

EXAMEN DE SCIENCES PHYSIQUES

TS1, TS2, TS4 & TS5

**EXERCICE I (physique): ETUDE D'UNE CENTRALE NUCLEAIRE (5 pts)**

**LES ELEVES AYANT CHOISI L'ENSEIGNEMENT DE SPECIALITE NE TRAITERONT PAS CET EXERCICE MAIS L'EXERCICE IV.**

**A. INTRODUCTION**

Un réacteur nucléaire fonctionne à l'uranium enrichi constitué à 3% de  $^{235}_{92}\text{U}$  et de 97% de  $^{238}_{92}\text{U}$ .

A.1.a. Que représentent les nombres 92, 235 et 238 ?

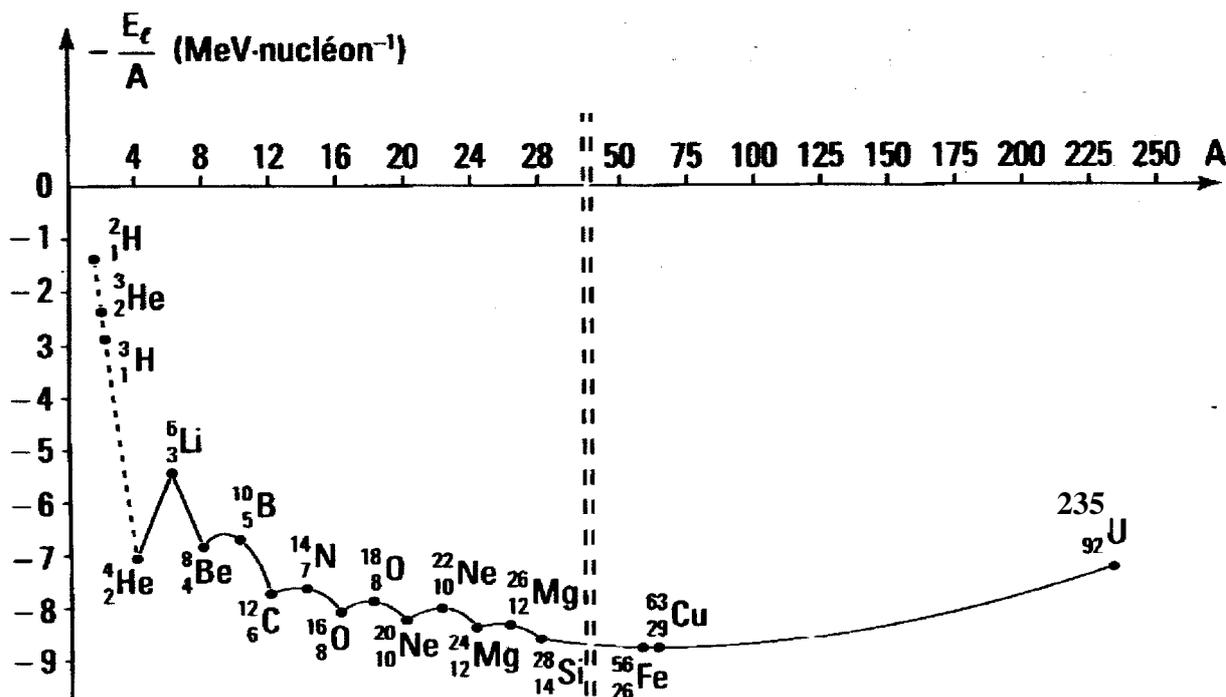
A.1.b. Donner la composition de chaque noyau.

A.1.c. A quelle catégorie appartiennent ces noyaux ?

A.2.a. Enoncer la relation d'équivalence masse – énergie.

A.2.b. Définir le "défaut de masse" pour un noyau  $^A_Z\text{X}$ .

A.3. La courbe d'Aston :



A.3.a. Donner la définition de  $E_1$ , énergie de liaison.

A.3.b. Quelle est l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison moyenne par nucléon pour les noyaux les plus stables ?

A.3.c. Des transformations nucléaires provoquées peuvent avoir lieu avec  $^{235}_{92}\text{U}$  et  $^2_1\text{H}$ .

