

EXERCICE I. DÉCHETS RADIOACTIFS ET ENERGIE DE LIAISON (10 points)
Antilles 09/2008 & Amérique du Sud 06/2004 <http://labolycee.org>

Cet exercice traite dans les parties 1 & 2 des déchets radioactifs. Puis on aborde d'autres notions sur la radioactivité dans la partie 3. **Chaque partie est indépendante.**

Données :

Nombre d'Avogadro N_A	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Unité de masse atomique	$1 \text{ u} = 1,660 54 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Électronvolt	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
Mégaélectronvolt	$1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \text{ eV}$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Nom du noyau ou de la particule	Uranium (238)	Uranium (239)	Neptunium (239)	Plutonium (239)	Neutron	Proton	Électron
Symbole	${}^{238}_{92}\text{U}$	${}^{239}_{92}\text{U}$	${}^{239}_{93}\text{Np}$	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	${}_0^1\text{n}$	${}_1^1\text{p}$	${}^0_{-1}\text{e}$
Masse (en u)	238,050 79	239,054 29	239,052 94	239,052 16	1,008 66	1,007 83	0,000 55

1. Un déchet radioactif à vie courte dans le lait de vache

Le lait de vache contient du césium 137 dont l'activité est de l'ordre de 0,22 Bq pour un litre.

La demi-vie du césium 137 est égale à environ 30 ans.

On considère que la radioactivité du lait de vache est due uniquement à la présence de césium 137.

1.1. Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

1.2. Qu'est-ce qu'une particule α ? Donner sa représentation symbolique sous la forme ${}^A_Z\text{X}$.

1.3. Qu'est-ce qu'une particule β^- ? Qu'est-ce qu'une particule β^+ ?

1.4. Combien de désintégrations par seconde se produit-il dans un litre de lait ?

1.5. Donner la définition de la demi-vie d'un élément radioactif.

1.6. Donner la loi de décroissance radioactive.

1.7. À l'aide des réponses obtenues aux questions 1.5. et 1.6., démontrer la relation suivante :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \text{ où } \lambda \text{ représente la constante radioactive de l'élément radioactif considéré et } t_{1/2} \text{ sa demi-vie.}$$

1.8. En déduire la valeur de la constante radioactive du césium 137 en an^{-1} puis en s^{-1} .

1.9. Déterminer le nombre de noyaux radioactifs de césium 137 présents dans un litre de lait.

1.10. En déduire la concentration molaire volumique en césium 137 du lait de vache.

1.11. On prend comme origine des dates l'instant où on mesure l'activité d'un litre de lait de vache soit lorsque $A = 0,22 \text{ Bq}$. Au bout de combien de temps ne restera-t-il plus que 1% de cette activité ?

2. Les déchets radioactifs à vie longue

« Le plutonium, de numéro atomique 94, est radioactif. Sa demi-vie est égale à 24 000 ans. Il en existe donc peu à l'état naturel. En revanche, il s'en forme dans le cœur des réacteurs nucléaires, par une réaction en chaîne. Quand un noyau d'uranium 238 capture un neutron, il se transforme en uranium 239. (...) »

En libérant un électron, l'uranium 239 se transforme en neptunium 239. Cet élément libère à son tour un électron et donne ainsi naissance au plutonium 239 (^{239}Pu). »

D'après un article paru dans le magazine Science et Vie (Hors série n°225 de décembre 2003).

- 2.1. Écrire l'équation de réaction nucléaire correspondant à la capture d'un neutron par l'uranium 238 en énonçant les lois de conservation utilisées.
- 2.2. L'uranium 239 et le plutonium 239 sont-ils des isotopes ? Justifier.
- 2.3. Écrire l'équation de désintégration qui permet de passer de l'uranium 239 au neptunium 239 puis celle qui permet de passer du neptunium 239 au plutonium 239.
- 2.4. Calculer l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau d'uranium 239 en neptunium 239. Convertir le résultat en eV.
- 2.5. En déduire l'énergie libérée par 1,0 g d'uranium 239.

