

# **BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**

**Session 2011**

**PHYSIQUE-CHIMIE**

**Série S**

**Enseignement Obligatoire**

**Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 6**

**L'usage des calculatrices est autorisé.**

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.**

**Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10**

**EXERCICE I : DEUX DÉTARTRANTS POUR CAFETIÈRES ÉLECTRIQUES (7 points)**

Deux produits différents peuvent être utilisés pour détartrer les cafetières électriques. Le premier, se présentant sous forme de poudre, est de l'acide citrique. Le mode d'emploi pour un détartrage est le suivant :

- Diluer complètement la poudre détartrante dans 1/2 litre.
- Verser la solution dans le réservoir d'eau et mettre en marche l'appareil.
- Après écoulement de la moitié de la solution, arrêter l'appareil et laisser agir trente minutes.
- Remettre en marche pour l'écoulement du reste de la solution.
- Effectuer 3 rinçages successifs à l'eau claire.

Le deuxième détartrant est une poudre à base d'acide sulfamique. Son mode d'emploi ne diffère de celui du premier que par le temps d'action, réduit à dix minutes.

Données :    masse molaire de l'acide citrique :  $M_1 = 192 \text{ g.mol}^{-1}$ .  
                   masse molaire de l'acide sulfamique :  $M_2 = 97,0 \text{ g.mol}^{-1}$ .

### 1. Fabrication de la solution détartrante n°1

- 1.1. L'utilisation du verbe « diluer » dans le mode d'emploi du détartrant est-elle pertinente ? Justifier.
- 1.2. La masse  $m_1$  d'acide citrique utilisée pour obtenir le volume  $V_1 = 0,50 \text{ L}$  de solution détartrante est égale à 20 g.  
 Calculer la concentration molaire  $c_1$  en acide citrique de la solution détartrante n°1.

### 2. Comportement des deux acides dans l'eau

On considère une solution d'acide citrique  $S_1$  et une solution d'acide sulfamique  $S_2$  de même concentration molaire en soluté apporté  $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  et de même volume  $V = 1,00 \text{ L}$ . À 25 °C, on mesure un pH de valeur 2,6 pour  $S_1$  et de valeur 2,0 pour  $S_2$ .

- 2.1. Réaction d'un acide avec l'eau :
  - 2.1.1. Définir un acide selon Brønsted.
  - 2.1.2. Écrire l'équation de la réaction d'un acide AH avec l'eau.
- 2.2. En utilisant un tableau d'avancement, établir l'expression du taux d'avancement final  $\tau$  de la réaction de l'acide AH avec l'eau en fonction du pH de la solution et de la concentration molaire  $c$ .

- 2.3. On note  $A_1H$  l'acide citrique et  $A_2H$  l'acide sulfamique. Calculer les taux d'avancement final, notés respectivement  $\tau_1$  et  $\tau_2$ , de chacune des réactions associées aux transformations donnant les solutions  $S_1$  et  $S_2$ . Commenter les résultats obtenus.

### 3. Étude du couple acide citrique / ion citrate

- 3.1. En conservant la même notation  $A_1H$  pour l'acide citrique, donner l'expression de la constante d'acidité  $K_{a1}$  du couple acide citrique / ion citrate.
- 3.2. À partir du tableau d'avancement, calculer la valeur de la constante  $K_{a1}$  du couple de l'acide citrique, puis celle de son  $pK_{a1}$ .
- 3.3. Quelle forme, acide ou basique, de l'acide citrique prédomine dans la solution  $S_1$  ? Justifier.

### 4. Titrage de l'acide sulfamique dans la solution détartrante n°2

Pour déterminer la masse d'acide sulfamique contenue dans la poudre du deuxième détartrant, on procède à un titrage pH-métrique.

Pour cela, on dissout une masse  $m = 1,00$  g de ce détartrant dans de l'eau déminéralisée pour obtenir une solution  $S$  de volume  $V = 100,0$  mL.

Une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, de formule  $(Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)})$  et de concentration  $c_B = 0,200$  mol.L<sup>-1</sup> permet de doser un volume  $V' = 20,0$  mL de la solution  $S$ .

