

# Diplôme de Technicien Supérieur en Imagerie Médicale et Radiologie Thérapeutique

Durée : 3 heures  
Coefficient : 3

Session 2008

*Les données sont en italique  
L'utilisation de la calculatrice est autorisée  
Le sujet comporte 8 pages.*

## PHYSIQUE

### PREMIERE PARTIE : CONTRÔLE DE CONNAISSANCES (30 points)

#### Q1 : QCM Ultrasons / RLC (14 points)

*Chaque question possède au moins une proposition vraie. Choisir la (ou les) proposition(s) vraie(s) en recopiant, pour chaque proposition vraie, la lettre a, b, c, d ... qui lui correspond.  
Justifier chaque application numérique en indiquant l'expression littérale utilisée  
( concerne les questions 3, 4, 5, 8 )*

<i>Données :</i>	<i>masse volumique de l'eau</i>	$\rho_{eau} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
	<i>masse volumique d'un muscle</i>	$\rho_{muscle} = 1040 \text{ kg.m}^{-3}$
	<i>célérité du son dans l'eau</i>	$c_{eau} = 1480 \text{ m.s}^{-1}$
	<i>célérité du son dans un muscle</i>	$c_{muscle} = 1580 \text{ m.s}^{-1}$

1. Une onde sonore :

- a. peut se propager dans un milieu matériel
- b. peut se propager dans le vide
- c. peut se propager à la fois dans un milieu matériel et dans le vide
- d. est un mode de transport possible de la matière
- e. se manifeste par des variations de pression se propageant dans le milieu
- f. est une onde électromagnétique longitudinale

2. Choisir, parmi les grandeurs suivantes caractéristiques de l'onde, celle(s) qui dépend(ent) de la nature du milieu de propagation :

- a. la fréquence
- b. la longueur d'onde
- c. la célérité

## HIMSC

3. On rappelle que l'atténuation ( $A$ ) d'un faisceau ultrasonore peut être exprimée en décibel par la relation :

$$A = 10 \lg \frac{I_0}{I}$$

avec  $\lg$  : logarithme décimal

$I$  : intensité transmise par le milieu

$I_0$  : intensité incidente

Un faisceau d'intensité  $1 \text{ W.cm}^{-2}$  ( $\text{W/cm}^2$ ) traverse 2 cm de revêtement cutané dont le coefficient d'atténuation est de 1 dB/cm. L'intensité du faisceau de sortie est, en  $\text{W/cm}^2$ , de :

- a.  $4 \cdot 10^3$       b. 316      c. 100      d. 36,6      e. 7,4      f. 1,8  
g. 0,63      h. 0,13      i. 0,01      j.  $2,5 \times 10^{-4}$       k. aucune de ces valeurs

4. Les impédances acoustiques de l'eau et du muscle valent en  $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Propositions	Eau	Muscle
a.	$1,48 \times 10^6$	$1,64 \times 10^6$
b.	1,48	1,52
c.	0,68	0,66

5. L'onde ultrasonore utilisée lors d'une échographie a une fréquence de 1 MHz. En admettant que le système permette de voir des détails de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, le plus petit détail que l'on peut observer a une taille d'environ :

- a.  $1 \mu\text{m}$       b.  $600 \mu\text{m}$       c. 1,5 mm      d. 1,5 cm

6. Le facteur de qualité d'un circuit RLC série est donnée par la relation  $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$ ,  $f_0$  est la fréquence de résonance,  $\Delta f$  est la largeur de la bande passante.

Dans un circuit RLC série (R : résistance d'un conducteur ohmique, L : inductance d'une bobine, C : capacité d'un condensateur), la résonance est d'autant plus aiguë que :

- a. la résistance R a une faible valeur  
b. la résistance R a une forte valeur  
c. le facteur de qualité Q a une faible valeur  
d. le facteur de qualité Q a une forte valeur

7. Un générateur basse fréquence impose une tension sinusoïdale  $u(t)$ , de fréquence réglable, aux bornes d'un dipôle comprenant un conducteur ohmique de résistance R, une bobine d'inductance L et un condensateur de capacité C placés en série. La fréquence de résonance de ce circuit est  $f_0$ .

