

**PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DES CONNAISSANCES (30 points)****Q1 : Ondes sonores et électromagnétiques**

Compléter le tableau en utilisant V pour vrai et F pour faux

1. Une onde sonore ou ultrasonore

- a) se propage dans le vide à la vitesse de 340 m/s.
- b) ne se propage pas dans le vide.
- c) s'accompagne d'un transport de matière
- d) se propage dans l'air à 20°C à la vitesse de  $3 \times 10^8$  m/s.

2. Une onde électromagnétique

- a) se propage dans le vide à la vitesse de  $3 \times 10^8$  m/s.
- b) ne se propage pas dans le vide.
- c) s'accompagne d'un transport de matière.
- d) se propage dans l'air à 20°C à la vitesse de 500 m/s.

3. On rappelle que l'impédance acoustique d'un milieu vaut  $Z = \rho c$  ( $\rho$  est la masse volumique et  $c$  vitesse de propagation des ondes dans le milieu).

Une onde acoustique de fréquence  $f = 5,3$  MHz traverse un milieu musculaire (1) d'impédance  $Z_1 = 1,6 \times 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  et de masse volumique  $\rho_1 = 1,043 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ , puis un milieu osseux (2) d'impédance  $Z_2 = 5 \times 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  et de masse volumique  $\rho_2 = 1,9 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

- a) La vitesse de propagation est plus grande dans le milieu (2) que dans le milieu (1)
- b) La vitesse de propagation est plus petite dans le milieu (2) que dans le milieu (1).
- c) La fréquence de l'onde dans le milieu osseux (2) est différente de 5,3 MHz.
- d) La vitesse de propagation de l'onde dans le milieu (2) vaut 1580 m/s.

4. Une onde sinusoïdale ultrasonore de fréquence  $f = 1,0$  MHz se propageant à la vitesse de 340 m/s

- a) a une longueur d'onde de 0,34 mm.
- b) a une longueur d'onde de 300 m.
- c) a une longueur d'onde de 3,3 mm.
- d) a une longueur d'onde de 0,34 m.

5. L'intensité acoustique d'une onde plane ultrasonore décroît exponentiellement avec la distance traversée selon la loi suivante :  $I = I_0 \exp(-\mu x)$  ( $\mu$  est le coefficient linéique d'absorption)

Le coefficient linéique d'absorption dépend de la fréquence de l'onde.

| substance | fréquence $f$ (MHz) | $\mu$ ( $\text{m}^{-1}$ ) |
|-----------|---------------------|---------------------------|
| os        | 0,6                 | 76,9                      |
| os        | 1                   | 263                       |
| os        | 2                   | 1000                      |
| os        | 3,5                 | 1667                      |

- a) Si un faisceau d'ultrasons doit pénétrer la boîte crânienne, il n'est pas souhaitable d'utiliser des ultrasons de fréquence 3,5 MHz.
- b) Dans l'os, l'atténuation par absorption est indépendante de la fréquence.
- c) Un faisceau d'ultrasons pénètre d'autant plus profondément dans la matière que sa fréquence est plus élevée.
- d) à haute fréquence, le son se propage plus vite dans l'os.

6. Le coefficient linéique d'absorption dépend également du milieu de propagation.

| substance | fréquence f (MHz) | $\mu$ ( $m^{-1}$ ) |
|-----------|-------------------|--------------------|
| muscle    | 1                 | 26,2               |
| graisse   | 1                 | 10                 |

