

# INTERACTION DES PARTICULES CHARGÉES AVEC LA MATIÈRE : EXERCICES

## TLE et DLI.

Le transfert linéique d'énergie TLE, ainsi que la densité linéaire d'ionisation DLI sont donnés dans le tableau suivant pour des faisceaux de particules chargées d'énergies différentes. (ces valeurs sont données pour l'eau).

énergie	TLE (keV / $\mu\text{m}$ )	DLI (ion. / $\mu\text{m}$ )
Électrons d'environ 100 keV	4,2	130
Électrons 1,25 MeV	0,185	5,6
Électrons 5,0 MeV	0,197	5,9
Électrons 10 MeV	0,215	6,5
Électrons 20 MeV	0,245	7,4
Particules $\alpha$ 5,0 MeV	88,6	2700
Particules $\alpha$ 10 MeV	53,4	1600
Protons 5,0 Mev	7,91	240
Protons 10 Mev	4,57	140

Montrer que ce tableau permet d'évaluer l'énergie moyenne perdue au cours d'une ionisation dans l'eau et la calculer. Cette énergie perdue dépend-elle de l'énergie (et de la nature) de la particule ionisante ? Comment évolue la distance parcourue dans la matière en fonction de l'énergie des électrons ? Calculez la profondeur de pénétration de chaque type de particule. Comparez la profondeur de pénétration des différentes particules de mêmes énergies.

## Interactions des particules $\alpha$ : perte d'énergie et épaisseur d'écran.

masse volumique de l'aluminium  $\rho = 2,7020 \text{ g/cm}^3$

Le tableau ci contre donne les pouvoirs d'arrêt des particules  $\alpha$  dans l'aluminium.

1. Calculer les valeurs manquantes dans le tableau.

Un faisceau de particules alpha ( $\text{He}^{2+}$ ) est incident sur une feuille d'aluminium d'épaisseur égale à  $1 \mu\text{m}$ . L'énergie cinétique incidente des particules alpha est égale à  $E_0 = 10 \text{ MeV}$ .

2. En supposant en première approximation le pouvoir d'arrêt des particules  $\alpha$  constant lors de la traversée de la feuille d'aluminium, calculer la perte d'énergie des particules  $\alpha$  lors de la traversée de la feuille.

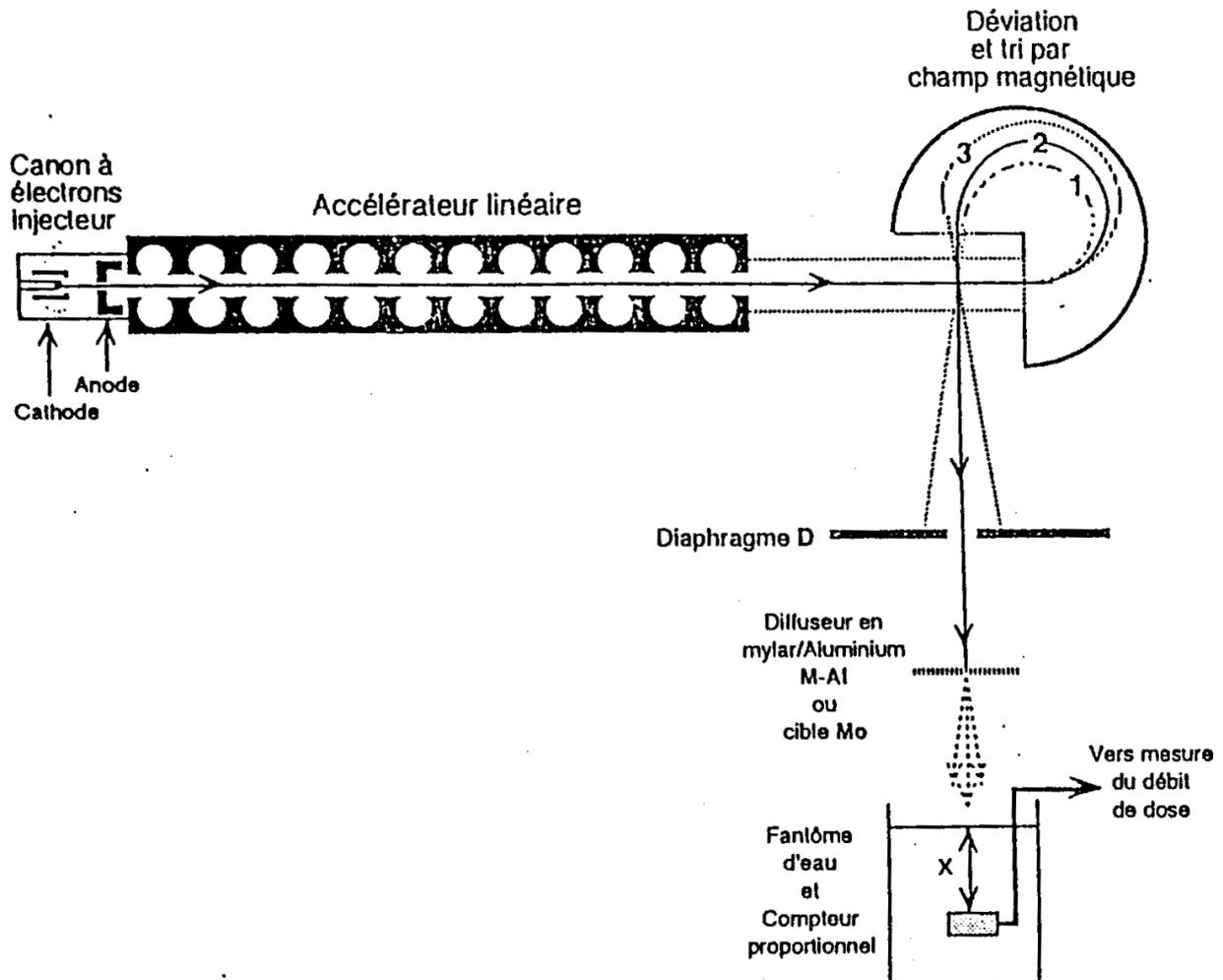
3. En supposant toujours le pouvoir d'arrêt constant, calculer l'épaisseur d'aluminium à interposer pour ralentir les particules  $\alpha$  de  $10 \text{ MeV}$  jusqu'à  $1 \text{ MeV}$ .