Soit  $u_R(t)$  la tension aux bornes du conducteur ohmique. À une fréquence inférieure à  $f_0$  :

- a.  $u(t)$  est en retard de phase sur  $u_R(t)$   
b.  $u(t)$  est en phase avec  $u_R(t)$   
c.  $u(t)$  est en avance de phase sur  $u_R(t)$   
d. l'impédance Z du dipôle RLC est supérieure à R  
e. l'impédance Z du dipôle RLC est égale à R  
f. l'impédance Z du dipôle RLC est inférieure à R

8. Un générateur basse fréquence impose une tension sinusoïdale  $u(t)$ , de fréquence réglable, aux bornes d'un dipôle RLC série. La résistance de l'association RL est égale à  $18 \Omega$ ,  $C = 100 \text{ nF}$ , et L (impédance de la bobine) est inconnue. La fréquence de résonance de ce circuit est égale à  $1560 \text{ Hz}$ . L'inductance L de la bobine est égale à :

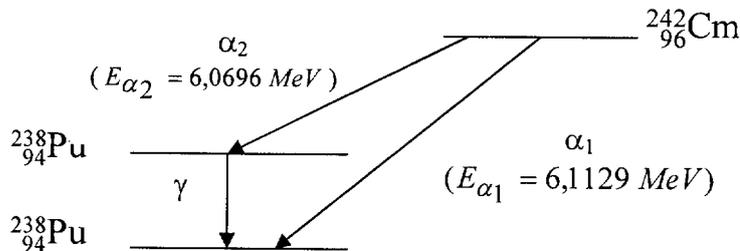
- a. 0,1 mH      b. 4,1 mH      c. 0,1 H      d. 4,1 H      e. aucune de ces valeurs

**Q2 : Radioactivité (16 points)**

<u>Données :</u>	constante d'Avogadro masse molaire du carbone 12 célérité de la lumière dans le vide charge élémentaire unité de masse atomique masse d'une particule $\alpha$	$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ $M_C = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ $1 u = 931,5 \text{ MeV.c}^{-2}$ $m_\alpha = 4,0015 u$
------------------	---	---

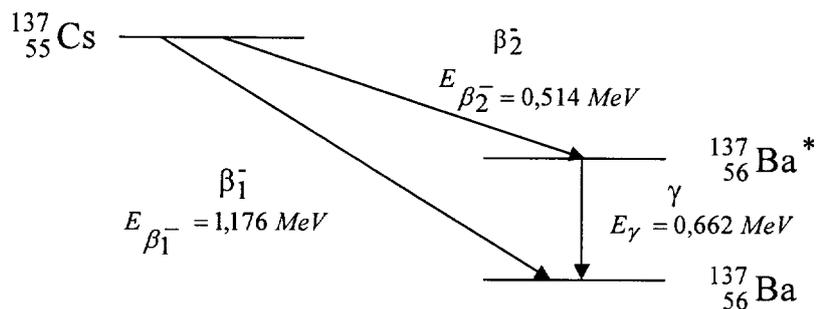
1. L'unité de masse atomique est égale à un douzième de la masse d'un atome de l'isotope 12 de l'élément carbone. En déduire sa valeur en kg, puis retrouver sa valeur en  $\text{MeV.c}^{-2}$ . (la valeur trouvée est légèrement différente de la valeur annoncée dans les données ; **utiliser par la suite la valeur donnée par l'énoncé**).

2. Le curium 242 ( ${}^{242}_{96}\text{Cm}$ ) émet des particules  $\alpha$  de deux énergies cinétiques différentes ( $6,0696 \text{ MeV}$  et  $6,1129 \text{ MeV}$ ) et se transmute en plutonium 238 ( ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ ), ce que l'on peut illustrer à l'aide du schéma de désintégration suivant, où les niveaux d'énergie des noyaux père et fils sont représentés par des traits horizontaux.



