Corrigé complet — Bac 2023 Polynésie Septembre

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

Ex 1	**L'expérience de Millikan revisitée par des chercheurs suédois** Circuit RC · Équation différentielle · Temps caractéristique · Condensateur plan · Force électrique · Deuxième loi de Newton	11 pts	1 h 55	16 questions	p. 2
Ex 2	**L'acide butanoïque** Couples acide/base · Tableau d'avancement · Loi de Kohlrausch · Quotient de réaction · Constante d'acidité · Taux d'avancement final	5 pts	53 min	8 questions	p. 7
Ex 3	**Etude d'un traitement contre les verrues** Titre massique et concentration · Dilution · Titrage pH-métrique · Équivalence · Incertitude-type et compatibilité · Indicateur coloré	4 pts	42 min	9 questions	p. 10

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.

L'expérience de Millikan revisitée par des chercheurs suédois

Bac 2023 Polynésie Septembre · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 55**

Q1 Écrire la relation entre les tensions u_C, u_R et U_G du circuit de la figure 1.

Loi des mailles dans le circuit série, interrupteur fermé :

$$U_G = u_R + u_C$$

PIÈGE
Les flèches de u_R et u_C s'opposent à celle de U_G quand on parcourt la maille : les deux tensions s'ajoutent, aucun signe « $-$ » n'apparaît.

Q2 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ pendant la charge est $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{RC}u_C = \dfrac{U_G}{RC}$.

Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$.

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

La loi des mailles (Q1) devient : $U_G = RC\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C$.

On divise chaque membre par RC :

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{RC}u_C = \frac{U_G}{RC}$$

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement pour un circuit RC : loi des mailles, loi d'Ohm, $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$, puis mise en forme en divisant par RC.

Q3 Vérifier que $u_C(t) = U_G\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ est solution de cette équation différentielle et préciser l'expression de la constante τ.

On dérive la fonction proposée : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = \dfrac{U_G}{\tau}\,e^{-t/\tau}$.

On reporte dans le membre de gauche de l'équation :

$$\frac{U_G}{\tau}\,e^{-t/\tau} + \frac{U_G}{RC}\left(1 - e^{-t/\tau}\right) = \frac{U_G}{RC} + U_G\,e^{-t/\tau}\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{RC}\right)$$

Ce membre est égal à $\dfrac{U_G}{RC}$ à chaque instant si, et seulement si, $\dfrac{1}{\tau} - \dfrac{1}{RC} = 0$.

De plus $u_C(0) = U_G\,(1 - 1) = 0$: le condensateur est bien déchargé à $t = 0$.

La fonction proposée est solution, avec $\tau = RC$.

PIÈGE
La dérivée de $e^{-t/\tau}$ est $-\dfrac{1}{\tau}\,e^{-t/\tau}$: avec le signe « $-$ » déjà présent devant l'exponentielle, la dérivée de u_C est positive.

COMPRENDRE
« Vérifier » ne demande pas de résoudre l'équation : on remplace u_C et sa dérivée, puis on cherche à quelle condition l'égalité est vraie quel que soit t.

Q4 Déterminer, à l'aide de la figure 2, la valeur du temps caractéristique de charge τ en expliquant la démarche.

Données utiles $U_G = 666$ V

À la date $t = \tau$: $u_C(\tau) = U_G\left(1 - e^{-1}\right) = 0{,}63\,U_G$.

