## PREMIERE PARTIE: CONTROLE DE CONNAISSANCES (30 points)

### 1.QUESTIONS À CHOIX SIMPLE (12 points )

***Chacune des propositions de 1 à 12 contient une seule affirmation vraie (a, ou b, ou c, ou d). Choisir la bonne affirmation en la justifiant si demandé.***
Compléter le tableau figurant en feuille **annexe 1**, **A RENDRE AVEC LA COPIE** en indiquant pour chaque proposition celle qui est vraie (V).

***Données:***
***célérité de la lumière dans le vide. $C = 3{,}00\times10^{8}\ m.s^{-1}$***
***constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}\ J.s$***
***charge élémentaire : $e = 1{,}60\times10^{-19}\ C$***

1. On utilise un tube de Coolidge pour :
a. produire un faisceau de positons d'énergie de l'ordre du MeV.
b. produire un faisceau de photons d'énergie de l'ordre du MeV.
c. produire un faisceau d'électrons d'énergie de l'ordre du keV.
d. produire un faisceau de photons d'énergie de l'ordre du keV.

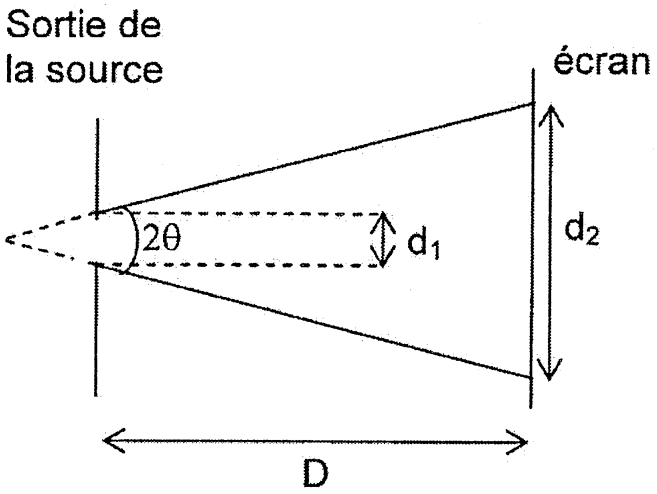
**2.** *Un tube de Coolidge est alimenté sous une tension accélératrice U = 125 kV.*
a. La tension accélératrice a une valeur efficace de 88,4 kV.
b. Le tube produit un faisceau X d'énergie maximale de $2{,}00\times10^{10}$ J.
c. Le tube produit un faisceau X de longueur d'onde minimale de $10\times10^{-11}$ m.
d. Le tube produit un faisceau X d'énergie maximale de 200 nJ.
*Justifier la bonne affirmation.*

**3.** *La couche de demi atténuation (C.D.A.) d'un faisceau de rayon × de 100 keV vaut pour le plomb 0,14 mm.* Cela veut dire que:
a. 99,9 % des photons sont arrêtés après une traversée de 0,28 mm de plomb.
b, Tous les photons sont absorbés au bout d'un parcours de 0,14 mm dans le plomb.
c. 93,75 % des photons sont absorbés après une traversée de 0,56 mm dans le plomb.
d. Le coefficient linéique d'atténuation de ce faisceau dans le plomb vaut $\rho = 5{,}0\ cm^{-1}$.
*Justifier la bonne affirmation.*

4. Un laser produit un faisceau de photons :
a. polychromatique.
b. cohérents.
c. polyénergétiques.
d. ayant une grande masse.

5. La cavité résonante d'un laser:
a. a une longueur inversement proportionnelle à la longueur d'onde $\lambda$ de la lumière émise.
b. ne contient que des électrons qui sont freinés.
c. émet un faisceau de photons suite à un pompage optique.
d. assure l'émission spontanée de lumière.