4. En utilisant maintenant les propriétés des différences des pouvoirs d'arrêt, calculer l'épaisseur d'aluminium à interposer pour ralentir les particules  $\alpha$  de  $10 \text{ MeV}$  jusqu'à  $1 \text{ MeV}$ .

$E_c$ (MeV)	$\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dl}$ (MeV.cm <sup>2</sup> / g)	$dE/dl$ (MeV/mm)
1,00	1,23E+003	331
1,25	1,16E+003	314
1,50	1,10E+003	297
1,75	1,04E+003	281
2,00	9,86E+002	???
2,25	9,39E+002	256
2,500	8,96E+002	242
2,750	8,58E+002	232
3,00	8,22E+002	222
3,50	7,57E+002	204
4,00	6,99E+002	189
4,50	6,48E+002	175
5,00	6,05E+002	????
5,50	5,68E+002	154
6,00	5,36E+002	145
6,50	5,08E+002	137
7,00	4,83E+002	130
7,50	4,60E+002	124
8,00	4,40E+002	119
8,50	4,22E+002	114
9,00	4,05E+002	110
9,50	3,90E+002	105
10,0	3,76E+002	????

## Problème

On se propose d'étudier l'accélération et différentes utilisations d'un faisceau d'électrons en suivant le schéma ci-dessous :



### 1. Production d'un faisceau mono énergétique d'électrons.

#### 1.1. Étude du dispositif d'accélération.

Le canon : la cathode est chauffée à 1200 K. Les électrons émis avec une énergie moyenne de 5 eV, sont accélérés par un champ électrique uniforme créée par une différence de potentiel  $U_{AC}$  entre cathode et anode distantes de 10 cm.

a) Calculer en eV et en Joules l'énergie cinétique de ces électrons à la sortie du canon quand la tension  $U_{AC} = 500$  V.

b) La courbe expérimentale donnant la vitesse des électrons en fonction de la tension  $U_{AC}$  est donnée par la figure 1(b) placée en annexe. Tracer sur le même graphique la courbe donnant la vitesse théorique des électrons en fonction de la tension  $U_{AC}$  entre la cathode et l'anode de canon, en supposant l'électron non relativiste. On fera apparaître les calculs effectués dans le tableau joint au graphique 1(b).

Comparer les deux courbes et conclure.

#### 1.2. Déviation magnétique et filtre d'énergie.

Les électrons produits dans le canon, alimenté par une tension  $U_{AC} = 500$  V, sont injectés dans un réacteur linéaire (dont on ne demande pas le principe de fonctionnement). Ils en ressortent avec des énergies comprises entre 4 et 8 MeV.

a) Quel domaine de tensions accélératrices permet de communiquer ces énergies de 4 à 8 MeV ?

Pensez-vous que les électrons ainsi accélérés soient, ou non, relativistes ? Justifiez.

b) Pour simplifier, nous considérerons ce faisceau d'électrons poly énergétique comme la superposition de trois faisceaux mono énergétiques de 4, 6 et 8 MeV.

