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 2026 • Antilles-Guyane • Jour 1

Code sujet **26 - PYCJ1AG1** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Les 200 ans de la pastille de Vichy
18 réponses • sujet p. 2–14

Exercice 2 — Le césium 137 et l’essai Trinity
9 réponses • sujet p. 8–14

Exercice 3 — L’astéroïde 2024 PT5
12 réponses • sujet p. 10–15

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

Exercice 1

9 points

Les 200 ans de la pastille de Vichy

1. Composition en ions hydrogénocarbonate de la pastille de Vichy

Question Q1.

Sujet p. 2

> Représenter la formule semi-développée de la base conjuguée de l'ion hydrogénocarbonate.

La base conjuguée s'obtient lorsque l'ion hydrogénocarbonate perd un proton H^+. Le proton est porté par le groupe hydroxyle de la formule fournie ; après son départ, l'oxygène correspondant porte une charge négative.

RÉPONSE À RETENIR

La formule semi-développée de la base conjuguée est $^-$**O–C(=O)–O**$^-$, soit l'ion carbonate CO_3^{2-}.

Question Q2.

Sujet p. 2

> Justifier le caractère amphotère de l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-.

Une espèce est amphotère si elle peut céder un proton et en capter un. L'ion HCO_3^- peut céder H^+ pour donner CO_3^{2-}, ou capter H^+ pour donner H_2CO_3.

RÉPONSE À RETENIR

- $HCO_3^-(aq) \rightleftharpoons CO_3^{2-}(aq) + H^+(aq)$: HCO_3^- se comporte comme un acide ;
- $HCO_3^-(aq) + H^+(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$: HCO_3^- se comporte comme une base.

L'ion hydrogénocarbonate est donc **amphotère**.

Question Q3.

Sujet p. 2, 3

> Tracer le diagramme de prédominance des deux couples acide-base auxquels appartient l'ion hydrogénocarbonate. La solution S_1 a un pH de 9,0 ; les pK_a des couples sont 6,4 et 10,3.

Pour un couple acide/base, la forme acide prédomine lorsque pH < pK_a et la forme basique lorsque pH > pK_a. À pH = pK_a, les deux formes sont en proportions égales.

RÉPONSE À RETENIR

Pour les deux couples indiqués dans le sujet, le diagramme de prédominance, dans le sens des pH croissants, est :

$CO_2(aq)$ **— pH = 6,4 —** $HCO_3^-(aq)$ **— pH = 10,3 —** $CO_3^{2-}(aq)$

À pH = 6,4, $CO_2(aq)$ et $HCO_3^-(aq)$ sont en proportions égales ; à pH = 10,3, $HCO_3^-(aq)$ et $CO_3^{2-}(aq)$ sont en proportions égales.

Question Q4.

Sujet p. 3

> La solution S_1 a un pH de 9,0. En déduire que l'ion hydrogénocarbonate est la forme majoritaire contenue dans

cette solution.

Le pH de S_1 vaut 9,0. Il est supérieur à 6,4 : dans le couple $CO_2(aq)/HCO_3^-(aq)$, HCO_3^- prédomine. Il est inférieur à 10,3 : dans le couple $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}(aq)$, HCO_3^- prédomine également.

RÉPONSE À RETENIR

À pH = 9,0, l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^- est donc la **forme majoritaire** de la solution S_1.

Question Q5.

Sujet p. 2, 3

Une pastille de Vichy, de masse 2,64 g, contient 0,22 % en masse d'ions hydrogénocarbonate. Calculer la masse m_f d'ions hydrogénocarbonate contenus dans une pastille.

La fraction massique d'ions hydrogénocarbonate est 0,22 % = 0,0022. La masse recherchée est cette fraction multipliée par la masse totale de la pastille.

RÉPONSE À RETENIR

$m_f = 2,64\ \text{g} \times 0,0022 = 0,005808\ \text{g}$. À deux chiffres significatifs, $m_f = 5,8 \times 10^{-3}\ \text{g}$ d'ions HCO_3^- par pastille.

Question Q6.

Sujet p. 3

Écrire l'équation de la réaction support du titrage des ions hydrogénocarbonate $HCO_3^-(aq)$ par la solution titrante d'acide chlorhydrique, qui apporte les ions $H_3O^+(aq)$.

L'ion oxonium H_3O^+ réagit avec l'ion hydrogénocarbonate. La réaction acide-base produit du dioxyde de carbone et de l'eau ; les atomes et les charges sont équilibrés dans l'équation suivante.

