

## IMRT3 : DEVOIR 3 : 1011

Masse d'un proton  $m_p = 1,007\,276\,u$   
 Masse d'un neutron  $m_n = 1,008\,665\,u$   
 Masse d'un électron  $m_e = 0,000\,548\,u$   
 Masse d'un deuton  $m_d = 3,34452 \times 10^{-27}\,kg$   
 Unité de masse atomique  
 masse atomique Tl 201 : 200,970818 u

Charge élémentaire  $e = 1,602 \times 10^{-19}\,C$   
 Célérité de la lumière (vide)  $c = 3,00 \times 10^8\,m.s^{-1}$   
 Constante de Planck  $h = 6,626 \times 10^{-34}\,J.s$   
 $1\,u = 1,66054 \times 10^{-27}\,kg = 931,5\,MeV.c^{-2}$   
 masse atomique de Hg 201 : 200,970302 u

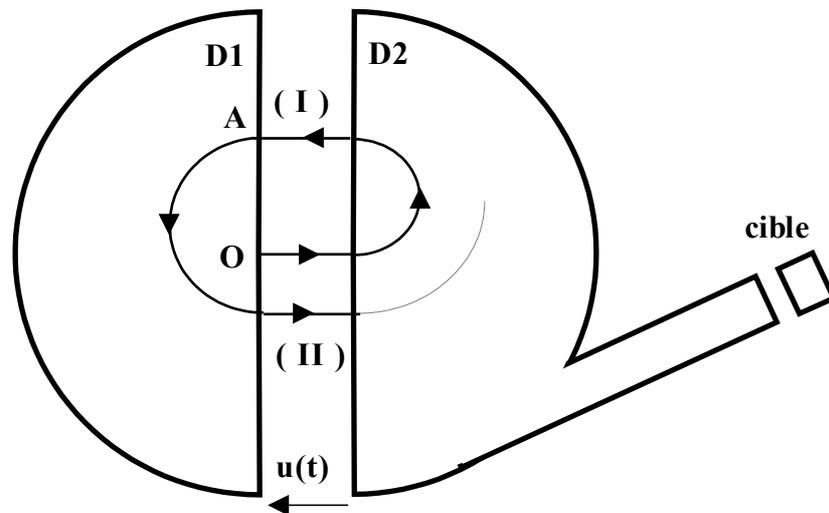
**Q1 : cyclotron ; remplir le tableau réponse V / F (pour vrai ou faux) (10 points)**

Dans le cyclotron schématisé ci-dessous, on accélère des deutons  ${}^2_1H^+$

Le champ magnétique vaut  $B = 2,0\,T$

La tension accélératrice est sinusoïdale ; son amplitude vaut  $U = 20\,kV$

La vitesse des deutons émis en O est négligeable.



