Antilles / Guyane 2020
CORRECTION Yohan Atlan © https://www.vecteurbac.fr/

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 collège »

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

1. L'échographie

1.1.

Une onde sonore est une onde mécanique qui se propage dans un milieu matériel sans transport de matière, mais avec transport d'énergie.
Les ondes sonores sont des ondes longitudinales.

1.2.

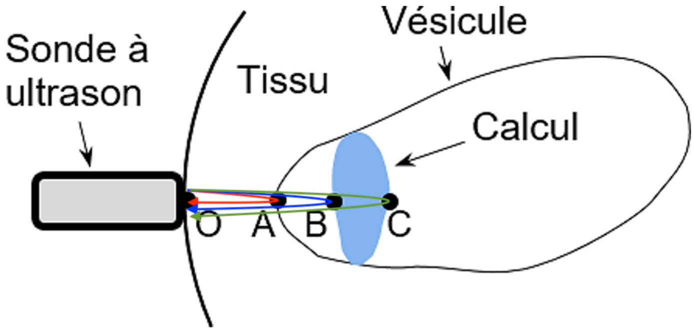
$$\frac{c_{\text{calcul biliaire}}}{c_{\text{air}}} = \frac{1{,}54 \times 10^3}{3{,}46 \times 10^2}$$
$$\frac{c_{\text{calcul biliaire}}}{c_{\text{air}}} = 4{,}45$$
$$c_{\text{calcul biliaire}} = 4{,}45 \times c_{\text{air}}$$

La célérité des ultrasons dans le calcul biliaire est 4,45 fois plus grande que la célérité des ultrasons dans l'air.
L'onde se transmet de proche en proche. Or les molécules sont plus proches dans un solide que dans un gaz.
Cette différence peut expliquer que la célérité des ultrasons dans le calcul biliaire est plus grande que la célérité des ultrasons dans l'air.

1.3.

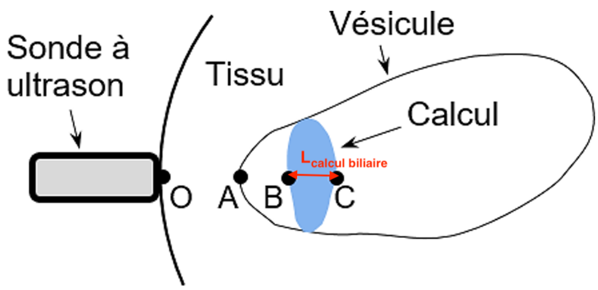
1.3.1.

A chaque changement de milieu, une partie de l'onde est transmise et l'autre est réfléchie.
Les trois signaux présents sur cet enregistrement correspondent aux ondes réfléchies, respectivement aux points A, B et C.



1.3.2.

Le deuxième signal est reçu pour t_2=130 µs : c'est le temps qu'il a fallu à l'onde pour faire un aller-retour entre O et B.
Le troisième signal est reçu pour t_3=150 µs : c'est le temps qu'il a fallu à l'onde pour faire un aller-retour entre O et C.
$\tau = t_3 - t_2$: est le temps qu'il a fallu à l'onde pour faire un aller-retour dans le calcul biliaire soit une distance $2L_{\text{Calcul}}$.



$$c_{\text{calcul biliaire}} = \frac{2L_{\text{calcul biliaire}}}{\tau}$$
$$\frac{2L_{\text{calcul biliaire}}}{\tau} = c_{\text{calcul biliaire}}$$

$$L_{\text{calcul biliaire}} = \frac{c_{\text{calcul biliaire}} \times \tau}{2}$$
$$L_{\text{calcul biliaire}} = \frac{1{,}54 \times 10^{3} \times (150 \times 10^{-6} - 130 \times 10^{-6})}{2}$$
$$L_{\text{calcul biliaire}} = 1{,}54 \times 10^{-2}\,\text{m}$$
$$L_{\text{calcul biliaire}} = 1{,}54\ \text{cm}$$

1.4.

1.4.1.

$$L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$
$$L = 10\log\left(\frac{1 \times 10^{-2}}{1 \times 10^{-12}}\right)$$
$$L = 100\ \text{dB}$$

1.4.2.

