



SESSION 2017

CLASSES DE TERMINALE

**SCIENCE S P H Y S I Q U E S****THEME : A L'INTERIEUR ET AU CŒUR DE L'ATOME****Données numériques**

Unité de masse atomique : $1u = 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$	Charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masse de l'électron : $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 0,0005486 \text{ u}$	Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Masse du neutron : $m_n = 1,008665 \text{ u}$	Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Masse du proton : $m_p = 1,007276 \text{ u}$	Constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

NB : des données complémentaires sont fournies dans l'énoncé.

**TEXTE INTRODUCTIF.**

Il est fort difficile d'expliquer les propriétés des différents corps et leurs transformations chimiques et physiques à partir d'une distribution continue de la matière. Ces propriétés s'expliquent aisément si on admet que les corps, quel que soit leur état physique, sont constitués de particules séparées les unes des autres par du vide.

Dalton a été le premier physicien à formuler une théorie atomique quantitative permettant de prédire et d'expliquer plusieurs phénomènes chimiques. Ainsi il a pu imaginer des modèles de gaz dont les corpuscules, les molécules, seraient formées de particules plus petites : les atomes.

L'atome lui-même est constitué d'un noyau autour duquel sont répartis des électrons.

Un noyau est constitué de nucléons (protons et neutrons) en interaction. L'existence du noyau a été mise en évidence expérimentalement pour la première fois par Rutherford (1871-1937) en 1910.

Un nucléon, proton ou neutron, est constitué de trois particules encore plus élémentaires, appelées « quarks » en interaction et qui n'existent pas à l'état isolé.

C'est en 1896 que le physicien Henri Becquerel (1852-1902) découvrit que l'uranium et ses composés émettent continuellement un rayonnement qui, comme les rayons X, traverse d'assez grandes épaisseurs de matière, noircit les plaques photographiques, ionise l'air et rend lumineuses de nombreuses substances. Il apparaît que l'intensité de ce rayonnement ne peut être modifiée ni par la voie chimique, ni par les champs magnétique et électrique.

Pour expliquer ces observations, il suppose l'existence d'un rayonnement émis par les noyaux des atomes de ces corps, et donne le nom de radioactivité (naturelle) à ce phénomène. La radioactivité n'est pas une réaction chimique qui fait intervenir les électrons périphériques d'un atome mais une réaction nucléaire (transformation du noyau) mettant en jeu des énergies incomparablement plus grandes. Elle ne dépend que de la composition et de la stabilité des noyaux atomiques.

A la suite de Becquerel, Pierre et Marie Curie isolent de nouveaux éléments radioactifs le radium et le polonium. Ces éléments se transforment l'un en l'autre par une série de transformations appelées désintégrations telle que : Radium  $\rightarrow$  Radon  $\rightarrow$  Polonium en perdant à chaque étape une particule  $\alpha$  ou noyau d'hélium ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ ).

Ce phénomène de radioactivité naturelle (antérieure à la découverte du noyau) a été observé avec plusieurs espèces atomiques naturelles dont la quasi-totalité des nombres atomiques sont supérieurs à 81 ; le samarium et le potassium faisant exception à cette règle.

La radioactivité peut aussi être provoquée (réaction induite). Elle est due au bombardement des noyaux par des particules ou des quanta d'énergie venant de l'extérieur. On en distingue : les réactions de transmutation, de fission, de fusion... Cette radioactivité observée est dite radioactivité artificielle.

Grâce aux travaux d'un certain nombre de savants dont Pierre et Marie Curie, Becquerel et Rutherford, il a été établi que le rayonnement radioactif émis par les substances radioactives naturelles ou artificielles renferme trois catégories de rayons appelés  $\alpha$ ,  $\beta$ , et  $\gamma$ .

La physique du noyau ou physique nucléaire qui s'est révélée au grand public brutalement le 6 août 1945 à Hiroshima (bombe à uranium enrichi) et le 09 août 1945 à Nagasaki (bombe au plutonium) est parmi les branches de la physique qui a connu un développement particulièrement important au cours de ces dernières années.

Il convient de noter dans le domaine de la physique du noyau, la distinction entre le point de vue atomique où l'on s'intéresse au sort d'une particule individualisée et le point de vue macroscopique notamment lorsqu'on s'intéresse à des bilans d'énergie.

C'est ce dernier aspect qui caractérise la radioactivité naturelle ou artificielle dont les applications sont nombreuses en médecine, en biologie, en chimie et dans l'industrie.

La médecine nucléaire repose sur l'utilisation de sources radioactives et de l'interaction des rayons émis par ces sources avec les tissus humains. Cette interaction est exploitée à des fins de diagnostic (radiologie) ou de traitement (radiothérapie).

Actuellement l'énergie qui provient de la fission des noyaux lourds est exploitée dans l'industrie pour la production d'électricité, c'est le cas des centrales nucléaires. Quant à l'utilisation de la fusion à des fins de production d'énergie civile elle n'est pas encore maîtrisée.

**PARTIE A : QUESTIONS SUR LE TEXTE (05 points)**

Lire attentivement le texte introductif puis répondre aux questions suivantes :

**A-1** D'après le texte, qu'entend-on par « structure discontinue de la matière » ?

**A-2** Citer les constituants de l'atome et les particules constitutives du noyau.

**A-3** Citer les trois catégories du rayonnement radioactif connues.

**A-4** Citer deux dates remarquables dans l'histoire de l'humanité où se sont révélées de manière violente les réactions nucléaires.

**A-5** Donner le nom du physicien qui a été le premier à mettre en évidence de manière expérimentale l'existence des noyaux atomiques.

