BACCALAUREAT GENERAL

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : **3 h 30**

Coefficient : **8**

Spécialité

L'usage des calculatrices **N'EST PAS AUTORISÉ**.

Le sujet **NECESSITE** une feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice 1 : Étude cinétique de la réaction de dismutation de l'eau oxygénée (6,5 points)

Exercice 2 : Le trébuchet (5,5 points)

Exercice 3 : Lunette terrestre (4 points)

Exercice 1 : Etude cinétique de la dismutation de l'eau oxygénée (6,5 points)

L'eau oxygénée commerciale est une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène utilisée comme désinfectant pour des plaies, pour l'entretien des lentilles de contact ou comme agent de blanchiment.
Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) intervient dans deux couples oxydant-réducteur : $H_2O_{2(aq)}$ / $H_2O_{(l)}$ et $O_{2(g)}$ / $H_2O_{2(aq)}$.
Le peroxyde d'hydrogène est capable dans certaines conditions de réagir sur lui-même c'est à dire de se dismuter selon l'équation de réaction suivante :

$$2\ H_2O_{2(aq)} = 2\ H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$$ Réaction 1

Cette réaction est lente à température ordinaire mais sa vitesse peut être augmentée en présence d'un catalyseur.

Données :
Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience : $V_m \approx 25\ L.mol^{-1}$.

La partie 3 est indépendante des parties 1 et 2.

Partie 1 : Étude de la réaction de dismutation

1. Écrire les deux demi-équations d'oxydoréduction des deux couples auxquels le peroxyde d'hydrogène appartient.

2. Compléter le tableau d'évolution du système en **annexe page 9/10 à remettre avec la copie.**

Partie 2 : Détermination de la concentration initiale de la solution de peroxyde d'hydrogène

L'eau oxygénée du commerce se présente en flacons opaques afin d'éviter que la lumière favorise la transformation chimique précédente. Le flacon utilisé dans cette étude porte la mention suivante : eau oxygénée à 10 volumes. Cette indication est appelée le titre de l'eau oxygénée.
Par définition, le titre est le volume de dioxygène (exprimé en litres) libéré par un litre de solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène suivant la réaction de dismutation dans les conditions normales de température et de pression (réaction 1). On considèrera, en première approximation, que les conditions de l'expérience sont assimilables aux conditions normales.
Avant de réaliser le suivi cinétique de la réaction de dismutation, on désire vérifier l'indication donnée sur le flacon concernant le titre de l'eau oxygénée de la solution commerciale utilisée.

1. Calcul de la valeur attendue de la concentration en peroxyde d'hydrogène.

1.1 Par définition du titre de l'eau oxygénée, quel volume de dioxygène $V(O_2)$ serait libéré par un volume V = 1,00 L de la solution commerciale au cours de la réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène ?

1.2 Calculer la quantité de dioxygène formé au cours de cette transformation.

1.3 La transformation précédente étant considérée comme totale, vérifier que la concentration en peroxyde d'hydrogène notée $[H_2O_2]_{th}$ de cette solution commerciale (valeur théoriquement attendue) a pour valeur :
$[H_2O_2]_{th} = 8{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}.

2. Détermination de la valeur réelle de la concentration en peroxyde d'hydrogène.

Pour vérifier la valeur de la concentration précédente, on réalise le titrage d'un volume V_0 = 10,0 mL de cette solution par une solution de permanganate de potassium acidifiée de concentration en soluté $C_1 = 2{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}. Les couples oxydant-réducteur intervenant au cours du titrage sont $MnO_4^-{}_{(aq)}/Mn^{2+}{}_{(aq)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{2(aq)}$. Le volume de permanganate de potassium versé pour obtenir l'équivalence est V_{eq} = 14,6 mL.
L'équation de la réaction de titrage est la suivante :

$$5\ H_2O_{2(aq)} + 2\ MnO_4^-{}_{(aq)} + 6\ H_3O^+{}_{(aq)} = 5\ O_{2(g)} + 2\ Mn^{2+}{}_{(aq)} + 14\ H_2O_{(l)}$$ Réaction 2

2.1 L'ion permanganate $MnO_4^-{}_{(aq)}$ donne une coloration violette aux solutions aqueuses qui le contiennent.
Comment l'équivalence est-elle repérée au cours du titrage ?

