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 • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Physique-chimie

Session 2022 • Amérique du Sud • Jour 1

Code sujet **22-PYCJ1AS1** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Solution désinfectante — étude et titrage de l’acide lactique
17 réponses • sujet p. 2–14

Exercice A — Observation de la Lune depuis la Terre
9 réponses • sujet p. 6–16

Exercice B — Défibrillateur cardiaque implantable
6 réponses • sujet p. 9–10

Exercice C — Atterrissage du premier étage d’une fusée
6 réponses • sujet p. 11–13

Les numéros, parties et pages renvoient au sujet original. Chaque réponse rappelle la consigne, explique la démarche et donne le résultat.

Exercice 1

10 points

Solution désinfectante — étude et titrage de l'acide lactique

Partie A. Étude de l'acide lactique

Question 1.

Sujet p. 3

> Établir le schéma de Lewis de la molécule d'acide lactique. Entourer et nommer ses groupes caractéristiques.

La formule développée de l'acide lactique est $\mathrm{CH_3-CH(OH)-C(=O)-OH}$. Dans le schéma de Lewis, chaque atome d'oxygène porte deux doublets non liants ; les valences du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène sont alors respectées.

On entoure le groupe $-\mathrm{OH}$ lié au carbone central : c'est le groupe hydroxyle de la fonction alcool. On entoure également le groupe $-\mathrm{C(=O)-OH}$, c'est-à-dire le groupe carboxyle de la fonction acide carboxylique.

RÉPONSE À RETENIR

Schéma de Lewis : $\mathrm{CH_3-CH(OH)-C(=O)-OH}$, avec deux doublets non liants sur chacun des trois atomes d'oxygène. Groupes caractéristiques : hydroxyle de la fonction alcool et carboxyle de la fonction acide carboxylique.

Question 2.

Sujet p. 2, 3

> Le spectre IR de l'acide lactique est reproduit dans le sujet. Identifier deux bandes d'absorptions caractéristiques et repérer les liaisons correspondantes sur le schéma de Lewis de la molécule d'acide lactique.

Sur le spectre, une absorption correspond à une diminution de la transmittance. On repère une large bande d'absorption dans la zone d'environ 2500 à $3200\ \mathrm{cm^{-1}}$, caractéristique de la liaison O–H d'un acide carboxylique. On observe également une forte absorption vers $1700\ \mathrm{cm^{-1}}$, cohérente avec la liaison C=O d'un acide carboxylique, dont le domaine caractéristique fourni est 1680 à $1740\ \mathrm{cm^{-1}}$.

Sur le schéma de Lewis, ces bandes correspondent respectivement à la liaison O–H et à la liaison double C=O du groupe carboxyle $-\mathrm{C(=O)-OH}$.

RÉPONSE À RETENIR

Les deux bandes caractéristiques sont la large bande O–H d'acide carboxylique vers 2500–$3200\ \mathrm{cm^{-1}}$ et la bande C=O vers 1680–$1740\ \mathrm{cm^{-1}}$. Les liaisons à repérer sont celles du groupe carboxyle.

Question 3.

Sujet p. 2, 3

> Vérifier que la valeur de la concentration en acide lactique apporté dans la solution désinfectante est voisine de C = 0,20 mol·L⁻¹.

Dans $100\ \mathrm{g}$ de solution, la masse d'acide lactique est $m = 1{,}75\ \mathrm{g}$. Sa quantité de matière est $n = m/M$. Le volume de ces $100\ \mathrm{g}$ de solution vaut, avec $\rho = 1{,}00\ \mathrm{g\,mL^{-1}}$, $V = m_{\mathrm{solution}}/\rho = 100\ \mathrm{mL} = 0{,}100\ \mathrm{L}$.

Ainsi, $n = 1{,}75/90{,}1 = 1{,}94 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$, puis $C = n/V = (1{,}94 \times 10^{-2})/0{,}100 = 0{,}194\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$. Cette valeur est voisine de $0{,}20\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration apportée est $C = 0{,}194\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$, soit une valeur voisine de $0{,}20\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$.

Question 4.

Sujet p. 3

Rappeler la définition d'un acide de Brönsted.

Selon Brønsted, un acide est un donneur de proton : il est capable de céder un proton H^+ à une autre espèce chimique.

RÉPONSE À RETENIR

Un acide de Brønsted est une espèce chimique capable de céder un proton H^+.

Question 5.

Sujet p. 2, 3

Expliquer pourquoi, dans ces conditions, l'acide lactique est un acide faible. Un argument quantitatif est attendu.

Le pH permet d'estimer la concentration en ions oxonium : $[\text{H}_3\text{O}^+] = c^\circ 10^{-\text{pH}}$. Avec $c^\circ = 1\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$ et $\text{pH} = 2{,}3$, on obtient $[\text{H}_3\text{O}^+] \simeq 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$. En négligeant l'apport initial très faible de l'eau, cette concentration correspond à la quantité d'acide dissociée par unité de volume.

Le taux de dissociation est donc approximativement $[\text{H}_3\text{O}^+]/C = (5{,}0 \times 10^{-3})/0{,}20 = 2{,}5 \times 10^{-2}$, soit $2{,}5\ \%$. La dissociation étant très partielle, l'acide lactique est un acide faible dans ces conditions.

RÉPONSE À RETENIR

Environ $2{,}5\ \%$ de l'acide est dissocié : $[\text{H}_3\text{O}^+] \simeq 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$ pour $C \simeq 0{,}20\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$. L'acide lactique est donc faible dans ces conditions.

Question 6.

