

Corrigé

Épreuve d'enseignement de spécialité — Physique-Chimie
Baccalauréat Général — Session 2026 — Jour 1 — Sujet 26-PYCJ1AG1
Antilles-Guyane

Exercice 1 — Les 200 ans de la pastille de Vichy

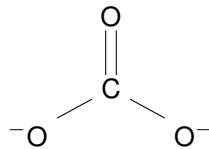
(9 pts)

RAPPEL

$m_{\text{pastille}} = 2,64 \text{ g}$; $pK_{A1} = 6,4$ pour $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$; $pK_{A2} = 10,3$ pour $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$; $M(\text{HCO}_3^-) = 61,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Composition en ions hydrogencarbonate**Q1. Base conjuguée de l'ion hydrogencarbonate**

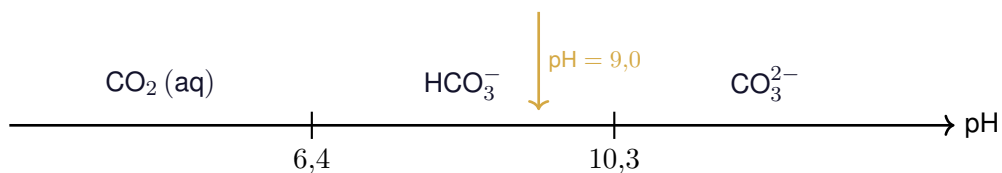
En cédant le proton porté par le groupe HO—, l'ion HCO_3^- donne l'ion carbonate CO_3^{2-} :

**RÉPONSE**

La base conjuguée de HCO_3^- est l'ion carbonate CO_3^{2-} .

Q2. Caractère amphotère de HCO_3^- **RÉPONSE**

L'ion HCO_3^- est la **base** du couple $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ (il peut capter un proton) et l'**acide** du couple $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ (il peut céder un proton). Étant à la fois acide et base, il est **amphotère**.

Q3. Diagramme de prédominance**RÉPONSE**

Pour $\text{pH} < 6,4$: CO_2 prédomine ; pour $6,4 < \text{pH} < 10,3$: HCO_3^- prédomine ; pour $\text{pH} > 10,3$: CO_3^{2-} prédomine.

Q4. Forme majoritaire dans S_1

Le pH de S_1 vaut 9,0, valeur comprise entre 6,4 et 10,3.

RÉPONSE

Comme $6,4 < 9,0 < 10,3$, l'ion **hydrogencarbonate HCO_3^-** est la forme majoritaire dans S_1 .

Q5. Masse m_f d'ions hydrogénocarbonate dans une pastille

La pastille contient 0,22 % en masse d'ions HCO_3^- :

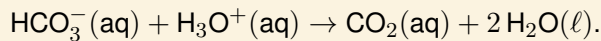
$$m_f = \frac{0,22}{100} \times m_{\text{pastille}} = 0,0022 \times 2,64 \approx 5,8 \times 10^{-3} \text{ g.}$$

RÉPONSE

$m_f \approx 5,8 \times 10^{-3} \text{ g}$ (soit $\approx 5,8 \text{ mg}$).

Q6. Équation de la réaction support du titrage

L'ion HCO_3^- (base du couple $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$) est titré par l'ion oxonium H_3O^+ de la solution d'acide chlorhydrique :

RÉPONSE**Q7. Détermination du volume équivalent V_E** **MÉTHODE**

Sur la courbe pH-métrique, on repère le saut de pH puis on détermine l'abscisse du point d'équivalence (méthode des tangentes parallèles ou maximum de la dérivée $\frac{d(\text{pH})}{dV}$).

RÉPONSE

La construction situe l'équivalence entre 10,0 mL et 15,0 mL : on lit $V_E \approx 12,0 \text{ mL}$.