6. *Un faisceau laser a un diamètre à la sortie de la source $d_1$ = 1 mm et une divergence $2\theta$ = 0,5 mrad. Un écran est placé è la distance D = 10 m de la sortie de la source. Le schéma correspondant est représenté sans souci d'échelle, sur la figure 1 ci-dessous :*




◄ Figure 1

Le faisceau laser produit sur un écran placé à D = 10 m une tache lumineuse :
a. de rayon égal à 500 µm.
b. de rayon égal à 3 mm.
c. d'intensité lumineuse double par rapport à une tache sur un écran placé à *D'* = 5 m.
d. de diamètre égal à 6 cm.
*Justifier la bonne affirmation.*

7. Les ultrasons sont :
a. produits par effet thermo-ionique.
b. des ondes électromagnétiques de fréquences supérieures à 20 kHz.
c. produits par effet piézoélectrique.
d. des ondes avec déplacement global de matière.

8. *Une onde ultrasonore sinusoïdale de fréquence f = 2 MHz se propageant dans l'eau à la célérité c = 1480 m.s$^{-1}$:*
a. a une longueur d'onde λ de 740 pm.
b. est diffractée par les ions présents dans l'eau.
c. a une énergie E = 133 nJ.
d. a une période T = 5 µs.
*Justifier la bonne affirmation.*

9. *Lorsque le faisceau d'ultrasons d'une sonde se réfléchit sur une cible mobile (un globule) qui se rapproche de la sonde,* l'onde reçue par la sonde:
a. a une amplitude plus élevée que l'onde émise.
b. a une fréquence plus faible que l'onde émise.
c. a une fréquence égale à celle de l'onde émise.
d. a une fréquence plus élevée que l'onde émise.

10. *La célérité des ondes ultrasonores dans les muscles vaut $c_m = 1540\ m.s^{-1}$; la masse volumique des muscles vaut $\rho_m = 1{,}04\ g.cm^{-3}$.*
L'impédance acoustique Z des tissus musculaires exprimée dans les unités du système international (ou Rayl) vaut
a. 1480 Rayl.
b. 1600 Rayl.
c. $1{,}60\times10^{6}$ Rayl.
d. $6{,}75\times10^{-1}$ Rayl.
*Justifier la bonne affirmation.*

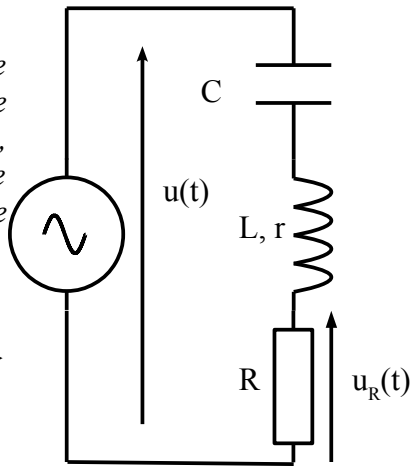
11. *Le Germanium Ge a pour numéro atomique Z = 32.* Le Germanium est placé dans le tableau périodique comportant 18 colonnes:
a. dans la ligne juste au dessous du carbone (Z = 6) et dans la même colonne.
b. dans la même colonne que le Thallium 81T1.
c. dans la ligne 4 et dans la colonne 14 du tableau périodique.
d. dans la colonne des éléments de la famille des halogènes.

12. *Pour une particule β- d'énergie égale à 610 keV, le parcours moyen à travers les tissus est de $d_m = 2$ mm. L 'énergie moyenne pour créer une paire (ion-électron) dans le tissu vaut $E_i = 32eV$.*
a. Le transfert linéique d'énergie (TEL ou TLE) vaut alors $305\times10^{6}$ eV.m$^{-1}$.
B. le nombre total de paires (ion-électron) créées est alors de 191.
c. La densité linéique d'ionisation est alors de 95 (ion- électron).µm$^{-1}$.
d. Les particules vont alors s'annihiler pour produire des photons caractéristiques d'énergie 511 keV.
*Justifier la bonne affirmation.*

