Corrigé complet — Bac 2025 Métropole Septembre Jour 1

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**La physique au service du vigneron** Condensateur plan et capacité · Charge d'un dipôle RC · Équation différentielle du premier ordre · Bilan thermique et flux thermique · Premier principe de la thermodynamique · Poussée d'Archimède	11 pts	1 h 55	14 questions	p. 2
Ex 2	**Étude d'une lessive « multi-usages »** Couples acide-base et pK_A · Diagrammes de prédominance et de distribution · Dilution · Titrage pH-métrique · Équivalence et quantité de matière · Pourcentage en masse	4 pts	42 min	9 questions	p. 7
Ex 3	**Traitement de surface d'une pièce de jeu d'échecs** Sécurité au laboratoire · Titre massique et concentration en masse · Transformation forcée et électrolyse · Demi-équations électroniques · Charge électrique et quantité de matière · Rendement	5 pts	53 min	10 questions	p. 11

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

La physique au service du vigneron

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 55**

Q1 Expliquer pourquoi ce capteur ne peut pas être utilisé dans un liquide isolant.

Un condensateur associe deux conducteurs, les armatures, que sépare une couche isolante. Ici, la tige est la première armature et le liquide est la seconde.

Un liquide isolant ne peut pas jouer le rôle d'armature : il n'y a plus de condensateur, donc plus de mesure possible.

COMPRENDRE
Les charges doivent pouvoir s'accumuler de part et d'autre de la couche isolante : il faut un conducteur de chaque côté.

Q2 Préciser si la capacité C du condensateur augmente ou diminue lorsque la hauteur h de liquide augmente.

Données utiles $S_C = h \cdot \ell$; $C = \dfrac{\varepsilon \cdot S_C}{e}$

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S_C}{e} = \frac{\varepsilon \cdot \ell}{e} \cdot h$$

Les grandeurs ε, ℓ et e sont constantes : C est proportionnelle à h.

Lorsque h augmente, la capacité C augmente.

COMPRENDRE
C'est le principe du capteur : mesurer C revient à mesurer le niveau h du liquide dans la cuve.

Q3 Montrer que, lors de la charge, la tension $u_C(t)$ vérifie l'équation différentielle $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \dfrac{u_C}{R \cdot C} = \dfrac{E}{R \cdot C}$.

Interrupteur en position 2, loi des mailles : $u_R(t) + u_C(t) = E$.

Loi d'Ohm : $u_R(t) = R \cdot i(t)$.

Pour le condensateur : $i(t) = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ avec $q(t) = C \cdot u_C(t)$ et C constante, donc $i(t) = C \cdot \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

En remplaçant : $R \cdot C \cdot \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = E$.

En divisant par $R \cdot C$:

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{u_C}{R \cdot C} = \frac{E}{R \cdot C}$$

PIÈGE
Les flèches de u_R et u_C s'opposent au sens de i sur le schéma (convention récepteur) : aucun signe « $-$ » dans la loi d'Ohm ni dans $i = C \cdot \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

MÉTHODE
Circuit RC, toujours les trois mêmes étapes : loi des mailles, loi d'Ohm, puis $i = C \cdot \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. On termine en divisant par $R \cdot C$ pour isoler la dérivée.

Q4 La tension $u_C(t) = A \cdot \mathrm{e}^{-t/\tau} + B$ est solution de cette équation. Déterminer les expressions de A, B et τ en fonction de E, R et C.

On dérive : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{A}{\tau} \cdot \mathrm{e}^{-t/\tau}$.

On reporte dans l'équation différentielle :

$$A \cdot \mathrm{e}^{-t/\tau} \cdot \left(\frac{1}{R \cdot C} - \frac{1}{\tau}\right) + \frac{B}{R \cdot C} = \frac{E}{R \cdot C}$$

L'égalité doit être vraie à chaque instant t, ce qui impose :

- $\dfrac{1}{R \cdot C} - \dfrac{1}{\tau} = 0$, soit $\tau = R \cdot C$;
- $\dfrac{B}{R \cdot C} = \dfrac{E}{R \cdot C}$, soit $B = E$.

Condition initiale : le condensateur est déchargé à $t = 0$, donc $u_C(0) = A + B = 0$, soit $A = -E$.

$\tau = R \cdot C$; $B = E$; $A = -E$, d'où $u_C(t) = E \cdot \left(1 - \mathrm{e}^{-t/(R \cdot C)}\right)$

PIÈGE
Oublier la condition initiale et laisser A indéterminée, ou écrire $A = E$: la tension partirait alors de $2E$ au lieu de 0.

MÉTHODE
Deux outils : l'équation différentielle fixe τ et B ; la condition initiale fixe A. Vérification rapide : quand t devient grand, u_C tend vers $B = E$, la tension du générateur.

Q5 À l'aide des figures 5 et 6, déterminer la hauteur h_{test} de liquide utilisée dans la première expérience.

Données utiles $E = 5{,}0$ V ; $R = 6{,}0 \times 10^6\ \Omega$; $\tau = R \cdot C$ (Q4)

Démarche : la figure 5 donne le temps caractéristique τ, d'où la capacité $C = \dfrac{\tau}{R}$; la figure 6 donne ensuite la hauteur associée à cette capacité.

Temps caractéristique. À $t = \tau$: $u_C(\tau) = E \cdot (1 - \mathrm{e}^{-1}) = 0{,}63 \times E = 0{,}63 \times 5{,}0 = 3{,}15$ V.

Sur la figure 5, la tension atteint $3{,}15$ V à la date $\tau = 0{,}11$ s.

