BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2007

SUJET SORTI

spécialité

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **8**

L'usage des calculatrices N'EST PAS autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Les données sont en italique.

Ce sujet comporte un exercice de PHYSIQUE-CHIMIE, un exercice de PHYSIQUE et un exercice de CHIMIE présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

I

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

I. La galiote (7 points)
II. Découvertes liées à des éclipses de Soleil (5 points)
III. Synthèse d'un conservateur (4 points)

EXERCICE I. LA GALIOTE (7 points)

La galiote était un navire de guerre qui fit son apparition à la fin du XVII^{ème} siècle, sous le règne de Louis XIV. Les galiotes possédaient de lourds canons, fixés au pont, projetant des boulets de 200 livres (environ 100 kg) portant jusqu'à 1200 toises (environ 2400 m).
Selon la description détaillée de Renau, Inspecteur Général de la Marine, ces bâtiments sont destinés à emporter des canons en mer. Ils sont de moyenne grandeur et à fond plat. De par leur fabrication, l'angle de tir des canons est fixe et a pour valeur α = 45°, ce qui permet de tirer à la plus grande distance possible.
La structure d'une galiote doit être très robuste pour résister à la réaction considérable du boulet et leur échantillon[(1)] est ordinairement aussi fort que celui d'un vaisseau de 50 canons.

[(1)] dimension et épaisseur des pièces utilisées pour la construction.

D'après le site Internet de l'Institut de Stratégie Comparée.

Les parties 1, 2 et 3 de cet exercice sont indépendantes.
Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

1. Action de la poudre de canon sur le boulet

L'éjection du boulet est provoquée par la combustion de la poudre. Une force de poussée est donc exercée sur le boulet par l'ensemble {galiote + canon + gaz}.
Justifier l'expression soulignée dans le texte encadré ci-dessus, à l'aide d'une des trois lois de Newton. Énoncer cette loi. (On pourra s'aider d'un schéma).

2. La trajectoire du boulet

On souhaite étudier la trajectoire du centre d'inertie G du boulet de masse m. L'étude est faite dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen. Le repère d'étude est (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) et l'origine des dates est choisie à l'instant où le boulet part du point O (voir ***figure 1*** *ci-dessous).*
Le vecteur vitesse initiale $\vec{v_0}$ du point G est incliné d'un angle α (appelé angle de tir) par rapport à l'horizontale. ***Une fois le boulet lancé, la force de poussée de la partie précédente n'intervient plus.***

Données :
Volume du boulet : V = 16 dm^3 = 16 L
Masse du boulet : m = 100 kg
Valeur du champ de pesanteur : g = 10 m.s^{-2}
Masse volumique de l'air : ρ = 1,3 kg.m^{-3}

Aide au calcul		
$1,6 \times 1,3 = 2,1$	$\sqrt{2,4} \approx 1,5$	
$\frac{1,6}{1,3} = 1,2$	$\frac{1,3}{1,6} = 0,81$	$\sqrt{24} \approx 4,9$

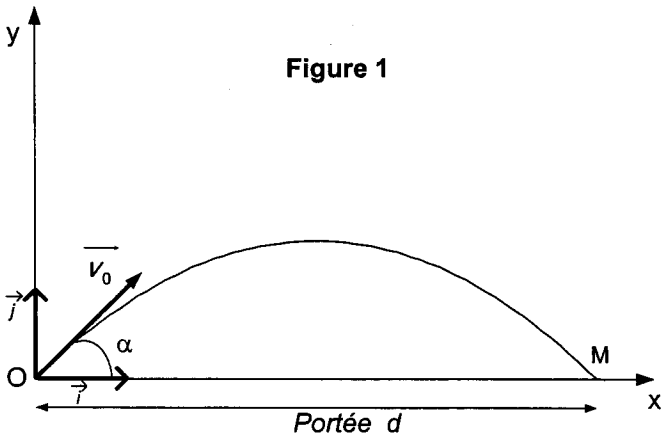


Figure 1

2.1. Inventaire des forces agissant sur le boulet après son lancement

2.1.1. La poussée d'Archimède
Donner l'expression littérale de la valeur F_A de la poussée d'Archimède puis la calculer.

2.1.2. Le poids
Calculer la valeur *P* du poids du boulet après avoir précisé son expression littérale.

2.1.3. *Dans cet exercice, on pourra négliger la poussée d'Archimède devant le poids si la valeur de ce dernier est au moins cent fois plus grande que celle de la poussée d'Archimède.*
Montrer que l'on est dans cette situation.