Les résultats expérimentaux sont les suivants :

- Volume de solution d'hydroxyde de sodium versée à l'équivalence :  
 $V_{BE} = 9,8$  mL
- pH à l'équivalence :  $pH_E = 7,1$

- 4.1. En notant  $A_2H$  l'acide sulfamique, écrire l'équation de la réaction support du dosage.

- 4.2. Définir l'équivalence d'un titrage.

- 4.3. Détermination de la masse d'acide sulfamique contenue dans la poudre détartrante :

- 4.3.1. Établir l'expression littérale de la concentration  $c_A$  en acide sulfamique dissous en fonction de  $c_B$ ,  $V_{BE}$  et  $V'$ . Calculer  $c_A$ .
- 4.3.2. Déterminer la masse  $m_A$  d'acide sulfamique contenu dans  $m = 1,00$  g de détartrant.

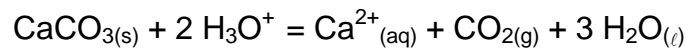
- 4.4. Un sachet de détartrant n°2 contient 20 g de poudre à diluer dans 0,50 L d'eau.

- 4.4.1. Dédire de ce qui précède, la masse  $m_2$  d'acide sulfamique contenue dans 20 g de poudre détartrante.

4.4.2. Calculer la concentration molaire  $c_2$  en acide sulfamique dans la solution ainsi préparée.

**5. Pourquoi des temps d'action différents pour les deux solutions détartrantes ?**

*Le tartre est du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_{3(s)}$ . La réaction chimique du carbonate de calcium avec les ions oxonium des solutions détartrantes peut être modélisée par l'équation suivante :*



- 5.1. Montrer que la concentration en ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  est plus grande dans la solution contenant de l'acide sulfamique que dans la solution d'acide citrique.
- 5.2. Quel argument permettrait de justifier la différence entre les temps d'action pour les deux détartrants ?

**EXERCICE II : L'ÉLÉMENT 117 S'AJOUTE AU TABLEAU PÉRIODIQUE**  
**(5 points)**

*Pour synthétiser l'élément chimique de numéro atomique 117, des physiciens ont projeté des noyaux de calcium sur une cible de berkélium.  
 Les textes encadrés s'inspirent d'un article paru dans le numéro 442 de juin 2010 du mensuel « La Recherche ».*

Données :

- Célérité de la lumière :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- L'électron-volt :  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$

On rappelle que la constante radioactive  $\lambda$  et le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  sont reliés par la relation :  $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ .

Éléments	berkélium	californium	ununpentium	ununhexium	ununseptium
Symbole	Bk	Cf	Uup	Uuh	Uus
Numéro atomique Z	97	98	115	116	117

Particule	électron	positon	neutron	proton
Symbole	${}^0_{-1}\text{e}$	${}^0_{+1}\text{e}$	${}^1_0\text{n}$	${}^1_1\text{p}$
Masse (u)	0,000 55	0,000 55	1,008 66	1,007 28

### 1. Étude du projectile : le noyau de calcium 48

*Pour optimiser la création de noyaux lourds, les physiciens [...] ont choisi pour projectile un faisceau de calcium 48, un isotope rare du calcium comprenant 20 protons et 28 neutrons.*

1.1. À quelles conditions dit-on que deux noyaux sont isotopes ?

1.2. La masse du noyau de calcium 48 est  $m_{\text{noyau}} = 47,941\,6 \text{ u}$ .

Exprimer son défaut de masse  $\Delta m$  en fonction de sa masse  $m_{\text{noyau}}$ , de celles  $m_p$  d'un proton et  $m_n$  d'un neutron, ainsi que de son numéro atomique Z et de son nombre de masse A. Calculer  $\Delta m$  en l'exprimant en unité de masse atomique u.

- 1.3. En déduire, en MeV, l'énergie de liaison  $E_l$  du noyau de calcium 48 puis son énergie de liaison par nucléon  $E_l/A$ .

