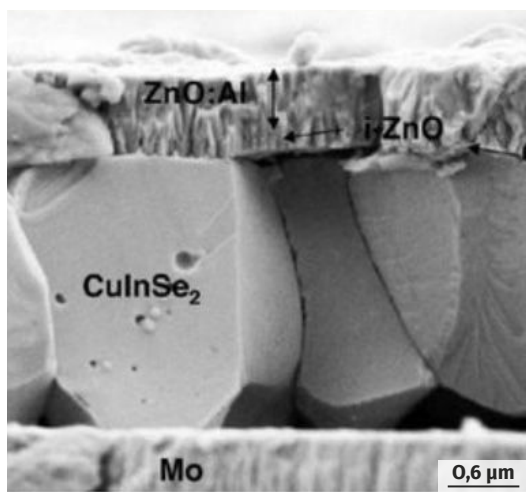


👍 Sujet avec coups de pouce

Exercice 1 L'effet photovoltaïque utilisant les cellules CIGS

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. L'une des principales technologies industrialisées est la conception de cellules de deuxième génération à couches minces (ou film mince) de type CIGS (Civre Indium Gallium Selenium). Le CIGS est un matériau dont la concentration en Indium et Gallium peut varier.

Doc. 1 Les cellules CIGS



Les procédés de fabrication des cellules CIGS permettent de fabriquer de relativement grandes surfaces sur des substrats rigides ou flexibles. Les matériaux de film mince peuvent absorber très efficacement les photons et seuls quelques micromètres d'épaisseur sont nécessaires contre 200 μm pour leurs homologues cristallins à base de silicium.

Pourcentage de gallium

Doc. 3 et rendement dans les cellules CIGS

En fonction des besoins, l'énergie de gap E_g peut être ajustée entre 1,035 eV et 1,680 eV en fonction du pourcentage d'atomes de gallium, x , qui remplacent les atomes d'indium dans la structure cristalline, selon la loi empirique suivante :

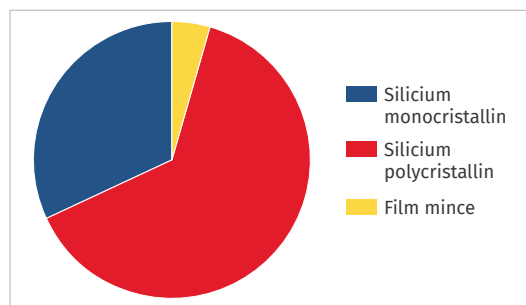
$$E_g = 1,035 + 0,65 \times x - 0,264 \times x(1 - x) \text{ en eV}$$

Dans le domaine de ces cellules, les meilleurs rendements publiés ont été obtenus pour un *gap* d'environ 1,2 eV avec un pourcentage de Gallium autour de 30 %.

Source : Roger Charles, thèse, 2013.

Doc. 2 Types de cellules en circulation

En 2017, la production globale annuelle de photovoltaïque a été d'environ 100 GWp.



► Répartition de la production mondiale annuelle de photovoltaïque suivant le type de technologie en 2017.

Étude d'une cellule

Doc. 4 photovoltaïque au laboratoire

Pour un éclairement E donné, la cellule photovoltaïque se comporte comme un générateur qui fournit au circuit une puissance électrique P . Le rendement de la cellule photovoltaïque r est le quotient de la puissance électrique maximale P_{max} générée sur la cellule par la puissance lumineuse qu'elle reçoit P_{lum} : $r = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{lum}}}$ avec $P_{\text{lum}} = E \cdot S$ (E en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ et S la surface de la cellule en m^2).

La cellule photovoltaïque utilisée ici possède une surface de $2,22 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ sous un éclairement de $85 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Les mesures de la tension U aux bornes de la cellule photovoltaïque et l'intensité I qu'elle génère lorsqu'elle est éclairée sont regroupées dans le tableau suivant :

I (mA)	22,3	22,0	21,8	21,4	19,5
U (V)	0,088	0,152	0,268	0,355	0,614
I (mA)	17,5	15,8	8,9	6,5	
U (V)	0,733	0,809	0,910	0,972	

>>> Préparation aux évaluations communes

Doc. 5 Un champ photovoltaïque



Questions

- Vérifier la cohérence des informations apportées par le **doc. 1** en calculant l'épaisseur de la cellule CIGS.
- Calculer l'énergie gap E_g d'une cellule comportant 30 % de gallium. Vérifier que cette valeur est cohérente avec les données du **doc. 3**
- Estimer la proportion de chacune des technologies dans la production mondiale annuelle de photovoltaïque.
- En déduire la puissance maximale produite par la technologie de type film mince.
- Réaliser un histogramme permettant de rassembler les productions métallurgiques en indium en 2018.
- En imaginant que l'évolution de la consommation de l'indium est stable depuis 2013 et que l'indium ne sera utilisé que dans la production de cellules de type CIGS, estimer la durée que l'on peut prévoir avant un épuisement total.
- Tracer la caractéristique courant-tension $I = f(U)$ de la cellule photovoltaïque étudiée.
 - Calculer la puissance délivrée par la cellule pour chaque couple (U, I) . En déduire la valeur de la puissance électrique maximale P_{\max} générée sur la cellule.
 - Calculer le rendement de cette cellule.

Doc. 6 L'indium

Ces cellules CIGS ne sont pas pour autant dépourvues d'inconvénients, puisqu'elles intègrent de l'indium, un élément dont les réserves ne cessent de diminuer. En effet, il entre également dans la composition des écrans plats LCD, dont la commercialisation a explosé ces dernières années.

Il n'existe pas de mines d'indium, celui-ci est principalement co-produit par la métallurgie du zinc ainsi que par extraction métallurgique de divers concentrés miniers. Selon les minerais, la teneur en indium varie et peut atteindre 1 900 ppm (partie par million). Une estimation en 2013 porte ses réserves à hauteur de 15 000 t, réserves estimées à partir de celles de zinc. En 2015, la consommation mondiale d'indium s'est élevée à 1 440 t avec 40 t dans la production de cellules CIGS.

Pays	Production (t)	Pays	Production (t)
Chine	300	France	50
Corée du Sud	230	Belgique	20
Japon	70	Pérou	10
Canada	70	Russie	5

► Production métallurgique en indium en 2018 (en tonnes)

Donnée

- Le Wp (Watt-peak ou Watt-crête) est l'unité correspondant à la puissance électrique maximale pouvant être produite par une cellule dans les conditions standards.
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Coup de pouce

- Question 1** Vérifier que l'épaisseur de la cellule est de quelques microns à l'aide de la photo.
- Question 2** Utiliser la relation donnée dans le document 2 et calculer la valeur de E_g .
- Question 3** Avec un rapporteur, évaluer l'angle occupé par chaque technologie puis le relier à la proportion de chaque technologie.
- Question 7** U en abscisse, I est en ordonnée.