- 2.1. Écrire les deux équations de désintégration correspondant au schéma ci-dessus.
- 2.2. Le spectre en énergie des particules  $\alpha$  est-il un spectre de raies ou un spectre continu ? Justifier la réponse.
- 2.3. Quelle est l'énergie du photon émis ?
- 2.4. Sachant que la masse du noyau fils vaut  $237,9980 u$ , calculer la masse du noyau de curium en unité de masse atomique.

3. Le schéma de désintégration du Césium 137 est le suivant :



- 3.1. Écrire les deux équations de désintégration correspondant au schéma ci-dessus.
- 3.2. Les valeurs 1,176 MeV et 0,514 MeV sont-elles les seules valeurs possibles des énergies cinétiques des particules  $\beta^-$  ? Justifier brièvement la réponse.
4. À énergie égale et dans des matériaux identiques :
  - 4.1. Lequel des trois rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\gamma$  est le plus pénétrant ?
  - 4.2. Lequel des trois rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\gamma$  a la plus grande ionisation spécifique ?
5. Temps de demi-vie (période radioactive) :
  - 5.1. Donner la définition du temps de demi-vie (période radioactive) T.
  - 5.2. Démontrer la relation entre T et la constante radioactive  $\lambda$ .
  - 5.3. Calculer le temps de demi-vie (période radioactive) d'un radioélément dont l'activité a diminué d'un facteur 16 en 6 jours.

### Filtration des rayons X en radiodiagnostic

Données :

charge élémentaire

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

constante de Planck

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

célérité de la lumière dans le vide

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

masse de l'électron

$$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV.c}^{-2}$$

masse volumique du Plomb

$$\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g.cm}^{-3}$$

numéro atomique de l'élément tungstène

$$Z(W) = 74$$

#### A. Étude des niveaux d'énergie de l'atome de tungstène

1. Donner le nombre maximum d'électrons sur chacune des sous-couches s, p, d, f ?
2. En première approximation, les niveaux d'énergie d'un atome sont donnés par la relation :

$$E_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \quad (\text{eV})$$

Calculer le niveau d'énergie  $E_1$  ( $n = 1$ ) de l'atome de tungstène.

3. En réalité la valeur de l'énergie  $E_1$  ( $n_1$ ) de l'état fondamental de l'atome de tungstène est de -69,5 keV . Pourquoi est-il différent de la valeur précédemment calculée ?

#### B. Émission de rayons X par le tungstène

On produit des rayons X dans un tube de Coolidge à anode de tungstène. Les électrons sont accélérés à l'aide d'une différence de potentiel  $U$  entre l'anode et la cathode de valeur 120 kV.

On admettra les niveaux d'énergie suivants pour l'atome de tungstène :

