Correction du devoir de Physique-Chimie
TS

Durée : 3 h 30 min — Date : vendredi 3 février 2017

M. MORIN

I. L'acide benzoïque. (8 points).

1. Synthèse de l'acide benzoïque.

1.1. Introduction des deux réactifs.

n(benzonitrile) $= \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{m}$

n(benzonitrile) $= \frac{1{,}01 \times 2{,}0}{103{,}04} = 2{,}0\times10^{-2}$ mol

$n(HO^-)$= c.V $= \frac{C_m \cdot V}{M}$ 0,5

$n(HO^-)= \frac{100 \times 24 \times 10^{-3}}{40{,}00} = 6{,}0\times10^{-2}$ mol

La réaction étant équimolaire, les ions hydroxyde sont en excès.
Les réactifs n'ont donc, pas été introduits dans les proportions stœchiométriques.

0,25

1.2. L'étape (a) de la synthèse de l'acide benzoïque correspond aux opérations①, ② et ③.
1.3. Deux raisons justifiant l'utilisation du chauffage à reflux.
Le chauffage permet d'augmenter la température qui est un facteur cinétique. Cela permet de réduire la durée de réaction. De plus le réfrigérant à eau permet d'éviter les pertes de matière. 0,5

1.4. Rôles des opérations④, ⑤ et ⑥.
Opération ④ : Réaction acide – base correspondant à l'équation de l'étape (b). 0,75
Diminution de la température qui entraine la précipitation de l'acide benzoïque (moins soluble à 0°C).
Opération ⑤ : filtration : récupération de l'acide benzoïque solide.
Opération ⑥ : séchage : élimination de l'eau éventuellement présente dans les cristaux d'acide benzoïque.

1.5. Principe repose l'opération ⑧ et rôle.
L'opération de recristallisation repose sur le principe de différences de solubilité des impuretés et du produit à différents températures. Cette étape a pour rôle de purifier le produit. 0,5

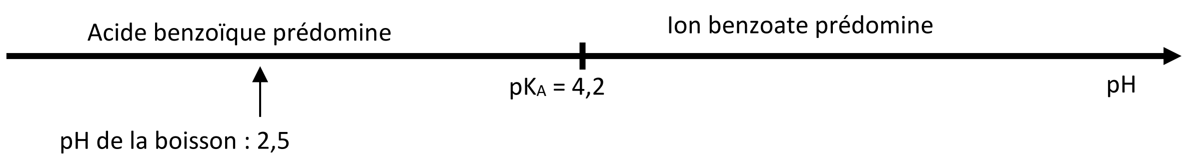
1.6. Critère pour régler une température de l'étuve adaptée à l'opération ⑥.

L'eau doit s'évaporer, il faut une température assez élevée. Mais l'acide benzoïque doit rester à l'état solide, or il possède une température de fusion de 122,4°C qu'il ne faut pas dépasser. 0,25

1.7. Deux méthodes permettant de vérifier la nature du produit obtenu. 0,5
On peut vérifier la température de fusion du solide obtenu à l'aide d'un banc Kofler ou effectuer une Chromatographie sur Couche Mince. On peut aussi effectuer le spectre IR ou de RMN du produit.

1.8. Masse maximale d'acide benzoïque pouvant être obtenue par la mise en œuvre de ce protocole.
Il se forme $2{,}0\times10^{-2}$ mol d'ions benzoate et donc $2{,}0\times10^{-2}$ mol d'acide benzoïque.
On peut espérer obtenir :
$m = n$(benzonitrile).M(acide benzoïque) $= \frac{\rho V}{m} \cdot M$(acide benzoïque)
$m = 2{,}0 \times10^{-2} \times 122{,}12 = 2{,}4$ g 0,5

1.9. L'acide benzoïque est un acide faible, sa base conjuguée est l'ion benzoate ; suivant le pH une des formes prédomine : 0,5



L'acide benzoïque prédomine dans la boisson sous sa forme acide.

2. Seconde méthode de synthèse de l'acide benzoïque à partir de l'alcool benzylique.

2.1. Les grains de pierre ponce servent à réguler l'ébullition. 0,5

2.2. L'équation de l'oxydation de l'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ par les ions permanganate MnO_4^- en milieu basique.