D'après l'énoncé : « 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 α = 1 dB·cm^{-1}·MHz^{-1}. »

Remarque : par analyse dimensionnel on trouve la formule

$$\alpha = \frac{A}{d \times f}$$

$$\frac{A}{d \times f} = \alpha$$
$$A = \alpha \times d \times f$$

Calculons l'atténuation dans les deux cas :

$$A_1 = \alpha \times d \times f_1$$
$$A_1 = 1 \times 5 \times 5{,}0$$
$$A_1 = 25\ \text{dB}$$

$$A_2 = \alpha \times d \times f_2$$
$$A_2 = 1 \times 5 \times 10$$
$$A_2 = 50\ \text{dB}$$

Nous cherchons à recueillir le signal le moins atténué. C'est pourquoi il est plus judicieux d'utiliser un émetteur à ultrasons de fréquence f_1 = 5,0 MHz plutôt que f_2 = 10 MHz.

1.4.3.

$$c_{\text{Vésicule}} = \frac{\lambda_1}{T} = \lambda_1 \times f_1$$
$$\lambda_1 \times f_1 = c_{\text{Vésicule}}$$
$$\lambda_1 = \frac{c_{\text{Vésicule}}}{f_1}$$
$$\lambda_1 = \frac{1{,}50 \times 10^{3}}{5{,}0 \times 10^{6}}$$
$$\lambda_1 = 3{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

1.4.4.

Calculons la longueur d'onde de l'onde ultrasonore émise par la sonde (l'émission se fait dans le tissu) pour un signal de 10 MHz :

$$\lambda_{10} = \frac{c_{Tissu}}{f_{10}}$$
$$\lambda_{10} = \frac{140 \times 10^3}{10 \times 10^6}$$
$$\lambda_{10} = 1{,}4 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}$$
$$\lambda_{10} = 1{,}4\ \mathrm{mm}$$

Calculons la longueur d'onde de l'onde ultrasonore émise par la sonde (l'émission se fait dans le tissu) pour un signal de 5 MHz :

$$\lambda_5 = \frac{c_{Tissu}}{f_5}$$
$$\lambda_5 = \frac{140 \times 10^3}{5 \times 10^6}$$
$$\lambda_5 = 2{,}8 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}$$
$$\lambda_5 = 2{,}8\ \mathrm{cm}$$

La « résolution spatiale », doit être du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde ultrasonore émise par la sonde. La résolution spatiale souhaitée est de 0,2 mm pour cet organe, la longueur d'onde la plus proche est celle émise pour un signal de 10 MHz.

Calculons l'atténuation dans les deux cas :

$$A_{10} = \alpha \times d \times f_{10}$$
$$A_{10} = 1 \times 2 \times 10$$
$$A_{10} = 20\ \mathrm{dB}$$

$$A_5 = \alpha \times d \times f_5$$
$$A_5 = 1 \times 2 \times 5$$
$$A_5 = 10\ \mathrm{dB}$$

Même si l'atténuation est deux fois plus importante pour un signal de 10 MHz que 5,0 MHz, on préfèrera privilégier la résolution pour pouvoir distinguer les détails.

2. La radiographie aux rayons X

2.1.

2.1.1.

D'après les données : le noyau de l'atome de rhodium a pour symbole : $^{103}_{45}\mathrm{Rh}$

Le noyau de l'atome de rhodium est composé de :

- 45 Protons
- 103 – 45 = 58 neutrons

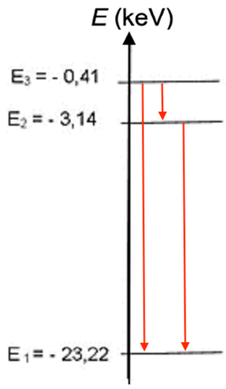
Remarque : un noyau ne contient pas d'électrons.

2.1.2.

On représente une émission par une flèche descendante.

Les transitions possibles sont :

- E_3 à E_1
- E_3 à E_2
- E_2 à E_1



2.1.3.

Le diagramme donne les niveaux d'énergies en eV.

1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$ J

$$E_\beta = \Delta E = \frac{3{,}65 \times 10^{-15}}{1{,}60 \times 10^{-19}}$$

$$E_\beta = \Delta E = 2{,}281 \times 10^4 \text{ eV}$$
$$E_\beta = \Delta E = 22{,}81 \times 10^3 \text{ eV}$$
$$E_\beta = \Delta E = 22{,}81 \text{ keV}$$

$$E_3 - E_2 = -0{,}41 - (-3{,}14)$$
$$E_3 - E_2 = 2{,}73 \text{ keV}$$

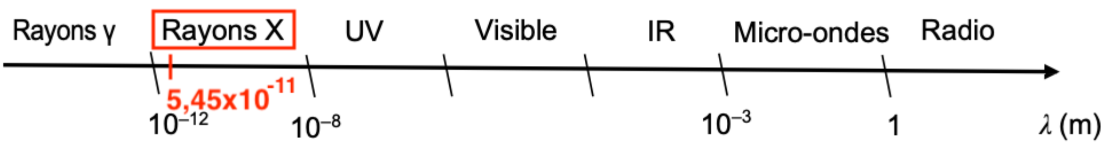
$$E_3 - E_1 = -0{,}41 - (-23{,}22)$$
$$E_3 - E_1 = 22{,}81 \text{ keV}$$
$$E_2 - E_1 = -3{,}14 - (-23{,}22)$$
$$E_2 - E_1 = 20{,}08 \text{ keV}$$

$E_\beta = E_3 - E_1$: L'énergie d'un photon libéré lors de la transition $E_\beta = 3{,}65\times10^{-15}$ J correspond au passage du niveau 3 au niveau 1.