RÉPONSE À RETENIR

$HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow CO_2(aq) + 2\ H_2O(l)$

Question Q7.

Sujet p. 3, 14

Le volume V_E de solution titrante versé à l'équivalence est compris entre 10,0 mL et 15,0 mL. Déterminer sa valeur en réalisant une construction sur l'annexe 1 à rendre avec la copie.

Sur l'annexe 1 (page 14), on repère l'équivalence au point d'inflexion de la courbe pH = f(V), qui correspond à l'extrémum de la courbe $\mathrm{d}pH/\mathrm{d}V$. On lit l'abscisse de cet extrémum dans l'intervalle 10,0 à 15,0 mL demandé.

RÉPONSE À RETENIR

La courbe dérivée atteint son minimum vers $V_E = 12,0\ \text{mL}$, valeur confirmée par l'indication donnée ensuite dans le sujet.

Question Q8.

Sujet p. 3

On admet que le volume équivalent vaut V_E = 12,0 mL. La solution titrante a une concentration c_A = 0,50 × 10^{-2} mol·L^{-1}. Calculer la quantité de matière n_1 d'ions hydrogénocarbonate titrés dans le volume V_1 = 50,0 mL de

solution S_1.

À l'équivalence, la réaction est dans les proportions stœchiométriques 1:1 : la quantité de HCO_3^- titrée dans le prélèvement est égale à la quantité de H_3O^+ versée. Conversion : $V_E = 12,0\ \text{mL} = 0,0120\ \text{L}$. On applique $n = cV$.

RÉPONSE À RETENIR

$n_1 = c_A V_E = (0,50 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1})(0,0120\ \text{L}) = 6,0 \times 10^{-5}\ \text{mol}$. Ainsi, $n_1 = 6,0 \times 10^{-5}\ \text{mol}$.

Question Q9.

Sujet p. 3

Montrer que la masse expérimentale m_exp d'ions hydrogénocarbonate contenus dans une pastille de Vichy vaut 7,3 × 10⁻³ g.

Le prélèvement titré de 50,0 mL représente la moitié du volume total de S_1, qui est de 100 mL. En supposant la solution homogène, la quantité d'ions HCO_3^- dans toute la solution est donc deux fois celle du prélèvement. On calcule ensuite la masse avec $m = nM$, où $M(\text{HCO}_3^-) = 61,0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

$n_{\text{total}} = n_1 \times \dfrac{V_0}{V_1} = 6,0 \times 10^{-5} \times \dfrac{100}{50,0} = 1,2 \times 10^{-4}\ \text{mol}$.

$m_{\text{exp}} = n_{\text{total}} M = (1,2 \times 10^{-4})(61,0) = 7,32 \times 10^{-3}\ \text{g}$. Donc $m_{\text{exp}} \approx 7,3 \times 10^{-3}\ \text{g}$ par pastille.

Question Q10.

Sujet p. 3, 4

Vérifier si la masse expérimentale m_exp d'ions hydrogénocarbonate est compatible avec la valeur de référence m_f calculée à partir des données du fabricant. Utiliser la relation d'incertitude donnée, avec u(V_E) = 0,2 mL et u(c_A) = 0,01 × 10⁻² mol·L⁻¹ ; une valeur de z supérieure à 2 indique que la mesure n'est pas compatible avec la référence.

La valeur de référence calculée à la question Q5 est $m_f = 5,808 \times 10^{-3}\ \text{g}$. D'après la relation fournie, les incertitudes relatives sont $u(c_A)/c_A = (0,01 \times 10^{-2})/(0,50 \times 10^{-2}) = 0,020$ et $u(V_E)/V_E = 0,2/12,0 = 0,0167$.

RÉPONSE À RETENIR

Avec $m_{\text{exp}} = 7,3 \times 10^{-3}\ \text{g}$:

$u(m_{\text{exp}}) = 7,3 \times 10^{-3} \sqrt{0,020^2 + 0,0167^2} \approx 1,9 \times 10^{-4}\ \text{g}$.

$z = \dfrac{|m_{\text{exp}} - m_f|}{u(m_{\text{exp}})} = \dfrac{|7,3 \times 10^{-3} - 5,808 \times 10^{-3}|}{1,9 \times 10^{-4}} \approx 7,9$.

Comme $z > 2$, la masse mesurée est **incompatible** avec la valeur de référence calculée à partir des données du fabricant.

Question Q11.

Sujet p. 4

> Proposer une interprétation du résultat obtenu à la question précédente en considérant la composition des agents d'enrobage, en partie constitués d'ions carboxylate représentés à la figure 3.

