L'énergie du Soleil peut être transformée directement en électricité grâce à l'effet photovoltaïque.

COURS

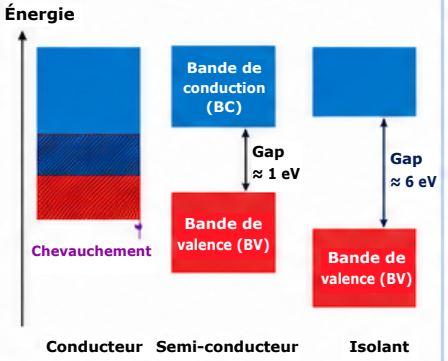
PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE PHOTOVOLTAÏQUE

Prof-TC
ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

1 LES BANDES D'ÉNERGIE

Dans un solide, les électrons ne peuvent occuper que certains niveaux d'énergie qui se regroupent en bandes.

- **Bande de valence (BV) :** bande la plus haute occupée par les électrons liés aux atomes.
- **Bande de conduction (BC) :** bande où les électrons sont libres de se déplacer et peuvent conduire le courant.
- **Entre les deux : bande interdite (Gap)** où aucun niveau n'est permis.



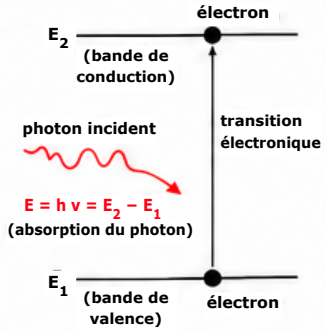
Pour les conducteurs, les bandes se chevauchent. Pour les semi-conducteurs et isolants, les bandes sont séparées par un gap d'énergie Egap. Plus Egap est petit, plus il est facile de faire passer un électron dans la bande de conduction.

Remarque : 1 électronvolt (eV) = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J

2 INTERACTION DE LA LUMIÈRE AVEC LA MATIÈRE

La lumière est constituée de particules appelées photons d'énergie : $E = h\,\nu$

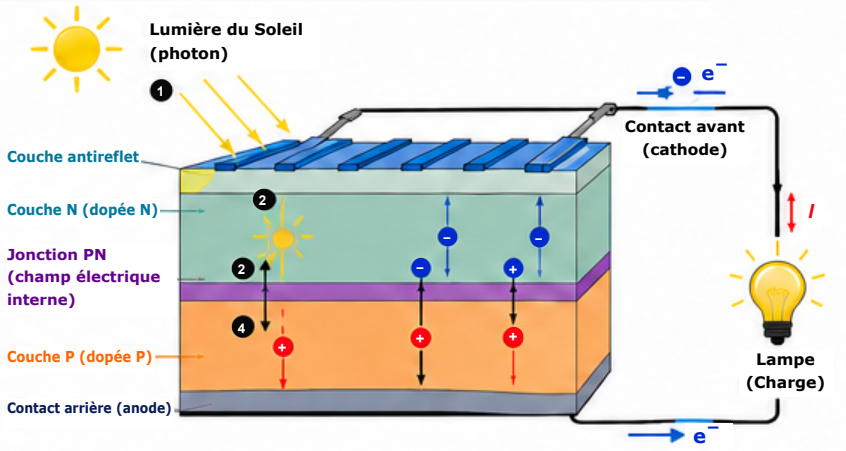
$h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s ; ν = fréquence de la lumière (Hz)



Si l'énergie du photon est supérieure ou égale au gap ($E_{ph} \geq E_{gap}$) :
- le photon est absorbé,
- l'électron passe de la BV à la BC,
- il reste un trou dans la BV (absence d'un électron),
- on crée une paire électron-trou.

Exemple : photon bleu ($\nu_{bleu} = 6{,}7 \times 10^{14}$ Hz) → $E_{bleu} \approx 2{,}8$ eV
photon rouge ($\nu_{rouge} = 420$ THz) → $E_{rouge} \approx 1{,}74$ eV