2.2 Quelle relation peut-on écrire entre la quantité initiale de peroxyde d'hydrogène se trouvant dans le bécher $n_0(H_2O_2)$ et la quantité d'ions permanganate introduits dans le bécher à l'équivalence $n_{eq}(MnO_4^-)$?

2.3 Donner l'expression de la concentration en peroxyde d'hydrogène de la solution commerciale $[H_2O_2]_{exp}$ en fonction de C_1, V_0 et V_{eq}.

2.4 Montrer que l'on a : $[H_2O_2]_{exp} = 7{,}3 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}.

2.5 Comparer à la valeur obtenue à la question *1.3*. Les erreurs de manipulation mises à part, comment peut-on expliquer l'écart de concentration obtenu ?

Partie 3 : Étude cinétique de la dismutation du peroxyde d'hydrogène

La dismutation du peroxyde d'hydrogène est une réaction lente mais qui peut être accélérée en utilisant par exemple des ions fer III ($Fe^{3+}{}_{(aq)}$) présents dans une solution de chlorure de fer III, un fil de platine ou de la catalase, enzyme se trouvant dans le sang.
L'équation de la réaction associée à cette transformation est donnée dans l'introduction (réaction 1).

1. Donner la définition d'un catalyseur.

2. À quel type de catalyse correspond la catalyse réalisée par un fil de platine ?

La transformation étudiée est catalysée par les ions fer III. On mélange 10,0 mL de la solution commerciale d'eau oxygénée avec 85 mL d'eau. À l'instant t = 0 s, on introduit dans le système 5 mL d'une solution de chlorure de fer III.
Au bout d'un temps déterminé, on prélève 10,0 mL du mélange réactionnel que l'on verse dans un bécher d'eau glacée. On titre alors le contenu du bécher par une solution de permanganate de potassium afin de déterminer la concentration en peroxyde d'hydrogène se trouvant dans le milieu réactionnel.

On obtient les résultats suivants :

t (min)	0	5	10	20	30	35
$[H_2O_2]$ mol.L^{-1}	$7{,}30\times10^{-2}$	$5{,}25\times10^{-2}$	$4{,}20\times10^{-2}$	$2{,}35\times10^{-2}$	$1{,}21\times10^{-2}$	$0{,}90\times10^{-2}$

3. Tracer sur la feuille de papier millimétré **à remettre avec la copie** l'évolution de la concentration en peroxyde d'hydrogène en fonction du temps.

   Échelles : en abscisses 2 cm pour 5 min
   en ordonnées 2 cm pour 1 × 10^{-2} mol.L $^{-1}$

4. En utilisant le tableau d'évolution du système proposé en **annexe page 9/10**, exprimer l'avancement de la transformation $x(t)$ en fonction de $n_t(H_2O_2)$ quantité de peroxyde d'hydrogène présent à l'instant t et de $n_0(H_2O_2)$ quantité initiale de peroxyde d'hydrogène.

5. La vitesse volumique v de la transformation chimique est définie comme étant le rapport de la dérivée de l'avancement x(t) en fonction du temps par le volume V du système :

$$v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx(t)}{dt}$$

   En utilisant la relation obtenue à la question **4.**, montrer que cette vitesse v peut être exprimée par la relation suivante :

$$v = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d[H_2O_2]}{dt} .$$

6. En s'aidant de la relation précédente et de la courbe d'évolution de la concentration en eau oxygénée en fonction du temps, indiquer comment évolue la vitesse de la transformation chimique au cours du temps. Expliquer le raisonnement.

7. Comment peut-on expliquer que la vitesse évolue de cette manière au cours de la transformation ?

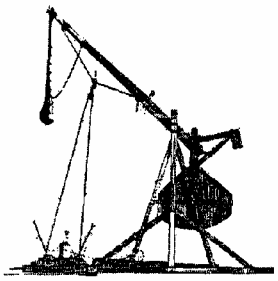
8. Donner la définition du temps de demi réaction $t_{1/2}$.

9. Montrer que lorsque $t = t_{1/2}$ alors $[H_2O_2]_{t_{1/2}} = \frac{[H_2O_2]_0}{2}$ et en déduire graphiquement la valeur de $t_{1/2}$.

10. Si la transformation chimique étudiée avait été réalisée à une température plus élevée, comment aurait évolué le temps de demi réaction ? Justifier.

