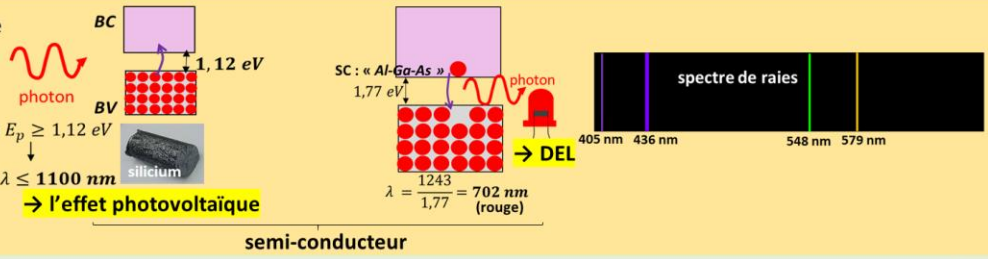
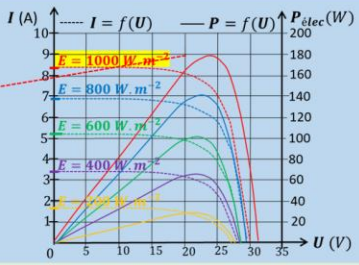
À retenir !

- savoir que **la lumière = flux de photons** sans masse et d'énergie (en J) : $E_p = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$
- savoir que l'effet photoélectrique est la conversion de l'énergie d'un photon en $W_{extraction}$ d'un électron du métal et en son E_c : $h\nu = W_{ex} + \dfrac{1}{2} m_{él} v_{él}^2$
- savoir interpréter en terme d'absorption/émission de photons :



- savoir calculer le rendement maximal d'un panneau solaire (surface S) pour un éclairement E donné à partir des courbes $P = f(U)$

$$\eta = \frac{P_{élec,max}}{P_{lumineuse}} = \frac{P_{élec,max}}{E \times S}$$



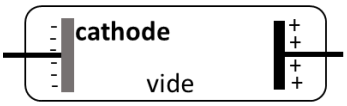
EXERCICES. LE MODÈLE DES PHOTONS POUR EXPLIQUER

Données pour tous les exercices :

$h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ J.s$ $\quad 1eV = 1{,}60 \times 10^{-19}\ J$ $\quad m_{électron} = 9{,}1 \times 10^{-31}\ kg$ $\quad e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ C$

Exercice 1. Effet photoélectrique avec du zinc

Le travail d'extraction d'un électron du zinc est de $3{,}3\ eV$.



cellule photoélectrique

1. Calculer la fréquence et la longueur d'onde seuils du zinc.
2. On éclaire le zinc par une radiation UV de longueur d'onde $\lambda = 0{,}25\ \mu m$. Calculer la vitesse maximale de sortie des électrons.
3. On éclaire le zinc par la lumière d'un arc électrique en interposant une plaque de verre qui absorbe les radiations de longueur d'onde inférieure à $0{,}42\ \mu m$. Un effet photoélectrique est-il alors observé ?

Exercice. Effet photoélectrique du césium

Les deux électrodes d'une cellule photoélectrique sont maintenues chargées grâce à un générateur afin de permettre aux électrons éjectés de la cathode (avec une vitesse quelconque) d'être ensuite accélérés par le champ électrique. Il circule alors un courant électrique dans le circuit comprenant la cellule photoélectrique. Le travail d'extraction d'un électron de césium est $W_{ex} = 1{,}92\ eV$.

1ère partie

On éclaire la cellule photoélectrique dont la cathode est en césium avec une radiation de longueur d'onde $\lambda_1 = 495\ nm$, puis avec une radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 720\ nm$.

1. Calculer la longueur d'onde λ_S qui correspond au seuil photoélectrique.
2. Vérifier que l'émission photoélectrique n'existe qu'avec une seule des deux radiations précédentes.