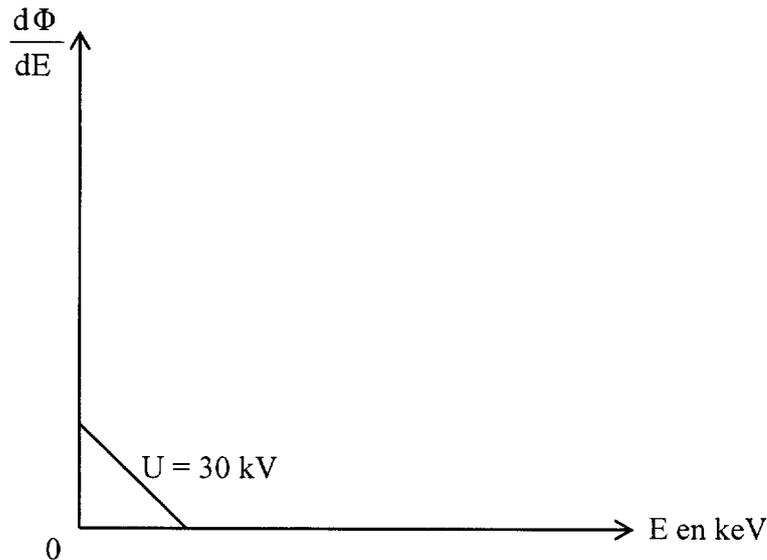
$$E_K = -69,5 \text{ keV}$$

$$E_L = -11,3 \text{ keV}$$

$$E_M = -2,30 \text{ keV}$$

1. Calculer les énergies des photons provenant de l'émission des raies  $K_\alpha$  et  $L_\alpha$  .Exprimer ce résultat en keV.
2. L'énergie des photons de la raie  $L_\alpha$  varie-t-elle si l'on abaisse la tension  $U$  à une valeur de 30 kV ? Si oui, calculer sa nouvelle valeur, sinon justifier la réponse.
3. Le spectre des photons X obtenus résulte de l'addition d'un spectre de raies et d'un spectre continu. À quel phénomène est due l'existence de ce spectre continu ?
4. Quelle est l'énergie des photons X les plus énergétiques que puisse émettre le tube ? Exprimer ce résultat en J et en keV.

5. L'évolution théorique du flux du rayonnement X en fonction de l'énergie est représentée ci-dessous pour une tension U de 30 kV.



Il a l'allure d'une droite décroissante dont l'abscisse maximale et l'ordonnée maximale sont toutes deux proportionnelles à U.

Reproduire ce graphe pour U = 30 kV, sur votre copie puis représenter l'allure de l'évolution du flux du rayonnement X en fonction de l'énergie pour une tension égale à 120 kV.

6. Quels sont les effets sur le spectre des photons X de la traversée de la paroi du tube ?

### C. Atténuation des photons

L'énergie de liaison d'un électron situé sur la couche K d'un atome de plomb est de 88 keV.

#### 1. Interactions des photons avec la matière

##### 1.1. Effet photoélectrique

1.1.1. Donner la définition de l'effet photoélectrique. Décrire brièvement ce phénomène.

1.1.2. On envoie un photon d'énergie 100 keV sur du plomb. Quelle est l'énergie cinétique de l'électron émis par effet photoélectrique ?

##### 1.2. Effet Compton

Un photon d'énergie  $E = 660 \text{ keV}$  interagit par effet Compton avec un électron. Il projette cet électron en lui communiquant une énergie cinétique  $E_C$  de 97 keV, le reste de l'énergie étant emporté par un photon diffusé d'énergie  $E'$  faisant un angle  $\theta$  avec la direction du photon incident.

1.2.1. Quelle relation existe-t-il entre E, E' et  $E_C$  ? En déduire la valeur de E'.

1.2.2. Calculer les longueurs d'onde  $\lambda$  et  $\lambda'$  des rayonnements incident et diffusé.

1.2.3. Déduire de la relation de Compton-Debye :

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

la valeur de  $\cos \theta$ , puis de  $\theta$  en degrés.

1.2.4. Le choc était-il frontal ?

1.3. Matérialisation

- 1.3.1. Donner la définition de la matérialisation. Décrire brièvement ce phénomène.
- 1.3.2. Quelle énergie minimale doit avoir le photon ? Donner le résultat en MeV.

**2. Variation de l'atténuation avec l'énergie des photons et la nature du milieu**

La **figure 3** figurant en annexe page 7 représente la variation du coefficient massique d'atténuation en fonction de l'énergie des photons incidents, pour deux milieux différents : l'aluminium et le plomb. Les échelles utilisées pour les axes sont logarithmiques, ce qui permet de regrouper sur un même graphe des valeurs très différentes sans pour autant "écraser" les plus faibles valeurs. Les domaines de prédominance des trois principales interactions dans chacun des milieux sont précisés au-dessus de ces courbes, et le tableau précise les coordonnées de quelques uns de leurs points **AUXQUELLES IL CONVIENTRA DE SE RÉFÉRER POUR EFFECTUER LES CALCULS DEMANDÉS.**