Exercice 2 : Le trébuchet (5,5 points)

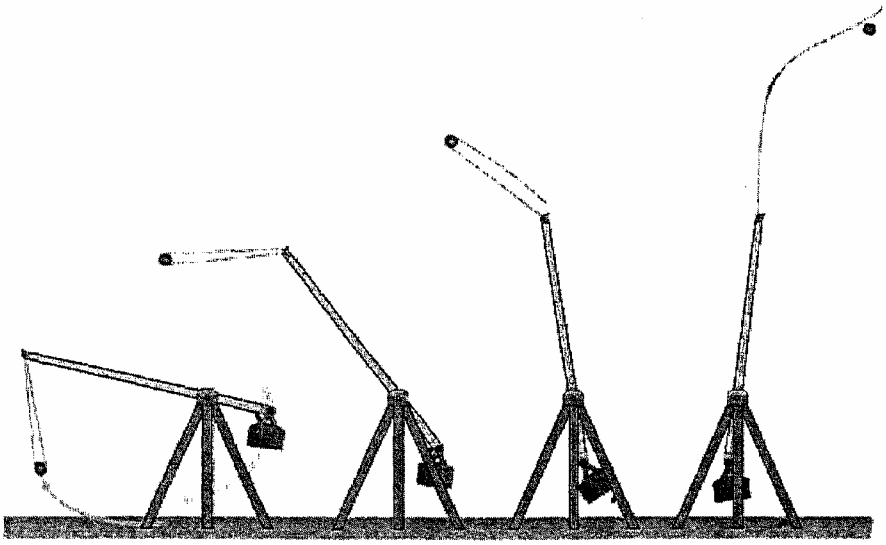
Le trébuchet est une machine de guerre utilisée au Moyen Âge au cours des sièges de châteaux forts. Le projectile pouvait faire des brèches dans les murailles des châteaux forts situés à plus de 200 m du trébuchet. Son principe de fonctionnement est le suivant :



Un contrepoids relié à un levier est maintenu à une certaine hauteur par des cordages. Il est brusquement libéré. Au cours de sa chute, il agit sur un levier au bout duquel se trouve une poche en cuir dans laquelle est placé le projectile.

Lors de sa libération de la poche, le projectile se trouve à une hauteur H = 10 m et est projeté avec une vitesse $\vec{v}_0$ faisant un angle α avec l'horizontale (voir ***figure 1 de l'annexe page 9/10 à remettre avec la copie****).*

Les mouvements du contrepoids et du projectile s'effectuent dans un champ de pesanteur uniforme.



www.home.no/fhide/trebuchet.htm

Données :

Masse du projectile m = 130 kg.
Intensité du champ de pesanteur g ≈ 10 m.s^{-2}.
Hauteur du projectile au moment du lancer : H = 10 m.
Masse volumique de l'air ρ_{air} = 1,3 kg.m^{-3}.
Volume du projectile V = 50 L.

Étude du mouvement du projectile après libération

Le système étudié est le projectile. Les frottements de l'air sur le projectile seront négligés dans cette étude. Le champ de pesanteur $\vec{g}$ est parallèle à l'axe Oz. La situation est représentée sur la ***figure 1 de l'annexe page 9/10 à remettre avec la copie.***

1. Donner les caractéristiques (sens, direction et valeur) du poids $\vec{P}$ et de la poussée d'Archimède $\vec{P}_A$ qui s'exercent sur le projectile.
2. Est-il judicieux de négliger par la suite la poussée d'Archimède ?
3. En appliquant la 2nde loi de Newton dans le cadre de la chute libre, déterminer les coordonnées a_x et a_z du vecteur accélération du centre d'inertie du projectile dans le repère indiqué.
4. Donner l'expression des coordonnées du vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$, notées v_{0x} et v_{0z} en fonction de v_0 et α.
5. On appelle composante horizontale de la vitesse la coordonnée $v_x(t)$ du vecteur $\vec{v}$ et composante verticale la coordonnée $v_z(t)$.