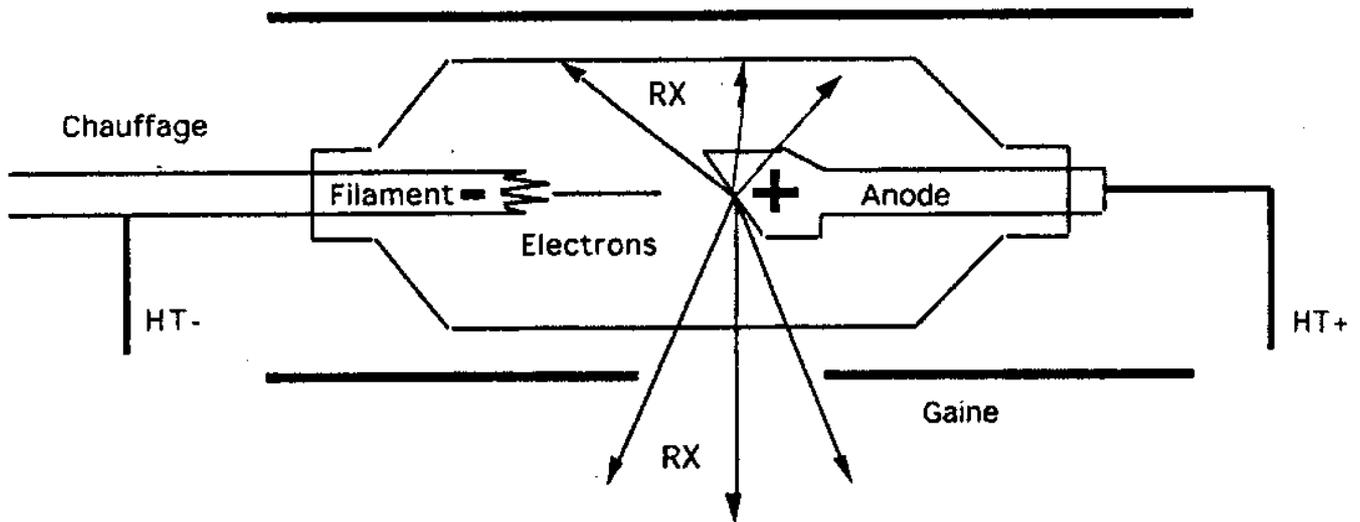
- 1) le deuton
  - A. la masse d'un deuton vaut environ 2 uma
  - B. l'énergie de masse  $mc^2$  d'un deuton vaut 1,9 GeV
  - C. la charge d'un deuton est négative
  - D. le deuton est un noyau d'hélium
  
- 2) A l'intérieur du dee  $D_2$ 
  - A. le champ magnétique est perpendiculaire au plan de la figure et "s'éloigne du lecteur"
  - B. le champ électrique est nul
  - C. le champ magnétique est nul
  - D. le champ magnétique est perpendiculaire au plan de la figure et "est dirigé vers le lecteur"
  
- 3) lorsque les deutons passent de  $D_1$  à  $D_2$  (situation II)
  - A. la tension  $u(t) = u_{D1} - u_{D2}$  est positive
  - B. la tension  $u(t) = u_{D1} - u_{D2}$  est nulle
  - C. la tension  $u(t) = u_{D1} - u_{D2}$  est négative
  - D. leur mouvement est uniforme
  
- 4) dans chacun des deux dees, la trajectoire du deuton est un demi-cercle parcouru
  - A. à vitesse constante
  - B. avec une vitesse croissante
  - C. avec une vitesse dont la valeur varie sinusoïdalement
  - D. avec une vitesse décroissante

- 5) dans les Dees, le rayon de courbure de la trajectoire du deuton
- A. augmente avec la vitesse à l'entrée des dees
  - B. augmente avec le nombre de tours effectués
  - C. augmente avec la valeur B du champ magnétique
  - D. ne dépend pas de l'énergie cinétique du deuton à son entrée dans le dee
- 6) La durée du parcours dans un dee
- A. dépend de la valeur B du champ magnétique
  - B. est indépendante de la masse des particules accélérées
  - C. dépend de la vitesse d'entrée de la particule dans le dee
  - D. dépend du rayon de la trajectoire
- 7) dans un Dee
- A. la force magnétique s'exerçant sur les deutons est perpendiculaire à leur vitesse
  - B. la valeur de la force s'exerçant sur les deutons reste constante
  - C. la force s'exerçant sur les deutons augmente avec le rayon de la trajectoire
  - D. la force s'exerçant sur les deutons garde la même direction
- 8) à la fin du premier tour (après 2 passages dans entre les deux Dees, en A)
- A. la vitesse des deutons vaut  $2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
  - B. la vitesse de deutons vaut  $1,9 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$
  - C. l'énergie cinétique des deutons vaut 20 keV
  - D. l'énergie cinétique des deutons vaut environ  $6,4 \times 10^{-15} \text{ J}$
- 9) La fréquence de la tension alternative  $u(t)$
- A. est proportionnelle au rayon de la trajectoire
  - B. doit être réglée en fonction de la nature des particules à accélérer
  - C. vaut 50 Hz
  - D. doit être réglée en fonction de la valeur B du champ magnétique.
- 10) à la sortie du cyclotron, les deutons ont effectué n tours :
- A. la vitesse des deutons vaut  $2\pi nB / c$  (B est le champ magnétique et c la célérité de la lumière)
  - B. l'énergie cinétique des particules dépend de la taille des Dees
  - C. la trajectoire des deutons est circulaire
  - D. l'énergie cinétique des deutons est proportionnelle à n