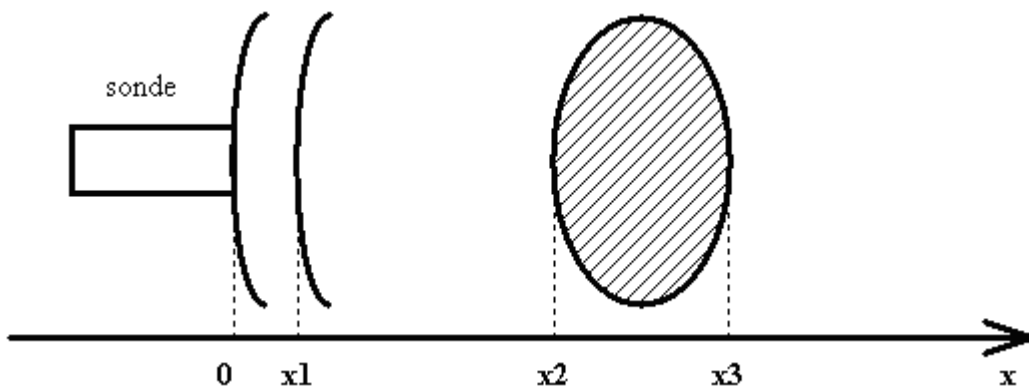
Après traversée de 15 cm de graisse, l'intensité acoustique d'un faisceau d'ultrasons de fréquence 1,0 MHz, d'intensité initiale  $I_0$  vaut :

- a)  $I = 0,500 I_0$       b)  $I = 0,777 I_0$       c)  $I = 0,223 I_0$       d)  $I = 0$

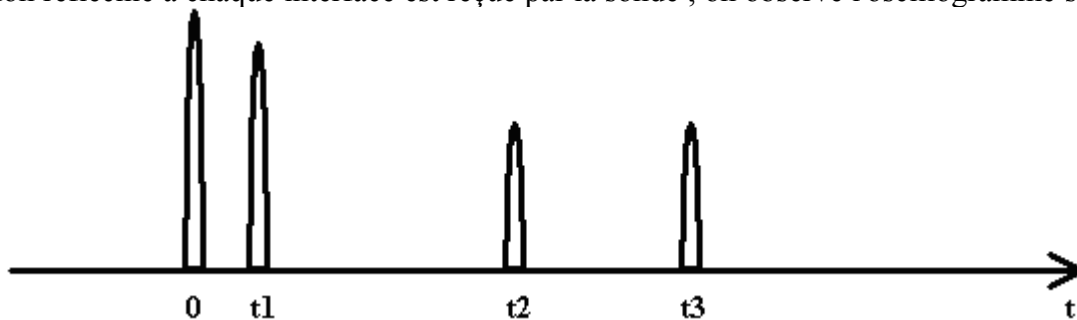
7. Au cours de la traversée d'une interface entre deux milieux d'impédance  $Z_1$  et  $Z_2$  avec  $Z_1 \ll Z_2$ , un faisceau d'ultrasons arrivant perpendiculairement à l'interface est :

- a) partiellement transmis et partiellement réfléchi.  
b) pratiquement intégralement transmis.  
c) pratiquement intégralement réfléchi.  
d) l'amplitude du faisceau est plus importante après la traversée de l'interface

8. Au cours d'une échographie (type A), un faisceau d'ultrasons intermittent est dirigé vers des organes immobiles. La célérité du son dans les organes traversés est désignée par la lettre C dans les tissus et par la lettre  $C_0$  dans la structure échogène (hachurée sur le schéma)



L'impulsion réfléchie à chaque interface est reçue par la sonde ; on observe l'oscillogramme suivant :



La taille de l'organe de la structure échogène vaut :

- a)  $x = \frac{(t_3 - t_2)}{C_0}$       b)  $x = 2 C_0 (t_3 - t_2)$       c)  $x = \frac{1}{2} C_0 (t_3 - t_2)$       d)  $x = \frac{1}{2} C (t_3 - t_2)$

|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a |   |   |   |   |   |   |   |   |
| b |   |   |   |   |   |   |   |   |
| c |   |   |   |   |   |   |   |   |
| d |   |   |   |   |   |   |   |   |