   Déterminer l'expression des composantes horizontale et verticale $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v}$ du système au cours de son mouvement.
6. En déduire la nature du mouvement du projectile en projection sur l'axe horizontal. Justifier.
7. Déterminer l'expression des équations horaires du mouvement du projectile : x(t) et z(t).
8. Montrer que l'équation de la trajectoire du projectile est la suivante :

$$z = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha + H .$$

9. Quelle est la nature de la trajectoire du projectile ? Représenter qualitativement l'allure de la trajectoire sur la **figure 1 de l'annexe page 9/10 à remettre avec la copie**.
10. En utilisant l'expression de l'équation de la trajectoire obtenue à la question **8.**, indiquer les paramètres de lancement qui jouent un rôle dans le mouvement du projectile.
11. Dans le cas où le projectile est lancé avec une vitesse initiale horizontale, montrer que l'abscisse de son point de chute est : $x = v_0 . \sqrt{\frac{2H}{g}}$.
12. Avec quelle vitesse initiale v_0 horizontale, le projectile doit-il être lancé pour atteindre la base du mur du château situé à une distance x = 100 m ?

    Aide au calcul : $\sqrt{0,5} = 7,1 \times 10^{-1}$, $\sqrt{2} = 1,41$.

Exercice 3 : Lunette terrestre (4 points)

La lunette astronomique étudiée cette année de terminale scientifique donne des images renversées. Si ce n'est pas un inconvénient pour l'observation des astres, il n'en va pas de même pour l'observation des objets situés à la surface de la Terre.
On transforme la lunette astronomique en lunette terrestre en interposant entre l'objectif et l'oculaire une lentille convergente appelée véhicule.

On rappelle la relation de grandissement γ d'une lentille mince :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

1. L'objectif

La lunette terrestre comme la lunette astronomique possède un objectif et un oculaire.

1.1 L'objectif d'une lunette terrestre est modélisé par une lentille convergente L_1 de distance focale $f'_1 = 10{,}0$ cm.
Calculer sa vergence.

1.2. On observe à travers cette lentille un objet lointain $A_\infty B_\infty$ (A_∞ sur l'axe) pouvant être considéré à l'infini. Un des rayons issu de B_∞ est représenté sur la **figure 1 de l'annexe page 10/10 à remettre avec la copie**.
Où se trouve l'image A_1B_1 donnée par L_1 ?

1.3 Placer, à l'échelle 1/1, le foyer image de la lentille L_1 sur la **figure 1 de l'annexe page 10/10 à remettre avec la copie.**

1.4 Construire sur la **figure 1 de l'annexe page 10/10 à remettre avec la copie** l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par L_1.

2. Le véhicule

Le véhicule est modélisé par une lentille convergente L_2 de distance focale $f'_2 = 2{,}0$ cm. Cette lentille est placée de telle façon qu'elle donne de l'image intermédiaire A_1B_1 une image A_2B_2 de même taille que A_1B_1.

2.1 Que vaut le grandissement γ dans la situation exposée dans la **figure 2 de l'annexe page 10/10 à remettre avec la copie** ?

2.2 Positionner la lentille L_2 sur la **figure 2 de l'annexe page 10/10 à remettre avec la copie**.

2.3 En utilisant la marche de deux rayons lumineux particuliers, déterminer la position des foyers de la lentille L_2.

2.4 À l'aide de la relation de conjugaison, montrer que le foyer image F'_2 est le milieu de OA_2.

2.5 Positionner, à l'échelle 1/1, la lentille L_2 sur la **figure 1 de l'annexe page 10/10 à remettre avec la copie**.

2.6 Positionner l'image A_2B_2 donnée par la lentille L_2.

2.7 Quel est le rôle de cette lentille ?

3. L'oculaire

L'oculaire est modélisé par une lentille convergente L_3 de distance focale $f'_3 = 2{,}0$ cm. Il joue le rôle d'une loupe et permet d'agrandir l'image A_2B_2.

3.1 Pour une observation sans fatigue, l'image finale A_3B_3 doit se trouver à l'infini. Où doit alors être placée la lentille L_3 ?

3.2 Positionner, à l'échelle 1/1, la lentille L_3 sur la **figure 1 de l'annexe page 10/10 à remettre avec la copie**.

3.3 Construire l'image finale A_3B_3 donnée par la lentille L_3.

ANNEXES
(A remettre avec la copie)

ANNEXE DE L'EXERCICE 1

Question 1.2 (tableau d'évolution du système).

Équation chimique		$2\ H_2O_{2(aq)}$ =	$O_{2(g)}$ +	$2\ H_2O_{(l)}$
État du système	***Avancement (en mol)***	***Quantité de matière (en mol)***		
État initial	X = 0	$n_0(H_2O_2)$	$n_0(O_2)_0 = 0$	
État en cours de transformation	X(t)			
État final	X_{max}			

ANNEXE DE L'EXERCICE 2



Figure 1.
Tir au trébuchet

ANNEXE DE L'EXERCICE 3

Figure 1.