2.1.4. *Pendant le vol, compte tenu de la masse, de la vitesse et de la forme du boulet, on fait l'hypothèse que les forces de frottement dans l'air sont négligeables devant le poids.*
En tenant compte de la remarque et des résultats précédents, établir le bilan des forces exercées sur le système {boulet} pendant le vol.

2.2. Équation de la trajectoire

Dans toute cette partie, on négligera la poussée d'Archimède et on ne tiendra pas compte des forces de frottement dues à l'air.

2.2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que les équations horaires du mouvement du point G s'écrivent :

$$\ddot{x}(t) = (v_0.\cos\alpha).t$$

$$\text{et } y(t) = -\frac{1}{2}g.t^2 + (v_0.\sin\alpha).t$$

2.2.2. Montrer que l'équation de la trajectoire peut se mettre sous la forme $y(x) = Ax^2 + Bx$. On donnera les expressions littérales de A et B et on précisera leurs unités respectives.

2.3. Portée du tir

L'équation de la trajectoire du boulet peut se mettre sous la forme $y(x) = x \cdot (Ax + B)$.

*Au cours d'un tir d'entraînement, un boulet tombe dans l'eau. Dans ces conditions, la distance entre le point de départ du boulet et son point M d'impact sur l'eau est appelée portée (voir **figure 1 page 2**).*

On négligera la différence d'altitude entre les points O et M devant les autres distances.

2.3.1. Exprimer la portée *d* du tir en fonction de A et B.

2.3.2. *L'expression littérale de la portée d en fonction de v_0, α et g est :* $d = \frac{v_0^2.\sin 2\alpha}{g}$.

Retrouver, en la justifiant, la valeur $\alpha = 45°$ donnée dans le texte, pour laquelle la portée est maximale, pour une vitesse v_0 donnée.

2.3.3. À partir de la question précédente et des données, calculer la vitesse initiale du boulet pour atteindre la portée maximale donnée dans le texte.

2.3.4. *En fait, les frottements dans l'air ne sont pas négligeables.*

Avec un angle de tir restant égal à 45°, la vitesse initiale du boulet doit-elle être supérieure ou inférieure à celle trouvée à la question 2.3.3. pour obtenir la même portée maximale ? Justifier sans calcul.

3. Restauration d'un boulet par électrolyse

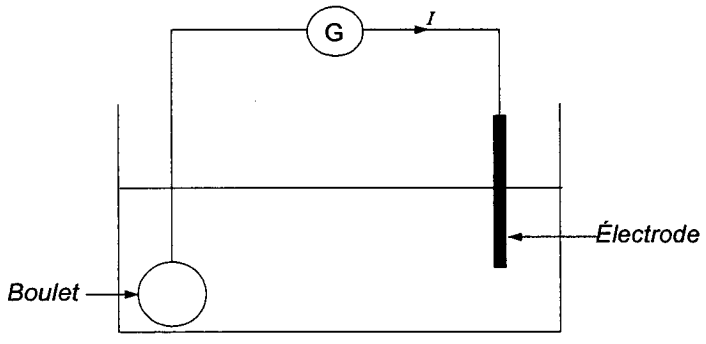
Un boulet est retrouvé par un archéologue, qui le restaure par électrolyse en solution basique. Ce procédé a pour but, notamment :

- d'éliminer la gangue (substance qui forme une enveloppe autour d'une autre matière) qui entoure le boulet ;

- de débarrasser l'objet de tous les ions chlorure qui, au contact de l'humidité de l'air et du dioxygène amènent à la formation d'acide chlorhydrique conduisant à la destruction rapide du boulet. Ces ions chlorure sont également présents dans la gangue.

Le schéma de principe de l'électrolyse est le suivant :

G : *générateur de tension continue*



La lente destruction de la gangue libère dans l'électrolyte les ions chlorure qu'elle contenait.