Les agents d'enrobage contiennent aussi des ions carboxylate $\mathrm{R{-}COO^-}$. Ces ions peuvent réagir avec les ions oxonium selon $\mathrm{R{-}COO^- + H_3O^+ \rightarrow R{-}COOH + H_2O}$: ils consomment donc une partie du titrant acide.

RÉPONSE À RETENIR

Si cette consommation d'acide est attribuée à tort aux seuls ions HCO_3^-, la quantité de matière et la masse expérimentales d'ions hydrogénocarbonate sont surestimées. Cela peut expliquer l'incompatibilité constatée à la question Q10.

Question Q12.

Sujet p. 4

> Le pH à l'équivalence du titrage de l'eau minérale de Vichy vaut 4,3. À partir des caractéristiques des indicateurs colorés de la figure 4, choisir en justifiant un indicateur adapté au titrage et préciser le changement de couleur observé.

Le pH à l'équivalence est 4,3. L'indicateur choisi doit avoir une zone de virage qui contient cette valeur. Le vert de bromocrésol vire entre 3,8 et 5,4 ; sa zone contient donc le pH d'équivalence. Les zones des autres indicateurs proposées ne contiennent pas 4,3.

RÉPONSE À RETENIR

L'indicateur adapté est le **vert de bromocrésol**. Le titrage par l'acide fait évoluer la solution du côté basique, bleu, au côté acide, jaune : le changement observé est **bleu vers jaune**, avec une teinte verte dans la zone de virage.

Question Q13.

Sujet p. 2, 3, 4

> La concentration en masse d'ions hydrogénocarbonate dans l'eau minérale de Vichy vaut c_me = 4,37 × 10³ mg·L⁻¹. Calculer le volume V_Vichy d'eau minérale qu'il faut boire pour ingérer la même quantité d'ions hydrogénocarbonate que celle contenue dans une pastille. Exprimer le résultat en mL et commenter.

On compare la concentration en masse de l'eau minérale à la masse de HCO_3^- annoncée pour une pastille par le fabricant, calculée en Q5 : $m_f = 5,808 \times 10^{-3}\ \mathrm{g}$. Conversion de la concentration : $4,37 \times 10^3\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}} = 4,37\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$. On utilise $V = m/c_m$.

RÉPONSE À RETENIR

$V_{\mathrm{Vichy}} = \dfrac{5,808 \times 10^{-3}\ \mathrm{g}}{4,37\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}} = 1,33 \times 10^{-3}\ \mathrm{L} = \mathbf{1,33}\ \mathrm{mL}$ environ. Il s'agit d'un très petit volume d'eau minérale, en raison de sa forte concentration en ions hydrogénocarbonate.

Si l'on choisissait plutôt de comparer à la masse expérimentale mesurée en Q9, on trouverait environ 1,67 mL ; le calcul demandé ici est rapporté à la masse de référence issue des données du fabricant.

2. Arôme contenu dans la pastille de Vichy

Question Q14.

Sujet p. 5

> À partir des schémas de la figure 5, identifier le montage utilisé pour réaliser l'hydrodistillation de la solution obtenue en dissolvant 10 pastilles de Vichy dans 100 mL d'eau.

En hydrodistillation, les vapeurs issues du ballon passent dans un réfrigérant incliné, s'y condensent, puis le distillat est recueilli dans un récipient. Sur la figure 5, cette disposition correspond au montage B ; le montage A présente un réfrigérant vertical, typique d'un montage à reflux.

RÉPONSE À RETENIR

Le montage utilisé pour réaliser l'hydrodistillation est le **montage B**.

Question Q15.

Sujet p. 5

> À partir des données physico-chimiques de la figure 6, justifier le choix du dichlorométhane comme solvant d'extraction de la phase odorante du distillat.

Un solvant d'extraction doit dissoudre l'espèce recherchée et permettre de séparer la phase obtenue de la phase aqueuse. D'après la figure 6, la phase huileuse odorante est très soluble dans le dichlorométhane, tandis que celui-ci est quasi insoluble dans l'eau et dans l'eau salée.

RÉPONSE À RETENIR

Le dichlorométhane extrait efficacement les espèces odorantes et forme une phase organique distincte, que l'on peut séparer de la phase aqueuse par décantation. Il convient donc comme solvant d'extraction.

Question Q16.

Sujet p. 6

> Le dépôt 1 du chromatogramme est constitué de la phase organique extraite du distillat et le dépôt 2 d'une huile essentielle commerciale de menthe verte. À partir de la figure 7, déduire la nature probable de l'arôme contenu dans une pastille de Vichy.

