

EXERCICES CHAPITRE FONCTIONNEMENT D'UN PANNEAU SOLAIRE

Exercice 1: Étude d'un panneau photovoltaïque

On considère un panneau photovoltaïque auquel est associé Le document ci-contre. Ce panneau reçoit un éclairage de $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

1. Relever la valeur de la puissance électrique maximale P_m
2. Relever le couple (I_m, U_m) correspondant à la puissance maximale.
3. Calculer la résistance R_m de fonctionnement maximisant la puissance.
4. Décrire l'évolution de l'intensité de court-circuit et la puissance électrique maximale quand l'éclairage augmente.

Exercice 2: La cellule triple jonction

La cellule photovoltaïque triple jonction est constituée de trois semi-conducteurs différents : la couche supérieure en phosphore d'indium-gallium InGaP, une deuxième couche en arséniure de gallium GaAs, puis une couche inférieure en arséniure d'indium-gallium InGaAs. Cette technologie permet d'améliorer grandement le rendement des cellules photovoltaïques qui se situe autour de 15 % pour une technologie au silicium monocristallin.

Doc 1. Comparaison de spectres

Sur le graphique ci-dessous sont représentées la distribution en longueur d'onde de l'énergie rayonnée par le Soleil et la sensibilité en longueur d'onde de la cellule triple jonction.

Doc 2. Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement (en %) d'une cellule photovoltaïque est défini par la relation suivante :

$$\eta = \frac{\text{puissance électrique maximale délivrée par cellule}}{\text{puissance lumineuse reçue par cellule}} \times 100$$

Doc 3. Caractéristique intensité-tension

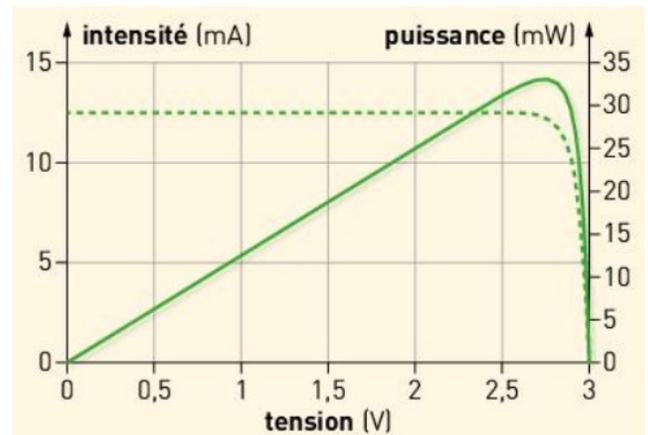
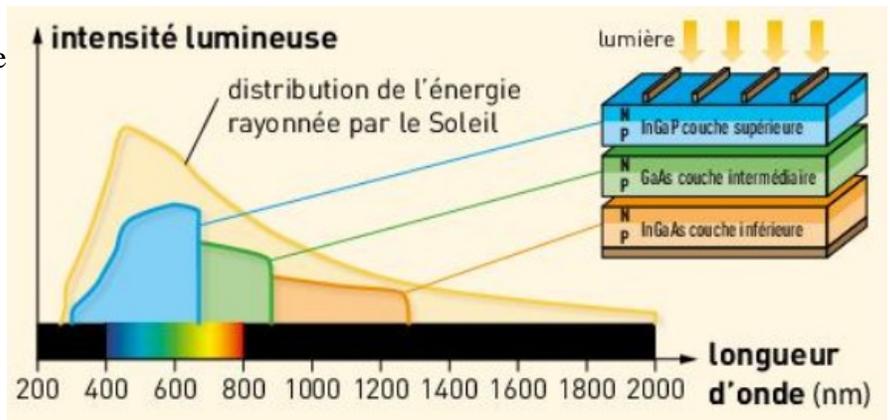
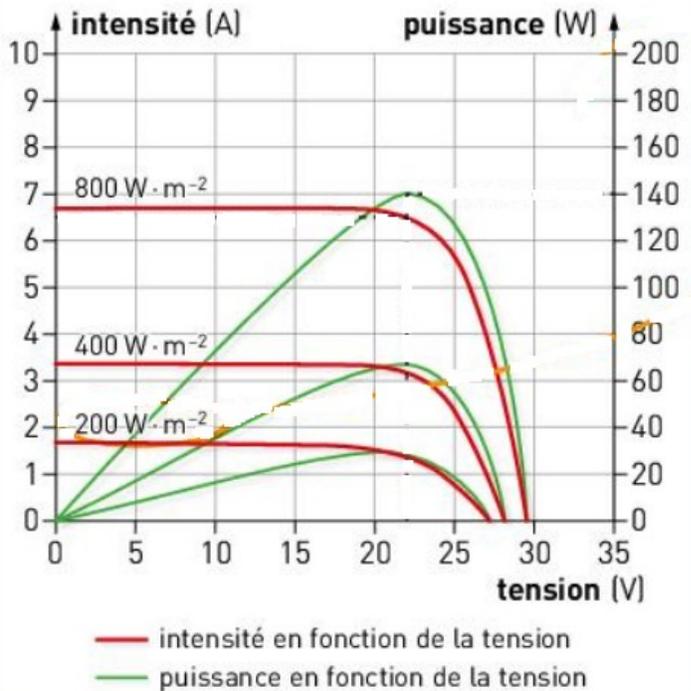
Caractéristique intensité-tension de la cellule triple-jonction de surface $S = 8,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ avec un éclairage de $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^2$:

..... Évolution de l'intensité du courant électrique en fonction de La tension.

----- évolution de La puissance électrique délivrée en fonction de La tension.

1. Pourquoi peut-on dire que ces trois jonctions peuvent effectivement exploiter l'énergie radiative du Soleil ?
2. Représenter la conversion d'énergie qui a lieu dans une cellule photovoltaïque.

Intensité et puissance en fonction de la tension



3.

- a) Déterminer la puissance maximale délivrée par la cellule.
- b) Calculer la résistance maximisant la puissance.
- c) La puissance lumineuse reçue par la cellule est $P = 0,089 \text{ W}$. Calculer le rendement de la cellule et conclure.

Exercice 3: Le projet Solar Impulse

Entre mars 2015 et juillet 2016, l'avion suisse Solar Impulse 2 est le premier avion à effectuer un tour du monde grâce à la seule énergie solaire.

Doc 1. Quelques données techniques de l'avion

- Surface des cellules : $S = 270 \text{ m}^2$
- 4 moteurs électriques de puissance $P_{\text{moteur}} = 13 \text{ kW}$ chacun
- 4 blocs de batteries d'énergie $E = 0,139 \text{ GJ}$ chacun
- Masse de l'avion : $m = 2\,300 \text{ kg}$
- Vitesse maximale : $v = 140 \text{ km.h}^{-1}$
- Le jour, l'avion est soumis à une puissance solaire surfacique moyenne de valeur $1,00 \text{ kW.m}^{-2}$.

Doc 2. Puissance surfacique

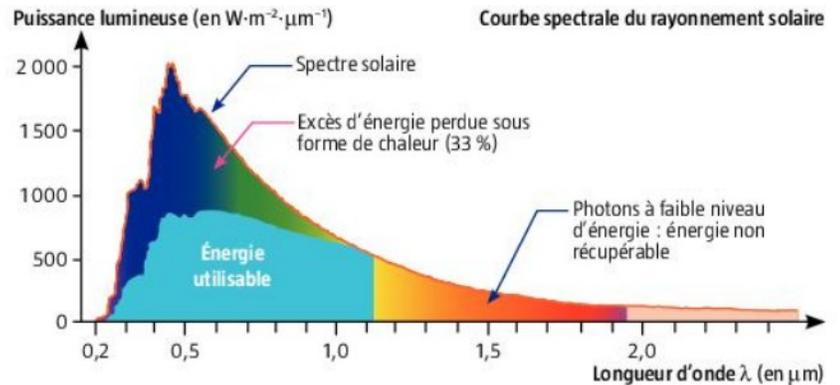
La puissance solaire surfacique P_s exprimé en Watt par mètre carré (W.m^{-2}) correspond à la puissance reçue P en watt (W) par unité de surface S en mètre carré (m^2). On la calcule en partant de la puissance totale reçue divisé par

la surface :
$$P_s = \frac{P}{S}$$

Doc 3. Courbe spectrale du rayonnement solaire

Le graphique représenté ci-contre indique que :

- Si l'énergie des photons est supérieure à $E = 1,12 \text{ eV}$ (appelée « gap du silicium »), ceux-ci peuvent extraire des électrons de la cellule qui conduiront le courant électrique dans le circuit extérieur à la cellule. L'énergie excédentaire sera perdue : elle représente 33 % de l'énergie radiative solaire ;
- si l'énergie des photons est inférieure à $E = 1,12 \text{ eV}$, ceux-ci ne pourront être absorbés.



Partie 1 . Le vol de jour

1.1 Calculer la valeur de la puissance solaire P reçue par l'ensemble des cellules solaires de l'avion.

1.2 Le rendement des cellules est défini par la relation : $\eta = \frac{P_e}{P}$ avec P_e la puissance électrique fournie et P_s la puissance reçue.

Montrer que les cellules photovoltaïques peuvent fournir une puissance électrique de valeur $P_e = 62,1 \text{ kW}$.

Donnée : $\eta = 23,0 \%$.

1.3 Cette puissance est-elle suffisante pour faire fonctionner les quatre moteurs à plein régime ?

1.4 En moyenne, un quart de la puissance électrique produite est utilisée pour la recharge des batteries. Montrer qu'une durée $\Delta t = 10$ heures d'exposition solaire est nécessaire à la recharge totale des batteries de l'avion.

