



Session 1995  
Q2 : Les ultrasons (20 points)

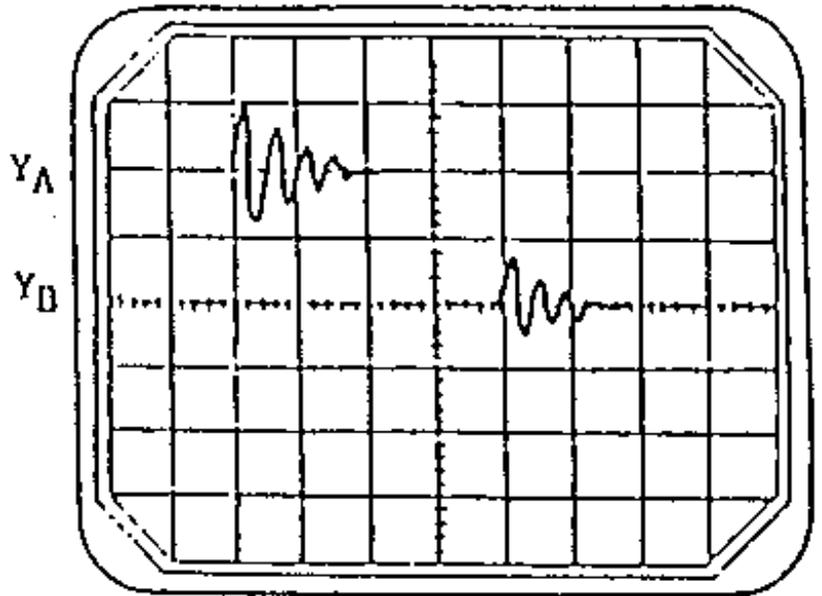
1) Production

Donner le principe d'émission et de réception des ultrasons. A partir de quelle fréquence commence le domaine de ces ondes ?

2) Propriétés physiques des ondes ultrasonores

2.1. Quelle est la grandeur physique caractéristique de l'onde sonore qui influe sur la directivité, et dans quel sens ?

2.2. On enregistre sur la voie  $Y_A$  d'un oscilloscope le signal émis sous forme d'un train d'onde par une source d'ultrasons, et sur la voie  $Y_B$  le signal reçu par un transducteur situé à une distance  $d$  de la source. On obtient l'oscillogramme ci-contre.



Comment cet oscillogramme est-il modifié, les réglages de l'oscilloscope restant les mêmes :

- a) Quand on immerge l'ensemble émetteur-récepteur dans l'eau sans modifier leur distance ? Justifier.
- b) Quand on éloigne (dans l'air) l'émetteur du récepteur ? Justifier.

2.3. De quels facteurs dépend l'atténuation d'une onde ultrasonore ?

2.4. De quels facteurs dépend l'impédance acoustique  $Z$  d'un milieu ?

2.5. Une onde ultrasonore arrive perpendiculairement à la surface de séparation de deux milieux, immobiles, d'impédances acoustiques respectives  $Z_1$  et  $Z_2$ . Quels sont les phénomènes observés dans les cas où  $Z_1 = Z_2$  et  $Z_1 \neq Z_2$  ?