.../... 2

**PARTIE B - A LA DECOUVERTE DU NOYAU ! (10 points)**

Une mince feuille d'or, placée dans une enceinte vide, est bombardée par un faisceau de particules  $\alpha$  qui sont des atomes d'hélium ayant perdu deux électrons (Expérience de Rutherford). Le faisceau est représenté par des flèches (Document 1).

Rutherford observe que la tache sur l'écran fluorescent garde la même intensité avec ou sans feuille d'or interposée! La plupart des particules traversent donc la feuille métallique.

Certaines particules  $\alpha$  sont légèrement déviées, comme en témoignent les impacts fluorescents sur l'écran. Quelques rares particules  $\alpha$ , une sur 20000 à 30 000 subissent de grandes déviations (supérieures à 90 degrés) et sont donc renvoyées vers l'arrière.

Rutherford en déduit que l'atome est constitué d'un noyau très petit par rapport à la taille de l'atome et qui concentre l'essentiel de la masse et toutes les charges positives, et d'un cortège électronique. C'est en 1932 que Chadwick (1891-1974) a découvert le neutron, projectile idéal pour explorer la matière. Cette découverte est à l'origine du développement de la physique nucléaire moderne.

**B-1-** Les particules  $\alpha$  ( ${}^4_2\text{He}$ ) sont constituées de deux neutrons et de deux protons. À l'aide des données ci-dessous déterminer la masse et la charge d'une particule  $\alpha$ .

On prendra : masse d'un proton  $m_p = 1,6727 \cdot 10^{-27}$  kg; masse d'un neutron  $m_n = 1,6743 \cdot 10^{-27}$  kg.

**B-2-**

**B-2 -1-** Déterminer le rapport entre la masse d'une particule  $\alpha$  et celle de l'atome d'hélium. Que peut-on conclure quant à la masse de l'atome de manière générale ?

**B-2-2 -** Déterminer la masse des noyaux d'or dont le symbole est :  ${}^{197}_{79}\text{Au}$

**B-2-3-** Déterminer le rapport entre la masse d'une particule  $\alpha$  et celle d'un noyau d'or. Justifier qu'après le choc la particule  $\alpha$  est déviée et le noyau d'or reste immobile.

**B-3-** Le document (1) schématise l'expérience de Rutherford. Les cercles en contact les uns avec les autres représentent les atomes d'or et les points au milieu de ces cercles les noyaux.

**B-3-1-** Préciser les particules sur lesquelles rebondissent les particules  $\alpha$  lors de la traversée de la feuille d'or.

**B-3.- 2-** Sachant que le rayon d'un atome d'or est  $r_a = 1,44 \cdot 10^{-1}$  nm et celui d'un noyau d'or  $r_n = 7 \cdot 10^{-6}$  nm, calculer le rapport des rayons  $r_a / r_n$ . L'affirmation qui consiste à dire que l'atome offre des espaces vides immenses est-elle justifiée ?

**B-3-3-** D'après le document (1), lorsqu'une particule  $\alpha$  passe près d'un noyau, est-elle attirée ou repoussée par celui-ci ? Que peut-on en déduire quant à la charge du noyau ?

**B-3-4-** Comment peut-on expliquer que certaines particules soient parfois renvoyées vers l'arrière?

**PARTIE C - AU CŒUR DE L'ATOME (05 points)**

Le noyau d'un atome, appelé nucléide, est symbolisé par  ${}^A_Z X$  avec X symbole de l'élément, Z nombre de protons du noyau et A son nombre de masse. On a  $A = Z + N$  avec N nombre de neutrons du noyau.

Différents modèles des noyaux atomiques ont été proposés pour donner une description cohérente des divers phénomènes observables. Parmi ces modèles, on peut citer le modèle de goutte liquide qui consiste à supposer que l'ensemble des nucléons forme une sorte de balle dans laquelle chaque particule est fortement liée aux voisines.

**C-1-** Une formule empirique donne l'expression du rayon d'un noyau (supposé sphérique) :  $r_n = 1,25 \cdot A^{\frac{1}{3}} \cdot 10^{-15}$  m, Calculer le rayon du noyau atomique de l'or et le comparer avec celui donné dans la partie B.

**C-2-** Les noyaux ayant même nombre de masse A mais des nombres de protons Z différents sont appelés isobares ou noyaux miroirs. Les atomes correspondant aux noyaux isobares ont-ils des propriétés chimiques identiques ? Justifier la réponse.

**C-3-** Les quarks constituants ultimes de la matière nucléaire connus à ce jour ne sont pas observés isolément.

Le proton p est constitué par l'association de trois quarks dont, deux quarks u (up) et un quark d (down) ;

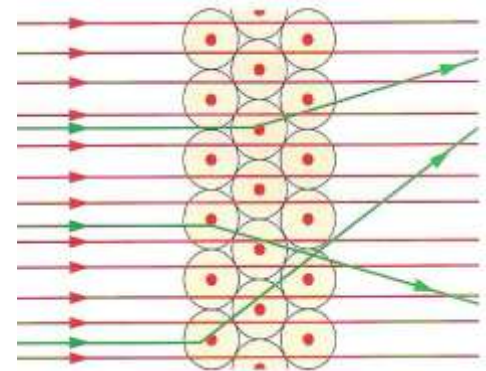
le neutron n est constitué par l'association d'un quark u et de deux quarks d; soient  $p = 2u + d$  et  $n = u + 2d$ .

A partir des relations précédentes, calculer la valeur des charges  $q_u$  et  $q_d$  portées par les quarks u et d en fonction de la charge élémentaire e. Conclure.

**PARTIE D - ENERGIE DE LIAISON DU NOYAU ET ENERGIE DE LIAISON CHIMIQUE ! (15 points)**

**D-1- A** une particule subatomique de masse au repos m on associe une énergie  $E_0 = m c^2$  avec c, la célérité de la lumière dans le vide. Cette formule est connue sous le nom de relation d'Einstein.

