

# PS80 : Sujet d'entraînement

Durée : 2 heures — Documents et calculatrices autorisées.

## 1 Principe de l'échographie

(Extrait du baccalauréat)

En médecine, l'échographie est un examen courant permettant l'observation "directe" d'organes internes. La technique utilise des ondes ultrasonores produites par une sonde jouant le rôle d'émetteur et de récepteur. Les fréquences utilisées dépendent des organes ou des tissus biologiques à sonder (2 MHz à 15 MHz).

Pour obtenir une image par échographie, on exploite entre autres les propriétés suivantes des ondes ultrasonores :

- la célérité et l'absorption de l'onde ultrasonore dépendent du milieu traversé ;
- lorsqu'elle change de milieu, une partie de l'onde incidente est réfléchi, l'autre est transmise. On dit qu'il y a réflexion partielle lorsqu'il y a changement de milieu aux interfaces tissulaires.

Connaissant les temps de retour des échos, leurs amplitudes et leurs célérités, on en déduit les informations sur la nature et l'épaisseur des tissus traversés. Un ordinateur compile toutes les informations et fournit les images de synthèse des organes sondés.

L'objectif de cet exercice est d'illustrer le principe de l'échographie linéaire unidimensionnelle par la mesure de l'épaisseur d'un obstacle. Pour cela, on place dans un récipient rempli d'eau une plaque de Plexiglas<sup>®</sup> d'épaisseur  $e$ . La plaque de Plexiglas<sup>®</sup> simule un muscle dense. L'eau simule les tissus moins denses (qui contiennent 65 à 90% d'eau).

Une sonde échographique constituée d'un émetteur et d'un récepteur est plongée dans l'eau (cf. Figure 1.a). Les signaux émis et reçus par la sonde sont très brefs : ils apparaissent comme des pics sur l'oscillogramme. On choisit l'origine des dates à l'instant de l'émission du signal.

L'oscillogramme de la Figure 1.b est obtenu sans la plaque de Plexiglas<sup>®</sup>. À l'instant  $t = 0$  s, on visualise le signal émis par la sonde. À l'instant  $t_R$ , on visualise l'écho réfléchi sur l'objet réflecteur, appelé écho de référence. La durée de balayage de l'oscilloscope est de  $20 \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}$ .

a) Déterminez la date  $t_R$ .

b) Montrez que la date  $t_R$  s'écrit en fonction de la distance  $D$  et de la célérité  $v$  des ultrasons dans l'eau :  $t_R = 2D/v$ .

L'oscillogramme de la Figure 1.c est obtenu avec la plaque de Plexiglas<sup>®</sup>.  $t_A$  et  $t_B$  sont les dates auxquelles la sonde détecte les ondes réfléchies par les faces de la plaque de Plexiglas<sup>®</sup>. Le nouvel écho de référence arrive à la date  $t'_R$ .

c) Les ultrasons se propagent-ils plus vite dans l'eau ou dans le Plexiglas<sup>®</sup> ? Justifiez sans faire de calculs, par une observation des deux oscillogrammes.

d) On note  $v'$  la vitesse de propagation des ultrasons dans le Plexiglas<sup>®</sup>. Montrez que la longueur du trajet du signal dans l'eau est  $L = 2(D - e)$ . Eprimez ensuite  $t'_R$  en fonction de  $D$ ,  $e$ ,  $v$  et  $v'$ .

e) Donnez l'expression de  $t_A$ , date à laquelle la sonde reçoit l'écho dû à la réflexion partielle au point A, en fonction de  $d$  et  $v$ .