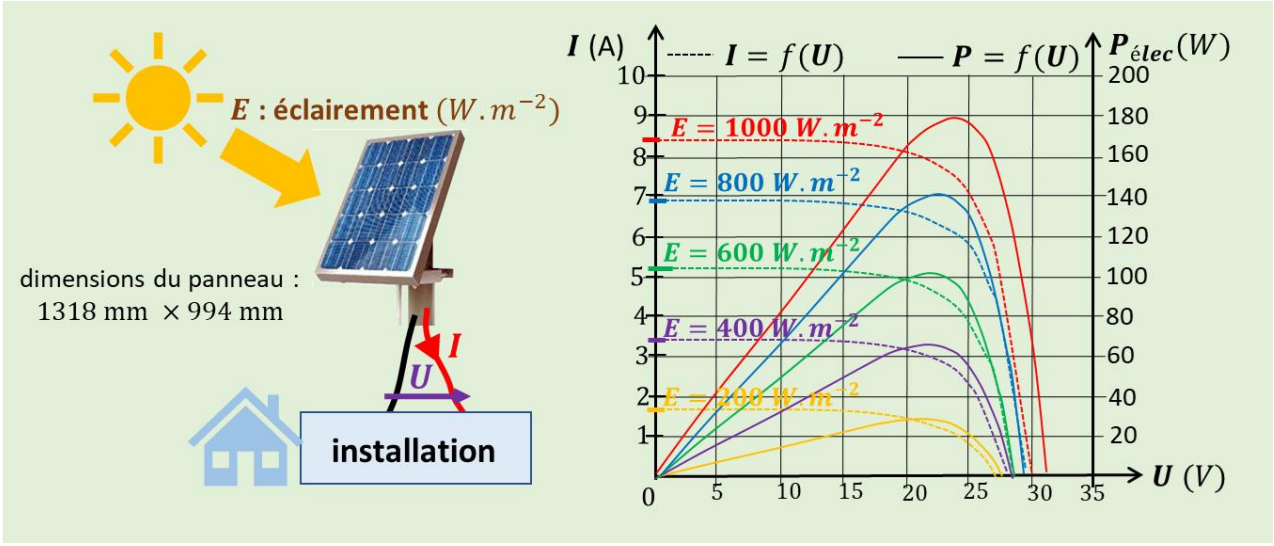
2ème partie

La cathode de césium est éclairée cette par une radiation de longueur d'onde $\lambda = 425\ nm$. La puissance lumineuse captée par la cathode est $P = 1{,}0\ W$. On mesure alors un courant électrique de sortie de la cellule d'intensité $I = 2{,}0\ mA$.

3. Calculer le nombre photons captés par seconde par la cathode de césium.
4. À l'aide de l'intensité électrique, déterminer le nombre d'électrons éjectés par seconde de la plaque.
5. Comparer les deux nombres calculés et conclure.

Exercice 3. Production électrique

Un particulier souhaite installer des panneaux photovoltaïques pour produire son électricité. Il fait le choix des panneaux dont le descriptif figure ci-dessous :



1. Calculer le rendement du panneau photovoltaïque pour un éclairement moyen d'environ $800\ W.m^{-2}$ constaté dans la région où habite ce particulier.
2. Sachant que l'ensoleillement moyen journalier est d'environ $3{,}2\ kWh.m^{-2}$ dans la région, déterminer le nombre de panneaux à installer pour produire la moitié des $5000\ kWh$ d'énergie consommée par le particulier en une année.

Exercice 4. Pompage dans le Sahel

Le pompage solaire consiste à élever l'eau d'un puits vers un réservoir, à l'aide d'une pompe à moteur électrique alimentée par des panneaux de cellules photovoltaïques. L'eau ainsi puisée peut par exemple couvrir les besoins domestiques d'une population ou bien permettre l'irrigation de cultures. Ces systèmes trouvent toute leur pertinence dans la mesure où la difficulté d'accéder à l'eau concerne souvent des régions où l'ensoleillement est fort. On s'intéresse à une station de pompage située dans le Sahel malien. Pour un bon fonctionnement, il est nécessaire d'adapter le débit de la pompe aux besoins en eau, et la hauteur totale *H* d'élévation de l'eau à la configuration des lieux.

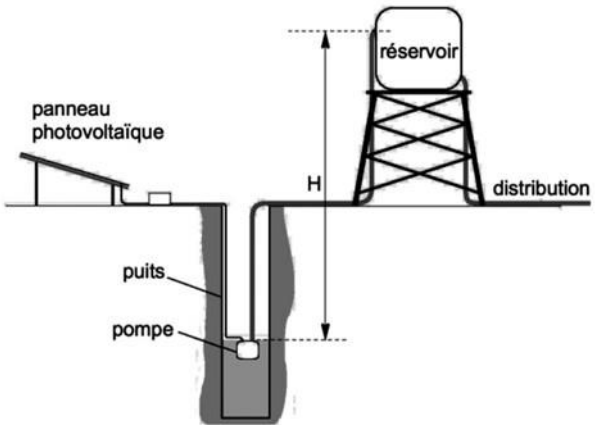


Schéma simplifié de l'installation

Le volume quotidien d'eau nécessaire est $V = 36\ m^3$ lorsque les besoins en eau sont importants comme au mois de janvier. Le moteur de la pompe fonctionne pendant les cinq heures les plus ensoleillées de la journée ; c'est sur cette durée que le volume d'eau quotidien attendu doit être élevé de la hauteur $H = 100$ m. En janvier, l'éclairement solaire n'est que d'environ 800 $W.m^{-2}$ pendant les heures les plus chaudes de la journée.