On désire isoler le faisceau mono énergétique de 6 MeV. Pour ce faire, le faisceau poly énergétique arrive dans un espace où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , perpendiculaire au plan de la figure. Les trois faisceaux ont alors les trajectoires notées 1, 2 et 3 de la figure 2.

Représentez le vecteur  $\vec{B}$  sur la figure 2 du document annexe.

c) Attribuez, en le justifiant, un numéro de trajectoire à l'énergie de chaque faisceau mono énergétique. Par exemple, "La trajectoire n°1 est celle du faisceau d'énergie x MeV parce que ....." (On pourra utiliser la formule donnant le rayon de la trajectoire sans la démontrer).

d) Quel est le rôle du diaphragme en plomb ? Quel est le devenir des faisceaux de 4 et 8 MeV dans le plomb ?

## 2. Interaction du faisceau mono énergétique avec l'eau.

Le faisceau d'électrons de 6 MeV est élargi par diffusion à travers un sandwich de feuilles de mylar et d'aluminium. Il arrive dans un "fantôme d'eau".

2.1. Dans une première hypothèse, nous supposons que le transfert linéique d'énergie (TLE) des électrons de ce faisceau est constant et vaut  $1,8 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^{-1}$ . L'énergie nécessaire pour créer une paire [ion positif / électrons] dans l'eau vaut 33 eV. Calculez :

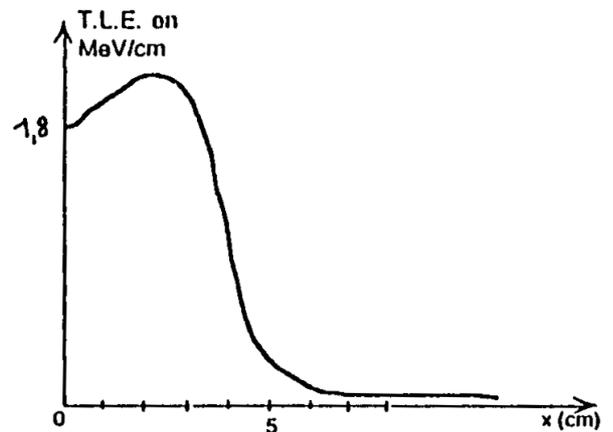
a) La distance parcourue par ces électrons.

b) Le nombre total de paires créées.

c) La densité linéique d'ionisation (DLI), nombre de paires d'ions créées par unité de longueur.

d) Le rapport :  $\frac{\text{nombre de molécules d'eau ionisées}}{\text{nombre total de molécules d'eau}}$  ; on calculera le nombre total de molécules d'eau par unité de longueur (cm) en faisant les hypothèses simplificatrices suivantes sur les portions de trajet rectiligne des électrons, les molécules d'eau sont des sphères jointives de diamètre 500 pm. Concluez.

2.2. Dans une seconde hypothèse, on met en doute la constance du TLE des électrons progressivement ralentis dans l'eau. Pour étudier alors leur dépôt d'énergie, on immerge dans le fantôme d'eau un compteur proportionnel, permettant de déterminer la TLE en fonction de la profondeur x. On obtient alors la courbe ci-contre :



Quel nom donne-t-on à ce type de courbe ? Commentez l'allure de cette courbe.

## 3. Production d'un faisceau de rayons X.

On ôte le diffuseur de mylar / aluminium et on le remplace par une mince plaque de molybdène. Le faisceau mono énergétique d'électrons de 6 MeV produit alors, dans sa direction incidente, un faisceau de rayons X.

a) Calculez la fréquence et la longueur d'onde minimum  $\lambda_{\min}$  des photons X de freinage émis par la cible en molybdène.

b) En fait les photons X les plus nombreux ont une longueur d'onde qui vaut  $3 \lambda_{\min} / 2$ . Calculez cette longueur d'onde et l'énergie correspondante de ces photons X.

c) Le traitement d'une tumeur par ces photons nécessite un débit de dose de 2 Gy par minute. Or une mesure effectuée dans un fantôme placé sur le trajet du faisceau de rayons X donne 10 Gy par minute. Quelle doit être l'épaisseur du filtre de cuivre à interposer sur le faisceau ? Le coefficient linéique d'absorption du cuivre est  $\mu = 15 \text{ cm}^{-1}$  pour l'énergie des photons considérés.

DOCUMENT 1(b) à compléter et à rendre avec la copie.