2.2.1. Deux demi-équations de cette réaction et l'équation-bilan de la réaction en milieu acide.

$C_6H_5CH_2OH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_6H_5CO_2^-{}_{(aq)} + 5\ H^+{}_{(aq)} + 4\ e^-$ × 3

$MnO_4^-{}_{(aq)} + 4\ H^+{}_{(aq)} + 3\ e^- \rightleftharpoons MnO_{2(s)} + 2\ H_2O_{(l)}$ × 4

$3\ C_6H_5CH_2OH_{(aq)} + 4\ MnO_4^-{}_{(aq)} + H^+{}_{(aq)} \rightarrow 3\ C_6H_5CO_2^-{}_{(aq)} + 4\ MnO_{2(s)} + 5\ H_2O_{(l)}$ 0,5

2.2.2. Dans un second temps, on montre que la réaction-bilan de la réaction en milieu basique peut s'écrire :

On part de l'équation en milieu acide et on ajoute de part et d'autre de l'équation autant d'ions HO^- qu'il y a d'ions H^+.

$3\ C_6H_5CH_2OH_{(aq)} + 4\ MnO_4^-{}_{(aq)} + H^+{}_{(aq)} + \mathbf{OH^-{}_{(aq)}} \rightarrow 3\ C_6H_5CO_2^-{}_{(aq)} + 4\ MnO_{2(s)} + 5\ H_2O_{(l)} + \mathbf{OH^-{}_{(aq)}}$ 0,5

Soit, après simplification des molécules d'eau :

$3\ C_6H_5CH_2OH_{(aq)} + 4\ MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow 3\ C_6H_5CO_2^-{}_{(aq)} + 4\ MnO_{2(s)} + 4\ H_2O_{(l)} + OH^-{}_{(aq)}$

2.3. Propositions permettant la synthèse de l'acide benzoïque.

On choisit la **proposition A** (chauffage à reflux) car cette technique permet de chauffer (facteur cinétique : température) en évitant les pertes de matière par évaporation (qui auraient lieu avec le montage B). 0,25

2.4. Montrer que les ions permanganate constituent le réactif limitant de cette étape de la synthèse dans ce protocole.

Pour l'alcool benzylique, noté Ab :

$n(Ab)_i = \frac{m((Ab)_i}{M((Ab)_i}$

$n(Ab)_i = \frac{\rho((Ab)_i \cdot V((Ab)_i}{M((Ab)_i}$

$n(Ab)_i = \frac{1{,}04 \times 2{,}0}{108}$

$n(Ab)_i = 1{,}9 \times 10^{-2}$ mol

Pour les ions permanganate, notés Pe:

$n(Pe)_i = \frac{m(KMnO_4)_i}{M((KMnO_4)_i}$

$n(Pe)_i = \frac{2{,}0}{158}$

$n(Pe)_i = 1{,}3 \times 10^{-2}$ mol

En tenant compte des nombres stœchiométriques de l'équation de réaction :

$\frac{n(Ab)_i}{3} = \frac{1{,}9 \times 10^{-2}}{3} = 6{,}4 \times 10^{-3}$ mol pour l'alcool benzylique.

$\frac{n(Pe)_i}{4} = \frac{1{,}3 \times 10^{-2}}{4} = 3{,}23 \times 10^{-3}$ mol pour les ions permangante MnO_4^-. Il s'agit bien du réactif limitant. 1

2.5. Nécessité de la première filtration.

L'équation de la réaction de la première étape de la synthèse est :

$3\ C_6H_5CH_2OH_{(aq)} + 4\ MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow 3\ C_6H_5CO_2^-{}_{(aq)} + \mathbf{4\ MnO_{2(s)}} + 4\ H_2O_{(l)} + OH^-{}_{(aq)}$ 0,5

Il se forme un produit solide ($MnO_{2(s)}$) qu'il convient d'éliminer par filtration.

2.6. Écrire l'équation de la réaction intervenant lors de l'ajout d'acide chlorhydrique.

