

EXERCICE 4 (6 points)

(Physique-chimie)

Panneaux photovoltaïques dans le domaine spatial

La station spatiale internationale (ISS), construite en 1998, va rester en service jusqu'en 2031.

L'énergie électrique de l'ISS est fournie en majorité par des panneaux solaires. Chaque panneau solaire est composé de cellules photovoltaïques en silicium polycristallin qui permettent de convertir la puissance solaire reçue en puissance électrique.



La station ISS, Image : NASA, 2009.

Cet exercice s'intéresse à l'amélioration des rendements des panneaux photovoltaïques utilisés dans l'ISS.

Données :

- relation entre l'énergie E (en J) d'un photon et la longueur d'onde λ (en m) de l'onde électromagnétique associée :

$$E = \frac{h \times c}{\lambda}$$

- valeur de la constante de Planck : $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J·s ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8$ m·s⁻¹ ;
- Conversion electron-volt / joule : $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$ J.

Des recherches visent à développer des panneaux photovoltaïques aux rendements plus élevés que ceux utilisés sur l'ISS. Dans cet objectif, des cellules photovoltaïques dites « à concentration » sont en cours d'étude. On dispose des données suivantes :

Matériau	Rendement maximal en laboratoire	Rendement maximal en production en série	Rendement global du module photovoltaïque
Cellules photovoltaïques à silicium polycristallin	20,4 %	17,8 %	15 %
Cellules photovoltaïques à concentration	43,6 % à 44,7 %	40,0 %	30 %

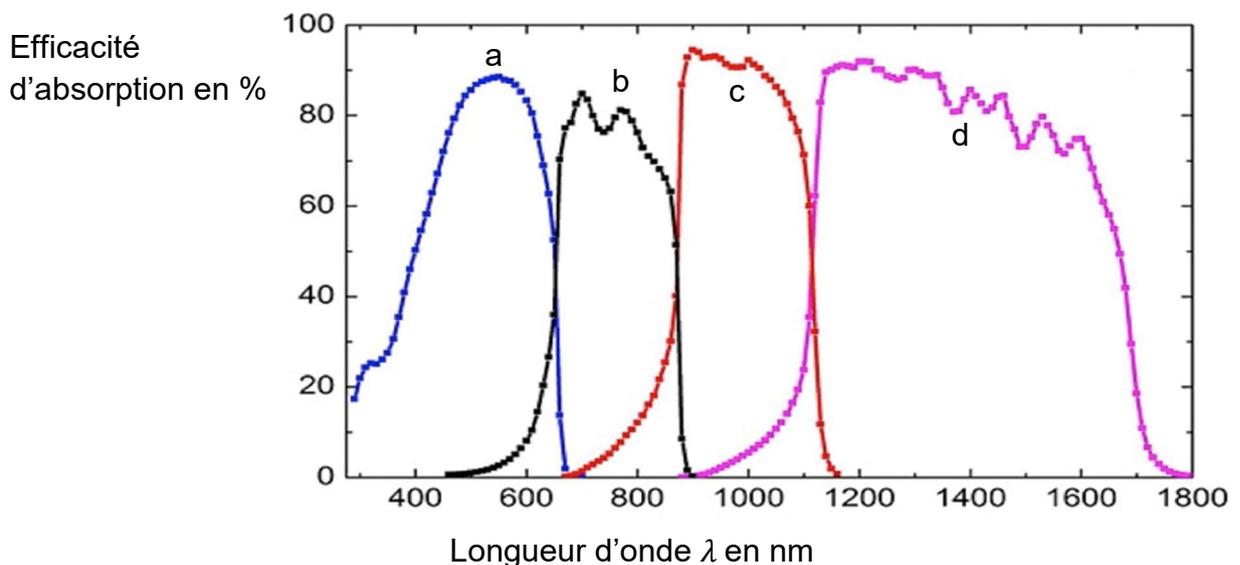
1. Commenter les valeurs fournies dans le tableau précédent.

Les cellules à concentration sont constituées de matériaux semi-conducteurs. Ces matériaux absorbent les photons d'énergie E supérieure ou égale à une valeur d'énergie seuil, notée E_g , caractéristique du semi-conducteur utilisé.

