

IMRT3 : DEVOIR 3 : 1213

Données :

nombre d'Avogadro : $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

célérité de la lumière : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

masse du proton : $m_p = 1,007 82 \text{ u}$

masse de l'électron : $m_e = 5,48 \times 10^{-4} \text{ u} = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$

masse atomique de l'iridium 192 : $191,962605 \text{ u}$

masse atomique du platine 192 : $191,961038 \text{ u}$

constante de Planck : $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

masse du neutron : $m_N = 1,008 66 \text{ u}$

Q1 : QCM: compléter le tableau par V pour Vrai et F pour Faux

1. Une onde sonore :

- a) se propage dans le vide à la célérité de 340 m.s^{-1} .
- b) peut se propager dans le vide ou dans un milieu matériel.
- c) se propage dans l'air à la célérité de 340 m.s^{-1} .
- d) se propage plus rapidement dans l'eau que dans l'air.
- e) ne peut pas se propager dans un solide.

2. Une onde sinusoïdale ultrasonore de fréquence $f = 2,0 \text{ MHz}$ se propageant à la vitesse de 340 m/s

- a) a une longueur d'onde de $0,17 \text{ mm}$
- b) a une longueur d'onde de $0,68 \text{ mm}$.
- c) a une longueur d'onde de $0,17 \text{ m}$.
- d) a une longueur d'onde de $1,7 \times 10^{-4} \text{ m}$.
- e) a une longueur d'onde de $0,17 \mu\text{m}$

3. Une onde acoustique de fréquence $f = 1,0 \text{ MHz}$ se propage dans un milieu musculaire (1) d'impédance $Z_1 = 1,64 \times 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, de masse volumique $\rho_1 = 1,04 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et de célérité $c = 1,58 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$ pénètre dans un milieu osseux (2) d'impédance $Z_2 = 6,60 \times 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ et de masse volumique $\rho_2 = 1,65 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Les coefficients d'atténuation linéique valent $\mu_1 = 26,2 \text{ m}^{-1}$ pour le milieu musculaire et $\mu_2 = 263 \text{ m}^{-1}$ pour le milieu osseux.

3.1. au changement de milieu de propagation :

- a) la fréquence de l'onde augmente.
- b) la célérité de l'onde diminue.
- c) la longueur d'onde augmente.
- d) la longueur d'onde diminue.
- e) la célérité de l'onde augmente.

3.2. au changement de milieu de propagation, en incidence normale :

- a) l'intensité de l'onde augmente.
- b) l'onde est totalement réfléchie.
- c) l'intensité de l'onde réfléchie est plus importante que l'intensité de l'onde incidente.
- d) l'intensité de l'onde transmise est égale à l'intensité de l'onde incidente.
- e) l'intensité de l'onde transmise est plus faible que l'intensité de l'onde incidente.

3.3. au changement de milieu de propagation, en incidence normale

- a) le coefficient de réflexion vaut 0,60.
- b) le coefficient de transmission est égal au coefficient de réflexion.
- c) le coefficient de transmission vaut 0,64.
- d) le coefficient de réflexion vaut 0,36.
- e) le coefficient de réflexion vaut 0,67.

3.4. une sonde envoie une salve d'ultrason dans un milieu constitué de 2,0 cm de muscle (1) puis de 3,0 cm d'os (2) ; la durée séparant l'émission de la salve et la réception de l'écho du à l'interface muscle/os vaut :

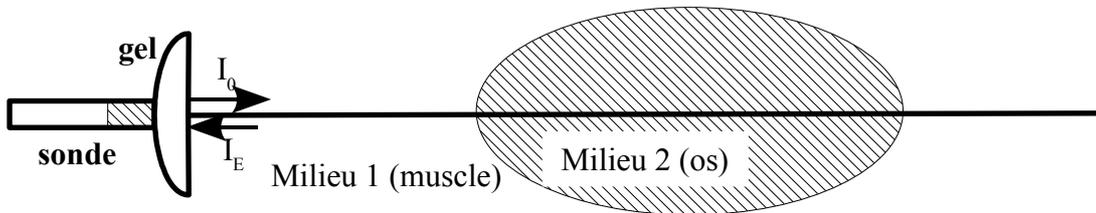
- a) 12,6 μ s
- b) 25,3 μ s
- c) 10,0 μ s
- d) 38,0 μ s
- e) $1,26 \times 10^{-5}$ s.