Capacité. $C = \dfrac{\tau}{R} = \dfrac{0{,}11}{6{,}0 \times 10^6} = 1{,}8 \times 10^{-8}\ \text{F} = 18\ \text{nF}$

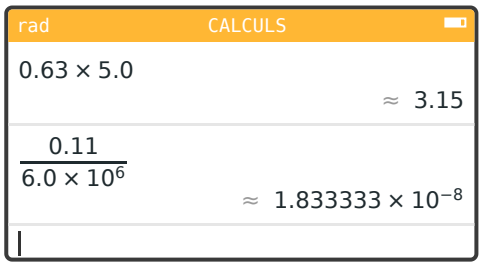
Hauteur. Sur la droite de la figure 6, l'ordonnée $C = 18$ nF correspond à l'abscisse $h = 12$ cm.

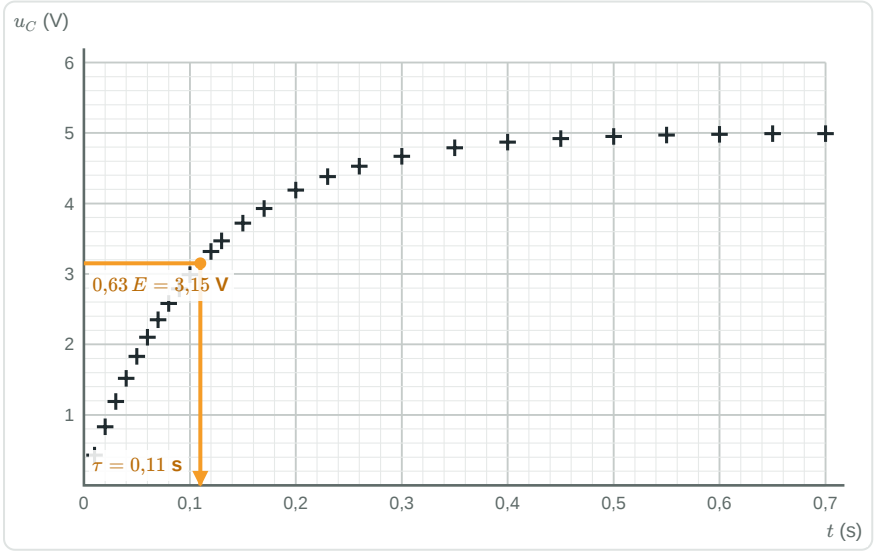
$h_{\text{test}} \approx 12$ cm

PIÈGE
La droite de la figure 6 ne passe pas par l'origine (elle coupe l'axe vers 1 nF) : il faut lire h sur le graphique, sans passer par une simple proportionnalité.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : τ et R en ont deux, C aussi. La lecture graphique de τ est peu précise : toute valeur de h_{test} entre 11 cm et 13 cm, obtenue par une démarche correcte, est recevable.

À LA CALCULATRICE





Q5 · Figure 5 du sujet, avec la lecture de τ à 63 % de E

Q6 Indiquer, en justifiant, le sens du transfert thermique entre le jus et l'air extérieur lors de la fermentation alcoolique.

Données utiles $\theta_{\text{jus}} = 18\ °\text{C}$; $\theta_{\text{ext}} = 22\ °\text{C}$

$\theta_{\text{ext}} > \theta_{\text{jus}}$: l'air extérieur est plus chaud que le jus. Un transfert thermique s'effectue spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

Le transfert thermique a lieu de l'air extérieur vers le jus, à travers les parois de la cuve.

COMPRENDRE
Le jus reçoit cette énergie : le flux Φ_P est compté positivement pour le système {jus de raisin}, comme l'indique la flèche de la figure 7.

Q7 Calculer la valeur du flux thermique global Φ_P à travers les parois de la cuve de stockage.

Données utiles $A = 12\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$; $S = 9\ \text{m}^2$; $\theta_{\text{ext}} = 22\ °\text{C}$; $\theta_{\text{jus}} = 18\ °\text{C}$

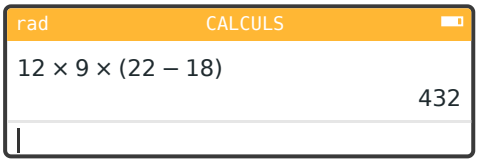
$\Phi_P = A \cdot S \cdot (\theta_{\text{ext}} - \theta_{\text{jus}})$

$\Phi_P = 12 \times 9 \times (22 - 18) = 432\ \text{W}$

$\Phi_P = 432\ \text{W} \approx 4 \times 10^2\ \text{W}$

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile de convertir. $S = 9\ \text{m}^2$ n'a qu'un chiffre significatif, d'où l'arrondi ; on garde 432 W pour la suite des calculs.

À LA CALCULATRICE



Q8 Calculer la puissance P_F dégagée par la fermentation du jus de raisin dans la cuve de stockage entièrement remplie.

Données utiles $P_F = 0{,}127 \cdot m_{\text{jus}}$; $V = 2\ \text{m}^3$; $\rho_{\text{jus}} = 1\,090\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

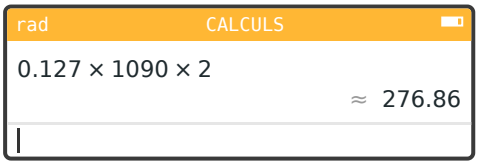
Cuve pleine : $m_{\text{jus}} = \rho_{\text{jus}} \cdot V$, donc $P_F = 0{,}127 \cdot \rho_{\text{jus}} \cdot V$.

$P_F = 0{,}127 \times 1\,090 \times 2 = 277\ \text{W}$

$P_F = 277\ \text{W} \approx 3 \times 10^2\ \text{W}$

PIÈGE
La loi empirique attend une masse en kg : il faut d'abord passer du volume de la cuve à la masse de jus, soit 2 180 kg.