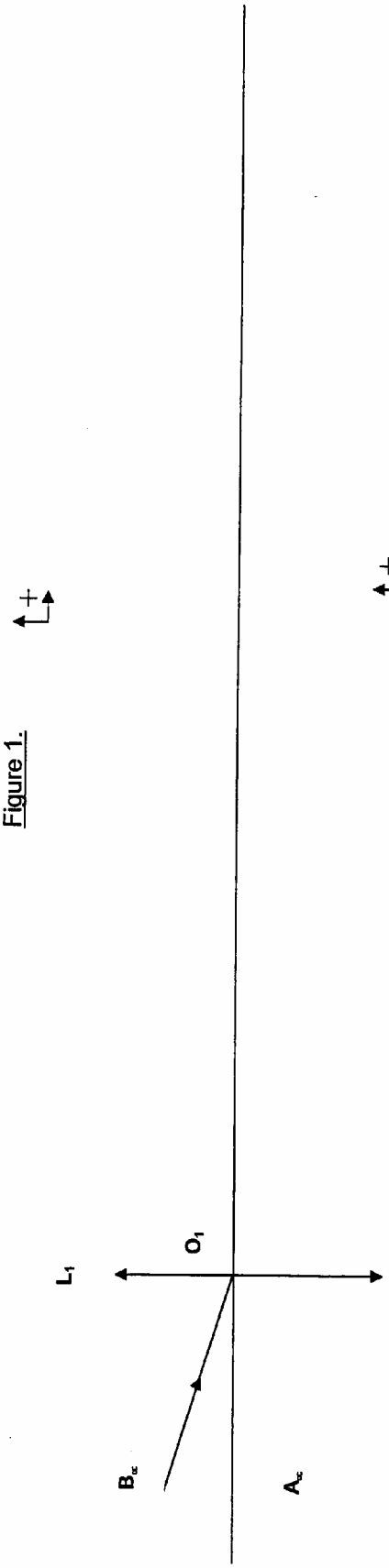
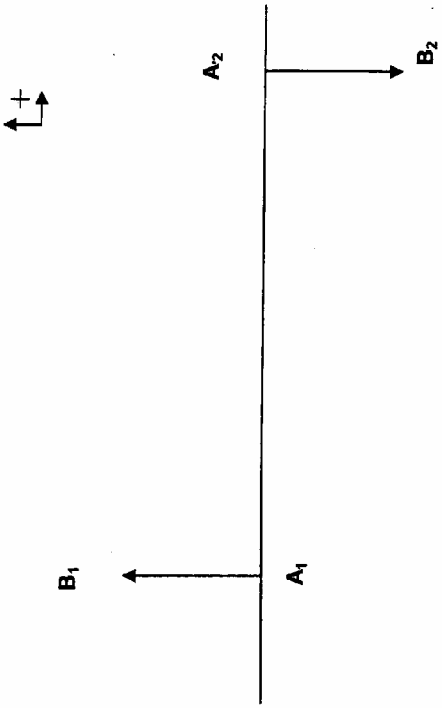


Figure 2.



Page 10/10

SESSION 2007

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : **3 h 30**

Obligatoire

Coefficient : **6**

L'usage des calculatrices **N'EST PAS AUTORISÉ**.

Le sujet **NECESSITE** une feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice 1 : Étude cinétique de la réaction de dismutation de l'eau oxygénée (6,5 points)

Exercice 2 : Le trébuchet (5,5 points)

Exercice 3 : Radioactivité et datation au carbone 14 (4 points)

Page 1/10

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 11 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Exercice 3 : Radioactivité et datation au carbone 14 (4 points)

La radioactivité naturelle (qui concerne les nucléides existant naturellement dans la nature) fut découverte en 1896, de manière fortuite, par Henri Becquerel (physicien français 1852 - 1908). Le signe le plus perceptible de la radioactivité est l'existence d'un rayonnement émis par les atomes de certains nucléides et dont l'origine se situe au niveau de leur noyau qui est instable. On observe ainsi, par exemple, les rayonnements (on parle de radioactivité) β (béta+ ou béta-), qui s'accompagnent souvent d'émission γ (gamma), radiation électromagnétique de même nature que la lumière, provenant du retour à l'état fondamental d'un noyau fils suite à la transmutation d'un noyau père radioactif.