Sujet p. 3

On note AH la molécule d'acide lactique pour la suite de l'exercice. Écrire l'équation de la réaction modélisant la mise en solution aqueuse de cet acide.

L'acide AH cède un proton à l'eau. La réaction forme l'ion lactate A^- et l'ion oxonium H_3O^+. La double flèche traduit la transformation limitée d'un acide faible.

RÉPONSE À RETENIR

$$\text{AH(aq)} + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{A}^-\text{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+\text{(aq)}$$

Question 7.

Sujet p. 3, 14

Compléter, sur l'annexe 1 à rendre avec la copie, le tableau d'avancement associé à cette transformation chimique à l'aide des notations de l'énoncé : C, pH, V et c° , avec c° = 1 mol·L⁻¹, concentration standard.

Pour un volume V de solution préparé avec une concentration apportée C, la quantité initiale d'acide vaut CV. Avec l'avancement x, la quantité de AH diminue de x et celles de A^- et H_3O^+ augmentent chacune de x. L'eau est le solvant en grand excès et sa case est grisée dans le tableau de l'annexe.

En négligeant l'auto-ionisation de l'eau, $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = c^\circ 10^{-\text{pH}}$. Comme $n(\text{H}_3\text{O}^+) = x_f$, on a $x_f = c^\circ 10^{-\text{pH}} V$.

État du système	Avancement	AH (mol)	H_2O (ℓ)	A^- (mol)	H_3O^+ (mol)
État initial	$x = 0$	CV	Solvant en excès	0	0 (contribution de l'eau négligée)
État final	x_f	$CV - x_f$	Solvant en excès	x_f	$x_f = c^\circ 10^{-\mathrm{pH}} V$

RÉPONSE À RETENIR

À l'état final : $n(\mathrm{AH}) = CV - x_f$, $n(\mathrm{A^-}) = x_f$ et $n(\mathrm{H_3O^+}) = x_f = c^\circ 10^{-\mathrm{pH}} V$. L'eau reste en grand excès.

Question 8.

Sujet p. 3, 4

En utilisant la question précédente, exprimer la constante d'acidité K_a du couple AH/A^- en fonction des différentes concentrations à l'équilibre. En déduire la valeur de cette constante d'acidité. Commenter, sachant que la valeur de référence du pK_a du couple acide lactique/ion lactate vaut 3,9.

Pour $\mathrm{AH} + \mathrm{H_2O} \rightleftharpoons \mathrm{A^-} + \mathrm{H_3O^+}$, l'eau liquide, solvant pur, n'apparaît pas dans l'expression de la constante. En tenant compte de la concentration standard, $K_A = \dfrac{[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}}[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{c^\circ [\mathrm{AH}]_{\text{éq}}}$.

D'après le tableau d'avancement, et en négligeant l'auto-ionisation de l'eau, $[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}} = [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}} = 10^{-2{,}3} = 5{,}01 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$. De plus, $[\mathrm{AH}]_{\text{éq}} = C - [\mathrm{A^-}]_{\text{éq}} \simeq 0{,}20 - 0{,}00501 = 0{,}195\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$. Ainsi, avec $c^\circ = 1\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$, $K_A \simeq \dfrac{(5{,}01 \times 10^{-3})^2}{1 \times 0{,}195} = 1{,}29 \times 10^{-4}$. Le logarithme décimal donne $\mathrm{p}K_A = -\log_{10}(K_A) \simeq 3{,}89$.

RÉPONSE À RETENIR

$K_A \simeq 1{,}3 \times 10^{-4}$, soit $\mathrm{p}K_A \simeq 3{,}89$. Cette valeur est en accord avec la valeur de référence $\mathrm{p}K_A = 3{,}9$, compte tenu des arrondis.

Question 9.1.

Sujet p. 4

Établir, d'une part, la relation entre la concentration C en acide lactique apporté, [AH]éq et [A^-]éq et, d'autre part, la relation pH = pK_a + log([A^-]éq/[AH]éq).

La conservation de la matière pour les deux formes du couple donne $C = [\mathrm{AH}]_{\text{éq}} + [\mathrm{A^-}]_{\text{éq}}$. Par ailleurs, $K_A = \dfrac{[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}}[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{c^\circ [\mathrm{AH}]_{\text{éq}}}$ et $\mathrm{pH} = -\log_{10}([\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}/c^\circ)$. En réorganisant l'expression de K_A, puis en prenant le logarithme décimal, on obtient la relation demandée.

RÉPONSE À RETENIR

$C = [\mathrm{AH}]_{\text{éq}} + [\mathrm{A^-}]_{\text{éq}}$ et $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A + \log_{10}\left(\dfrac{[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{AH}]_{\text{éq}}}\right)$.

Question 9.2.

Sujet p. 4

À partir de ces deux relations, montrer que le pourcentage en acide AH, défini par 100 × [AH]éq/C, peut s'écrire 100/(1 + 10^(pH − pK_a)).

La relation obtenue en 9.1 donne $[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}}/[\mathrm{AH}]_{\text{éq}} = 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A}$. En utilisant aussi $[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}} = C - [\mathrm{AH}]_{\text{éq}}$, on a $(C - [\mathrm{AH}]_{\text{éq}})/[\mathrm{AH}]_{\text{éq}} = 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A}$. Donc $C/[\mathrm{AH}]_{\text{éq}} = 1 + 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A}$. En inversant et en multipliant par 100, on retrouve l'expression demandée.

