

Le solaire à hétérojonction

Ou comment capter le plus de photons possibles pour collecter un maximum d'électrons

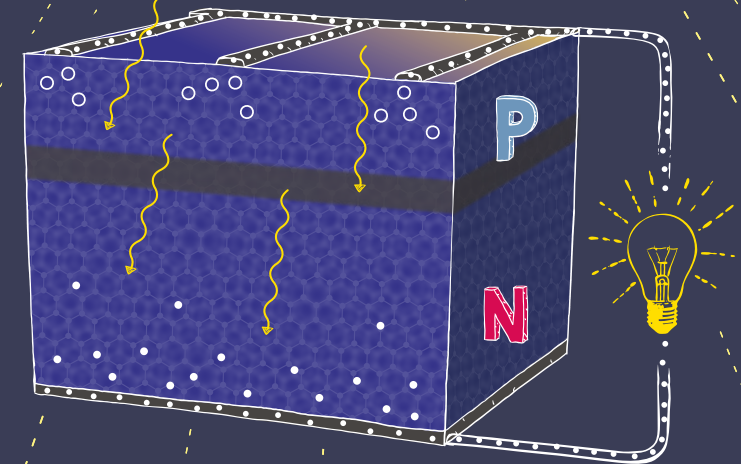
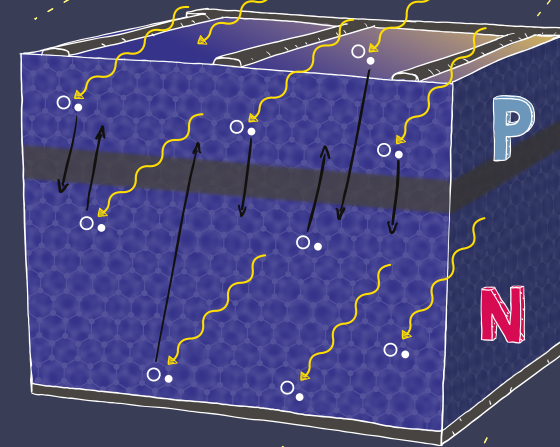
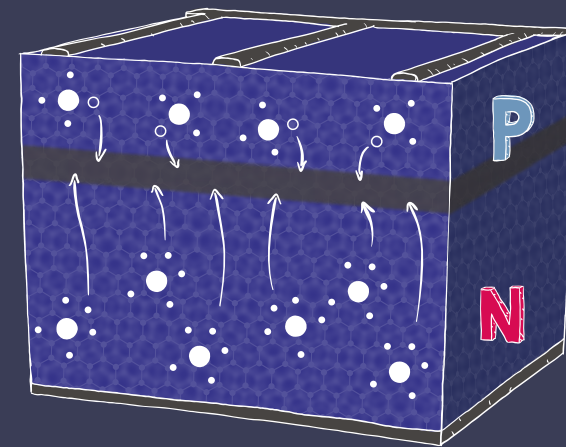
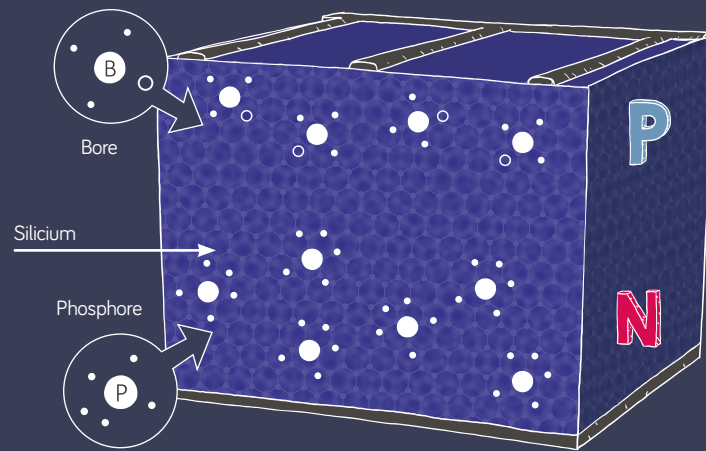
LE PRINCIPE DU PHOTOVOLTAÏQUE

Des électrons en excédent et en déficit...

...créent une jonction et un champ électrique ...

... pour collecter les électrons excités par la lumière...

... contraints de circuler à l'extérieur en générant un courant photovoltaïque



Dans une cellule de silicium monocristallin, une zone est **dopée** avec du phosphore : son atome possédant cinq électrons externes, contre quatre pour un atome de silicium, il reste donc un électron excédentaire mobile (charge électrique négative N). Une seconde zone est dopée avec du bore dont les atomes comptent trois électrons externes, soit un de moins que les atomes de silicium : il y a donc un électron en déficit appelé « trou » (charge positive P).

Lorsque les zones N et P sont en contact, les électrons et les trous diffusent spontanément en direction les uns des autres. Cela crée une zone où ils se recombinaient (et donc s'annihilent) ainsi qu'un champ électrique : c'est la jonction qui possède une différence de potentiel électrique entre les zones N et P.