Données :

- 1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$ J
- constante de Planck : h = $6{,}63\times10^{-34}$ J.s
- masse volumique de l'eau : $\rho = 1{,}0\times10^{3}$ $kg.m^{-3}$
- intensité de la pesanteur : $g = 10$ $m.s^{-2}$
- pour soulever une masse m (en kg) d'une hauteur h (en m), il faut lui fournir une énergie E = mgh ou E est en Joule et g est l'intensité de la pesanteur en $m.s^{-2}$

Principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont constituées de matériaux semi-conducteurs. Quand elles sont éclairées, ces cellules se comportent comme un générateur. Dans les matériaux semi-conducteurs, les diagrammes énergétiques des électrons sont constitués de bandes : on distingue en particulier la bande de valence et la bande de conduction. Ces deux bandes sont séparées d'une énergie E_g appelée gap, caractéristique du matériau. Des électrons peuvent transiter de la bande de valence vers la bande de conduction en absorbant un photon d'énergie supérieure à E_g. C'est ce mécanisme qui donne naissance au courant électrique dans une cellule photovoltaïque.

La puissance du rayonnement solaire reçue par la cellule n'est pas intégralement convertible en puissance électrique. On considère que les photons d'énergie inférieure à E_g ne permettent pas la transition vers la bande de conduction. Il existe alors une longueur d'onde de coupure λ_C au-delà de laquelle il n'y a aucune conversion.

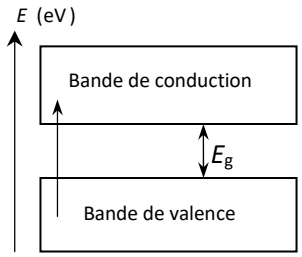


Diagramme d'énergie des électrons d'un matériau semi-conducteur. La flèche reliant les bandes de valence et de conduction désigne une transition énergétique par absorption d'un photon.

Les cellules les plus courantes sont constituées de silicium cristallin ou de silicium amorphe.

Caractéristiques des cellules photovoltaïques utilisables pour la station de pompage

types de cellules photovoltaïques	énergie de gap E_g en eV	rendement global de l'installation *	avantages	inconvénients
cellule en silicium monocristallin	1,12	6,0 %	très bon rendement durée de vie importante	coût très élevé
cellule en silicium polycristallin	1,12	5,0 %	bon rendement durée de vie importante bon rapport qualité / prix	rendement faible sous un faible éclairement
cellule en silicium amorphe	1,77	2,8 %	faible coût bon fonctionnement avec un éclairement faible	rendement faible en plein soleil courte durée de vie

* Le rendement global de l'installation tient compte du rendement des panneaux solaires et du rendement du dispositif de pompage.

1. Pour l'installation, on souhaite utiliser un matériau dont la longueur d'onde de coupure est λ_C = 1110 nm. Justifier le choix du silicium polycristallin parmi les matériaux présentés dans le tableau ci-dessus.
2. Calculer l'énergie nécessaire pour élever le volume d'eau quotidien de la hauteur H = 100 m.
3. Estimer la surface totale des panneaux solaires permettant de satisfaire aux besoins en eau au cours du mois de janvier où ces besoins sont importants au Sahel malien.
   Toutes les initiatives du candidat seront valorisées. La démarche suivie nécessite d'être correctement présentée.

Exercice 5. Détermination de la constante de Planck avec une DEL

Les diodes électroluminescentes (DEL) utilisées pour l'éclairage ou les écrans numériques peuvent servir à estimer la valeur de la constante de Planck h. Soumise à une tension électrique suffisante, une DEL laisse passer le courant électrique en émettant une lumière : l'énergie d'un électron se déplaçant dans la DEL est presque entièrement convertie en énergie d'un photon émis. Le passage d'un électron dans la DEL ne se produit que s'il possède une énergie minimale, appelée « énergie de seuil », $E_s = e \times U_s$ avec U_s la « tension de seuil » et e la charge électrique élémentaire. La lumière émise par une DEL est « quasi-monochromatique ». Dans le cadre de certaines hypothèses, on peut estimer que la longueur d'onde d'émission λ d'une DEL est liée à sa tension de seuil U_s par la relation traduisant la conversion d'énergie réalisée : $\frac{hc}{\lambda} = eU_s$.

Les mesures réalisées avec une DEL rouge donnent : $U_s = 1{,}88\ V$ et $\lambda = 650\ \text{nm}$.

1. En déduire la valeur expérimentale de la constante de Planck.
2. Comparer avec la valeur attendue $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ J.s$. Conclure sur les hypothèses formulées.