RÉPONSE À RETENIR

$$100 \times \frac{[\mathrm{AH}]_{\text{éq}}}{C} = \frac{100}{1 + 10^{\mathrm{pH} - \mathrm{p}K_A}}.$$

Question 9.3.

Sujet p. 4

> Indiquer à quelle espèce chimique correspond la courbe 1 du diagramme de distribution du couple AH/A⁻. Justifier. Expliquer comment il est possible de retrouver la valeur du pKa à partir d'une lecture graphique.

À pH faible, l'espèce acide AH est majoritaire. La courbe qui vaut presque 100 % aux faibles pH puis décroît est donc celle de AH : c'est la courbe 1, rouge, sur la figure. Au croisement des deux courbes, chacune des espèces représente 50 % du couple, donc $[\mathrm{A}^-]_{\text{éq}} = [\mathrm{AH}]_{\text{éq}}$. Dans la relation de la question 9.1, le rapport vaut alors 1, son logarithme vaut 0 et $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A$.

RÉPONSE À RETENIR

La courbe 1 correspond à AH. L'abscisse du croisement des courbes, où chacune vaut 50 %, donne $\mathrm{p}K_A$: la lecture de la figure conduit à une valeur voisine de $3{,}9$.

Partie B. Titrage de l'acide lactique dans la solution désinfectante

Question 1.

Sujet p. 5

> Proposer un protocole expérimental pour préparer 100,0 mL de solution désinfectante diluée 5 fois.

Pour une dilution par 5 et un volume final de $100{,}0\ \mathrm{mL}$, il faut prélever $100{,}0/5 = 20{,}0\ \mathrm{mL}$ de solution mère. Rincer une pipette jaugée de $20{,}0\ \mathrm{mL}$ avec un peu de solution désinfectante, prélever ce volume et le transférer dans une fiole jaugée de $100{,}0\ \mathrm{mL}$. Ajouter de l'eau distillée, homogénéiser, compléter jusqu'au trait de jauge, boucher et homogénéiser de nouveau par retournements.

RÉPONSE À RETENIR

Prélever $20{,}0\ \mathrm{mL}$ de solution mère avec une pipette jaugée, les transférer dans une fiole jaugée de $100{,}0\ \mathrm{mL}$, compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, puis homogénéiser.

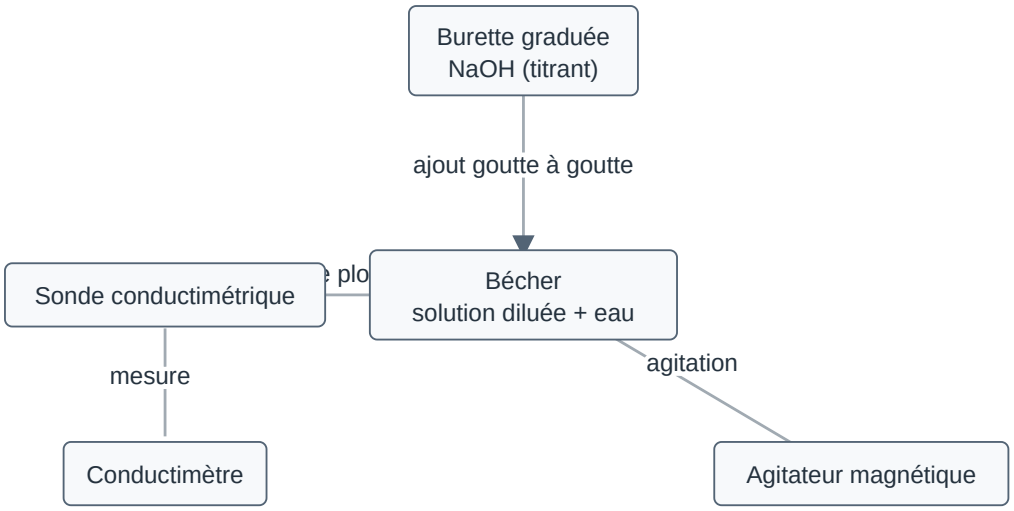
Question 2.

Sujet p. 5

> Schématiser et légender le dispositif de titrage sur la copie. Le titrage est réalisé sur 20,0 ± 0,05 mL de solution désinfectante diluée, additionnés de 150 mL d'eau distillée, par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration en soluté apporté C_B = (1,0 ± 0,1) × 10⁻¹ mol·L⁻¹.

La burette graduée contient la solution titrante d'hydroxyde de sodium. Elle est placée au-dessus d'un bécher contenant $20{,}0\ \mathrm{mL}$ de solution désinfectante diluée et $150\ \mathrm{mL}$ d'eau distillée. Une sonde conductimétrique plongée dans le bécher est reliée à un conductimètre. Un barreau aimanté et un agitateur magnétique homogénéisent le mélange pendant l'ajout du titrant.

Dispositif de titrage conductimétrique



Le titrant est ajouté progressivement et la conductivité du mélange est mesurée.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le dispositif comporte une burette de solution de NaOH au-dessus du bécher contenant l'acide dilué et l'eau distillée, une sonde conductimétrique reliée à un conductimètre et un agitateur magnétique.

Question 3.

Sujet p. 5

> Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

Les ions hydroxyde apportés par la soude réagissent avec l'acide lactique. Le transfert d'un proton forme l'ion lactate et de l'eau ; les atomes et les charges sont équilibrés.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\mathrm{AH(aq) + HO^-(aq) \rightarrow A^-(aq) + H_2O(\ell)}$

Question 4.

Sujet p. 5, 14

> Interpréter qualitativement le changement de pente au voisinage de l'équivalence observé sur la courbe de titrage.