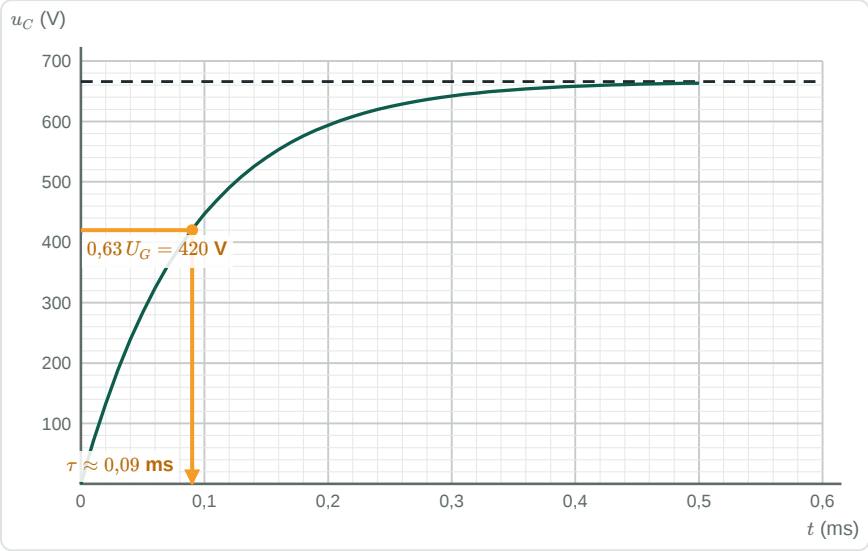
$u_C(\tau) = 0{,}63 \times 666 = 420$ V.

Sur la figure 2, la courbe atteint 420 V à la date $t \approx 0{,}00009$ s.

$\tau \approx 9 \times 10^{-5}$ s, soit environ $0{,}09$ ms

PIÈGE
L'axe est gradué en secondes avec des valeurs très petites : une graduation vaut $0{,}0001$ s, soit $0{,}1$ ms. Une erreur d'un zéro fausse aussi la capacité de la question suivante.

MÉTHODE
Autre tracé possible : la tangente à l'origine coupe l'asymptote $u_C = U_G$ à la date $t = \tau$. La lecture à 63 % est plus précise, car une tangente se trace mal sur des points de mesure.



Q4 · Figure 2 du sujet (temps en ms), avec la lecture à 63 % de la tension finale

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
0.63×666
≈ 419.58

Q5 En déduire la valeur de la capacité C du condensateur utilisé.

Données utiles $\tau \approx 9 \times 10^{-5}$ s (Q4) ; $R = 10\ \text{M}\Omega$

$\tau = RC$ donc $C = \dfrac{\tau}{R}$, avec $R = 10\ \text{M}\Omega = 10 \times 10^6\ \Omega$.

$$C = \frac{9 \times 10^{-5}}{10 \times 10^6} = 9 \times 10^{-12}\ \text{F}$$

$C \approx 9 \times 10^{-12}$ F, soit environ 9 pF

PIÈGE
Laisser R en mégaohms donne une capacité un million de fois trop grande : $1\ \text{M}\Omega = 10^6\ \Omega$.

COMPRENDRE
La lecture graphique de τ ne donne qu'un chiffre significatif fiable : le résultat est un ordre de grandeur précis, à comparer à la valeur calculée ensuite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\dfrac{9 \times 10^{-5}}{10 \times 10^6}$
$\approx 9 \times 10^{-12}$

Q6 Retrouver la valeur de la capacité C du condensateur en la calculant à partir des données.

Données utiles $C = \dfrac{\varepsilon \times S}{d}$; $S = 10{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$; $d = 1{,}0 \times 10^{-3}$ m ; $\varepsilon = 8{,}85 \times 10^{-12}\ \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{d} = \frac{8{,}85 \times 10^{-12} \times 10{,}0 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 8{,}85 \times 10^{-12}\ \text{F}$$

Cette valeur est en accord avec celle obtenue en Q5 (environ 9×10^{-12} F) : l'écart vient de la lecture graphique de τ.

$C = 8{,}9 \times 10^{-12}$ F, soit 8,9 pF : on retrouve bien environ 9 pF.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($d = 1{,}0 \times 10^{-3}$ m).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\dfrac{8.85 \times 10^{-12} \times 10.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-3}}$
$\approx 8.85 \times 10^{-12}$

Q7 Préciser le domaine de longueurs d'onde auquel appartient la source laser utilisée dans l'expérience suédoise.

Données utiles $\lambda = 532$ nm

Le domaine visible s'étend d'environ 400 nm à 800 nm dans le vide, et $400 < 532 < 800$.

Le laser émet dans le domaine **visible** (lumière verte).

Q8 Préciser le sens de déplacement de la goutte si la source radioactive la charge négativement.