3 FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE



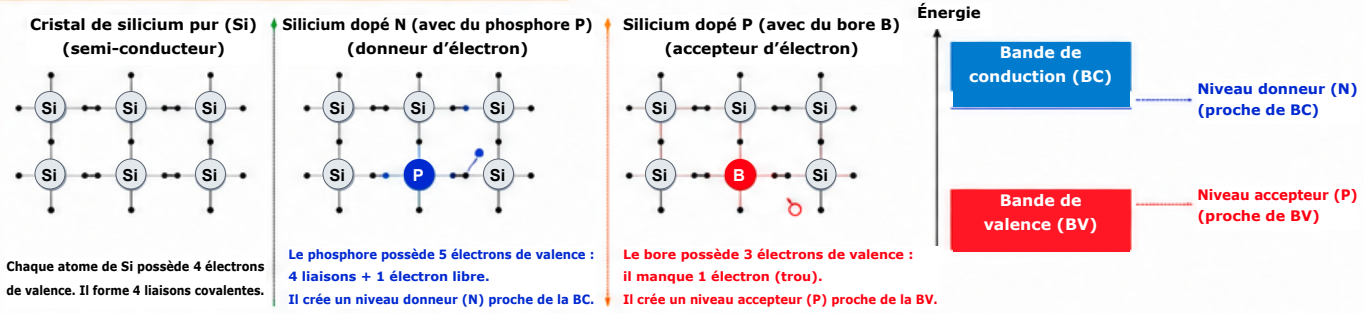
1. Les photons du Soleil arrivent sur la cellule.
2. Si $E_{ph} \geq E_{gap}$: absorption → création d'une paire électron-trou.
3. Le champ électrique interne de la jonction sépare les charges : l'électron est attiré vers la couche N, le trou vers la couche P.
4. Les électrons collectés par le contact avant (cathode) sortent de la cellule et circulent dans le circuit extérieur.
5. Ils traversent la lampe où leur énergie est transformée en lumière et en chaleur, puis retournent à l'anode (contact arrière).
6. Les électrons se recombinent avec les trous dans la zone P.
7. Le processus recommence tant que la cellule est éclairée.

Idée clé

Les électrons ne proviennent pas du Soleil : ils sont déjà présents dans les atomes de silicium. Le photon leur apporte l'énergie nécessaire pour les libérer de leurs liaisons.

- Électron (charge négative)
- Trou (absence d'électron, charge positive)

4 LES MATÉRIAUX : LE SILICIUM ET LE DOPAGE



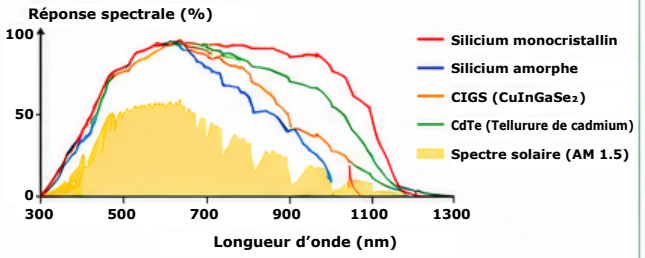
Chaque atome de Si possède 4 électrons de valence. Il forme 4 liaisons covalentes.

Le phosphore possède 5 électrons de valence : 4 liaisons + 1 électron libre. Il crée un niveau donneur (N) proche de la BC.

Le bore possède 3 électrons de valence : il manque 1 électron (trou). Il crée un niveau accepteur (P) proche de la BV.

5 CHOIX DU SEMI-CONDUCTEUR

Le meilleur matériau est celui dont la réponse spectrale recouvre le mieux le spectre solaire afin d'absorber le maximum de photons utiles.



6 RENDEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

Le rendement η est le rapport entre la puissance électrique maximale produite et la puissance lumineuse reçue.

$$\eta = \frac{P_{électrique\ max}}{P_{lumineuse\ reçue}}$$



Lumière reçue 100 %
Électricité utile ≈ 20 %
Pertes ≈ 80 %

Rendement moyen d'une cellule en silicium : ≈ 20 %

Pertes inévitables :
- Photons non absorbés (énergie trop faible ou réflexion).
- Échauffement de la cellule et du circuit.
- Recombinaisons électron-trou dans le matériau.
- Résistances électriques (câbles, contacts, lampe...).

RÉSUMÉ DU FONCTIONNEMENT

1. Les photons solaires arrivent sur la cellule et sont absorbés si $E_{ph} \geq E_{gap}$.
2. Des électrons sont arrachés à la bande de valence → création d'un trou.
3. Le champ électrique de la jonction PN sépare les charges.
4. Les électrons sont collectés par la couche N et sortent par la cathode.
5. Ils circulent dans le circuit extérieur, alimentent la lampe, puis reviennent par l'anode.
6. Ils se recombinent avec les trous dans la couche P.
7. Le courant est maintenu tant que la cellule est éclairée.

