Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

Baccalauréat général

Session 2021 – Métropole (candidats libres)

Épreuve de Spécialité Physique-Chimie

Sujet 1
Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 9 pages.

Exercice 1 — Missions sur la lune

1. Décollage depuis la Terre de la mission Apollo 11

1.1. On connaît la vitesse v_h du vaisseau Apollo 11 sur son orbite terrestre, et le rayon R_h de cette orbite. On a donc :

$$\boxed{t_h = \frac{1,5 \times 2\pi R_h}{v_h}} = \frac{1,5 \times 2\pi \times 6,56 \times 10^6}{7,79 \times 10^3} = 7937\,\text{s} = 2,20\,\text{h}$$

Le temps passé en orbite par l'équipage est donc de $\underline{t_h = 2\,\text{h}\,12\,\text{min}}$.

1.2. Étude énergétique.

1.2.1. En orbite terrestre, on a l'énergie cinétique :

$$\boxed{E_c = \frac{1}{2} m_1 {v_h}^2} = \frac{1}{2} \times 4,50 \times 10^4 \times (7,79 \times 10^3)^2 \underline{= 1,36 \times 10^{12}\,\text{J}}$$

1.2.2. L'énergie mécanique d'Appolo 11 sera donc, en orbite autour de la terre,

$$\boxed{E_m = E_c + E_p} = 1,36 \times 10^{12} - 2,74 \times 10^{12} \underline{= -1,37 \times 10^{12}\,\text{J}}$$

1.3. Mise en orbite.

1.3.1. On sait que juste avant le décollage, le vaisseau Apollo 11 a une énergie mécanique $E_{m,0}$. Il faut donc fournir, au minimum, une énergie

$$\boxed{\Delta E_m = E_m - E_{m,0}} = -1,37 \times 10^{12} - (-2,18 \times 10^{12}) = 1,44 \times 10^{12}\,\text{J}$$

Aussi, pour pouvoir mettre le vaisseau en orbite, Saturn V devra fournir une énergie minimale $\underline{\Delta E_m = 1,44 \times 10^{12}\,\text{J}}$. Ce qui est loin d'être l'énergie maximale que le lanceur peut fournir, il conviendra donc *a priori* parfaitement pour réussir la mise en orbite.

1.3.2. Le vaisseau a, avant le décollage, une énergie cinétique non nulle dans le référentiel géocentrique. Ceci s'expliquant par le fait que ce dernier est posé à la surface de la Terre, et tourne donc en même temps que cette dernière autour de son axe de rotation, lui conférant *de facto* une vitesse non négligeable dans ce référentiel. Sachant qu'en pratique, la zone de lancement est justement choisie de manière à avoir une vitesse la plus grande possible au départ, minimisant de manière non négligeable l'énergie à fournir pour la mise en orbite.

2. Michael Collins en orbite autour de la Lune lors de la mission Apollo 11

2.1. On étudie le vaisseau Apollo 11, supposé ponctuel de masse m_2, en orbite autour de la Lune à une altitude h_L.

On applique la 2ème loi de Newton dans le référentiel géocentrique :

$$m_2\vec{a} = \sum \vec{F_{ext}}$$

$$m_2\vec{a} = \vec{F_g}$$

$$m_2\vec{a} = \frac{Gm_2m_L}{(R_L + h_L)^2}\vec{n}$$

$$\vec{a} = \frac{Gm_L}{(R_L + h_L)^2}\vec{n}$$

2.2. On souhaite maintenant exprimer la vitesse du vaisseau sur son orbite. Or, dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme (ce qui est le cas ici) de rayon $(R_L + h_L)$, on sait que l'on a en norme :

$$a = \frac{v_2}{R_L + h_L} \implies v = \sqrt{(R_L + h_L)a}$$

Et finalement, en passant à la norme dans (**??**) et en injectant le résultat, il vient :

$$v^2 = (R_L + h_L)\frac{GM_L}{(R_L + h_L)^2} = \frac{GM_L}{R_L + h_L} \implies \boxed{v = \sqrt{\frac{GM_L}{R_L + h_L}}} \tag{2}$$