L'équation de la réaction modélisant l'électrolyse est :

$$2\ Cl^-\ (aq) + 2\ H_2O\ (\ell) = Cl_2\ (g) + H_2\ (g) + 2\ HO^-\ (aq)$$

Les couples d'oxydoréduction mis en jeu sont : $Cl_2\ (g) / Cl^-\ (aq)$ et $H_2O\ (\ell) / H_2\ (g)$

3.1. La réaction se produisant à l'anode est-elle une oxydation ou une réduction ?

3.2. Écrire l'équation de la réaction ayant lieu à l'anode. À quelle borne du générateur est reliée cette électrode ?

3.3. *À l'une des électrodes, on observe un dégagement de dihydrogène. L'équation de la réaction électrochimique associée est :*

$$2\ H_2O\ (\ell) + 2\ e^- = H_2\ (g) + 2\ HO^-\ (aq) \quad (1)$$

La pression exercée par le dihydrogène permet de décoller la gangue. L'élimination de la gangue se fait sous une intensité I constante et pendant une durée Δt qui dépendent, entre autres, de la nature de l'objet et de son état de corrosion.

Données :

Charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C — *Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}0 \times 10^{23}\ mol^{-1}$*

Intensité du courant : $I = 1{,}0$ A — *Durée de l'électrolyse : $\Delta t = 530$ heures*

Aide au calcul			
$5{,}3 \times 3{,}6 \approx 19$	$2 \times 1{,}6 \times 6 \approx 19$	$\frac{5{,}3}{3{,}6} = 1{,}5$	$\frac{2 \times 6}{1{,}6} = 7{,}5$

On note Q la valeur absolue de la charge électrique totale ayant circulé dans le dispositif pendant la durée Δt de l'électrolyse.

3.3.1. Donner l'expression littérale du nombre N d'électrons transférés et celle de la quantité d'électrons $n(e^-)$ en fonction des grandeurs données.

3.3.2. *Pour simplifier, on fait l'hypothèse que la réaction correspondant à l'équation (1) est la seule à se produire au niveau de l'électrode concernée.*

En s'aidant éventuellement d'un tableau d'avancement, établir une relation entre la quantité $n(H_2)$ de dihydrogène dégagé et la quantité d'électrons $n(e^-)$ et en déduire que $n(H_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{I.\Delta t}{e.N_A}$.

3.3.3. Calculer la valeur de $n(H_2)$.

3.3.4. En déduire quel serait le volume de dihydrogène dégagé dans les conditions de l'expérience. *On donne le volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience : $V_M = 24\ L.\ mol^{-1}$.*

EXERCICE II : DÉCOUVERTES LIÉES À DES ÉCLIPSES DE SOLEIL (5 points)

Cet exercice se compose de <u>deux parties indépendantes.</u>
Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

A. Partition lunaire

Des chercheurs du CEA de l'équipe d'Elisabeth Blanc viennent d'annoncer qu'une éclipse n'a pas pour seul effet une baisse de la luminosité. Lors de l'éclipse du Soleil du 11 août 1999, à 12 h 16 précises, l'ombre de la Lune commence sa traversée de la France à la vitesse de 2850 km.h^{-1} sur un axe Cherbourg-Strasbourg. Sur son passage, la température de l'air chute rapidement d'environ 5 °C. Le déplacement de cette zone froide, à la même vitesse que celui de l'ombre (...), engendre dans son sillage des ondes transversales dont la fréquence est largement inférieure à 20 Hz.

D'après la revue Les Défis du CEA - n° 97 octobre-novembre 2003

1. Ondes créées lors de l'éclipse

1.1. Définir une onde mécanique progressive.

1.2. Définir une onde transversale.

1.3. Dire, en justifiant la réponse, si les ondes créées lors de l'éclipse peuvent être sonores.

2. Caractéristiques des ondes créées

L'équipe en charge du projet a pu détecter à faible altitude, une série d'ondes dont la période moyenne est de l'ordre de 10 minutes et la célérité moyenne est de l'ordre de 100 km.h^{-1}.