Avant l'équivalence, les ions hydroxyde ajoutés sont consommés par la réaction. Des ions sodium et lactate restent en solution ; leur formation et leur accumulation font augmenter progressivement la conductivité. Après l'équivalence, les ions hydroxyde ajoutés sont en excès et s'accumulent dans le mélange. Leur contribution ionique, importante, rend la conductivité croissante plus rapidement. Le changement de pente traduit donc le passage de l'équivalence.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Après l'équivalence, les ions $\mathrm{HO^-}$ ajoutés ne sont plus consommés et s'accumulent en solution : la conductivité augmente plus rapidement, d'où la pente plus forte.

Question 5.

Sujet p. 5, 14

> Déterminer graphiquement la valeur du volume à l'équivalence V_E sur l'annexe 1 à rendre avec la copie.

On repère l'équivalence au changement de pente de la courbe, ou à l'intersection des portions approximativement linéaires avant et après ce changement. La lecture de l'annexe situe ce changement aux environs de $8\ \mathrm{mL}$. L'incertitude-type à utiliser ensuite est celle que l'énoncé fixe, soit $0{,}1\ \mathrm{mL}$.

L'axe horizontal de l'annexe porte l'intitulé « Volume d'acide », alors que le protocole indique que la solution d'hydroxyde de sodium est le titrant ajouté. La lecture de l'abscisse est donc comprise comme le volume de solution titrante ajouté, conformément au protocole.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $V_E \simeq 8{,}0\ \mathrm{mL}$.

Question 6.

Sujet p. 2, 5, 14

> On considère par la suite que l'incertitude-type sur V_E est u(V_E) = 0,1 mL. Évaluer la concentration C de la solution en acide lactique avant dilution. Évaluer l'incertitude-type sur la mesure sans prendre en compte la contribution liée à la dilution. Commenter.

À l'équivalence, les proportions stœchiométriques de la réaction sont 1:1. Pour l'échantillon dilué, $C_{\text{diluée}} V_A = C_B V_E$. La solution avant dilution étant cinq fois plus concentrée, $C = 5 C_{\text{diluée}} = 5 C_B V_E / V_A$.

Avec $C_B = 1{,}0 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$, $V_E = 8{,}0\ \mathrm{mL}$ et $V_A = 20{,}0\ \mathrm{mL}$, en utilisant les mêmes unités pour les deux volumes, on obtient $C = 5 \times 0{,}10 \times 8{,}0 / 20{,}0 = 0{,}20\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$.

La relation d'incertitude fournie s'applique au calcul de la concentration diluée ; le facteur 5, considéré exact ici, ne modifie pas l'incertitude relative. Ainsi, $\dfrac{u(C)}{C} = \sqrt{(0{,}05/20{,}0)^2 + (0{,}1/8{,}0)^2 + (0{,}01/0{,}10)^2} = 0{,}101$. On en déduit $u(C) = 0{,}20 \times 0{,}101 \simeq 0{,}020\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$. La contribution dominante est celle de l'incertitude sur C_B. La valeur obtenue est compatible avec $0{,}194\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$, calculée à partir des données de masse.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Avant dilution, $C = 0{,}20\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$, avec $u(C) \simeq 0{,}02\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$, sans prendre en compte l'incertitude liée à la dilution. Cette valeur est compatible avec $0{,}194\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$.

Exercice A

5 points

Observation de la Lune depuis la Terre

1. La face cachée de la Lune

Question 1.1.

Sujet p. 6

> Établir l'expression de la période de révolution T_L de la Lune autour de la Terre, puis calculer sa valeur. Données : constante de gravitation universelle G = 6,67 × 10⁻¹¹ m³·kg⁻¹·s⁻² ; distance moyenne Terre-Lune d_TL = 3,844 × 10⁵ km ; masse de la Terre M_T = 5,97 × 10²⁴ kg ; norme du vecteur vitesse du centre de la Lune sur son orbite v_L = √(GM_T/d_TL).

Dans le modèle d'une orbite circulaire de rayon moyen d_{TL}, la période est la longueur de l'orbite divisée par la vitesse du centre de la Lune :

$$T_L = \frac{2\pi d_{TL}}{v_L}.$$

En utilisant $v_L = \sqrt{GM_T/d_{TL}}$, on obtient :

$$T_L = 2\pi\sqrt{\frac{d_{TL}^3}{GM_T}}.$$

Conversion en unités SI : $d_{TL} = 3{,}844 \times 10^5\ \text{km} = 3{,}844 \times 10^8\ \text{m}$. La vitesse vaut alors $v_L = \sqrt{\frac{(6{,}67\times10^{-11})(5{,}97\times10^{24})}{3{,}844\times10^{8}}} \simeq 1{,}02 \times 10^3\ \text{m}\,\text{s}^{-1}$. Ainsi, $T_L = \frac{2\pi(3{,}844\times10^{8})}{1{,}02\times10^{3}} \simeq 2{,}37 \times 10^6\ \text{s}$. En divisant par $86\,400\ \text{s}\,\text{jour}^{-1}$, cela donne environ $27{,}5$ jours.

RÉPONSE À RETENIR

$$T_L = 2\pi\sqrt{\frac{d_{TL}^3}{GM_T}} \simeq 2{,}37 \times 10^6\ \text{s} \simeq 27{,}5\ \text{jours}.$$

Question 1.2.

Sujet p. 6

> Comparer la valeur de T_L à la période de rotation de la Lune sur elle-même P_L = 27,3 jours.