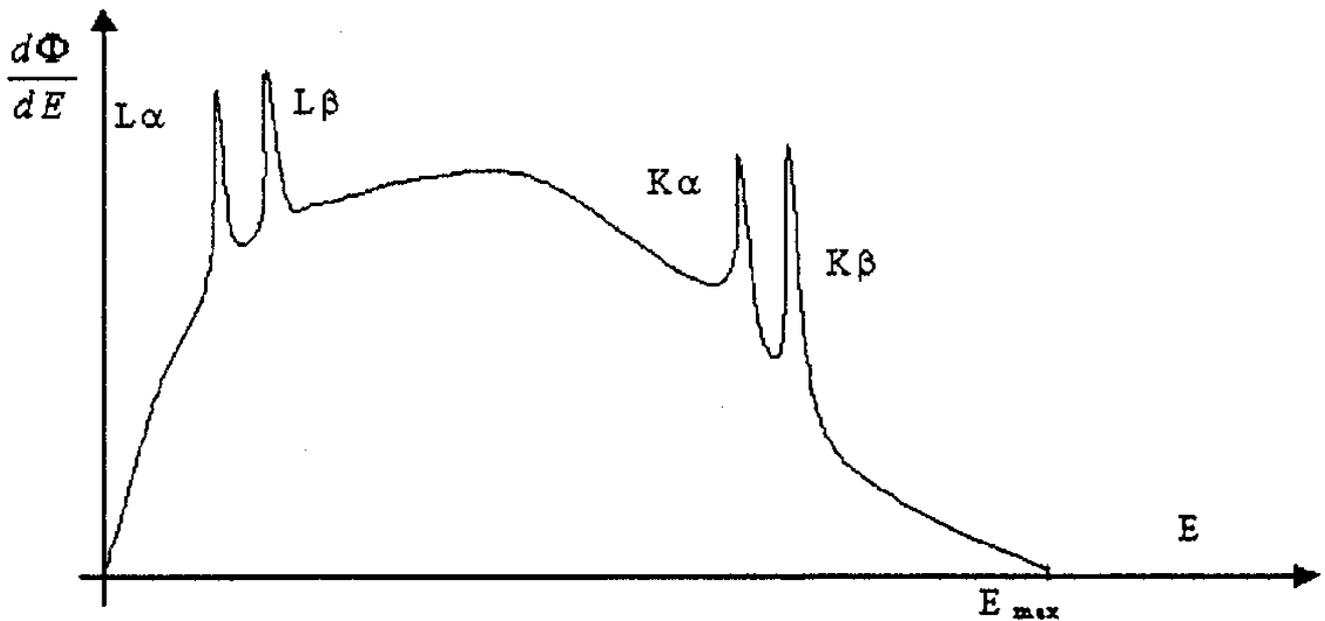
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
C										
D										

## Q2. Examen radiologique et examen échographique (18 points)

### 1. EXAMEN RADIOLOGIQUE



Un tube de Coolidge, dont le schéma est proposé ci-dessus, est alimenté par une tension  $U = 75 \text{ kV}$ .  
On donne un exemple de spectre des rayons X produits.



Données spécifiques au problème :

Milieu	Muscle	Os
Coefficient linéique d'atténuation des rayons X utilisés $\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\mu_m = 0,233$	$\mu_{os} = 0,527$