3. Energie de liaison.

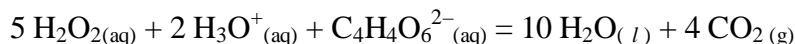
- 3.1. Définir l'énergie de liaison.
- 3.2. Etablir l'équation de désintégration d'un noyau d'uranium 238 en ses nucléons isolés.
- 3.3. Calculer l'énergie moyenne de liaison par nucléon d'un noyau d'uranium 238 en MeV/Nucléon

Le tableau suivant donne les énergies moyennes de liaison par nucléon de quelques noyaux :

	^4_2He	$^{56}_{26}\text{Fe}$	$^{238}_{92}\text{U}$
$\frac{E_l}{A}$ en MeV/nucléon	7,1	8,8	7,6

- 3.4. Parmi ces trois noyaux, lequel est le plus stable ? Justifier.
- 3.5. En utilisant la courbe d'Aston donnée en annexe, répondre aux questions suivantes :
 - 3.5.1. Comment évolue la stabilité d'un noyau quand son nombre de nucléons augmente ?
Distinguer trois domaines.
 - 3.5.2. Quels sont les deux types de réactions nucléaires qui permettent d'accéder au maximum de stabilité ? Préciser dans quel domaine.
- 3.6. Justifier pourquoi la synthèse des éléments chimiques au cœur des étoiles s'arrête à l'élément fer.

L'eau oxygénée est un antiseptique c'est à dire une substance qui, par oxydation, prévient l'infection des tissus vivants en détruisant les micro-organismes. Elle contient des molécules d'eau oxygénée, H_2O_2 , qui sont capables d'oxyder les ions tartrate de formule chimique, $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}$. L'équation chimique modélisant la réaction chimique qui a lieu entre ces deux entités chimiques est :



Dans tout l'exercice, elle sera considérée comme totale.

Afin de réaliser la transformation chimique correspondante, on mélange une solution d'eau oxygénée de concentration c_1 , de volume V_1 avec une solution de sel de Seignette contenant les ions tartrate de concentration c_2 et de volume V_2 , à la température de 20°C . Le mélange réactionnel est ensuite légèrement acidifié. On supposera que la transformation chimique a lieu à volume constant.

La durée de cette transformation chimique est de l'ordre de plusieurs semaines.

I. Etablir l'équation bilan

I.1. A partir de l'équation ci-dessus, retrouvez les couples oxydant/réducteur mis en jeu.

I.2. Etablir les deux demi-équations.

I.3. Montrer comment on retrouve à partir de ces deux demi-équations, l'équation-bilan.

II. Étude cinétique de la transformation chimique

II.1. Tableau descriptif de l'évolution du système chimique

II.1. a. On veut établir le tableau descriptif d'évolution du système chimique suivant avec $n_1 < 5 n_2$

Compléter le tableau donné en annexe.

II.1.b. Pourquoi le milieu doit-il être légèrement acidifié ?

II.1.c. Donner l'allure qualitative (aucun calcul n'est demandé) de la courbe représentant la concentration en eau oxygénée en fonction du temps. Justifier votre choix.

II. 2. Étude de la vitesse volumique de réaction

II.2.a. Définir la vitesse volumique v de la réaction en fonction de l'avancement x .

II.2. b. Donner l'expression de cette vitesse volumique, v , en fonction de la concentration en eau oxygénée $[\text{H}_2\text{O}_2]$

II.2. c. Comment cette vitesse évolue-t-elle au cours du temps ? Justifier graphiquement sans calcul. Pourquoi subit-elle une telle évolution ?

III Catalyse homogène

La réaction chimique précédente est extrêmement lente. Pour pouvoir réaliser l'oxydation des ions tartrate par l'eau oxygénée de façon instantanée, on peut la catalyser par les ions cobalt II, Co^{2+} qui donnent une couleur rosé aux solutions.

