

IMRT3 : DEVOIR 3 : 0910

Données :

<i>charge élémentaire</i>	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
<i>constante de Planck</i>	$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
<i>célérité de la lumière dans le vide</i>	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
<i>masse de l'électron</i>	$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV}.c^{-2}$
<i>masse d'un proton</i>	$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
<i>masse volumique du plomb</i>	$\rho_{Pb} = 11,3 \text{ g.cm}^{-3}$
<i>masse volumique de l'aluminium</i>	$\rho_{Al} = 2,7 \text{ g.cm}^{-3}$
<i>numéro atomique de l'élément tungstène</i>	$Z(W) = 74$
<i>unité de masse atomique</i>	$1 u = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}.c^{-2}$

Première partie

Q1 : Compléter le tableau par V pour vrai et F pour faux.

1 L'énergie m_0c^2 d'un proton au repos vaut :

- a) 0,938 keV b) 938 MeV c) 15,0 nJ d) $1,50 \times 10^{-13} \text{ J}$

2 la vitesse d'un proton vaut $v = 30\,000 \text{ km.s}^{-1}$:

- a) Son énergie cinétique vaut 4,7 keV b) Son énergie cinétique vaut $E_c = 7,51 \times 10^{-13} \text{ J}$
c) Son énergie totale vaut 943 MeV d) Son énergie de masse vaut 931,5 MeV

3. La vitesse d'un électron d'énergie cinétique $E = 11,4 \text{ eV}$ vaut :

- a) $2,0 \times 10^3 \text{ km.s}^{-1}$ b) $3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ c) $1,4 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$ d) $2,0 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$

4) Un électron accéléré par une différence de potentiel de 10 000 V

- a) à une vitesse de $3 \times 10^{10} \text{ m.s}^{-1}$
b) a une énergie cinétique de 0,2 J
c) a une énergie totale de 521 keV
d) a une énergie totale inférieure à 0,511 MeV

5. La longueur d'onde d'un rayonnement vaut $\lambda = 500 \text{ nm}$:

- a) c'est un rayonnement infra rouge
b) l'énergie du photon correspondant vaut $1,32 \times 10^{-27} \text{ J}$
c) l'énergie du photon correspondant vaut 2,48 eV
d) c'est un photon visible

6. Un photon a pour longueur d'onde dans le vide 5 nm

- a) c'est un photon "gamma"
b) sa fréquence vaut $6 \times 10^{17} \text{ Hz}$
c) son énergie vaut 248 eV
d) il appartient au domaine des infrarouges

7. Le niveau fondamental de l'atome d'hydrogène vaut -13,6 eV

- a) Le niveau fondamental de l'atome d'hydrogène vaut $-2,17 \times 10^{-18} \text{ J}$
b) Le niveau du second état excité vaut -1,7 eV
c) Le niveau du premier état excité vaut $-1,09 \times 10^{-18} \text{ J}$
d) Le niveau du premier état excité vaut -2,4 eV

8. Les niveaux 2s, 2p, 3s et 3p du lithium sont respectivement -5,39eV, -3,54 eV, -2,00 eV et -1,54 eV :

- a) La transition $2p \rightarrow 2s$ correspond à un photon de d'énergie 0,85 eV
- b) La transition $2p \rightarrow 2s$ correspond à un photon de longueur d'onde $6,71 \times 10^{-9} \text{m}$
- c) La transition $3s \rightarrow 2p$ correspond à un photon d'énergie $2,46 \times 10^{-19} \text{J}$
- d) La transition $3p \rightarrow 2s$ correspond à un photon de longueur d'onde 323 nm

9 Les caractéristiques de la lumière émise par un laser hélium/néon (longueur d'onde $\lambda = 632 \text{ nm}$) sont :

- a) Le faisceau est monochromatique
- b) La lumière émise est cohérente
- d) Les photons émis sont situés dans l'infra-rouge
- d) L'énergie des photons vaut 13,6 eV

10. Énergie de liaison

- a) l'énergie de liaison d'un électron de la couche K est inférieure à l'énergie de liaison d'un électron de la couche L
- b) l'énergie de liaison d'un électron sur la couche K est pour tous les atomes égale à -13,6 eV
- c) la valeur (absolue) de l'énergie de la couche K augmente avec le numéro atomique de l'atome
- d) l'énergie d'une transition électronique entre deux états excités est toujours plus faible que l'énergie d'ionisation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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.

