

IMRT3 : DEVOIR 2 : 1011

Données :

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

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

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

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

niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène :

$$E_1 = -13,6 \text{ eV}$$

$$E_2 = -3,4 \text{ eV}$$

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

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

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

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

$$E_3 = -1,5 \text{ eV}$$

$$E_4 = -0,85 \text{ eV}.$$

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

- Les états d'énergie d'un électron sont définis par quatre nombres quantiques. On peut affirmer que :
 - le nombre quantique magnétique m varie par valeurs entières de $-n$ à $+n$
 - le nombre quantique secondaire l varie par valeurs entières de 0 à $n-1$
 - deux électrons appariés ont leurs quatre nombres quantiques identiques
 - le nombre quantique de spin s est demi-entier
- À partir de l'écriture suivante ${}^{131}_{53}\text{I}^-$ on peut déduire que :
 - le nombre de nucléons de ce nucléide est 131
 - la masse d'un atome de cet isotope de l'iode est environ $2,2 \times 10^{-22} \text{ g}$
 - il y a 53 électrons dans le nuage électronique de cet ion
 - il y a 131 neutrons dans ce noyau.
- La longueur d'onde d'un photon vaut 1,75 pm.
 - son énergie vaut 0,113 pJ
 - sa masse vaut $1,26 \times 10^{-30} \text{ kg}$
 - il peut donner lieu à une réaction de matérialisation au voisinage d'un noyau.
 - son énergie vaut 7,1 MeV
- La retour à l'état fondamental d'un atome d'hydrogène depuis le troisième état excité peut s'accompagner :
 - de l'émission d'un photon de 10,2 eV
 - de l'émission d'un photon de 15,8 eV
 - de l'émission d'un photon de longueur d'onde $\lambda = 97,3 \text{ nm}$
 - de l'émission d'un photon d'énergie $2,18 \times 10^{-18} \text{ J}$
- L'énergie moyenne de liaison par nucléon de la particule α est 7,07 MeV/nucléon.
La masse de la particule α est
 - 4,002 58 u
 - 4,063 5 u
 - 4,032 98 u
 - 4,025 39 u.
- Lors d'une réaction nucléaire spontanée, l'émission β^- :
 - s'accompagne de l'émission d'un neutrino
 - provient des électrons des couches profondes (K essentiellement)
 - provient de la transformation d'un neutron du noyau en un proton
 - provient de la transformation d'un proton du noyau en un neutron
- Une onde acoustique se propage dans un milieu d'épaisseur x :
 - l'atténuation est plus grande quand la fréquence du son est grande.
 - l'atténuation est indépendante de la fréquence.
 - si l'épaisseur est multipliée par 2, l'énergie transmise est divisée par 2.
 - l'épaisseur pour laquelle l'énergie transmise est divisée par 2 est indépendante de la fréquence.

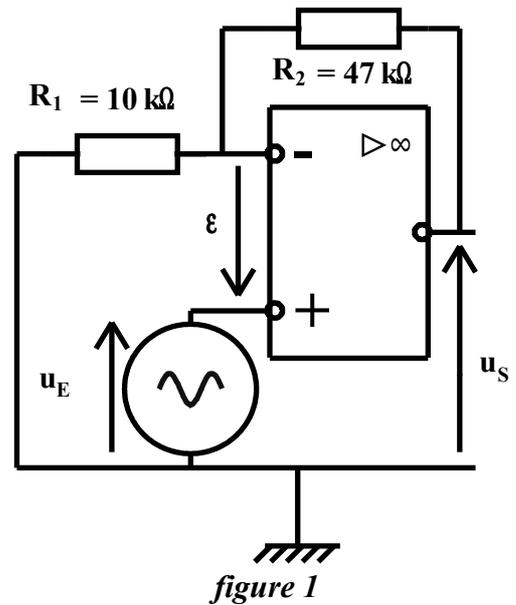
8. Le coefficient d'atténuation linéique des ultrasons, pour une fréquence de 1,0 MHz, dans le muscle vaut $\mu = 26,2 \text{ m}^{-1}$

- a. après une traversée de 2,6 cm de muscle, l'intensité du faisceau est divisée par 2.
- b. après une traversée de 5,3 cm de muscle, le signal est atténué de 6 dB.
- c. après une traversée de 3,8 cm de muscle, l'intensité du faisceau est divisée par 2.
- d. le coefficient d'atténuation du faisceau est de $1,14 \text{ dB.cm}^{-1}$.