Q8. Quantité de matière n_1 titrée dans V_1

À l'équivalence, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques (1:1), donc $n_1 = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{versé}} = c_A \times V_E$:

$$n_1 = 0,50 \times 10^{-2} \times 12,0 \times 10^{-3} = 6,0 \times 10^{-5} \text{ mol.}$$

RÉPONSE

$n_1 \approx 6,0 \times 10^{-5} \text{ mol.}$

Q9. Masse m_{exp} d'ions HCO_3^- dans une pastille

Le titrage porte sur $V_1 = 50,0 \text{ mL}$ prélevés dans la solution S_1 de volume $V_0 = 100 \text{ mL}$ (une pastille dissoute). La quantité totale dans la pastille est donc :

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

La masse correspondante vaut :

$$m_{\text{exp}} = n_{\text{tot}} \times M(\text{HCO}_3^-) = 1,2 \times 10^{-4} \times 61,0 \approx 7,3 \times 10^{-3} \text{ g.}$$

RÉPONSE

$m_{\text{exp}} \approx 7,3 \times 10^{-3} \text{ g.}$

Q10. Compatibilité de m_{exp} avec m_f

Incertitude-type sur m_{exp} .

$$u(m_{\text{exp}}) = m_{\text{exp}} \times \sqrt{\left(\frac{u(c_A)}{c_A}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2} = 7,3 \times 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{0,01}{0,50}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{12,0}\right)^2}.$$

$$u(m_{\text{exp}}) \approx 7,3 \times 10^{-3} \times \sqrt{4,0 \times 10^{-4} + 2,8 \times 10^{-4}} \approx 1,9 \times 10^{-4} \text{ g.}$$

Quotient de compatibilité avec $m_f \approx 5,8 \times 10^{-3} \text{ g}$:

$$z = \frac{|m_{\text{exp}} - m_f|}{u(m_{\text{exp}})} = \frac{|7,3 - 5,8| \times 10^{-3}}{1,9 \times 10^{-4}} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{1,9 \times 10^{-4}} \approx 7,9.$$

RÉPONSE

$z \approx 7,9 > 2$: la masse expérimentale m_{exp} **n'est pas compatible** avec la valeur de référence m_f du fabricant.

Q11. Interprétation du résultat**RÉPONSE**

Les agents d'enrobage contiennent des ions **carboxylate** $\text{R} - \text{COO}^-$, qui sont aussi des bases titrées par l'acide. Le volume V_E versé est donc surévalué, ce qui surestime m_{exp} : l'hypothèse « seuls les ions HCO_3^- sont titrés » est prise en défaut, d'où $m_{\text{exp}} > m_f$.

Q12. Indicateur coloré adapté au titrage de l'eau de Vichy

Le pH à l'équivalence vaut 4,3 : l'indicateur choisi doit avoir une zone de virage contenant cette valeur. Seul le **vert de bromocrésol** (zone 3,8 – 5,4) convient. Au cours du titrage, on ajoute de l'acide, le pH diminue et traverse la zone de virage.

RÉPONSE

On choisit le **vert de bromocrésol** (zone 3,8 – 5,4 qui contient 4,3). Le changement de couleur observé est le passage du **bleu** (forme basique) au **jaune** (forme acide).

Q13. Volume V_{Vichy} d'eau minérale équivalent à une pastille

La concentration en masse d'ions HCO_3^- de l'eau minérale est $c_{\text{me}} = 4,37 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Pour ingérer la même masse d'ions HCO_3^- que dans une pastille ($m_f \approx 5,8 \text{ mg}$) :

$$V_{\text{Vichy}} = \frac{m_f}{c_{\text{me}}} = \frac{5,8}{4,37 \times 10^3} \approx 1,3 \times 10^{-3} \text{ L} \approx 1,3 \text{ mL.}$$

RÉPONSE

$V_{\text{Vichy}} \approx 1,3 \text{ mL}$. Ce très faible volume montre qu'une simple gorgée d'eau de Vichy apporte autant d'ions hydrogénocarbonate qu'une pastille entière : l'eau minérale en est bien plus riche, et l'apport d'une pastille reste modeste.

2. Arôme contenu dans la pastille**Q14. Montage de l'hydrodistillation****RÉPONSE**

Le **montage B** est utilisé : il s'agit d'une distillation (réfrigérant incliné et recueil du distillat dans un récipient séparé), alors que le montage A est un chauffage à reflux (le condensat retombe dans le ballon).

Q15. Choix du dichlorométhane comme solvant d'extraction**RÉPONSE**

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. Les deux phases (organique et aqueuse) ne sont pas miscibles : l'espèce odorante passe dans la phase organique, que l'on sépare par décantation. Le

dichlorométhane est donc un bon solvant d'extraction.