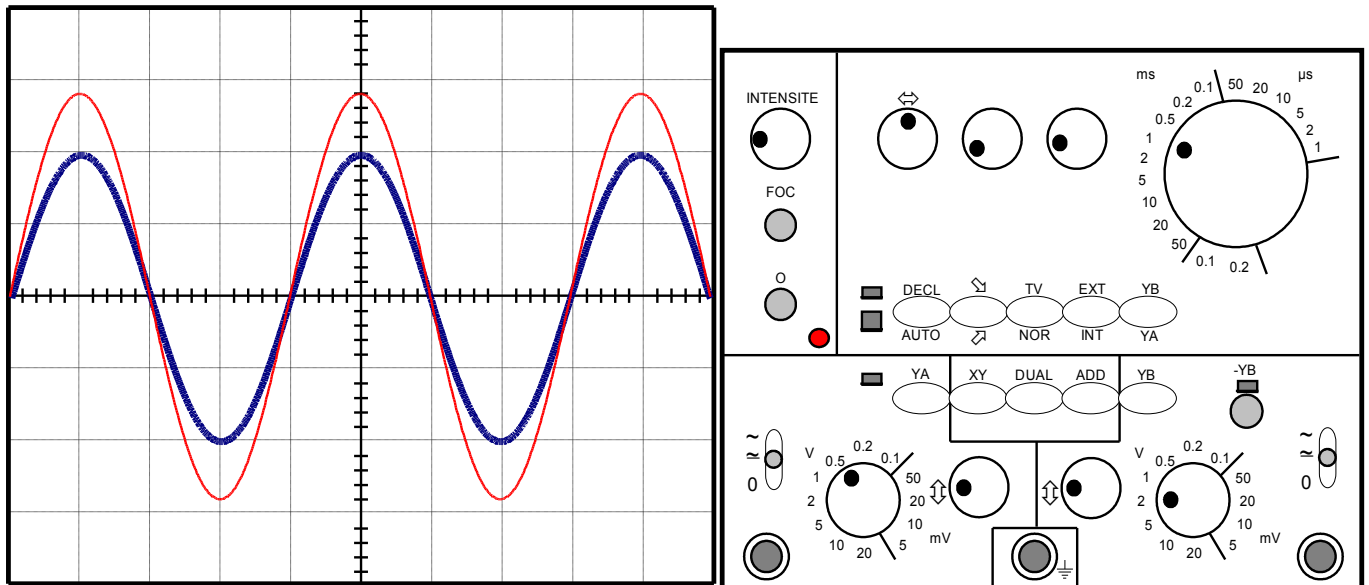
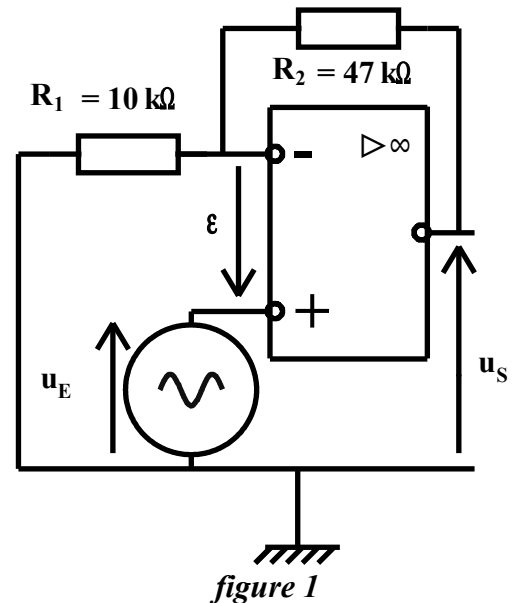
1.2. Donner les caractéristiques de la tension délivrée par le générateur (période, fréquence, amplitude, valeur efficace).