A partir de la courbe d'Aston, indiquer parmi les quatre réactions envisagée, lesquels sont susceptibles de fournir de l'énergie :

Fusion de  $^{235}_{92}\text{U}$  ; fission de  $^{235}_{92}\text{U}$  ; fusion de  $^2_1\text{H}$  ; fission de  $^2_1\text{H}$

**B. LA CENTRALE NUCLEAIRE**

**B.1.** Une des réactions possibles est :  ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow \dots{}_{38}^{94}\text{Sr} + {}_{54}^{140}\text{Xe} + \dots{}_0^1\text{n}$  (1)

Compléter l' équation de la réaction en précisant les règles utilisées.

**B.2.** Les énergies de liaison par nucléons sont :

$$\frac{E_l}{A} = 7,5 \text{ MeV pour } {}_{92}^{235}\text{U} ; \quad \frac{E_l}{A} = 8,2 \text{ MeV pour } {}_{54}^{140}\text{Xe} ; \quad \frac{E_l}{A} = 8,5 \text{ MeV pour } \dots{}_{38}^{94}\text{Sr}$$

Calculer l' énergie de liaison pour chaque noyau.

**B.3.** Montrer que l' énergie libérée par la réaction (1) peut s' écrire  $E_{lib} = E_l(\text{Sr}) + E_l(\text{Xe}) - E_l(\text{U})$ .

Calculer cette énergie en MeV.

**B.4.** Dans le cœur du réacteur, chaque noyau d' uranium libère en moyenne une énergie de 200 MeV au cours de chaque fission, 30 % de cette énergie est transformée en énergie électrique.

Une tranche de la centrale de Belleville fournit une puissance électrique de 1 350 MW.

Calculer, en kg, la consommation journalière de  ${}_{92}^{235}\text{U}$  dans cette centrale.

**C. RISQUES**

**C.1.** L' iode 131 est l' un des effluents gazeux susceptibles de s' échapper d' un réacteur nucléaire.

${}_{53}^{134}\text{I}$  est un émetteur  $\beta^-$ , sa demi-vie est  $t_{1/2} = 8,0 \text{ j}$ .

**C.1.** La désintégration d' un noyau  ${}_{53}^{134}\text{I}$  s' accompagne le plus souvent d' une émission  $\gamma$

- Préciser la nature du rayonnement  $\gamma$ .
- Comment interprète-t-on son origine ?

**C.2.** Écrire l' équation de désintégration de l' iode 131.

**C.3.** On désire placer l' iode 131 dans le diagramme  $(N, Z)$ , où se situe-t-il par rapport à la "courbe de stabilité" ?

Données :

Célérité de la lumière,  $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ;  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  ;  $1 \text{ u} = 1,660 55 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;

Energie de masse associée à l' unité de masse atomique, 931,5 MeV;

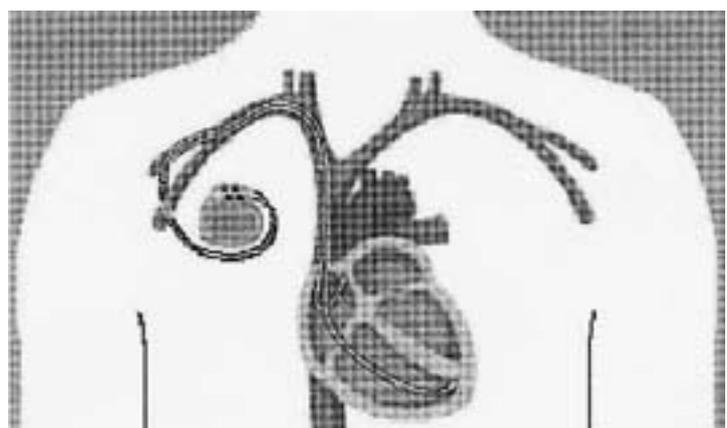
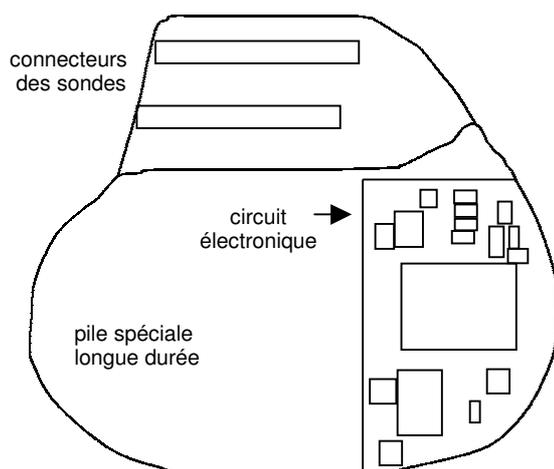
Masse des différents noyaux :