- 1.1. Décrire le phénomène à l'origine du fond continu du spectre d'émission des rayons X.
- 1.2. Décrire le phénomène à l'origine de la production des photons qui forment les raies  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$ ,  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ . du spectre. Préciser la signification des notations  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$ ,  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ .
- 1.3. Établir la relation entre la tension  $U$  d'alimentation du tube et l'énergie maximale  $E_{\max}$  des rayons X produits.
- 1.4. En déduire la longueur d'onde minimale  $\lambda_{\min}$  des photons X produits.
- 1.5. Calculer le pourcentage de rayons X qui traversent 2,0 cm de muscle.
- 1.6. Calculer le pourcentage de rayons X qui traversent 2,0 cm d'os.
- 1.7. *Le contraste radiologique  $C$  est défini par la relation :*

$$C = \frac{e^{-\mu_m x} - e^{-\mu_{os} x}}{e^{-\mu_m x} + e^{-\mu_{os} x}}$$

Calculer le contraste radiologique muscle-os pour une épaisseur traversée de 2,0 cm.

## 2. EXAMEN ÉCHOGRAPHIQUE

*On utilise des ultrasons de fréquence 1 MHz à la même interface muscle-os (on négligera l'épaisseur de la peau et de la graisse).*

*On donne :*

Milieu	coefficient d'atténuation des ultrasons de fréquence 1 MHz ( $m^{-1}$ )	Masse volumique ( $kg.m^{-3}$ )	Célérité des ultrasons ( $km.s^{-1}$ )
Muscle	26,2	$1,04 \times 10^3$	1,58
Os	263	$1,65 \times 10^3$	4,00

- 2.1. Calculer les impédances acoustiques  $Z_m$  du muscle et  $Z_{os}$  de l'os.
- 2.2. *On rappelle que les coefficients de réflexion et de transmission d'une onde ultrasonore arrivant perpendiculairement à la surface entre deux milieux sont donnés par les relations :*

$$\alpha_R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad \text{et} \quad \alpha_T = 4 \frac{Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Calculer les coefficients de réflexion et de transmission à l'interface muscle-os.

2.3. *La sonde envoie une salve d'ultrasons d'intensité acoustique  $I_0$  dans le milieu constitué de 2,0 cm de muscle puis 3,0 cm d'os.* Calculer la durée  $\Delta t_1$  qui sépare l'émission de la salve de la réception de l'écho dû à l'interface muscle-os.

- 2.4. Calculer la durée  $\Delta t_2$  séparant la réception de cet écho et celle du suivant.
- 2.5. Calculer le rapport des intensités acoustiques de ces deux échos. Commenter.

