Corrigé du bac 2015 : Physique-Chimie Obligatoire Série S – Métropole

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

PHYSIQUE-CHIMIE OBLIGATOIRE

MARDI 23 JUIN 2015

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

L'usage d'une calculatrice EST autorisé.
Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Correction proposée par un professeur de physique-chimie pour le site www.sujetdebac.fr

EXERCICE I - LES TROIS RECORDS DE FÉLIX BAUMGARTNER (6,5 points)

Avant de commencer il s'agit de faire un travail préalable de collecte des données qui sont semées dans la présentation de l'exercice. C'est un réflexe à avoir, et ce peu importe qu'elles vous servent par la suite ou non.

Ainsi, on a :

- L'altitude maximum atteinte : 39 045 m
- Record vitesse chute libre : 1 341,9 $km.h^{-1}$
- Temps au bout duquel Félix a ouvert son parachute: t_p = 4 min 20 s = 260 s
- Durée du saut : t_f = 9 min 3 s = 543 s
- Dimensions du ballon : h_{ballon} = 100 m
  $d_{ballon\ max}$ = 130 m
- Volume d'hélium nécessaire à l'ascension du ballon : $V_{hélium}$ = 5100 m³
- Masse totale du système {ballon ; équipage}: m_{totale} = 3 T
- Masse de Félix + équipage : m_{F+E} = 120 kg

Partie 1 : ascension en ballon sonde de Félix Baumgartner

1.1) La force responsable de l'ascension du ballon est la poussée d'Archimède.

1.2) En négligeant les forces de frottements, nous nous retrouvons avec 2 forces :

- Le poids $\vec{P}$ du système {ballon ; équipage}
- La poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_A}$

1.3) Pour que le ballon décolle, il est nécessaire que la norme de la poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_A}$ soit strictement supérieure à celle du poids $\vec{P}$ du système.

Calculons la norme du poids du système étudié :
$P = m_{totale} \times g = 3000 \times 9{,}8 = 2{,}94.10^4\ N$

Calculons la norme de la poussée d'Archimède : $\overrightarrow{F_A} = \rho_{troposphère} \times V_{hélium} \times g = 1{,}22 \times 5100 \times 9{,}8 = 6{,}1.10^4\ N$

La valeur de la norme de la poussée d'Archimède est bien supérieure à celle du poids du système donc le ballon décolle.

1.4) *<u>Remarque :</u> Lorsque l'on est en présence d'un mouvement rectiligne et uniforme, il faut immédiatement penser à la 1ère loi de Newton qui dit que, si le centre d'inertie d'un système possède un mouvement rectiligne et uniforme, alors la somme des forces extérieures qui s'exercent sur ce système est nulle. Nous avons vu précédemment que le système est soumis à deux forces distinctes : le poids et la poussée d'Archimède.*

Nous pouvons donc écrire :
$\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{F_A} + \vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$ avec $\vec{f}$ la force de frottements recherchée.

En projetant selon un axe (Oz) ascendant, on obtient $F_A - P - f = 0$
d'où $f = F_A - P = 6{,}1.10^4 - 2{,}94.10^4 = 3{,}16.10^4\ N$

Partie 2 : saut de Félix Baumgartner

2.1) L'accélération est lié à la vitesse par la relation $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$; on peut alors la déterminer en calculant le coefficient directeur de la tangente en t=0s, ce qui nous donne $a = \frac{0-195}{0-20} = 9{,}8\ m.s^{-2} \simeq g$

Ce résultat ne doit pas nous étonner : à une telle altitude, les frottements de l'air sont négligeables. De plus, l'énoncé nous suggère également de négliger la poussée d'Archimède ; de ce fait on peut donc associer l'accélération à la force gravitationnelle.

2.2) *<u>Remarque :</u> Ne pas oublier que nous avons regroupé des données au tout début !*
Félix Baumgartner a atteint le record de vitesse en chute libre qui s'élève à 1 341,9 km.h^{-1} ce qui donne $V_{record} = \frac{1341{,}9.10^3}{3600} = 372{,}75\ m.s^{-1}$.
Cette vitesse est bien supérieure à la célérité du son et ce quelle que soit l'altitude à laquelle Félix se trouvait (cf. tableau situé dans les données du texte).
Félix Baumgartner a bien atteint une vitesse supersonique.