Le filtrat contient des ions benzoate $C_6H_5CO_2^-$, des ions hydroxyde HO^- et de l'alcool benzylique non consommé (celui-ci était en excès).

Les ions benzoate qui constituent la base du couple $C_6H_5CO_2H$ / $C_6H_5CO_2^-$ vont réagir avec les ions H_3O^+ de l'acide chlorhydrique selon l'équation : $C_6H_5CO_2^-{}_{(aq)} + H_3O^+ \rightarrow C_6H_5CO_2H_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ 0,5

De plus les ions hydroxyde vont réagir avec les ions oxonium : $HO^-{}_{(aq)} + H_3O^+ \rightarrow 2\ H_2O_{(l)}$

II. Assassin's creed. (7 points).

Partie I : Expérience introductive de chute libre d'un boulet d'une hauteur de 50,0 m.

1. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir les équations horaires
$v = f(t)$ et $y = f(t)$ décrivant le mouvement du boulet en chute libre.

Référentiel d'étude : référentiel terrestre, supposé galiléen.
Système étudié : {boulet }
Bilan des actions extérieures : action de la Terre : le poids $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ 0,5
Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ soit $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$
On a donc $m\vec{a} = m \cdot \vec{g}$ et $\vec{a} = \vec{g}$

Composantes de l'accélération $\overrightarrow{a_A}$ dans le repère (Ox, Oy)
Coordonnées de $\overrightarrow{a_P}$ ($a_x = 0$; $a_y = g$)

Composantes du vecteur vitesse $\overrightarrow{v_P}$
Condition initiale : à t = 0 : $\overrightarrow{v_{P\,(t=0)}} = \overrightarrow{v_{P0}}$ donc $v_{0x} = 0$ et $v_{0y} = 0$
Par définition : $\overrightarrow{a_P} = \dfrac{d\overrightarrow{v_P}}{dt}$: les coordonnées du vecteur vitesse sont donc des fonctions primitives des coordonnées du vecteur accélération : 0,25
Coordonnées de $\overrightarrow{v_P}$ ($v_{Px}(t) = 0$ $\boldsymbol{v_{Py}(t) = gt}$

2. 4. Composantes du vecteur position $\overrightarrow{OM}$

Condition initiale : à t = 0, M est en O : $\overrightarrow{OM_{(t=0)}} = \vec{0}$ donc $x_0 = 0$ et $y_0 = 0$
Par définition : $\overrightarrow{v_P} = \dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$: les coordonnées du vecteur position sont donc des fonctions primitives des coordonnées du vecteur vitesse : 0,25
Coordonnées de $\overrightarrow{OM}$ ($x_P(t) = 0$; $\boldsymbol{y_P(t) = \frac{1}{2} \cdot gt^2}$

2. Détermination de g.

Pour calculer g, on utilise la relation $y_P(t) = \frac{1}{2} \cdot gt^2$, on obtient $g = \frac{2 \cdot y_{P(t)}}{t^2}$ ex : $g = \frac{2 \times 50,0}{3,19^2}$ = 9,83 m.s^{-2} 0,5
Afin de déterminer les valeurs de $y_P(t)$, on additionne les distances fournies dans le document 1.

t (s)	1	2	3	3,19
$y_P(t)$	4,90	19,6	44,1	50,0
g (m.s^{-2})	9,80	9,80	9,80	9,83

0,5

0,5
$g = \bar{g} \pm U(g)$ $\bar{g}$ = 9,8075 m.s^{-2} $U(g)$ = 0,015 m.s^{-2} soit g =(9,81 ± 0,02) m.s^{-2}

3. Pour évaluer la valeur (m.s^{-1} et km.h^{-1}) de la vitesse v_f du boulet au bout de 3,19 s, on utilise la relation :
$v_{Py}(t) = gt$
$v_{Py}(t) = 9,81 \times 3,19$
$\boldsymbol{v_{Py}(t) = 31,3}$ **m.s^{-1}**
$v_{Py}(t) = 31,3 \times 3,60$
$v_{Py}(t)$ = 112 km.h^{-1} 0,5

4. Extrait de l'article de Science et Vie Junior :

Cette affirmation n'est valable que si on néglige les forces de frottements et la poussée d'Archimède. 0,5

Partie II : Le saut de la foi d'Arno.