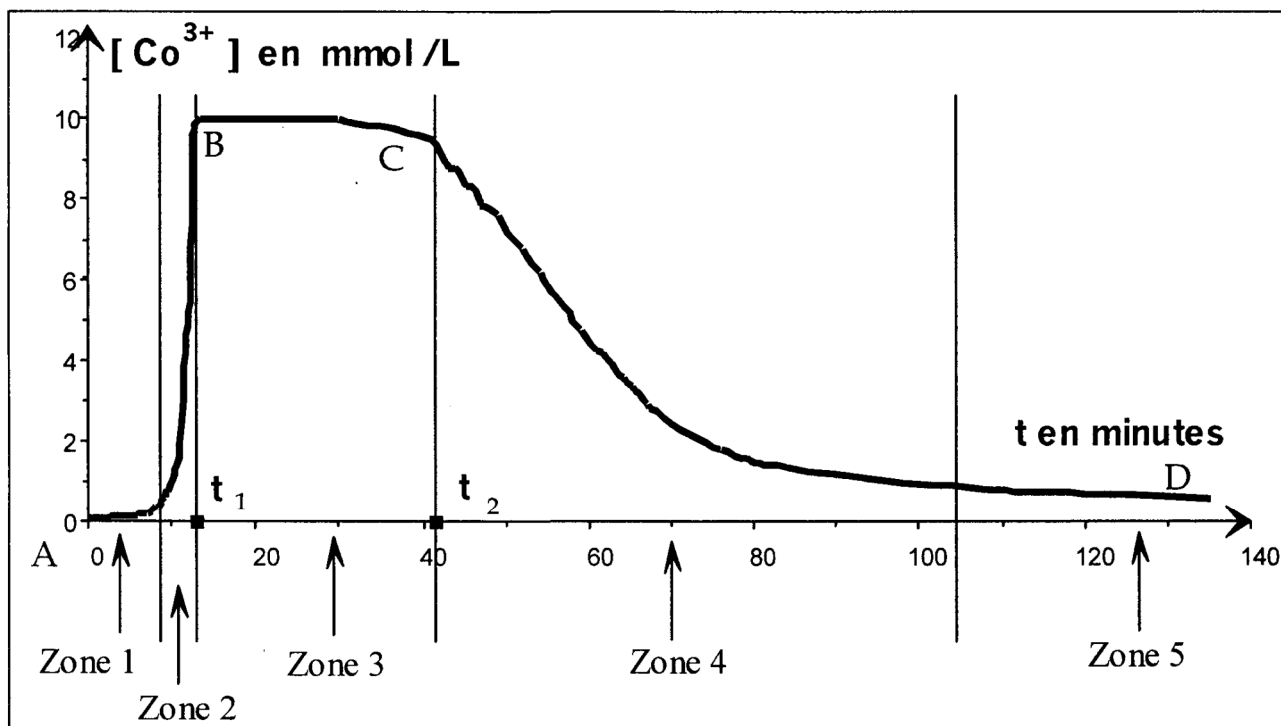
Ce catalyseur permet aux réactifs (molécule d'eau oxygénée et ion tartrate) de parvenir aux produits par un chemin énergétiquement moins exigeant. Ce chemin peut être modélisé par deux réactions chimiques rapides dont les équations sont :



En fait les ions cobalt II et cobalt III agissent sous forme d'un complexe tartrique non représenté ici.

Le mélange réactionnel étudié comporte 60 mL d'une solution de sel de Seignette (contenant les ions tartrate) à $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$, 10 mL d'une solution d'eau oxygénée à 11 mol.L^{-1} et 5,0 mL d'une solution de chlorure de cobalt II à $0,15 \text{ mol.L}^{-1}$.

L'évolution temporelle de la concentration en ions cobalt III, $\text{Co}^{3+}_{(\text{aq})}$ présents dans le mélange réactionnel précédent est représentée sur la courbe suivante :



Courbe 1 :

Donnée :

- Les ions cobalt III, Co^{3+} donnent une couleur verte aux solutions.