3.5. cette salve, d'intensité initiale (juste après l'entrée dans le milieu 1) I_0 , se réfléchit sur l'interface muscle/os ; l'intensité I_E de l'écho (juste avant la sortie du milieu 1) du à cette réflexion vaut :

- a) $0,59 I_0$
- b) I_0
- c) $0,13 I_0$
- d) $0,21 I_0$
- e) $0,36 I_0$.

3.6. Le rapport, en décibel, du signal d'entrée au signal de sortie, pour cette salve, vaut :

- a) 2,3 dB
- b) 8,9 dB
- c) 20 dB
- d) 6,7 dB
- e) 2 dB



V/F	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
a								
b								
c								
d								
e								

Q2 : Étude d'un circuit RLC

On désire étudier le comportement d'un circuit RLC série.

On dispose d'un générateur basse fréquence (GBF), d'un oscilloscope, d'un ampèremètre (A) et d'un voltmètre (V). on réalise le montage schématisé figure 1.

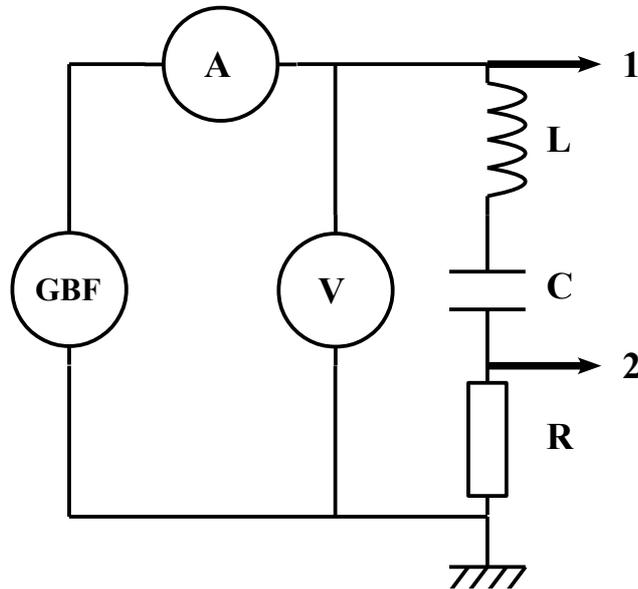
Données :

$$R = 2,00 \text{ k}\Omega$$

$$L = 1,00 \text{ H}$$

$$C = 1,00 \text{ }\mu\text{F}$$

Figure 1 ►



1. Le GBF produit une tension $u_g(t)$, exprimée en volts, telle que : $u_g(t) = 15 \cos(1000 \pi t)$

1.1. Calculer la période de cette tension.

1.2. Déterminer son amplitude.

1.3. Donner la valeur indiquée par le voltmètre.

1.4. On rappelle que l'impédance d'un circuit RLC série s'exprime par la relation :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L \omega - \frac{1}{C \omega}\right)^2}$$

1.4.a. Calculer l'impédance du circuit.

1.4.b. En déduire la valeur indiquée par l'ampèremètre.

2. On modifie maintenant la fréquence du GBF.

L'oscilloscope étant branché sur le circuit conformément aux indications fournies sur la figure 1, on obtient l'oscillogramme reproduit figure 2.