1.3. Établir l'expression de la tension u_S en fonction de u_E , R_1 et R_2 :

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

Définir et calculer le coefficient d'amplification du montage.

1.4. Mesurer l'amplitude de la tension u_S (voie 2, trait fin) sur l'oscillogramme ; conclure.



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.

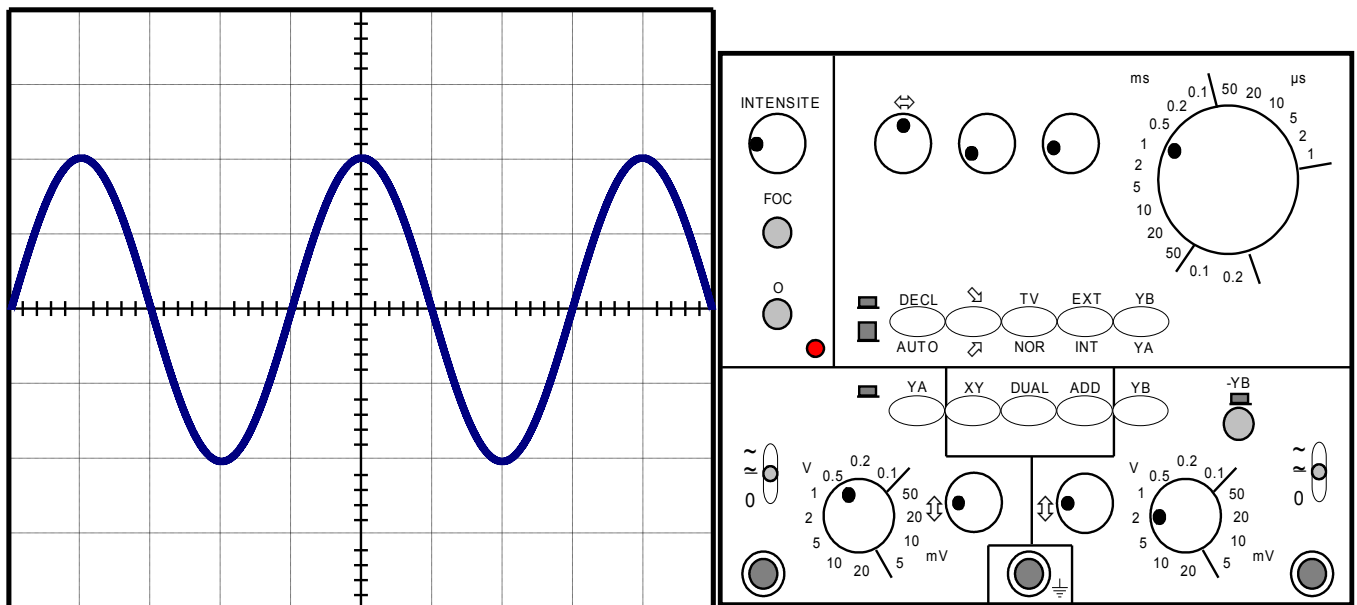


figure 3

Deuxième partie : problème

Filtration des rayons X en radiodiagnostic.

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

1. Donner la répartition des électrons dans les différentes couches du nuage électronique du tungstène. En déduire sa place (ligne, colonne) dans la classification périodique à 18 colonnes.

2. En première approximation, les niveaux d'énergie d'un atome sont donnés par la relation :

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

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

Expliquer pourquoi la valeur mesurée est différente de la valeur 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 donne les niveaux d'énergie suivants pour l'atome de tungstène :

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

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

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

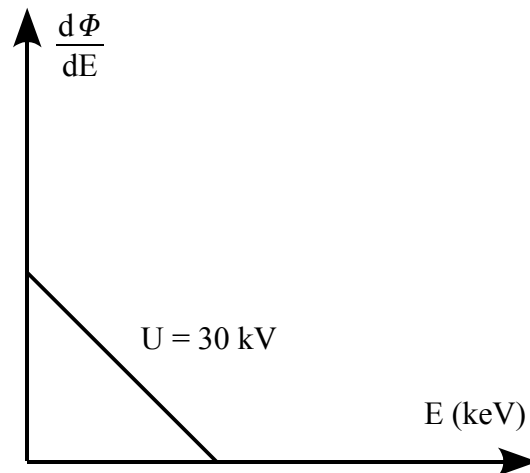
1. Calculer les énergies des photons provenant de l'émission des raies K_α et L_α . Exprimer ce résultat en keV.