À LA CALCULATRICE



Q9 Déterminer la valeur de la puissance thermique P de l'échangeur interne permettant de maintenir constante la température du jus. Interpréter le signe de P.

Données utiles $C_J \cdot \Delta\theta = (\Phi_P + P + P_F) \cdot \Delta t$; $\Phi_P = 432\ \text{W}$ (Q7) ; $P_F = 277\ \text{W}$ (Q8)

La température du jus reste constante : $\Delta\theta = 0$, donc $(\Phi_P + P + P_F) \cdot \Delta t = 0$.

Comme $\Delta t \neq 0$: $\Phi_P + P + P_F = 0$, soit $P = -\Phi_P - P_F$.

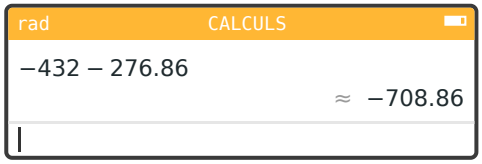
$P = -432 - 277 = -709\ \text{W}$

$P < 0$: le jus cède de l'énergie à l'échangeur. Celui-ci fonctionne en refroidissement : il évacue l'énergie apportée par l'air extérieur et celle dégagée par la fermentation.

$P = -709\ \text{W} \approx -7 \times 10^2\ \text{W}$: l'échangeur doit refroidir le jus.

COMPRENDRE
Les puissances sont algébriques, comptées positivement quand le système {jus de raisin} reçoit de l'énergie. Deux apports positifs doivent être compensés par un terme négatif.

À LA CALCULATRICE



Q10 Identifier les deux forces agissant sur le système {mustimètre} en équilibre dans le jus de raisin.

- Le poids $\overrightarrow{P}$ du mustimètre : vertical, vers le bas, de valeur $P = m_0 \cdot g$.
- La poussée d'Archimède $\overrightarrow{\pi_A}$ exercée par le jus : verticale, vers le haut, de valeur $\pi_A = \rho_{\text{jus}} \cdot V \cdot g$.

Le mustimètre est soumis à son poids et à la poussée d'Archimède exercée par le jus.

Q11 Montrer que la hauteur immergée du tube fin s'écrit $h_T = \dfrac{m_0}{\rho_{\text{jus}} \cdot S_T} - \dfrac{V_0}{S_T}$.

Le mustimètre est immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen. D'après le principe d'inertie, les forces se compensent : $\overrightarrow{P} + \overrightarrow{\pi_A} = \overrightarrow{0}$, donc $P = \pi_A$.

$m_0 \cdot g = \rho_{\text{jus}} \cdot V \cdot g$, soit $m_0 = \rho_{\text{jus}} \cdot V$.

Volume immergé : le tube large en entier et une hauteur h_T du tube fin, soit $V = V_0 + S_T \cdot h_T$.

$m_0 = \rho_{\text{jus}} \cdot (V_0 + S_T \cdot h_T)$, d'où $S_T \cdot h_T = \dfrac{m_0}{\rho_{\text{jus}}} - V_0$.

$$h_T = \frac{m_0}{\rho_{\text{jus}} \cdot S_T} - \frac{V_0}{S_T}$$

PIÈGE
Dans la poussée d'Archimède, V est le volume immergé seulement, et ρ la masse volumique du jus, pas celle du mustimètre.

MÉTHODE
Corps flottant à l'équilibre : poids = poussée d'Archimède, puis on exprime le volume immergé à l'aide de la géométrie de l'objet.

Q12 Justifier qualitativement que le mustimètre s'enfonce lorsque la masse volumique du jus diminue.

Dans $h_T = \dfrac{m_0}{\rho_{\text{jus}} \cdot S_T} - \dfrac{V_0}{S_T}$, les grandeurs m_0, S_T et V_0 sont constantes.

Si ρ_{jus} diminue, le quotient $\dfrac{m_0}{\rho_{\text{jus}} \cdot S_T}$ augmente, tandis que $\dfrac{V_0}{S_T}$ ne change pas.

h_T augmente : le mustimètre s'enfonce davantage.

COMPRENDRE
Physiquement : le poids ne change pas, la poussée doit rester égale au poids. Avec un liquide moins dense, il faut déplacer un plus grand volume de liquide.

Q13 Déterminer la masse volumique minimale $\rho_{\text{jus,min}}$ que peut mesurer ce mustimètre.

Données utiles $m_0 = 55$ g ; $V_0 = 49$ mL ; $S_T = 5 \times 10^{-5}$ m^2 ; h_T entre 1 cm et 14 cm

D'après Q12, la masse volumique la plus faible correspond à l'enfoncement le plus grand : $h_T = 14$ cm $= 0{,}14$ m.

D'après Q11, $m_0 = \rho_{\text{jus}} \cdot (V_0 + S_T \cdot h_T)$, donc $\rho_{\text{jus,min}} = \dfrac{m_0}{V_0 + S_T \cdot h_T}$.

Avec $m_0 = 55 \times 10^{-3}$ kg et $V_0 = 49 \times 10^{-6}$ m^3 :

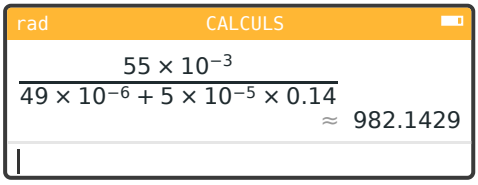
$$\rho_{\text{jus,min}} = \frac{55 \times 10^{-3}}{49 \times 10^{-6} + 5 \times 10^{-5} \times 0{,}14} = 9{,}8 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{jus,min}} = 9{,}8 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 0{,}98 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

PIÈGE
Conversions : 1 mL $= 10^{-6}$ m^3, 55 g $= 55 \times 10^{-3}$ kg et 14 cm $= 0{,}14$ m. Une seule unité oubliée fausse tout le résultat.

