

CLASSE : Terminale

EXERCICE 2 : 11 points (**sujet complet**)

VOIE : Générale

ENSEIGNEMENT DE : PHYSIQUE-CHIMIE

DURÉE DE L'EXERCICE : 1h56 (**sujet complet**) **CALCULATRICE AUTORISÉE :** Oui « type collègue »

Ancienne annale adaptée au nouveau programme. La numérotation des questions du sujet d'origine a été conservée.

EXERCICE 2 : LA PHYSIQUE AU SERVICE DE LA MÉDECINE (11 points)

Échographie, radiographie, scanner ou IRM sont devenus des outils d'investigation médicale incontournables, grâce à de nombreux dispositifs de haute technologie qui reposent sur des principes de physique.

1. L'échographie

L'échographie, technique d'imagerie employant des ultrasons, est utilisée de façon courante en médecine humaine pour détecter, entre autres, la présence de calculs rénaux ou biliaires. Les calculs biliaires sont des dépôts solides (essentiellement des cristaux de cholestérol) qui se forment dans la vésicule (organe mou).

Les sondes utilisées pour l'échographie fonctionnent en émission et en réception d'ondes ultrasonores de fréquences comprises entre 1 et 15 MHz.

Lorsque les ondes ultrasonores émises rencontrent un calcul biliaire, elles sont en partie absorbées par les éléments qui composent le calcul biliaire et en partie réfléchies vers la sonde. L'écho qui en résulte est enregistré et donne des informations sur la position et la masse volumique des tissus rencontrés.



Figure 1 : calculs biliaires.
D'après *passportsante.net*

Données :

- Célérités des ultrasons dans différents milieux :

Milieu	Air	Eau	Tissu	Vésicule	Calcul biliaire
Célérité des ultrasons en $m \cdot s^{-1}$ à 25 °C	$3,46 \times 10^2$	$1,48 \times 10^3$	$1,40 \times 10^3$	$1,50 \times 10^3$	$1,54 \times 10^3$

- Intensité sonore de référence $I_0 = 1 \times 10^{-12} W \cdot m^{-2}$.

1.1. Donner une caractéristique d'une onde ultrasonore.

1.2. Comparer les valeurs de la célérité des ultrasons dans le calcul biliaire et dans l'air. Proposer une explication de cette différence.

1.3. Lors d'un examen médical, on réalise l'échographie de la vésicule d'un patient ; celle-ci, schématisée ci-dessous, fait apparaître un calcul biliaire (figure 2). Lors de cette échographie, une salve ultrasonore est émise par l'émetteur de la sonde à la date $t = 0 \mu\text{s}$ au point O.

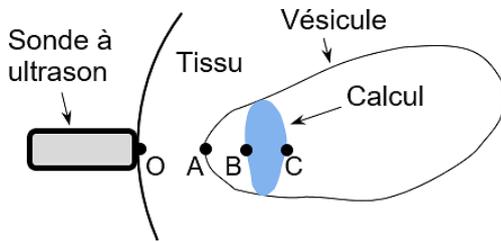


Figure 2 : schéma de l'échographie de la vésicule.

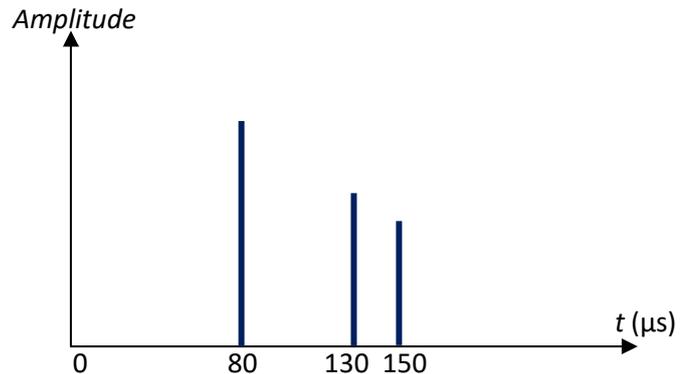


Figure 3 : enregistrement des signaux reçus par la sonde à ultrasons lors de l'échographie de la vésicule.