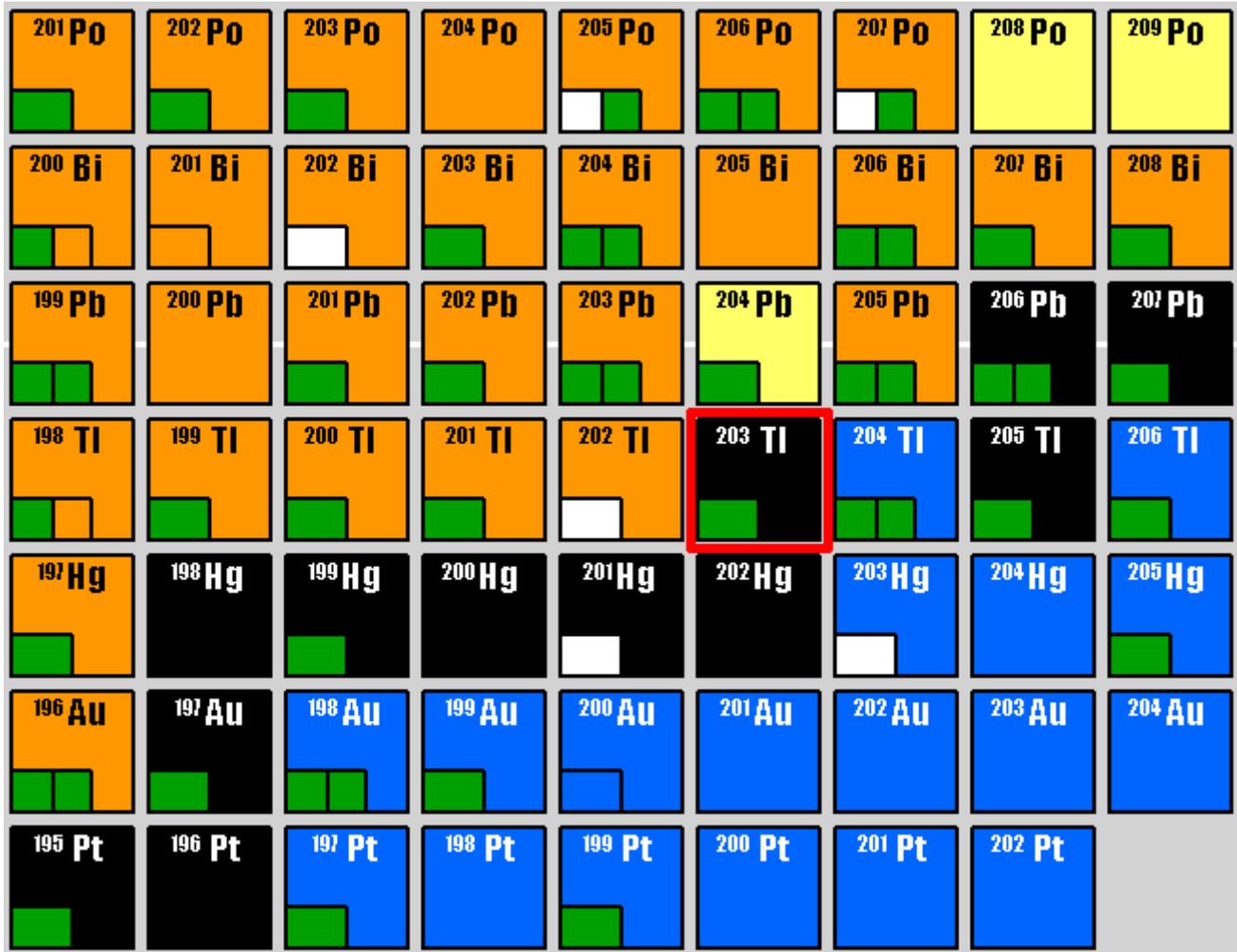
**PROBLÈME : le thallium  $^{201}_{81}\text{Tl}$  (32 points)**

*Le thallium  $^{201}_{81}\text{Tl}$  est utilisé comme traceur de perfusion et de viabilité du muscle. Son mécanisme de fixation repose sur sa ressemblance chimique avec le potassium.*

**Données :**

*Le thallium 201 se désintègre en mercure 201 par capture électronique ; sa période (demi-vie) vaut  $T = 73$  heures.*

*Extraits de la carte de nucléides  $\{Z,N\}$ .*



*Extraits de la classification périodique*

0	7	10	11	12	13	14	15	16	17
26 55.845 <b>Fe</b> FER	27 58.933 <b>Co</b> COBALT	28 58.693 <b>Ni</b> NICKEL	29 63.546 <b>Cu</b> CUIVRE	30 65.39 <b>Zn</b> ZINC	31 69.723 <b>Ga</b> GALLIUM	32 72.64 <b>Ge</b> GERMANIUM	33 74.922 <b>As</b> ARSENIC	34 78.96 <b>Se</b> SÉLÉNIUM	
44 101.07 <b>Ru</b> RUTHÉNIUM	45 102.91 <b>Rh</b> RHODIUM	46 106.42 <b>Pd</b> PALLADIUM	47 107.87 <b>Ag</b> ARGENT	48 112.41 <b>Cd</b> CADMIUM	49 114.82 <b>In</b> INDIUM	50 118.71 <b>Sn</b> ÉTAIN	51 121.76 <b>Sb</b> ANTIMOINE	52 127.60 <b>Te</b> TELLURE	
76 190.23 <b>Os</b> OSMIUM	77 192.22 <b>Ir</b> IRIDIUM	78 195.08 <b>Pt</b> PLATINE	79 196.97 <b>Au</b> OR	80 200.59 <b>Hg</b> MERCURE	81 204.38 <b>Tl</b> THALLIUM	82 207.2 <b>Pb</b> PLOMB	83 208.98 <b>Bi</b> BISMUTH	84 (209) <b>Po</b> POLONIUM	

## 1. L'élément Thallium.

1.1. *Le thallium se trouve, dans la classification périodique, à la sixième ligne et la treizième colonne.*

Donner la composition de son **nuage électronique**.