	1	2	3	4	5	6	7	8
A								
B								
C								
D								

Q2 : Amplificateur opérationnel.

1. On considère le montage ci-contre.
 La tension u_E (voie 1, trait plein) délivrée par le générateur basse fréquence est relevée par un oscilloscope et représentée ci-après (figure 2).
 La tension u_S (voie 2, trait fin) est relevée sur la voie 2 de l'oscilloscope, .



- 1.1. Reproduire la figure 1 en y ajoutant les connexions ayant permis de réaliser ces relevés.
- 1.2. En exploitant la figure 2, donner les caractéristiques de la tension délivrée par le générateur (période, fréquence, amplitude, valeur efficace).
- 1.3. Établir l'expression de la tension u_S en fonction de u_E , R_1 et R_2 :

$$u_S = \frac{R_1 + R_2}{R_1} u_E$$

- 1.4. Définir et calculer le coefficient d'amplification du montage.
- 1.5. Mesurer l'amplitude de la tension u_S (voie 2, trait fin) sur l'oscillogramme ; conclure.

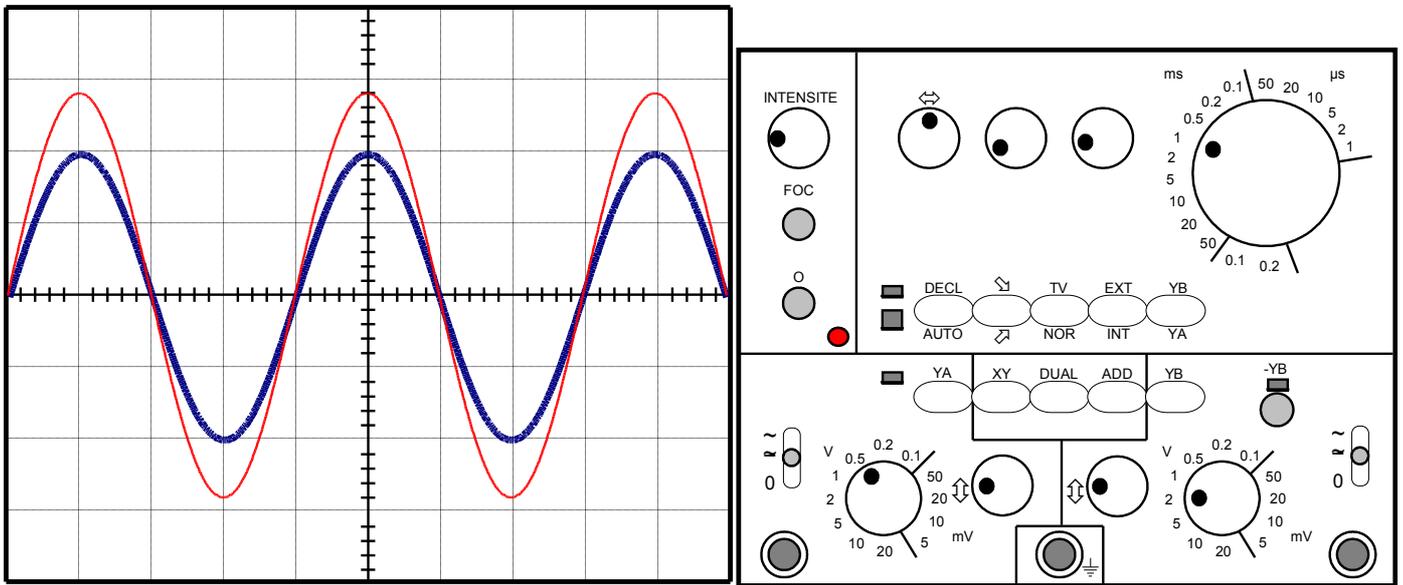


figure 2

2. Un autre montage, réalisé également avec un amplificateur opérationnel, permet aussi d'obtenir une tension u_s proportionnelle à la tension d'entrée u_E , d'expression :