COMPRENDRE
Le volume immergé total vaut 56×10^{-6} m^3, soit 56 mL. On peut donc aussi calculer 55 g $\div$ 56 mL $= 0{,}98$ g $\cdot$ mL^{-1}.

À LA CALCULATRICE



Q14 La masse volumique du jus diminue lorsque le degré de fermentation augmente. Expliquer le problème rencontré lors de l'utilisation de ce mustimètre avec un jus trop fermenté.

Données utiles $\rho_{\text{jus,min}} = 9{,}8 \times 10^{2}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Q13)

Pour un jus trop fermenté, la masse volumique devient inférieure à $\rho_{\text{jus,min}}$. La hauteur immergée h_T dépasse alors 14 cm : la surface du liquide se trouve au-delà de la dernière graduation du tube fin.

Le mustimètre s'enfonce trop : la lecture est impossible, la masse volumique est hors de la plage de mesure.

COMPRENDRE

Si le tube fin est entièrement immergé, la poussée d'Archimède ne peut plus augmenter : elle reste inférieure au poids et le mustimètre coule.

Étude d'une lessive « multi-usages »

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

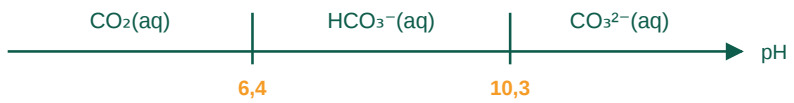
Q1 Représenter le diagramme de prédominance des espèces acide-base des couples associés à $CO_2\,(aq)$.

Données utiles $pK_{A1} = 6{,}4$ pour $CO_2(aq)/HCO_3^-\,(aq)$; $pK_{A2} = 10{,}3$ pour $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}\,(aq)$

Pour un couple, l'acide prédomine si $pH < pK_A$ et la base si $pH > pK_A$. On place donc les deux pK_A sur un axe gradué en pH.

$CO_2\,(aq)$ prédomine pour $pH < 6{,}4$; $HCO_3^-\,(aq)$ pour $6{,}4 < pH < 10{,}3$; $CO_3^{2-}\,(aq)$ pour $pH > 10{,}3$.

PIÈGE
Inverser l'ordre des espèces. L'espèce la plus acide, $CO_2\,(aq)$, se place du côté des pH faibles ; l'ion HCO_3^-, base d'un couple et acide de l'autre, occupe le domaine central.



Q1 · Diagramme de prédominance des espèces associées au dioxyde de carbone dissous

Q2 Identifier, en justifiant, les espèces chimiques associées à chacune des courbes 1, 2 et 3 de la figure 1.

D'après le diagramme de prédominance (Q1) :

- la courbe 1 est proche de 100 % aux pH faibles ($pH < 6{,}4$) : c'est l'espèce la plus acide, $CO_2\,(aq)$;
- la courbe 3 est proche de 100 % aux pH élevés ($pH > 10{,}3$) : c'est l'espèce la plus basique, $CO_3^{2-}\,(aq)$;
- la courbe 2 est majoritaire entre ces deux domaines : c'est l'espèce intermédiaire, $HCO_3^-\,(aq)$.

Courbe 1 : $CO_2\,(aq)$; courbe 2 : $HCO_3^-\,(aq)$; courbe 3 : $CO_3^{2-}\,(aq)$.

Q3 Expliquer, en justifiant, comment retrouver la valeur du pK_{A2} du couple $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}\,(aq)$ à l'aide de la figure 1.

Pour ce couple : $pH = pK_{A2} + \log\dfrac{[CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$.

Quand les deux espèces sont en même proportion, $[CO_3^{2-}] = [HCO_3^-]$, donc $\log(1) = 0$ et $pH = pK_{A2}$.

Sur la figure 1, on repère le point d'intersection des courbes 2 et 3 (proportions de 50 % chacune) et on lit son abscisse.

L'abscisse du point d'intersection des courbes 2 et 3 donne pK_{A2} : on lit $pH \approx 10{,}3$, valeur conforme aux données.

MÉTHODE
Sur un diagramme de distribution, chaque croisement de deux courbes à 50 % donne le pK_A du couple formé par les deux espèces. Ici, le croisement des courbes 1 et 2 donne de même $pK_{A1} = 6{,}4$.

Q4 Écrire l'équation de la réaction entre l'ion carbonate $CO_3^{2-}\,(aq)$ et l'eau. Justifier le caractère basique des ions carbonate dans l'eau.

$$CO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + HO^-\,(aq)$$

L'ion carbonate capte un ion H^+ cédé par l'eau : c'est une base au sens de Brönsted. La transformation produit des ions hydroxyde HO^-, ce qui rend la solution basique ($pH > 7$).

$CO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + HO^-\,(aq)$: l'ion carbonate capte un proton et forme des ions HO^-.

PIÈGE
Écrire la réaction avec H_3O^+ dans les réactifs ou les produits : l'énoncé demande la réaction avec l'eau, qui joue ici le rôle d'acide (couple H_2O/HO^-).

