



DEVOIR SURVEILLÉ 2 – PHYSIQUE-CHIMIE

D.Malka – MPSI 2018-2019 – Lycée Jeanne d'Albret

06.10.2018

Durée de l'épreuve : 2h00

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 4 pages.

- Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous êtes amené à prendre.
- Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.
- La numérotation des exercices doit être respectée. Les résultats doivent être systématiquement encadrés.
- Les pages doivent être numérotées de la façon suivante : n°page courante/nombre total de pages.

Problème 1 – Autour du Thallium

En 1861, en étudiant par spectroscopie les boues résiduelles des chambres de plomb, réacteurs de fabrication de l'acide sulfurique, William Crookes observe la présence d'une raie verte intense inconnue dans le spectre d'émission. Le nom *thallium* est donné au nouvel élément chimique responsable de cette émission, en 1862, du grec *thallos* (rameau vert). Claude Auguste Lamy, la même année, isole le thallium métallique. Le thallium est dangereux poison !

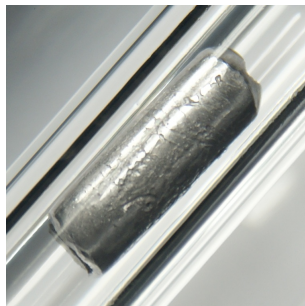


FIGURE 1 – Un échantillon de Thallium. Par *Hi-Res Images of Chemical Elements* — <http://images-of-elements.com/thallium.php>, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28869960>

Données :

- constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$,
- définition de l'électron-Volt : $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

1. On s'intéresse à l'isotope $^{205}_{81}\text{Tl}$ du thallium. Indiquer la composition en protons et en neutrons du noyau de cet isotope.
2. Donner la configuration électronique de l'atome d'aluminium Al ($Z = 13$) dans son état fondamental.
3. Le thallium appartient à la famille de l'aluminium et à la sixième période. Donner la configuration électronique de sa couche de valence.
4. En justifiant, proposer la formule de l'ion stable a priori formé par l'atome de thallium.

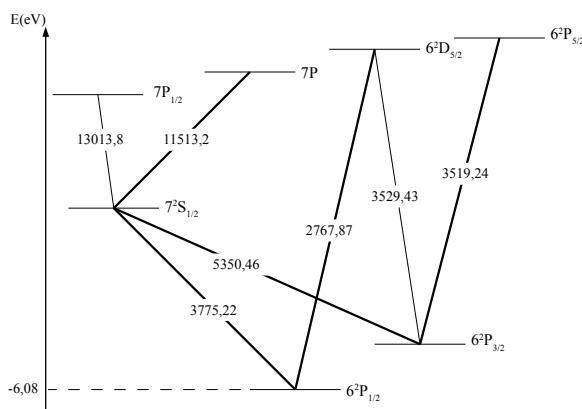


FIGURE 2 – Quelques transitions de l’atome de Thallium

5. La figure 2 fait apparaître quelques niveaux d’énergie électronique du thallium, le niveau fondamental étant $6^2P_{1/2}$ (la connaissance de la nomenclature des niveaux d’énergie n’est pas requise). Les lignes qui relient les niveaux d’énergie correspondent aux transitions d’un niveau à l’autre, les valeurs indiquées sur les lignes correspondant aux longueurs d’onde des raies d’émission correspondant, exprimées en angström ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$). L’intensité des raies est suggérée par l’épaisseur du trait.

- 5.1 Quelle est la transition (on précisera les niveaux de départ et d’arrivée) responsable de la raie observée par Crookes ?
- 5.2 Calculer en eV, de façon la plus précise possible, l’énergie du niveau noté $6^2P_{3/2}$.

Problème 2 – Principe de l’échographie

Les ultrasons sont des ondes sonores dont le domaine spectral s’étend de 20 kHz à 10 MHz. Ils sont utilisés pour réaliser des images médicales autorisant des diagnostics pour les organes internes du corps humain. Une sonde émettrice envoie des salves d’impulsions ultrasonores et détecte les échos engendrés par réflexions partielles sur les tissus du corps humain. La durée entre l’émission d’une impulsion et la réception de l’écho permet de localiser l’élément de tissu échogène. **Pour cela, on suppose que la célérité des ondes sonores à travers les tissus est environ celle à travers l’eau : $c_s \approx 1,5 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.** L’intensité de l’écho permet de déterminer la nature du tissu. Enfin, un balayage spatial permet de reconstituer une image bidimensionnelle de la région sondée.