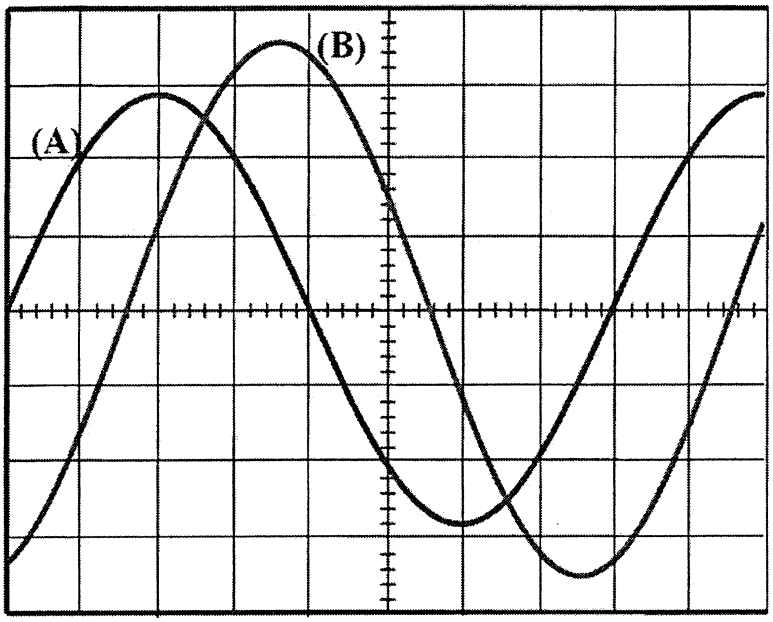
## 2. Étude d'un dipôle RLC (18 points)

*Un générateur basse fréquence (GBF) de tension, idéal, délivrant une tension alternative sinusoïdale $u(t) = U_m \sin(\omega t)$ alimente un dipôle composé en série d'un conducteur ohmique de résistance $R = 500\ \Omega$, d'une bobine de résistance interne supposée négligeable et d'inductance $L = 300$ mH ainsi que d'un condensateur de capacité $C = 20{,}0$ nF. Le schéma du montage est représenté sur la figure 1 ci-contre.*

figure 1 ▶




*On visualise à l'aide d'un oscilloscope bicourbe la tension u(t) aux bornes du générateur sur la voie A ainsi que celle $u_R(t)$ aux bornes du conducteur ohmique sur la voie B. On obtient l'oscillogramme ci-dessous figure* 2 :




◀ Figure 2

*Sensibilité horizontale ou vitesse de balayage :*
***$S_h$ = 50 µs/div***

*Sensibilité verticale des voies A et B :*
*$S_A$ = 2,0 V/div*
*$S_B$ = 0,50 V/div*