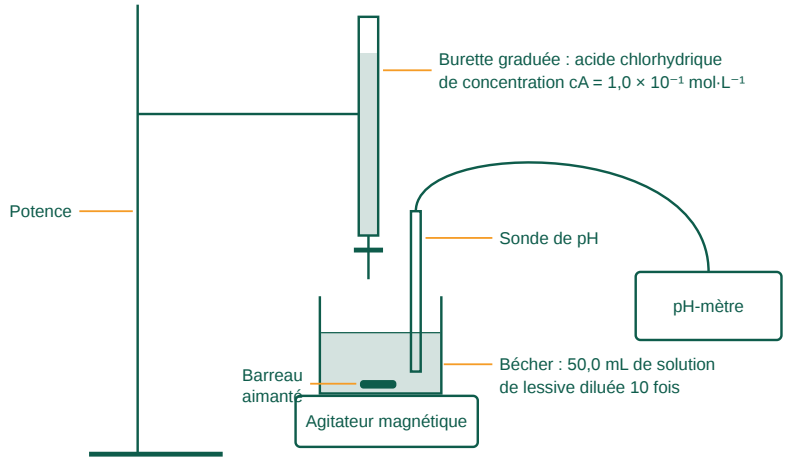
Q5 Réaliser un schéma légendé du dispositif expérimental du titrage pH-métrique.

Données utiles solution titrée : 50,0 mL de solution de lessive diluée ; solution titrante : acide chlorhydrique, $c_A = 1{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Le schéma doit faire apparaître : la burette graduée et son contenu (solution titrante), le bécher et son contenu (solution titrée), la sonde du pH-mètre plongée dans la solution, le pH-mètre et le système d'agitation.

Schéma légendé ci-dessous : burette (acide chlorhydrique), bécher (lessive diluée), sonde reliée au pH-mètre, agitateur magnétique et barreau aimanté.

PIÈGE
Oublier de préciser le contenu de la burette et du bécher, ou oublier le pH-mètre et sa sonde : sans eux, le schéma est celui d'un titrage quelconque.



Q5 · Dispositif du titrage pH-métrique de la solution de lessive diluée

Q6 Préciser, en justifiant, la verrerie à utiliser pour préparer un volume de 100,0 mL de solution de lessive diluée 10 fois.

Données utiles volume de solution fille $V_1 = 100{,}0$ mL ; facteur de dilution $F = 10$

Diluer ne change pas la quantité de soluté prélevée : $c_0\,V_0 = c_1\,V_1$, avec $c_1 = \dfrac{c_0}{F}$.

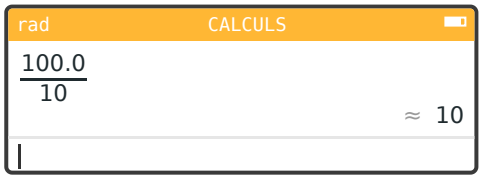
Volume de solution mère à prélever : $V_0 = \dfrac{V_1}{F} = \dfrac{100{,}0}{10} = 10{,}0\ \text{mL}$.

Les volumes doivent être précis : on utilise de la verrerie jaugée.

On prélève $V_0 = 10{,}0$ mL de solution mère avec une pipette jaugée de 10,0 mL et on complète à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge d'une fiole jaugée de 100,0 mL.

PIÈGE
Proposer une éprouvette graduée ou un bécher : ces récipients ne sont pas assez précis. Seule la verrerie jaugée (pipette et fiole) convient pour une dilution.

À LA CALCULATRICE



Q7 Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre les ions carbonate et les ions oxonium, jusqu'à la première équivalence.

Les ions carbonate (base) captent un proton cédé par les ions oxonium (acide) apportés par l'acide chlorhydrique. La réaction support d'un titrage est totale : flèche simple.

$$\text{CO}_3^{2-}\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{HCO}_3^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

COMPRENDRE
Après la première équivalence, les ions HCO_3^- formés sont titrés à leur tour : $\text{HCO}_3^-\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{CO}_2\,(\text{aq}) + 2\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$. C'est l'origine du second saut de pH de la figure 2.

Q8 Déterminer le pourcentage en masse de carbonate de sodium Na_2CO_3 présent dans la lessive étudiée. Commenter.

Données utiles $m = 4{,}0$ g de lessive dans $V_{\text{fiole}} = 100{,}0$ mL ; dilution d'un facteur 10 ; prise d'essai $V_c = 50{,}0$ mL ; $c_A = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $M(Na_2CO_3) = 106{,}0$ g · mol^{-1} ; figure 2

Volume à la première équivalence. Il correspond au premier minimum de la courbe dérivée $\frac{\mathrm{dpH}}{\mathrm{d}V}$: $V_{éq1} = 7{,}5$ mL.

Solution titrée. D'après la réaction de Q7, à la première équivalence, la quantité d'ions oxonium versée est égale à la quantité d'ions carbonate présente au départ : $n(CO_3^{2-})_{\text{titré}} = n(H_3O^+)_{\text{versé}}$, soit $c_c\,V_c = c_A\,V_{éq1}$.

$$c_c = \frac{c_A\,V_{éq1}}{V_c} = \frac{1{,}0 \times 10^{-1} \times 7{,}5}{50{,}0} = 1{,}5 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