Sur le chromatogramme de la figure 7 (page 6), les taches des dépôts 1 et 2 apparaissent aux mêmes hauteurs : elles ont donc des migrations identiques dans les conditions de l'expérience. Le dépôt 1 est l'extrait du distillat et le dépôt 2 une huile essentielle commerciale de menthe verte.

RÉPONSE À RETENIR

Le chromatogramme indique que l'extrait contient des espèces communes à l'huile essentielle de menthe verte. L'arôme contenu dans la pastille est donc probablement un **arôme de menthe verte**.

3. Composition en sucre d'une boisson à base de pastilles de Vichy

Question Q17.

Sujet p. 6

> Déterminer le nombre de groupes hydroxyle apparaissant sur la représentation de la molécule de saccharose de la figure 9.

On compte les groupes notés –OH ou HO– sur la représentation de la figure 9. Les oxygènes intégrés aux cycles et à la liaison entre les deux cycles ne sont pas des groupes hydroxyle.

RÉPONSE À RETENIR

La représentation comporte **8 groupes hydroxyle –OH**.

Question Q18.

Sujet p. 7

À l'aide de la courbe d'étalonnage de la figure 10 et des mesures réalisées sur un échantillon de boisson dégazée (V_boisson = 268,0 mL et m_boisson = 276,8 g), vérifier l'information du fabricant selon laquelle 100 mL de cette boisson contiennent 9,5 g de sucre.

On calcule d'abord la masse volumique de l'échantillon avec $\rho = m/V$, puis on lit sur la courbe d'étalonnage la concentration massique en saccharose correspondante. Enfin, on convertit cette concentration en quantité de sucre pour 100 mL et on la compare à l'indication du fabricant.

RÉPONSE À RETENIR

$\rho = \dfrac{276,8\ \text{g}}{268,0\ \text{mL}} = 1,0328\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, soit environ $1,033\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. La lecture de la courbe d'étalonnage pour cette masse volumique donne une concentration d'environ $95\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Ainsi, pour 100 mL : $95 \times 0,100 = 9,5\ \text{g}$.

À la précision de lecture graphique près, la mesure est cohérente avec l'indication du fabricant : **l'information est vérifiée**.

Exercice 2

5 points

Le césium 137 et l'essai Trinity

1. Étude de la désintégration des noyaux de césium 137

Question Q1.

Sujet p. 8

> Donner la composition d'un noyau de césium 137.

Dans la notation ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$, le numéro atomique Z est le nombre de protons et le nombre de neutrons est $A - Z$. Pour ${}^{137}_{55}\mathrm{Cs}$, on a $137 - 55 = 82$ neutrons.

RÉPONSE À RETENIR

Un noyau de césium 137 contient **55 protons et 82 neutrons**.

Question Q2.

Sujet p. 8

> Le césium 137 est un noyau émetteur de type β et se désintègre en un noyau de baryum 137. Écrire l'équation de cette désintégration.

Le numéro atomique passe de 55 à 56 tandis que le nombre de masse reste égal à 137 : il s'agit d'une désintégration β^-. L'équation doit conserver le nombre de masse et la charge électrique. Une désintégration β^- émet un électron et un antineutrino électronique.

Vérification : les nombres de masse sont égaux (137 des deux côtés) et les nombres de charge sont conservés, car $55 = 56 + (-1)$.

RÉPONSE À RETENIR

$$ {}^{137}_{55}\mathrm{Cs} \longrightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu}_e . $$

Question Q3.

Sujet p. 8

> Établir que l'évolution du nombre N de noyaux de césium 137 au cours du temps est régie par l'équation différentielle dN/dt = −λN.

Les données donnent $A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$ et $A(t) = \lambda N(t)$. En égalant ces expressions, on obtient $-\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = \lambda N(t)$. On isole alors la dérivée de N.

RÉPONSE À RETENIR

$$ \boxed{\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = -\lambda N} . $$

Question Q4.

Sujet p. 8

> Vérifier que N(t) = $N_0 e^{-\lambda t}$ est une solution de l'équation différentielle précédente.

On dérive la fonction proposée, en considérant N_0 et λ constants :

$$\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = N_0(-\lambda)e^{-\lambda t} = -\lambda\left(N_0 e^{-\lambda t}\right) = -\lambda N(t).$$

Elle vérifie donc l'équation différentielle. Elle satisfait aussi la condition initiale : $N(0) = N_0$.

RÉPONSE À RETENIR

$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ est bien une solution de $\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = -\lambda N$, avec $N(0) = N_0$.