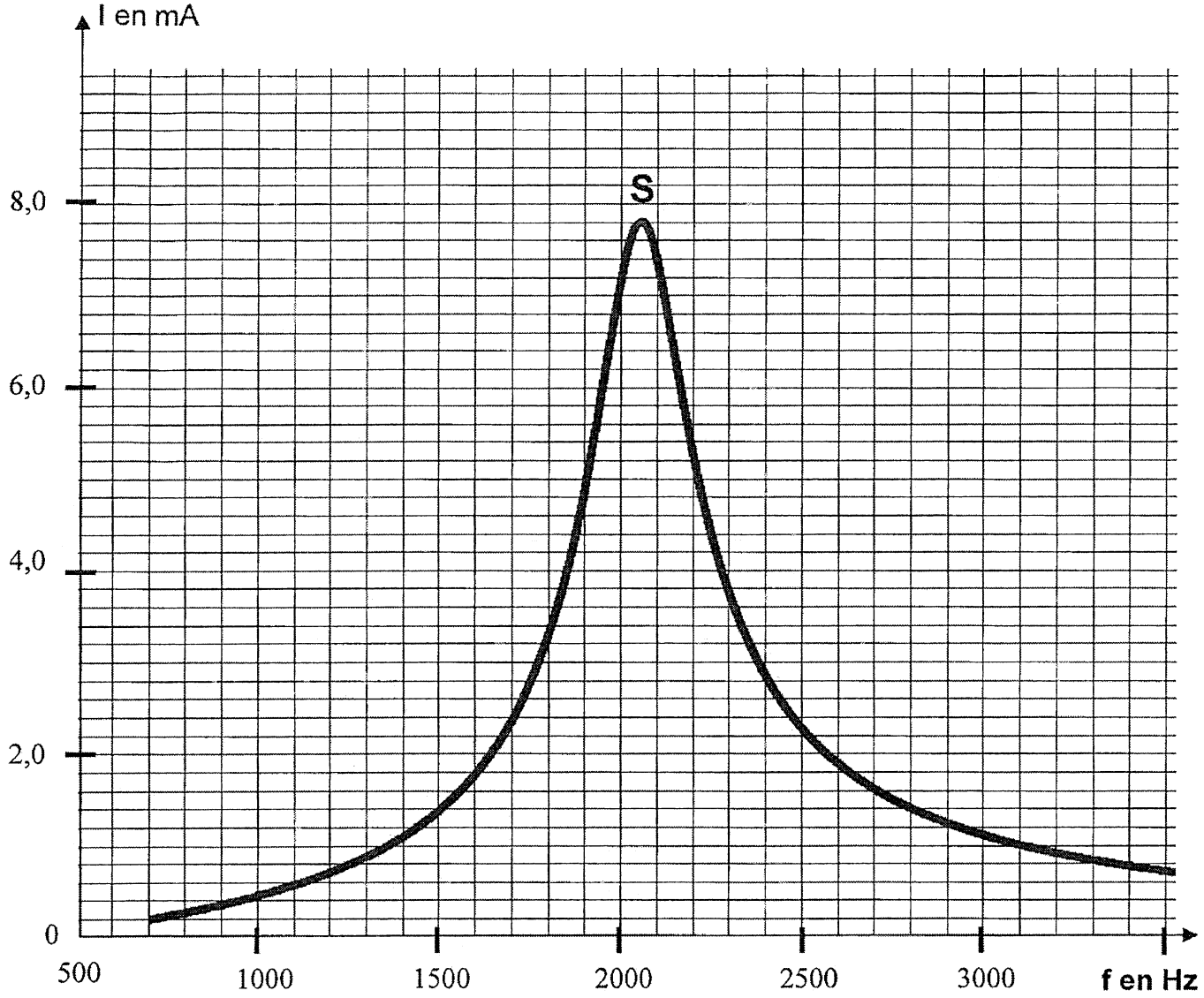
### 1. Étude de la réponse du dipôle à une fréquence quelconque

1.1. Reproduire le schéma du montage sur la copie en y faisant figurer les branchements de l'oscilloscope nécessaires pour obtenir l'oscillogramme de la figure 2.
1.2. Quelle est la valeur de l'amplitude $U_{max}$ de u(t)?
1.3. Quelle est la valeur maximale $I_{max}$ de l'intensité du courant i(t) ?
1.4. Calculer l'impédance $Z_{exp}$ du dipôle RLC à partir des valeurs expérimentales.
1.5. Déterminer la période T des tensions visualisées.
1.6. En déduire la fréquence f des tensions visualisées.
1.7. Indiquer si u(t) est en avance de phase ou en retard de phase sur i(t) l'intensité du courant traversant le circuit.
1.8. Montrer que le déphasage φ entre la tension u(t) aux bornes de l'ensemble et l'intensité i**(t)** du courant dans le circuit vaut 0,40π rad.