1.2. Donner la composition des **noyaux** du thallium 201, du thallium 203, du thallium 206.

1.3. *Le thallium 204 est radioactif alors que le thallium 203 et le thallium 205 ne le sont pas ;* proposer une explication.

1.4. *Le thallium 203 est stable, alors que le thallium 200 et le thallium 206 sont radioactifs.*

Quels types de particules ces deux derniers nucléides sont-ils susceptibles d'émettre ? Justifier en exploitant la carte des nucléides fournie.

## 2. Formation du thallium 201.

2.1. *Le thallium 203 est soumis à un flux de protons ; il se transmute alors en plomb 201 ;* donner l'équation de cette transmutation ; préciser le noms de toutes les particules émises au cours de cette transformation.

2.2. *Le plomb 201, spontanément, se transforme en thallium 201.* Donner le nom et l'équation de cette transformation.

## 3. Radioactivité du thallium 201.

*Le thallium 201 se transforme en mercure 201 par capture électronique ; sa période (demi-vie) vaut  $T = 73$  heures.*

*Les émissions principales sont :  $\gamma$  à 135 keV et 167 keV  $X$  à 69 keV, 71 keV et 80 keV*

3.1. Expliquer ce qu'est une capture électronique ; donner l'équation correspondante. \_\_\_\_\_ 384

3.2. Exprimer puis calculer l'énergie disponible de cette transformation. \_\_\_\_\_ 167

3.3. *Les premiers niveaux des états excités du noyau du mercure 201 sont donnés dans le diagramme d'énergie ci-contre (les énergies sont en keV).*  
 À partir de ce diagramme, expliquer la formation des deux émissions  $\gamma$  évoquées plus haut \_\_\_\_\_ 32,1  
 \_\_\_\_\_ 0

3.4. *Quelques valeurs des niveaux d'énergies internes de l'atome de mercure sont données dans le tableau ci-dessous.*

niveau	$K (1s)$	$L_I (2s)$	$L_{II} (2p)$	$L_{III} (2p)$	$M_I (3s)$
Énergie (keV)	-83,1	-14,8	-14,2	-12,3	-3,6

Calculer les énergies des raies  $k_{\alpha 2}$ ,  $k_{\alpha 3}$ , et  $k_{\beta 1}$  ; à partir de ces valeurs, expliquer la formation des rayons X émis au cours de la désintégration du thallium 201.

3.5. *On observe également l'émission d'électrons "Auger" KLL.*

Expliquer comment la présence de ce type d'électrons accompagne la formation des rayons X ; donner la signification du groupement de lettres KLL.

*L'énergie cinétique des électrons Auger KLL vaut environ 55 keV ;* interpréter ce résultat à l'aide des données de la question 3.4.

#### 4. Propagation des rayonnements dans la matière.

*Le rayonnement émis par le thallium 201 est constitué à 70% de photons X de 71 keV.*

*Le coefficient d'atténuation linéique de ces photons vaut  $0,172 \text{ cm}^{-1}$ .*