Une goutte de charge négative est attirée par la plaque chargée positivement et repoussée par la plaque chargée négativement. Sur la figure 3, la plaque positive est en haut.

La goutte se déplace **vers le haut**, vers la plaque chargée positivement.

COMPRENDRE

Même conclusion avec $\vec{F}_{\text{él}} = q\vec{E}$: le champ va de la plaque positive vers la plaque négative, et pour $q < 0$ la force est de sens opposé au champ.

Q9 Évaluer, à l'aide de la figure 4, la hauteur h en millimètre d'un saut de la goutte correspondant au gain d'un seul électron, comme en (a) ou en (b).

Sur la figure 4, cinq interlignes séparent deux graduations distantes de 0,05 mm : un interligne vaut $\frac{0{,}05}{5} = 0{,}01$ mm.

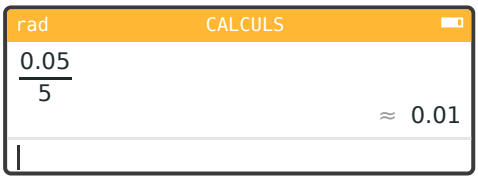
Le saut qui mène au palier (b) fait passer la position d'environ 0,065 mm à environ 0,075 mm, soit un interligne.

$h \approx 0{,}01$ mm

PIÈGE

Ne pas mesurer un grand saut comme (c) ou (d) : la goutte y gagne plusieurs électrons d'un coup. Le saut élémentaire est le plus petit observé.

À LA CALCULATRICE



Q10 Déterminer le nombre de charges électriques élémentaires acquises par la goutte au bout d'un temps t égal à 12 s.

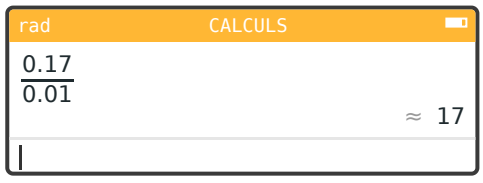
Données utiles $h \approx 0{,}01$ mm (Q9)

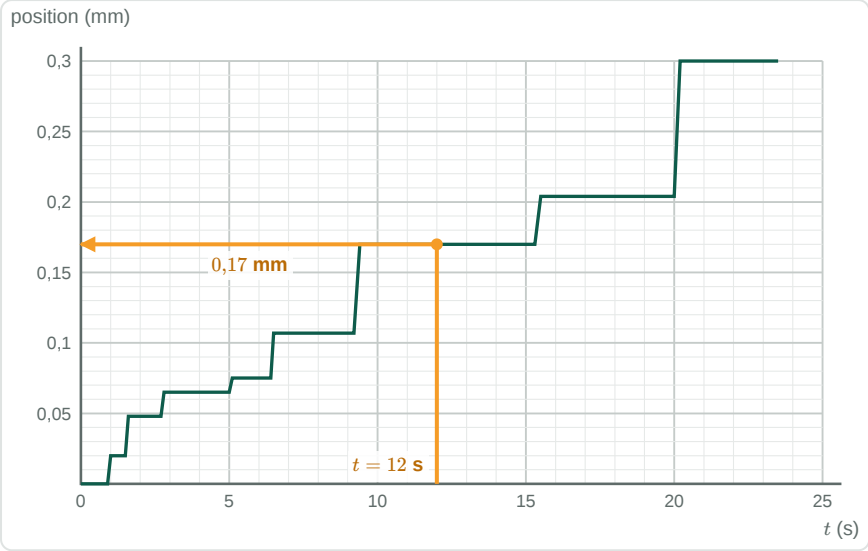
À $t = 12$ s, la figure 4 donne une position d'environ 0,17 mm (la position 0,00 est celle de la goutte neutre).

Chaque électron gagné déplace la goutte de h : $n = \frac{0{,}17}{0{,}01} = 17$.

À $t = 12$ s, la goutte a acquis **17 charges élémentaires** (17 électrons).

À LA CALCULATRICE





Q10 · Allure de la figure 4 du sujet : un interligne vaut 0,01 mm ; lecture à t = 12 s

Q11 En déduire, à l'aide de la figure 4, que cette expérience permet bien d'observer la proportionnalité entre la charge totale Q de la goutte et la charge élémentaire e.