1.5 Quel type d'énergie propulse l'avion durant le vol de jour ? Que permet la recharge des batteries ?

Partie 2 . Les cellules photovoltaïques en silicium monocristallin

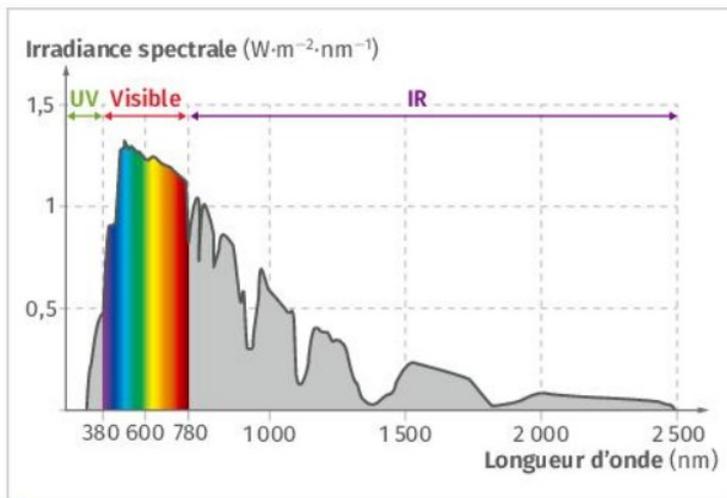
2.1 Déterminer la longueur d'onde (en nm) du photon dont l'énergie est égale à E.

2.2 Le rendement de la cellule en silicium monocristallin, soit $\eta = 23,0 \%$, est actuellement l'un des meilleurs pour une cellule photovoltaïque. Ce rendement peut-il être qualifié de bon pour un convertisseur d'énergie ? Justifier la réponse.

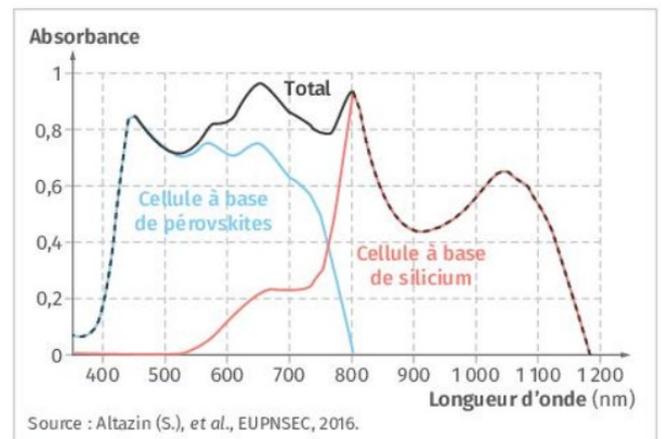
Exercice 4: Les pérovskites

Les pérovskites sont des structures minéralogiques particulières ayant des propriétés conductrices d'un semi-conducteur. Le coût de fabrication de cellules photovoltaïques à base de pérovskites est bien moins élevé que celui de cellules au silicium. Des recherches récentes montrent qu'il est possible d'obtenir des rendements proches de 25 % avec des cellules photovoltaïques utilisant des pérovskites.

1. Expliquer brièvement le principe de fonctionnement d'un semi-conducteur.
2. Déterminer pour quelle partie du spectre solaire les pérovskites absorbent le plus Le rayonnement.
3. Expliquer l'intérêt d'utiliser des pérovskites combinées avec silicium pour réaliser une cellule photovoltaïque.



1 Spectre d'émission radiatif du Soleil.



2 Simulation des spectres d'absorption de cellules à base de pérovskites et de silicium.

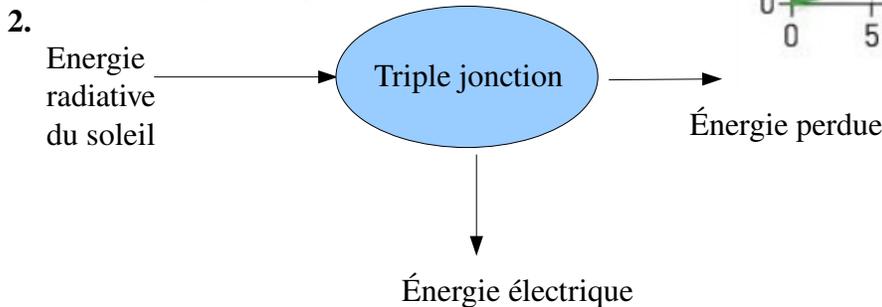
CORRECTION

Exercice 1: Étude d'un panneau photovoltaïque

1. Par lecture graphique, $P_m = 140 \text{ W}$
2. Par lecture graphique, le couple est $(6,5 \text{ A} ; 23 \text{ V})$
3. $R_m = \frac{U_m}{I_m} = 3,5 \Omega$
4. plus l'éclairement en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ augmente plus la puissance délivrée augmente. On passe de 30 W pour $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à 140 W pour $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ soit plus du triple.