Données :

Voie 1 : sensibilité 5 V/division Voie 2 : sensibilité 5 V/division Base de temps : 5 ms/division

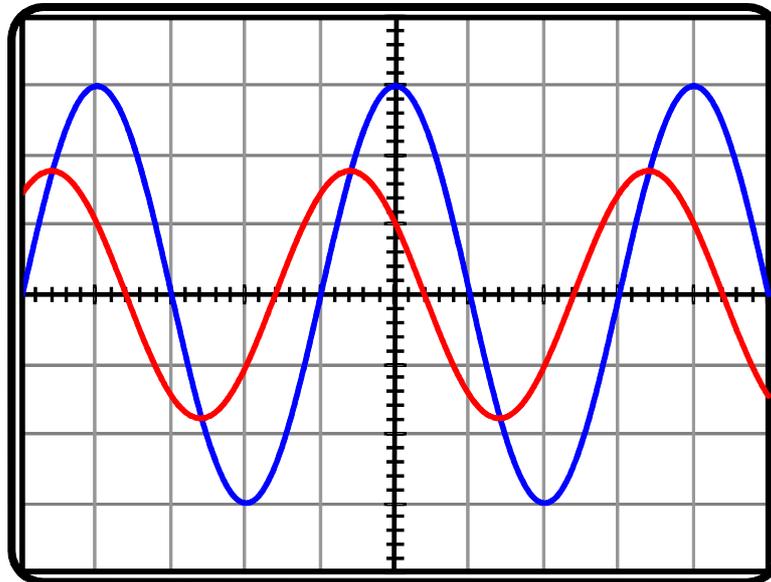


figure 2 ▲

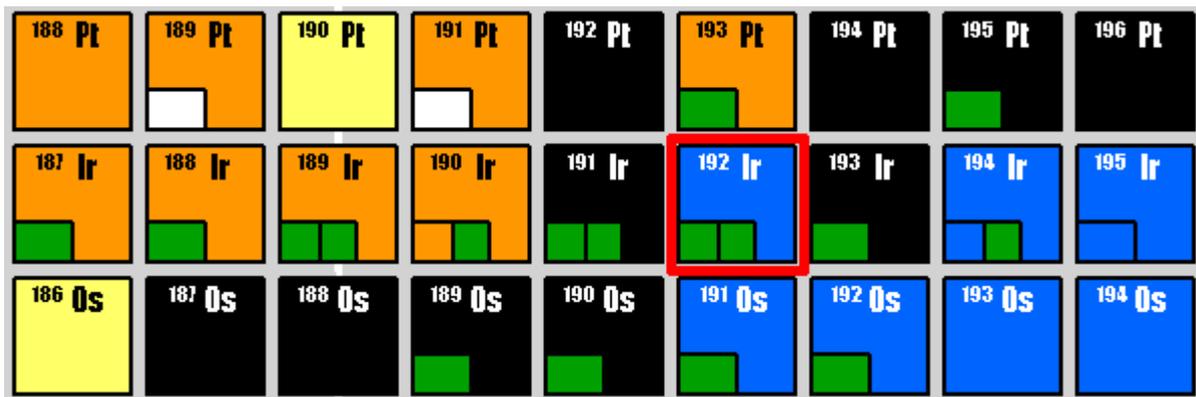
- 2.1. Mesurer la période et calculer la fréquence de la tension appliquée au circuit.
- 2.2. Identifier la courbe correspondant à la voie 1 ; justifier la réponse.
- 2.3. La tension aux bornes du dipôle R est en phase avec l'intensité : déterminer le déphasage de la tension appliquée au dipôle RLC par rapport à l'intensité du courant.
- 2.4. Mesurer l'amplitude de la tension aux bornes de la résistance ; en déduire l'amplitude de l'intensité du courant.
- 2.5. Donner l'expression de l'intensité du courant en fonction du temps.

3. On cherche maintenant à étudier le phénomène de résonance du circuit. On rappelle qu'à la résonance, l'impédance Z du circuit est minimale.

