Installation d'un panneau routier

Bac 2025 Nouvelle-Calédonie Jour 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 Décrire l'effet photoélectrique mis en jeu lors du fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

La lumière est constituée de photons, chacun d'énergie $E = h\,\nu$. Lorsqu'un photon d'énergie au moins égale à E_{gap} est absorbé par un électron du silicium, celui-ci quitte la bande de valence et atteint la bande de conduction.

Les électrons ainsi libérés deviennent mobiles : ils circulent dans le circuit, la cellule délivre un courant électrique.

PIÈGE
Décrire sans citer le photon, le seuil d'énergie et le changement de bande. Ces trois éléments sont attendus.

COMPRENDRE
Un photon agit sur un seul électron. Si son énergie est inférieure à E_{gap}, rien ne se passe, quelle que soit l'intensité de la lumière : c'est l'existence d'un seuil.

2 Citer une autre application de ce phénomène.

Les capteurs de lumière, par exemple le capteur d'un appareil photo numérique ou la cellule qui détecte un passage devant une porte automatique.

COMPRENDRE
Une seule application suffit. Dans tous ces dispositifs, la lumière reçue est convertie en signal électrique.

3 Calculer la longueur d'onde λ_{seuil} correspondant à l'énergie nécessaire à l'électron pour franchir le gap.

Données utiles $E_{\text{gap}} = 1{,}12$ eV (figure 1) ; $1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Au seuil, l'énergie du photon est exactement celle du gap : $E_{\text{gap}} = \dfrac{h\,c}{\lambda_{\text{seuil}}}$, donc $\lambda_{\text{seuil}} = \dfrac{h\,c}{E_{\text{gap}}}$.

Conversion : $E_{\text{gap}} = 1{,}12 \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 1{,}79 \times 10^{-19}$ J.

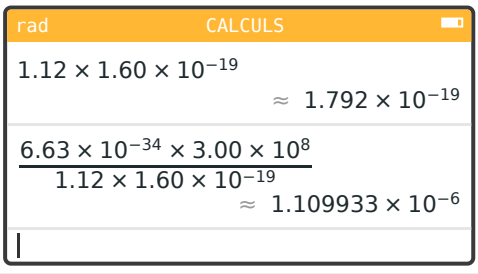
$$\lambda_{\text{seuil}} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}12 \times 1{,}60 \times 10^{-19}}$$

$\lambda_{\text{seuil}} = 1{,}11 \times 10^{-6}$ m, soit $1{,}11 \times 10^{3}$ nm (proche infrarouge).

PIÈGE
Laisser E_{gap} en électronvolts. La relation $E = h\,c/\lambda$ exige une énergie en joules, sinon le résultat est faux d'un facteur 10^{19}.

COMPRENDRE
Toutes les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. Le nombre affiché par la calculatrice n'est jamais recopié en entier.

À LA CALCULATRICE



4 Indiquer, à l'aide de la figure 2, si l'utilisation de silicium est adaptée pour une cellule photovoltaïque.

Données utiles $\lambda_{\text{seuil}} = 1{,}11 \times 10^3$ nm (Q3)

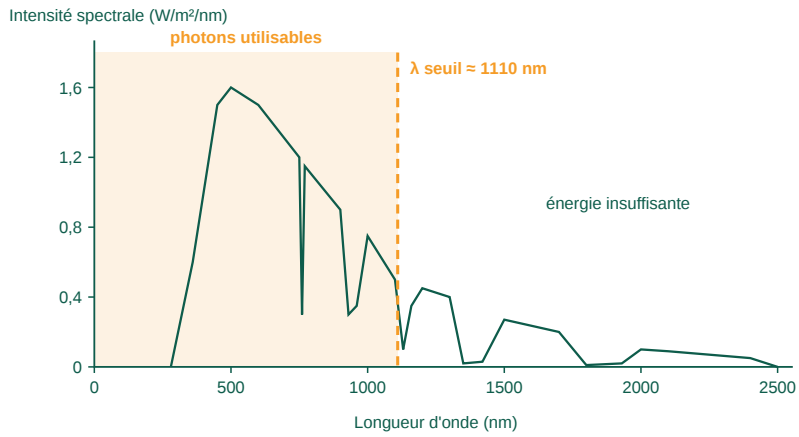
Comme $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, un photon est assez énergétique si $\lambda \leqslant \lambda_{\text{seuil}}$, soit $\lambda \leqslant 1{,}11 \times 10^3$ nm.

Sur la figure 2, le rayonnement solaire reçu au sol est maximal vers 500 nm et la plus grande partie du spectre se situe en dessous de $1{,}11 \times 10^3$ nm.

Le silicium est adapté : la majorité des photons solaires ont une énergie suffisante pour faire passer un électron dans la bande de conduction.

PIÈGE
Inverser le sens de l'inégalité. L'énergie d'un photon diminue quand la longueur d'onde augmente : ce sont les longueurs d'onde inférieures au seuil qui conviennent.

MÉTHODE
Reporter la valeur seuil sur l'axe des abscisses du spectre, puis comparer les aires sous la courbe de part et d'autre de ce trait.



4 · Figure 2 du sujet (allure simplifiée), avec le seuil du silicium

5 Donner l'expression littérale du rendement du panneau photovoltaïque.

Le rendement est le rapport de la puissance utile sur la puissance reçue :

$$\eta = \frac{P_{\text{électrique}}}{P_{\text{lumineuse}}} = \frac{U_{\max} \times I_{\max}}{P_s \times S}$$, où S est la surface du panneau.