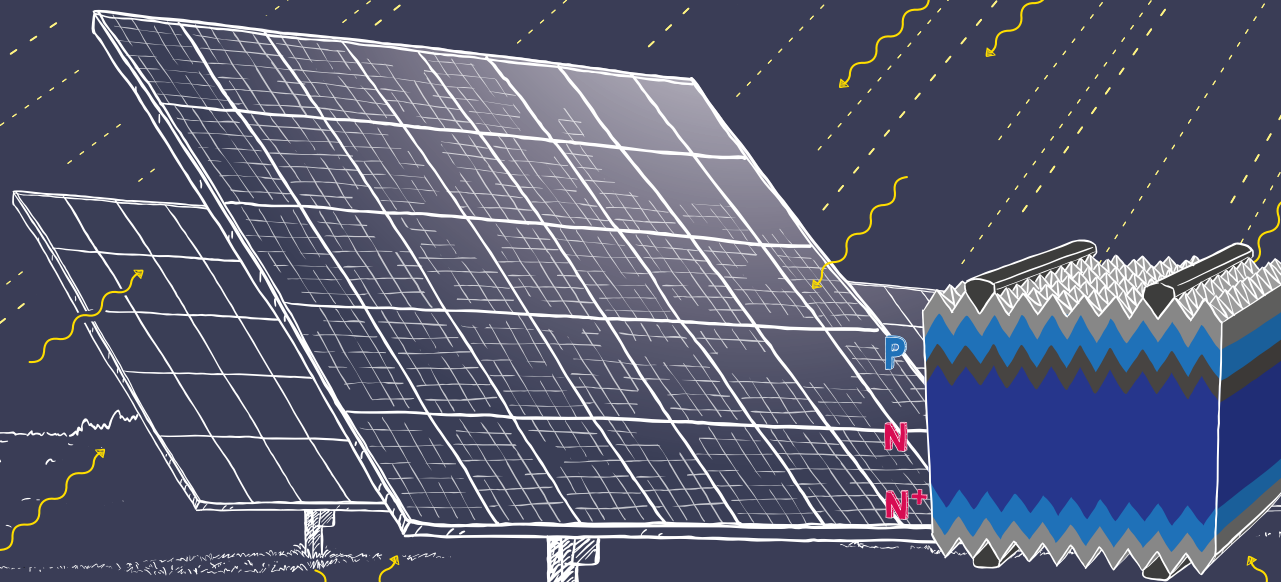
Les photons du Soleil transmettent leur énergie aux électrons du silicium qui sont arrachés des atomes, laissant des trous. Ces « paires électron-trou » ont une durée de vie limitée car elles se recombinent dans le volume du silicium ou en surface. Mais, la plupart d'entre elles sont séparées par le champ électrique de la jonction qui collecte les électrons générés dans la zone P et les trous générés dans la zone N.

Les électrons mobiles, cherchant à se recombiner avec les trous, sont attirés par les zones de collecte de part et d'autre de la cellule (comme les bornes électriques d'une diode). En circulant dans ce circuit extérieur, ils génèrent un courant électrique continu.

Cristallin
Arrangement régulier et ordonné des atomes.

Dopage
Ajout d'impuretés à un matériau, par exemple des atomes de configuration électronique différente.

Amorphe
Arrangement irrégulier des atomes.



LA TECHNOLOGIE HÉTÉROJONCTION

1/ Définition

L'hétérojonction désigne la mise en contact de matériaux différents (silicium monocristallin et silicium **amorphe**) contrairement à l'homojonction qui repose sur un seul matériau (silicium monocristallin).

2/ Un design innovant pour des rendements élevés

L'ajout de couches (P et N⁺) de silicium amorphe (une dizaine de nanomètres), de part et d'autre du silicium monocristallin (N), favorise l'attraction des électrons vers les zones de collecte. Ces couches sont elles-mêmes recouvertes d'oxyde transparent conducteur qui permet le transport latéral des électrons et améliore le confinement optique des photons.

Les surfaces actives de la cellule sont texturées : des pyramides micrométriques permettent de piéger les photons, qui rebondissent sur leurs faces, pour en capter jusqu'à deux fois plus qu'avec une surface plane.

3 / Trois avantages principaux

- Bi-facial** / La face arrière de la cellule étant également active, une partie des rayons du soleil réfléchis par le sol peut être captée. Cela représente jusqu'à 30 % de lumière en plus, soit un gain de rendement de conversion de l'énergie lumineuse en électricité de 10 %.
- Tenue en température** / Toutes les cellules solaires voient leur rendement baisser à mesure que la température du dispositif augmente (exposition au Soleil). Avec l'hétérojonction, le coefficient thermique des cellules est bien meilleur.
- Un moindre impact économique et écologique** / Du fait de rendements de conversion élevés, l'hétérojonction permet d'utiliser moins de matière (cellule, modules, structures de montage). De même, ses procédés de fabrication ont un moindre impact environnemental.