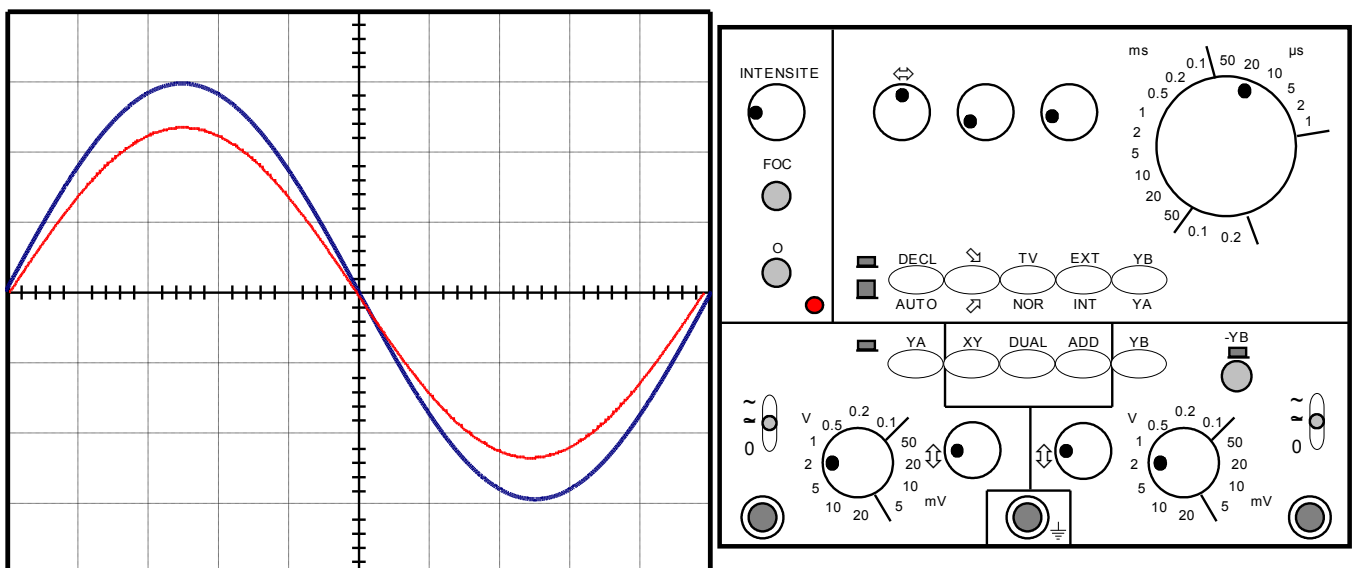
## Q2 : Étude d'un circuit RLC série.

Un circuit comprend, montés en série, un générateur de fréquence réglable, un condensateur de capacité  $C = 100 \text{ nF}$ , une bobine d'inductance  $L$  et de résistance  $r$  inconnues, un conducteur ohmique de résistance  $R = 100 \Omega$

Dans tout le problème, la tension délivrée par le générateur garde la même valeur efficace.

1. Réaliser le schéma du circuit en y ajoutant les connexions nécessaires à l'observation de la tension  $u$  aux bornes du générateur sur la voie A de l'oscilloscope et de la tension  $u_R$  aux bornes du conducteur ohmique sur la voie B.

2. Pour une certaine fréquence de la tension délivrée par le générateur, on observe l'oscillogramme suivant :



2.1. Quel nom donne-t-on à ce genre de situation ? Justifier la réponse.

2.2. Identifier  $u$  et  $u_R$  sur l'oscillogramme, en justifiant la réponse.

2.3. Donner les caractéristiques (période, fréquence, pulsation, amplitude et valeur efficace) de la tension  $u$  délivrée par le générateur.

2.4. Donner les caractéristiques (amplitude et valeur efficace) de l'intensité  $i$  du courant circulant dans le circuit.

2.5. Déterminer l'inductance  $L$  de la bobine.

- 2.6. Montrer que la résistance de la bobine vaut environ  $30 \Omega$ .  
 2.7. Calculer la tension aux bornes du condensateur (amplitude et valeur efficace)  
 2.8. Calculer la tension aux bornes de la bobine (amplitude et valeur efficace)  
 2.9. Calculer la puissance dissipée dans l'association RLC ; sous quelle forme cette puissance apparaît-elle ?