$$m({}_{92}^{235}\text{U}) = 234,9935 \text{ u} ; m({}_{53}^{134}\text{I}) = 130,877 0 \text{ u} ; m({}_{52}^{130}\text{Te}) = 129,878 2 \text{ u} ; m({}_{54}^{131}\text{Xe}) = 130,875 4 \text{ u}.$$

Masse de l' électron  $m_e = 5,485 8 \cdot 10^{-4} \text{ u}$ .

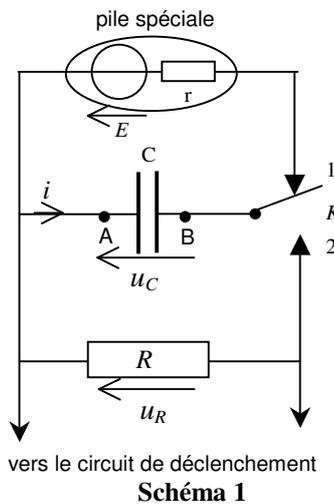
**EXERCICE II (physique): LES APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES DE LA RADIOACTIVITÉ (9 points)**

**A. GENERATION D'IMPULSIONS: LE STIMULATEUR CARDIAQUE**



Notre cœur se contracte plus de 100 000 fois par jour. Il bat 24 h sur 24 pendant toute notre vie, entre 60 et 80 fois par minute, grâce à un stimulateur naturel: le nœud sinusal.

Lorsque celui-ci ne remplit plus correctement son rôle, la chirurgie permet aujourd' hui d'implanter dans la cage thoracique un stimulateur cardiaque artificiel (appelé aussi pacemaker) qui va forcer le muscle cardiaque à battre régulièrement en lui envoyant de petites impulsions électriques par l'intermédiaire de sondes.



Le boîtier de celui-ci est de petite taille : 5 cm de large et 6 mm d'épaisseur. Sa masse est d'environ 30 g.

Ce pacemaker est en fait un générateur d'impulsions ; il peut être modélisé par le circuit électrique en dérivation, ci-contre, qui comprend un condensateur de capacité  $C = 470 \text{ nF}$ , un conducteur ohmique de résistance  $R$ , une pile spéciale et un transistor qui joue le rôle d'interrupteur,  $K$ .

La pile qui apparaît dans ce dispositif peut être modélisée par l'association en série d'une résistance (ici très faible voire négligeable) et d'un générateur de tension idéal de force électromotrice  $E$ .

Quand l'interrupteur est en position (1) le condensateur se charge de façon quasi-instantanée. Puis, quand l'interrupteur bascule en position (2), le condensateur se décharge lentement à travers le conducteur ohmique de résistance  $R$ , élevée,

jusqu'à une valeur limite  $u_{\text{limite}} = \frac{E}{e}$  avec  $\ln e = 1$  où  $\ln$  représente le logarithme népérien.

A cet instant, le circuit de déclenchement envoie une impulsion électrique vers les sondes qui la transmettent au cœur : on obtient alors un battement !

Cette dernière opération terminée, l'interrupteur bascule à nouveau en position (1) et le condensateur se charge, etc...

La tension  $u_C$  aux bornes du condensateur a alors au cours du temps l'allure indiquée sur la courbe 1, représentée sur l'annexe 1 à remettre avec la copie.

### A.1. Charge du condensateur

**A.1.a.** Quand l'interrupteur est en position (1), il se charge de façon quasi instantanée. Pourquoi ce phénomène est-il très rapide ?

**A.1.b.** Pour obtenir l'enregistrement de l'évolution temporelle de la tension  $u_C$ , on utilise un ordinateur muni d'une interface d'acquisition de données et d'un logiciel de saisie.

Reproduire le schéma 1 et indiquer où doivent être branchées la masse M de l'interface et la voie  $Y_A$  d'acquisition pour étudier les variations de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur.

