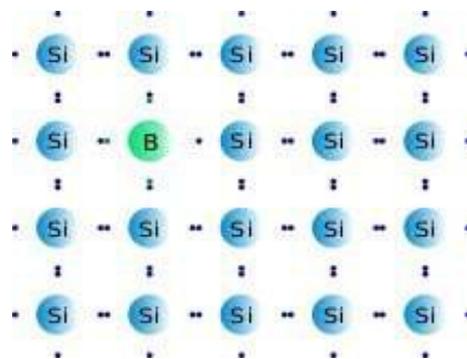
Pour résoudre ce problème, des chercheurs ont eu l'idée de remplacer des atomes de Si par des atomes possédant cinq électrons périphériques, comme les atomes de phosphore, d'arsenic ou d'antimoine (colonne VA du tableau de Mendeleïev). Quatre d'entre eux se lient aux atomes de silicium voisins, tandis que l'agitation thermique suffit pour faire monter le cinquième électron sur sa bande de conduction, d'où il peut alors répondre à l'existence de la jonction p-n.



Organisation atomique d'un semi-conducteur, ici du silicium (Si) dopé n. Un atome de Si a été remplacé par un atome de phosphore (en rouge). L'un des électrons du phosphore (e-) ne peut pas établir de liaison avec un atome voisin. Il peut donc facilement se déplacer.

© Guillom, Wikimedia Commons, cc by sa 3.0

Le dopage de la couche p fonctionne selon le même principe, si ce n'est qu'un atome de silicium est remplacé par un atome possédant trois électrons de valence, comme l'atome de bore (colonne III dans le tableau de Mendeleïev). Des trous apparaissent donc spontanément dans le semi-conducteur dopé p, puisque le nouvel arrivant ne se lie qu'à trois atomes de Si, et non quatre. Cette couche possède donc des sites de liaison qui restent vacants jusqu'à l'arrivée des charges négatives de la couche n.

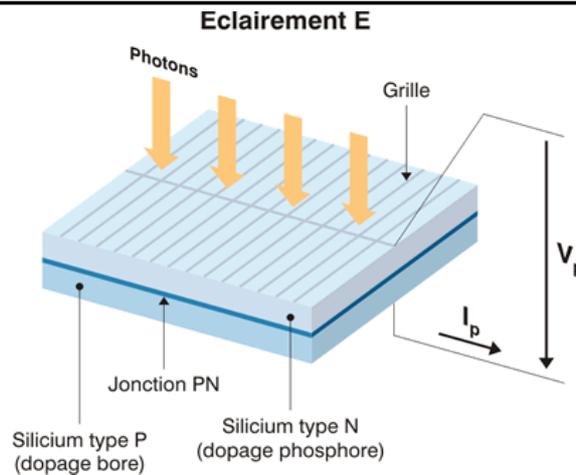


Organisation atomique d'un semi-conducteur, ici du silicium dopé p. Un atome de bore, qui ne possède que trois électrons, a remplacé un atome de silicium. L'un des électrons de l'atome de silicium situé à droite du bore (en vert) ne peut donc pas établir de liaison.

© Guillom, Wikimedia Commons, cc by sa 3.0

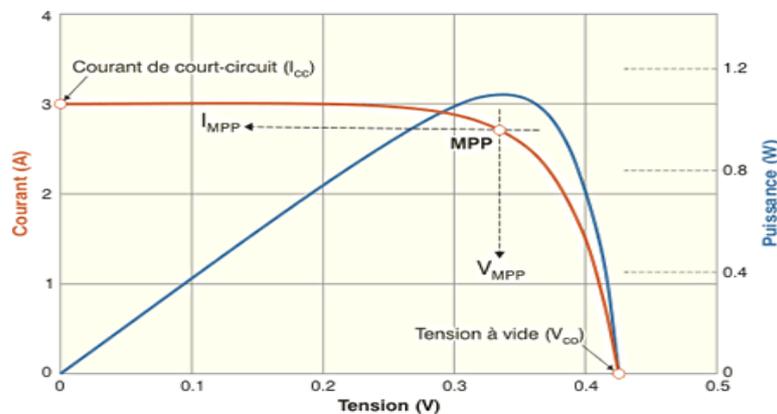
Source : <http://www.futura-sciences.com/>

Doc.2 : Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque



Sous un éclairage donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe :

- Sa tension à vide : V_{co} . Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.
- Son courant court-circuit : I_{cc} . Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.
- Son point de puissance maximal: MPP (en anglais : maximal power point) obtenu pour une tension et un courant optimaux : V_{opt} , I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp} , I_{mpp}).



Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit ces caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont : émission lumineuse de $1\,000\text{ W/m}^2$, température de 25 °C , conditions spectrales Air Mass 1.5 (composition du spectre identique au spectre solaire lorsqu'il traverse une épaisseur et demie d'atmosphère, ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale).

Source : <https://www.energieplus-lesite>

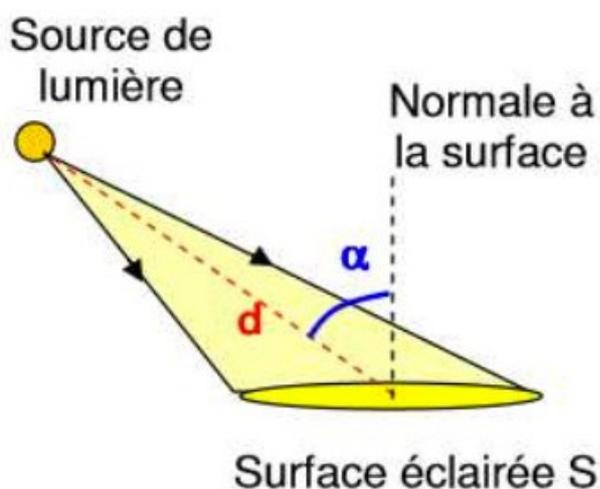
Doc.3 : Eclairage énergétique

L'éclairage énergétique (ou irradiance) est un terme radiométrique qui quantifie la puissance d'un rayonnement électromagnétique frappant par unité de surface perpendiculaire à sa direction.

Dans le Système international d'unités, il s'exprime en watts par mètre carré ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

Il dépend de la distance entre la source et la surface éclairée, et de l'angle α entre la direction principale d'émission et la normale à la surface éclairée.

Il se mesure avec un solarimètre.



Doc.4 : Matériel disponible

- 2 multimètres
- Fils de connexion
- Cellule photovoltaïque
- Conducteur ohmique à résistance variable
- Lampe de bureau
- Solarimètre
- Ordinateur avec logiciel tableur-grapheur