**3. On augmente la fréquence de la tension délivrée par le générateur en la portant à 10,0 kHz**

- 3.1. On constate que la tension aux bornes de la résistance R diminue. Expliquer pourquoi.  
 3.2. Montrer que l'impédance du circuit vaut  $487 \Omega$ .  
 3.3. Calculer l'intensité du courant (amplitude et valeur efficace)  
 3.4. Calculer les tensions (amplitudes) aux bornes de la résistance R, du condensateur et de la bobine  
 3.5. Tracer le diagramme de Fresnel correspondant à cette situation (échelle 1 cm/V)).

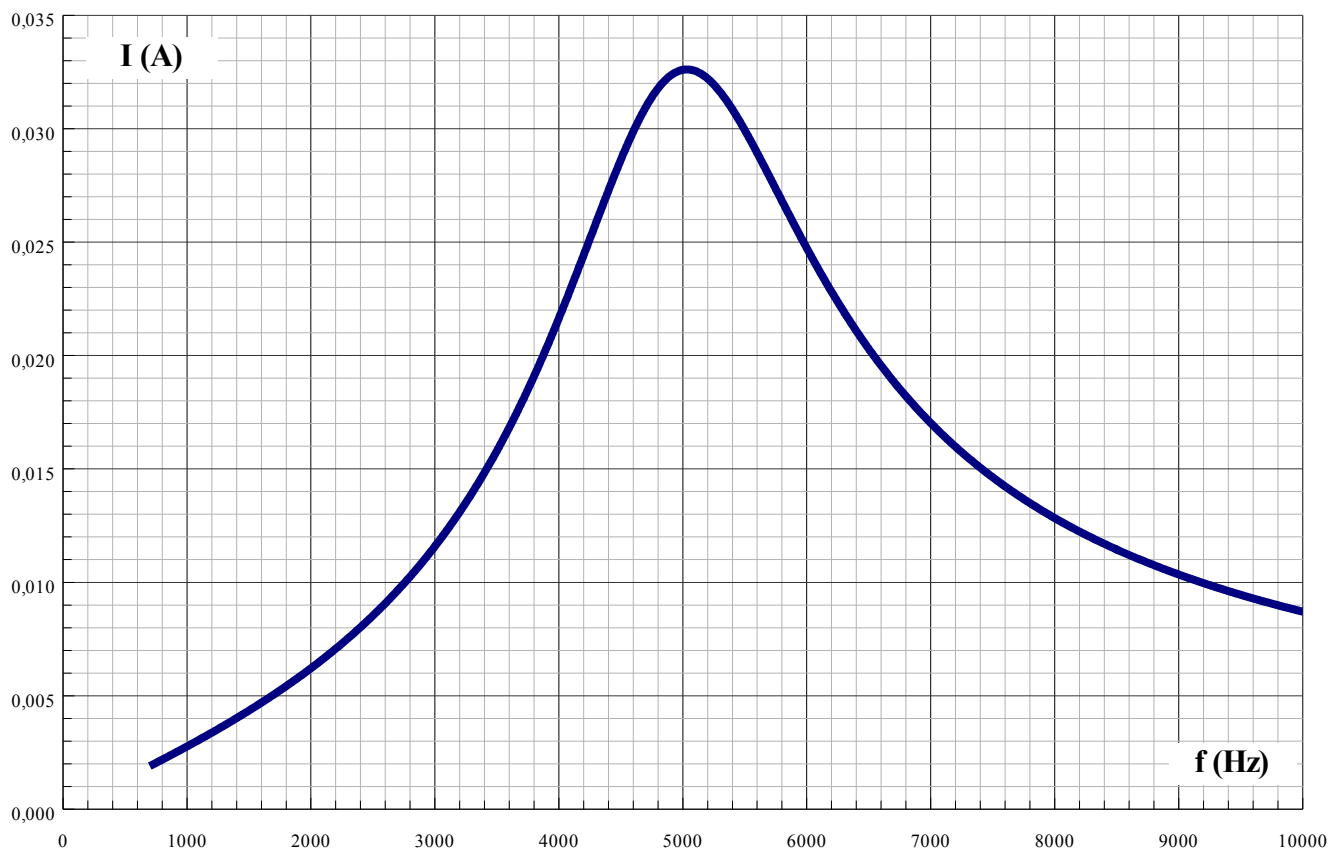
**4. On balaye la gamme des fréquences délivrées par le générateur entre 1,0 kHz et 10 kHz par tranches de 0,5 kHz, en mesurant à chaque fois la valeur efficace de l'intensité du courant.**