La période de révolution calculée à la question 1.1 vaut environ $27{,}5$ jours ; la période de rotation donnée vaut $P_L = 27{,}3$ jours. Elles sont très proches, avec un écart d'environ $0{,}2$ jour. La petite différence est compatible avec le calcul effectué à partir de valeurs moyennes et avec les approximations du modèle.

RÉPONSE À RETENIR

$T_L \simeq P_L$: la Lune effectue approximativement une rotation sur elle-même pendant une révolution autour de la Terre.

Question 1.3.

Sujet p. 6, 15

> Sur le schéma donné en annexe 2 à rendre avec la copie, ajouter la position de la Lune et du point P aux dates P_L/4, P_L/2 et 3P_L/4 en justifiant votre réponse. En déduire, dans le cadre de ce modèle simple, pourquoi on parle de « face cachée de la Lune ».

À chaque fraction de période, la Lune parcourt la même fraction de son orbite. Comme sa période de rotation est égale, à l'approximation près, à sa période de révolution, elle tourne du même angle sur elle-même pendant ce temps. Le point P, initialement du côté de la Lune opposé à la Terre sur l'annexe, reste donc du côté opposé à la Terre.

Pour placer les positions sur l'annexe, on peut choisir, par exemple, le sens antihoraire à partir de la position initiale dessinée : à $P_L/4$, placer la Lune un quart de tour plus loin sur l'orbite, à $P_L/2$ un demi-tour plus loin, et à $3P_L/4$ trois quarts de tour plus loin. À chacune de ces positions, placer P du côté opposé à la Terre. Le sujet ne fixant pas le sens orbital sur le schéma, le choix du sens horaire est également possible, à condition de conserver le même sens pour les trois positions.

Cette rotation synchronisée fait que la même face lunaire reste tournée vers la Terre. Le point P, situé sur la face opposée, n'est donc pas visible depuis la Terre dans ce modèle simple.

RÉPONSE À RETENIR

À $P_L/4$, $P_L/2$ et $3P_L/4$, la Lune a parcouru respectivement un quart, un demi et trois quarts de son orbite ; P reste à chaque fois du côté opposé à la Terre. La face opposée à la face constamment tournée vers la Terre est appelée « face cachée ».

2. Observation de la Lune depuis la Terre

Question 2.1.

Sujet p. 6, 7

> Calculer l'angle θ sous lequel est vu le cratère Tycho depuis la Terre. En déduire s'il est possible de distinguer les contours du cratère à l'œil nu. Données : diamètre du cratère Tycho = 86 km ; distance moyenne Terre-Lune d_TL = 3,844 × 10⁵ km ; pouvoir séparateur de l'œil ε = 2,9 × 10⁻⁴ rad ; on suppose que tan(θ) ≈ θ avec θ exprimé en rad.

Pour un angle petit, la géométrie du schéma et l'approximation $\tan(\theta) \simeq \theta$ donnent $\theta \simeq D/d_{TL}$, où $D = 86\ \mathrm{km}$ est le diamètre du cratère. Les deux longueurs étant exprimées dans la même unité :

$$\theta \simeq \frac{86}{3{,}844 \times 10^{5}} = 2{,}24 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}.$$

Le pouvoir séparateur de l'œil est $\varepsilon = 2{,}9 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}$. Pour distinguer les contours, l'angle apparent doit au moins atteindre cette valeur ; ici, $\theta < \varepsilon$.

RÉPONSE À RETENIR

Le cratère est vu sous un angle d'environ $2{,}2 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}$, inférieur au pouvoir séparateur de l'œil. Ses contours ne sont donc pas distinguables à l'œil nu.

Question 2.2.

Sujet p. 7, 16

> Parmi les deux lentilles utilisées, identifier celle qui joue le rôle de l'oculaire et celle qui joue le rôle de l'objectif.

L'objectif est la lentille qui reçoit en premier la lumière venant de l'objet et forme l'image intermédiaire. L'oculaire est la lentille placée ensuite, du côté de l'observateur. Sur le schéma de l'annexe 3, la lumière venant de l'objet rencontre L1 avant L2.

RÉPONSE À RETENIR

L1 joue le rôle de l'objectif et L2 celui de l'oculaire.

Question 2.3.

Sujet p. 8, 16

> Sur le schéma donné en annexe 3 à rendre avec la copie, construire la marche du faisceau lumineux issu du point B∞ considéré à l'infini au travers de la lunette ; faire apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 et l'angle θ′ sous lequel est vue l'image finale A′B′ de A∞B∞ à travers la lunette.

Les rayons issus de B_∞, considéré à l'infini, arrivent parallèles entre eux sur L1. L'objectif les fait converger en B_1, dans son plan focal image. Le point A_∞, situé sur l'axe, donne $A_1 = F_1'$. Pour B_∞ placé sous l'axe sur le schéma, B_1 se trouve de l'autre côté de l'axe.

Dans le réglage afocal représenté, le plan focal image de L1 coïncide avec le plan focal objet de L2 : $F_1' = F_2$. L'image intermédiaire A_1B_1 est donc dans le plan focal objet de l'oculaire. Après L2, tracer des rayons parallèles entre eux : ils correspondent à l'image finale $A'B'$ située à l'infini. Indiquer θ' entre leur direction et l'axe optique.

RÉPONSE À RETENIR

Construire le faisceau parallèle incident issu de B_∞, puis le faire converger par L1 en B_1, dans le plan focal commun où $F_1' = F_2$. Tracer ensuite, après L2, un faisceau parallèle incliné par rapport à l'axe et repérer l'angle θ' entre cet axe et les rayons émergents. L'image finale $A'B'$ est à l'infini.