1. Équation de désintégration nucléaire, diagramme (Z, N)

1.1 Parmi les 3 types de radioactivité étudiés en classe de terminale, citer celle qui n'a pas été évoquée dans le texte plus haut. Donner la composition de la particule émise lors de cette radioactivité.

Le diagramme ci-dessous est un diagramme (Z, N) très simplifié et schématique (Z : nombre de protons, N : nombre de neutrons).

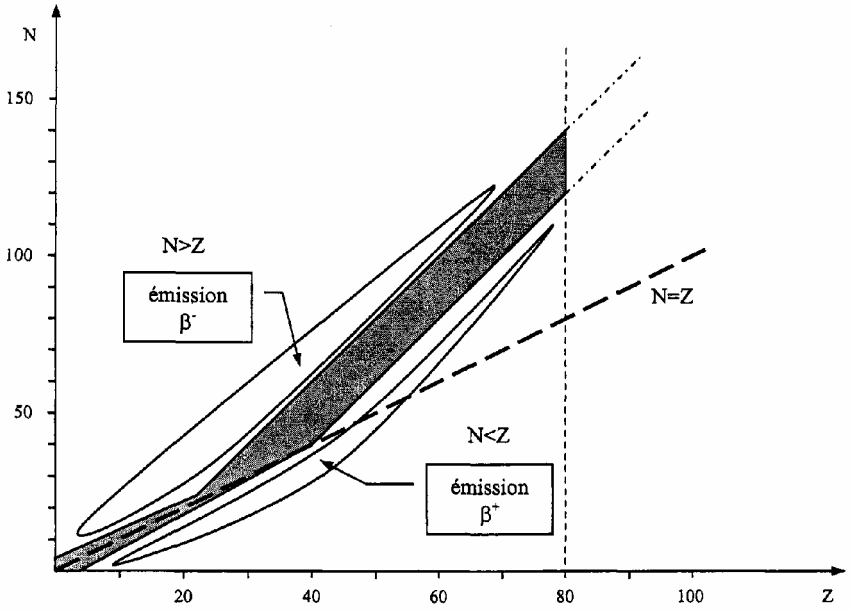
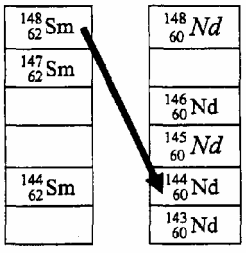


Figure 1.

1.2 Que représente la zone grisée dans le diagramme (Z, N), **Figure 1** ?

1.3 Soit la réaction nucléaire de transmutation indiquée par la flèche ci-contre entre un noyau père et son noyau fils.



1.3.1 Sachant qu'une seule particule est émise en plus du noyau fils, écrire cette réaction de désintégration nucléaire et indiquer les deux lois de conservation (lois de Soddy) qui régissent toute réaction nucléaire.

1.3.2 Quel type de radioactivité concerne la réaction précédente (celle du 1.3.1). ?

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 12 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

De toutes les méthodes radio chronologiques (basées sur la loi statistique de Curie-Rutherford-Soddy ou loi de décroissance radioactive), celle de la datation du carbone 14 est la plus connue. Dans la haute atmosphère, soumis au RCG (rayonnement cosmique galactique constitué de protons), des neutrons secondaires interagissent avec des noyaux d'azote 14. Cette réaction forme un isotope ${}^{A}_{Z}X$ du carbone : le fameux carbone 14. Immédiatement formé, le carbone 14 s'oxyde en se combinant à l'oxygène pour former du dioxyde de carbone qui se mélange avec le reste de l'atmosphère. Or le carbone 14 est radioactif. Williard Franck Libby (physicien et chimiste américain 1908 - 1980) a montré que la teneur en carbone 14 est constante dans le monde (dans l'atmosphère comme dans chaque organisme vivant). Cela est dû à un équilibre entre la désintégration et la production de carbone 14. Chaque gramme de carbone contient des atomes de carbone 14. On enregistre en moyenne 13,5 désintégrations par minute et par gramme de carbone. Lorsqu'un arbre, par exemple, est abattu, le bois cesse de vivre, le processus de photosynthèse s'arrête et il n'y a plus absorption de dioxyde de carbone. Le carbone 14 est alors libre de se désintégrer sans compensation. On peut donc dater l'âge de la mort de l'organisme (au moment où cesse tout échange de CO_2 avec l'atmosphère).