**La courbe expérimentale donnant l'évolution de la valeur efficace de l'intensité du courant en fonction de la fréquence du générateur est représentée ci-après.**

En exploitant la courbe :

- 4.1. Mesurer les coordonnées du maximum.  
 Comparer les résultats de cette mesure avec les résultats trouvés dans le second paragraphe. Commenter.  
 4.2. Définir et mesurer la bande passante  $\Delta f$  à -3 dB.

Calculer le facteur de qualité  $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$  et vérifier que  $Q = \frac{L \omega_0}{R + r}$ .



## DEUXIÈME PARTIE : PROBLÈME (30 points)

**Données :**

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

Célérité de la lumière :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Charge élémentaire :  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$   
 $c^2$

Unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

Masse de l'électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} = 5,48 \times 10^{-4} \text{ u}$

Coefficient d'atténuation  $\mu$  de photons d'énergie 103 keV dans le plomb :  $\mu = 6,93 \times 10^3 \text{ m}^{-1}$

Énergie nécessaire pour former une paire d'ions dans l'eau :  $\omega = 33 \text{ eV}$

|                                                 | <i>Rb</i><br><i>Rubidium</i> | <i>Sr</i><br><i>Strontium</i> | <i>Y</i><br><i>Yttrium</i> | <i>Pm</i><br><i>Prométhéum</i> | <i>Sm</i><br><i>Samarium</i> | <i>Eu</i><br><i>Europium</i> |
|-------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <i>numéro atomique</i>                          | 37                           | 38                            | 39                         | 61                             | 62                           | 63                           |
|                                                 | <i>Rb-89</i>                 | <i>Sr-89</i>                  | <i>Y-89</i>                | <i>Pm-153</i>                  | <i>Sm-153</i>                | <i>Eu-153</i>                |
| <i>Masse du noyau en u de l'isotope indiqué</i> | 88,885 327                   | 88,889 606                    | 88,884 476                 | 152,886 548                    | 152,887,6                    | 152,886 702                  |
| <i>demie vie</i>                                |                              |                               |                            |                                | 46 h                         |                              |

### I. RADIOTHÉRAPIE MÉTABOLIQUE DES MÉTASTASES OSSEUSES

Le principe de la radiothérapie métabolique des métastases osseuses repose sur l'utilisation de radioéléments émetteurs  $\beta^-$  à tropisme osseux. Un effet antalgique est obtenu dans 75% des cas, tandis que leur activité anti-tumorale est possible mais non prouvée.

Les différents radioéléments utilisés sont le strontium-89 qui est un émetteur  $\beta^-$  sans  $\gamma$  et le samarium-153 qui est émetteur  $\beta^-$  et  $\gamma$ .

I.1. Rappeler les lois de conservation observées lors d'une désintégration nucléaire spontanée.

I.2. Écrire l'équation de désintégration nucléaire du :

I.2.1. Strontium-89

I.2.2. Samarium-153

I.3. Calculer l'énergie libérée lors de la désintégration du :

I.3.1. Strontium-89

I.3.2. Samarium-153

I.4. Pour le samarium-153 :

I.4.1. Lors de la désintégration du samarium-153, il y a émission d'un photon  $\gamma$  d'énergie  $E(\gamma) = 103 \text{ keV}$ . Expliquer le phénomène à l'origine de cette émission  $\gamma$ .

