Corrigé du bac 2016 : Physique-Chimie Spécialité Série S – Liban

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Spécialité

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 8

L'usage des calculatrices est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

EXERCICE I – VOL ZÉRO-G (6 points)

1. Etude du mouvement de chute libre

1.1) Un système en chute libre doit n'est soumis qu'à une seule force, son poids, or cette force est une force conservative. L'énergie mécanique se conserve donc lorsque le système est en chute libre.

1.2) D'après notre réponse à la question précédente, on en déduit que nous devons nous intéresser à la conservation de l'énergie mécanique. Nous allons donc effectuer nos calculs sur deux positions : au moment du départ de la parabole de l'avion, et au moment où il se trouve au sommet de la parabole.

- Départ de la parabole de l'avion

L'avion se trouve à une altitude z_1 = 7600 m, et vole à une vitesse v_1 = 527 km.h^{-1}.

L'énergie mécanique vaut ici :

$$E_m(départ) = E_c(départ) + E_{pp}(départ) = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgz_1$$
$$= \frac{1}{2} * 1{,}5.10^5 * \left(\frac{527}{3{,}6}\right)^2 + 1{,}5.10^5 * 9{,}81 * 7600 = 1{,}3.10^{10}\ J$$

- Avion au sommet de la parabole

L'avion se trouve à une altitude z_2 = 8200 m et vole à une vitesse v_2 = 355 km.h^{-1}.

L'énergie mécanique vaut ici :

$$E_m(sommet) = E_c(sommet) + E_{pp}(sommet) = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgz_2$$
$$= \frac{1}{2} * 1{,}5.10^5 * \left(\frac{355}{3{,}6}\right)^2 + 1{,}5.10^5 * 9{,}81 * 8200 = 1{,}3.10^{10}\ J$$

On trouve la même valeur d'énergie mécanique pour les deux positions : l'énergie mécanique est donc bien conservée ; Les caractéristiques de la trajectoire parabolique suivie par l'avion sont bien compatibles avec une chute libre de l'avion.

2. Intensité du champ de pesanteur dans un vol Zéro-G

2.1) Dans ces conditions, nous pouvons supposer que le poids est égal en norme à la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur l'objet de masse m. Ainsi, on obtient l'égalité suivante :

$$P = F_{T \to O}$$

Avec $P = m * g_h$ et $F_{T \to O} = G.\frac{mM_T}{(R_T+h)^2}$, on a :

$$m * g_h = G.\frac{mM_T}{(R_T + h)^2}$$

Puis,

$$g_h = \frac{GM_T}{(R_T + h)^2}$$

2.2) Pour savoir s'il est nécessaire de considérer l'intensité de la pesanteur comme constante, nous alors calculer sa valeur au départ de la parabole et à son sommet.

Ainsi, on obtient :

$$g(départ) = \frac{GM_T}{(R_T + z_1)^2} = 6{,}67.10^{-11} * \frac{5{,}97.10^{24}}{(6{,}38.10^6 + 7600)^2} \approx 9{,}76\, m.s^{-2}$$

$$g(sommet) = \frac{GM_T}{(R_T + z_2)^2} = 6{,}67.10^{-11} * \frac{5{,}97.10^{24}}{(6{,}38.10^6 + 8200)^2} \approx 9{,}76\, m.s^{-2}$$

Nous avons approximé les valeurs des intensités à 10^{-3} près. Les valeurs sont donc sensiblement les mêmes : il est donc normal de considérer l'intensité de la pesanteur comme constante lors d'un vol Zéro-G.

3. Durée des phases d'apesanteur

3.1) Deuxième loi de Newton (ou théorème du centre d'inertie) :

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces appliquées à un objet ponctuel est égale au produit de la masse de l'objet par son vecteur accélération.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

3.2) Appliquons la seconde loi de Newton à notre système, qui se réduit à l'avion. Pour cela, nous faisons un bilan des forces appliquées au système :

- Le poids $\vec{P}$

Remarque : Nous n'avons aucune information sur les forces de frottement, ni sur la poussée d'Archimède, ce qui suppose que nous devons les négliger. Sur un système réel en revanche, elles seraient à prendre en compte !