Question 2.4.

Sujet p. 8

> Expliquer pourquoi cette lunette est qualifiée d'afocale et justifier l'intérêt de ce réglage.

Une lunette est afocale si un faisceau parallèle incident ressort parallèle : l'image finale d'un objet à l'infini est alors elle-même à l'infini. Cette condition est réalisée lorsque l'image intermédiaire formée par l'objectif se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'œil peut ainsi observer sans devoir accommoder fortement, ce qui rend l'observation plus confortable.

RÉPONSE À RETENIR

La lunette est afocale parce qu'elle transforme un faisceau parallèle incident en un faisceau parallèle émergent. Ce réglage permet une observation confortable par un œil peu accommodant.

Question 2.5.

Sujet p. 8

> Exprimer le grossissement de la lunette en fonction de θ et θ′.

Le grossissement angulaire est le rapport de l'angle sous lequel l'image est observée à travers la lunette à l'angle sous lequel l'objet est vu à l'œil nu. Ici, comme la relation admise pour la lunette donne un grossissement positif, on prend les angles comme des valeurs positives (ou leurs valeurs absolues).

RÉPONSE À RETENIR

$$G = \frac{|\theta'|}{|\theta|}.$$

Si les angles sont définis comme des valeurs positives, cela s'écrit simplement $G = \theta'/\theta$.

Question 2.6.

Sujet p. 6, 7, 8

> Déterminer la valeur limite de la distance focale de l'oculaire qu'il faut associer à un objectif de distance focale 300 mm pour pouvoir distinguer l'ensemble de montagnes qui occupe le centre du cratère Tycho. Le candidat est invité à présenter sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.

La base de l'ensemble de montagnes s'étale sur environ $D_m = 15\ \mathrm{km}$. Son angle apparent depuis la Terre, avant la lunette, vaut, pour un petit angle :

$$\theta_m \simeq \frac{D_m}{d_{TL}} = \frac{15}{3{,}844 \times 10^5} \simeq 3{,}90 \times 10^{-5}\ \mathrm{rad}.$$

Pour que l'œil distingue cet ensemble, l'angle après grossissement doit atteindre au moins le pouvoir séparateur : $G\theta_m \geq \varepsilon$. Il faut donc $G \geq \frac{2{,}9\times10^{-4}}{3{,}90\times10^{-5}} \simeq 7{,}43$. Or, pour la lunette, $G = f'_{obj}/f'_{oc}$. Avec $f'_{obj} = 300\ \mathrm{mm}$, la condition devient $f'_{oc} \leq 300/7{,}43 \simeq 40{,}4\ \mathrm{mm}$.

RÉPONSE À RETENIR

La distance focale limite de l'oculaire est d'environ $40\ \mathrm{mm}$. Pour distinguer l'ensemble de montagnes, il faut choisir un oculaire de distance focale inférieure ou égale à cette valeur, associé à l'objectif de $300\ \mathrm{mm}$.

Exercice B

5 points

Défibrillateur cardiaque implantable

Question 1.

Sujet p. 9, 10

> Les quatre graphiques de la page suivante représentent des évolutions possibles de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps. Déterminer celui qui correspond à la première phase de fonctionnement en justifiant la réponse. Dans cette première phase, K1 est fermé et K2 est ouvert ; au début de cette phase, pris comme origine des temps, le condensateur est déchargé.

Au début de la première phase, le condensateur est déchargé : sa tension vaut donc 0 V. K1 est fermé et K2 est ouvert ; le montage élévateur charge alors le condensateur. La tension doit augmenter à partir de 0 V et tendre vers la tension de charge de 800 V. Parmi les quatre courbes de la page 10, seule celle du graphique n°3 présente cette évolution.

RÉPONSE À RETENIR

La première phase correspond au **graphique n°3** : la tension augmente de 0 V et tend vers 800 V.

Question 2.

Sujet p. 9, 10

> À l'issue de la première phase, la charge du condensateur étant terminée, on passe à la deuxième phase de fonctionnement. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C(t) lors de cette seconde phase.

Pendant la deuxième phase, K1 est ouvert et K2 fermé : le condensateur se décharge dans la résistance r, qui modélise le cœur. On note i le courant de décharge et $q = Cu_C$ la charge du condensateur. La loi d'Ohm donne $i = u_C/r$. Comme la charge du condensateur diminue pendant la décharge, $\mathrm{d}q/\mathrm{d}t = -i$. Or $\mathrm{d}q/\mathrm{d}t = C\,\mathrm{d}u_C/\mathrm{d}t$. En combinant ces relations, on obtient l'équation différentielle.

RÉPONSE À RETENIR

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{rC}u_C = 0 \qquad \text{soit} \qquad rC\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = 0.$$

Question 3.

Sujet p. 9, 10

> À la date t_1, l'interrupteur K2 est fermé. Vérifier que la solution de cette équation différentielle peut s'écrire sous la forme $u_C(t) = A \cdot \exp(-(t - t_1)/\tau)$. Exprimer le temps caractéristique τ en fonction de r et C et calculer sa valeur.

Pour vérifier la forme proposée, on dérive $u_C(t) = A\exp\left(-\frac{t-t_1}{\tau}\right)$, ce qui donne $\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\frac{1}{\tau}u_C(t)$. Dans l'équation différentielle de la question 2, cette expression impose $-1/\tau + 1/(rC) = 0$, donc $\tau = rC$. Avec $r = 10\,\Omega$ et $C = 50\,\mu\mathrm{F} = 50 \times 10^{-6}\,\mathrm{F}$, on calcule le temps caractéristique en unités SI.