I.4.2. Calculer l'énergie cinétique maximale des particules  $\beta^-$  lorsqu'un photon  $\gamma$  de 103 keV est émis.

I.4.3. Comment peut interagir une particule  $\beta^-$  dans les tissus biologiques ?

I.4.4. Sachant que le parcours moyen des particules  $\beta^-$  d'énergie 200 keV dans les tissus biologiques (assimilables à de l'eau) est d'environ  $R = 5,0 \text{ mm}$ , calculer :

I.4.4.a. Le TEL moyen maximal des particules  $\beta^-$

I.4.4.b. L'ionisation totale  $I_C$  provoquée par une particule  $\beta^-$ .

I.4.4.c. L'ionisation spécifique (ou densité d'ionisation linéique)  $I_S$ .

## II. SCINTIGRAPHIE OSSEUSE

*Outre le technétium-99m, le samarium-153 permet aussi de réaliser une scintigraphie osseuse. Le Sm-153 se trouve en unidoses de 15 mL livrées avec une activité initiale  $A_0 = 20 \text{ GBq}$ . La scintigraphie nécessite une dose de 370 MBq pour 10 kg de masse corporelle.*

II.1. En supposant que le flacon de solution contenant le samarium-153 soit en plomb, calculer l'épaisseur minimale du flacon pour arrêter 99% des photons  $\gamma$  d'énergie  $E(\gamma) = 103 \text{ keV}$ .

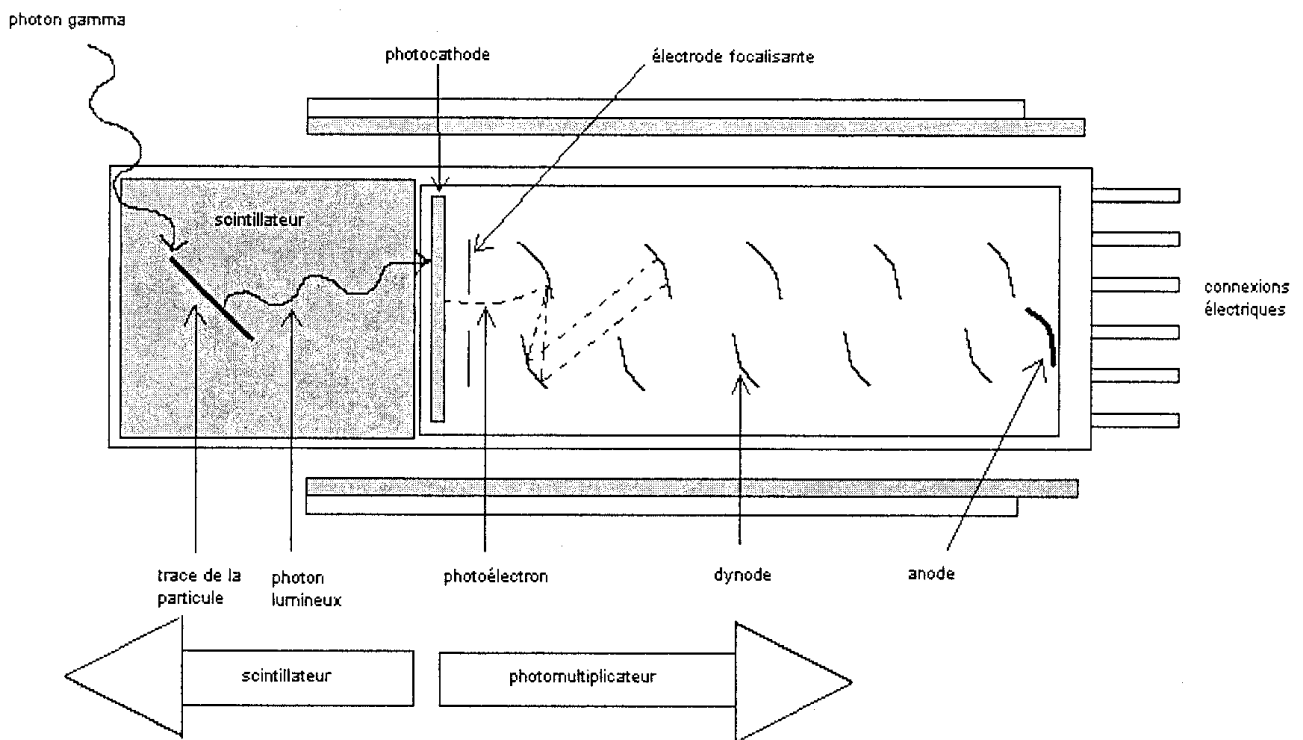
II.2. Calculer le temps au bout duquel le flacon ne présente plus qu'une activité de 3 GBq.