1.3.1. Expliquer l'origine des trois signaux présents sur cet enregistrement.

1.3.2. Déterminer une des dimensions du calcul biliaire accessible par cet examen.

1.4. L'onde émise par la sonde possède une intensité sonore $I = 1 \times 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

L'atténuation α de l'onde reçue par la sonde dépend de la distance totale qu'elle parcourt dans le milieu et de sa fréquence. On considère dans ce cas que $\alpha = 1 \text{ dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$.

1.4.1. Montrer que la valeur du niveau d'intensité sonore L de l'onde ultrasonore émise par la sonde est égale à 100 dB.

1.4.2. La vésicule étudiée se trouve à environ 5 cm sous la peau. Montrer par un calcul pourquoi il est plus judicieux d'utiliser un émetteur à ultrasons de fréquence $f_1 = 5,0 \text{ MHz}$ plutôt que $f_2 = 10 \text{ MHz}$.

1.4.3. Calculer la valeur de la longueur d'onde λ_1 de l'onde ultrasonore dans la vésicule pour une fréquence utilisée $f_1 = 5,0 \text{ MHz}$.

1.4.4. La taille des détails qu'on souhaite visualiser, appelée « résolution spatiale », doit être du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde ultrasonore émise par la sonde. L'échographie de la thyroïde, organe beaucoup plus petit que la vésicule et placé à environ 2 cm sous la peau, se fait de préférence avec une sonde émettant un signal de 10 MHz plutôt que 5,0 MHz. Expliquer ce choix sachant que la résolution spatiale souhaitée est de 0,2 mm pour cet organe.

2. La radiographie aux rayons X

Le tube à rayon X est constitué d'une cathode et d'une anode entourées par des enveloppes de protection.

L'extrémité de la cathode est constituée d'un filament de tungstène qui libère des électrons lorsqu'il est traversé par un fort courant électrique.

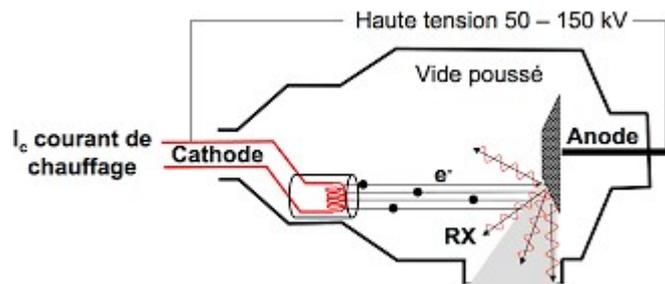


Figure 4 : schéma d'un tube à rayon X.

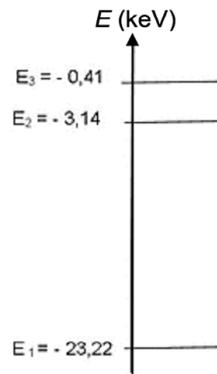
Ces électrons, accélérés par une forte

tension électrique, se déplacent vers l'anode, plaque métallique en rhodium. Certains atomes de

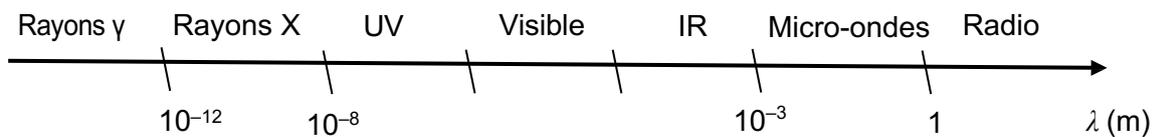
rhodium de cette plaque sont alors excités puis regagnent leur état fondamental tout en libérant un photon associé à un rayonnement X (noté RX, la figure 4 représentant le schéma de fonctionnement d'un tube à rayon X).