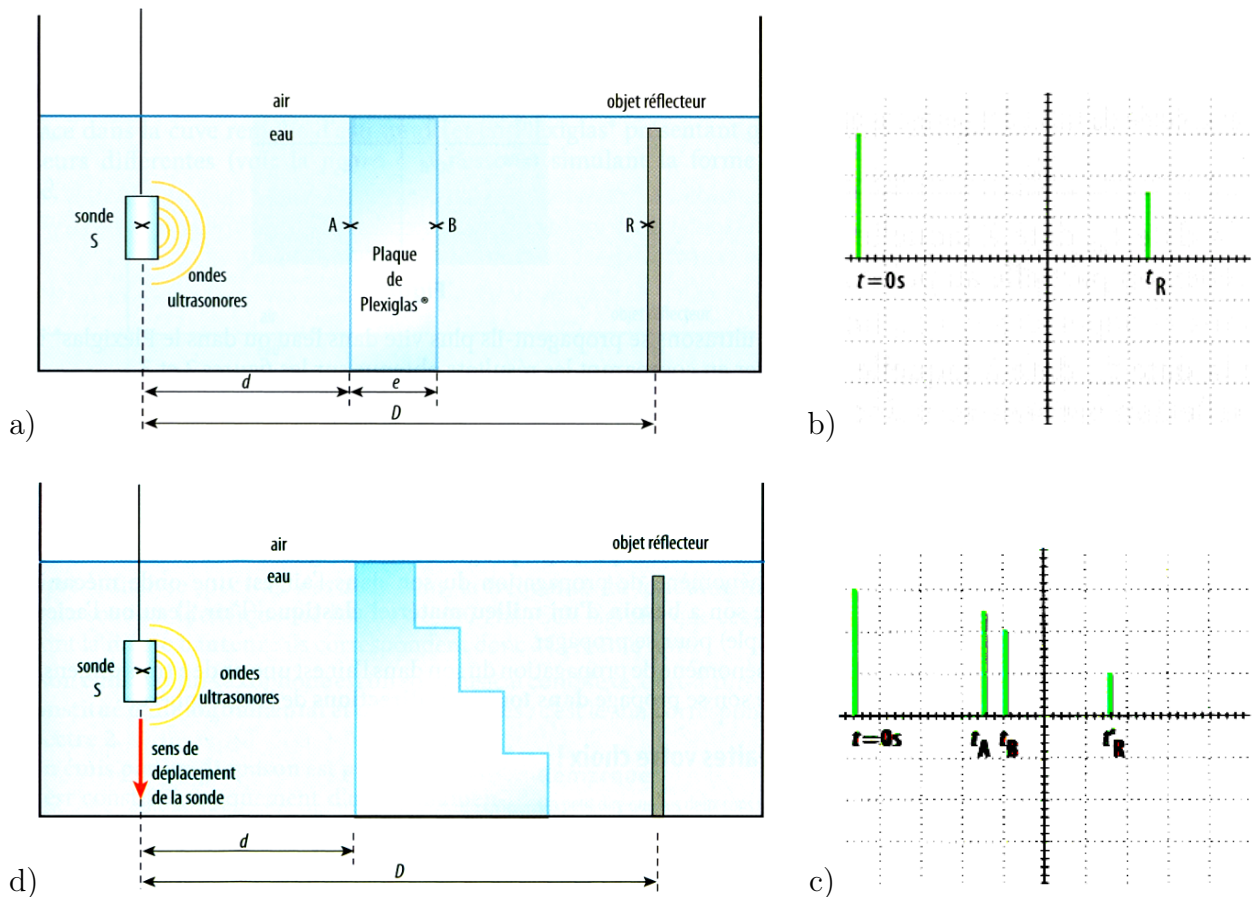


FIGURE 1 –

f) Donnez l'expression de  $t_B$ , date à laquelle la sonde reçoit l'écho dû à la réflexion partielle au point B, en fonction de  $d$ ,  $e$ ,  $v$  et  $v'$ .

g) Montrez que :

$$t_R - t'_R = \frac{2e}{v} - \frac{2e}{v'} \text{ (relation 1) ;}$$

$$t_A - t_B = \frac{2e}{v'} \text{ (relation 2)}$$

h) Montrez que l'épaisseur de la plaque a pour expression :

$$e = \frac{v}{2} (t_R - t'_R + t_B - t_A)$$

i) En vous aidant de l'oscillogramme et en prenant  $v = 1,43 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$  calculez l'épaisseur  $e$  de la plaque.

j) Exprimez  $v'$  en fonction de  $e$ ,  $t_A$  et  $t_B$  puis calculez sa valeur. Ce résultat est-il en accord avec la question c ?

On place maintenant dans la cuve remplie d'eau un objet en Plexiglas<sup>®</sup> présentant quatre épaisseurs différentes (cf. Figure 1.d) simulant l'épaisseur variable d'un muscle.

k) Comment varie  $t'_R$  à mesure que la sonde descend ? Justifiez.

l) Comment varie l'écart  $t_B - t_A$  entre les deux échos de réflexions, à mesure que la sonde descend ? Justifiez.