RÉPONSE À RETENIR

La forme proposée est bien solution pour $\tau = rC$. Ainsi,

$$\tau = 10 \times 50 \times 10^{-6} = 5,0 \times 10^{-4}\,\mathrm{s} = 0,50\,\mathrm{ms}.$$

Question 4.

Sujet p. 9, 10

> Déterminer la valeur du paramètre A sachant qu'à l'instant t = t_1, la tension aux bornes du condensateur $u_C(t_1)$ vaut 800 V.

À l'instant $t = t_1$, l'exponentielle vaut $\exp(0) = 1$. L'expression de la solution donne donc $u_C(t_1) = A$. La condition initiale indiquée dans l'énoncé fixe directement la valeur de A.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{A = 800\,\text{V}}.$$

Ainsi, pendant la décharge, $u_C(t) = 800\exp\left(-\frac{t-t_1}{5{,}0\times10^{-4}}\right)$ V, avec les temps exprimés en secondes.

Question 5.

Sujet p. 10

> Estimer la durée approximative du « choc électrique ». Commenter.

Une décharge exponentielle n'atteint jamais rigoureusement zéro. On estime généralement sa durée à environ cinq temps caractéristiques : après cette durée, la tension vaut encore $\exp(-5)$ fois sa valeur initiale, soit environ 0,0067, donc moins de 1 %.

RÉPONSE À RETENIR

La durée approximative du choc est $5\tau = 5 \times 0,50\,\text{ms} = 2,5\,\text{ms}$, soit quelques millisecondes. C'est cohérent avec la description d'un choc électrique très bref.

Question 6.

Sujet p. 9, 10

> Donner l'allure de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps lors d'un cycle complet charge-décharge du condensateur.

Au cours de la première phase, le condensateur se charge : sa tension part de 0 V et augmente en tendant vers 800 V, comme sur le graphique n°3. Lorsque la charge est terminée, à l'instant t_1, la tension vaut 800 V. Au passage à la décharge, elle reste continue, puis décroît exponentiellement vers 0 V selon la relation établie à la question 4. La valeur de R n'étant pas donnée, on ne peut pas chiffrer la durée de la charge.

RÉPONSE À RETENIR

L'allure du cycle est une **montée de 0 V vers 800 V** pendant la charge, suivie d'une **décroissance exponentielle de 800 V vers 0 V** pendant la décharge, sans saut de tension au changement de phase.

Exercice C

5 points

Atterrissage du premier étage d'une fusée

Question 1.

Sujet p. 11, 12

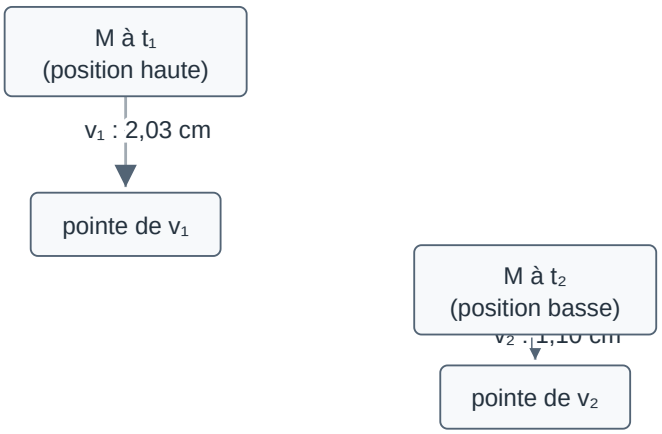
> Représenter sur un schéma le vecteur vitesse du point M aux instants t_1 = 0,50 s et t_2 = 2,50 s en utilisant l'échelle de représentation suivante : 1 cm sur votre feuille correspond à 6,0 m·s^{-1}.

La modélisation du graphique 1 donne, en unités SI, $v_y(t) = 2{,}80t - 13{,}6$. Le mouvement est vertical et l'axe Oy est orienté vers le haut.

À $t_1 = 0{,}50$ s, $v_y(t_1) = 2{,}80 \times 0{,}50 - 13{,}6 = -12{,}2\ \text{m s}^{-1}$. À $t_2 = 2{,}50$ s, $v_y(t_2) = 2{,}80 \times 2{,}50 - 13{,}6 = -6{,}6\ \text{m s}^{-1}$. Les deux composantes étant négatives, les vecteurs vitesse sont dirigés vers le bas.

Avec l'échelle demandée, les longueurs à tracer sont $12{,}2/6{,}0 \simeq 2{,}03$ cm et $6{,}6/6{,}0 = 1{,}10$ cm. La position à t_1 est plus haute que celle à t_2, comme l'indiquent les altitudes du graphique 2.

Vecteurs vitesse de M aux deux dates



Les flèches sont dirigées vers le bas. Le schéma situe M plus haut à t_1 qu'à t_2 ; les longueurs de flèche indiquent celles à tracer sur la copie selon l'échelle donnée.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> À $t_1 = 0{,}50$ s, tracer depuis la position de M un vecteur vertical vers le bas de longueur environ **2,0 cm**.
> À $t_2 = 2{,}50$ s, tracer depuis la position de M un vecteur vertical vers le bas de longueur environ **1,1 cm**.

Question 2.

Sujet p. 11, 12

> Déterminer la valeur de l'accélération et commenter le signe de la projection de l'accélération suivant Oy. Qualifier le mouvement.