*Le graphique ci dessous résume le comportement des photons dans l'eau.*

4.1. Donner les noms et les unités des grandeurs portées sur les axes de ce graphique.

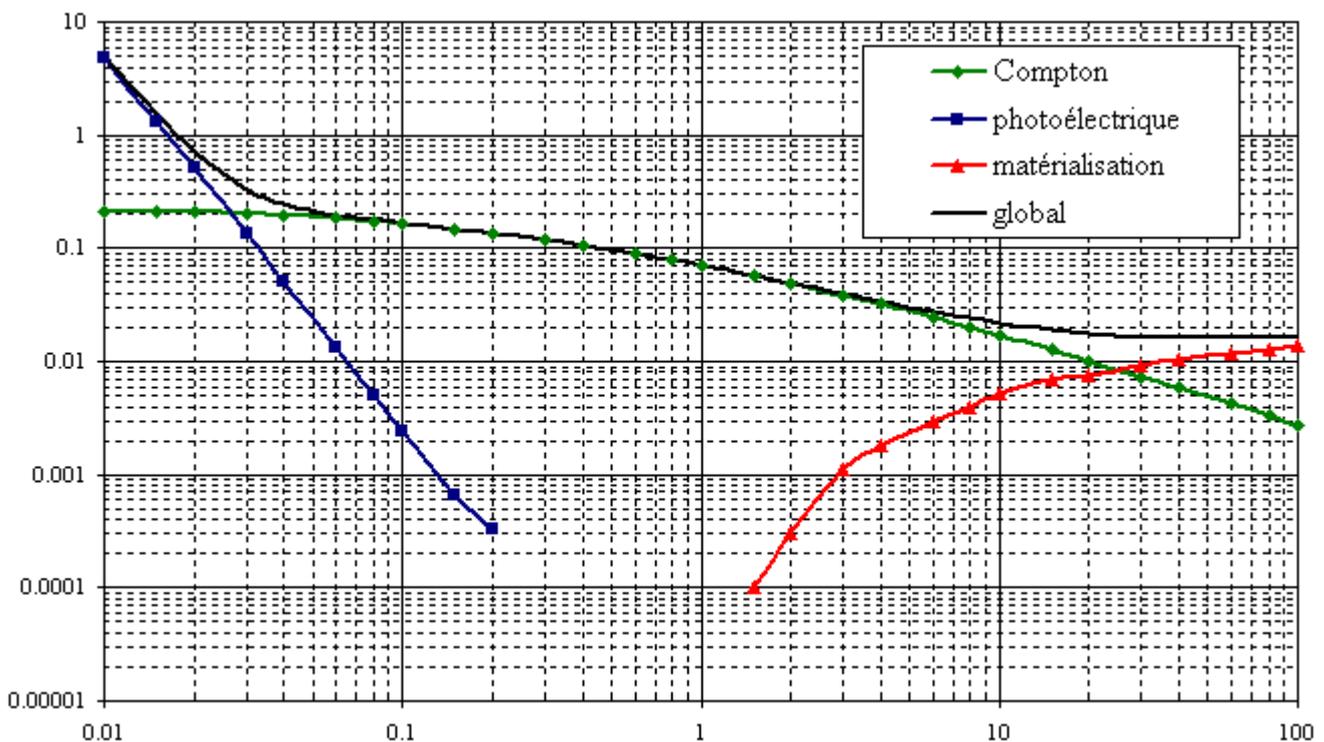
4.2. Donner une description des trois types d'interaction évoqués sur ce graphique.

4.3. Déterminer quel type d'interaction ces photons subissent avec l'eau.

Retrouver graphiquement la valeur du coefficient d'atténuation linéique (la masse volumique de l'eau vaut  $\rho = 1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

4.4. Calculer l'épaisseur de la couche de demi atténuation CDA pour ce type de photons dans l'eau.

4.5. Définir et calculer l'épaisseur de la couche de déci transmission CDT.



#### 5. Activité d'un échantillon radioactif de thallium 201

*Le thallium est livré en ampoule de 10 mL de solution de chlorure de thallium d'activité volumique  $125 \text{ MBq/mL}$  à la date de calibration. Les ampoules ont été calibrées pour le Lundi à 8h00.*

5.1. *La solution calibrée d'une ampoule est immédiatement diluée d'un facteur 10 (10 mL de l'ampoule dans un volume total de 100 mL) à la livraison.*

Calculer l'activité volumique de la solution diluée obtenue.

5.2. Calculer la constante radioactive du Thallium 201.

5.3. *On injecte, sous forme d'une solution de chlorure de Thallium une dose de 50 MBq à un adulte le Jeudi à 8h00.* Calculer l'activité volumique de la solution diluée au moment de l'injection.

En déduire le volume de solution à injecter au patient.

5.4. Calculer l'activité d'une ampoule (non diluée) le lundi suivant à 8h00.