2.1. Vérifier que la fréquence de l'onde est effectivement largement inférieure à 20 Hz.

2.2. Ces ondes peuvent-elles être diffractées par des montagnes séparées par une distance de 10 km ? Justifier la réponse.

Aide au calcul	
$\frac{1}{6} = 1{,}7 \times 10^{-1}$	$\frac{1}{36} = 2{,}8 \times 10^{-2}$

B. Découverte historique d'un nouvel élément chimique

Lors de l'éclipse totale du Soleil du 18 août 1868, le français Pierre Janssen et le britannique Norman Lockyer ont analysé le spectre de la couronne solaire et ont remarqué qu'il présentait une raie brillante dans le jaune très proche de celle du sodium. N. Lockyer a émis l'hypothèse que cette raie était due à un nouvel élément qu'il baptisa hélium (du grec hélios qui signifie Soleil). Ce n'est que vingt-sept ans plus tard que cet élément chimique fut identifié sur Terre.

Données :

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2{,}998 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$

Constante de Planck : $h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ J.s$

$1\ eV = 1{,}602 \times 10^{-19}\ J$

Longueur d'onde de la raie D du sodium dans le vide : $\lambda_{Na} = 589{,}0\ nm.$

Longueur d'onde de la raie jaune de l'hélium dans le vide : $\lambda_{He} = 587{,}6\ nm.$

Aide au calcul	
$\frac{6{,}626 \times 2{,}998 \times 1{,}602}{589{,}0} = 5{,}403 \times 10^{-2}$	$\frac{6{,}626 \times 2{,}998}{587{,}6 \times 1{,}602} = 2{,}110 \times 10^{-2}$
$\frac{6{,}626 \times 2{,}998}{589{,}0 \times 1{,}602} = 2{,}105 \times 10^{-2}$	$\frac{6{,}626 \times 2{,}998 \times 1{,}602}{587{,}6} = 5{,}416 \times 10^{-2}$

1. Spectre d'énergie

1.1. Illustrer, en s'aidant d'un schéma de niveaux d'énergie d'un atome, le phénomène d'émission d'un photon (quantum d'énergie lumineuse).

1.2. *On note E l'énergie du photon émis lors d'une transition énergétique d'un atome.*

Donner l'expression littérale de E en fonction de la longueur d'onde λ de la radiation lumineuse émise dans le vide, de la constante de Planck h et de la célérité de la lumière dans le vide c.

1.3. *Raie D du sodium*

1.3.1. Calculer la valeur de E en électronvolts, pour le rayonnement correspondant à la raie D du sodium.

1.3.2. Déterminer, en s'aidant de la **figure 2 page 7**, à quelle transition correspond cette émission.

1.4. *L'énergie du photon correspondant à l'émission de la raie jaune de l'hélium (de longueur d'onde λ_{He}) est égale à 2,110 eV.* En s'aidant de la **figure 2 page 7**, justifier que cette émission ne peut pas être attribuée au sodium.

2. Formation de l'hélium dans le Soleil

Les noyaux d'hélium 3 et d'hélium 4 peuvent être produits par une suite de réactions nucléaires dont les équations sont indiquées ci-dessous :

$$\begin{aligned} {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H &\rightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{1}e \\ {}^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H &\rightarrow {}^{3}_{2}He \\ {}^{3}_{2}He + {}^{x}_{2}He &\rightarrow {}^{4}_{2}He + y\,{}^{1}_{1}H \end{aligned}$$