2.1.4.

$$\Delta E = \frac{h \times c}{\lambda}$$
$$\lambda = \frac{h \times c}{\Delta E}$$
$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^8}{3{,}65 \times 10^{-15}}$$
$$\lambda = 5{,}45 \times 10^{-11} \text{ m}$$

- Spectre des ondes électromagnétiques :



D'après l'énoncé : « tout en libérant un photon associé à un rayonnement X ». Le rayonnement émis est un rayon X : ce résultat est cohérent avec le domaine de fonctionnement de l'appareil.

2.2.

2.2.1.

Pour une énergie donnée, lorsque la masse volumique des tissus traversés augmente, le coefficient d'absorption μ augmente.

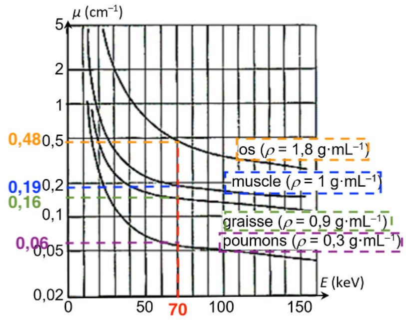


Figure 5 : évolution du coefficient d'absorption *μ*.

2.2.2.

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

$$\mu \times \mathrm{CDA} = \mathrm{v}$$

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

Calculons la CDA d'un os

$$\mathrm{CDA_{os}} = \frac{\ln 2}{\mu_{\mathrm{os}}}$$

$$\mathrm{CDA_{os}} = \frac{\ln 2}{0{,}48}$$

$$\mathrm{CDA_{os}} = 1{,}44\ \mathrm{cm}$$

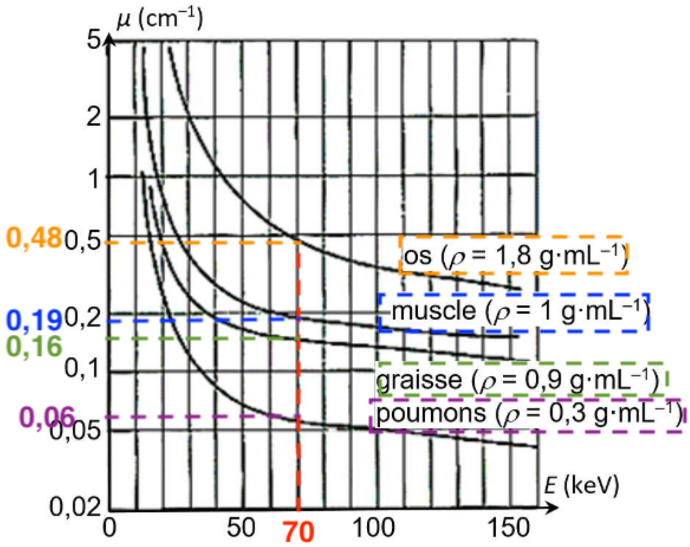


Figure 5 : évolution du coefficient d'absorption *μ*.

Calculons la CDA des poumons

$$\mathrm{CDA_{poumons}} = \frac{\ln 2}{\mu_{\mathrm{poumons}}}$$

$$\mathrm{CDA_{poumons}} = \frac{\ln 2}{0{,}06}$$

$$\mathrm{CDA_{poumons}} = 11{,}6\ \mathrm{cm}$$

Comparons la CDA d'un os à celle des poumons

$$\frac{\mathrm{CDA_{poumons}}}{\mathrm{CDA_{os}}} = \frac{11{,}6}{1{,}44}$$

$$\frac{\mathrm{CDA_{poumons}}}{\mathrm{CDA_{os}}} = 8$$

La CDA d'un os est 8 fois plus petite que celle des poumons : Les os absorbent 8 fois plus les rayons X que les poumons. Cette différence explique qu'une radiographie aux rayons X fait apparaitre des surfaces claires ou sombres en fonction de la nature des tissus traversés et de l'absorption du rayonnement.