L'accélération verticale est la dérivée de la coordonnée verticale de la vitesse. La pente de la droite du graphique 1, modélisée par $v_y(t) = 2{,}80t - 13{,}6$, est constante :

$$a_y = \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = +2{,}80\ \mathrm{m\,s^{-2}}.$$

Le signe positif signifie que l'accélération est orientée vers le haut, dans le sens de l'axe Oy. Sur l'intervalle représenté, v_y est négative : le premier étage descend. L'accélération est donc opposée au mouvement et la valeur de la vitesse diminue. Le mouvement est vertical rectiligne uniformément varié, et il est ralenti pendant cette descente.

RÉPONSE À RETENIR

$a_y = +2{,}80\ \mathrm{m\,s^{-2}}$, vers le haut. Le mouvement est vertical rectiligne uniformément varié et ralenti pendant la descente.

Question 3.

Sujet p. 11, 12

> Représenter, sur un schéma, les forces qui modélisent les principales actions qui s'exercent sur le premier étage de la fusée étudiée de manière à rendre compte du signe de la projection de l'accélération suivant Oy. Justifier.

Le système étudié est le premier étage de la fusée. Son poids $\vec{P}$ est dirigé vers le bas. Le moteur de la fusée exerce une poussée vers le haut. Si l'on tient aussi compte de l'action de l'air, la force de traînée est dirigée vers le haut puisque la fusée descend.

D'après la deuxième loi de Newton, la résultante des forces a le même sens que l'accélération. Comme $a_y > 0$, la résultante est dirigée vers le haut. Dans un modèle ne retenant que le poids et la poussée, la poussée est donc supérieure au poids. Si la traînée est représentée, la somme de la poussée et de la traînée est supérieure au poids.

Forces principales exercées sur le premier étage

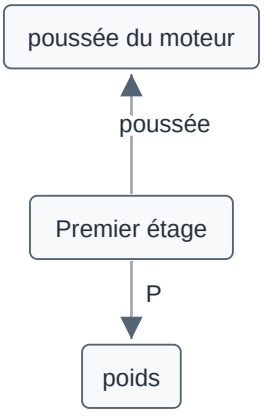


Schéma qualitatif. La résultante des forces est vers le haut, conformément au signe positif de l'accélération.

RÉPONSE À RETENIR

Représenter le poids vers le bas et la poussée du moteur vers le haut ; la résultante des forces doit être orientée vers le haut. Dans le modèle à deux forces, la poussée est supérieure au poids. La traînée de l'air, si elle est prise en compte, est également dirigée vers le haut.

Question 4.

Sujet p. 12, 13

En exploitant les graphiques 1 et 2, montrer que l'équation horaire y = f(t) du mouvement du point M peut s'écrire : y = 1,40 t² − 13,6 t + 33 avec y en m et t en s.

Le graphique 1 donne $v_y(t) = 2{,}80t - 13{,}6$, et $v_y = \mathrm{d}y/\mathrm{d}t$. En intégrant par rapport au temps, on obtient $y(t) = 1{,}40t^2 - 13{,}6t + y_0$, où $y_0 = y(0)$. D'après le graphique 2, l'altitude à $t = 0$ est d'environ $33\ \mathrm{m}$, donc $y_0 = 33\ \mathrm{m}$.

La dérivée de l'expression obtenue redonne bien la vitesse modélisée par le graphique 1, et sa valeur initiale est cohérente avec le graphique 2.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{y(t) = 1{,}40t^2 - 13{,}6t + 33}$$

avec y en mètres et t en secondes.

Question 5.

Sujet p. 11, 12, 13

Déterminer la valeur de la vitesse du système lorsqu'il touche le sol en admettant que l'accélération ne varie pas sur les derniers mètres.

Le sol correspond à $y = 0$. En utilisant l'équation horaire donnée à la question 4, on cherche les solutions de $1{,}40t^2 - 13{,}6t + 33 = 0$. Le discriminant vaut $\Delta = (-13{,}6)^2 - 4 \times 1{,}40 \times 33 = 0{,}16$, d'où les deux solutions $t = (13{,}6 \pm 0{,}4)/2{,}80$, soit $t \simeq 4{,}71\ \mathrm{s}$ et $t = 5{,}00\ \mathrm{s}$. Le premier contact avec le sol correspond à la première solution, car la fusée est en descente à cet instant.

Avec la modélisation de la vitesse, $v_y(4{,}71) = 2{,}80 \times 4{,}71 - 13{,}6 \simeq -0{,}40\ \mathrm{m\,s^{-1}}$. Le signe indique une vitesse vers le bas ; sa valeur est donc $|v_y| \simeq 0{,}40\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

RÉPONSE À RETENIR

Au premier contact avec le sol, $v_y \simeq -0{,}40\ \mathrm{m\,s^{-1}}$, soit une valeur de vitesse d'environ $0{,}40\ \mathrm{m\,s^{-1}}$, vers le bas.

Question 6.

Sujet p. 11, 13

Préciser si l'atterrissage s'effectue « en douceur ».

Le sujet définit un atterrissage « en douceur » par une valeur de la composante verticale de la vitesse inférieure à $6\ \mathrm{m\,s^{-1}}$. La valeur obtenue à l'impact est environ $0{,}40\ \mathrm{m\,s^{-1}}$, donc elle respecte ce critère.

RÉPONSE À RETENIR

Oui. L'atterrissage s'effectue « en douceur » selon le critère donné, car $0{,}40\ \mathrm{m\,s^{-1}} < 6\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2022/spe-physique-chimie-2022-amerique-sud-1-sujet-officiel.pdf
© FormaV EI • Proposition de correction, distincte d'un corrigé officiel.

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.