Ainsi,

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Donc,

$$\vec{P} = m\vec{a}$$

Or $P = mg$, donc :

$$m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$\vec{g} = \vec{a}$$

En projetant sur les axes Ox et Oy, nous obtenons le système suivant :

$$\begin{cases} a_x(t) = g_x \\ a_y(t) = g_y \end{cases}$$

Or le vecteur intensité de pesanteur ne possède qu'une composante selon Oy (elle est dirigée vers le centre de la Terre !), donc on a :

$$\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = -g \end{cases}$$

Par intégrations successives et en prenant en compte l'existence potentielle de conditions initiales, nous obtenons :

$$\begin{cases} v_x(t) = v_{0x} \\ v_y(t) = -gt + v_{0y} \end{cases}$$

A t = 0, la vitesse vaut $\overrightarrow{v_0}$, donc :

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 cos\alpha \\ v_y(t) = -gt + v_0 sin\alpha \end{cases}$$

Puis,

$$\begin{cases} x(t) = v_0 cos\alpha t + x_0 \\ y(t) = -\dfrac{gt^2}{2} + v_0 sin\alpha * t + y_0 \end{cases}$$

A t = 0, l'avion a une altitude nulle et n'a pas avancé dans le repère, donc $x_0 = 0 \ \ et \ \ y_0 = 0$.

Ainsi, nous obtenons les équations horaires suivantes :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 cos\alpha t \\ y(t) = -\dfrac{gt^2}{2} + v_0 sin\alpha * t \end{cases}$$

3.3) Pour connaître la durée nécessaire à l'avion pour parcourir la parabole et atteindre le deuxième point d'altitude 0, on résout l'équation y(t) = 0 à partir des équations horaires que nous avons trouvé à la question précédente. Ainsi,

$$y(t) = -\frac{gt^2}{2} + v_0 sin\alpha * t = 0$$

$$\frac{gt^2}{2} = v_0 sin\alpha * t$$

$$\frac{gt}{2} = v_0 sin\alpha$$

$$t = \frac{2v_0 sin\alpha}{g} = \frac{2 * \frac{527}{3,6} * \sin(47)}{9,8} = 22\ s$$

Le document 2 donne la même valeur pour la durée d'apesanteur de l'avion.

3.4) Regardons l'équation que nous avons résolu juste au-dessus, et analysons les éléments que nous pouvons modifier pour augmenter cette durée.

Les seuls paramètres sur lesquels nous pouvons avoir une quelconque influence sont :

- La vitesse initiale v_0, que nous pouvons augmenter
- L'angle α que fait la vitesse par rapport au sol, que l'on peut également augmenter.

La modification de ces deux paramètres semble dans la réalité peu probable. En effet, augmenter la vitesse sur des avions de cette envergure est difficile et très coûteux. De même, augmenter l'angle α risquerait d'endommager l'avion.

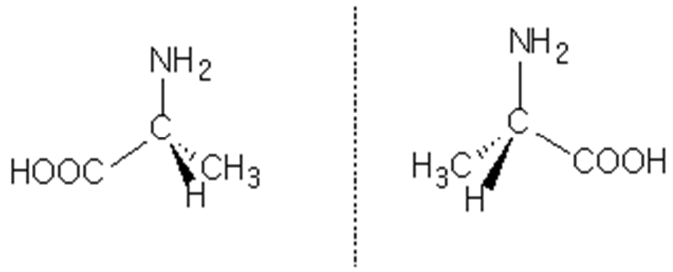
EXERCICE II – LA SOIE D'ARAIGNÉE (9 points)

1. Composition de la soie d'araignée

1.1) La glycine et l'alanine possèdent toutes deux un groupement carboxyle COOH, caractéristique des acides carboxyliques, et un groupement amine NH_2 : ce sont donc des acides aminés.