De cette relation, montrer qu'une masse peut-être exprimée en  $J/c^2$  ou  $\text{MeV}/c^2$



**Document 1**

**CLASSES DE TERMINALE**

**D-2-** On définit l'unité de masse atomique  $u$  (notée parfois  $u\text{-m-a}$ ) comme égale au douzième de la masse de l'atome de carbone 12. Vérifier que :  $1u \approx 931,5 \text{ MeV}/c^2$ .

**D-3-** On s'intéresse au défaut de masse lié aux interactions fortes entre nucléons à l'intérieur d'un noyau. En fait la masse réelle d'un noyau diffère de la somme des masses de ses nucléons à cause de ces interactions.

On considère un noyau de masse réelle  $M$  formé à partir de  $Z$  protons et  $N$  neutrons.

**D-3-1-** Donner l'expression  $\Delta M$  du défaut de masse (ou perte de masse) lors de la formation du noyau à partir de ses protons et de ses neutrons en fonction de  $M, Z, N, m_p$  et  $m_n$ .

A titre d'application calculer  $\Delta M$  pour  ${}^2_1\text{H}$  ( $M = 2,014102 u$ ), évaluer  $\frac{|\Delta M|}{M}$  et conclure par rapport à la valeur de perte relative de masse  $\frac{|\Delta m|}{m} \approx 1,5 \cdot 10^{-8}$  due aux interactions électromagnétiques entre le proton et l'électron dans l'atome de deutérium.

**D-3-2-** L'énergie de liaison  $E_l$  du noyau est la différence entre son énergie de masse et la somme des énergies de masse des nucléons qui le constituent ; elle est donnée par :

$$E_l = \Delta M \cdot c^2 = (M - (Zm_p + (A - Z)m_n))c^2$$

**D-3-2-1-** Dans le tableau ci-dessous sont donnés quelques nucléides et leurs masses :

Nucléide	Masse du nucléide (u)	$E_l$ (eV)
${}^2_1\text{H}$	2,014102	
${}^{16}_8\text{O}$	15,994916	
${}^{235}_{92}\text{U}$	235,043915	

Recopier le tableau et le compléter.

**D-3-2-2-** Une formule classique due à Bethe et Weizsäcker donne l'énergie de liaison d'un noyau ( ${}^A_ZX$ )

$$E_l = - (\alpha A - \beta A^{\frac{2}{3}} - \gamma Z^2 A^{-\frac{1}{3}} - \xi \frac{(N-Z)^2}{A} + \delta),$$

avec :  $\alpha = 15,56 \text{ MeV}$  ;  $\beta = 17,8 \text{ MeV}$  ;  $\gamma = 0,71 \text{ MeV}$  et  $\xi = 23,6 \text{ MeV}$ . Le signe  $-$  est dû à la convention adoptée dans ce texte sur les énergies de liaison.

En prenant le cas de  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , calculer son énergie de liaison  $E_l$  et la comparer avec la valeur trouvée en D-3-2-1 ; on prendra  $\delta \approx 0$ .

**D-3-2-3-** En considérant par exemple l'atome de deutérium ( ${}^2_1\text{H}$ ) dont l'énergie de liaison (chimique) est de  $-13,6 \text{ eV}$ , comparer l'énergie de liaison du noyau de deutérium et celle de l'atome de deutérium et conclure quant à la stabilité des deux systèmes.

**PARTIE E – PROBLEMATIQUE DE LA STABILITE DES NOYAUX (15 points)**

**E-1-** A l'intérieur du noyau se trouvent des neutrons et des protons. Les interactions répulsives entre protons devraient conduire à l'éclatement du noyau. Pour expliquer la cohésion du noyau, on admet l'existence d'une interaction forte, attractive de courte portée qui unit l'ensemble des nucléons et qui prédomine devant l'interaction électrostatique. Néanmoins, dans certains cas, la cohésion est insuffisante ; les noyaux sont alors instables et se désintègrent; ils sont radioactifs.

La courbe d'Aston représentée ci-dessous, courbe la plus fondamentale de la physique nucléaire, donne la loi de variation de l'énergie de liaison par nucléon  $\frac{E_l}{A}$  en fonction du nombre de masse  $A$  ; soit  $\frac{E_l}{A} = f(A)$ .

En utilisant la courbe, répondre aux questions suivantes :

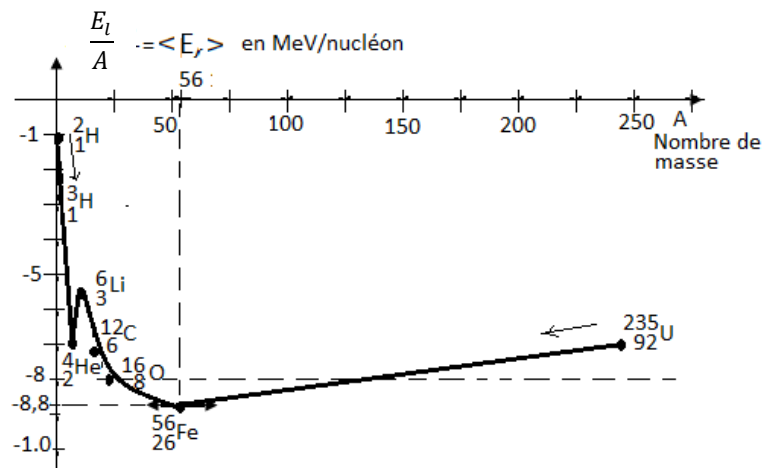
a) Préciser pour quelle valeur de l'énergie de liaison cette courbe présente un minimum ; donner le nom de l'élément chimique correspondant. Que peut-on dire de la stabilité du noyau de cet élément ?

b) Donner un domaine de l'énergie de liaison par nucléon où on a des nucléides stables.