$U_{AC}$ (V)	$\text{Log}(U_{AC})$	$V \text{ (m.s}^{-1}\text{)} \times 10^8$
	0	
	1	
	2	
	3	
	4	
	4,5	
	5	
	5,5	
	6	
	6,5	
	7	
	8	

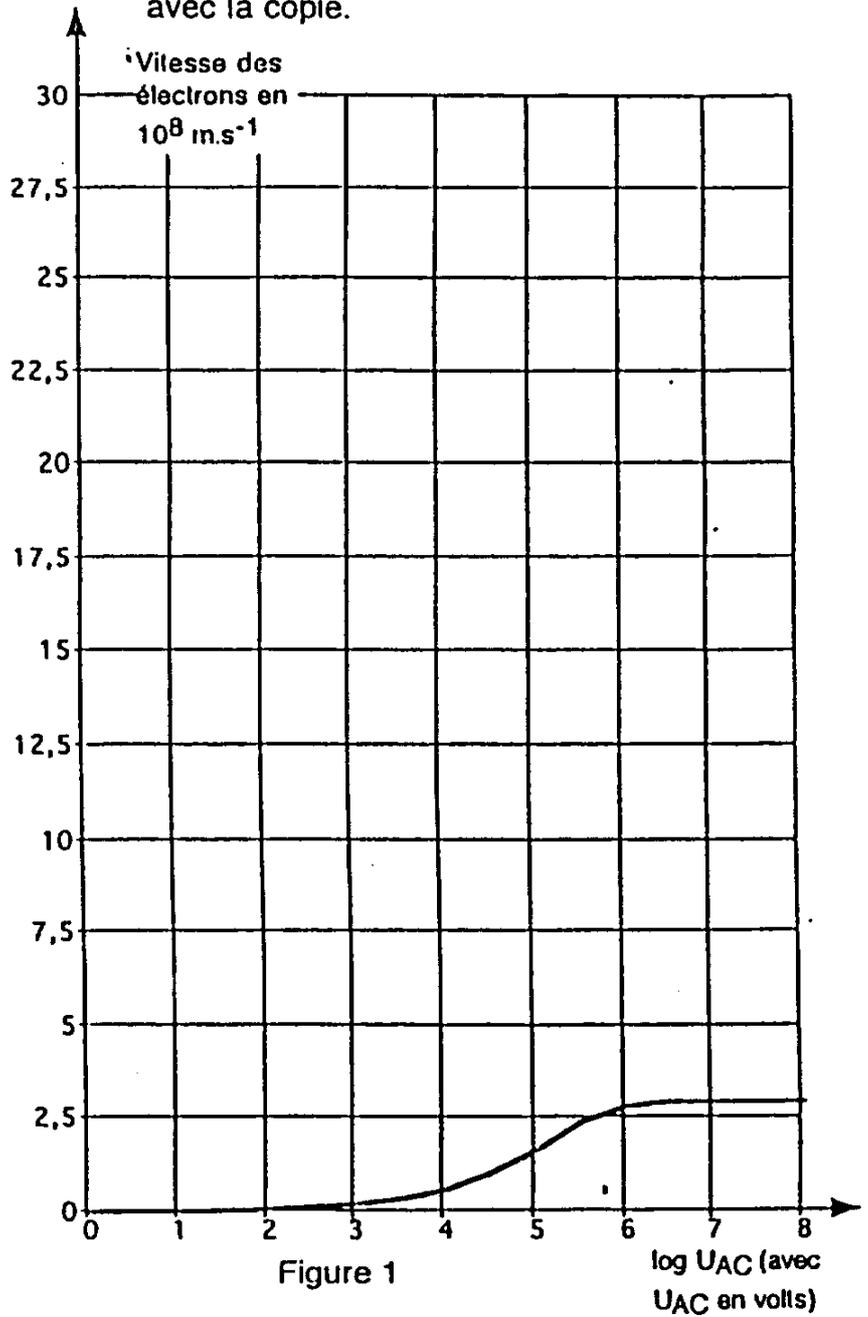


Figure 1

Déviation et tri par champ magnétique

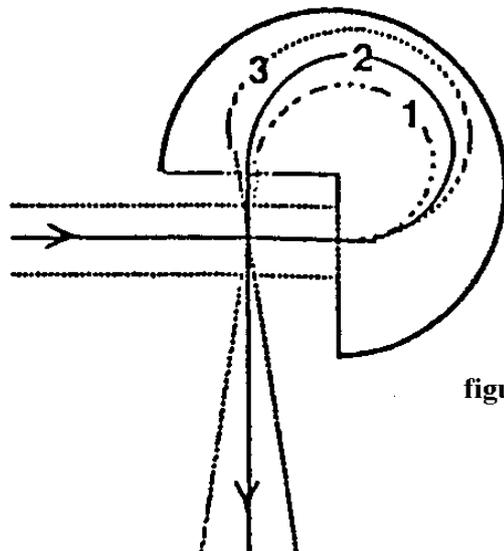


figure 2