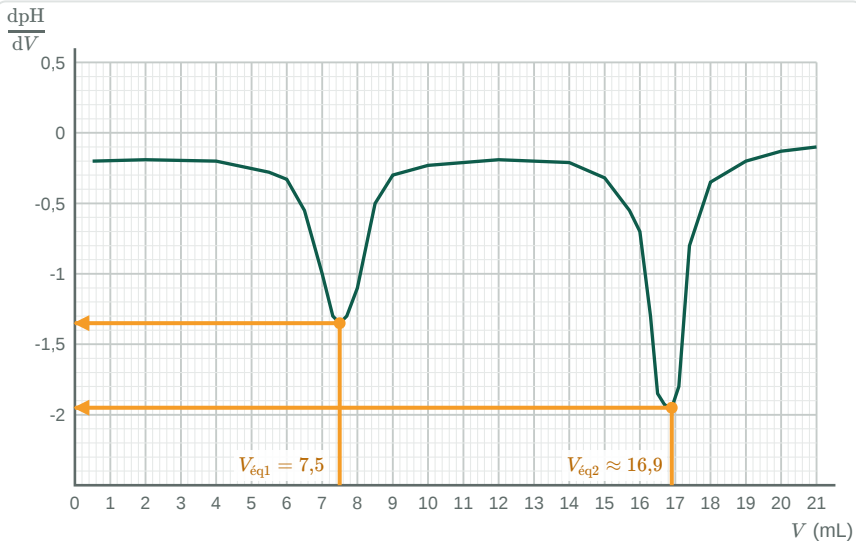
Solution de lessive non diluée. $c = 10\,c_c = 1{,}5 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1}.

Masse de carbonate de sodium. La dissolution $Na_2CO_3\,(s) \longrightarrow 2\,Na^+\,(aq) + CO_3^{2-}\,(aq)$ donne $n(Na_2CO_3) = n(CO_3^{2-}) = c\,V_{\text{fiole}}$, donc :

$$m(Na_2CO_3) = c\,V_{\text{fiole}}\,M = 1{,}5 \times 10^{-1} \times 100{,}0 \times 10^{-3} \times 106{,}0 = 1{,}6\ \text{g}$$

Pourcentage en masse. $w = \frac{m(Na_2CO_3)}{m} = \frac{1{,}59}{4{,}0} = 0{,}40$

La lessive contient environ $40\ \%$ en masse de carbonate de sodium : valeur comprise entre 30 % et 60 %, en accord avec l'indication du fabricant.



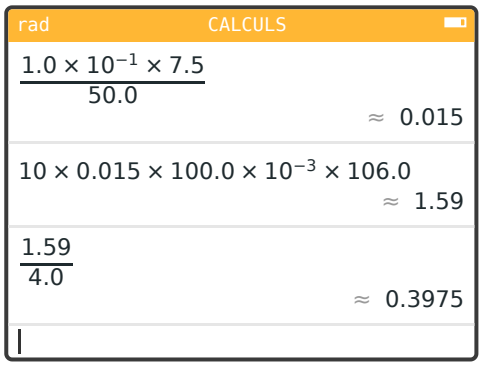
Q8 · Courbe dérivée de la figure 2 (allure) : lecture des volumes aux deux équivalences

PIÈGE
Oublier le facteur 10 de la dilution (on trouverait 4 %), ou rapporter la quantité titrée aux 50,0 mL prélevés au lieu des 100,0 mL de la fiole où les 4,0 g ont été dissous.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m, c_A et $V_{éq1}$, les données les moins précises. On garde $1{,}59$ g dans le calcul intermédiaire et on n'arrondit qu'à la fin.

MÉTHODE
Remonter le protocole à l'envers : équivalence, concentration de la solution titrée, facteur de dilution, quantité dans la fiole, masse, puis pourcentage. Chaque étape tient en une relation.

À LA CALCULATRICE



Q9 Comparer les volumes obtenus à la première et à la seconde équivalence lors du titrage de la lessive. En déduire la nature probable d'autres espèces présentes dans la lessive.

Données utiles pour du carbonate de sodium pur, $V_{éq2} = 2\,V_{éq1}$; $V_{éq1} = 7{,}5$ mL (Q8) ; figure 2

Le second minimum de la courbe dérivée donne $V_{éq2} \approx 16{,}9$ mL.

Or $2\,V_{éq1} = 2 \times 7{,}5 = 15{,}0$ mL : $V_{éq2} > 2\,V_{éq1}$ (rapport $\dfrac{16{,}9}{7{,}5} \approx 2{,}3$).

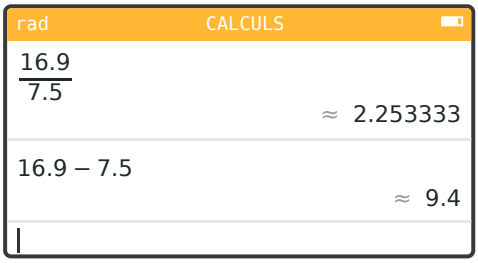
Entre les deux équivalences, il a fallu verser $16{,}9 - 7{,}5 = 9{,}4$ mL d'acide, soit plus que les $7{,}5$ mL nécessaires pour titrer les seuls ions HCO_3^- issus des ions carbonate. D'autres espèces ont donc consommé des ions H_3O^+.

$V_{éq2} \approx 16{,}9\ \text{mL} > 2\,V_{éq1} = 15{,}0\ \text{mL}$: la lessive contient probablement d'autres espèces basiques, par exemple des ions hydrogénocarbonate HCO_3^-.

COMPRENDRE

Ces bases sont plus faibles que l'ion carbonate : elles ne réagissent qu'après la première équivalence, ce qui est cohérent avec l'hypothèse de l'énoncé (seuls les ions carbonate sont titrés jusqu'à $V_{éq1}$).

À LA CALCULATRICE



Traitement de surface d'une pièce de jeu d'échecs

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Préciser, en justifiant, les précautions à prendre lors de la manipulation de l'acide sulfurique.

Le pictogramme indique que l'acide sulfurique commercial est **corrosif** : il attaque la peau et les yeux.

On le manipule avec une blouse, des gants et des lunettes de protection, sous la hotte.

PIÈGE
La question demande de justifier : citer les protections sans nommer le danger lu sur le pictogramme ne suffit pas.