Matériau semi-conducteur	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Formule	Ga _{0,47} In _{0,53} As	Ga _{0,16} In _{0,84} As _{0,31} P _{0,69}	GaAs	Ga _{0,51} In _{0,49} P
Énergie seuil E_g (en eV)	0,74	1,12	1,42	1,88

- Déterminer la valeur de la longueur d'onde seuil λ_g en m, puis en nm, de l'onde électromagnétique associée qui peut être absorbée par le semi-conducteur M₂.
- Indiquer si ce matériau semi-conducteur absorbe les ondes électromagnétiques de longueur d'onde λ supérieure ou inférieure à cette valeur de longueur d'onde seuil λ_g . Justifier.

D'après ce qui précède, un matériau semi-conducteur absorbe plus ou moins les ondes électromagnétiques selon leur longueur d'onde. Le graphique expérimental suivant présente l'efficacité de ce phénomène d'absorption en fonction de la longueur d'onde, pour chacun des quatre matériaux semi-conducteurs étudiés : plus l'efficacité est élevée, plus l'onde électromagnétique est absorbée par le matériau.



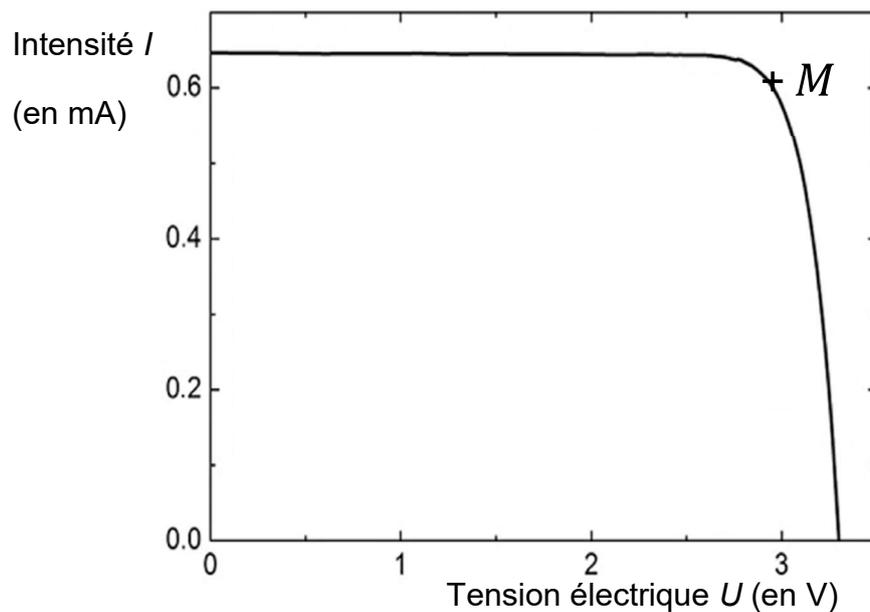
Efficacité d'absorption des ondes électromagnétiques pour les quatre matériaux

- Parmi les courbes a, b, c, et d sur le graphique précédent, identifier celle qui correspond au semi-conducteur M₂.

De meilleurs rendements sont recherchés en superposant dans les cellules photovoltaïques plusieurs couches de semi-conducteurs avec des valeurs de seuil différentes.

5. En s'appuyant sur le graphique précédent (donnant l'efficacité d'absorption des ondes électromagnétiques pour les quatre matériaux) expliquer pourquoi l'association des quatre couches de semi-conducteurs permet un rendement supérieur pour la cellule.

La caractéristique intensité du courant électrique I en fonction de la tension électrique U de la cellule photovoltaïque à quatre couches est donnée ci-dessous.



Le point M sur la courbe de la caractéristique de la cellule photovoltaïque est le point de fonctionnement correspondant à la valeur maximale de la puissance électrique fournie par la cellule pour un éclairement imposé de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

La cellule photovoltaïque possède une surface d'aire $A = 5,20 \text{ mm}^2$.

6. À l'aide des coordonnées du point de fonctionnement M sur le graphique précédent, déterminer la valeur de la puissance électrique maximale $P_{\text{élec}}$ produite par la cellule photovoltaïque.
7. Déterminer la valeur du flux énergétique P_{lum} reçu par la cellule photovoltaïque.
8. Rappeler la relation permettant de calculer le rendement η d'une cellule photovoltaïque, en fonction de $P_{\text{élec}}$ et de P_{lum} .
9. Calculer la valeur du rendement maximal de cette cellule. Commenter en utilisant les données fournies en début d'exercice.