2. L'énergie des photons de la raie L_α 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. Donner le nom du phénomène auquel est due l'existence de ce spectre continu.

4. Donner en la justifiant l'expression de l'énergie des photons X les plus énergétiques que puisse émettre le tube. Calculer le 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 $U = 30 \text{ kV}$ 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.** Calculer 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 θ avec la direction du photon incident.

1.2.1. Donner en la justifiant la relation existant entre E , E' et E_c . En déduire la valeur de E' .

1.2.2. Calculer les longueurs d'onde λ et λ' 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 θ 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. Donner, en la justifiant, l'énergie minimale (en MeV) du photon permettant l'observation du phénomène.

1.3.3. Expliquer comment se répartit l'énergie d'un photon possédant une énergie supérieure à cette énergie minimale.

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 donne les coordonnées de quelques uns de leurs points **AUXQUELLES IL CONVIENDRA DE SE RÉFÉRER POUR EFFECTUER LES CALCULS DEMANDÉS**.

2.1. Atténuation provoquée par le plomb

2.1.1. Donner 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.

2.1.5. Définir et calculer la profondeur de déci-transmission d'un faisceau de photons de 20 keV pour le plomb et l'aluminium. De ces deux métaux, quel est celui dont le pouvoir d'atténuation est le plus important ?

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.

On donne les niveaux d'énergie du molybdène : $E_K = 20,0 \text{ keV}$ $E_L = 2,6 \text{ keV}$ $E_M = 0,4 \text{ keV}$

2.2.1. Commenter la forme de la courbe en pointillé (coefficient massique d'atténuation du molybdène) ; justifier l'existence du pic à l'aide des données du problème.

2.2.2. Interpréter le passage du spectre 1 au spectre 2 ; l'interprétation doit (bien sur) faire intervenir la courbe en pointillé.