2.3. On connaît le rayon de l'orbite lunaire décrite par le vaisseau, donc on en connaît la circonférence. Et comme on connaît désormais la vitesse de ce dernier, on peut en tirer la période T donnée par :

$$T = \frac{2\pi(R_L + h_L)}{v} = \frac{2\pi(R_L + h_L)}{\sqrt{\frac{GM_L}{R_L + h_L}}} = 2\pi(R_L + h_L)\sqrt{\frac{R_L + h_L}{GM_L}}$$

Et finalement, en entrant $R_L + h_L$ dans la racine :

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_L + h_L)^3}{GM_L}}} \tag{3}$$

D'où,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(1,73 \times 10^6 + 110 \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 7,34 \times 10^{22}}} \underline{= 7088\,\text{s} = 1,97\,\text{h}}$$

Et les astronautes étant restés sur la Lune pendant 21 heures 36 minutes, le vaisseau aura fait pendant ce temps $n = \frac{21,6}{T} = \frac{21,6}{1,97} \underline{= 11\,\text{tours}}$.

3. Saut de John Young lors de la mission Apollo 16

3.1. On a suivi numériquement la position de John Young lors de son saut, et établi un modèle de sa trajectoire $y(t)$.
Et sa vitesse étant par définition $v_y(t) := \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$, il vient :

$$v_y(t) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(-0,86t^2 + 1,4t) \underline{= -1,72t + 1,4}$$

Et on lit donc aisément grâce à ce résultat, que $\underline{v_{0,y} = 1,4\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$.

3.2. On sait que pour une chute libre sans frottements, on a en appliquant le théorème de la résultante dynamique (autre nom du principe fondamental de la dynamique) :

$$a_y(t) = -g \implies v_y(t) = -gt + v_{0,y}$$

Alors par identification dans l'expression de la vitesse et en utilisant les résultats de la question précédente, on a bien $g_L = 1,72 \approx 1,7\,\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

3.3. Sur Terre, pour une chute libre en négligeant les frottements, les résultats utilisés sur la Lune restent valables, à condition de remplacer g_L par g_T. Et en particulier, on a la vitesse et donc la position :

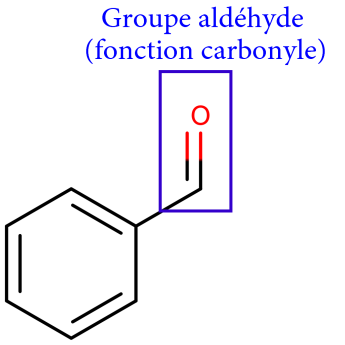
$$v_y(t) = -g_T t + v_{0,y} \implies \boxed{y_T(t) = -\frac{1}{2}g_T t^2 + v_{0,y}t}$$

Alors finalement, on trace cette fonction sur la calculatrice et on trouve $h_{\max} = 10\,\text{cm}$ et $\Delta t = 0,14\,\text{s}$. Ce qui est très faible par rapport aux performances observées sur la Lune, ce qui est compréhensible au vu de la masse de l'équipement porté par John Young.

Exercice A — Synthèse de Cannizzaro

1. Modélisation de la synthèse de Cannizzaro

1.1. On indique, sur la formule topologique du benzaldéhyde, le groupe fonctionnel :



1.2. L'équation de réaction est la suivante :

$$2\,C_6H_5{-}CHO + HO^- \longrightarrow C_6H_5{-}COO^- + C_6H_5{-}CH_2{-}OH$$

On reconnaît donc, dans cette réaction, le benzaldéhyde qui s'oxyde pour former des ions benzoate, mais qui est également réduit en alcool benzylique.

Aussi, cette réaction étant à la fois une oxydation et une réduction du benzaldéhyde, il s'agit d'une dismutation.