## 2 Teneur en dioxyde de soufre de l'air

Une méthode, la fluorescence UV, permet de déterminer la teneur en dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$  de l'air : les molécules de  $\text{SO}_2$  flottant dans l'air sont dans un état d'énergie fondamental  $E_0$ . Après avoir filtré l'air (les impuretés peuvent gêner la mesure), on l'aspire dans une enceinte appelée "analyseur". On envoie cet air dans une chambre de réaction, dans laquelle on émet des radiations de longueur d'onde  $\lambda_1 = 214 \text{ nm}$ , provenant d'une lampe à vapeur de zinc.

Les molécules de  $\text{SO}_2$  sont alors dans un niveau d'énergie  $E_1$ , instable, et se désécitent vers un état d'énergie  $E_2$  en émettant une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_2 > \lambda_1$ .

Ce rayonnement UV est capté par un photomultiplicateur qui donne une tension de sortie  $U_S$  directement proportionnelle à la concentration en dioxyde de soufre. Cette concentration  $[\text{SO}_2]$  est mesurée en "parties par milliard en volume", ou "ppbv", et on donne :  $1,00 \text{ ppbv} = 2,66 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  pour le  $\text{SO}_2$ .

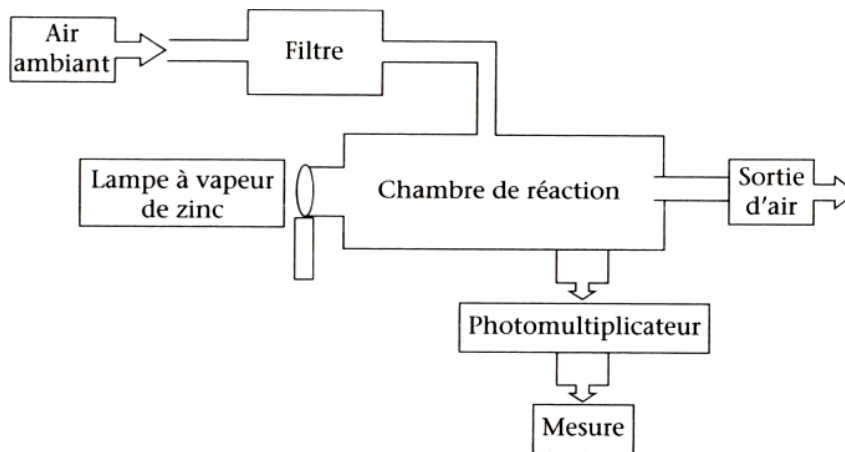


FIGURE 2 –

- Comment appelle-t-on l'état d'énergie  $E_1$  de la molécule de  $\text{SO}_2$  ?
- Placez sur un diagramme d'énergie les niveaux d'énergie  $E_0$ ,  $E_1$  et  $E_2$  (en justifiant).
- La transition entre les niveaux  $E_0$  et  $E_1$  correspond-elle à l'émission ou à l'absorption d'un photon ? Représentez-la par une flèche (notée "1") sur le diagramme. Calculez la différence d'énergie  $\Delta E_1 = E_1 - E_0$  correspondante (en eV).
- Représentez la transition entre les niveaux  $E_1$  et  $E_2$  par une flèche (notée "2") sur le diagramme. La variation d'énergie correspondante vaut  $\Delta E_2 = E_2 - E_1 = 3,65 \text{ eV}$ . Déterminez la longueur d'onde (dans le vide) du photon émis (en nm). À quel domaine spectral appartient cette radiation ?
- Pour un échantillon de concentration en dioxyde de soufre  $[\text{SO}_2]_0 = 100 \text{ ppbv}$ , la tension de sortie du multiplicateur vaut  $U_0 = 0,50 \text{ V}$ .  
On effectue la mesure pour un échantillon d'air prélevé dans une grande ville et on mesure  $U_1 = 0,15 \text{ V}$ . Déterminez la concentration  $[\text{SO}_2]_1$  de cet échantillon en ppbv.
- Le seuil d'admissibilité en  $\text{SO}_2$  pour l'être humain est de  $50 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . L'air de cette agglomération est-il dangereux pour une personne qui le respire ?