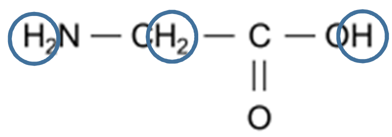
1.2) La molécule de glycine ne possède ni un carbone asymétrique, ni une double liaison C=C, elle ne peut donc pas avoir d'énantiomères, ni de diastéréoisomères, et donc par extension, pas de stéréoisomères.

1.3) Dessinons avec la représentation de Cram, les stéréoisomères de l'alanine :



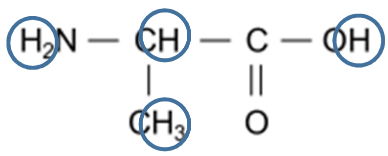
Ces deux représentations sont chirales, c'est-à-dire qu'elles sont images l'une de l'autre dans un miroir plan et non superposables : il s'agit donc d'énantiomères.

1.4) Intéressons nous à la glycine.



On note 3 groupes de protons équivalents, ce qui nous indique que le spectre RMN présentera 3 signaux. Quant à leur multiplicité, il s'agira de singulets car les protons ne sont pas couplés entre eux.

Pour ce qui est de l'alanine :



Il y a cette fois-ci 4 groupes de protons équivalents, ce qui nous donnera 4 signaux sur le spectre RMN. Deux groupes ne sont pas couplés (ceux de la fonction amine et celui de la fonction OH). On aura donc des singulets pour ces deux signaux.

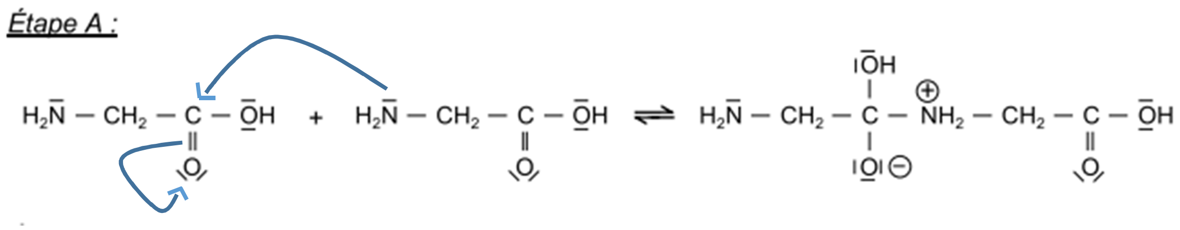
Pour les autres groupes, on aura :

- Un quadruplet pour les protons du CH, qui sont couplés avec les trois protons du CH_3
- Un doublet pour les protons du CH_3 qui sont couplés avec le proton du CH

2. Biomimétisme chimique

2.1) La nouvelle fonction présente dans le dipéptide Gly-Gly possède une fonction amide.

2.2.1)



La réaction se passe au niveau de l'atome d'azote de la fonction amide et de l'atome de carbone de la double liaison C=O. En effet, l'azote est ici un site très nucléophile, donc donneur d'électrons, contrairement à l'oxygène qui est un site très électrophile, qui va donc accepter très facilement des électrons (de par notamment sa grande électronégativité).

Une première flèche est donc orientée du donneur vers l'accepteur.

L'électron donné n'est pas stable en étant sur le carbone, et l'oxygène étant bien plus électronégatif, il va donc accepter cet électron et ainsi briser la double liaison C=O.

2.2.2) Une réaction acido-basique a lieu lorsqu'il y a échange de proton entre deux espèces. Ici, on remarque qu'il y a bien cet échange dans l'étape B, mais qu'elle se produit au sein même de la molécule, entre deux groupements, d'où le qualificatif d' « intramoléculaire ».

2.2.3) L'étape C rejette un groupe H_2O : il s'agit d'une réaction d'élimination.

2.3) Nous pouvons obtenir 4 dipeptides différents au total. En effet, le groupe NH_2 de la glycine peut réagir avec le groupe COOH d'une autre molécule de glycine pour donner le Gly-Gly. De la même manière, il est possible d'obtenir Gly-Ala, Ala-Gly et Ala-Ala.