Question Q5.

Sujet p. 8

On note $t_{1/2}$ le temps de demi-vie du césium 137. Montrer que le temps de demi-vie est lié à la constante radioactive par la relation $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$.

Par définition de la demi-vie, $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$. En utilisant la loi de décroissance :

$$N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \quad \Longrightarrow \quad e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2}.$$

En prenant le logarithme népérien, $-\lambda t_{1/2} = -\ln 2$, d'où la relation demandée.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}}.$$

Question Q6.

Sujet p. 8, 9, 14

Exploiter la courbe de l'annexe 2 donnant l'évolution du pourcentage de noyaux de césium 137 pour estimer la valeur de la constante radioactive du césium 137, exprimée en an⁻¹. Faire apparaître la construction graphique sur l'annexe 2 à rendre avec la copie.

Sur l'annexe 2, on repère $50\,\%$ sur l'axe vertical, puis on lit l'abscisse du point de la courbe correspondant. La lecture graphique donne environ $t_{1/2} \approx 30$ ans. On utilise ensuite la relation de Q5, $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$. L'unité de λ est l'inverse de l'unité de temps lue sur le graphique, soit an^{-1}.

RÉPONSE À RETENIR

$$\lambda \approx \frac{\ln 2}{30\ \mathrm{ans}} \approx 2{,}3 \times 10^{-2}\ \mathrm{an}^{-1}.$$

La constante radioactive estimée graphiquement vaut donc environ $0{,}023\ \mathrm{an}^{-1}$.

Question Q7.

Sujet p. 9

Le terme « pourcentage » de la ligne 9 du programme correspond à la grandeur 100 × N/N₀. Recopier sur la copie la ligne 9 du programme Python et la compléter.

La loi établie précédemment est $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$. Ainsi, la grandeur demandée, $100 \times \dfrac{N}{N_0}$, est égale à $100e^{-\lambda t}$. Avec l'estimation graphique de Q6, $\lambda \approx 0{,}023\ \mathrm{an}^{-1}$, et le temps t en années comme dans le programme, on complète l'expression de l'exponentielle ainsi :

RÉPONSE À RETENIR

```
pourcentage = 100*np.exp(-0.023*t)
```

2. Activité de la trinitite

Question Q8.

Sujet p. 9

> On ne considère que la radioactivité de la trinitite due au césium 137, de constante radioactive λ = 0,0231 an⁻¹. Montrer que l'activité A(t) d'un échantillon de trinitite est donnée par A(t) = $A_0 \cdot e^{-lt}$, où $A_0 = \lambda N_0$ est l'activité de l'échantillon lors de sa formation.

La loi de décroissance radioactive donne $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$. Comme $A(t) = \lambda N(t)$, avec λ constante, on substitue l'expression de $N(t)$:

$$A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

À la formation de l'échantillon, pour $t = 0$, l'activité vaut $A_0 = \lambda N_0$. Dans l'exponentielle, t doit être exprimé dans l'unité correspondant à λ ; ici, avec $\lambda = 0{,}0231\ \text{an}^{-1}$, t est en années.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{A(t) = A_0 e^{-\lambda t}}, \qquad \boxed{A_0 = \lambda N_0}.$$

Question Q9.

Sujet p. 9

> En 2010, l'activité du césium 137 contenu dans un gramme de trinitite a été mesurée à A_étude = 48,3 Bq. La détention d'une source radioactive contenant du césium 137 est exemptée de déclaration si son activité massique ne dépasse pas 10 Bq·g⁻¹. À partir des résultats de l'étude menée en 2010, déterminer la masse de trinitite à partir de laquelle une demande de détention doit être effectuée en 2026, puis commenter cette valeur.

De 2010 à 2026, il s'écoule $\Delta t = 16$ ans. L'activité par gramme est multipliée par le facteur de décroissance $e^{-\lambda \Delta t}$. En appliquant la valeur fournie pour 2010 :

$$a_{2026} = 48{,}3\, e^{-0{,}0231 \times 16}\ \text{Bq g}^{-1} \approx 33{,}4\ \text{Bq g}^{-1}.$$

Il faut distinguer l'activité massique, exprimée en Bq g^{-1}, de l'activité totale, exprimée en Bq. La règle citée dans le sujet fixe littéralement une limite d'activité massique à $10\ \text{Bq g}^{-1}$: l'activité massique calculée en 2026 dépasse cette limite. Cette règle, prise telle qu'elle est écrite, ne permet donc pas de déduire une masse-seuil : tout échantillon de trinitite considéré a la même activité par gramme.