**2. Étude de la réponse du dipôle en intensité en fonction de la fréquence**

*On ajoute en série un ampèremètre dans le circuit. On maintient la valeur de la tension efficace aux bornes du générateur constante U = 4,0 V. On effectue un balayage en fréquence, et on relève les valeurs lues sur l'ampèremètre.*
*On obtient la courbe (figure 3) représentant l'évolution de l'intensité efficace I du courant dans le circuit en fonction de la fréquence.*

**Figure 3 ▼**




2.1. Donner les valeurs de l'intensité efficace $I_0$ du courant et de la fréquence $f_0$ correspondant au sommet S de la courbe de réponse.
2.2. De quel phénomène s'agit-il ?
2.3. A partir des valeurs de U et de I pour le sommet S, calculer la valeur de l'impédance $Z_0$ du dipôle RLC correspondant au sommet S de la courbe de réponse. Comparer cette valeur à celle de la résistance R du conducteur ohmique. Proposer une explication pour interpréter la différence entre les deux valeurs.
2.4. Lorsque la courbe de réponse atteint son maximum, quel est le déphasage entre u(t) et i(t) ?

## DEUXIÈME PARTIE: PROBLÈME (30 points)

Les deux parties du problème sont indépendantes

### I. Étude d'un cyclotron

Données:
*Masse du proton : $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg*
*Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$* C

*Pour obtenir un faisceau de protons ($H^+$) de haute énergie, on utilise un cyclotron constitué de deux demi-cylindres, appelés « dees », de rayon $R_m = 15{,}0$ cm à l'intérieur desquels règne un champ magnétique* $\vec{B}$ *uniforme de valeur $B = 2{,}00$ T. Entre les deux « dees », on établit une tension sinusoïdale d'expression $u(t) = U_{max} \sin(\omega t)$ dont l'amplitude vaut 20,0 kV et où la date t est exprimée en seconde. u(t) correspond à la différence de potentiel entre les deux* « dees »*:*
*$u(t) = V_{D1} - V_{D2}$*
*Le schéma du cyclotron (figure 4) est représenté sans souci d'échelle en annexe* 2 *A RENDRE AVEC LA COPIE.*
*Les protons ($H^+$) sont introduits dans le cyclotron avec une vitesse négligeable au point O. À cet instant la tension u(t) prend une valeur maximale positive ou négative. On négligera la durée du transit entre les deux « dees » et le poids de l'ion devant les autres forces.*

1. Donner le signe de u(t) au départ des protons ($H^+$) pour qu'ils soient accélérés vers le « dee 2 » ($D_2$) pour atteindre le point A.
Quelle est la nature du mouvement des protons entre les deux « dees » ?
2. Calculer l'énergie cinétique $E_1$ des protons à leur arrivée au point A en Joule (J) et en électron-volt (eV).
3. En déduire la valeur $v_1$ de leur vitesse au point A. En conclure que les protons sont non relativistes.
4. Représenter sur la figure 4 de l'annexe 2 (à rendre avec la copie) :
   - Le vecteur champ électrique $\vec{E}$ qui règne entre les deux «dees » lors du passage de $D_1$ vers $D_2$.
   - Le vecteur vitesse $\vec{v}_1$ au point A.
   - La force magnétique (force de Lorentz) $\vec{F}_m$ s'exerçant sur les protons au point A.
   - La trajectoire des protons dans le « dee ».
5. *On démontre que le rayon R de la trajectoire empruntée par les protons est donné par l'expression :*

$$R = \frac{m_P v}{e B}$$

5.1. Quelle est la nature du mouvement des protons à l'intérieur du « dee 2 »?
5.2. Donner l'expression de la durée $\Delta t$ du parcours d'un proton à l'intérieur d'un «dee » en fonction de la masse des protons $m_P$, de la charge élémentaire e et de la valeur B du champ magnétique.
5.3. Calculer $\Delta t$.
5.4. En déduire la valeur de la fréquence f de la tension u(t), de manière à accélérer les protons dans le cyclotron de façon optimale.
6. On considère que les protons sortent lorsque le rayon de leur trajectoire atteint la valeur du rayon du cyclotron $R_m$.
6.1. Calculer la valeur de la vitesse $V_m$ des protons lors de leur sortie du cyclotron.
6.2. Calculer l'énergie cinétique des protons à leur sortie du cyclotron $E_{cm}$ en joule (J) puis en électron-volt (eV). On considérera les protons non relativistes.
6.3. En déduire le nombre total de tours N effectués par les protons lors de leur trajet dans le cyclotron