$$u_s = - \frac{R_2}{R_1} u_E$$

2.1. Donner le schéma du montage, en y ajoutant les connexions permettant d'obtenir le relevé des tensions dans les mêmes conditions que dans le montage précédent (u_E sur la voie 1 et u_s sur la voie 2).

2.2. Définir et calculer le coefficient d'amplification de ce montage pour $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 68 \text{ k}\Omega$.

2.3. L'oscillogramme ci-après (figure 3) montre la tension relevée sur la voie 1 (u_E). Compléter l'oscillogramme ; la démarche doit être détaillée.

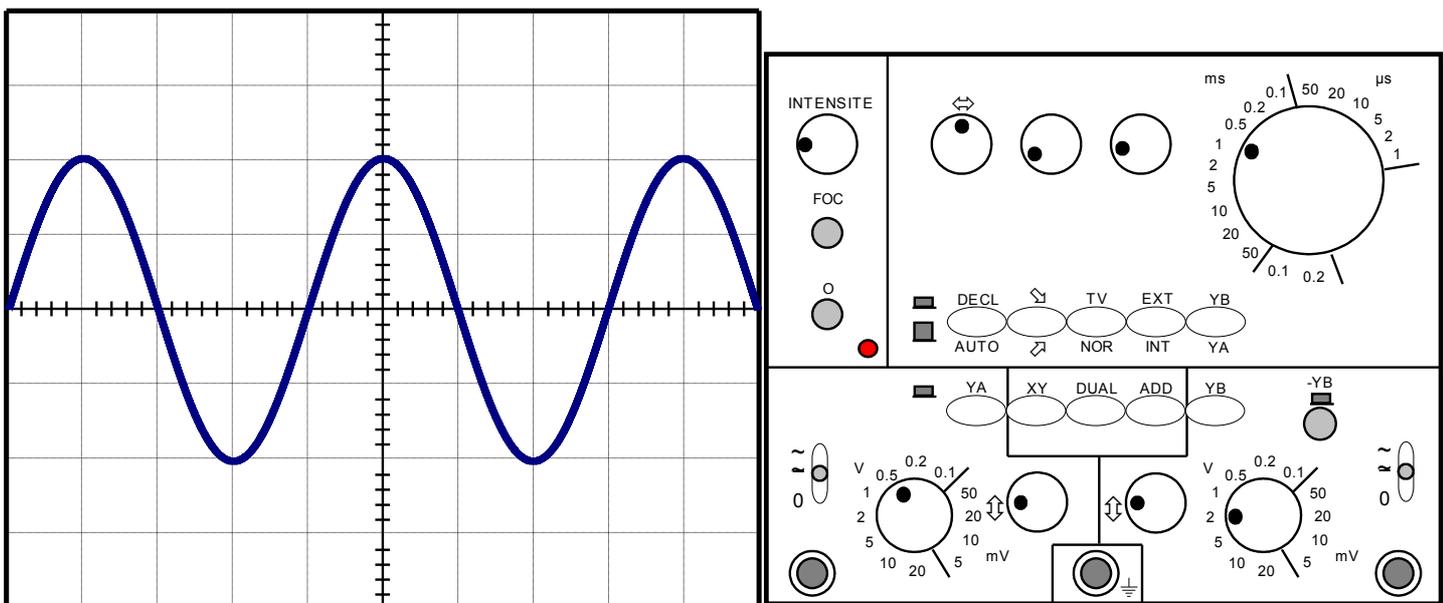


figure 3

PROBLÈME : Tomographie par émission de positrons

Données :

masse atomique de l'oxygène 18 $m_O = 17,999160 u$

masse atomique du fluor 18 $m_F = 18,000938 u$

masse volumique du plomb : $\rho = 11,3 \text{ g.cm}^{-3}$

On utilise essentiellement le fluorodesoxyglucose FDG marqué au fluor 18 pour ce type d'examen.

