

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

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

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.

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

EXERCICE I – VOL ZÉRO-G (6 points)

1. Etude du mouvement de chute libre

1.1) Un système en chute libre doit n'être 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 :

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

- 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 :

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

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 :

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

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

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

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 allons calculer sa valeur au départ de la parabole et à son sommet.

Ainsi, on obtient :

$$g(\text{départ}) = \frac{GM_T}{(R_T + z_1)^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} * \frac{5,97 \cdot 10^{24}}{(6,38 \cdot 10^6 + 7600)^2} \approx 9,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$g(\text{sommet}) = \frac{GM_T}{(R_T + z_2)^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} * \frac{5,97 \cdot 10^{24}}{(6,38 \cdot 10^6 + 8200)^2} \approx 9,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

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 \vec{v}_0 , donc :

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

Puis,

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

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 :

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

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,

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

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

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

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

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.

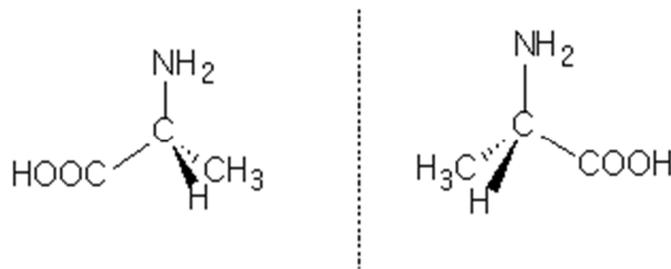
EXERCICE II – LA SOIE D'ARAIGNÉE (9 points)

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 NH₂ : ce sont donc des acides aminés.

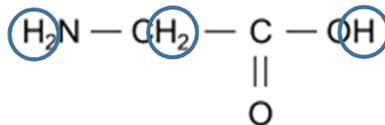
1.2) La molécule de glycine ne possède ni un carbone asymétrique, ni une double liaison C=C, elle ne peut donc pas avoir d'énantiomères, ni de diastéréoisomères, et donc par extension, pas de stéréoisomères.

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



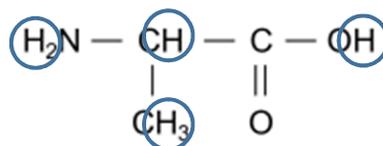
Ces deux représentations sont chirales, c'est-à-dire qu'elles sont images l'une de l'autre dans un miroir plan et non superposables : il s'agit donc d'énantiomères.

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 :

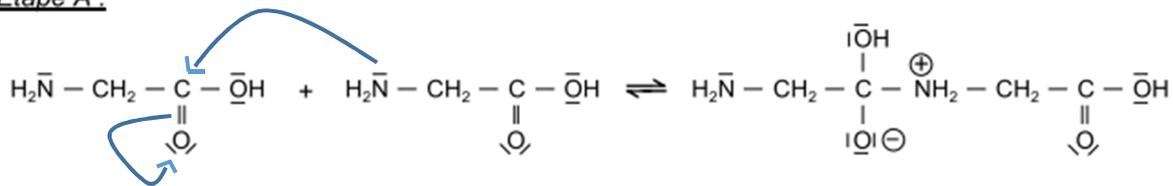
- Un quadruplet pour les protons du CH, qui sont couplés avec les trois protons du CH₃
- Un doublet pour les protons du CH₃ qui sont couplés avec le proton du CH

2. Biomimétisme chimique

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

2.2.1)

Étape A :



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 électro-négatif, 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 H₂O : il s'agit d'une réaction d'élimination.

2.3) Nous pouvons obtenir 4 dipeptides différents au total. En effet, le groupe NH₂ 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 NH₂ 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 :

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

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 :

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

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

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

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

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

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 $d = 4 \pm 0,3 \text{ mm}$.

En tenant compte de l'échelle, sachant que 31 mm équivaut à $100 \mu m$, 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 :

$$E = \frac{FL_0}{\Delta L \pi R^2} = E = \frac{FL_0}{(L - L_0) * \pi R^2} = \frac{0,03 * 6,5}{(7,7 - 6,5) * \pi * (2,5 \cdot 10^{-6})^2} = 8 \cdot 10^9 N.m^{-2}$$

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 :

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

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 :

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

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 – ÉTUDE D'UNE LOTION CAPILLAIRE (5 points)

1. Les deux phases de la lotion capillaire

1.1) L'éthanol, principal constituant de l'alcool, a pour formule semi-développée : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$. Il existe une différence d'électronégativité entre l'atome d'oxygène et celui d'hydrogène de la molécule d'éthanol : cette liaison est polarisée, la molécule est donc polaire.

L'eau est également un solvant polaire ; sachant que deux solvants polaires sont miscibles, on peut en déduire que l'eau et l'éthanol sont miscibles.

1.2) On lit sur l'étiquette du flacon les différents composants de la lotion. En étudiant les miscibilités de chacun des composants, et en sachant qu'il y a une phase huileuse et une phase hydroalcoolique, on a :

Dans la phase hydroalcoolique : eau, alcool dénaturé, chlorure de sodium.

Dans la phase huileuse : huiles essentielles, pétrole léger désodorisé, chlorophylle, camphre.