Q2 Déterminer la masse d'acide sulfurique commercial à peser pour préparer 500 mL de solution de concentration 180 g·L^{-1}.

Données utiles $c_m = 180\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 0{,}500$ L ; titre massique $w = 98\ \% = 0{,}98$

Masse d'acide pur nécessaire : $m_{\text{acide}} = c_m \times V = 180 \times 0{,}500 = 90{,}0$ g.

L'acide commercial n'est pas pur : $w = \dfrac{m_{\text{acide}}}{m_{\text{com}}}$, donc

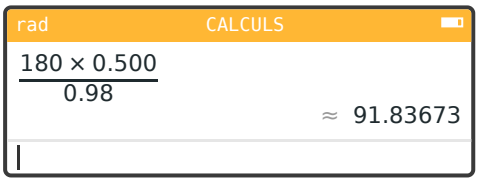
$$m_{\text{com}} = \frac{c_m \times V}{w} = \frac{180 \times 0{,}500}{0{,}98} = 92\ \text{g}$$

Il faut peser $m_{\text{com}} = 92$ g d'acide sulfurique commercial.

PIÈGE
Multiplier par 0,98 au lieu de diviser. Il faut plus de 90 g de liquide commercial pour apporter 90 g d'acide pur.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme le titre massique (98 %), la donnée la moins précise. La densité ne sert pas : on pèse le liquide, on ne mesure pas son volume.

À LA CALCULATRICE



Q3 Indiquer si la transformation qui se déroule lors d'une électrolyse est une transformation d'oxydoréduction spontanée ou forcée.

Le générateur fournit de l'énergie électrique et impose le sens de circulation des électrons : le système évolue dans le sens inverse de son évolution spontanée.

La transformation est **forcée**.

COMPRENDRE
Sans générateur, il ne se passerait rien dans le bain. Une pile fonctionne à l'inverse : la transformation y est spontanée et c'est elle qui fournit l'énergie électrique.

Q4 Écrire la demi-équation électronique de la transformation de l'aluminium en alumine, puis justifier que la pièce de jeu d'échecs constitue l'anode.

Données utiles couple $\text{Al}_2\text{O}_3\,(\text{s})\ /\ \text{Al}\,(\text{s})$

$$2\,\text{Al}\,(\text{s}) + 3\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l}) = \text{Al}_2\text{O}_3\,(\text{s}) + 6\,\text{H}^+\,(\text{aq}) + 6\,\text{e}^-$$

L'aluminium cède des électrons : il est oxydé. Cet aluminium est celui de la pièce, et l'anode est l'électrode siège d'une oxydation.

La pièce de jeu d'échecs, où se produit l'oxydation de Al, est l'**anode**.

MÉTHODE
Dans l'ordre : équilibrer l'élément Al, puis O avec H_2O, puis H avec H^+, enfin les charges avec les électrons. Vérifier : charge nulle de chaque côté.

Q5 Écrire la demi-équation électronique modélisant la réduction de l'eau, puis justifier l'observation d'un dégagement gazeux au niveau de l'électrode en graphite.

Données utiles couples $H^+(aq)$ / $H_2(g)$ et $O_2(g)$ / $H_2O(l)$

$$2\,H^+(aq) + 2\,e^- = H_2(g)$$

Cette réduction a lieu à la cathode, c'est-à-dire sur l'électrode en graphite, et son produit est un gaz.

Des bulles de dihydrogène $H_2(g)$ se dégagent sur l'électrode en graphite.

PIÈGE
Choisir le couple O_2 / H_2O : l'eau y est le réducteur, elle ne pourrait qu'être oxydée. Une réduction consomme l'oxydant d'un couple, ici H^+.

Q6 En déduire que l'équation de la réaction modélisant cette électrolyse s'écrit $2\,Al(s) + 3\,H_2O(l) \longrightarrow Al_2O_3(s) + 3\,H_2(g)$.

Les électrons cédés à l'anode sont tous captés à la cathode : on multiplie la réduction par 3 pour échanger 6 électrons.

$2\,Al(s) + 3\,H_2O(l) = Al_2O_3(s) + 6\,H^+(aq) + 6\,e^-$

$6\,H^+(aq) + 6\,e^- = 3\,H_2(g)$

En additionnant, les 6 e^- et les 6 H^+ se simplifient :

$$2\,Al(s) + 3\,H_2O(l) \longrightarrow Al_2O_3(s) + 3\,H_2(g)$$

COMPRENDRE
Les ions H^+ produits à l'anode sont consommés à la cathode en même quantité : ils n'apparaissent pas dans le bilan.

Q7 Indiquer sur le schéma de l'annexe le sens de déplacement des électrons, les bornes + et – du générateur, et le sens de déplacement des ions $H^+(aq)$ et $SO_4^{2-}(aq)$ dans la solution.