2. 1. Expression de l'accélération $\overrightarrow{a_A}$ du point matériel M

Référentiel d'étude : référentiel terrestre, supposé galiléen.
Système étudié : {point matériel M}
Bilan des actions extérieures : action de la Terre : le poids $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$
Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ soit $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$ 0,5
On a donc $m\vec{a} = m \cdot \vec{g}$ et $\vec{a} = \vec{g}$

2. 2. Composantes de l'accélération $\overrightarrow{a_A}$ dans le repère (Ox, Oy)
Coordonnées de $\overrightarrow{a_P}$ ($a_x = 0$; $a_y = g$)
2. 3. Composantes du vecteur vitesse $\overrightarrow{v_P}$
Conditions initiales : à t = 0 : $\overrightarrow{v_{P(t=0)}} = \overrightarrow{v_{P0}}$ donc $v_{0x} = v_{P0} . \cos \alpha$; et $v_{0y} = - v_{P0} . \sin \alpha$
Par définition : $\overrightarrow{a_P} = \frac{d\overrightarrow{v_P}}{dt}$: les coordonnées du vecteur vitesse sont donc des fonctions primitives des coordonnées du vecteur accélération :
Coordonnées de $\overrightarrow{v_P}$ **($v_{Px}(t) = v_{P0} . \cos \alpha$; $v_{Py}(t) = gt - v_{P0} . \sin \alpha$)** 0,5

2. 4. Composantes du vecteur position $\overrightarrow{OM}$

Conditions initiales : à t = 0, M est en O : $\overrightarrow{OM_{(t=0)}} = \vec{0}$ donc $x_0 = 0$ et $y_0 = 0$
Par définition : $\overrightarrow{v_P} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$: les coordonnées du vecteur position sont donc des fonctions primitives des coordonnées du vecteur vitesse :
Coordonnées de $\overrightarrow{OM}$ **($x_P(t) = v_{P0} . \cos \alpha . t$; $y_P(t) = \frac{1}{2} \cdot gt^2 - v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t$)** 0,5

2.5. Equation de la trajectoire.
On isole t de l'équation $x_P(t) = t. v_{PO}.\cos \alpha$ on obtient $t = \frac{x_P(t)}{v_{PO} \cdot \cos\alpha}$
On remplace t dans l'expression $y_P(t) = \frac{1}{2} \cdot gt^2 - v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t)$
alors $y = \frac{1}{2} g \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}\right)^2 - v_0 \cdot \sin\alpha \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}\right)$
soit $\boldsymbol{y = \frac{1}{2} \frac{g}{v_0^2 \cdot \cos^2\alpha} \cdot x^2 - x.\tan\alpha}$ 0,5

2.6. Distance d du mur de la tour, où doit se trouver le chariot afin qu'Arno tombe dessus.
On exploite l'expression $x_P(t) = v_{P0} . \cos \alpha . t$
Le temps de vol est égal à 3,19 s.
On a donc $x_P(t) = 5{,}00 \times \cos 30° \times 3{,}19$ 0,5
Soit $x_P(t)$ = 13,8 m.

2.7. Arno tombe sur la paille du chariot.

2.7.1. Arno passe de 39,0 km/h à 0 km/h en 0,11 s, soit en m.s⁻¹ $v = \frac{39{,}0}{3{,}6}$ = 10,8 m.s^{-1}
On a $a = \frac{dv}{dt}$ soit $a = \frac{10{,}8-0}{0{,}11}$ a = 98,1 m.s^{-2} soit 10 x 9,81 = 10g
L'affirmation « puisque sa décélération moyenne sera de 10 g » est exacte. 0,5

2.7.2. Réponse à la problématique du début du devoir.
Arno passe de 113,0 km/h à 0 km/h en 0,11 s, soit en m.s^{-1} = $\frac{113{,}0}{3{,}6}$ = 31,4 m.s^{-1} à 0 m.s^{-1}.
On a $a = \frac{dv}{dt}$ soit $a = \frac{31{,}4-0}{0{,}11}$ a = 285 m.s^{-2} soit 29 x 9,81 = 29g !!! 0,5
Arno se survivra pas à cette chute.

