EXERCICE III – INSTALLATION D'UN PANNEAU ROUTIER (5 points)

Disposés à la sortie des écoles ou aux intersections dangereuses, les panneaux lumineux de signalisation peuvent avertir les conducteurs afin qu'ils ajustent leur vitesse en fonction des limitations en vigueur.



Source : d'après https://www.trafic.fr/0-signalisation-routiere-panneaux-renforces-leds.html

Cet exercice étudie divers aspects d'un panneau routier lumineux, de type A13a (danger « *endroit fréquenté par les enfants* »), qui a été installé à proximité d'un groupe scolaire. Il est alimenté par un panneau solaire disposant d'une batterie de stockage d'énergie et d'un radar de vitesse.

Données :

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.
- Célérité de la lumière : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m·s^{-1}.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- Puissance lumineuse du Soleil, atteignant la surface de la Terre par un ciel clair, par unité de surface : $P_s = 1000$ W·m^{-2}.
- Valeur de la vitesse limite dans la zone de danger : $v_{lim} = 30$ km·h^{-1}.
- L'émetteur émet une onde électromagnétique de fréquence : $f_E = 24{,}125$ GHz.
- Le décalage Δf en fréquence est donné par la relation (avec v la valeur de la vitesse du véhicule détecté) :

$$|\Delta f| = 2 \times f_E \times \frac{v}{c}$$

Partie A – Étude du panneau solaire

Le panneau de signalisation est alimenté par un ensemble de cellules photovoltaïques. Ces dernières sont constituées de silicium, un matériau semi-conducteur dont la bande de valence et la bande de conduction sont séparées par un travail d'extraction noté E_{gap} (**figure 1**).

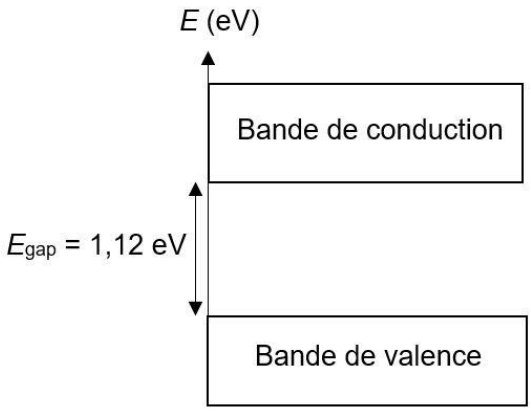


Figure 1 – Diagramme d'énergie du silicium

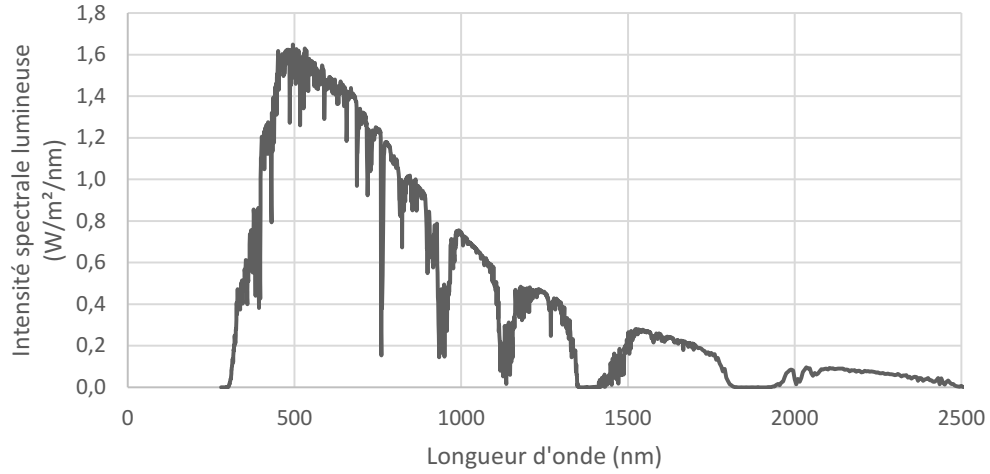


Figure 2 – Spectre d'émission solaire au niveau du sol

Source : https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/spectra-am1.5.html

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

2. Citer une autre application de ce phénomène.

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

4. Indiquer, en vous aidant de la **figure 2**, si l'utilisation de silicium est adaptée pour une cellule photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque, constitué d'une multitude de cellules, a les caractéristiques techniques suivantes :

Tension électrique U_{max}, à la puissance maximale	23,76 V
Intensité du courant électrique I_{max}, à la puissance maximale	0,89 A
Rendement	12 %
Dimensions du panneau (longueur × largeur × épaisseur)	795 × 220 × 25 (en mm)

Source : fiche technique https://www.jade-technologie.com/produits/panneaux-solaires-photovoltaique-verre-tedlar

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

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

Partie B – Cinémomètre

Le panneau de signalisation est doté d'un radar de détection. Il s'agit d'un cinémomètre qui mesure la valeur de la vitesse du véhicule qui s'approche du panneau et déclenche son allumage en fonction d'une vitesse seuil. Si la valeur de la vitesse du véhicule est supérieure à la vitesse seuil, les LED du panneau routier s'allument et clignotent. Le panneau est installé en amont d'une zone dont la valeur de la vitesse limite est 30 $km \cdot h^{-1}$. La valeur de la vitesse seuil a été fixée à 25 $km \cdot h^{-1}$.

Le radar est constitué d'un émetteur et d'un récepteur d'ondes électromagnétiques de célérité c. Un analyseur permet de mesurer la différence de fréquence Δf entre l'onde émise et l'onde reçue si un obstacle en mouvement se présente face au radar. Cette analyse permet ensuite d'obtenir la valeur de la vitesse v du véhicule détecté.

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

Un véhicule s'approche de l'école. Lors du passage de ce véhicule, la différence de fréquence mesurée entre l'onde émise et l'onde reçue est $|\Delta f| = 2010$ Hz.

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

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

Le panneau de signalisation est équipé d'une batterie pour stocker l'énergie fournie par le panneau photovoltaïque. La batterie utilisée a une capacité de 4000 mAh.

On suppose que l'intensité moyenne nécessaire pour que les LED du panneau routier s'allument et clignotent est $I_{\text{moyenne}} = 0{,}79$ A.

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