## 2. Étude de la cible de berkélium 249

*La première étape de la synthèse de l'élément 117 a consisté en la fabrication du berkélium : un mélange de curium et d'américium a été irradié durant 250 jours par un intense flux de neutrons [...]. Il a fallu ensuite 90 jours pour séparer et purifier les 22 milligrammes de berkélium produits. [...] Ce précieux élément, déposé sur un film de titane, [...] a été soumis, 150 jours durant, au flux de calcium. « Il fallait faire vite, selon Hervé Savajols, chercheur au Grand Accélérateur national d'ions lourds (GANIL), car l'isotope du berkélium utilisé ayant une période de 320 jours, à la fin de l'expérience, il ne restait que 70% du berkélium initial ».*

- 2.1. On donne l'équation incomplète de la désintégration du noyau de berkélium 249 :



En précisant les lois de conservation utilisées, identifier la particule émise.  
De quel type de radioactivité s'agit-il ici ?

- 2.2. La période radioactive peut aussi être appelée temps de demi-vie, noté  $t_{1/2}$ . Définir le temps de demi-vie.

- 2.3. Décroissance radioactive de la cible :

2.3.1. Rappeler l'expression de la loi de décroissance radioactive, en faisant intervenir la constante radioactive  $\lambda$ . On note  $N_0$  le nombre initial de noyaux de berkélium et  $N$  le nombre de noyaux restants à la date  $t$ .

2.3.2. Exprimer le rapport  $\frac{N}{N_0}$  en fonction de la date  $t$  et de la demi-vie  $t_{1/2}$ .

2.3.3. Sachant que le bombardement de la cible de berkélium a duré 150 jours, vérifier l'affirmation : « À la fin de l'expérience, il ne restait que 70% du berkélium initial ».

- 2.4. Activité de la source de berkélium de masse égale à 22 mg :

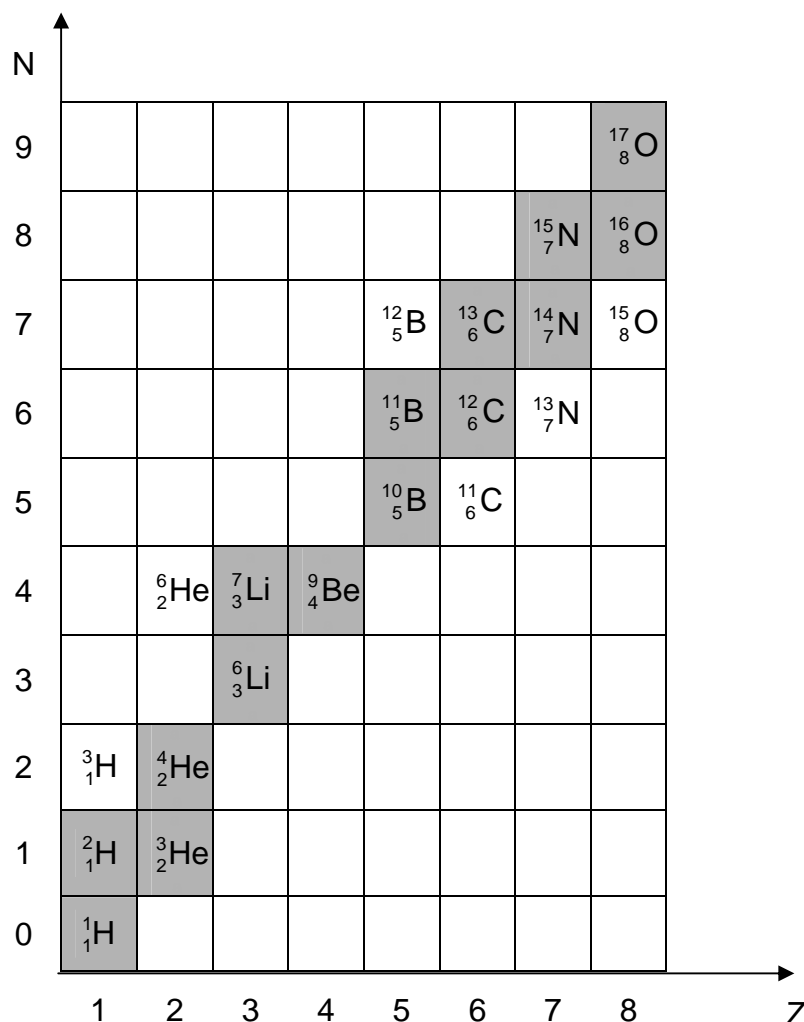
2.4.1. Déterminer le nombre initial  $N_0$  de noyaux de berkélium 249 dans l'échantillon produit sachant que la masse d'un atome de berkélium 249 est  $m_{\text{atome}} = 4,136 \times 10^{-25}$  kg.