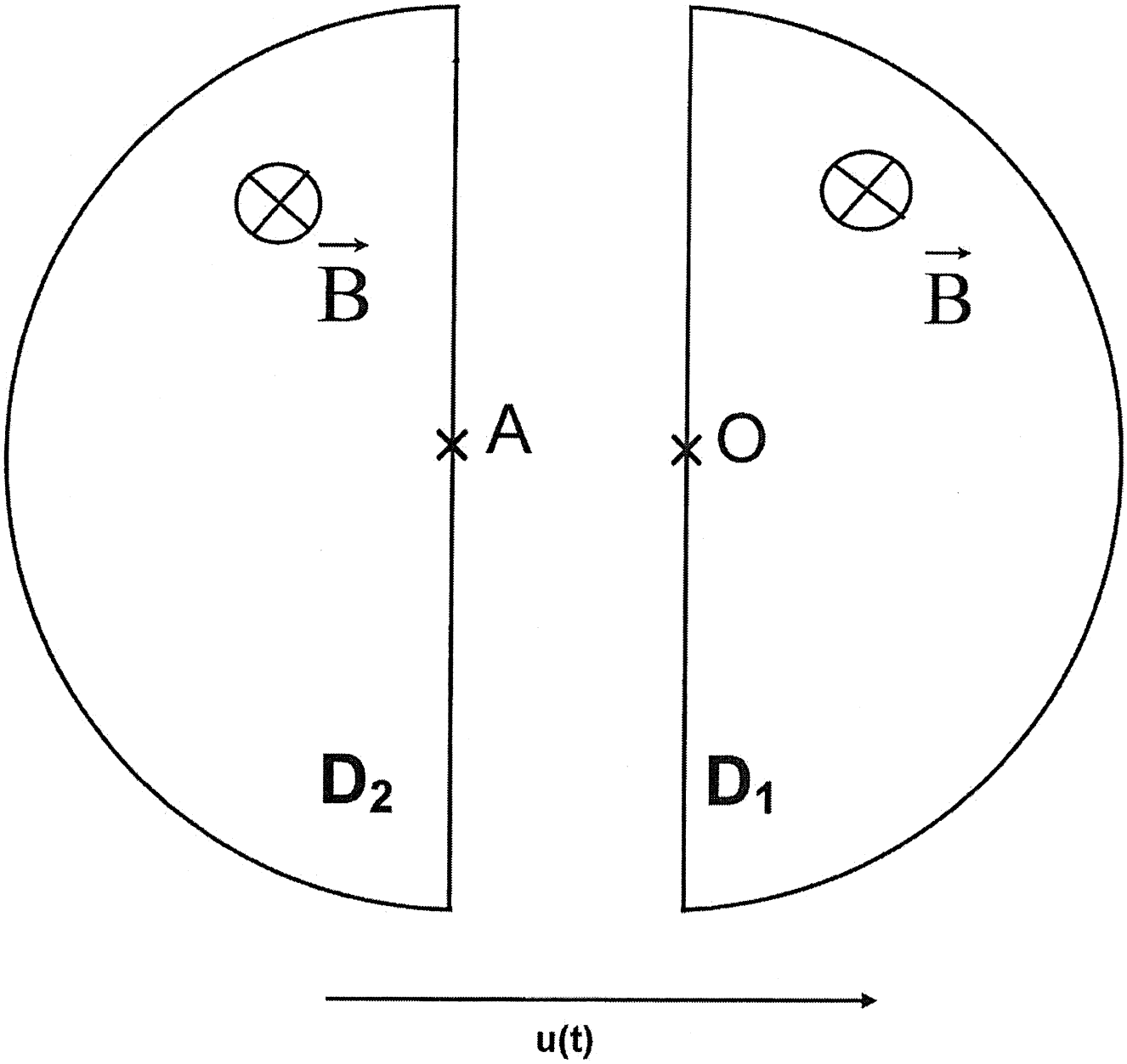
## II. Tomographie émission de positon.