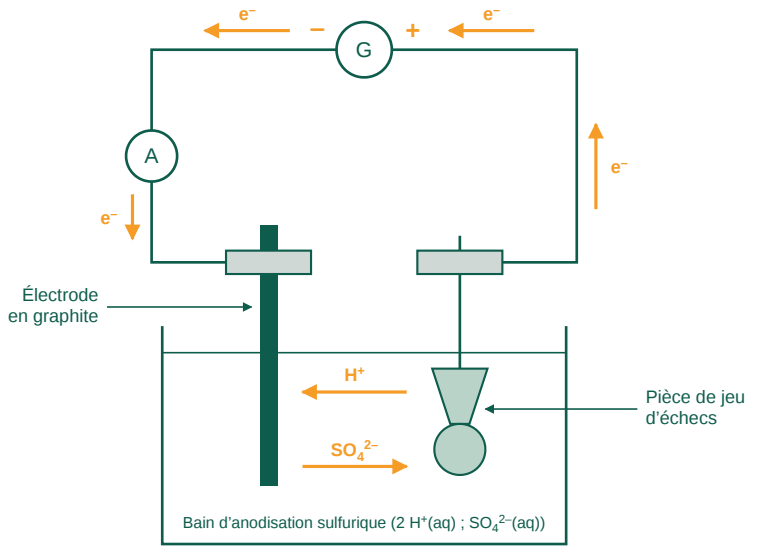
Les électrons sont libérés par l'oxydation à l'anode (la pièce) : ils la quittent par le fil et rejoignent la borne + du générateur. Ils sortent par la borne – et arrivent à la cathode (le graphite), où la réduction les consomme.

Dans la solution, les cations H^+ vont vers la cathode et les anions SO_4^{2-} vers l'anode.

Borne + reliée à la pièce, borne – reliée au graphite ; électrons de la pièce vers le graphite par le circuit ; H^+ vers le graphite, SO_4^{2-} vers la pièce.

PIÈGE
Dessiner des électrons dans la solution. Ils ne circulent que dans les fils et les électrodes ; dans le bain, le courant est porté par les ions.

MÉTHODE
Dans une électrolyse, l'anode est reliée à la borne + et la cathode à la borne –. Les cations migrent vers la cathode, les anions vers l'anode.



Q7 · Annexe complétée : électrons, bornes du générateur et déplacement des ions

Q8 Déterminer la masse théorique d'alumine $Al_2O_3\,(s)$ produite sur la pièce de jeu d'échecs au cours de cette électrolyse.

Données utiles $I = 0{,}55$ A ; $\Delta t = 40$ min ; $F = 96\,500$ C · mol^{-1} ; $M_{alumine} = 102$ g · mol^{-1}

Charge électrique débitée : $Q = I \times \Delta t$, avec $\Delta t = 40 \times 60 = 2\,400$ s.

Quantité d'électrons échangés : $Q = n(e^-) \times F$, donc $n(e^-) = \dfrac{I \times \Delta t}{F}$.

D'après la demi-équation de Q4, la formation d'une mole d'alumine libère 6 moles d'électrons : $n(Al_2O_3) = \dfrac{n(e^-)}{6}$.

Comme $m_{alumine} = n(Al_2O_3) \times M_{alumine}$:

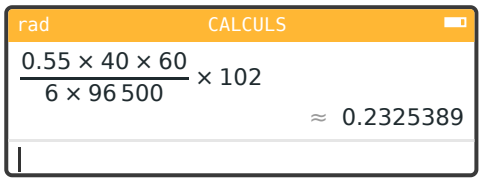
$$m_{alumine} = \frac{I \times \Delta t}{6\,F} \times M_{alumine} = \frac{0{,}55 \times 2\,400}{6 \times 96\,500} \times 102 = 0{,}23 \text{ g}$$

$m_{alumine} = 0{,}23$ g

PIÈGE
Laisser la durée en minutes : un ampère est un coulomb par seconde. Oublier le facteur 6 donne une masse six fois trop grande.

COMPRENDRE
La valeur trouvée est celle que l'énoncé donne dans la partie 3 : c'est un moyen de se contrôler.

À LA CALCULATRICE



Q9 En supposant un rendement d'anodisation de 100 %, déterminer si la coloration de la pièce de jeu d'échecs est possible.

Données utiles $\rho_{alumine} = 3{,}97$ g · cm^{-3} ; $m_{alumine} = 0{,}23$ g ; $S = 25$ cm^2 ; épaisseur minimale : 15 µm

La couche d'alumine d'épaisseur e recouvre la surface S : son volume est $V = S \times e$.

Or $\rho_{alumine} = \dfrac{m_{alumine}}{V}$, donc

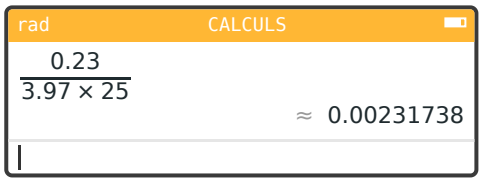
$$e = \frac{m_{alumine}}{\rho_{alumine} \times S} = \frac{0{,}23}{3{,}97 \times 25} = 2{,}3 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

soit $e = 2{,}3 \times 10^{-5}$ m $= 23$ µm.

$e = 23$ µm > 15 µm : la coloration est possible.

PIÈGE
Avec des g·cm^{-3} et des cm^2, l'épaisseur sort en centimètres. La conversion est 1 cm $= 10^4$ µm.

À LA CALCULATRICE



Q10 L'épaisseur de la couche d'alumine est en réalité voisine de 19 µm. Calculer le rendement réel de cette anodisation.

Données utiles $e_{réelle} = 19$ µm ; $e_{théorique} = 23{,}2$ µm (Q9, valeur non arrondie)

Le rendement est $\eta = \dfrac{m_{réelle}}{m_{théorique}}$. Comme $m = \rho_{alumine} \times S \times e$, la masse est proportionnelle à l'épaisseur :

$$\eta = \frac{e_{réelle}}{e_{théorique}} = \frac{19}{23{,}2} = 0{,}82$$

$\eta = 0{,}82$, soit un rendement d'environ $82\,\%$.

COMPRENDRE
Avec l'épaisseur arrondie à 23 µm, on obtient 0,83. L'écart vient de l'arrondi intermédiaire ; les deux valeurs sont acceptées, l'épaisseur réelle n'étant que « voisine » de 19 µm.

À LA CALCULATRICE