**E-2-** Dans les noyaux stables il y a approximativement autant de protons que de neutrons ( $A = 2Z$ )

Que pourrait-on dire dans ce cas des éléments suivants :  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$  ? La courbe d'Aston justifie-t-elle cela?

**E-3-** Préciser les éléments qui peuvent donner naissance à une fusion nucléaire et à une fission nucléaire.



Courbe d'Aston Document 2

**CLASSES DE TERMINALE**

**E-4-** Les forces de cohésion nucléaires sont des forces très intenses, différentes des forces de gravitation, différentes des forces électrostatiques. Elles sont de courtes portées : nulles à  $10^{-10}$  m et très attractives à  $10^{-14}$  m. On prend généralement pour expression de l'énergie potentielle d'interaction nucléon-nucléon :

$$E_p(r) = - \frac{C}{r} \cdot e^{-r/r_0} \text{ avec } C = 10^{-26} \text{ J.m} \text{ et } r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m.}$$

**E-4-1-** Dédurre de  $E_p(r)$ , l'expression de la force  $F(r)$  agissant sur un nucléon dans le champ de force d'un autre nucléon. On rappelle pour ce type de force conservative et pour un mouvement à une dimension  $x$  on a :

$$F(x) = - \frac{dE_p(x)}{dx}$$

**E-4-2-** Calculer le module de la force  $F(r_0)$  d'interaction nucléaire entre deux nucléons distants de  $r_0$  et le module de la force  $F(4r_0)$ . En comparant ces deux modules; que peut-on dire sur la portée des forces nucléaires ?

On prendra :  $e = 2,71$  (exponentiel).

**E-4-3-** On désire comparer les forces d'interaction au sein des noyaux et les forces d'interaction entre le noyau et le cortège électronique. On raisonne avec le cas du deutérium ( ${}^2_1\text{H}$ ).

**E-4-3-1-** Donner l'expression de la force d'interaction coulombienne entre le proton et l'électron de l'atome. Calculer l'intensité de cette force si on considère que la distance  $r$  entre les deux particules est de l'ordre du rayon moyen de l'atome, soit  $r = 0,53 \text{ \AA}$

On donne : charge du proton  $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$  et  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

**E-4-3-2-** Partant des résultats trouvés pour les questions précédentes et en tenant compte des données relatives aux distances, que peut-on dire des forces d'interaction nucléaire par rapport aux forces d'interaction coulombienne? L'affirmation faite dans le texte introductif de cette partie sur le rapport entre les intensités des deux types de force est-elle confirmée ?

**PARTIE F - REACTIONS NUCLEAIRES : ENTRE EFFETS NEFASTES ET AVANTAGES MULTIPLES (50 pts)**

**F-1-** La transformation nucléaire naturelle se produit spontanément sans action extérieure.

Il existe des noyaux instables qui se désintègrent spontanément, ils sont dits radioactifs. Lors de ces désintégrations, des particules peuvent être émises, pas toutes à la fois généralement : il s'agit de particules  $\alpha$  ( ${}^4_2\text{He}$ ),  $\beta^-$  ( ${}^0_{-1}e$ ),  $\beta^+$  ( ${}^0_1e$ ) souvent accompagnées d'un rayonnement  $\gamma$  constitué de photons très énergétiques (l'émission de  $\beta^+$  est due aux noyaux obtenus artificiellement).

**F-1-1-** Rappeler les lois générales de conservation qui régissent les transformations nucléaires.

**F-1-2-** Après la découverte de la radioactivité, Rutherford sépare avec un très puissant champ magnétique les différents « rayonnements » émis par les substances radioactives (Document 3).

**F-1-2-1-** A partir du document 3 montrant la déviation des particules issues de l'émission radioactive,

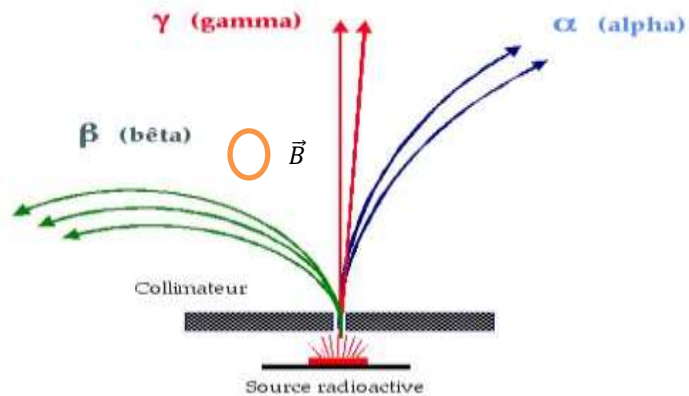
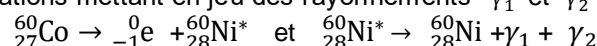
- donner le sens de  $\vec{B}$  et la nature de la charge de  $\beta$ .
- justifier pourquoi les « rayonnements  $\beta$  » sont plus déviés que les particules  $\alpha$  et que le rayonnement  $\gamma$  n'est pas dévié.

**F-1-2-2-** Ecrire l'équation de désintégration traduisant chacun des types de radioactivité suivants et exprimer les caractéristiques  $A'$  et  $Z'$  du noyau fils en fonction de celles  $A$  et  $Z$  du noyau père.