Données:
*Numéro atomique du fluor F : Z(F) =* 9
*Numéro atomique de l'oxygène O :* Z(O) = 8
*Temps de demi-vie (période radioactive) du fluor 18 : T = 110 minutes*
*Unité d'activité radioactive: 1 Ci = 3,7×10 $^{10}$ Bq*
*Lors d'un examen de tomographie par émission de positons, on utilise essentiellement le fluodésoxyglucose 18 FDG marqué au fluor 18 comme traceur.*

1. Production du fluor 18
*Le fluor 18 est produit par un bombardement de protons sur l'oxygène 18 (Z = 8). Ces protons de haute énergie cinétique (18 MeV) sont issus d'un cyclotron. Une autre particule élémentaire est émise lors de cette collision.*
Écrire l'équation de réaction associée à cette transformation nucléaire, Préciser les lois utilisées.
2. Désintégration du fluor 18
Le fluor 18 se désintègre par émission β- sans émission de photon γ.
2.1. Écrire l'équation de cette désintégration.
2.2. Quelle est la nature du spectre en énergie des particules β- ?
2.3. *La présence de fluor 18 peut être détectée par deux « gamma-caméras »*
détectant des photons d'énergie bien particulière.
**2.3.1.** Quel est le nom du phénomène qui produit ces photons γ ?
2.3.2. Donner la valeur de l'énergie de ces photons γ.
2.3.3. Quelles doivent être les positions respectives des deux « gamma- caméras » ? Justifier la réponse.
γ
**3. Radioprotection des personnels hospitaliers**
Pour ce type de rayonnement la couche de demi-atténuation ou C.D.A. du plomb (Pb) est de 4,0 mm. Lors de l'examen, le patient est placé dans un sarcophage en plomb d'une épaisseur de 4,0 cm.
Déterminer le pourcentage de rayonnement transmis à l'extérieur du sarcophage.

**4. Préparation des injections de $^{18}$FDG**
*A l'issue de la préparation du fluor 18 et de la synthèse du fluorodésoxyglucose, on obtient* ***à 6h00 du matin*** *une solution mère ($S_0$) présentant une activité volumique $A_V$ = 6,75 Ci.L$^{-1}$ On veut préparer à* ***6h00 du matin*** *un lot ayant une activité de $A_0$ = 80,0 mCi.*
4.1. Calculer le volume V de solution $S_0$ qu'il faut prélever **à 6h00 du matin.**
4.2. Calculer la constante radioactive du fluor 18 (18F) dans le système international d'unités (SI).
4.3. Combien de noyaux $N_0$ de fluor 18 sont présents dans le lot à **6h00 du matin** ?
4.4. Quelle sera l'activité A du lot à 11h30 du matin de la même journée ?
4.5. *Pour que la séance de TEP soit réussie, il est nécessaire que l'activité soit supérieure à 8 mCi*. A quelle heure le lot ainsi préparé à 6h00 du matin ne sera plus utilisable ?

**Annexe 1 à rendre avec la copie**

| Propositions ► ▼ Questions | a | b | c | d | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | À justifier |
| 3 | | | | | À justifier |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | À justifier |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | À justifier |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | À justifier |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | À justifier |

**Annexe 2 à rendre avec la copie**