1. Production du fluor 18 ($Z = 9$).

Le fluor 18 est fabriqué après collision entre un noyau d'oxygène 18 ($Z = 8$) à l'état liquide et un proton de haute énergie cinétique ($E_c = 18 \text{ MeV}$), issu d'un cyclotron.

Une autre particule élémentaire est émise lors de cette collision.

Écrire l'équation de la transmutation nucléaire en précisant les deux lois utilisées.

2. Désintégration du fluor 18

Le fluor 18 se désintègre par émission β^+ pour donner de l'oxygène, le noyau de l'oxygène est obtenu dans son état fondamental.

2.1. Écrire l'équation de cette désintégration.

2.2. Donner le schéma de désintégration du fluor 18.

2.3. Montrer que l'énergie totale libérée (énergie disponible) au cours de cette désintégration vaut $E = 0,635 \text{ MeV}$.

2.4. Expliquer pourquoi l'énergie cinétique des particules β^+ émises peut prendre plusieurs valeurs ; donner les valeurs extrêmes de ces énergies.

2.5. La présence du fluor 18 peut être mise en évidence par une gamma-caméra détectant des photons d'énergie bien particulière ; préciser la valeur de cette énergie et les conditions de détection.

3. Détection des photons d'annihilation γ

Un dispositif (gamma caméra) composé d'un cristal scintillateur et d'un photomultiplicateur permet de détecter les photons γ

Le cristal scintillateur BGO : Bismuth Germanium Oxide, a une épaisseur de 2 pouces $\frac{1}{4}$, soit 5,71 cm. Les photons de scintillation émis ont pour longueur d'onde $\lambda' = 480 \text{ nm}$.

3.1. Un photon d'annihilation d'énergie $E = 511 \text{ keV}$ cède toute son énergie à un électron de conduction du cristal : donner le nom de ce type d'interaction.

Expliquer pourquoi l'énergie cinétique de l'électron émis est peu différente de l'énergie du photon incident.

3.2. Cet électron va subir plusieurs interaction avec le cristal, avec émission de photons de scintillations ($\lambda' = 480 \text{ nm}$). Calculer l'énergie d'un photon de scintillation (en J et en eV) ; en déduire le nombre (théorique) de photons de scintillation émis par photon d'annihilation détecté.

3.3. Un autre effet que celui cité en 3.1. se produit quand les photons interagissent dans le scintillateur ; donner une brève description de ce type d'interaction.

3.4. Derrière le cristal, se trouvent une photocathode et un système de dynodes ; ce système constitue un photomultiplicateur.

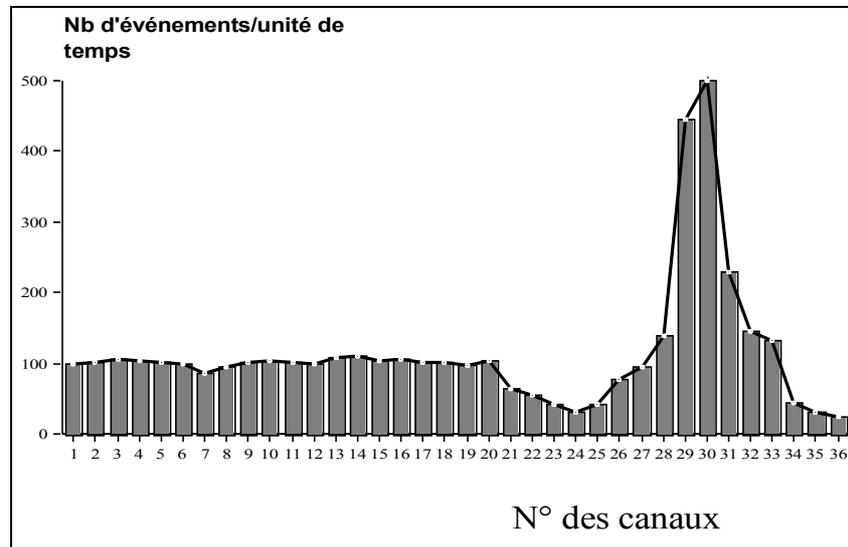
Exposer brièvement le principe de fonctionnement d'un photomultiplicateur.