- Radioactivité  $\beta^-$  ( ${}^0_{-1}e$ ) : transmutation spontanée où le noyau  ${}^A_ZX$  (ayant un excès de neutrons) se transforme en un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}Y$  en émettant un électron
- Radioactivité  $\beta^+$  ( ${}^0_1e$ ) : transmutation spontanée où le noyau  ${}^A_ZX$  (artificiel) se transforme en un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}Y$  en émettant un positon.
- Radioactivité  $\alpha$  ( ${}^4_2\text{He}$ ) : transmutation spontanée où le noyau  ${}^A_ZX$  (noyau lourd instable) se transforme en un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}Y$  et une particule  $\alpha$ . Elle se produit pour des noyaux dont  $A > 200$ .

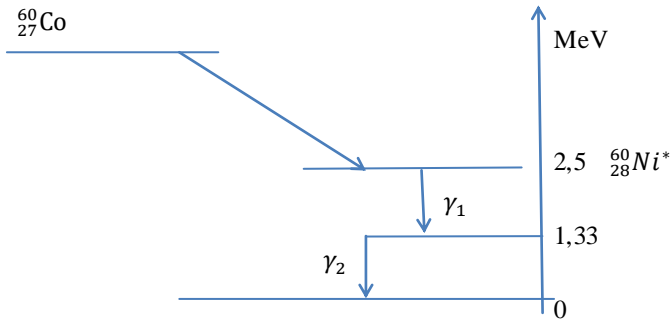
**F-1-3-** La bombe au cobalt dont le schéma énergétique est représenté sur le document 4 ci-après est notamment utilisée en radiothérapie. Lors la désintégration nucléaire le noyau père cobalt conduit souvent à un noyau fils qui est dans un état momentanément instable (état excité).

Pour devenir stable le noyau fils libère cet excédent d'énergie sous forme de rayonnement  $\gamma$ . C'est une suite de deux désexcitations mettant en jeu des rayonnements  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  :



**Document 3**

**F-1-3-1-** Donner les valeurs des énergies des photons  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$



**Document 4**

**F-1-3-2-** Ces rayons sont utilisés pour le traitement des tumeurs cancéreuses.. Pour une thérapie, l'équivalent biologique de dose absorbée (énergie efficace absorbée par les tissus humains qui les détruit) est de l'ordre de 100 sievert (1 Sv = 1J.kg<sup>-1</sup>)

- a) Quelle serait en joule, l'énergie reçue par un malade qui aurait une tumeur dont la masse est 3 g ?
- b) Quel est le nombre de désexcitations  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  qui correspond à ce traitement ?
- c) On admet que cette thérapie est administrée en 30 séances de 2 minutes chacune.

Quel est, par unité de temps, le nombre de noyaux de la fraction de la source effectivement utilisés pour ce traitement ?

**F-1-4-** On montre que la loi d'évolution temporelle des noyaux radioactifs d'une substance radioactive est donnée par l'expression :  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$  avec  $N_0$  le nombre de noyaux de la substance radioactive à la date  $t_0 = 0$ ,  $N(t)$  le nombre de noyaux radioactifs à la date  $t$  et  $\lambda$  la constante radioactive dépendant de la nature de la substance.

**F-1-4-1-** Le phénomène de désintégration radioactive n'est pas périodique mais on définit la période comme étant la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux présents initialement dans un échantillon donné sont désintégrés. Exprimer  $T$  en fonction de  $\lambda$ .

**F-1-4-2-** Ce qui intéresse l'utilisateur des sources radioactives ce n'est pas le nombre  $N(t)$  de nucléides radioactifs présents à l'instant; mais le nombre de nucléides qui se désintègrent par unité de temps qu'on définit comme l'activité d'un échantillon  $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$ . C'est en effet le rythme des désintégrations qui fixe la rapidité et l'exactitude de la mesure à effectuer.

a) Montrer que  $A(t) = \lambda N = \frac{0,693}{T} N(t)$

b) Donner l'expression de  $A(t)$  en fonction de sa valeur  $A_0$  à  $t_0 = 0$  et  $\lambda$ .

**F-1-4-3-** L'évolution temporelle d'une substance radioactive trouve son application, entre autres, dans la datation au carbone -14. Le carbone 14 ( $^{14}_6C$ ) est radioactif  $\beta^-$  ( $^-1_0e$ ) et de période  $T = 5730$  ans. Lorsqu'une plante meurt le processus d'assimilation du carbone s'arrête et la teneur du carbone 14 commence à diminuer. Pour dater un morceau de charbon de bois retrouvé dans une grotte préhistorique, la mesure de son activité donne 0,03Bq. Un échantillon de charbon de bois récent de même masse a une activité de 0,2Bq.

- a)- Ecrire l'équation de désintégration du carbone 14.
- b)-Calculer l'âge du morceau de charbon de bois retrouvé dans la grotte.

**F-2 -** Si la transformation nucléaire spontanée se fait sans action extérieure, la transformation induite ou provoquée résulte de l'action sur le noyau d'une particule ou d'un quantum d'énergie. Elle résulte donc de la collision de deux noyaux ou d'une particule (proton, neutron, deuton, hélion ( $\alpha$ ), méson, etc.) et d'un noyau. Cette collision conduit à la formation de deux noyaux ou le plus souvent d'un noyau et d'une particule.

**F-2-1-** On considère la réaction de fission de l'uranium traduite par l'équation :  $^1_0n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{94}_{39}Y + ^{140}_{53}I + x^1_0n$

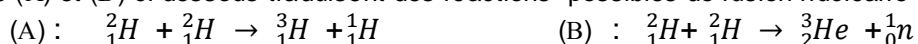
a) Après avoir déterminé  $x$  et  $Z$ , calculer en MeV l'énergie libérée par cette réaction. Sous quelles formes cette énergie apparait-elle ?