3) Applications

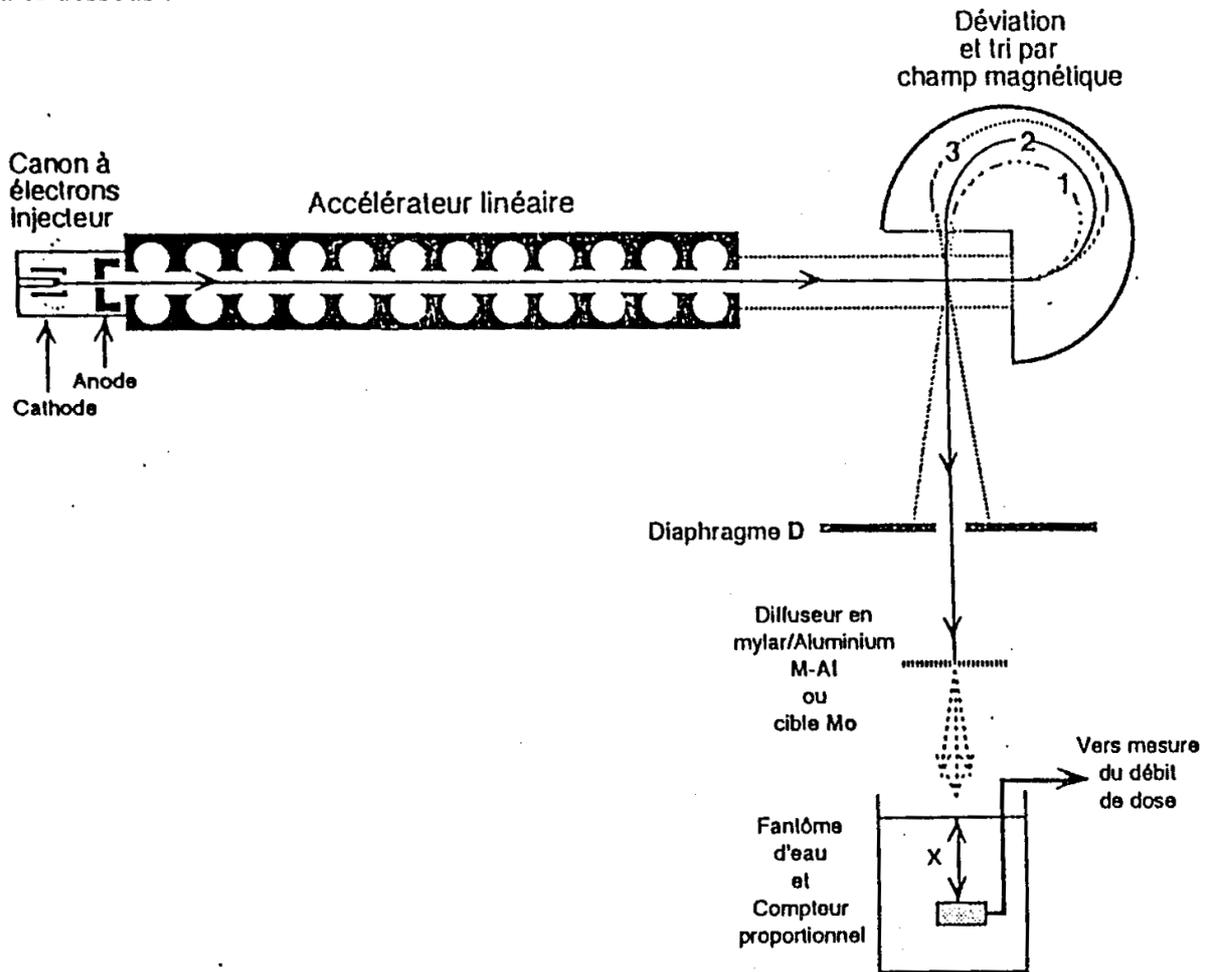
On s'aidera dans les deux cas d'un schéma commenté.

3.1. Quel est le principe de l'exploration échographique d'un organe interne fixe

3.2. Donner le principe de mesure échographique de la vitesse des globules sanguins.

*Le candidat devra rendre le document 1(b) avec sa copie Les parties 1,2,3 sont indépendantes.*

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 créé 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 considèrerons ce faisceau d'électrons poly énergétiques 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.

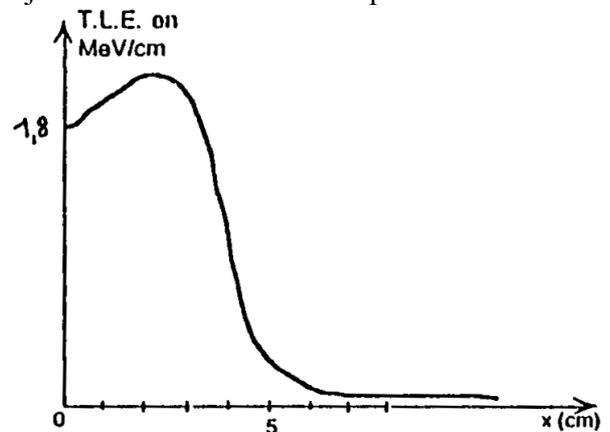
b) Le nombre total de paires créées.