Données :

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s.
- La valeur de la vitesse de la lumière c dans le vide est supposée connue du candidat.
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J.
- $1 \text{ pm} = 10^{-12}$ m.
- Le noyau de l'atome de rhodium a pour symbole : ${}^{103}_{45}\text{Rh}$
- Diagramme simplifié des niveaux d'énergie (en keV) du rhodium :



- Spectre des ondes électromagnétiques :



2.1. Transition énergétique de l'atome de rhodium et production de rayon X.

- 2.1.1. Donner la composition du noyau de l'atome de rhodium.
- 2.1.2. Reproduire sur votre copie le diagramme simplifié des niveaux d'énergie du rhodium et y représenter par des flèches toutes les transitions énergétiques au sein de l'atome pouvant s'accompagner de l'émission d'un photon associé à un rayonnement.
- 2.1.3. L'énergie d'un photon libéré lors d'une de ces transitions est $E_\beta = 3,65 \times 10^{-15}$ J. Identifier cette transition parmi celles proposées précédemment. Justifier.
- 2.1.4. Déterminer la valeur de la longueur d'onde du rayonnement associé à cette transition. Ce résultat est-il cohérent avec le domaine de fonctionnement de l'appareil ?

2.2. Absorption des rayons X.

Une radiographie aux rayons X fait apparaître des surfaces claires ou sombres en fonction de la nature des tissus traversés et de l'absorption du rayonnement.

L'absorption d'un milieu peut s'évaluer en comparant φ_0 la puissance surfacique entrant dans le milieu à φ la puissance surfacique sortant du milieu ; la puissance surfacique est la puissance par unité de surface, elle s'exprime en $W \cdot m^{-2}$.

La couche de demi-absorption (ou *CDA*) d'un tissu correspond à l'épaisseur (exprimée en cm) pour laquelle la moitié de la puissance surfacique incidente φ_0 des rayons X a été absorbée. Elle permet de définir le coefficient d'absorption μ d'un tissu, par la relation :

$$\mu = \frac{\ln 2}{CDA}$$

avec μ en cm^{-1} et $\ln 2$ le logarithme népérien de 2.

La **figure 5** ci-après montre l'évolution du coefficient d'absorption μ pour divers tissus de masses volumiques ρ différentes, en fonction de l'énergie E du photon associé au rayonnement X.

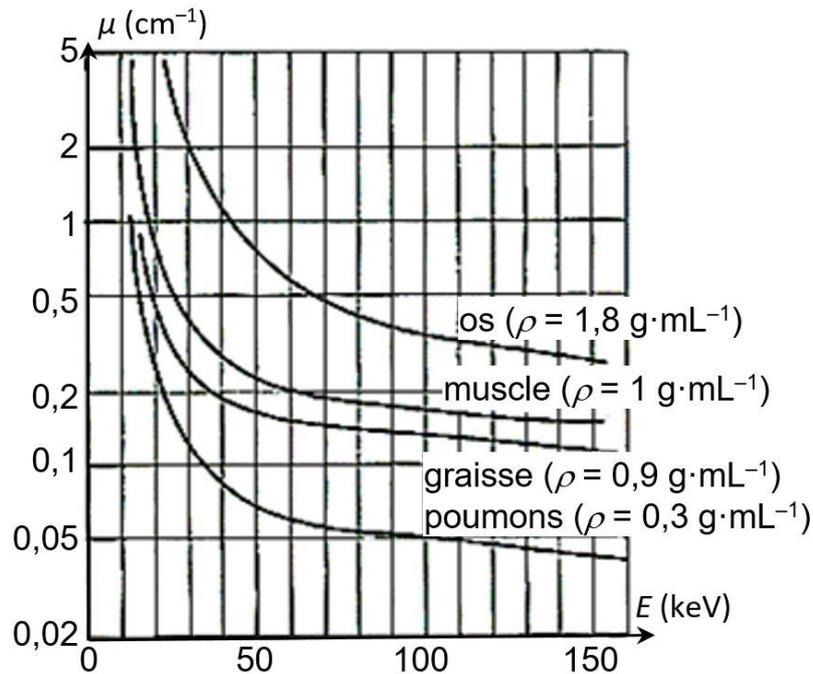


Figure 5 : évolution du coefficient d'absorption μ .

- 2.2.1. Analyser qualitativement l'influence de la masse volumique des tissus traversés et de l'énergie des photons sur la valeur du coefficient d'absorption μ .
- 2.2.2. Calculer, puis comparer la *CDA* d'un os à celle des poumons pour $E = 70 \text{ keV}$. Comment peut-on interpréter ce résultat ?