

Exercice 01 – Installation d'un panneau routier

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

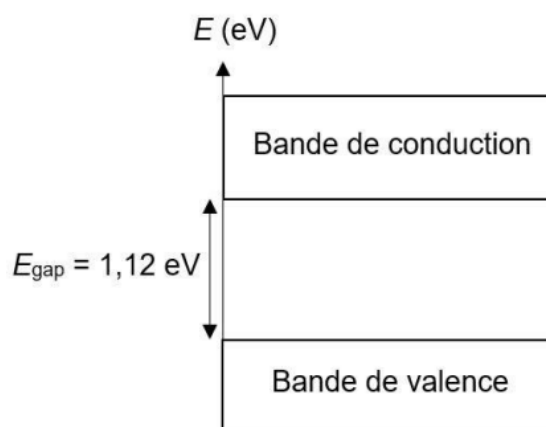


Figure 1 – Diagramme d'énergie du silicium

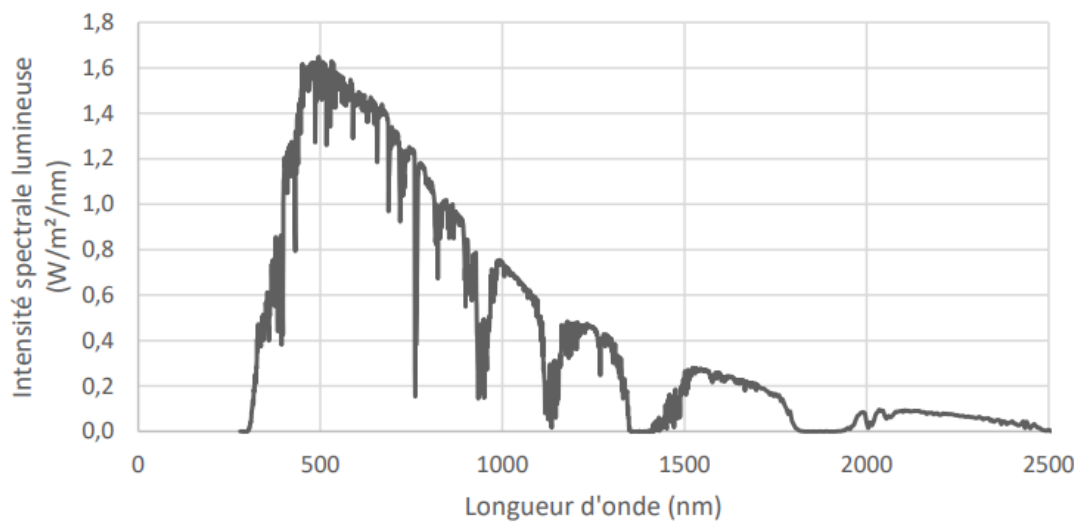


Figure 2 – Spectre d'émission solaire au niveau du sol

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-photovoltaïque-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 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. La valeur de la vitesse seuil a été fixée à $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

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 $|\Delta f| = 2010 \text{ Hz}$.

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 $I_{\text{moyenne}} = 0,79 \text{ A}$.

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

Exercice 02 – Utilisation du technétium

Les noyaux de technétium 99 radioactifs, notés $^{99}\text{Tc}^*$, sont émetteurs de rayonnements gamma (γ) utilisés dans les services de médecine nucléaire lors d'examen d'imagerie médicale tels que les scintigraphies osseuses. Produits dans le monde par uniquement dix réacteurs nucléaires, dont le réacteur Osiris du CEA en France, ces noyaux sont utilisés pour environ 500 000 examens médicaux par an en France. Dès 2014, le gouvernement français a lancé une alerte sur une pénurie durable à venir de noyaux de technétium 99, liée à la vétusté et l'arrêt programmé du fonctionnement de certains réacteurs nucléaires qui en assurent la production. Des mesures de gestion de cette pénurie ont été proposées par le Conseil National Professionnel de Médecine Nucléaire.

D'après Revue Médicale Suisse du 5 mars 2014

<https://www.sfen.org/rgn/fermeture-reacteur-osiris-risque-sante-publique/>

Les objectifs de cet exercice sont d'étudier la production et l'utilisation médicale du technétium, puis de discuter des pistes envisagées pour gérer la pénurie de cet isotope.