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 :



Analysez 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	

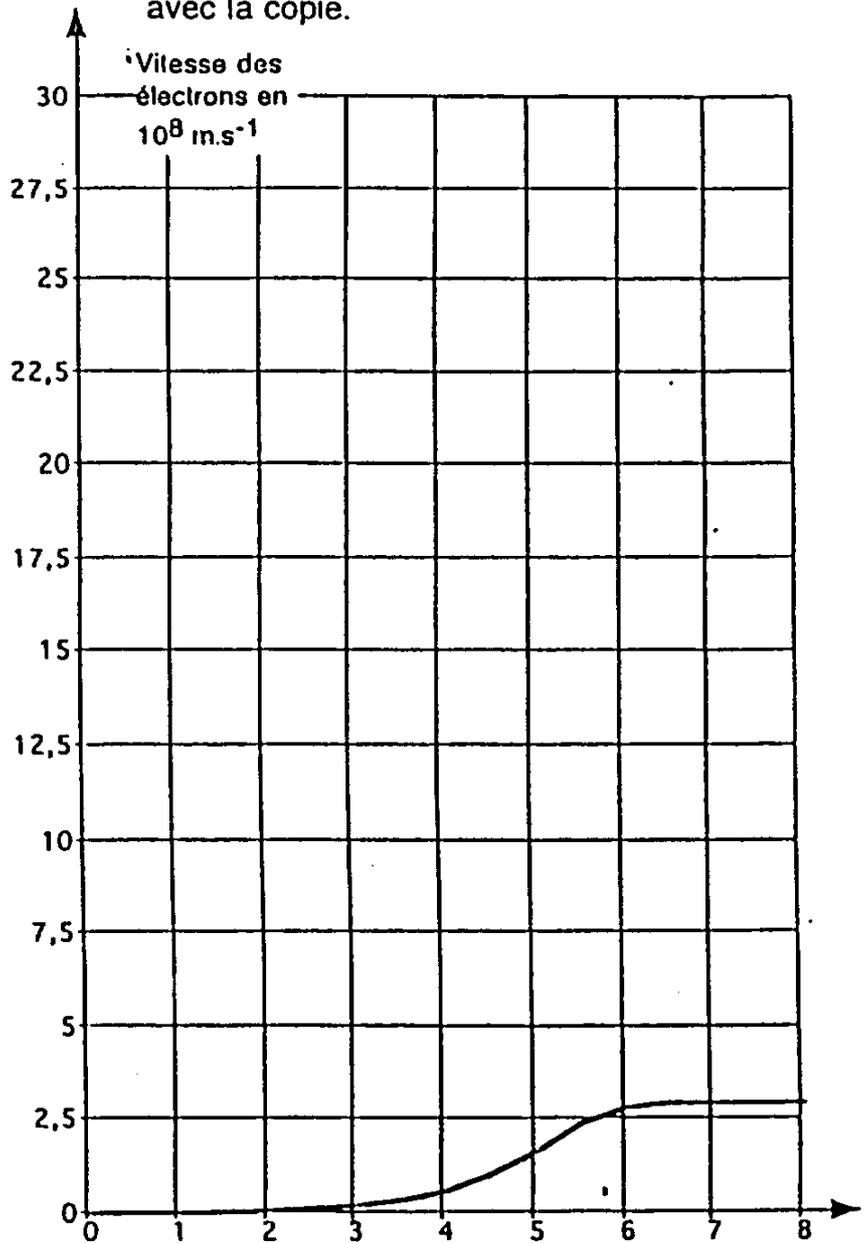


Figure 1

log UAC (avec UAC en volts)

Déviaton et tri par champ magnétique

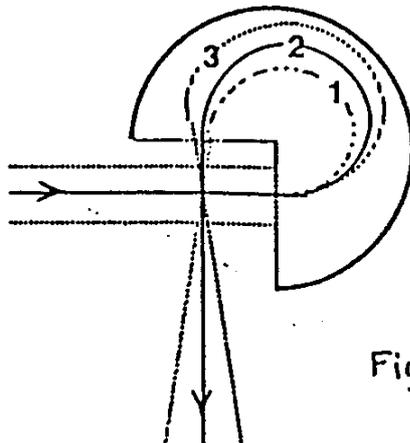


Figure 2