1. Généralités sur les ondes ultrasonores

- 1.1 Rappeler en quoi consiste physiquement une onde sonore.
- 1.2 Les ondes ultrasonores sont-elles audibles par l’oreille humaine? Justifier.
- 1.3 Comparer la célérité des ondes ultrasonores dans l’eau à leur célérité dans l’air.

2. Modélisation des ondes émises par la sonde échographique

Les impulsions ultrasonores émises par la sonde dans le corps sont modélisées par la surpression

$$p(x = 0, t) = p_0 e^{-t^2/\tau^2} \cos(\omega t) \quad \text{avec} \quad \tau = 1,00 \mu\text{s}$$

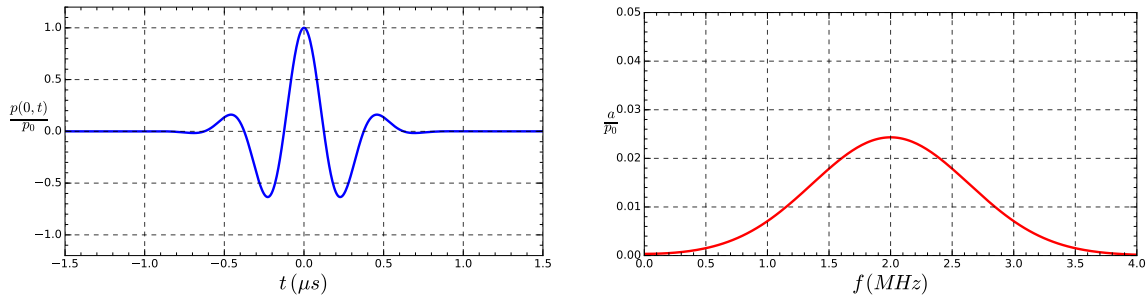
au niveau de l’émetteur (fig.3). On suppose que le signal se propage ensuite dans le corps sous la forme d’une onde progressive unidimensionnelle vers les x croissants à la célérité c_s . L’axe Ox est appelé ligne de tir de la sonde.

- 2.1 Le spectre est-il compatible avec une onde harmonique? Évaluer ω , la pulsation centrale de l’onde.
- 2.2 Donner le sens physique de τ .
- 2.3 Choisir parmi les expressions suivantes celle qui vous paraît le mieux décrire l’onde ultrasonore $p(x, t)$ émise par la sonde :

- (a) $p_0 \cos(\omega t - kx)$
- (b) $p_0 \cos(\omega t + kx)$
- (c) $p_0 e^{-t^2/\tau^2} \cos(\omega t - kx)$
- (f) $p_0 e^{-(t-x/c_s)^2/\tau^2} \cos(\omega t - kx)$
- (e) $p_0 e^{-t^2/\tau^2} \cos(\omega t + kx)$

Quelle que soit l’expression retenue, donner la valeur littérale puis numérique de k .





(a) Impulsion ultrasonore au niveau de la sonde ($x = 0$). (b) Spectre de l'impulsion ultrasonore. Ce spectre est qualitativement inchangé lors de la propagation de l'onde.

FIGURE 3 – Modélisation de l'impulsion ultrasonore

3. Principe de l'échographie

3.1 Propriétés acoustiques des milieux biologiques

Chaque tissu biologique est caractérisé par sa masse volumique ρ_0 et sa compressibilité χ . La célérité des ondes sonores dans un milieu vaut $c_s = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \chi}}$. Une autre propriété, appelée *impédance acoustique*

Z , vaut $Z = \sqrt{\frac{\rho_0}{\chi}}$: elle intervient dans la réflexion ou transmission d'une onde à l'interface entre deux milieux différents. **L'onde réfléchie est d'autant plus intense que la différence d'impédance entre les deux milieux est grande.**

3.1.1 Évaluer numériquement la compressibilité χ_{eau} (en Pa^{-1}) de l'eau.

3.1.2 En déduire son impédance acoustique Z_{eau} . Comparer à l'impédance des tissus mous (fig.4) et commenter.

Pour la suite, on donne plus précisément le tableau fig.4 des valeurs numériques des impédances acoustiques de quelques milieux biologiques :

Milieu	Air	Graisse	Tissu mou	Foie	Muscle	Os
$Z(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	400	$1,36 \times 10^6$	$1,62 \times 10^6$	$1,66 \times 10^6$	$1,71 \times 10^6$	$7,80 \times 10^6$

FIGURE 4 – Impédance acoustiques de quelques milieux biologiques

3.2 Étude d'un cas pratique

L'échographie fig.5a résulte, entre autres, de l'analyse des signaux suivant la ligne de tir Ox représentée. Le signal non interprété comme image est donné fig.5b.