**A.1.c.** Sur la courbe 1, colorier la (ou les) portion(s) qui correspondent à la tension  $u_C$  lors de la charge du condensateur. Justifier votre choix.

**A.1.d.** On considère que le condensateur est complètement chargé. Quelle est la valeur de l'intensité du courant qui circule alors dans le circuit ?

La force électromotrice  $E$  est la valeur de la tension aux bornes de la pile lorsqu'elle ne débite pas de courant.

A partir de l'enregistrement  $u_C = f(t)$ , donner la valeur de  $E$ .

### A.2. Décharge du condensateur

**A.2.a.** En respectant les conventions d'orientations du schéma du circuit :

- préciser le signe de l'intensité  $i$  du courant lors de la décharge ;
- écrire la relation entre l'intensité  $i$  du courant et la tension  $u_R$  ;
- écrire la relation entre la charge  $q$  de l'armature A du condensateur et la tension  $u_C$  ;
- écrire la relation entre l'intensité  $i$  et la charge  $q$  ;

- écrire la relation entre les tensions  $u_R$  et  $u_C$  lors de la décharge.

A.2.b. En déduire que lors de la décharge, l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_C$  est de la forme :

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C = 0.$$

A.2.c. Donner l' expression littérale de la constante de temps  $\tau$ . Montrer que cette grandeur a la même unité qu' une durée.

A.2.d. Déterminer graphiquement la valeur de  $\tau$  par la méthode de son choix qui apparaîtra sur la figure de l' annexe à rendre avec la copie.

A.2.e. En déduire la valeur de  $R$ .

### A.3. Lien entre la décharge du condensateur et les battements du cœur

A.3.a. A l' instant  $t_1$ , le circuit de déclenchement génère une impulsion électrique ; le condensateur n'est pas complètement chargé.

Quelle est l'expression littérale de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur, à cet instant ?

Graphiquement la valeur de cette tension est 2,1 V. Est-ce en accord avec la valeur de  $E$  obtenue à la question A.1.d. ?

A.3.b. Sachant qu' une solution générale de l'équation différentielle précédemment établie est de la forme:  $u_C(t) = E.e^{-\frac{t}{\tau}}$ , montrez que  $t_1 = \tau$ .

A.3.c. En déduire la durée  $\Delta t$  qui doit séparer deux impulsions électriques consécutives.

A.3.d. Quel est alors le nombre de battements du cœur par minute ?

### B. STOCKAGE D' ENERGIE LE FLASH ELECTRONIQUE

L' énergie libérée en un temps très bref par l' éclair d' un flash est au préalable stockée dans un condensateur de grande capacité, chargé par quatre piles en série équivalentes à un générateur de f.e.m.  $U = 6$  V. Elles contiennent une énergie totale  $E = 18$  kJ, lorsqu'elles sont neuves.

On admettra que pour un fonctionnement optimal, la moitié de cette énergie est transférable au condensateur. Au-delà, les piles doivent être changées.

*Le mode d'emploi du flash Minolta® 5400HS indique, pour une alimentation par quatre piles alcalines de type AA :*

| <i>Autonomie (en nombre d'éclairs)</i> | <i>Temps de recharge après un éclair en secondes</i> |
|--|--|
| <b>100 à 3500</b>                      | <b>0,2 à 11</b>                                      |

*L'autonomie indique le nombre d'éclairs possibles avant de changer de piles.*

*La durée de l'éclair peut être limitée par un circuit électronique, ce qui explique les fourchettes de données.*

*Les indications en gras correspondent à des éclairs d'intensité lumineuse et de durée maximales, résultant de la décharge complète du condensateur.*

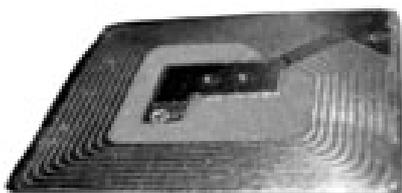
B.1. En utilisant les données du mode d'emploi, calculer la valeur de l' énergie libérée par un éclair d' intensité lumineuse et de durée maximales.

B.2. En déduire la capacité  $C$  du condensateur qui a été chargé sous la tension constante  $U = 6$  V.