2.4.2. Exprimer l'activité initiale  $A_0$  de l'échantillon de berkélium 249 en fonction de  $N_0$  et  $t_{1/2}$ . La calculer en becquerel.

## 3. Stabilité des noyaux

*Six noyaux de l'élément 117 ont été produits. Ces noyaux se sont désintégrés après une fraction de seconde en noyaux plus légers en émettant des particules  $\alpha$  (noyaux d'hélium), ce qui a permis de mesurer les périodes de cet élément lourd.*

- 3.1. Écrire l'équation de la désintégration d'un noyau d'ununseptium 293, de symbole  $^{293}_{117}\text{Uus}$ . Le noyau fils obtenu lors de cette transformation n'est pas dans un état excité.
- 3.2. On se propose d'étudier la stabilité des noyaux les plus légers, celle des noyaux les plus lourds n'étant que très relative. On fournit ci-dessous un fragment du diagramme (N, Z) présentant quelques noyaux parmi les plus légers.
- 3.2.1. Quel type de désintégration n'a pas été encore évoqué dans cet exercice ?
- 3.2.2. Dans le fragment de diagramme (N, Z) ci-dessous, les noyaux stables sont représentés dans une case grise. Choisir un noyau instable concerné par le type de désintégration évoqué dans la question 3.2.1. et écrire l'équation correspondante. On supposera que le noyau fils obtenu n'est pas dans un état excité.



### EXERCICE III : SUIVEZ LA FLÈCHE... (4 points)

Les deux textes encadrés s'inspirent d'extraits tirés du livre « Le monde a ses raisons » de Jean-Michel Courty et Edouard Kierlik.

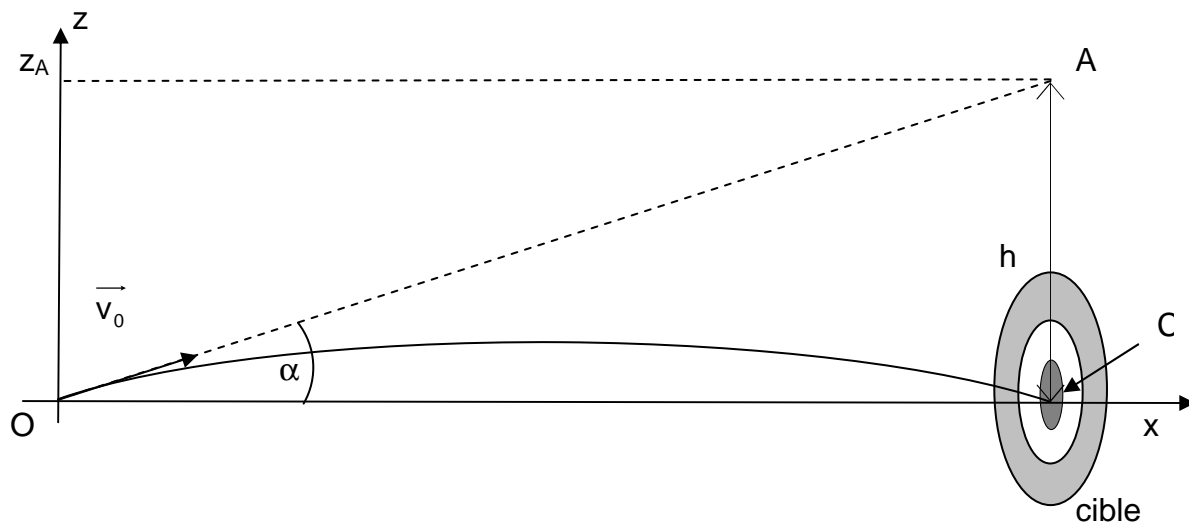
#### 1. Trajectoire de la flèche :

Sur les cibles de tir à l'arc se trouve un disque central de 10 cm de diamètre. À 70 m, l'archer le voit sous un angle de moins d'un dixième de degré, et doit ajuster la position de la corde et de ses mains au millimètre près [...]. Dans quelle direction la flèche doit-elle partir pour parvenir au centre de la cible ? La résistance de l'air a ici relativement peu d'effet. La trajectoire de la flèche est à peu près balistique, c'est-à-dire de forme parabolique.