Si la question vise plutôt un seuil d'activité totale de $10\ \text{Bq}$, alors, pour une masse m exprimée en grammes, l'activité totale est $A_{2026} = 33{,}4m\ \text{Bq}$. La masse correspondant à ce seuil est donc $m = 10/33{,}4$.

RÉPONSE À RETENIR

Selon la formulation littérale de la règle fournie, l'activité massique en 2026 est d'environ $33{,}4\ \text{Bq g}^{-1}$, supérieure à $10\ \text{Bq g}^{-1}$: aucun seuil en masse ne peut être calculé à partir de cette limite massique. **Si le seuil visé est plutôt une activité totale de** $10\ \text{Bq}$, on obtient $m = 10/33{,}4 \approx 0{,}30\ \text{g}$; la demande serait alors nécessaire à partir d'environ $0{,}30\ \text{g}$. Cette valeur est conditionnelle à cette interprétation de la question.

Exercice 3

6 points

L'astéroïde 2024 PT5

1. Mouvement autour de la Terre

Question Q1.

Sujet p. 10, 11

> Donner l'expression vectorielle de la force F⃗_T/L exercée par la Terre sur la Lune.

La force gravitationnelle est attractive : elle est dirigée de la Lune vers le centre de la Terre. Sur la figure 1, le vecteur unitaire $\vec{u}_n$ est orienté vers le centre de la trajectoire, donc vers la Terre. La valeur de cette force est $GM_TM_L/d_{T/L}^2$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{\vec{F}_{T/L} = \frac{GM_TM_L}{d_{T/L}^2}\,\vec{u}_n}$$

La force est appliquée au centre de masse de la Lune et dirigée vers la Terre.

Question Q2.

Sujet p. 10, 11

> En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'expression de la vitesse v_L de la Lune est donnée par la relation v_L = √(G·M_T/d_T/L).

Dans le référentiel géocentrique supposé galiléen, la deuxième loi de Newton appliquée à la Lune donne $M_L\vec{a} = \vec{F}_{T/L}$. Pour un mouvement circulaire uniforme de rayon $d_{T/L}$, l'accélération centripète vaut $\vec{a} = (v_L^2/d_{T/L})\vec{u}_n$. En utilisant l'expression de la force :

$$M_L\frac{v_L^2}{d_{T/L}}\vec{u}_n = \frac{GM_TM_L}{d_{T/L}^2}\vec{u}_n.$$

On simplifie par M_L et on isole la vitesse positive v_L.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{v_L = \sqrt{\frac{GM_T}{d_{T/L}}}}$$

Question Q3.

Sujet p. 11

> Déterminer l'expression de la période de révolution T de la Lune autour de la Terre en fonction de la distance d_T/L, puis vérifier que l'on peut retrouver l'expression de la troisième loi de Kepler : T²/d_T/L³ = 4π²/(G·M_T).

En une révolution, la Lune parcourt la circonférence $2\pi d_{T/L}$. La période est donc la distance parcourue divisée par la vitesse :

$$T = \frac{2\pi d_{T/L}}{v_L}.$$

En remplaçant v_L par l'expression obtenue en Q2, puis en élevant au carré, on retrouve la relation demandée.

RÉPONSE À RETENIR

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{d_{T/L}^3}{GM_T}}$$

Ainsi,

$$\boxed{\frac{T^2}{d_{T/L}^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}}.$$

Question Q4.

Sujet p. 11

> La période de révolution de la Lune autour de la Terre est de 27,3 jours. Calculer la valeur de la distance Terre-Lune d_T/L.

À partir de la relation de Q3, on isole la distance :

$$d_{T/L} = \left(\frac{GM_T T^2}{4\pi^2}\right)^{1/3}.$$

La période doit être exprimée en secondes, car G est donné en unités SI :

$$T = 27{,}3 \times 24 \times 3600 = 2{,}35872 \times 10^6 \ \text{s}.$$

Avec $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3\,\text{kg}^{-1}\,\text{s}^{-2}$ et $M_T = 5{,}972 \times 10^{24}\ \text{kg}$, l'application numérique donne :

$$d_{T/L} = \left(\frac{(6{,}67 \times 10^{-11})(5{,}972 \times 10^{24})(2{,}35872 \times 10^6)^2}{4\pi^2}\right)^{1/3} \ \text{m}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{d_{T/L} \approx 3{,}83 \times 10^8\ \text{m} = 3{,}83 \times 10^5\ \text{km}}$$

Question Q5.