Figure 4

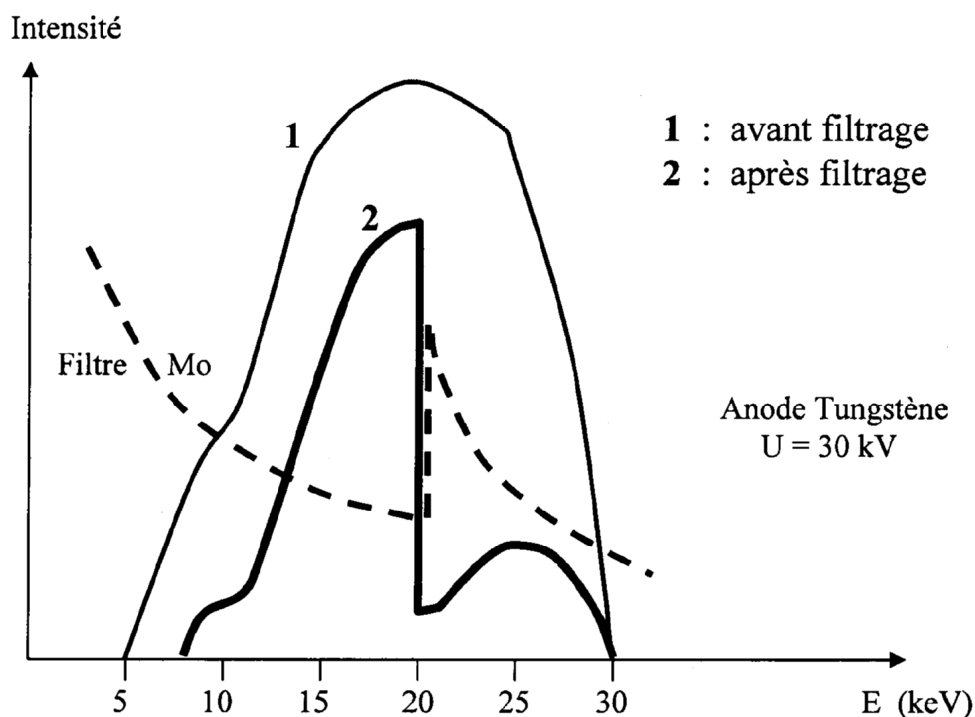
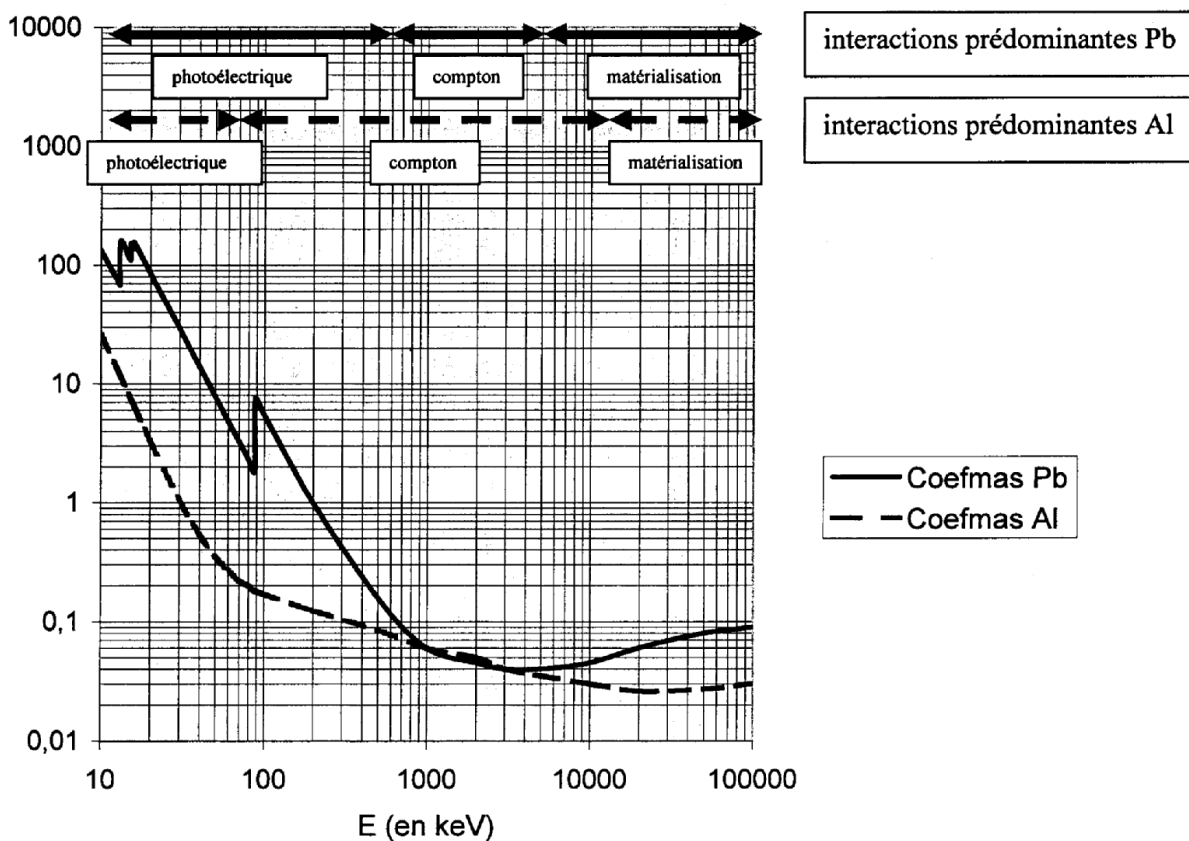


Figure 3

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



Coordonnées de quelques points des courbes ci-dessus.

Énergie (en keV)	Coefmas Pb (en cm^2/g)	Coefmas Al (en cm^2/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