1.3) L'énoncé nous fournit une photo du flacon de la lotion capillaire :



On remarque que la phase supérieure correspond à la phase huileuse car elle représente un très faible volume par rapport au volume total. En effet, l'énoncé nous dit qu'elle ne représente que 7% contre 93% pour la phase hydroalcoolique. La phase huileuse contient de plus de la chlorophylle qui la colore en vert, ce qui nous confirme bien notre affirmation. Cette phase étant au-dessus de la phase hydroalcoolique, elle est donc moins dense que celle-ci.

1.4) Protocole de séparation des deux phases de la lotion :

- Verser la totalité de la solution dans une ampoule à décanter.
- Placer un bécher en dessous de l'ampoule pour recueillir la phase hydroalcoolique.
- Laisser décanter quelques minutes.
- Lorsque la séparation entre les deux phases est bien nette, ouvrir le robinet et le fermer lorsqu'on atteint la frontière.
- Mesurer le volume V de la solution à l'aide d'une éprouvette graduée.
- Calculer le rapport $\frac{V}{V_{total}}$ et vérifier que le pourcentage pour la phase hydroalcoolique correspond bien à 93%.

2. Vérification de la présence de camphre dans la phase huileuse

2.1) Le camphre possède une double liaison $C = O$: il appartient à la famille des cétones.

2.2) Le protocole de la chromatographie sur couche minces (CCM) est présenté ci-dessous.

Préparation de la cuve :

- Verser l'éluant : entre 5 et 10 mm de hauteur.
- Fermer la cuve.

- Laisser saturer pendant au moins 15 min (variable selon la température de la pièce). On pourra faciliter la saturation en plaçant un papier filtre imbibé d'éluant dans la cuve le long de la paroi.
- Préparation de l'échantillon.
- Dissoudre à hauteur de quelques pourcentages dans un solvant volatil.
- Préparation de la plaque.
- Tracé d'une ligne de dépôt (~10 mm du bord)
- Déposer à l'aide d'un capillaire les échantillons en gardant une distance d'au moins 7-8 mm entre chaque dépôt. Ne pas faire de dépôts à moins de 5 mm du bord. Le diamètre des dépôts ne doit pas excéder 3 mm. Sécher rapidement à l'aide d'un sèche-cheveux.

Elution :

- Placer la plaque dans la cuve en ouvrant et fermant celle-ci le plus rapidement possible.
- Laisser diffuser l'éluant le long de la plaque jusqu'à ~10 mm du haut de la plaque
- Sortir la plaque.
- Repérer le niveau maximum atteint par l'éluant.
- Sécher au sèche-cheveux.

Révélation :

- La révélation peut être effectuée à l'aide de réactifs spécifiques (diode, ninyhdrine, permanganate de potassium, etc.) ou à l'aide d'une lampe UV (port de lunettes de protection recommandé).
- Procéder enfin au calcul des rapports frontaux (Rf) définis pour chaque tâche comme le rapport de la distance parcourue par un dépôt (prendre le centre de la tache) sur la distance parcourue par l'éluant depuis la ligne de base. Les Rf sont reproductibles avec une tolérance de $\pm 5\%$.

3. Titrage des ions chlorure présents dans la phase hydroalcoolique

3.1) Le volume d'essai doit être prélevé avec une pipette jaugée de 10,0 mL pour assurer la précision de la mesure.

3.2) On ajoute de l'eau distillée afin d'immerger la sonde sans modifier la quantité de matière.

3.3) Le graphe possède un minimum, qui correspond à l'équivalence. On distingue alors deux phases : une avant l'équivalence, une après.

Avant l'équivalence, le milieu comprend des ions Ag^+ , Cl^- et NO_3^- . Chaque ion argent ajouté réagit directement avec les ions chlorure, ce qui fait que la concentration en ions chlorure diminue. Cependant, à chaque ajout d'ion argent, on ajoute également un ion nitrate.

Cependant, la conductivité molaire ionique des ions nitrates est inférieure à celle des ions chlorure, ce qui explique la diminution de la conductivité totale.

Après l'équivalence, tous les ions chlorure ont réagi, donc ils ne sont plus présents dans la solution. On continue à verser des ions argent qui s'accumulent avec les ions nitrates, donc la conductivité totale augmente.

3.4) Il y a équivalence lorsque les réactifs sont mélangés dans les proportions stoechiométriques de la réaction de dosage (c'est-à-dire qu'il y a changement de réactif limitant).

3.5) Pour vérifier cette information, il nous faut calculer la masse de chlorure de sodium présente dans la phase hydroalcoolique.

A l'équivalence, les réactifs ont été introduits et ont réagi dans les proportions stoechiométriques. Ainsi, on a :

$$n_{Cl} = V_E * c = 8,0 * 2,00 \cdot 10^{-2} = 0,16 \text{ mmol}$$

Ainsi, la masse de chlorure de sodium vaut :

$$m_{NaCl} = n_{Cl} * M_{NaCl} = 0,16 * (23 + 35,5) = 9,4 \text{ mg}$$

Ces quantités ont été calculées pour 10 mL de solution hydroalcoolique. La masse équivalente de 10 mL de cette solution vaut :

$$m_{hydro} = V * \rho = 10 * 0,975 = 9,75 \text{ g}$$

On peut alors calculer le pourcentage massique en chlorure de sodium correspondant :

$$\frac{9,4 \cdot 10^{-4}}{9,75} \approx 0,1\%$$

On nous donne dans l'énoncé une valeur de pourcentage valant 0,1 %, ce qui est conforme avec ce que nous venons de trouver.