Sujet p. 11, 12

> À partir de la relation donnée dans l'énoncé, calculer la valeur du rayon r_Hill de la sphère de Hill de la Terre.

On applique la relation donnée. Le rapport des masses est sans unité et la distance Terre-Soleil est donnée en kilomètres : le rayon obtenu sera donc en kilomètres.

$$r_{\text{Hill}} = (1{,}496 \times 10^8\ \text{km})\sqrt[3]{\frac{5{,}972 \times 10^{24}}{3(1{,}989 \times 10^{30})}}.$$

Le rapport sous la racine cubique vaut environ $1{,}001 \times 10^{-6}$, dont la racine cubique vaut environ $1{,}000 \times 10^{-2}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{r_{\text{Hill}} \approx 1{,}50 \times 10^6\ \text{km}}$$

Question Q6.

Sujet p. 11, 12

> Indiquer si la Lune se situe dans la sphère de Hill de la Terre.

La distance Terre-Lune calculée en Q4 est d'environ $3{,}83 \times 10^5\ \mathrm{km}$, alors que le rayon de la sphère de Hill obtenu en Q5 est d'environ $1{,}50 \times 10^6\ \mathrm{km}$. Ces deux distances sont mesurées à partir du centre de la Terre.

RÉPONSE À RETENIR

Comme $3{,}83 \times 10^5 < 1{,}50 \times 10^6$, la Lune se situe bien à l'intérieur de la sphère de Hill de la Terre.

Question Q7.

Sujet p. 11, 12

> À l'aide de la figure 2 et des réponses précédentes, donner un argument permettant d'expliquer la phrase de l'article : « l'astéroïde est venu orbiter autour de la Terre entre novembre et janvier, sans jamais être capturé par sa gravité ».

Le rayon de la sphère de Hill obtenu en Q5 vaut environ $1{,}50 \times 10^6\ \mathrm{km}$. Avec $1\ \mathrm{au} = 1{,}496 \times 10^8\ \mathrm{km}$, cela correspond à environ $0{,}010\ \mathrm{au}$. D'après la figure 2, entre novembre et janvier la distance Terre-astéroïde est de l'ordre de quelques centièmes d'unité astronomique, environ $0{,}04$ à $0{,}05\ \mathrm{au}$, donc nettement supérieure au rayon de Hill.

L'astéroïde est ainsi hors de la sphère de Hill pendant la période évoquée : dans cette région, l'influence gravitationnelle de la Terre ne domine pas celle du Soleil. La figure justifie donc qu'il n'était pas alors en orbite terrestre, malgré sa proximité apparente.

RÉPONSE À RETENIR

Entre novembre et janvier, la distance Terre-astéroïde lue sur la figure 2 est supérieure à environ $0{,}010\ \mathrm{au}$, rayon de la sphère de Hill. L'astéroïde est donc hors de cette sphère durant cette période et n'est pas alors capturé en orbite autour de la Terre.

2. Observation de l'astéroïde à l'œil nu

Question Q8.

Sujet p. 12, 13

> La taille de l'astéroïde est estimée à d = 11 m et il est passé au plus près de la Terre, le 9 août 2024, à la distance d_A/T = 5,67 × 10⁵ km. Montrer que l'angle θ sous lequel l'observateur voit deux points diamétralement opposés de l'astéroïde vaut 1,9 × 10⁻⁸ rad.

On convertit la distance en mètres : $d_{A/T} = 5{,}67 \times 10^5\ \mathrm{km} = 5{,}67 \times 10^8\ \mathrm{m}$. Pour le petit angle sous lequel est vu le diamètre de l'astéroïde, $\tan\theta \approx \theta$, donc $\theta \approx d/d_{A/T}$, avec $d = 11\ \mathrm{m}$.

$$\theta \approx \frac{11}{5{,}67 \times 10^8} = 1{,}94 \times 10^{-8}\ \mathrm{rad}.$$

RÉPONSE À RETENIR

À deux chiffres significatifs, $\boxed{\theta = 1{,}9 \times 10^{-8}\ \mathrm{rad}}$.

Question Q9.

Sujet p. 12, 13

> En ne tenant compte que du pouvoir séparateur de l'œil, commenter la phrase de l'article : « Une deuxième lune temporaire qu'on ne pourra malheureusement pas distinguer à l'œil nu ». Le pouvoir séparateur de l'œil vaut ε = 3,0 × 10⁻⁴ rad et l'objet est vu distinctement si θ > ε.