2.3) Afin d'évaluer la variation d'énergie mécanique entre le moment où Félix saute et le moment où il atteint sa vitesse maximale, on utilise l'expression de l'énergie mécanique :
$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = (E_c^{max} - E_c^{i}) + (E_p^{max} - E_p^{i})$ avec
E_c^{i} : l'énergie cinétique lorsque Félix saute
E_c^{max} : l'énergie cinétique lorsque Félix est à sa vitesse maximale
E_c^{i} : l'énergie potentielle de pesanteur lorsque Félix saute
E_p^{max} : l'énergie potentielle de pesanteur lorsque Félix est à sa vitesse maximale

Lorsque Félix saute, il n'a pas de vitesse initiale : son énergie cinétique à ce moment-là est nulle, et il se trouve à son altitude record : z_i=39 045 m.

On calcule alors $E_c^i = \frac{1}{2} \times m \times v_i^2 = 0$
ainsi que $E_p^i = m_{(F+E)} \times g \times z_i$

Lorsque Félix atteint sa vitesse maximale, $V_{max} = 372{,}75 m.s^{-1}$. Pour déterminer à quelle altitude il se trouve, reportons nous aux courbes situées dans les données du texte. Pour une telle vitesse, on apprend d'après la courbe 1 que Félix est à t=50s.

Si l'on reporte ce temps sur la courbe 2, on obtient $z_{max} = 28000m$.
On calcule alors $E_c^{max} = \frac{1}{2} \times m \times V_{max}^2$
puis $E_p^{max} = m \times g \times z_{max}$

D'où $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = (E_c^{max} - E_c^i) + (E_p^{max} - E_p^i) = \frac{1}{2} \times m \times V_{max}^2 + m \times g \times z_{max} - m_{(F+E)} \times g \times z_i$

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \times 120 \times (372{,}75)^2 + 120 \times 9{,}8 \times 28000 - 120 \times 9{,}8 \times 39045$$

$$\Delta E_m = -4{,}7.10^6 J$$

On obtient une variation d'énergie mécanique négative, ce qui signifie que le système perd de l'énergie au cours de sa chute. Cette énergie est évacuée sous forme de chaleur à cause des frottements subis par Félix et son équipage.
Remarque : Attention, les frottements ne sont pas négligeables tout au long de la chute !

2.4) Nous avons remarqué plus haut que, à très haute altitude, les frottements peuvent être négligés. Ainsi, plus l'altitude est élevée, plus t est faible, plus le poids va avoir tendance à l'emporter sur les frottements.

$t_3 > t_2 > t_1$ donc le schéma B correspond à t_1=40s, le schéma C à t_2=50s et le schéma A à t_3=60s.

2.5) D'après les données sélectionnées dans le texte, Félix ouvre son parachute au bout de 4 min 20 s soit au bout de 260 s.
En reportant cette valeur sur la courbe 2, on trouve l'altitude correspondante, c'est à dire z = 2,5 km**,** ce qui veut dire que Félix parcourt 2,5 km entre t_p=260s et t_f=543s.

Nous supposons comme l'énoncé nous le demande que la trajectoire est rectiligne et uniforme, ce qui implique que l'accélération du système est nulle, donc que sa vitesse est linéaire.
Ainsi, en utilisant la formule de la vitesse en fonction de la distance et du temps, on obtient :

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2500}{543 - 260} = 8{,}8 m.s^{-1}$$

2.6) Pour déterminer la hauteur recherchée, nous allons utiliser l'expression de l'énergie mécanique.
Nous négligerons l'influence des frottements sur le système. L'énergie mécanique E_m se voit donc conservé : $E_m^i = E_m^f$e

A l'état initial, la vitesse est nulle, et donc l'énergie cinétique du système à l'état initial l'est également.
A l'état final, la hauteur est nulle donc l'énergie potentielle de pesanteur à l'état final l'est également.

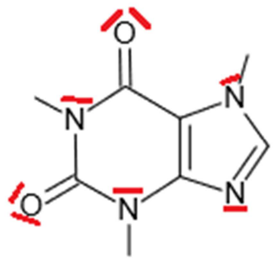
$$E_p^i = E_c^f \Rightarrow m \times g \times z = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \Rightarrow z = \frac{v^2}{2g} = \frac{8{,}8^2}{2 \times 9{,}8} = 3{,}98m \simeq 4m$$

Ainsi, il faudrait que Félix saute du deuxième étage pour atteindre une telle vitesse au sol.