B.3. En utilisant les données du mode d' emploi, donner un ordre de grandeur de la constante de temps du circuit de charge.

B.4. En déduire l' ordre de grandeur de la résistance à travers laquelle s' est chargé le condensateur.

### C. OSCILLATIONS ELECTRIQUES: LE DETECTEUR DE FRAUDE



La photo ci-contre montre un circuit électrique collé sous l' étiquette du boîtier d' un logiciel.

C'est un oscillateur électrique du type  $LC$ , dont la période propre vaut :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC} .$$

Si le boîtier est tombé «par mégarde» dans un sac du client au lieu de passer par la caisse du magasin, ce circuit va se retrouver entre les portiques de sécurité à la sortie. Ces portiques contiennent des bobines émettant en permanence une onde radio de faible intensité mais de haute fréquence  $N = 10$  MHz, exactement égale à la fréquence propre du petit oscillateur.

Dans ces conditions, le circuit capte l'énergie émise, se met à osciller, et émet à son tour une onde qui vient perturber l'onde des portiques. La détection de cette perturbation déclenche une alarme.

**Question:** l' inductance de la bobine est  $L = 0,5 \mu\text{H}$ . En déduire la capacité  $C$  du condensateur.

### **EXERCICE III (chimie) : DÉTERMINATION D'UNE CONSTANTE D'ACIDITE PAR CONDUCTIMETRIE (6 points)**

On souhaite déterminer la constante d'acidité du couple acide acétique / ion acétate (ou acide éthanoïque / ion éthanoate) à l'aide d'une mesure conductimétrique.

On appelle constante de cellule  $k$  le rapport de la conductance  $G$  et de la conductivité  $\sigma$  de la solution. On peut donc écrire la relation :  $G = k \cdot \sigma$ . Dans les conditions de l'expérience, la constante de cellule vaut  $k = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ .

Dans un bécher, on verse un volume  $V_0 = 100 \text{ mL}$  d' une solution  $S_0$  d'acide acétique, de concentration  $C_0 = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . On immerge la cellule d'un conductimètre. Celui-ci mesure une conductance de valeur  $G = 11,5 \mu\text{S}$ .

On note  $\lambda$  la conductivité molaire ionique de l'ion oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\lambda'$  la conductivité molaire ionique de l'ion acétate  $\text{CH}_3\text{CO}_2^-$ .

**Données :** On rappelle l'expression de la conductivité  $\sigma$  en fonction des concentrations effectives des espèces ioniques  $X_i$  en solution :  $\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$

Conductivités molaires ioniques à  $25^\circ\text{C}$  (conditions de l'expérience) :

$$\lambda = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} ; \quad \lambda' = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} .$$

Dans cette solution, la faible concentration des ions hydroxyde  $\text{HO}^-$  rend négligeable leur participation à la conduction devant celle des autres ions.

**A.** La conductance de la solution est-elle changée si on modifie l' un des paramètres suivants en gardant les autres identiques (*Pour chacun des paramètres, justifier la réponse*):

**A.1.** la concentration apportée  $C_0$  ;

**A.2.** le volume  $V_0$  de la solution ;

**A.3.** la température de la solution.

**B.** Ecrire l' équation de la réaction modélisant la transformation entre l' acide acétique et l' eau.

**C.** Donner l' expression du quotient de réaction à l' équilibre  $Q_{r,eq}$  associé à l' équation précédente et en déduire une relation entre l' avancement final  $x_{final}$ ,  $C_0$  et  $V_0$ .

**D.** Donner l' expression de  $G$ , conductance de la solution et en déduire une relation entre  $G$  et l' avancement final  $x_{final}$ . Calculer la valeur de  $x_{final}$  en mol.

**E.** Calculer le taux d' avancement final. La transformation peut-elle être considérée comme totale ?

**F.** Constante d' acidité :

**F.1.** Calculer  $Q_{r,eq}$ .

**F.2.** En déduire la constante d' acidité  $K_A$  du couple acide acétique/ion acétate.

**F.3.** La valeur de  $Q_{r,eq}$  est-elle modifiée si on utilise une solution plus diluée ? Justifier.

ANNEXE 1 (tronc commun)  
A remettre avec la copie !

Courbe 1