On étudie dans le référentiel terrestre supposé galiléen le mouvement de la flèche assimilée à un point matériel de masse notée  $m$ .

La situation est représentée sur la figure ci-dessous, sans souci d'échelle.

Le champ de pesanteur  $\vec{g}$  est parallèle à l'axe (Oz). On prendra  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .



- 1.1. Quelle force peut-on négliger d'après le texte introductif ?
- 1.2. La poussée d'Archimède étant elle aussi ici négligeable, établir l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}$  de la flèche à partir du bilan des forces s'exerçant sur celle-ci.



- 1.3. On note  $\alpha$  l'angle que fait le vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  de la flèche avec l'axe horizontal (Ox). Les équations horaires paramétriques du mouvement du centre d'inertie sont :

$$x(t) = (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t \quad (1)$$

$$z(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t \quad (2)$$

- 1.3.1. Montrer que l'équation de la trajectoire de la flèche est la suivante :

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

- 1.3.2. Justifier la forme de la trajectoire indiquée à la fin du premier texte.

## 2. « Chute » de la flèche :

*Pour une vitesse initiale typique de 70 m/s (250 km/h), le vol dure environ une seconde. Au moment de toucher la cible, la flèche a chuté d'une certaine distance par rapport au point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale. Cette distance de chute, notée  $h$  sur la figure, est égale à la moitié du produit de l'accélération de la pesanteur par le carré de la durée du vol ( $gt^2/2$ ). Dans notre exemple, la « chute » est d'environ cinq mètres, d'où l'on déduit que la vitesse initiale de la flèche doit faire un angle de quatre degrés avec la droite joignant le tireur et le centre du blason.*

On note A le point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale (voir figure).

- 2.1. Durée du trajet de la flèche :

Soit  $t_C$  la date à laquelle la flèche atteint la cible. Cette date est égale à la durée du vol de la flèche.

- 2.1.1. En utilisant l'équation horaire paramétrique (1), exprimer  $t_C$  en fonction de  $v_0$ ,  $\alpha$  et  $x_C$ , abscisse du point C, centre de la cible.

- 2.1.2. Vérifier à l'aide d'un calcul la cohérence des valeurs numériques données dans les deux textes encadrés précédents.

- 2.2. « Distance de chute » :

- 2.2.1. Quelle hypothèse peut-on faire pour considérer que la flèche atteint le point A en gardant les mêmes conditions initiales de tir ? Préciser alors, en justifiant, la nature du mouvement de la flèche.

- 2.2.2. On peut considérer que la durée du trajet hypothétique OA de la flèche et la durée  $t_C$  du parcours parabolique OC sont identiques.

Exprimer dans ces conditions la « distance de chute »  $h$  en fonction de  $v_0$ ,  $t_C$  et  $\alpha$ .

- 2.2.3. En utilisant l'équation horaire paramétrique (2), retrouver alors que la « distance de chute »  $h$ , pour un tir réalisé dans les conditions réelles, est égale à «  $gt^2/2$  », comme indiqué dans le texte ci-dessus.

### 3. Influence de la valeur de la vitesse initiale sur le tir

*On suppose que l'archer vise toujours juste : l'angle  $\alpha$  est constant et égal à  $4^\circ$ . On envisage une augmentation de la vitesse initiale  $v_0$ , cette dernière restant cependant suffisamment faible pour permettre à la flèche de toucher la cible.*

3.1. Comment évoluent la durée du vol de la flèche et la « distance de chute »  $h$ .

3.2. Dans ces conditions, où la flèche va-t-elle frapper la cible ?