COMPRENDRE
P_s est une puissance par unité de surface, en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. Il faut la multiplier par S pour obtenir une puissance en watts.

6 Vérifier que la valeur du rendement du panneau photovoltaïque est bien celle indiquée par le fabricant.

Données utiles $U_{\max} = 23{,}76$ V ; $I_{\max} = 0{,}89$ A ; $P_s = 1000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; longueur 795 mm ; largeur 220 mm ; rendement annoncé : 12 %

Surface éclairée : $S = 0{,}795 \times 0{,}220 = 0{,}175\ \text{m}^2$.

Puissance électrique maximale : $P_{\text{électrique}} = 23{,}76 \times 0{,}89 = 21$ W.

Puissance lumineuse reçue : $P_{\text{lumineuse}} = 1000 \times 0{,}175 = 175$ W.

$$\eta = \frac{23{,}76 \times 0{,}89}{1000 \times 0{,}795 \times 0{,}220} = 0{,}12$$

$\eta = 0{,}12 = 12\ \%$: la valeur du fabricant est confirmée.

PIÈGE
Garder les dimensions en millimètres, ou faire intervenir l'épaisseur de 25 mm. Seules la longueur et la largeur, converties en mètres, donnent la surface éclairée.

COMPRENDRE
$I_{\max}$ n'a que deux chiffres significatifs : le rendement s'écrit 12 %, comme sur la fiche technique.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.795×0.220 ≈ 0.1749

23.76×0.89 ≈ 21.1464

$\dfrac{23.76 \times 0.89}{1000 \times 0.795 \times 0.220}$ ≈ 0.1209057

7 Nommer et décrire le principe physique sur lequel repose le fonctionnement du radar.

Le radar exploite l'**effet Doppler** : lorsqu'un émetteur d'ondes et un récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, la fréquence de l'onde reçue diffère de la fréquence de l'onde émise.

Ici, l'onde émise par le radar se réfléchit sur le véhicule en mouvement et revient avec une fréquence modifiée.

Le décalage $|\Delta f|$ est proportionnel à la vitesse v du véhicule : le mesurer donne accès à v.

COMPRENDRE
Le facteur 2 de la relation du sujet vient de la réflexion : le décalage se produit une fois à l'aller, une fois au retour.

8 Indiquer, en justifiant, si la fréquence du signal reçu est inférieure, égale ou supérieure à celle du signal émis.

Le véhicule s'approche du radar : la distance entre eux diminue. Les fronts d'onde renvoyés sont plus resserrés, la longueur d'onde reçue est plus petite que celle émise.

Comme $f = \dfrac{c}{\lambda}$ avec c constante, la fréquence augmente.

La fréquence du signal reçu est **supérieure** à celle du signal émis.

PIÈGE
Répondre sans justification. Le sens du décalage se déduit du sens du mouvement : rapprochement, fréquence plus élevée ; éloignement, fréquence plus faible.

9 Déterminer si le panneau routier s'éclaire ou non lors du passage du véhicule.

Données utiles $|\Delta f| = 2010$ Hz ; $f_E = 24{,}125$ GHz ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; vitesse seuil : 25 km · h^{-1}

De $|\Delta f| = 2 \times f_E \times \dfrac{v}{c}$, on tire $v = \dfrac{c \times |\Delta f|}{2 \times f_E}$.

$$v = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 2010}{2 \times 24{,}125 \times 10^9} = 12{,}5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Conversion : $v = 12{,}5 \times 3{,}6 = 45{,}0$ km · h^{-1}.

$v = 45{,}0$ km · h^{-1} > 25 km · h^{-1} : le panneau s'éclaire et clignote.

PIÈGE
Oublier de convertir les gigahertz en hertz (1 GHz $= 10^9$ Hz), ou comparer des m · s^{-1} à des km · h^{-1}.

COMPRENDRE
La comparaison se fait avec la vitesse seuil de déclenchement (25 km · h^{-1}), pas avec la limite de 30 km · h^{-1}. Ici, les deux sont dépassées.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3.00 \times 10^8 \times 2010}{2 \times 24.125 \times 10^9}$ ≈ 12.49741

$\dfrac{3.00 \times 10^8 \times 2010}{2 \times 24.125 \times 10^9} \times 3.6$ ≈ 44.99067

10 Déterminer la durée maximale de clignotement du panneau routier possible pendant la nuit. Commenter.

Données utiles capacité de la batterie : $Q = 4000\ \text{mA} \cdot \text{h}$; $I_{\text{moyenne}} = 0{,}79\ \text{A}$

La capacité est la charge que la batterie peut débiter : $Q = I_{\text{moyenne}} \times \Delta t$, donc $\Delta t = \dfrac{Q}{I_{\text{moyenne}}}$.

Avec $Q = 4000\ \text{mA} \cdot \text{h} = 4{,}000\ \text{A} \cdot \text{h}$:

$$\Delta t = \frac{4{,}000}{0{,}79} = 5{,}1\ \text{h}$$

Commentaire : cette durée est plus courte qu'une nuit entière, mais le panneau ne clignote que quelques instants, au passage d'un véhicule trop rapide. Cinq heures de clignotement cumulé suffisent donc largement.

$\Delta t = 5{,}1$ h : autonomie suffisante pour la nuit.

PIÈGE
Diviser 4000 par 0,79 sans convertir les milliampères-heures : on obtiendrait plus de 5000 h. En gardant Q en $\text{A} \cdot \text{h}$ et I en ampères, la durée sort directement en heures.

COMPRENDRE
C'est une durée maximale : elle suppose une batterie complètement chargée par le panneau solaire pendant la journée.

À LA CALCULATRICE