Remarque : Nous avons vu à la question 1.3) que l'alanine possédait deux énantiomères. Les 4 dipeptides obtenus ici sont issus de l'hypothèse selon laquelle les acides aminés ne se trouvent que sous la forme d'un unique énantiomère. Si nous avions eu les deux énantiomères de présent, nous aurions eu 9 dipeptides différents !

2.4) Afin d'obtenir Gly-Ala, il est nécessaire de protéger le groupe COOH pour l'alanine et NH_2 pour la glycine.

3. Détermination du diamètre d'un fil d'araignée

3.1) La diffraction met en évidence le caractère ondulatoire de la lumière.

3.2) L'expression qui lie ces 3 paramètres est :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \qquad (1)$$

D'après le schéma de l'expérience vue de dessus, on a :

$$tan\theta = \frac{L}{2D}$$

Sachant que $tan\theta = \theta$ pour les faibles valeurs de θ, ce qui est le cas ici, on a

$$tan\theta \approx \theta = \frac{L}{2D}$$

Ce qui nous donne :

$$L = 2\theta D \quad (2)$$

Puis, en injectant (1) dans (2) :

$$L = \frac{2\lambda D}{a}$$

3.3) Application numérique à partir de la question précédente :

$$a = \frac{2\lambda D}{L} = \frac{2 * 2{,}00 * 615.10^{-9}}{0{,}188} = 1{,}31.10^{-5}\ m = 13{,}1\ \mu m$$

3.4) Calculons l'incertitude relative à la mesure de a :

$$\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 = \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(L)}{L}\right)^2$$

$$\frac{U(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(L)}{L}\right)^2}$$

$$U(a) = a * \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(L)}{L}\right)^2} = 13{,}1 * \sqrt{\left(\frac{0{,}01}{2{,}00}\right)^2 + \left(\frac{0{,}4}{18{,}8}\right)^2} = 0{,}3\ \mu m$$

Grâce à l'incertitude trouvée sur a, on en déduit que :

$$a = 13{,}1 \pm 0{,}3\ \mu m$$

Remarque : L'incertitude est ici très faible !

3.5) On mesure sur le schéma le diamètre du fil, et on trouve 4 mm. En tenant compte de l'incertitude, nous trouvons $d = 4 \pm 0{,}3\ mm$.

En tenant compte de l'échelle, sachant que 31 mm équivaut à 100 μm, on obtient un diamètre de :

$$a = \frac{4 * 100}{31} = 12{,}9\ \mu m\ \approx 13\ \mu m$$

Pour ce qui est de l'incertitude sur la valeur du diamètre, on a :

$$\frac{U(a)}{a} = \frac{U(d)}{d}$$

D'où,

$$U(a) = a\frac{U(d)}{d} = 12{,}9 * \frac{0{,}05}{0{,}4} = 1{,}6\ \mu m \approx 2\ \mu m$$

On a alors :

$$a = 13{,}1 \pm 2\ \mu m$$

Remarque : Cette méthode utilisant le microscope donne une incertitude plus grande que la première.

3.6) Rappel méthode par diffraction :

$$a = 13{,}1 \pm 0{,}3\ \mu m$$

Rappel méthode par microscopie :

$$a = 13{,}1 \pm 2\ \mu m$$

Les deux intervalles décrits par les valeurs de a se recouvrent partiellement. Ces deux méthodes de mesures sont donc cohérentes.

3.7) Comme remarqué, la mesure par diffraction donne une incertitude plus faible que celle utilisant le microscope. Il faudra donc privilégier la méthode par diffraction. (Il est normal intuitivement d'utiliser la méthode qui induit l'erreur la plus faible !)

4. Elasticité et solidité d'un fil d'araignée

4.1) Effectuons une analyse dimensionnelle :

Paramètre	Unité
F	N
L_0	m
E	$N.m^{-2}$
π	Sans unité
R^2	m^2

D'où :

$$E = \frac{FL_0}{\Delta L \pi R^2} = \frac{[N][m]}{[m][m^2]} = N.m^{-2}$$

4.2) La force de traction implique un déplacement $\Delta L = L - L_0$. En reprenant l'équation précédente, on a :

$$E = \frac{FL_0}{\Delta L \pi R^2} = E = \frac{FL_0}{(L - L_0) * \pi R^2} = \frac{0{,}03 * 6{,}5}{(7{,}7 - 6{,}5) * \pi * (2{,}5.10^{-6})^2} = 8.10^9\ N.m^{-2}$$

Cette valeur est bien conforme à celle fournie par l'énoncé.