TOUT
S'EXPLIQUE



Aperçu de la chaîne pilote préindustrielle du CEA qui a produit, entre 2016 et 2018, plus de 150 000 cellules solaires à hétérojonction par an.

Les nouveaux records de l'hétérojonction

Alors que les cellules photovoltaïques du marché ont un rendement de conversion de 19 à 20 %, la technologie hétérojonction permettra d'atteindre très prochainement 25 %, tel qu'estimé par les meilleurs laboratoires mondiaux. Parmi eux, le CEA-Liten vient de démontrer avec l'industriel helvète Meyer Burger de nouveaux records pour l'hétérojonction : un rendement de 23,9 % sur la globalité de la surface d'une cellule de taille standard (244 cm²), ainsi qu'une puissance nominale de 348 W mesurée sur

120 demi-cellules, contre 320 W avec une autre technologie (PERC). Ces résultats ont été obtenus dans des conditions certifiées comparables à celles de l'exploitation industrielle. En effet, les cellules testées (de type busbars) ont été développées et fabriquées (à raison de 2 400 par heure) sur la chaîne pilote préindustrielle du CEA, installée à l'Institut national de l'énergie solaire (Ines). Elles ont ensuite été assemblées en modules avec les équipements industriels de Meyer Burger.

Une technologie du CEA très attractive

La technologie hétérojonction du CEA est très attractive. D'une part, ses performances techniques sont parmi les meilleures en terme de rendements, tension, coefficient thermique et durée de vie. D'autre part, elle repose sur des processus de fabrication compétitifs : réduction du nombre d'étapes de 13 (technologie

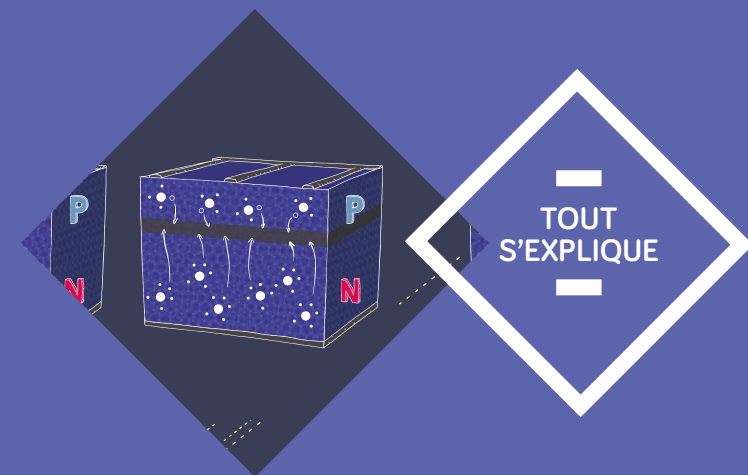
PERC) à 7 ; cadences de production très élevées (de 2 400 à 3 600 plaques de silicium par heure) ; procédé à basse température. Enfin, son empreinte carbone est considérablement améliorée sur l'ensemble de la chaîne de valeur (silicium, lingot, plaques, cellule, module, installation).

Vers un déploiement industriel en Europe

Fort de sa maîtrise de l'hétérojonction, depuis sa chaîne pilote préindustrielle, le CEA a élaboré une feuille de route de déploiement industriel. Avec ses partenaires, dont

l'industriel italien Enel Green Power, il est impliqué dans la création d'une usine de production de modules photovoltaïques qui sera opérationnelle, en Italie, courant 2019.

les défis 234
du cea



Le solaire à hétérojonction

Parmi les technologies solaires photovoltaïques, l'hétérojonction se distingue notamment par ses rendements élevés de conversion de l'énergie lumineuse en électricité.

ENJEUX



Découvert en 1839 par Edmond Becquerel, le photovoltaïque est un effet photoélectrique par lequel des photons (particules de lumière) pénètrent dans une matrice semi-conductrice (souvent du silicium), sont absorbés et génèrent des paires électron-trou. Ces « porteurs de charges » sont collectés dans la jonction et, en se déplaçant de manière contrainte dans un circuit extérieur, engendrent un courant électrique continu. L'effet photovoltaïque est mis en œuvre dans des cellules dont l'assemblage forme les modules photovoltaïques. Ces derniers sont reliés à des onduleurs pour convertir le courant électrique continu en courant alternatif.

Plusieurs technologies sont en compétition dans le domaine de l'énergie photovoltaïque, notamment depuis plus de dix ans dans les laboratoires du CEA. L'hétérojonction, à base de silicium, est l'une d'entre elles. Elle offre de nombreux avantages compétitifs dont des rendements élevés, une architecture simple du composant ainsi qu'un nombre réduit d'étapes nécessaires à leur fabrication et intégration. Ce dernier aspect a été expérimenté et validé sur la chaîne pilote préindustrielle du CEA-Liten. De quoi permettre aux chercheurs, avec leurs partenaires, d'élaborer une feuille de route de déploiement industriel, pour que l'Europe soit en mesure de produire ses propres modules photovoltaïques (voir page 4).