On donne les masses des noyaux :  $M(^{235}_{92}U) = 235,043934u$  ;  $M(^{140}_{53}I) = 139,93121u$  ;

$M(^{94}_{39}Y) = 93,91154u$  et  $M(^1_0n) = 1,00866u$  et  $1u \approx 931,5 \text{ MeV}/c^2$ .

- b) En s'inspirant de cet exemple de fission comment pourrait-t-on définir une réaction nucléaire en chaîne ?
- c) Donner une explication aux principes des armes atomiques et aux centrales nucléaires.

**F-2-2-** Les équations (A) et (B) ci-dessous traduisent des réactions possibles de fusion nucléaire du deutérium :



Calculer dans chaque réaction l'énergie libérée.

$^A_ZX$	$^1_0n$	$^1_1H$	$^2_1H$	$^3_1H$	$^3_2He$
m (u)	1,00866	1,00785	2,014102	3,01605	3,016030

- a) Evaluer l'énergie moyenne libérée par la fusion d'un noyau de deutérium.
- b) Conclure quant à la quantité d'énergie libérée par les réactions de fusion.



**CLASSES DE TERMINALE**

**F-2-3-** La bombe A et la bombe H constituent des armes atomiques redoutables. La technologie de conception et de fabrication de ces bombes consiste à produire une réaction nucléaire en chaîne divergente se traduisant par une explosion violente.

L'énergie libérée par une bombe atomique en quelques microsecondes est considérable ; on l'exprime généralement en kilotonne (kt). La bombe A elle, consiste à la mise en contact de deux masses sous-critiques en uranium et en plutonium de 50 kg et 16 kg.

La mise en contact de deux masses sous-critiques de manière à former une masse sur-critique conduit à une réaction en chaîne divergente se traduisant par une explosion violente.

Lors du bombardement d'Hiroshima et de Nagasaki (Japon) les 6 et 9 août 1945, les bombes A utilisées avaient pour puissance respectives de 14 et 21 kt.

Le principe de la bombe H repose sur la fusion incontrôlée d'un mélange de deutérium, de tritium et de lithium porté à de très hautes températures par l'explosion d'une petite allumette à fission (petite bombe A).

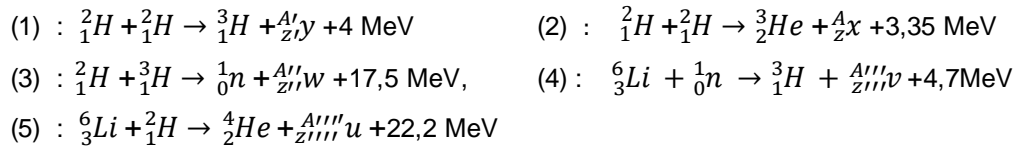
Par fusion thermonucléaire; il se forme essentiellement des noyaux d'hélium 3 et 4 avec libération de protons et de neutrons. A masse égale une bombe H libère plus d'énergie qu'une bombe A.

**F-2-3-1-** Evaluer les énergies en joules libérées par la bombe A à ces dates. (1kt = 4,2.10<sup>12</sup> J).

Sachant que 1kg de TNT(trinitrotoluène) libère une énergie de 4,2.10<sup>6</sup>J lors de son explosion, évaluer la masse de trinitrotoluène qu'il faut utiliser pour produire la même énergie dégagée par la bombe de 21kt

**F-2-3-2-** Les effets dévastateurs des armes nucléaires sont multiples; citez quelques-uns.

**F-2-3-3-** Les réactions se produisant dans la bombe H sont les suivantes :



a) Identifier les noyaux : x, y, w, v et u.

b) Dire dans quelle phase de transformation le système libère plus d'énergie.

**F-2-4 -** En traversant la matière, les particules α et β, ainsi que le rayonnement γ émis par les corps radioactifs, provoquent des ionisations responsables des destructions cellulaires pouvant entraîner la mort. A faible dose, elles sont responsables de divers troubles, d'une augmentation de risques de cancers et peuvent provoquer des anomalies génétiques. Le rayonnement α est plus nocif que le rayonnement β. Cependant pour un même équivalent dose et pour un tissu ou un organe donné, les effets sont identiques quels que soient le rayonnement et le type de contamination. Par ailleurs, les équivalents doses sont cumulables.

La dose absorbée par une personne ou un objet au voisinage d'une source est l'énergie déposée par le rayonnement dans l'unité de masse de la matière exposée. Seule une partie de la dose absorbée a un effet biologique. L'équivalent biologique de dose (ED) chiffre l'effet biologique de la dose absorbée par les tissus humains et qui les détruit ; l'unité est le sievert (Sv) ; 1Sv = 1J.kg<sup>-1</sup>.

On donne ici deux tableaux : l'un fournissant l'équivalent la dose ED de quelques sources de rayonnements radioactifs et l'autre les effets produits pour une quantité de rayonnements absorbés.

**Irradiation**

**Type de contamination**

	Origine	ED (μSv)
<b>Irradiation naturelle</b>	Radionucléides incorporés dans l'organisme	240
	Rayons cosmiques	300
	Radioactivité	400
<b>Irradiation usuelle</b>	Montre à cadre lumineux	5 à 100
	Télévision	10
	Voisinage d'une centrale nucléaire	20

ED (Sv)	Effet
>10	Mort
5	Diarrhées,
2	10% de mortalité
1	Troubles digestifs, stérilité,
0,05	Modification de la formule sanguine

**F-2-4-1-** Dans quelle situation une personne est-elle soumise à une irradiation ?

**F-2-4-2-** Quand dit-on qu'il y a contamination ?

**F-2-4-3-** L'équivalent-dose reçu pour une dose absorbée dépend-il de la nature du rayonnement ?

**F-2-4-4-** Selon vos analyses, quelles précautions doivent prendre les techniciens d'une centrale nucléaire pour prévenir les risques de contamination ?