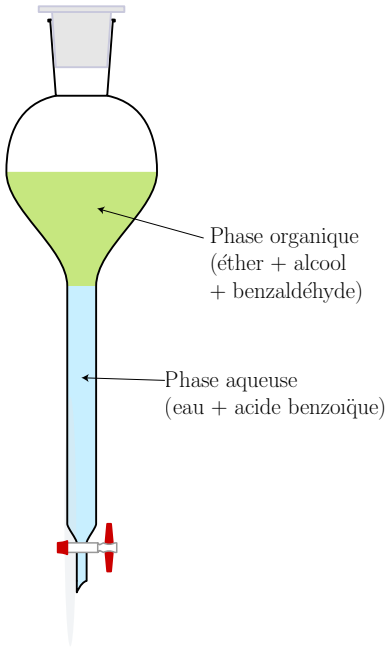
2. Optimisation de la synthèse de Cannizzaro

Les choix expérimentaux ne sont pas anodins. En effet :

- le montage à reflux permet, en chauffant, d'accélérer la réaction en chauffant, sans perdre de composants du milieu réactionnel (récupération des vapeurs) ;
- la solution concentrée d'hydroxyde de potassium permet de s'assurer d'être en milieu basique, donc thermodynamiquement favorable au sens direct en permettant l'oxydation du benzaldéhyde ;
- l'agitation permet une homogénéisation et donc de meilleures conditions permettant la réaction.

3. Séparation et contrôle de la pureté des produits de la synthèse

3.1. On a l'ampoule à décanter :



3.2. On remarque que parmi les produits de la synthèse, l'un (l'alcool benzylique) est soluble dans l'éther mais pas dans l'eau, tandis que l'autre (l'ion benzoate) est soluble dans l'eau mais pas dans l'éther. L'utilisation de l'éther pour séparer les produits de réaction est donc toute indiquée.

3.3. On souhaite, en fin de réaction, obtenir de l'acide benzoïque. Or, ce dernier est obtenu par passage des ions benzoate en milieu acide. et comme le pKa du couple acide benzoïque / ion benzoate est de $4,2$, passer en milieu très acide permet s'assurer de récupérer un maximum de produit.

3.4. Le bain d'eau et de glace permet de réduire la solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau, permettant d'en récupérer un maximum.

3.5. Une fois le solide formé, il suffit de le récupérer en éliminant l'eau. Une méthode possible est la filtration sur Büchner.

3.6. En exploitant les résultats de la CCM, on remarque que les produits A et B ne présentent pas de similitudes. Aussi, on peut en conclure que les phases aqueuse et organique ont été correctement séparées.

3.7. De plus, le chromatogramme permet de remarquer que :
— le produit A n'est pas parfaitement pur et contient encore des molécules de réactif ;
— le produit B est relativement pur, et a donc correctement été isolé.

Exercice B — Degré d'hydratation du chlorure de magnésium

1. Le cachet contient du chlorure de magnésium $MgCl_2(s)$. Sa dissolution dans l'eau est donc modélisée par l'équation de réaction :

$$MgCl_2(s) \longrightarrow Mg^{2+}(aq) + 2\,Cl^-(aq)$$

2. On souhaite préparer 100 mL de solution S_2, obtenue en diluant cinq fois la solution S_1. Le protocole est donc le suivant :
- Avec une pipette jaugée, prélever $V = 20\,mL$ de solution S_1 ;
- Verser ce volume dans une fiole jaugée de 100 mL ;
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (le bas du ménisque au niveau du trait de jauge) ;
- Boucher et homogénéiser la solution (en retournant la fiole bouchée deux ou trois fois) ;
- On se retrouve avec la solution S_2 prête à l'emploi.

3. Une espèce est dite « spectatrice » lorsqu'elle est présente dans le milieu réactionnel mais n'a aucun rôle dans la réaction (et n'apparaît donc pas dans l'équation de réaction).

4. Lors de la réaction, dans un premier temps le nombre d'ions va diminuer, les ions chlore étant consommés par réaction avec les ions argent introduits. Ce qui entraîne une diminution de la conductivité de la solution.

Puis, dans un second temps, les ions argent introduits ne seront pas tous consommés, et impliqueront donc une augmentation de la conductivité de la solution au fur et à mesure de leur ajout.

On mesure donc, à l'intersection des deux portions de courbe, un volume à l'équivalence $\underline{V_E = 9,0\,mL}$.