Données *: Z (C) = 6 , Z (N) = 7.*

2. Formation du carbone 14 dans la haute atmosphère

2.1 L'azote 14 et le carbone 14 sont-ils isotopes? Justifier.

2.2 Dans la haute atmosphère, l'équation de la réaction qui a lieu entre un neutron secondaire et un noyau d'azote 14 s'écrit :

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{1}p.$$

Vérifier, en justifiant avec les lois de conservation, que ${}^{A}_{Z}X$ est bien du carbone 14.

3. Décroissance du carbone 14

L'étude de l'évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs permet d'écrire :

$$\Delta N = - \lambda N \Delta t$$

où N est le nombre de noyaux à la date t et ΔN est la variation du nombre de noyaux pendant la durée Δt (entre t et t + Δt).
Cette relation conduit à la loi de décroissance radioactive $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$ dans laquelle N_0 est le nombre de noyaux à la date t = 0.

3.1 Dans l'expression de la loi de décroissance radioactive, comment se nomme λ ?

3.2 *D'après les travaux de Libby, la demi-vie ou période $t_{1/2}$ du carbone 14 est $t_{1/2}$ = 5730 ans.*

3.2.1 Donner la définition de la demi-vie ou période $t_{1/2}$ du carbone 14.

3.2.2 En utilisant la loi de décroissance radioactive et en s'aidant de la définition de la demi-vie demandée au 3.2.1, montrer que λ est liée à la demi-vie $t_{1/2}$ par la relation $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

3.2.3 Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de λ.

3.3 On rappelle que l'activité A d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations par seconde. À partir de cette définition, montrer que l'activité A à l'instant t et le nombre N de noyaux présents dans l'échantillon à l'instant t sont liés par la relation $A = \lambda N$.

3.4 En utilisant l'expression obtenue au *3.3*, calculer, en faisant apparaître l'application numérique, le nombre *N* d'atomes de carbone 14 dans 1 g de carbone tel que *A* = 13,5 désintégrations par minute pour ce gramme de carbone.

Données : $1\ an = 5{,}26\times10^{5}\ min = 60 \times 5{,}26\times10^{5}\ s$; $\frac{\ln 2}{5730} = 1{,}209\times10^{-4}$;

$\frac{5730}{\ln 2} = 8267$; $\frac{13{,}5\times5{,}26\times10^{5}}{1{,}209\times10^{-4}} = 5{,}88\times10^{10}$; $\frac{13{,}5\times5{,}26\times10^{5}}{8267} = 858{,}9$;

$\frac{5{,}26\times10^{5}}{8267\times13{,}5} = 4{,}713$; $13{,}5 \times 8267 \times 5{,}26 \times 10^{5} = 5{,}88 \times 10^{10}$.

4. Datation au carbone 14

La loi de décroissance radioactive concernant le carbone 14 peut également s'écrire en fonction de son activité : $A = A_0 \times e^{-\lambda t}$ avec $A_0 = A_{t=0}$ l'activité initiale du carbone 14 (par exemple au moment de la mort d'un organisme) et A l'activité du carbone 14 mesurée à l'instant t.

Le prélèvement d'une poutre (en bois) dans la tombe du vizir Hemada à Sakara fournit une activité au moment de la mesure telle que A = 6,68 désintégrations par minute et par gramme de carbone alors que A_0 = 13,5 désintégrations par minute et par gramme de carbone.

4.1 Démontrer que l'expression qui permet de donner l'âge *t* de la mort d'un organisme s'écrit : $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$ avec $t_{1/2} = 5730$ ans.

4.2 Calculer, en faisant apparaître l'application numérique, l'âge *t* de la tombe de ce vizir de la première dynastie des pharaons.

Données : $\frac{5730}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{6{,}68}{13{,}5}\right) = -5816$; $\frac{5730}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{13{,}5}{6{,}68}\right) = 5816$;

$\frac{\ln 2}{5730} \times \ln\left(\frac{6{,}68}{13{,}5}\right) = -8{,}511 \times 10^{-5}$; $\frac{\ln 2}{5730} \times \ln\left(\frac{13{,}5}{6{,}68}\right) = 8{,}511 \times 10^{-5}$.