**F-2-4-5-** Pouvez-vous donner les raisons pour lesquelles les bombes atomiques lancées depuis les années 1945 produisent à nos jours des effets tels que la stérilité, la déformation des organes ?

**F-2-4-6-** D'après les renseignements fournis dans ces tableaux, quels conseils donnerez-vous à ceux qui passent tout le temps à regarder la télévision, à porter des montres à cadran lumineux ou avoir toujours des téléphones portables à l'oreille et pourquoi ?

**CLASSES DE TERMINALE**

**F-2-5-** Une centrale nucléaire regroupe l'ensemble des installations permettant la production d'électricité sur un site donné (document 5, page 8). Elle comprend fréquemment plusieurs réacteurs (appelés "tranches"), identiques ou non ; chaque tranche correspond à un groupe d'installations conçues pour fournir une puissance électrique donnée.

Le samedi 26 avril 1986 à 1h30 min, à la suite de manœuvres aberrantes, une explosion de vapeur d'eau se produit dans le réacteur nucléaire n° 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Les causes principales qui sont généralement évoquées pour rendre compte de l'accident et expliquer sa gravité sont :

- le réacteur, de par sa conception même, est instable à certains régimes de fonctionnement et est susceptible de s'emballer de manière incontrôlée ;
- l'absence d'enceinte de confinement (double enceinte de béton) autour du réacteur responsable de la diffusion du nuage radioactif ;
- une série de violations graves des règles de sécurité par des opérateurs incompetents,

**F-2-5- 1-** Quelles sont les causes de l'accident impliquant directement la conception du réacteur ?

**F-2-5- 2-** Les conséquences de l'accident sur la thyroïde des enfants sont notoires. De nombreux enfants ont reçu au niveau de la thyroïde des doses élevées très supérieures à la limite supérieure à la dose fixée pour le public (0,05 sievert).

D'autre part, la distribution des comprimés d'iode stable non radioactif (dans le but de saturer la thyroïde en iode et d'empêcher la pénétration de l'iode radioactif dans celle-ci) a souvent été décidée beaucoup trop tardivement.

a)- Comment peut-on limiter la dose radioactive fixée par la thyroïde?

b)- En fait l'iode est fixé par la glande thyroïde qui l'utilise pour la fabrication de l'hormone thyroxine. L'iode 131 radioactif a une période de 8 jours. Quelle est la proportion d'iode 131 présente dans la thyroïde après trois semaines ?

**F-2-5- 3-** Après la catastrophe de Tchernobyl, on a prélevé un échantillon contenant divers radioéléments. On a mesuré les activités de ces radioéléments :

Nucléide	Activité (Bq)	Période radioactive
$^{137}_{55}\text{Cs}$	55000	30 ans
$^{134}_{55}\text{Cs}$	28000	21 ans
$^{106}_{44}\text{Ru}$	76000	1 an
$^{95}_{30}\text{Zn}$	286000	64 jours
$^{144}_{58}\text{Ce}$	290000	0,8 an

a) Sachant que lorsqu'un échantillon contient divers radionucléides, l'activité totale est égale à la somme des activités de chaque nucléide, quelle est l'activité totale de cet échantillon au moment de la mesure ?

b) Quel est le nucléide dont l'activité va diminuer le plus rapidement ?

c) Calculer l'activité de chaque radioélément de cet échantillon deux ans après la catastrophe.

En déduire l'activité totale au bout de cette période. Evaluer la diminution relative de l'activité totale.

**F-2-6-** Dans les centrales nucléaires, l'énergie provient de la fission de l'uranium contenu dans le réacteur.

L'électricité que nous consommons tous les jours est produite par des centrales électriques. Il existe deux types de centrales : les centrales mécaniques (telles les centrales hydroélectriques) et les centrales thermiques. A côté des centrales thermiques classiques (dites centrales à « flamme ») dans lesquelles l'énergie est produite par la combustion du charbon ou du fioul (réservoirs chimiques), il y a les centrales nucléaires où l'énergie électrique est produite par la fission de l'uranium contenu dans le cœur du réacteur.

Aujourd'hui, si au Sénégal l'essentiel de l'énergie électrique est d'origine fossile, par contre dans beaucoup de pays développés, l'essentiel de l'électricité consommée est d'origine nucléaire.

Dans le cœur d'une centrale nucléaire (document 5, page 8), l'uranium est introduit sous forme de pastilles d'oxyde d'uranium  $\text{UO}_2$  (enrichi à 3,5% en isotope  $^{235}_{92}\text{U}$ ) contenues dans des tubes en zirconium. Il sert de « combustible ».

L'uranium dans son état naturel est un mélange d'isotope 238 (99,28%) et d'isotope 235 (0,72%).

Le combustible fissile est l'isotope 235.

**F-2-6-1-**

a) Décrire sommairement le circuit de la vapeur d'eau (servant de fluide caloporteur) indiqué sur le document 5 (circuit secondaire)

b) Indiquer l'élément de la centrale où il se produit la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique et l'élément où il se produit la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique.

c) Préciser le phénomène physique qui est à l'origine de la production des hautes tensions électriques.

**F-2-6-2-** Dans une centrale nucléaire, de nombreuses réactions de fission de l'uranium-235 se produisent.

On admettra ici que la fission d'un noyau de l'uranium-235 s'accompagne en moyenne d'une perte de masse de 0,193 u. En utilisant cette dernière valeur, calculer en MeV et en joules l'énergie libérée par la fission d'une mole d'atomes d'uranium.