Q16. Nature probable de l'arôme

RÉPONSE

Sur le chromatogramme, un constituant du dépôt 1 (phase extraite) migre à la même hauteur qu'une tache du dépôt 2 (huile essentielle de menthe verte) : ils contiennent une espèce commune. L'arôme de la pastille est donc probablement la **menthe verte**.

3. Composition en sucre

Q17. Nombre de groupes hydroxyle du saccharose

RÉPONSE

La molécule de saccharose représentée figure 9 porte **8 groupes hydroxyle** (–OH).

Q18. Vérification de l'information du fabricant

MÉTHODE

On calcule la masse volumique de la boisson, puis on lit la concentration en saccharose correspondante sur la courbe d'étalonnage $\rho = f(c)$.

Masse volumique de la boisson :

$$\rho_{\text{boisson}} = \frac{m_{\text{boisson}}}{V_{\text{boisson}}} = \frac{276,8}{268,0} \approx 1,033 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}.$$

La droite d'étalonnage a pour équation $\rho = 4,0 \times 10^{-4} c + 0,995$ (avec ρ en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ et c en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$). On en déduit :

$$c = \frac{\rho_{\text{boisson}} - 0,995}{4,0 \times 10^{-4}} = \frac{1,033 - 0,995}{4,0 \times 10^{-4}} \approx 95 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Pour 100 mL, la masse de saccharose est donc $95 \times 0,100 \approx 9,5 \text{ g}$.

RÉPONSE

On trouve $\approx 9,5 \text{ g}$ de saccharose pour 100 mL : la valeur est **cohérente** avec l'information du fabricant (9,5 g pour 100 mL).

Exercice 2 — Le césium 137 et l'essai Trinity

(5 pts)

1. Désintégration des noyaux de césium 137

Q1. Composition d'un noyau de césium 137

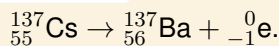
Le noyau ${}_{55}^{137}\text{Cs}$ comporte $Z = 55$ protons et $A - Z = 137 - 55 = 82$ neutrons.

RÉPONSE

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

Q2. Équation de désintégration β^-

RÉPONSE



Les lois de conservation sont vérifiées : $137 = 137 + 0$ (nucléons) et $55 = 56 + (-1)$ (charge).

Q3. Équation différentielle régissant N

Par définition $A(t) = -\frac{dN}{dt}$ et, par proportionnalité, $A(t) = \lambda N(t)$. En identifiant :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \iff \frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

RÉPONSE

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

Q4. Vérification de $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

N est dérivable et $N'(t) = N_0 \times (-\lambda)e^{-\lambda t} = -\lambda N(t)$: l'équation différentielle est vérifiée. De plus $N(0) = N_0 e^0 = N_0$, ce qui respecte la condition initiale.

RÉPONSE

$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ est bien la solution de l'équation différentielle.

Q5. Relation $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

Par définition du temps de demi-vie, $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$:

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

RÉPONSE

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

Q6. Estimation graphique de λ

MÉTHODE

Le pourcentage vaut $100 \times \frac{N}{N_0} = 100 e^{-\lambda t}$. On lit sur la courbe l'abscisse $t_{1/2}$ pour laquelle le

pourcentage vaut 50 %, puis $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

La lecture donne $t_{1/2} \approx 30$ ans, d'où :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \approx \frac{0,693}{30} \approx 0,023 \text{ an}^{-1}.$$

RÉPONSE

$\lambda \approx 0,023 \text{ an}^{-1}$ (cohérent avec la valeur $0,0231 \text{ an}^{-1}$).

Q7. Ligne 9 du programme

RÉPONSE

pourcentage = $100 * np.exp(-0.0231 * t)$

2. Activité de la trinitite

Q8. Relation $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$

À partir de $A(t) = \lambda N(t)$ et de $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$:

$$A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = (\lambda N_0) e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}, \quad \text{avec } A_0 = \lambda N_0.$$

RÉPONSE

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

Q9. Masse de trinitite soumise à déclaration en 2026

MÉTHODE

L'activité massique (activité d'un gramme) est une grandeur intrinsèque, indépendante de la masse. On la calcule en 2026 à partir de la valeur mesurée en 2010, puis on la compare au seuil d'exemption de $10 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$.

