EXERCICE III : LES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES MULTIJONCTIONS (5 points)

La plupart des panneaux solaires présents dans notre environnement sont composés de cellules constituées d'un matériau semi-conducteur, généralement le silicium (80% du marché).
Cependant, d'autres filières de production se développent, parmi lesquelles la filière de cellules multi-jonctions utilisées en particulier dans le domaine aérospatial (alimentation électrique de satellites). Ces cellules sont constituées de couches successives de matériaux semi-conducteurs différents, principalement des alliages dérivés de l'arséniure de gallium (GaAs).

L'objectif de l'exercice est de comprendre l'intérêt des cellules multi-jonctions par rapport aux cellules au silicium en exploitant les documents fournis et vos connaissances.

Données :

- constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- $1 \text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ;
- la valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée connue par le candidat.

Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Pour convertir l'énergie des photons en énergie électrique, on utilise des cellules solaires constituées de semi-conducteurs. Ces matériaux sont caractérisés par une bande d'énergie interdite nommée « gap ». La valeur de ce gap dépend de la nature chimique et de la structure du matériau, sa valeur est de 1,1 eV pour le silicium monocristallin.
Un photon est absorbé par un semi-conducteur quand son énergie est supérieure au gap, sinon il le traverse ; ainsi, tous les photons d'énergie supérieure au gap peuvent être absorbés. Cependant, l'énergie en excès est vite perdue sous forme de chaleur et l'énergie électrique maximale que l'on peut espérer récupérer est égale à celle du gap.

D'après Pour la Science, juillet 2010, « Des électrons contre du Soleil » de J. M. Courty et E. Kierlik et Pour la Science, octobre 2010, « L'électricité, fille du Soleil » de D. *Lincot et al*

Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est défini par la relation suivante :

$$r = \frac{\text{puissance électrique maximale délivrée par cellule}}{\text{puissance lumineuse reçue par cellule}}$$

Caractéristiques de la cellule solaire en silicium monocristallin commercialisée par Microsol

- surface $S = 2{,}43 \times 10^{-2}$ m^2 ;
- caractéristiques électriques réalisées sous des conditions de test standardisées, à 25°C, avec un ensoleillement de 1000 W.m^{-2} :

Paramètre	Symbole	Valeur typique
Tension en circuit ouvert	V_{oc}	0,614 V
Intensité de court-circuit	I_{SC}	8,594 A
Tension à puissance maximale	V_{Pmax}	0,521 V
Intensité à puissance maximale	I_{Pmax}	8,090 A
Puissance maximale	P_{max}	4,210 W

D'après www.microsolinternational.com

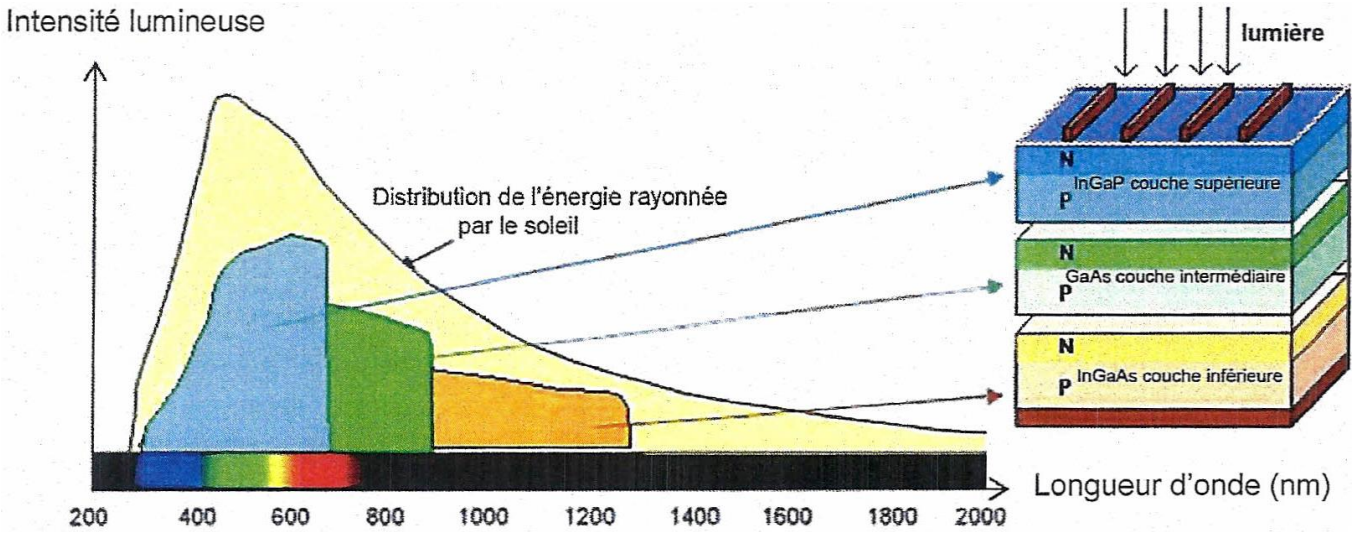
La cellule triple jonction mise au point par Sharp en novembre 2011

Le record mondial de rendement pour des cellules photovoltaïques sans concentrateur de lumière a été battu par Sharp, le premier fabricant japonais de cellules photovoltaïques.