**F-2-6-3-** Dans une centrale nucléaire la fission de l'uranium-235 fournit une puissance électrique moyenne de 1000 MW. Le rendement de la transformation de l'énergie nucléaire en énergie électrique est 25%.

Quelle masse (m) d'uranium-235 est nécessaire pour faire fonctionner la centrale pendant 1 an ?

**F-2-6-4-** Sachant que 1kg de pétrole libère une énergie de  $45 \cdot 10^6$  J sous forme de chaleur, quelle masse ( $m'$ ) de pétrole faudrait-il utiliser pour produire la même quantité d'énergie par an que la centrale nucléaire avec le même rendement ?

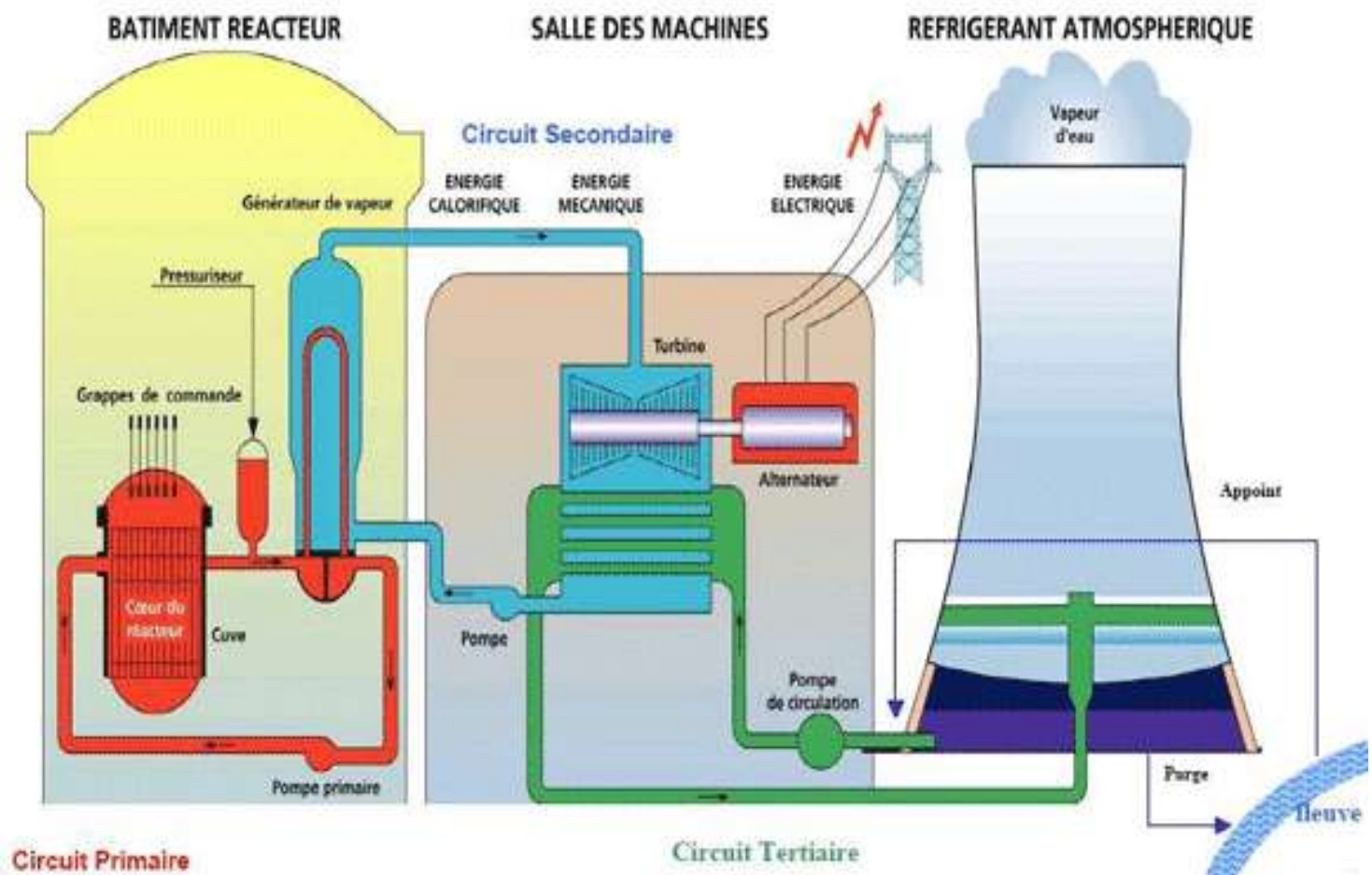
**F-2-6-5-** Actuellement, les recherches visent à savoir s'il est possible de remplacer les réactions de fissions qui sont utilisées pour faire fonctionner les centrales nucléaires par des processus de fusion. La réaction de fusion dont on étudie la mise en œuvre est décrite par l'équation suivante :  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

- Traduire cette équation par une phrase et citer un endroit de l'univers où cette réaction a lieu.
- La réaction de fusion donnée ci-dessus libère une énergie de  $2,82 \cdot 10^{-12}$  J. Déterminer la masse ( $m''$ ) de mélange deutérium/tritium nécessaire pour obtenir la même quantité d'énergie par an que celle obtenue grâce aux réactions de fission (question F-2-6-2). Comparer cette masse à celles trouvées pour l'uranium et le pétrole. Conclure. On rappelle :

${}^A_ZX$	${}^1_0\text{n}$	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$
$m(u)$	1,00866	1,00785	2,014102	3,01605	4,002603

- Expliquer en quelques lignes pourquoi la fusion suscite beaucoup d'espoir.

**NB :** aucun des documents n'est à rendre avec la feuille de copie.



**Document 5**

**FIN DU SUJET**