2.1. Quel nom donne-t-on à ces réactions nucléaires ?

2.2. Parmi les noyaux ${}^{3}_{2}He$, ${}^{3}_{1}H$ et ${}^{4}_{2}He$, lesquels sont isotopes ? Justifier.

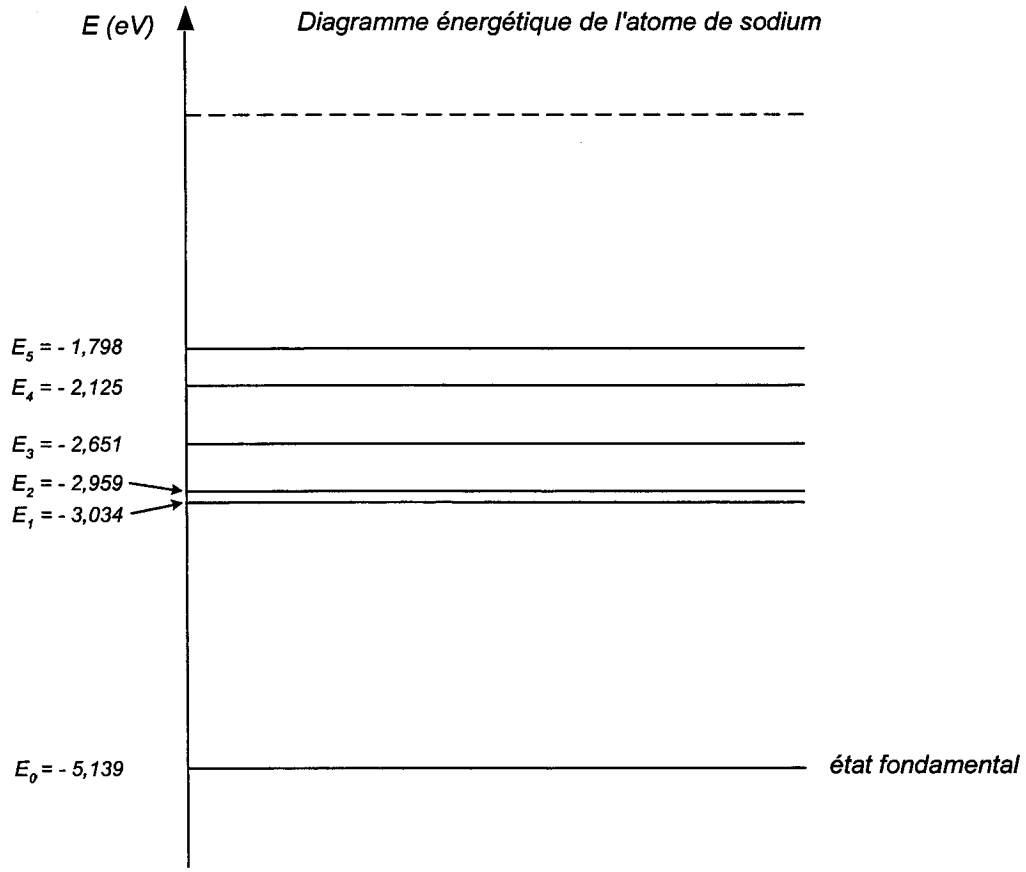
2.3. Déterminer les valeurs de x et y dans la troisième équation de réaction et justifier la réponse en précisant les lois de conservation utilisées.

2.4. *On étudie dans la couronne solaire les spectres d'émission des atomes d'hélium 3 et d'hélium 4. On rappelle qu'un spectre atomique caractérise la configuration électronique de l'atome (c'est-à-dire le nuage d'électrons de l'atome).*

2.4.1. Ces deux types d'atomes possèdent-ils la même configuration électronique ? Justifier.

2.4.2. Ces deux atomes auraient-ils pu être distingués l'un de l'autre expérimentalement dans le spectre obtenu par Pierre Janssen et Norman Lockyer ?

Figure 2



EXERCICE III. SYNTHÈSE D'UN CONSERVATEUR (4 points)

L'acide benzoïque est un conservateur présent dans de nombreuses boissons sans alcool. Son code européen est E 210. Il peut être préparé par synthèse en laboratoire.
Principe de cette synthèse : *l'oxydation,* ***en milieu basique*** *et à chaud de l'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ par les ions permanganate MnO_4^- en excès, conduit à la formation d'ions benzoate $C_6H_5CO_2^-$ et de dioxyde de manganèse MnO_2 (solide brun).* ***Cette transformation est totale.***
Après réduction, par l'éthanol, des ions permanganate MnO_4^- excédentaires et élimination du dioxyde de manganèse MnO_2, on obtient une solution incolore contenant les ions benzoate.
L'addition d'acide chlorhydrique à cette solution permet la cristallisation de l'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ (solide blanc), que l'on recueille après filtration, lavage et séchage.

Certaines aides au calcul comportent des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

1. Questions relatives au protocole expérimental

1.1. Donner, sans justifier, le nom des parties manquantes (verrerie, nom de montage...), notées de ❶ à ❸ dans le texte de l'encadré ci-dessous décrivant le protocole expérimental.