Cette avancée a été rendue possible grâce à la structure en trois couches de la cellule photovoltaïque, constituée de trois semi-conducteurs de gaps différents : la couche supérieure en phosphore d'indium-gallium InGaP de gap 1,8 eV, une deuxième couche en arséniure de gallium GaAs de gap 1,4 eV, puis une couche inférieure en arséniure d'indium-gallium InGaAs de gap 1,0 eV.

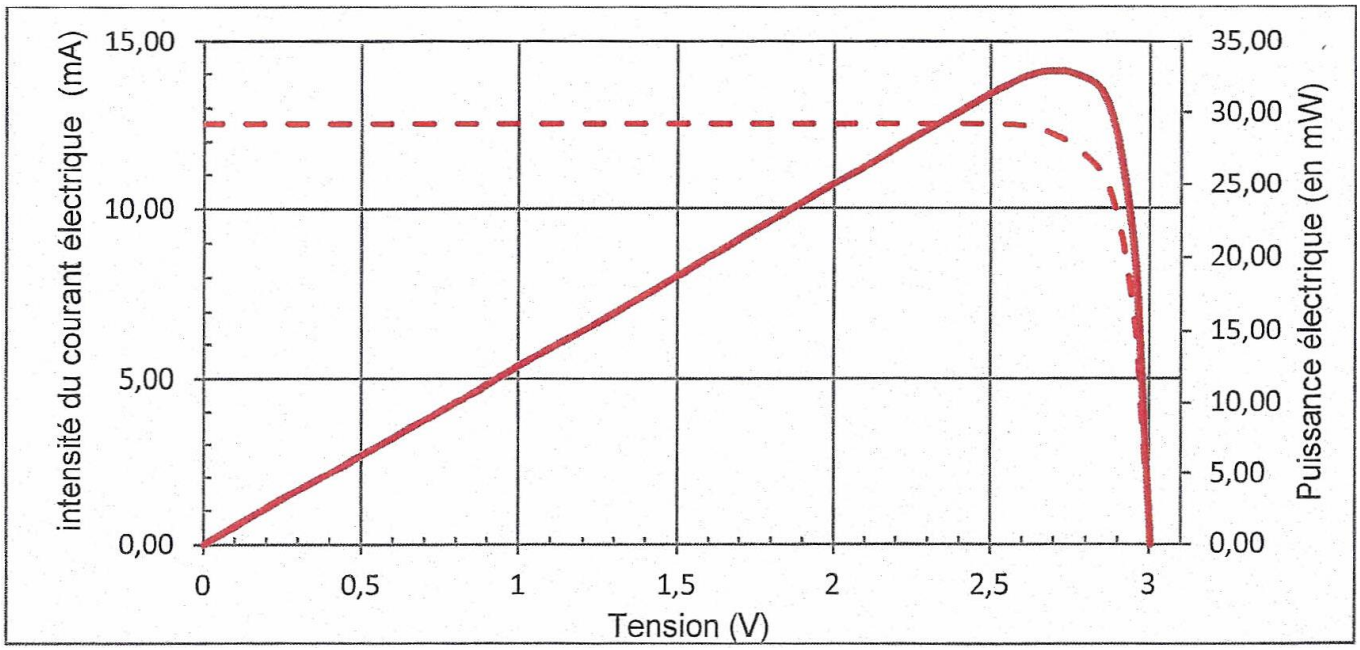
Cet empilement de jonctions selon des gaps décroissants permet d'atteindre une efficacité de conversion nettement plus importante que pour les cellules au silicium monocristallin.

Distribution en longueur d'onde de l'énergie rayonnée par le Soleil et sensibilité en longueur d'onde de la cellule triple jonction



D'après www.bulletins-electroniques.com et www.photovoltaique-couche-mince.com

Caractéristique intensité-tension de la cellule triple-jonction de Sharp de surface $S = 8{,}9 \times 10^{-5}$ m^2 avec un ensoleillement de 1000 W.m^{-2}



Courbe en pointillés : évolution de l'intensité du courant électrique.

Courbe en trait épais : évolution de la puissance électrique délivrée.

(d'après l'article de M. *A. Green et al.* « *Solar cell efficiency tables (version 39*) », *Progress in Photovoltaics Research and Applications,* 2012; 20:12-20)

Questions

1. Calculer les rendements des cellules triple-jonction de Sharp et Microsol au Silicium.

Afin de comprendre pourquoi le rendement de la cellule triple jonction est meilleur que celui de la cellule Microsol au Silicium, on s'intéresse à deux photons de longueurs d'onde respectives λ_1 = 1,0 µm et , λ_2 = 0,65 µm.

2. Déterminer l'énergie de chacun des deux photons considérés.

Ces deux photons arrivent dans un premier cas sur un semi-conducteur en silicium monocristallin et dans un second cas sur une couche de semi-conducteur en phosphore d'indium gallium InGaP.

On considère pour simplifier, que chaque photon qui a l'énergie nécessaire pour être absorbé par un semi-conducteur l'est effectivement.

3. Les deux photons arrivent sur la cellule solaire en silicium monocristallin.
Déterminer l'énergie électrique maximale récupérée.

4. Ces deux photons arrivent maintenant sur la cellule triple-jonction de Sharp.
Indiquer par quelle couche de la cellule chaque photon sera absorbé et déterminer l'énergie maximale récupérée. Conclure.

5. Expliquer en quoi la constitution et l'ordre des couches de la cellule Sharp triple-jonction lui confèrent une meilleure performance que la cellule au Silicium Microsol lorsqu'elles sont éclairées par la lumière du Soleil.