2.1. Atténuation provoquée par le plomb

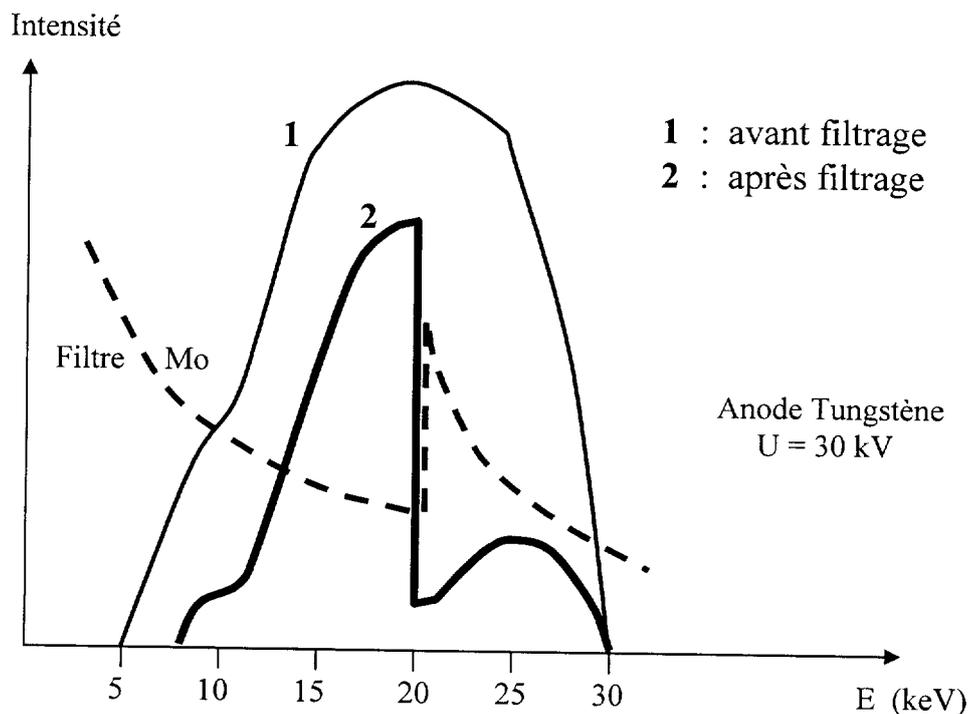
- 2.1.1. Quelle est la valeur du coefficient linéique d'atténuation du plomb pour un faisceau de photons de 20 keV ?
- 2.1.2. Même question pour un faisceau de 200 keV.
- 2.1.3. Un photon de 200 keV est-il plus pénétrant qu'un photon de 20 keV ? Justifier la réponse.
- 2.1.4. Un photon de 100 MeV est-il plus pénétrant qu'un photon de 10 MeV ? Justifier la réponse en utilisant les données figurant en annexe.

2.2. Rôle d'un filtre

Sur la **figure 4** ci-dessous, le spectre 1 est le spectre continu d'un faisceau issu d'un tube de Coolidge à anode de tungstène ( $U = 30 \text{ kV}$ ) et le spectre 2 est le spectre continu du même faisceau, après la traversée d'un filtre en molybdène dont le coefficient massique d'atténuation présente l'allure de la courbe tracée en pointillé.

Interpréter le passage du spectre 1 au spectre 2.