Entre 2010 et 2026, soit $\Delta t = 16$ ans :

$$a_m(2026) = A_{\text{étude}} \times e^{-\lambda \Delta t} = 48,3 \times e^{-0,0231 \times 16} = 48,3 \times e^{-0,370} \approx 33 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}.$$

RÉPONSE

En 2026, l'activité massique vaut $a_m \approx 33 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1} > 10 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$. Cette grandeur ne dépend pas de la masse, le seuil d'exemption est dépassé **quelle que soit la masse** : la détention de trinitite doit faire l'objet d'une déclaration **dès le premier gramme**. Quarante-vingts ans après l'essai, la trinitite reste donc trop active pour bénéficier de l'exemption.

Exercice 3 — L'astéroïde 2024 PT5

(6 pts)

1. Mouvement autour de la Terre

RAPPEL

$M_T = 5,972 \times 10^{24}$ kg, $M_S = 1,989 \times 10^{30}$ kg, $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³ · kg⁻¹ · s⁻², $d_{T/S} = 1,496 \times 10^8$ km, 1 au = $1,496 \times 10^8$ km. Repère de Frenet (L ; \vec{u}_t, \vec{u}_n), \vec{u}_n dirigé vers le centre.

Q1. Expression vectorielle de $\vec{F}_{T/L}$

La force gravitationnelle exercée par la Terre sur la Lune est attractive, donc dirigée de la Lune vers la Terre, c'est-à-dire selon \vec{u}_n (centripète) :

RÉPONSE

$$\vec{F}_{T/L} = \frac{G M_T M_L}{d_{T/L}^2} \vec{u}_n.$$

Q2. Expression de la vitesse v_L

MÉTHODE

Mouvement circulaire uniforme : l'accélération est purement centripète, $\vec{a} = \frac{v_L^2}{d_{T/L}} \vec{u}_n$. La deuxième loi de Newton $\sum \vec{F} = M_L \vec{a}$ se projette sur \vec{u}_n .

$$\frac{G M_T M_L}{d_{T/L}^2} = M_L \times \frac{v_L^2}{d_{T/L}} \iff v_L^2 = \frac{G M_T}{d_{T/L}} \iff v_L = \sqrt{\frac{G M_T}{d_{T/L}}}.$$

RÉPONSE

$$v_L = \sqrt{\frac{G M_T}{d_{T/L}}}.$$

Q3. Période T et troisième loi de Kepler

Le mouvement étant circulaire uniforme, $v_L = \frac{2\pi d_{T/L}}{T}$, d'où :

$$T = \frac{2\pi d_{T/L}}{v_L} = 2\pi d_{T/L} \sqrt{\frac{d_{T/L}}{G M_T}} = 2\pi \sqrt{\frac{d_{T/L}^3}{G M_T}}.$$

En élevant au carré :

$$T^2 = \frac{4\pi^2 d_{T/L}^3}{G M_T} \iff \frac{T^2}{d_{T/L}^3} = \frac{4\pi^2}{G M_T}.$$

RÉPONSE

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{d_{T/L}^3}{G M_T}}, \text{ d'où } \frac{T^2}{d_{T/L}^3} = \frac{4\pi^2}{G M_T} \text{ (troisième loi de Kepler).}$$

Q4. Distance Terre-Lune $d_{T/L}$

Avec $T = 27,3$ jours $= 27,3 \times 86\,400 \approx 2,36 \times 10^6$ s :

$$d_{T/L} = \sqrt[3]{\frac{G M_T T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,972 \times 10^{24} \times (2,36 \times 10^6)^2}{4\pi^2}}$$

$$d_{T/L} \approx \sqrt[3]{5,6 \times 10^{25}} \approx 3,8 \times 10^8 \text{ m.}$$

RÉPONSE

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

Q5. Rayon de la sphère de Hill de la Terre

$$r_{\text{Hill}} = d_{T/S} \sqrt[3]{\frac{M_T}{3 M_S}} = 1,496 \times 10^8 \times \sqrt[3]{\frac{5,972 \times 10^{24}}{3 \times 1,989 \times 10^{30}}}$$

$$r_{\text{Hill}} = 1,496 \times 10^8 \times \sqrt[3]{1,00 \times 10^{-6}} = 1,496 \times 10^8 \times 1,00 \times 10^{-2} \approx 1,5 \times 10^6 \text{ km.}$$

RÉPONSE

$$r_{\text{Hill}} \approx 1,5 \times 10^6 \text{ km (soit } \approx 0,01 \text{ au).}$$

Q6. La Lune est-elle dans la sphère de Hill ?