La position de la goutte n'évolue pas de façon continue : elle reste sur des paliers et ne change que par sauts.

Un électron gagné correspond à un saut h, et la position atteinte vaut un nombre entier de fois h (17 fois à $t = 12$ s). La goutte porte donc un nombre entier n d'électrons, lisible directement sur le graphique.

$Q = -n \times e$ avec n entier : la charge de la goutte est proportionnelle à e.

COMPRENDRE
C'est la quantification de la charge : aucun palier ne correspond à une fraction de e. Le graphique montre directement les multiples entiers, là où Millikan devait les déduire de calculs.

Q12 Écrire, avec la deuxième loi de Newton, la relation vectorielle entre les forces et l'accélération $\vec{a}$ de la goutte au cours de sa chute, en précisant le référentiel choisi.

Système : {goutte d'huile}, ponctuelle, de masse m constante.

Référentiel : terrestre (le laboratoire), supposé galiléen.

Forces : le poids $\overrightarrow{P}$ et la force de frottement $\vec{f}$; la poussée d'Archimède est négligée et le condensateur, déchargé, n'exerce aucune force électrique.

Deuxième loi de Newton : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$

$\overrightarrow{P} + \vec{f} = m\,\vec{a}$

PIÈGE
La relation demandée est vectorielle : pas de signe « $-$ » devant $\vec{f}$. Le sens opposé au mouvement n'apparaît qu'au moment de projeter sur un axe.

Q13 Indiquer une des différences entre l'expérience historique de Millikan et celle de l'équipe suédoise concernant les gouttes d'huile.

Chez Millikan, la goutte est déjà chargée négativement quand elle entre entre les plaques, et elle tombe.

Dans l'expérience suédoise, la goutte est neutre au départ, maintenue par le piège optique, puis chargée peu à peu par la source radioactive.

Goutte chargée dès le départ (Millikan) ; goutte initialement neutre qui se charge électron par électron (équipe suédoise).

Q14 Décrire la nature du mouvement de la goutte à partir de la date $t = 0{,}6$ s. En déduire la relation vectorielle reliant les forces appliquées au système.

À partir de $t = 0{,}6$ s, le vecteur vitesse $\vec{v}$ est constant (direction, sens et valeur) : le mouvement de la goutte est **rectiligne uniforme**.

Alors $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \vec{0}$, et la relation de Q12 donne $\overrightarrow{P} + \vec{f} = m\,\vec{a} = \vec{0}$.

Mouvement rectiligne uniforme : $\overrightarrow{P} + \vec{f} = \vec{0}$, soit $\vec{f} = -\overrightarrow{P}$

COMPRENDRE
Les deux forces se compensent : même direction, sens opposés, même norme. C'est le principe d'inertie, lu dans le sens « mouvement rectiligne uniforme, donc somme des forces nulle ».

Q15 Reproduire la figure 6 et représenter, sans souci d'échelle, le vecteur force $\overrightarrow{F_{\text{él}}}$ exercé sur la goutte chargée négativement.

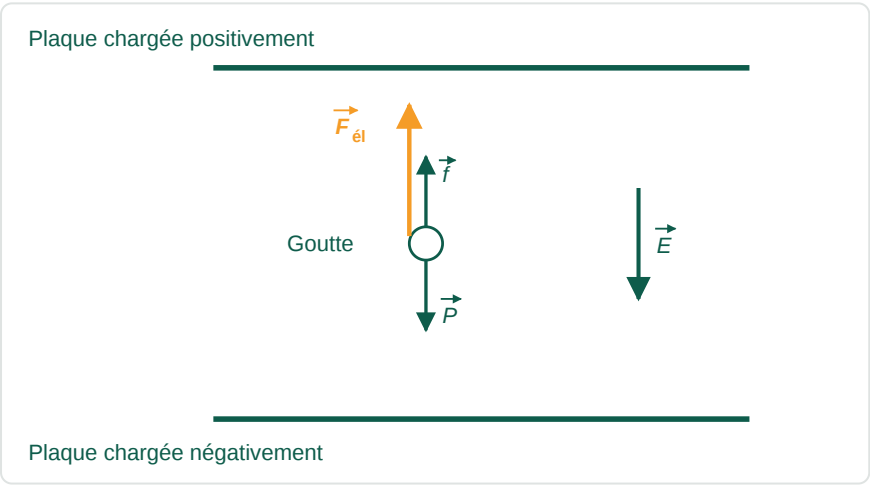
Données utiles $\overrightarrow{F_{\text{él}}} = q\,\overrightarrow{E}$