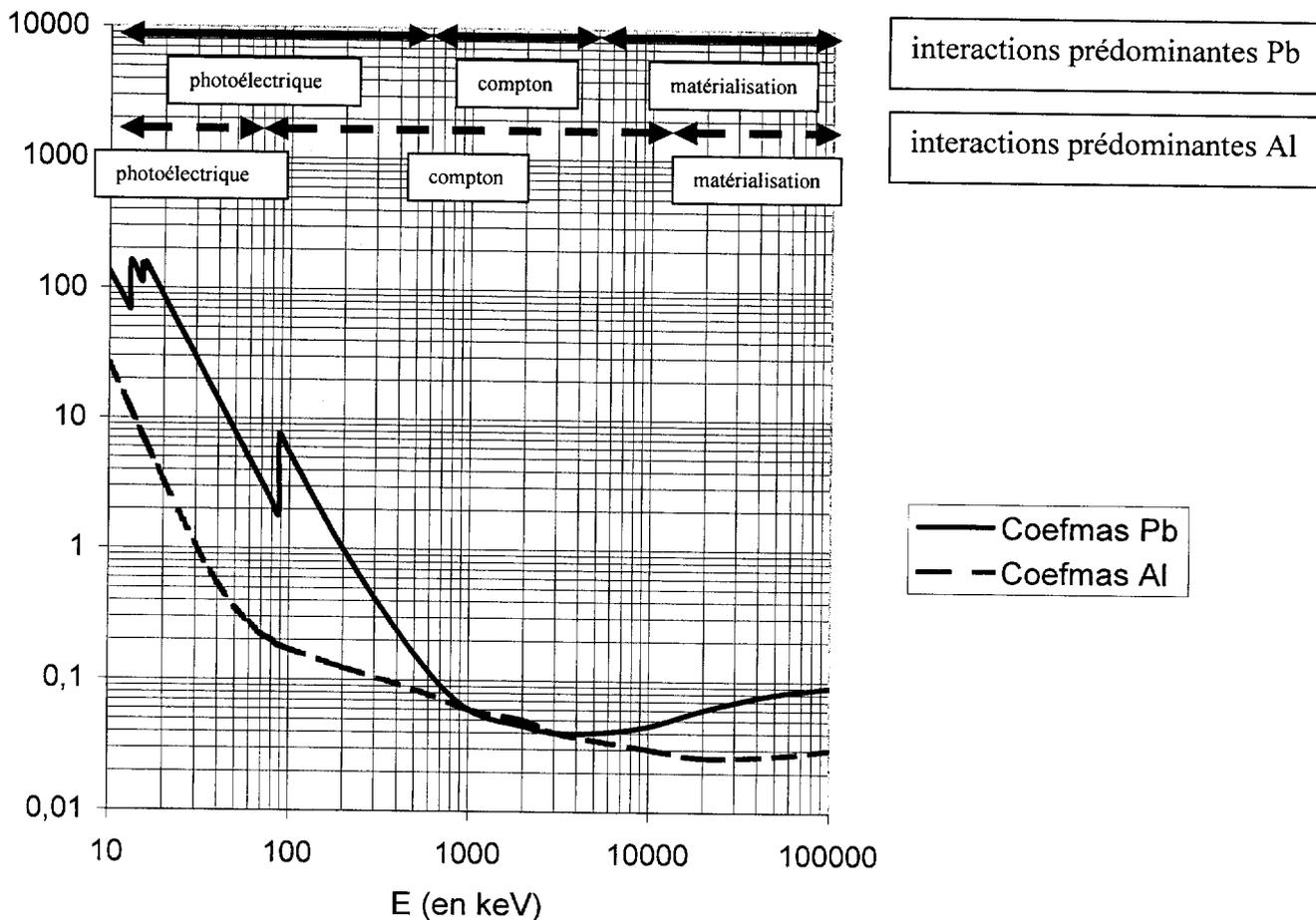
**Figure 4**



ANNEXE

Figure 3

Coefficient massique d'atténuation dans l'aluminium et dans le plomb (en cm<sup>2</sup>/g) en fonction de l'énergie des photons (en keV)



Coordonnées de quelques points des courbes ci-dessus.

Energie (en keV)	Coefmas Pb (en cm <sup>2</sup> /g)	Coefmas Al (en cm <sup>2</sup> /g)
10	132,8	26,2
20	86	3,32
50	7,82	0,35
87,9	1,84	0,18
88,1	7,47	0,18
100	5,46	0,17
200	1,0	0,124
500	0,159	0,085
1000	0,06	0,06
5000	0,04	0,035
10 000	0,045	0,03
20 000	0,06	0,026
50 000	0,08	0,027
100 000	0,09	0,03