III.1. Étude de la courbe 1

III.1.a. Quelle est la méthode physique la plus adaptée pour le suivi temporel de la concentration en ions cobalt III $\text{Co}^{3+}_{(\text{aq})}$ présents dans le mélange réactionnel ? Justifier.

III.1.b. Dans les zones 2 et 4, le mélange réactionnel a une couleur verdâtre. Quelle est la couleur du mélange réactionnel dans les zones 1, 3 et 5 ? Justifier.

III.1.c. Parmi les réactions chimiques proposées (R_1 et R_2) quelle est celle qui a lieu dans la zone 2 ? Dans la zone 3 ? Dans la zone 4 ? Justifier vos choix.

III.2. Vitesse de réaction

Exposer succinctement la méthode permettant de déterminer la vitesse volumique de réaction,

v , à un instant t_3 ($t_3 > t_2$) à partir de la courbe 1, sachant que $v = -\frac{1}{10} \cdot \frac{d[\text{Co}^{3+}]}{dt}$ (la valeur de v n'est pas demandée)

III.3. Rôle du catalyseur

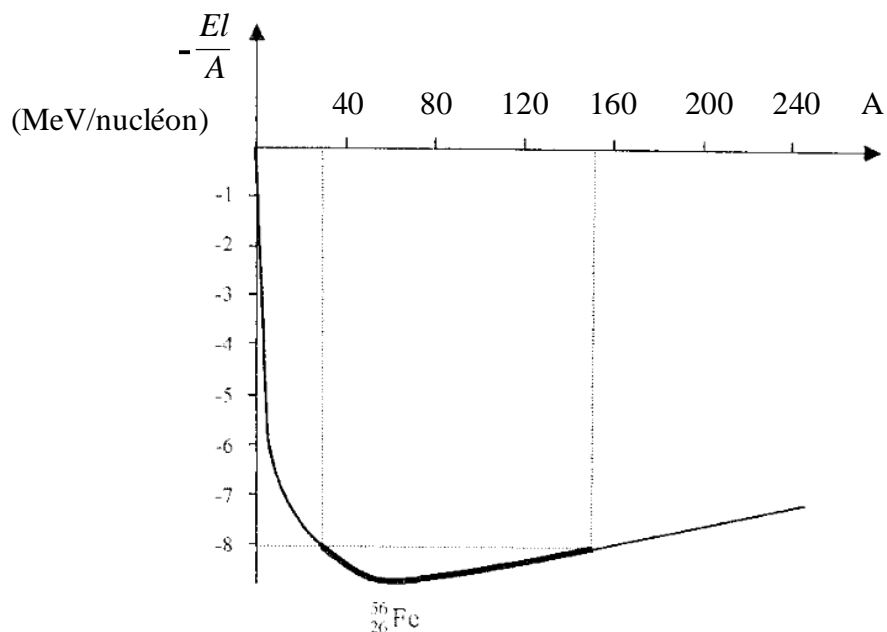
III.3.a. Une des propriétés du catalyseur est qu'il ne doit pas figurer dans l'équation chimique de la réaction d'oxydation des ions tartrate par l'eau oxygénée. Comment la courbe 1 met-elle en évidence cette propriété ?

III.3.b. La quantité de matière finale de dioxyde de carbone obtenu est-elle plus grande, plus petite, inchangée avec la présence du catalyseur ? Justifier.

III.3.c. Pourquoi peut-on parler de catalyse homogène ?

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE 1 – COURBE D'ASTON



ANNEXE DE L'EXERCICE 2 – TABLEAU D'AVANCEMENT

Equation chimique		$5 \text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})} + \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq}) + 2 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) = 10 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4 \text{CO}_2(\text{g})$				
	Avancement (mol)	Quantités de matière (en mol)				
<i>Etat initial</i>	0	n_1	n_2	excès	excès	0
Etat intermédiaire	x			excès	excès	
<i>Etat final</i>	$x_{\text{max}} = n_1$			excès	excès	