3.2.1 La conversion du signal en image se fait par mesure de la valeur efficace des échos. Rappeler la définition de la valeur efficace d'un signal dans le cas d'un signal périodique et calculer son expression en fonction de p_1 pour la composante fondamentale $p_1 \cos(\omega t)$ de l'impulsion.

3.2.2 Déterminer numériquement la profondeur h du tissu noté X sur l'image.

3.2.3 Quelles sont les sources d'incertitude sur la mesure de h ? Estimer la résolution longitudinale de la sonde échographique.

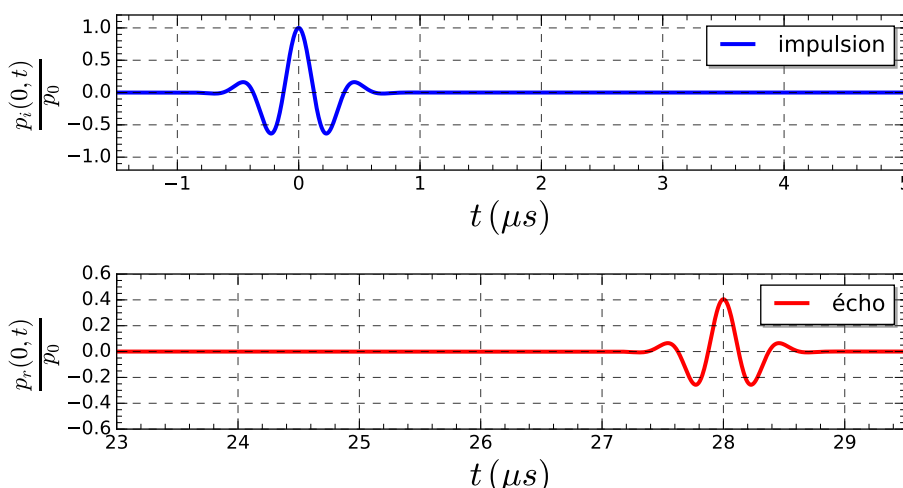
3.2.4 **Amplitude de l'écho et nature du tissu X.** En fait, lorsqu'elle parcourt les tissus biologiques, l'amplitude de l'onde est atténuée d'un facteur $e^{-\beta x}$. De plus, à l'interface entre le milieu de propagation et la cible échogène, l'amplitude A' de l'onde réfléchie et celle A sont liées par la relation :

$$A' = rA \quad \text{avec} \quad r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

avec Z_1 l'impédance du milieu incident et Z_2 l'impédance de la cible échogène. r est appelé *coefficient de réflexion*.



(a) Image obtenue par échographie. L’intensité du signal est codée en niveau de gris ; le noir correspondant à une intensité nulle de l’écho, le blanc à une intensité importante de l’écho.



(b) Impulsion ultrasonore et son écho engendré par le tissu X.

FIGURE 5 – Signal échographique et son traitement sous forme d’image

- 3.2.4.1 Calculer le coefficient de réflexion à l’interface *air/tissus mous*. Pourquoi faut-il intercaler un gel entre la sonde et la peau pour réaliser une échographie ?
- 3.2.4.2 Réécrire l’onde $p(x, t)$ émise par la sonde en tenant compte de l’atténuation.
- 3.2.4.3 Que représente physiquement la grandeur $d = \frac{1}{\beta}$? Application numérique pour $\beta = \alpha f$ où f est la fréquence centrale de l’onde et $\alpha \approx 5,75 \times 10^{-6} \text{ Hz}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. On garde ces valeurs numériques pour la suite.
- 3.2.4.4 Quel est votre diagnostic ? Le patient souffre-t-il :
 - d’un épanchement liquide (accumulation local de liquide ou de sang) ?
 - d’une calcification (dépôt anormal de calcium en dehors des os) ?
 - d’une poche gazeuse ?
 Justifier par un calcul et un raisonnement rigoureux.
- 3.2.4.5 Interpréter le phénomène d’*ombre acoustique* observée derrière le tissu X.

★★★★★FIN DE L’ÉNONCÉ★★★★★