- 3.1. Retrouver, à partir de l'expression de Z , la relation qui permet de calculer la fréquence de résonance f_0 en fonction des caractéristiques du circuit.
- 3.2. Calculer la fréquence f_0 .
- 3.3. Que devient le déphasage mesuré à la question 2.3. à la fréquence de résonance ?
- 3.4. Donner la représentation de Fresnels correspondant à cette situation.

Problème : Curiethérapie.

figure 1 ▼



L'iridium $^{192}_{77}\text{Ir}$ est un radio élément utilisé en endocuriethérapie. La source d'iridium $^{192}_{77}\text{Ir}$ est constituée d'un fil de platine iridié (alliage de platine et de 20 % d'iridium) formant la substance active, placé dans un tube de platine pur, servant d'enveloppe

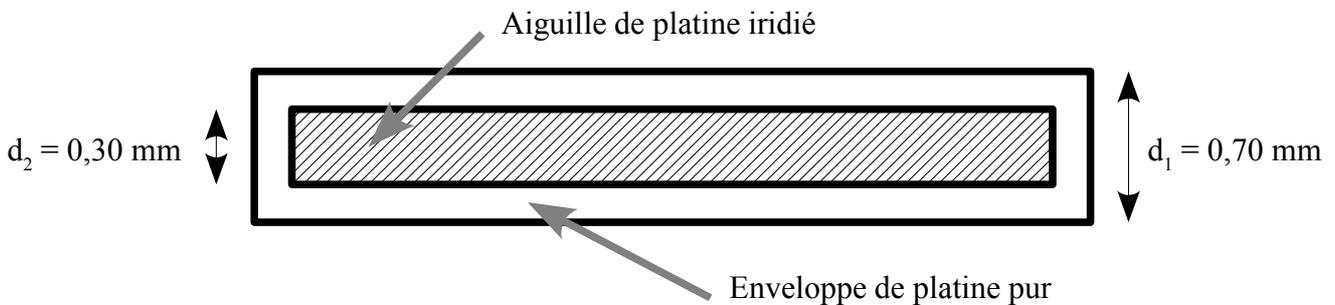


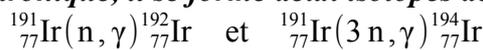
figure 2 ▲

1. L'élément Iridium.

- 1.1. Donner la structure électronique de l'élément iridium ; en déduire sa place classification périodique (voir figure 5)
- 1.2. L'élément iridium ne présente que deux nucléides stables, qui entourent le nucléide iridium 192 radioactif dans le diagramme {N,Z} ci-dessus (figure 1). Proposer une explication.
- 1.3. Expliquer également pourquoi les éléments platine et osmium présentent davantage de nucléides stables que l'iridium (en particulier, l'osmium 192 est stable, sa demi vie est supérieure à 10^{13} ans).

2. Préparation de la source

2.1. Pour fabriquer cette source on irradie un fil de platine iridié par un flux de neutron. Au cours de cette irradiation neutronique, il se forme deux isotopes de l'iridium selon les réactions



Donner les équations de ces transformations nucléaires.

2.2. Les isotopes formés sont radioactifs.

$$^{192}_{77}\text{Ir} \text{ a une demi-vie } T_1 = 74 \text{ j}$$

$$^{194}_{77}\text{Ir} \text{ a une demi-vie } T_2 = 19 \text{ h}$$

- 2.2.1. On compare les évolutions de deux échantillons d'activités identiques ($A_0 = 10 \text{ MBq}$) de chacun des deux isotopes de l'iridium pendant huit jours. Calculer l'activité finale de chaque échantillon.
- 2.2.2. Une source contient environ 50% de chaque isotope ; montrer qu'il suffit de stocker de cette source 8 jours pour "éliminer" l'iridium 194.

3. Désintégrations de l'Iridium 192.

L'Iridium 192 se désintègre par émission β^- dans 95% des cas et par capture électronique vers le premier état excité du noyau fils dans 5% des cas ; cette capture est alors accompagnée de l'émission d'un photon γ d'énergie $E = 690 \text{ keV}$ et de l'émission d'un photon X d'énergie $E' = 63 \text{ keV}$.