EXERCICE II - DE LA COMPOSITION D'UN SODA À SA CONSOMMATION (8,5 points)

1. La caféine

1.1) La molécule de caféine se dessine comme ci-contre:



<u>Explication :</u> L'azote N possède un Z=7 ; on remplit alors ses couches électroniques telles que $(K)^2$ $(L)^5$:
Il possède donc un doublet non-liant et 3 électrons engagés dans des doublets liants.
On fait de même avec l'oxygène.

1.2) La formule brute de la caféine est : $C_8H_{10}N_4O_2$

1.3) D'après les données du texte, 75 mg correspond environ à deux canettes de soda de 33 cL.

$$c = \frac{n}{V} \text{ or } n = \frac{m}{M} \text{ d'où } c = \frac{m}{V \times M} = \frac{0,075}{2 \times 0,33 \times 194} = 5,9.10^{-4}\ mol.L^{-1}$$

2. L'acide benzoïque

2.1) La réaction qui produit l'ion benzoate nécessite de l'eau pour être effective. En utilisant le même protocole, qui ne stipule nulle par un quelconque ajout d'eau pour cette réaction, et en remplaçant la solution d'hydroxyde de sodium par des pastilles, on prive la réaction de l'eau (contenue dans la solution d'hydroxyde de sodium) nécessaire.
Il n'est donc pas préférable de remplacer la solution par des pastilles.

2.2) Les opérations qui correspondent à l'étape (a) sont les numéros 1, 2 et 3. L'opération 4 marque le début de l'étape (b) avec l'ajout d'acide chlorhydrique qui apporte des ions H_3O^+.

2.3) L'utilisation du chauffage à reflux peut se justifier lorsque l'on veut limiter au maximum les pertes de matière grâce au réfrigérant à eau.
De plus, il permet de réduire la durée de réaction car la température est un facteur cinétique : plus elle augmente, plus la réaction est rapide.

2.4) Opération 4 : Mise en contact des réactifs donc réaction acido-basique correspondant à l'étape (b).
Opération 5 : Récupération de l'acide benzoïque solide grâce à la filtration.
Opération 6 : Chauffage du produit afin de le purifier (on fait s'évaporer les traces d'eau encore contenues dans le produit).

2.5) Afin de régler la température il faut faire attention à deux facteurs :

- La température du produit que l'on souhaite faire s'évaporer (ici l'eau, donc 100°C).
- La température de fusion des cristaux à purifier, qui est de 122,4°C.

La température doit donc se situer entre 100°C et 122,4°C pour éviter que les cristaux fondent ou que l'eau ne s'évapore pas.

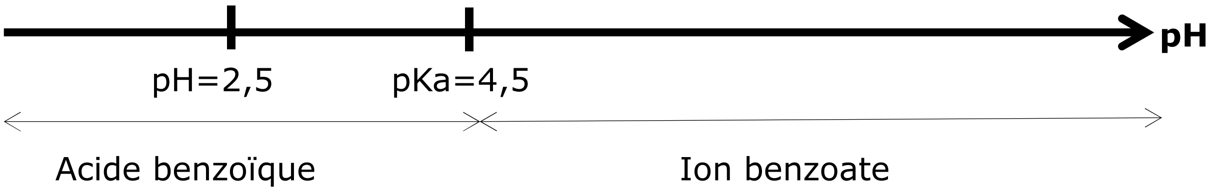
2.6) Pour vérifier la nature du produit obtenu il est possible de réaliser soit une chromatographie sur couche mince, soit en déterminant la température de fusion à l'aide d'un banc Kofler.

2.7) Calculons les masses de benzonitrile et d'hydroxyde : la masse maximale d'acide benzoïque équivaut à la masse d'un des deux composés précédents puisque l'un des deux est le réactif limitant de la réaction.

$m_{benzonitrile} = \rho \times V = 1{,}01 \times 2 = 2{,}02\ g$
$m_{HO} = C_m \times V = 100 \times 24.10^{-3} = 2{,}4\ g$

La masse maximale d'acide benzoïque qui peut possiblement être produite vaut 2,4 g.

2.8) Traçons avec les données l'échelle des pKa :



C'est l'acide benzoïque qui prédomine.