On compare $d_{T/L} \approx 3,8 \times 10^5 \text{ km}$ à $r_{\text{Hill}} \approx 1,5 \times 10^6 \text{ km}$: $d_{T/L} < r_{\text{Hill}}$.

RÉPONSE

$d_{T/L} \approx 3,8 \times 10^5 \text{ km} < r_{\text{Hill}} \approx 1,5 \times 10^6 \text{ km}$: la Lune se situe bien à l'intérieur de la sphère de Hill de la Terre.

Q7. Argument expliquant l'absence de capture**RÉPONSE**

Le rayon de la sphère de Hill vaut $r_{\text{Hill}} \approx 0,01$ au. D'après la figure 2, la distance Terre-astéroïde durant la période novembre 2024 – janvier 2025 est restée de l'ordre de 0,01 à 0,03 au, c'est-à-dire au voisinage ou au-delà de la limite de la sphère de Hill. L'astéroïde n'étant pas durablement situé à l'intérieur de cette sphère, l'attraction du Soleil restait prépondérante : il n'a donc **pas été capturé** par la gravité terrestre.

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

Taille $d = 11$ m ; distance minimale $d_{A/T} = 5,67 \times 10^5 \text{ km}$; pouvoir séparateur $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$; $\tan \theta \approx \theta$.

Q8. Angle θ sous lequel est vu l'astéroïde

Pour deux points diamétralement opposés distants de d , vus à la distance $d_{A/T}$:

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{d}{d_{A/T}} = \frac{11}{5,67 \times 10^8} \approx 1,9 \times 10^{-8} \text{ rad.}$$

RÉPONSE

$$\theta \approx 1,9 \times 10^{-8} \text{ rad.}$$

Q9. Observation à l'œil nu

On compare θ au pouvoir séparateur $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$:

$$\theta \approx 1,9 \times 10^{-8} \text{ rad} \ll \varepsilon = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad.}$$

RÉPONSE

Comme $\theta < \varepsilon$, l'œil ne peut pas séparer les deux points : l'astéroïde ne peut pas être distingué à l'œil nu. La phrase de l'article est donc **justifiée**.

3. Observation avec une lunette astronomique**RAPPEL**

$$G = \frac{\theta'}{\theta}; \text{ critère } \theta' > \varepsilon; f'_1 = 16 \text{ m}, f'_2 = 4 \text{ cm}.$$

Q10. Marche des rayons**RÉPONSE**

L'objet B étant à l'infini, les rayons issus de B arrivent parallèles sur L_1 et convergent en son foyer image F'_1 , formant l'image intermédiaire A_1B_1 dans le plan focal commun ($F'_1 = F_2$, lunette afocale). L_2 (oculaire) reprend cette image située dans son plan focal objet et en donne une image finale rejetée à l'infini, sous l'angle θ' .

Q11. Expression du grossissement

L'image intermédiaire A_1B_1 , de taille $\overline{A_1B_1}$, est vue :

$$\theta \approx \frac{\overline{A_1B_1}}{f'_1} \quad (\text{plan focal image de } L_1), \quad \theta' \approx \frac{\overline{A_1B_1}}{f'_2} \quad (\text{plan focal objet de } L_2).$$

Le grossissement est donc :

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

RÉPONSE

$$G = \frac{f'_1}{f'_2}.$$

Q12. Pouvoir de résolution de la « Grande Lunette »

$$G = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{16}{0,04} = 400.$$

L'angle vu à travers la lunette vaut :

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

On compare à $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$: $\theta' \approx 7,6 \times 10^{-6} \text{ rad} < \varepsilon$.

RÉPONSE

Avec $G = 400$, on a $\theta' \approx 7,6 \times 10^{-6} \text{ rad} < \varepsilon = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$: le critère $\theta' > \varepsilon$ n'est pas satisfait. La « Grande Lunette » de Meudon **ne permet pas** de distinguer deux points diamétralement opposés de l'astéroïde 2024 PT5.