1/ Formation de l'acide benzoïque :

Après avoir versé dans un ballon bicol posé sur un valet et sous la hotte un volume V_1 = 2,0 mL d'alcool benzylique puis bouché l'ensemble, on ajoute environ 20 mL de soude de concentration 2 mol.L^{-1} à l'aide d' ❶. On introduit ensuite quelques grains de pierre ponce dans le ballon pour réguler l'ébullition lors du chauffage.

On réalise alors ❷, permettant de chauffer le mélange sans perte de matière ni surpression.

Après avoir versé lentement une solution aqueuse de permanganate de potassium dans le ballon, on porte le mélange à ébullition douce pendant 10 minutes environ. On ajoute quelques millilitres d'éthanol afin d'éliminer le réactif en excès, puis on refroidit le ballon et son mélange.

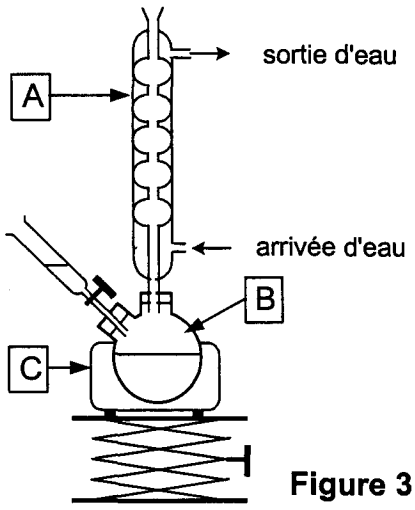


Figure 3

2/ Cristallisation de l'acide benzoïque :

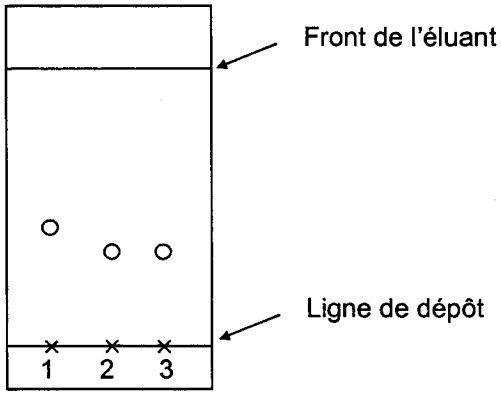
On filtre le mélange obtenu, rapidement, en utilisant ❸ et on recueille un filtrat limpide et incolore. Le filtrat est ensuite versé dans un becher et refroidi dans la glace.

On ajoute prudemment 8,0 mL d'acide chlorhydrique concentré goutte à goutte et on observe la formation du précipité blanc d'acide benzoïque. On filtre et on rince avec un peu d'eau bien froide.

On récupère les cristaux d'acide benzoïque sur une coupelle préalablement pesée dont la masse est m = 140,4 g.
On les sèche dans une étuve, puis on pèse l'ensemble et on trouve une masse m' = 141,8 g.

1.2. Nommer sur la copie les éléments du montage de la **figure 3** ci-dessus repérés par les lettres A, B et C.
1.3. *Afin de caractériser le produit formé, on réalise une chromatographie sur couche mince.*
Dans trois tubes à essais, on verse 1 mL d'éluant E ; dans le tube 1 on ajoute une goutte d'alcool benzylique, dans le tube 2 une pointe de spatule du solide obtenu et dans le tube 3 une pointe de spatule d'acide benzoïque pur.

On réalise une chromatographie sur couche mince à partir du contenu des trois tubes et l'éluant E puis on révèle le chromatogramme sous rayonnement UV.



Interpréter le chromatogramme réalisé lors de la synthèse et conclure quant à la nature du solide obtenu.

2. Rendement de la synthèse

Répondre, dans cette seconde partie, en choisissant la bonne réponse. Justifier clairement ce choix (définition, expression littérale et application numérique, tableau d'avancement ...).
Une réponse non justifiée ne sera pas prise en compte.