$\overrightarrow{F_{\text{él}}} = q\,\overrightarrow{E}$ avec $q < 0$: la force électrique a la même direction que $\overrightarrow{E}$ et le sens opposé.

Sur la figure 6, $\overrightarrow{E}$ est vertical, dirigé vers le bas.

$\overrightarrow{F_{\text{él}}}$ est tracé à partir de la goutte, vertical, **vers le haut** (vers la plaque positive).

PIÈGE
Tracer $\overrightarrow{F_{\text{él}}}$ dans le sens de $\overrightarrow{E}$: ce n'est vrai que pour une charge positive. Le vecteur part de la goutte, pas de la flèche du champ.



Q15 · Figure 6 reproduite : la force électrique (en orange) est verticale, vers la plaque positive

Q16 En déduire la nature du mouvement de la goutte quand un champ électrique suffisamment élevé règne entre les plaques.

Deuxième loi de Newton : $\overrightarrow{P} + \vec{f} + \overrightarrow{F_{\text{él}}} = m\,\vec{a}$.

Juste avant, $\overrightarrow{P} + \vec{f} = \vec{0}$ (Q14) : à l'établissement du champ, $m\,\vec{a} = \overrightarrow{F_{\text{él}}}$. L'accélération est verticale, vers le haut, donc de sens opposé à la vitesse de chute.

La goutte ralentit, s'arrête, puis, si le champ est assez intense pour que $F_{\text{él}} > P$, elle remonte vers la plaque positive.

Le mouvement reste rectiligne (vertical) mais n'est plus uniforme : la goutte est **ralentie**, puis elle repart vers le haut.

COMPRENDRE
Pendant la remontée, le frottement change de sens et s'oppose de nouveau au mouvement : la vitesse finit par se stabiliser, et le mouvement redevient uniforme, vers le haut cette fois.

L'acide butanoïque

Bac 2023 Polynésie Septembre · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Identifier les couples acide/base mis en jeu dans cette transformation chimique.

L'acide butanoïque cède un ion H^+ à l'eau, qui le capte. Les deux couples sont donc :

$C_3H_7COOH\,(aq)$ / $C_3H_7COO^-\,(aq)$ et $H_3O^+\,(aq)$ / $H_2O\,(l)$

PIÈGE
Un couple s'écrit toujours acide / base, dans cet ordre. Ici l'eau joue le rôle de base : son couple est H_3O^+ / H_2O, pas H_2O / HO^-.

Q2 Compléter à l'aide d'expressions littérales le tableau d'avancement du document réponse.

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 : quand l'avancement vaut x, il disparaît x mol d'acide et il se forme x mol de chaque ion. Les ions sont absents à l'état initial.

Voir le document réponse complété : $n_i - x$ pour l'acide, x pour chacun des deux ions, avec $x = x_{max}$ puis $x = x_f$ sur les deux dernières lignes.

COMPRENDRE
La dernière ligne décrit l'état réellement atteint : la transformation est limitée, donc $x_f < x_{max}$. L'eau est le solvant, toujours en excès.

		$C_3H_7COOH(aq)$ +	$H_2O(l)$	⇄ $C_3H_7COO^-(aq)$ +	$H_3O^+(aq)$
	Avancement	Quantités de matière			
État initial	$x = 0$	n_i	excès	0	0
État intermédiaire	x	$n_i - x$	excès	x	x
État final si réaction totale	$x = x_{max}$	$n_i - x_{max}$	excès	x_{max}	x_{max}
État final observé	$x = x_f$	$n_i - x_f$	excès	x_f	x_f

Q2 · Document réponse complété : en orange, ce que l'élève écrit

Q3 En déduire la relation à l'état final entre $[H_3O^+]_f$ et $[C_3H_7COO^-]_f$.