4.3) Plus une fibre est élastique, plus la force que l'on va appliquer va induire de déplacement, et donc plus ΔL va augmenter. L'allongement étant inversement proportionnel au module de traction E, plus l'allongement va augmenter, plus E va diminuer.

Ceci implique que les fibres dont les modules E sont faibles sont en fait les plus élastiques.

Du plus élastique au moins élastique :

Nylon > Soie d'araignée > Cheveu > Laine

Remarque : Le module de traction est également appelé module d'Young. Son unité est en fait des Pa (pascals). En effet, une pression est en fait le rapport d'une force sur une surface (lorsque l'on applique une pression sur un objet, on appuie, donc on utilise une force sur une surface !).

4.4) On peut traduire l'information donnée dans la question :

$$L = L_0 + 0{,}35 * L_0$$

Ce qui nous donne :

$$L - L_0 = \Delta L = 0{,}35 L_0$$

En utilisant la formule reliant l'allongement au module de traction, on a :

$$\frac{FL_0}{E\pi R^2} = 0{,}35L_0$$

Puis

$$\frac{F}{E\pi R^2} = 0{,}35$$

D'où :

$$F = 0{,}35 * E * \pi R^2$$

La force correspondante, en négligeant toutes autres forces appliquées à la masse, peut être approximée comme étant uniquement le poids. Ainsi, on a F = P = m*g, ce qui nous donne :

$$m * g = 0{,}35 * E * \pi R^2$$

$$m = \frac{0{,}35 * E * \pi R^2}{g} = \frac{0{,}35 * 8.10^9 * \pi * (2{,}5.10^{-6})^2}{9{,}8} = 5{,}6\ g$$

La masse calculée est la masse correspondante à la rupture du fil : on ne peut donc pas accrocher de masse valant 5,6 g. On prendra plutôt une masse de 5g.

EXERCICE III (spé) – EXTRACTION DE LA BAUXITE (5 points)

Questions préliminaires

1) La réaction mise en œuvre pour déterminer la concentration de la solution de soude pour le traitement de la bauxite est une réaction de titrage par de l'acide chlorhydrique, qui s'écrit donc :

$$H_3O^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightarrow \ 2H_2O_{(l)}$$

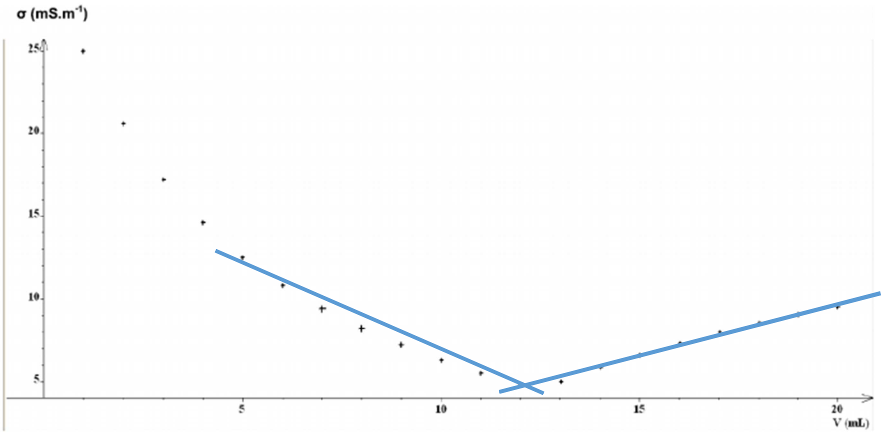
2) A l'équivalence, les réactifs ont été introduits et ont réagi dans les proportions stoechiométriques. On a alors :

$$n_{H_3O^+} = n_{HO^-}$$

D'où,

$$c_AV_E = c_BV_B$$

Pour déterminer le volume équivalent, on trace sur le graphe les deux droites ci-dessous :



V_E = 12 mL

Ces deux droites sont en fait des représentations linéaires de la décroissance et de la croissance de la courbe. L'intersection de ces deux droites donne un point dont l'abscisse correspond au volume équivalent.