Donner la relation simple existant entre le signal de sortie du photomultiplicateur et l'énergie du photon d'annihilation détecté.

3.5. *Au cours d'une acquisition, on mesure le nombre d'impulsions pendant une durée déterminée, pour une hauteur de signal donnée (un canal, correspondant à un intervalle d'énergie des photons incidents) ; cette mesure est répétée pour plusieurs canaux. On obtient alors la courbe ci après, indiquant la fréquence des événements correspondant à un canal particulier.*

Il est nécessaire d'étalonner l'appareil, c'est-à-dire trouver une correspondance entre le numéro du canal et la valeur en énergie des photons détectés.

Quelle valeur d'énergie des photons incidents doit-on affecter au canal 30 ?



4. Activité de la source radioactive

A la sortie du réacteur, un automate de synthèse permet de remplacer un groupement OH du glucose par du fluor 18. La molécule marquée a alors des propriétés analogues au glucose. Dans l'organisme, elle se fixe dans les cellules cancéreuses, qui ont un métabolisme augmenté par rapport aux cellules saines.

La période radioactive (demi-vie) du fluor 18 est : $T_{1/2} = 112$ minutes.

Plusieurs doses sont produites en même temps pour réaliser trois examens.

Le premier examen a lieu à 10 h et on injecte au patient une dose d'activité : $A = 260$ MBq.

4.1. Calculer la constante radioactive du fluor (unités du système international)

En déduire le nombre N de noyaux de fluor 18 contenus dans une dose.

Calculer la masse de fluor correspondante.

4.2. Un deuxième patient a son examen 2 heures plus tard et on doit également lui injecter une dose d'activité : $A = 260$ MBq.

Déterminer l'activité A_{20} que doit avoir cette dose lorsqu'on la prépare à 10 h du matin.

4.3. Un troisième patient a son examen 6 heures plus tard et on doit également lui injecter une dose d'activité : $A = 260$ MBq.

Déterminer l'activité A_{60} que doit avoir cette dose lorsqu'on la prépare à 10 h du matin.

4.4. Déterminer la durée nécessaire à la diminution de 99,9% de l'activité initiale A.

En déduire pourquoi le cyclotron doit se trouver près de l'endroit où l'examen est réalisé.

4.5. Dans la réalité, on constate, chez le patient, une diminution de la radioactivité de 99,9 % pour une durée correspondant à environ 13 h ; donner une explication à ce phénomène.

5. Radioprotection

La couche de demi-atténuation des photons γ de 511 keV vaut $x_{1/2} = 4,0$ mm pour le plomb.

5.1. Calculer le coefficient d'atténuation linéique correspondant.

Retrouver ce résultat en exploitant le graphique donné ci-après ; préciser par quel(s) type(s) d'interaction(s) ces photons réagissent avec le plomb.

5.2. Une enceinte blindée a une épaisseur : $x = 50$ mm.

Calculer la fraction du rayonnement transmis par cette enceinte.

5.3. Expliquer pourquoi le port d'un tablier de plomb d'épaisseur : $e = 0,4$ mm n'est d'aucune utilité pour se protéger de ce type de rayonnement.

5.4. Une source de 260 MBq entraîne un débit de dose de $60 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à une distance : $d_0 = 1,0$ m de la source. Déterminer le débit de dose à une distance : $d = 3,0$ m de la source.