D'après la dernière ligne du tableau : $n_f(H_3O^+) = n_f(C_3H_7COO^-) = x_f$.

Les deux ions sont dans le même volume V de solution, donc en divisant par V :

$$[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f = \frac{x_f}{V}$$

Q4 En utilisant la loi de Kohlrausch, exprimer la conductivité σ_f à l'état final du mélange 1 en fonction de $[H_3O^+]_f$ et $[C_3H_7COO^-]_f$.

Les seuls ions présents en quantité notable sont $C_3H_7COO^-$ et H_3O^+. La loi de Kohlrausch donne :

$$\sigma_f = \lambda_1 \times [C_3H_7COO^-]_f + \lambda_2 \times [H_3O^+]_f$$

PIÈGE
L'acide butanoïque et l'eau sont des molécules, non chargées : ils ne conduisent pas le courant et n'apparaissent pas dans la somme.

Q5 Pour le mélange 1, vérifier que la concentration des ions H_3O^+ et $C_3H_7COO^-$ à l'état final est égale à $0{,}381\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $\sigma_f = 14{,}70\ \text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$; $\lambda_1 = 3{,}58\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $\lambda_2 = 35{,}0\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $1\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3} = 1\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

Comme $[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f$ (Q3), la relation de Q4 devient $\sigma_f = (\lambda_1 + \lambda_2) \times [H_3O^+]_f$, d'où :

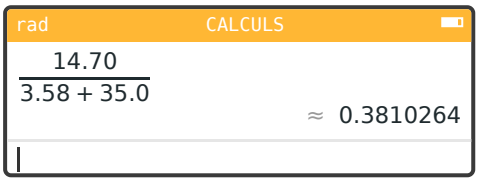
$$[H_3O^+]_f = \frac{\sigma_f}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{14{,}70}{3{,}58 + 35{,}0} = 0{,}381\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$$

$[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f = 0{,}381\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Avec σ en $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ et λ en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, la concentration sort en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, pas en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La conversion en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ doit être écrite.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme λ_1 et λ_2, les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



Q6 Donner l'expression littérale du quotient de réaction $Q_{r,f}$ à l'état final pour le mélange 1, calculer sa valeur, puis commenter.

Données utiles $[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f = 0{,}381\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; $[C_3H_7COOH]_f = 9{,}619\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; $C^0 = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{p}K_a = 4{,}82$

L'eau, solvant, n'intervient pas dans le quotient de réaction :

$$Q_{r,f} = \frac{[C_3H_7COO^-]_f \times [H_3O^+]_f}{[C_3H_7COOH]_f \times C^0}$$

Avec les concentrations en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$Q_{r,f} = \frac{0{,}381 \times 10^{-3} \times 0{,}381 \times 10^{-3}}{9{,}619 \times 10^{-3} \times 1} = 1{,}51 \times 10^{-5}$$

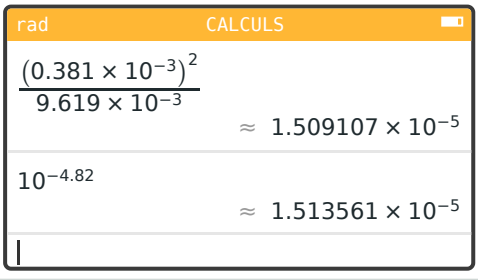
Commentaire : on retrouve la même valeur que pour les mélanges 2 et 3. Le quotient de réaction à l'état final ne dépend pas de la concentration apportée en acide. Il est égal à $K_a = 10^{-\text{p}K_a} = 10^{-4{,}82} = 1{,}51 \times 10^{-5}$: l'état final est un état d'équilibre.

$Q_{r,f} = 1{,}51 \times 10^{-5}$ pour le mélange 1, identique pour les trois mélanges et égal à K_a.