Données :

Nom	***Alcool benzylique***	***Permanganate de potassium***	***Acide benzoïque***
Formule	$C_6H_5CH_2OH$	$KMnO_4$	$C_6H_5CO_2H$
Masse molaire en g.mol^{-1}	$M_1 = 108$	$M_2 = 158$	$M_3 = 122$
Masse volumique en g.mL^{-1}	$\rho_1 = 1,0$		$\rho_3 = 1,3$

2.1. *L'oxydation se fait en milieu basique. L'équation chimique de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre l'alcool benzylique et les ions permanganate s'écrit :*

$$3\ C_6H_5CH_2OH\ (\ell) + 4\ MnO_4^-(aq) = 3\ C_6H_5CO_2^-(aq) + 4\ H_2O\ (\ell) + 4\ MnO_2(s) + HO^-(aq)$$

Les couples oxydant / réducteur mis en jeu lors de la synthèse de l'acide benzoïque sont les suivants :
$C_6H_5CO_2^-(aq)$ / $C_6H_5CH_2OH\ (\ell)$ *et* $MnO_4^-(aq)$ / $MnO_2(s)$.

Choisir les deux demi-équations électroniques associées à la transformation décrite ci-dessus.

a) $C_6H_5CO_2^-(aq) + 4\ e^- + 4\ H_2O\ (\ell) = C_6H_5CH_2OH\ (\ell) + 5\ HO^-(aq)$

b) $C_6H_5CO_2^-(aq) + 4\ e^- + 5\ H^+(aq) = C_6H_5CH_2OH\ (\ell) + H_2O\ (\ell)$

c) $MnO_4^-(aq) + 8\ H^+(aq) + 5\ e^- = Mn^{2+}(aq) + 4\ H_2O\ (\ell)$

d) $MnO_4^-(aq) + 3\ e^- + 2\ H_2O\ (\ell) = MnO_2(s) + 4\ HO^-(aq)$

e) $MnO_4^-(aq) + 3\ e^- + 4\ H^+(aq) = MnO_2(s) + 2\ H_2O\ (\ell)$

2.2. La quantité n_1 d'alcool benzylique contenue dans la prise d'essai de 2,0 mL vaut :

a) $n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}$ mol ;
b) $n_1 = 5{,}4 \times 10^{-2}$ mol ;
c) $n_1 = 1{,}9 \times 10^{-5}$ mol.

Aide au calcul		
$\frac{2,0}{108} = 1,9 \times 10^{-2}$	$\frac{108}{2,0} = 54$	$\frac{2,0 \times 10^{-3}}{108} = 1,9 \times 10^{-5}$

Pour toute la suite, on précise que la quantité d'ions permanganate apportée vaut $n_2 = 3{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

2.3. *Lors de l'oxydation de l'alcool benzylique, les ions permanganate doivent être introduits en excès.*
Choisir la bonne proposition (on pourra s'aider d'un tableau d'évolution du système).

a) Les ions permanganate ont été introduits en excès.
b) Les ions permanganate n'ont pas été introduits en excès.

Aide au calcul	
$\frac{1,9}{3} = 0,63$	$1,9 \times 3 = 5,7$

2.4. *Lors de la cristallisation, le passage des ions benzoate à l'acide benzoïque se fait selon l'équation chimique :* $C_6H_5CO_2^-\ (aq) + H_3O^+ = C_6H_5CO_2H\ (s) + H_2O\ (\ell)$

La masse théorique <u>maximale</u> m_{max} d'acide benzoïque qu'il aurait été possible d'obtenir vaut :

a) $m_{max} = 1{,}6 \times 10^{-2}$ g ;
b) $m_{max} = 6{,}6$ g ;
c) $m_{max} = 2{,}3$ g.

Aide au calcul		
$\frac{1,9}{122} = 1,6 \times 10^{-2}$	$5,4 \times 122 = 6,6 \times 10^2$	$1,9 \times 122 = 2,3 \times 10^2$

2.5. Le rendement r de la synthèse effectuée vaut :

a) $r = 21$ % ;
b) $r = 61$ % ;
c) $r = 88$ %.

Aide au calcul		
$\frac{1,4}{6,6} = 0,21$	$\frac{1,4}{2,3} = 0,61$	$\frac{1,4}{1,6} = 0,88$