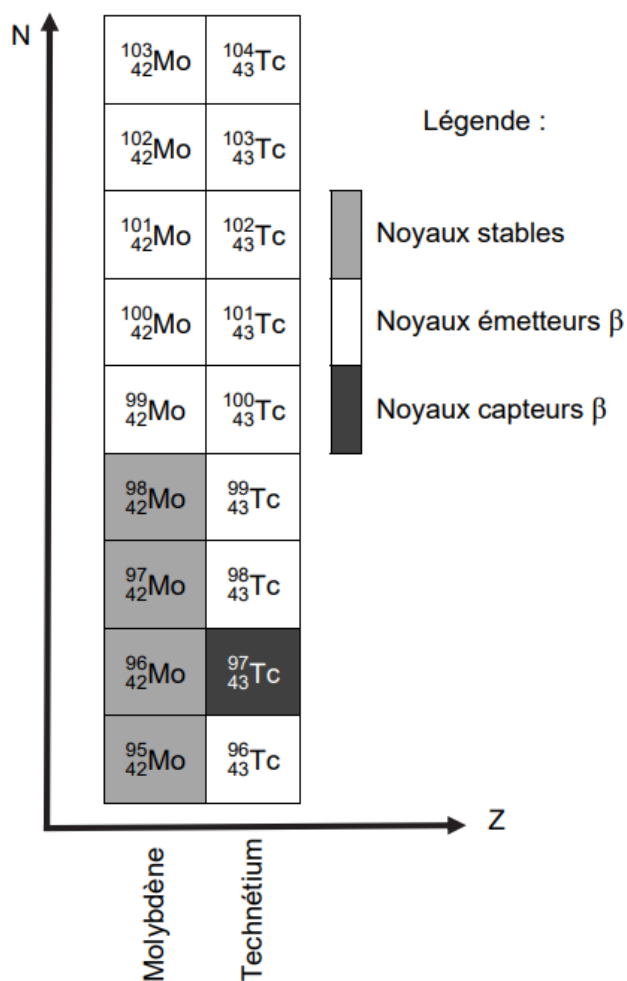
1. Production de technétium

Les noyaux de technétium 99 s'obtiennent par désintégration de type β des noyaux de molybdène 99, notés ^{99}Mo .

Les services de médecine nucléaire reçoivent des mélanges de noyaux molybdène 99 / technétium 99, ils bénéficient ainsi d'une source en technétium 99 pour quelques jours seulement.

Données :

- extrait du diagramme (N,Z) des éléments de numéros atomiques $Z = 42$ et $Z = 43$:



- temps de demi-vie :

Noyau de molybdène 99	Noyau de technétium 99
66 h pour la désintégration de type β	6 h pour l'émission de rayonnement gamma (γ)

Q1. Donner la composition du noyau de molybdène 99.

Q2. Rappeler la définition des termes « noyaux isotopes ». En déduire, à l'aide du diagramme (N,Z), deux isotopes stables du molybdène 99.

Q3. Écrire l'équation de la désintégration des noyaux de molybdène 99 en noyaux de technétium 99. Donner le nom de la particule émise lors de cette désintégration.

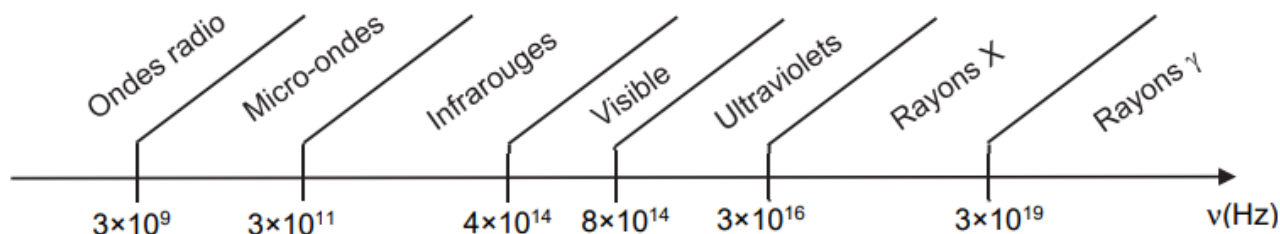
Q4. Après avoir rappelé la définition du temps de demi-vie, justifier que les services de médecine nucléaire bénéficient d'une source de technétium 99 pour quelques jours seulement.