3. L'acide phosphorique

Grâce au tableau fourni, il nous est possible de tracer la courbe du pH en fonction du volume d'hydroxyde de sodium versé.
A l'équivalence, l'hydroxyde de sodium et l'acide phosphorique ont été versés et ont réagi dans les proportions stœchiométriques.
Ainsi, $n_{H_3PO_4} = C.V_{BE} = n_{HO-}$

Sur la courbe de pH, nous pouvons situer le volume équivalent à environ 5,3 mL. On peut ensuite en déduire $n_{H_3PO_4} = C.V_{BE} = 1{,}0.10^{-2} \times 5{,}3.10^{-3} = 5{,}3.10^{-5}\ mol$.

Dans 10 mL, ceci nous donne une masse d'acide phosphorique de :
$m_{H_3PO_4} = n_{H_3PO_4}.M = 5{,}3.10^{-5} \times (3 \times 1{,}0 + 31{,}0 + 4 \times 16{,}0) = 5{,}2\ mg$

Par extension, dans 1,5 L il y a 150×5,2 = 0,78 g d'acide phosphorique.

La DJA indique 70 $mg.kg^{-1}.jour^{-1}$ donc pour une personne adulte qui pèse 65 kg, la dose d'acide phosphorique qu'elle pourra ingérer sans risque vaut par jour : $65 \times 70 = 4{,}55.10^3 = 4{,}55\ g$

Il y a 0,78 g d'acide phosphorique dans une bouteille d'1,5 L donc la personne pourra boire $\frac{4{,}55}{0{,}78} = 5$ bouteilles.

EXERCICE III - MICRO-TEXTURATION DE SURFACE PAR UN LASER FEMTOSECONDE (5 points)

1. Domaine d'émission du laser femtoseconde

1.1) Pour savoir pourquoi on qualifie ce laser d'infrarouge, il nous faut calculer sa longueur d'onde centrale:

$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.10^8}{375.10^{12}} = 800\ nm > 780\ nm$: le laser émet bien dans l'infrarouge.

1.2) Nous avons calculé la longueur d'onde centrale du laser. Calculons maintenant sa longueur d'onde minimale :

$\lambda_{min} = \frac{c}{\nu_{max}} = \frac{c}{\nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}} = \frac{3.10^8}{375.10^{12} + 50.10^{12}} = 710\ nm$ qui se situe dans l'intervalle de perception du rouge [620 nm – 780 nm] ; voilà pourquoi le laser apparaît rouge.

2. Caractéristiques d'une impulsion du laser femtoseconde

2.1) L'énergie transportée par une seule impulsion du laser est telle que :
$E = P_{crête}.\tau = 1 \times 10^9 \times 150 \times 10^{-15} = 0{,}15\ mJ$

2.2) Pour des raisons évidentes de simplification, nous considérerons que l'énergie de chaque photon est la même dans cet exercice. Attention : en vérité ce n'est pas le cas, puisque le laser n'est pas monochromatique.
On appelle N le nombre de photons produits par une seule impulsion du laser possédant une énergie $h\nu_0$.
$N = \frac{E}{h\nu_0} = \frac{0{,}15.10^{-3}}{6{,}63.10^{-34} \times 375.10^{12}} = 6{,}0\ .\ 10^{14}$ photons.

3. Gravure par le laser femtoseconde

« La fluence est obtenue en divisant l'énergie d'une impulsion laser (en J) par la surface circulaire gravée (en cm²) »
On grave ici une surface circulaire de diamètre 0,098mm de diamètre.

$$F = \frac{E}{\pi.(\frac{D}{2})^2} = \frac{4.E}{\pi.D^2} = \frac{4 \times 0{,}15.10^{-3}}{\pi.(98.10^{-4})^2} = 2{,}0\,J/cm^2$$

De plus, d'après les données, pour une fluence égale à 2,0 J/cm², le taux d'ablation est de 100 nm/impulsion.

Si on appelle n_i le nombre d'impulsions qu'il faudrait pour obtenir une profondeur de 6 µm : $n_i = \frac{6.10^3}{100} = 60$ impulsions.

On calcule ensuite la période des impulsions : $T_i = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} s = 0{,}1\ ms$
Puis $\Delta t = n.T = 60 \times 10^{-3} = 60 ms$.