5. On titre la solution S_2 par une solution de nitrate d'argent, suivant la réaction :

$$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$$

Aussi, à l'équivalence, on a :

$$n_{ceAg}/_1 = n_{Cl}/_1$$

Ou, en termes de concentrations :

$$[Ag^+]V_E = [Cl^-]_2 V_2 \implies [Cl^-]_2 = \frac{[Ag^+]V_E}{V_2}$$

Or, la solution S_2 est obtenue en siluant 5 fois la solution initiale. D'où, il, vient :

$$[Cl^-]_1 = 5[Cl^-]_2$$

Et finalement,

$$\boxed{[Cl^-]_1 = 5\frac{[Ag^+]V_E}{V_2}} = 5 \times \frac{5,0 \times 10^{-2} \times 9}{10} \underline{= 2,25 \times 10^{-1}\,mol \cdot L^{-1}}$$

Et comme la concentration en ions chlorure est le double de la concentration apportée en chlorure de magnésium (deux ions chlorure par ion magnésium), il vient, en masse :

$$\boxed{m_{MgCl_2,0} = \frac{[Cl^-]_1 M_2}{2}} = \frac{2,25 \times 10^{-1} \times 95,3}{2} \underline{= 10,8\,g}$$

Finalement, un sachet analysé contient bien une masse de chlorure de magnésium $m = 10,8\,g$.

6. Enfin, si le sachet contient $m = 10,8\,\text{g}$ de chlorure de magnésium, alors il contient $m(H_2O) = 20,3 - 10,8 = 9,5\,\text{g}$ d'eau, ce qui correspond en quantité de matière à $n_{H_2O} = \frac{9,5}{18} = 5,28 \times 10^{-1}\,\text{mol}$.
Donc pour finir, le degré d'hydratation étant le rapport de la quantité de matière d'eau sur la quantité de matière de chlorure de magnésium, il vient :

$$\deg_{H_2O} = \frac{5,28 \times 10^{-1}}{1,13 \times 10^{-1}} = \underline{4,7}$$

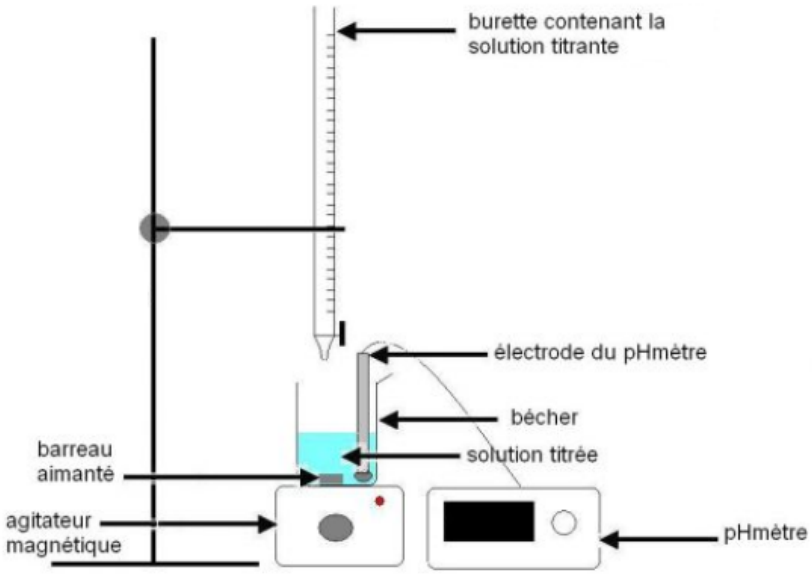
On remarque donc que le degré d'hydratation du sachet étudié est de $4,7$. Ce qui reste une valeur assez proche de celle attendue. Aussi, soit l'indication sur le sachet est une moyenne calculée par le fabriquant, soit les mesures nous ayant permis de calculer manquent légèrement de précision. Dans tous les cas, le résultat reste tout à fait correct pour une mesure expérimentale. (Finalement, le seul réel moyen de conclure avec précision sur la qualité des mesures expérimentales serait de faire un calcul d'incertitude sur l'expression finale du degré d'hydratation et vérifier que la mesure indiquée par le fabriquant se trouve dans l'intervalle de confiance.)