### 3 Spectre du Soleil

#### 3.1 Spectre de Fraunhofer

Joseph von Fraunhofer fut le premier, en 1814, à observer des raies sombres sur un fond coloré continu dans le spectre du Soleil. La Figure 3 reproduit un extrait du spectre observé, où les raies sombres sont notées : A, B, C, D, E, F1, F2, G, H et I.

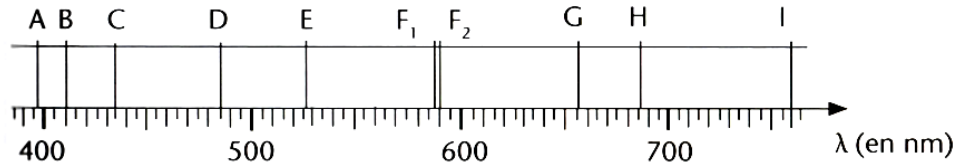


FIGURE 3 –

- Les raies observées sont-elles des raies d'absorption ou d'émission ?
- Le Tableau 1 donne les longueurs d'onde d'émission de quelques atomes. Quels éléments peut-on trouver dans les couches superficielles du Soleil ?

Hydrogène (H)	410,1	434,0	486,1	656,3		
Hélium (He)	447,2	471,3	492,2	501,6	587,6	667,8
Sodium (Na)	589,0	589,6				

TABLE 1 – Longueurs d'ondes (en nm) de certaines raies caractéristiques.

#### 3.2 Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène



Le diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène est représenté en Figure 4.

- Quel est le niveau d'énergie de l'état fondamental de l'atome d'hydrogène ?
- Calculez la variation d'énergie lorsque l'atome d'hydrogène passe de  $E_1 = -0,37 \text{ eV}$  à  $E_2 = -3,39 \text{ eV}$  et représentez la transition par une flèche sur le diagramme.
- Calculez la fréquence et la longueur d'onde dans le vide du photon correspondant à cette variation d'énergie.
- Ce photon est-il libéré ou absorbé par l'atome d'hydrogène lors de la transition étudiée ?
- À quelle raie du spectre de Fraunhofer (Figure 3) cela correspond-il ? À quelle série caractéristique du spectre de l'hydrogène cette radiation appartient-elle ?

FIGURE 4 –

### 3.3 Lampe à vapeur de sodium

Une lampe à vapeur de sodium est une lampe contenant du sodium à l'état gazeux auquel est appliquée une tension électrique. Cet apport d'énergie électrique augmente l'énergie des électrons de l'atome de sodium, lesquels libèrent des radiations monochromatiques d'énergie précise. La Figure 5 montre le diagramme énergétique de l'atome de sodium.

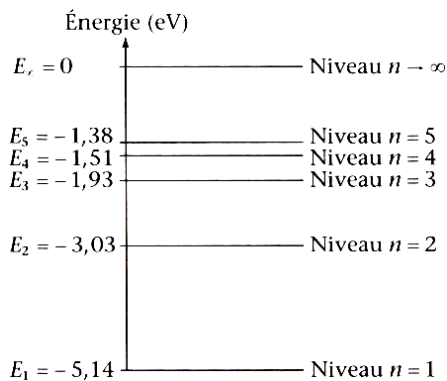


FIGURE 5 –

d) D'après le diagramme, quelle est la longueur d'onde la plus courte qui peut être émise par un atome de sodium (calculez la valeur de la longueur d'onde dans le vide) ? De quel type d'onde électromagnétique s'agit-il ?

**Références :** les exercices de ce sujet sont extraits des ouvrages suivants : *DéfiBAC, Physique-Chimie, Tle S* (Ed. Bordas), *ABC du BAC, Physique-Chimie spécifique et spécialité* (Ed. Nathan).

- Donnez la composition de l'atome de sodium  $^{23}_{11}\text{Na}$ .
- À quoi correspondent les niveaux d'énergie représentés sur le diagramme ci-contre ? La mécanique newtonienne permet-elle d'expliquer ces niveaux d'énergie ? Comment appelle-t-on ce type de mécanique ?
- La lampe à sodium émet une lumière jaune orangée, correspondant aux deux raies très rapprochées indiquées dans le Tableau 1. Calculez la variation d'énergie correspondant à l'émission de l'une ou l'autre de ces raies et représentez cette transition par une flèche dans le diagramme d'énergie. À quelle caractéristique de l'électron (non-indiquée sur le diagramme) est due l'émission d'un doublet, au lieu d'une seule raie ?