Exercice 2: La cellule triple jonction

1. Dans le doc1, on constate que chaque matériau absorbe dans des domaines bien précis entre 250 nm et 650 nm pour le InGaP, entre 650 nm et 850 nm pour le GaAs et entre 580 nm et 1300 nm . Ces domaines couvrent une zone correspondant au maximum d'intensité rayonnée par le Soleil.



- 3.
- 3.a) Par lecture graphique, la puissance maximale est de $P_m = 33 \text{ mW}$
- 3.b) Par lecture graphique, le couple est $(12,5 \text{ mA} ; 2,8 \text{ V})$

3.c) $R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{2,8}{12,5 \times 10^{-3}} = 224 \Omega$

3.d) $\eta = \frac{\text{puissance électrique maximale délivrée par cellule}}{\text{puissance lumineuse reçue par cellule}} \times 100 = \frac{33 \times 10^{-3}}{0,089} \times 100 = 37 \%$

Exercice 3: Le projet Solar Impulse

Partie 1 . Le vol de jour

1.1 $P_s = \frac{P}{S} \rightarrow P = P_s \times S = 1 \times 10^3 \times 270 = 2,70 \times 10^5 \text{ W}$

1.2 $\eta = \frac{P_e}{P} \rightarrow P_e = \eta \times P = 0,23 \times 2,7 \times 10^5 = 62 \text{ } 100 \text{ W} = 62,1 \text{ kW}$

- 1.3 $P_{\text{consommé}} = 4 \times P_{\text{moteur}} = 52 \text{ kW}$ La puissance produite par les panneaux est supérieure à celle utilisée par les moteurs.

1.4 $E = P \times \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{E_{\text{totale}}}{P/4} = \frac{4 \times 0,139 \times 10^9}{62,1 \times 10^3 / 4} = 35813 \text{ s}$
 $\Delta t = \frac{35813}{3600} = 9,9 \text{ h}$

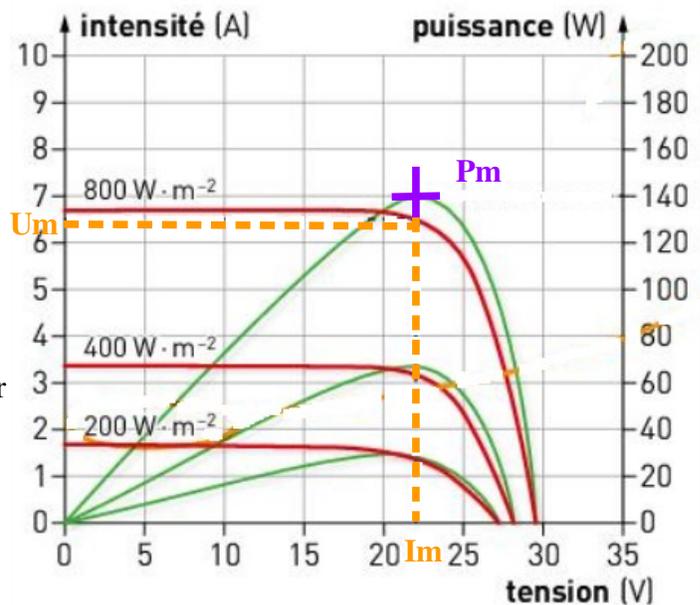
- 1.5 L'énergie solaire fait voler l'avion le jour et les batteries permettent de faire voler l'avion la nuit.

Partie 2 . Les cellules photovoltaïques en silicium monocristallin

2.1 $\lambda = \frac{1243}{\Delta E} = \frac{1243}{1,12} = 1109 \text{ nm}$

- 2.2 Le rendement est faible un bon rendement est supérieur à 80% comme celui d'un alternateur.

Intensité et puissance en fonction de la tension



Exercice 4: Les pérovskites

- 1.** Un semi-conducteur va absorber de l'énergie issue du rayonnement solaire. Cela permettra aux électrons de valence de passer à travers la bande interdite et ainsi arrivés dans la bande de conduction. Le courant circulera et le matériau deviendra conducteur.
- 2.** Les pérovskites absorbent essentiellement dans la partie visible du rayonnement terrestre entre 450 nm et 800 nm.
- 3.** En combinant les deux matériaux, le semi-conducteur absorbe davantage d'énergie lumineuse maximale (entre 380 nm et 1 000 nm) permettant une augmentation du rendement du panneau. Le silicium absorbe dans les IR entre 800 nm et 1 100 nm et complète la zone absorption des pérovskites.