3.1.1. Donner l'équation de la désintégration β^- en précisant les lois de conservation utilisées.

3.1.2. Calculer l'énergie disponible (a priori) de cette désintégration.

3.2.1. Donner l'équation de la capture électronique.

3.2.2. Justifier l'existence de chacun des deux photons accompagnant la capture électronique.

3.2.3. Tracer le schéma de désintégration de la capture électronique (on peut prendre exemple sur le schéma de la figure 3 donné ci-après pour l'émission β^-).

4. Utilisation de l'Iridium 192 en curiethérapie.

Dans un modèle simplifié, on considère que l'Iridium 192 est uniquement radioactif β^- .

On donne le schéma de désintégration de l'Iridium 192 (figure 3), sur lequel figurent les états excités du noyau fils.

En exploitant ce schéma (figure 3) :

4.1.1. Expliquer pourquoi l'émission β^- est accompagnée de l'émission de plusieurs photons "gamma".

4.1.2. Justifier (quantitativement) les valeurs des énergies des principaux photons émis par la source radioactive.

E_γ en MeV	0,296 (28%)	0,308 (29%)	0,316 (83%)	0,468 (48%)	0,604 (8%)	0,612 (5%)
-------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------	------------

4.1.3. Montrer que l'énergie réellement disponible ne vaut que (au plus) 0,675 MeV

4.1.4. Expliquer pourquoi l'énergie cinétique des électrons émis est, dans la majorité des cas, inférieure à 0,675 MeV.

4.2. Calculer la longueur d'onde de la radiation due à l'émission des photons majoritaires.

4.3. Absorption du rayonnement β^- par l'enveloppe de platine.

On suppose que les électrons émis ont une énergie cinétique de 0,675 MeV.

4.3.1. Peut-on les considérer comme "relativistes" ? Justifier.

Le transfert d'énergie linéique, pour ces électrons de 0,675 MeV, vaut 3,42 keV / μm

4.3.2. Calculer longueur de la trajectoire parcourue par ces électrons et montrer que le malade est protégé de l'atteinte de tous les électrons émis par la source radioactive.

4.4. Absorption des photons.

La CDA (couche de demie atténuation) des rayons γ d'énergie 0,316 MeV dans le platine pur est de 0,98 mm.

4.4.1. Calculer le pourcentage de rayons γ transmis au travers de l'enveloppe.

4.4.2. En exploitant le schéma de la figure 4, et en l'annotant, déterminer quels types d'interaction ces photons présentent avec le platine, puis avec la tumeur (on pourra considérer que celle-ci a un numéro atomique moyen voisin de celui de l'oxygène de l'eau, $Z = 8$).

4.4.3. Donner une description des trois effets évoqués sur ce schéma.

5. Manipulation des sources.

Pour le traitement d'une tumeur, on utilise une source formée de 3 fils identiques de 8 mm de longueur, d'activité linéique (pour un diamètre donné) 74 MBq.cm⁻¹. (figure 2)

5.1.1. Calculer l'activité de la source en début de traitement.

5.1.2. Calculer l'activité de la source après de 5 jours de traitement.

Pour une source ponctuelle d'iridium 192, le débit de dose par Becquerel vaut $3,75 \times 10^{-17} \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ à une distance de un mètre.

5.2.1. Calculer le débit de dose \dot{D} à un mètre pour une source ponctuelle d'activité 177 MBq.

5.2.2. Calculer le débit de dose \dot{D} à 10 cm pour la source précédente

5.2.3. Calculer la dose reçue par une personne manipulant la source précédente avec des pinces de longueur $l = 10 \text{ cm}$ pendant une minute.

La limite d'exposition annuelle pour un poste de catégorie A est de $500 \text{ mS} \cdot \text{an}^{-1}$, pour la peau et les extrémités.

5.2.4. Calculer le nombre théorique de manipulations que peut effectuer la personne en un an.

figure 3 ▼