2. Utilisation médicale de technétium en scintigraphie

Lors d'une scintigraphie, on injecte au patient une solution contenant une molécule marquée au technétium $^{99}\text{Tc}^*$ qui se fixe sur les os en moins de deux heures. Après l'injection de la solution, le patient attend donc deux à trois heures avant que les clichés soient réalisés à l'aide d'une caméra sensible aux rayons gamma, appelée gamma-caméra.

Données :

- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- énergie E d'un photon associé à un rayonnement de fréquence ν : $E = h \cdot \nu$;
- gamme de fréquences ν des différents types de rayonnements électromagnétiques :



- le technétium $^{99}\text{Tc}^*$ émet principalement des photons d'énergie : $E_{\text{Tc}} = 141 \text{ keV}$;
- le technétium $^{99}\text{Tc}^*$ a une demi-vie de 6 h ;
- l'activité de la quantité injectée de technétium $^{99}\text{Tc}^*$ au patient à la date $t = 0$, notée A_0 , est de l'ordre de 700 MBq pour un patient dont la masse est 80 kg ;
- on rappelle l'équation différentielle vérifiée par le nombre de noyaux radioactifs $N(t)$ d'un échantillon à l'instant t :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \cdot N(t) = 0$$

λ étant la constante radioactive du technétium $^{99}\text{Tc}^*$;

- l'activité d'une source radioactive, $A(t)$, s'exprime en becquerel (Bq) et a pour expression :

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

Q5. Vérifier que l'énergie des photons émis par le $^{99}\text{Tc}^*$ est compatible avec l'utilisation d'une gamma-caméra pour réaliser les clichés lors d'une scintigraphie.

Q6. Justifier l'utilisation d'un protège-seringue possédant un blindage à base de verre au plomb pour la réalisation de l'injection de la solution au patient.

Q7. Résoudre l'équation différentielle afin d'exprimer le nombre de noyaux radioactifs de technétium $^{99}\text{Tc}^*$ à l'instant t , noté $N(t)$, en fonction du nombre initial de noyaux radioactifs à l'instant $t = 0$, noté N_0 , et de la constante radioactive λ .

Q8. Montrer que l'expression de l'activité $A(t)$ du technétium $^{99}\text{Tc}^*$ en fonction de l'activité initiale A_0 injectée au patient et de la constante radioactive λ s'écrit $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

Q9. Montrer que la constante radioactive λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ sont reliés par la relation :

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

Tant que l'activité du technétium $^{99}\text{Tc}^*$ dans le corps du patient est supérieure à 3 % de l'activité initiale injectée, des mesures de précaution doivent être respectées par le patient (rester éloigné des femmes enceintes et des jeunes enfants, nettoyer soigneusement les toilettes après chaque utilisation, etc.).

Q10. Déterminer la durée pendant laquelle le patient doit respecter ces précautions en supposant que la diminution de l'activité du technétium $^{99}\text{Tc}^*$ dans le corps du patient n'est due qu'à la décroissance radioactive.

3. Pistes pratiques pour gérer les périodes de pénurie de technétium 99

Le technétium $^{99}\text{Tc}^*$ est obtenu par désintégration du molybdène 99 (^{99}Mo) issu de réactions de fission dans les réacteurs nucléaires. La fermeture progressive de certains réacteurs nucléaires entraîne une diminution de la production mondiale en molybdène 99.

Pour les scintigraphies cardiaques, il est possible d'utiliser des traceurs marqués au thallium 201 ($^{201}\text{Tl}^*$) à la place du technétium 99 ($^{99}\text{Tc}^*$).

Donnée :

➤ tableau comparatif des principales caractéristiques de deux radioéléments :

Noyau	Thallium 201	Technétium 99
Symbole	$^{201}\text{Tl}^*$	$^{99}\text{Tc}^*$
Temps de demi-vie	3,04 jours pour le rayonnement γ d'énergie 167 keV	6 h pour le rayonnement γ d'énergie 141 keV
Coût d'un examen cardiaque	0,8267 €/MBq	0,0378 €/MBq
Nombre d'injections lors de l'examen	1	2

Q11. Identifier, en justifiant, un avantage et un inconvénient au remplacement du technétium 99 ($^{99}\text{Tc}^*$) par du thallium 201 ($^{201}\text{Tl}^*$).