II.3. Calculer le volume de solution nécessaire pour effectuer cette scintigraphie sur un patient de 70 kg. (on prend une unidose d'activité  $A_0 = 20 \text{ GBq}$ ).

## III. DÉTECTION DES PHOTONS AVEC UNE GAMMA-CAMERA D'ANGER.

*La gamma-caméra utilisée dans le domaine médical est la caméra d'Anger, constituée d'un détecteur à scintillations.*

*Un cristal d'iodure de sodium contenant des impuretés de Thallium est couplé à un photomultiplicateur :*



Photoélectron = électron extrait par effet photoélectrique.

III.1. Scintillateur à iodure de sodium NaI dopé au Thallium.

L'iodure de sodium NaI dopé au thallium est un cristal scintillateur. Son numéro atomique effectif est  $Z = 50$ .

III.1.1. Définir les grandeurs et leur unité à porter sur les axes du graphique reproduit sur le document (page 7).

III.1.2. En vous aidant du graphique, préciser l'interaction prédominante des photons  $\gamma$  d'énergie  $E = 103 \text{ keV}$  dans le scintillateur.

III.1.3. Décrire (éventuellement à l'aide de schémas annotés) les effets photoélectrique, Compton et de matérialisation.

III.1.4. Sous l'effet d'un photon  $\gamma$ , des atomes de thallium se trouvent dans des états excités d'énergie de  $-3 \text{ eV}$ . Sachant que le niveau fondamental d'énergie pour l'atome de thallium est de  $-6 \text{ eV}$ , calculer la longueur d'onde du photon émis lors du passage d'un électron du niveau excité au niveau fondamental. A quel domaine des ondes électromagnétiques ce photon appartient-il ?

III.2. Photomultiplicateur.

*Le photomultiplicateur transforme les photons issus du scintillateur en signaux électriques (se référer au schéma page précédente).*

*Ces photons, de longueur d'onde  $\lambda = 414 \text{ nm}$ , arrachent à la photocathode des "photoélectrons" (cf schéma) qui sont ensuite focalisés sur la première dynode. Le rendement quantique (rapport du nombre de photoélectrons émis au nombre de photons reçus) de cette photocathode est de 20%. Chaque électron frappant une dynode provoque l'émission de plusieurs électrons dits électrons secondaires. Chaque dynode multiplie par  $K = 5$  le nombre d'électrons reçus.*

*Le photomultiplicateur comporte 10 dynodes. Les électrons émis par cette dixième dynode arrivent sur l'anode et génèrent le courant anodique dont l'intensité est de  $24,0 \text{ mA}$ .*

III.2.1. Calculer le nombre d'électrons ( $N_{eA}$ ) collectés par l'anode par seconde.

III.2.2. Calculer le nombre d'électrons ( $N_{ep}$ ) émis par la photocathode par seconde.

III.2.3. Calculer le nombre de photons ( $N_{p_p}$ ) reçus par la photocathode par seconde.

III.2.4. En déduire la puissance du rayonnement reçu par la photocathode.

Graphique