Exercice C — Le pomelo

1. Acidité titrable d'un jus de pomelo

1.1. La solution titrée étant le jus de pomelo frais et filtré, le pH de ce jus peut être lu pour un volume de solution titrante versé nul. Graphiquement, on lit donc $\underline{pH = 2,8}$. Ce qui est cohérent, le jus de pomelo est bien acide.

1.2. Le montage utilisé pour faire le titrage est le suivant :



1.3. Titrage suivi par colorimétrie

1.3.1. On titre le jus en suivant par colorimétrie. Par lecture graphique, on mesure un pH à l'équivalence valant $pH = 8$. Il nous faut donc un indicateur coloré dont la zone de virage se situe aux alentours de cette valeur de pH. Ce qui est le cas du rouge de crésol, donc la zone de virage est, d'après les données, $7,2 - 8,8$.

1.3.2. Aux alentours de l'équivalence, la solution contenant du rouge de crésol passera de jaune à rouge.

1.4. On souhaite calculer l'acidité titrable du jus de pomelo. Pour cela, on commence par déterminer, en exploitant le résultat du titrage, la quantité de matière d'acide citrique dans le jus.

La réaction est la suivante :

$$\mathrm{H_3A(aq) + 3\,HO^-(aq) \longrightarrow A^{3-}(aq) + 3\,H_2O(\ell)}$$

À l'équivalence, on a :

$$\frac{n_{\mathrm{H_3A}}}{1} = \frac{n_{\mathrm{HO^-}}}{3}$$

Ou, en fonction des concentrations :

$$[\mathrm{H_3A}]V_0 = \frac{[\mathrm{HO^-}]V_e}{3} \implies [\mathrm{H_3A}] = \frac{[\mathrm{HO^-}]V_e}{3V_0}$$

Ce qui donne finalement, en fonction de la concentration massique $C_m = [\mathrm{H_3A}]M(\mathrm{H_3A})$:

$$\boxed{C_m = \frac{[\mathrm{HO^-}]V_e M(\mathrm{H_3A})}{3V_0}} = \frac{0,5 \times 10 \times 192}{3 \times 20,0} \underline{= 16\,\mathrm{g \cdot L^{-1}}}$$

L'acidité titrable de ce jus de pomelo est donc de $C_m = 16\,\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, ce qui est un peu élevé par rapport à la valeur de référence donnée, mais toutefois cohérente (une dizaine de grammes par litre de jus).

2. Détermination de la quantité d'acide ascorbique dans le jus de pomelo

2.1. On cherche la concentration en diiode dans le mélange final par spectrophotométrie. Pour cela, il suffit d'utiliser la courbe d'étallonnage et placer sur cette droite le point d'ordonnée $A = 0,11$ puis de lire la valeur de l'abscisse.

En l'occurrence, on mesure graphiquement $C_F = 1,15 \times 10^{-3}\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
Ce qui correspond à une quantité de matière $n = C_F \times V_F = 1,15 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3} = 1,15 \times 10^{-5} mol$.
La quantité de diiode initial est $n_i = 8,0 \times 10^{-3} \times 5,0 \times 10^{-3} = 4,0 \times 10^{-5} mol$.
La quantité de diiode ayant réagi vaut donc $\Delta n = 4,0 \times 10^{-5} - 1,15 \times 10^{-5} = 2,85 \times 10^{-5} mol$.

2.2. Très logiquement, l'intégralité du diiode ayant été consommé aura réagi avec l'acide ascorbique. Aussi, il vient

$$C_{\text{asc}} = \frac{n}{v} = \frac{2,85 \times 10^{-5}}{5,0 \times 10^{-3}} = 5,7 \times 10^{-3}\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

2.3. On sait que $M_{asc} = 176 g/mol$.
Donc le titrage massique en ascide ascorbique est : $5,7 \times 10^{-3} \times 176 = 1,0 g/L$.

On remarque alors que pour un litre de jus de pomelo, on a un apport de $1,0$ gramme d'acide ascorbique. Un adulte doit donc, pour avoir un apport suffisant, boire au moins $V = \frac{0,1}{1,0} = 100\,\text{mL}$. On remarque donc que le jus de pomelo est un excellent moyen de combler une carence en vitamine C, une faible quantité de jus permettant un apport conséquent d'acide ascorbique.

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 21 juin 2021.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.