La distinction à l'œil nu exige que l'angle apparent soit supérieur au pouvoir séparateur $\varepsilon = 3{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}$. Or, d'après Q8, $\theta = 1{,}9 \times 10^{-8}\ \mathrm{rad}$, qui est très inférieur à ce seuil.

RÉPONSE À RETENIR

$$1{,}9 \times 10^{-8} < 3{,}0 \times 10^{-4}$$

Les deux points diamétralement opposés ne peuvent donc pas être distingués à l'œil nu. L'affirmation de l'article est justifiée si l'on ne tient compte que du pouvoir séparateur de l'œil.

3. Observation de l'astéroïde avec une lunette astronomique

Question Q10.

Sujet p. 13, 15

> Sur le schéma de l'annexe 3 à rendre avec la copie, tracer la marche des deux rayons lumineux issus du point B, situé à l'infini, au travers de la lunette. Faire apparaître l'image intermédiaire A_1B_1.

Sur le schéma de l'annexe 3, les rayons issus du point B à l'infini arrivent parallèles entre eux, avec une inclinaison par rapport à l'axe optique. Après la lentille L_1, ils convergent au point B_1, dans le plan focal image de L_1. Pour construire deux rayons, on peut tracer le rayon passant par le centre optique de L_1, qui n'est pas dévié, puis un second rayon incident parallèle au premier : après L_1, il passe lui aussi par B_1. L'image du point axial A est $A_1 = F_1'$, sur l'axe ; l'image intermédiaire A_1B_1 est renversée.

Dans la lunette afocale, le plan focal image de L_1 coïncide avec le plan focal objet de L_2, donc $F_1' = F_2$. À la sortie de L_2, les rayons issus de B_1 ressortent parallèles entre eux. Pour en construire deux, on peut tracer un rayon passant par le centre optique de L_2, non dévié, et un rayon incident parallèle à l'axe optique, qui ressort en passant par F_2'. Ces rayons émergents sont parallèles, mais ne sont pas nécessairement parallèles à l'axe, car B_1 est hors de l'axe.

RÉPONSE À RETENIR

Faire apparaître $A_1 = F_1' = F_2$ sur l'axe et B_1 de l'autre côté de l'axe par rapport à B. Tracer l'image intermédiaire renversée A_1B_1 dans le plan focal commun, puis les rayons émergents parallèles entre eux après L_2.

Question Q11.

Sujet p. 13

> Montrer que le grossissement G de la lunette astronomique s'exprime par la relation $G = f'_1/f'_2$.

Dans l'approximation des petits angles, si A_1B_1 désigne la hauteur de l'image intermédiaire, les triangles formés au niveau des foyers donnent, en valeur absolue, $\theta \approx A_1B_1/f_1'$ avant l'oculaire et $\theta' \approx A_1B_1/f_2'$ après l'oculaire. Par définition, $G = \theta'/\theta$. Le rapport élimine la hauteur A_1B_1.

RÉPONSE À RETENIR

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \approx \frac{A_1B_1/f'_2}{A_1B_1/f'_1} = \boxed{\frac{f'_1}{f'_2}}.$$

Il s'agit du grossissement en valeur absolue ; l'image donnée par la lunette est renversée.

Question Q12.

Sujet p. 12, 13

> La « Grande Lunette » de Meudon est constituée de deux lentilles minces convergentes, de distances focales f'$_1$ = 16 m et f'$_2$ = 4 cm. Déterminer si elle permet de distinguer deux points diamétralement opposés de l'astéroïde 2024 PT5.

On met les distances focales dans la même unité : $f'_1 = 16\ \text{m}$ et $f'_2 = 4\ \text{cm} = 0{,}040\ \text{m}$. Le grossissement vaut donc $G = f'_1/f'_2 = 16/0{,}040 = 400$. L'angle apparent à travers la lunette est $\theta' = G\theta$, avec $\theta = 1{,}9 \times 10^{-8}\ \text{rad}$:

$$\theta' = 400 \times 1{,}9 \times 10^{-8} = 7{,}6 \times 10^{-6}\ \text{rad}.$$

On compare cette valeur au pouvoir séparateur de l'œil, $\varepsilon = 3{,}0 \times 10^{-4}\ \text{rad}$, sachant qu'il faut $\theta' > \varepsilon$ pour distinguer les deux points.

RÉPONSE À RETENIR

Comme $7{,}6 \times 10^{-6} < 3{,}0 \times 10^{-4}$, la Grande Lunette ne permet pas de distinguer les deux points diamétralement opposés de l'astéroïde selon le critère donné. Son grossissement de 400 est insuffisant.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2026/spe-physique-chimie-2026-antilles-guyane-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.