On trouve environ 12 mL pour le volume équivalent V_E.

Ainsi,

$$c_B = \frac{c_A V_E}{V_B} = \frac{0,5 * 12,0}{5,0} = 1,2\, mol.L^{-1}$$

Cependant, il ne s'agit pas de la valeur de concentration finale : en effet, la solution qui a été titrée a été diluée dix fois, ce qui veut dire qu'il faut multiplier par un facteur 10 afin de retrouver la concentration initiale de la solution de soude :

$$c_0 = 10c_B = 12\, mol.L^{-1}$$

Problème : « Pour une heure de traitement de bauxite en continu, quelle masse d'hydroxyde de sodium solide faut-il introduire dans le réacteur afin de maintenir la concentration de la soude constante ? »

L'énoncé nous indique que « *Les besoins en soude solide correspondent :*

- *à la soude nécessaire à la réaction ;*
- *à la soude perdue lors du procédé notamment dans les boues (estimées à 2,5 % de la masse de soude utilisée pour le traitement de la bauxite).* »

Il faut donc prendre en compte ces deux cas (consommation lors de la réaction et perte).

Le débit massique de la bauxite est de 10 kg/h, ce qui veut dire que la réaction consomme 10 kg de bauxite par heure, ce qui correspond à 5,0 kg d'alumine par heure étant donné que la bauxite est composée pour moitié d'alumine.

L'équation de la réaction de transformation de l'alumine par la soude est :

$$Al_2O_3(s) + 2\ HO^-_{(aq)} + 3\ H_2O_{(\ell)} \rightarrow 2\ [Al(OH)_4]^-_{(aq)}$$

Ainsi, on en déduit les relations suivantes sur les quantités de matières :

$$n_{NaOH} = 2n_{Al_2O_3}$$

Puis,

$$\frac{m_{NaOH}}{M_{NaOH}} = \frac{2m_{Al_2O_3}}{M_{Al_2O_3}}$$

$$m_{NaOH} = 2M_{NaOH}\frac{m_{Al_2O_3}}{M_{Al_2O_3}} = 2 * (23,0 + 16,0 + 1,0) * \frac{5,0.10^3}{2 * 27,0 + 3 * 16,0} = 3,9\ kg$$

Il faut donc introduire 3,9 kg d'hydroxyde de sodium solide par heure pour maintenir la concentration en soude constante.

Mais il ne faut pas oublier les pertes !

L'énoncé nous dit le débit volumique de la solution de soude utilisée pour le traitement de la bauxite est de 338 L/h.

Cela nous donne un débit molaire de la solution de soude égale à :

$$n_{NaOH}(perte) = 338 * c_0 = 338 * 12 = 4056\ mol.h^{-1}$$

La valeur du débit massique correspondant vaut donc :

$$d_m = n_{NaOH}(perte) * M_{NaOH} = 4056 * (23,0 + 16,0 + 1,0) = 4056 * 40 = 162\ kg.h^{-1}$$

En une heure, on consomme alors 162 kg de soude. L'énoncé nous dit que 2,5% de la masse de soude utilisée pour le traitement de la bauxite est perdue dans la boue. Ainsi, la masse de soude perdue vaut :

$$m_{perdue} = 0,025 * 162 = 4,05 \approx 4,1\ kg$$

Au total, il faudra introduire une masse $m = m_{NaOH} + m_{perdue} = 3{,}9 + 4{,}1 = 8{,}0\ kg$ de NaOH dans le réacteur afin de maintenir la concentration de la soude constante.

L'énoncé nous dit que la masse de soude injectée au départ est de 165 kg, or la réaction ne nécessite que 3,9 kg de soude ! Que faire du surplus, c'est-à-dire des 165 – 8,0 = 157 kg de soude qui restent ? Il faut absolument le recycler !