Exercice III : Ravitaillement de la station ISS. (5 points).

1. Modèle simplifié du décollage.

1.1. Le système S = {fusée + gaz} étant supposé isolé, la quantité de mouvement $\vec{p}_S$ du système se conserve au cours du temps. Entre les dates t = 0 et t = 1 s on a donc :

$\vec{p}_S(t = 0\ s) = \vec{p}_S(t = 1\ s)$

Initialement le système est immobile (on considère que les gaz n'ont pas encore eu le temps d'être éjectés de la fusée) donc $\vec{p}_S(t = 0\ s) = \vec{0}$ d'où $\vec{0} = \vec{p}_f + \vec{p}_g$, soit $\vec{0} = m_f \cdot \vec{v}_f + m_g \cdot \vec{v}_g$

donc finalement : $\boxed{\vec{v}_f = -\frac{m_g}{m_f} \cdot \vec{v}_g}$ 1

Lors du décollage, les gaz sont éjectés vers le bas. La relation précédente montre que la fusée est alors propulsée vers le haut. Il s'agit d'un exemple de mode de propulsion par réaction. 0,5

1.2. Entre les dates t = 0 et t = 1 s, la variation de masse $|\Delta m|$ de la fusée est due à l'éjection de gaz qui a lieu avec un débit D.

La masse m_g des gaz éjectés s'écrit $m_g = D.\Delta t$

Donc **$|\Delta m| = D.\Delta t$**.

Pour $\Delta t = 1$ s on a : $|\Delta m| = 2,9\times10^3\times1 = 2,9\times10^3$ kg $\approx 3\times10^3$ kg = 3 t.

En exprimant les masses en tonnes, calculons : $\frac{\Delta m}{m_{fi}} = \frac{2,9}{7,8\times10^2} = 3,7\times10^{-3} = 0,37\% \approx 0,4\ \%$ 0,5

La variation de masse $|\Delta m|$ de la fusée au bout d'une seconde après le décollage est inférieure à 1 % de la masse initiale m_{fi} de la fusée : elle est donc négligeable.

On considère que la masse m_f de la fusée n'a pas varié une seconde après le décollage.

Calculons alors la valeur de la vitesse de la fusée :

En projetant la relation $\vec{v}_f = -\frac{m_g}{m_f} \cdot \vec{v}_g$ selon un axe vertical il vient : $v_f = \frac{m_g}{m_f} \cdot v_g$

En laissant les masses en tonnes et la vitesse en km.s^{-1}, il vient : $v_f = \frac{2,9}{7,8\times10^2} \times 4,0$

$v_f = 1,5\times10^{-2}$ km.s^{-1} = **15 m.s^{-1}.** 1

2.1. Si la vitesse est en réalité très inférieure à celle calculée, c'est que le système n'est pas isolé.
Le système {fusée + gaz} subit la force poids qui le ralentit fortement (et dans une moindre mesure la force de frottement de l'air). 0,5

2.2.1. D s'exprime en kg.s^{-1}. v_g s'exprime en m.s^{-1}. Donc $D.v_g$ s'exprime en **kg.m.s^{-2}**.
Le produit $D.v_g$ est donc homogène à une masse (kg) multipliée par une accélération (m.s^{-2}). 0,5
La deuxième loi de Newton $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a}$ permet de conclure que le produit $D.v_g$ est homogène à une force.

2.2.2. La fusée peut décoller si la valeur F de la force de poussée $\vec{F} = -D \cdot \vec{v}_g$ est supérieure à la valeur P du poids $\vec{P}$ de la fusée : $P = m_f.g$ soit $P = 7,8\times10^5\times9,78 = 7,6\times10^6$ N (convertir m_f en kg).

$F = D.v_g$ soit $F = 2,9\times10^3\times4,0\times10^3 = 12\times10^6$ N. 1
Comme F > P, la fusée peut décoller.