

Matière et Génération Photovoltaïque

Les formules de base :

Énergie en fonction de la longueur d'onde

$$E_{\text{photon}} = h \nu$$

$$E_{\text{photon}} = h c / \lambda$$

Formule pratique en électron-volt :

$$E_{\text{photon}} \text{ (eV)} = 1240 / \lambda \text{ (nm)}$$

où :

- $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- λ : longueur d'onde

EXERCICE 1 : Rayonnement solaire et énergie des photons

On considère un rayonnement solaire AM1.5 avec une irradiance : $G = 1000 \text{ W/m}^2$

1. Calculer l'énergie d'un photon pour :
 - $\lambda = 400 \text{ nm}$
 - $\lambda = 800 \text{ nm}$
 - $\lambda = 1200 \text{ nm}$
2. Déterminer si ces photons peuvent générer de l'électricité dans :
 - Silicium ($E_g = 1,12 \text{ eV}$)
 - GaAs ($E_g = 1,42 \text{ eV}$)
 - CdTe ($E_g = 1,45 \text{ eV}$)
 - Pérovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ($E_g = 1,55 \text{ eV}$)
 - TiO_2 ($E_g = 3,2 \text{ eV}$)
3. Conclure quels matériaux peuvent convertir ces photons en électricité.

EXERCICE 2 : Profondeur de pénétration optique

La loi d'absorption est donnée par : $I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$

avec :

- $\alpha_{Si} = 10^4 \text{ cm}^{-1}$
- $\alpha_{GaAs} = 10^5 \text{ cm}^{-1}$

1. Calculer la profondeur de pénétration $\delta = 1/\alpha$
2. Comparer la capacité d'absorption des deux matériaux.
3. Expliquer l'impact sur l'épaisseur nécessaire pour une cellule solaire.

EXERCICE 3 : Condition de génération électrique

On considère trois matériaux :

Matériau	Gap (eV)	Type
Silicium	1,12	Semi-conducteur
Cuivre	—	Métal
Verre	—	Isolant

1. Expliquer pourquoi la lumière génère de l'électricité dans le silicium.
2. Expliquer pourquoi elle ne génère pas d'électricité exploitable dans :
 - Le cuivre
 - Le verre
3. Donner la condition fondamentale de conversion photovoltaïque.

EXERCICE 4 : Rendement quantique et courant généré

On considère une cellule solaire de surface $S=1\text{ m}^2$ éclairée par un rayonnement monochromatique de longueur d'onde $\lambda=600\text{ nm}$ avec une puissance incidente de $P=100\text{ W/m}^2$ (valeur représentative d'une bande étroite dans le spectre solaire). Le rendement quantique (QE) de la cellule est de 85 % à cette longueur d'onde.

1. Calculer le nombre de photons incidents par seconde et par m^2 .
2. Calculer le courant généré par la cellule.
3. Comparer ce courant avec celui d'une cellule en silicium ayant le même QE à 600 nm . (On rappelle que le courant est proportionnel au nombre de photons absorbés.)

EXERCICE 5 : Matériaux non silicium et production électrique

On considère les matériaux suivants avec leurs énergies de gap approximatives :

- CdTe : $E_g=1,45\text{ eV}$
 - CIGS : $E_g=1,15\text{ eV}$
 - $\text{Pérovskite } (\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3)$: $E_g=1,55\text{ eV}$
 - GaN : $E_g=3,4\text{ eV}$
 - TiO_2 : $E_g=3,2\text{ eV}$
4. Classer ces matériaux selon leur gap énergétique (croissant).
 5. Déterminer lesquels peuvent produire de l'électricité sous rayonnement solaire visible (domaine approximatif : $400\text{ nm} - 800\text{ nm}$).
 6. Identifier ceux adaptés aux UV uniquement.
 7. Expliquer pourquoi certains matériaux absorbent la lumière mais ne produisent pas de courant exploitable (en évoquant les mécanismes de relaxation, l'absence de champ interne, etc.).