PIÈGE
Laisser les concentrations en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ donne $1{,}51 \times 10^{-2}$: C^0 vaut $1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, tout doit être converti en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

COMPRENDRE
$Q_{r,f}$ n'a pas d'unité : la division par C^0 sert à cela. À l'équilibre, $Q_{r,f} = K$, constante qui ne dépend que de la température.

À LA CALCULATRICE



Q7 Établir que la constante d'équilibre de la réaction de l'acide butanoïque avec l'eau s'écrit $K_a = \dfrac{\left(\frac{x_f}{V}\right)^2}{\left(C - \frac{x_f}{V}\right) \times C^0}$.

À l'équilibre, le quotient de réaction est égal à la constante d'équilibre :

$$K_a = Q_{r,f} = \frac{[\mathrm{C_3H_7COO^-}]_f \times [\mathrm{H_3O^+}]_f}{[\mathrm{C_3H_7COOH}]_f \times C^0}$$

D'après le tableau d'avancement (Q2 et Q3) : $[\mathrm{H_3O^+}]_f = [\mathrm{C_3H_7COO^-}]_f = \dfrac{x_f}{V}$.

Pour l'acide, avec $n_i = C \times V$: $[\mathrm{C_3H_7COOH}]_f = \dfrac{n_i - x_f}{V} = C - \dfrac{x_f}{V}$.

En remplaçant dans l'expression de K_a :

$$K_a = \frac{\left(\frac{x_f}{V}\right)^2}{\left(C - \frac{x_f}{V}\right) \times C^0}$$

MÉTHODE
Pour exprimer une constante d'équilibre avec l'avancement : écrire Q_r à l'équilibre, puis remplacer chaque concentration par la ligne « état final » du tableau divisée par V.

Q8 En déduire que, dans ce cas, le taux d'avancement de la réaction de l'acide butanoïque avec l'eau est proche de 12 %.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V = 1{,}00\ \mathrm{L}$; $K_a = 1{,}51 \times 10^{-5}$ (Q6) ; $C^0 = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

Taux d'avancement final : $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$.

Si la réaction était totale, l'acide serait entièrement consommé : $n_i - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = C \times V = 1{,}0 \times 10^{-3} \times 1{,}00 = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$.

Avec $V = 1{,}00\ \mathrm{L}$ et $C^0 = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, la relation de Q7 s'écrit numériquement $K_a = \dfrac{x_f^2}{C - x_f}$, soit :

$$x_f^2 + K_a\, x_f - K_a\, C = 0$$

Discriminant : $\Delta = K_a^2 + 4\, K_a\, C = (1{,}51 \times 10^{-5})^2 + 4 \times 1{,}51 \times 10^{-5} \times 1{,}0 \times 10^{-3} = 6{,}06 \times 10^{-8}$.

$\Delta > 0$: deux solutions, dont une négative, impossible pour un avancement. On garde :

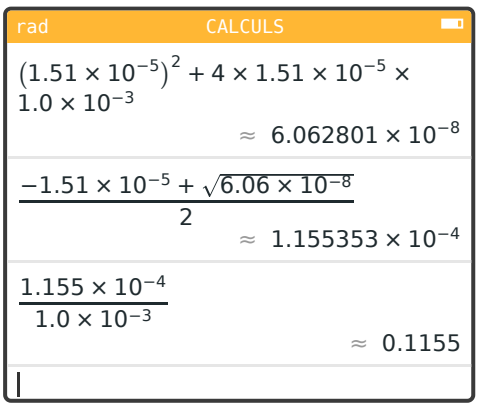
$$x_f = \frac{-K_a + \sqrt{\Delta}}{2} = \frac{-1{,}51 \times 10^{-5} + \sqrt{6{,}06 \times 10^{-8}}}{2} = 1{,}2 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$$

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{1{,}2 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 0{,}12,\ \text{soit } 12\ \%$$: c'est la valeur annoncée.

PIÈGE
Prendre x_{max} pour x_f, ou garder la racine négative. Un taux de 12 % signifie que l'acide réagit peu avec l'eau : c'est un acide faible.

COMPRENDRE
Vérification : cette solution est le mélange 3 du tableau ($C = 1{,}00\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$), où $x_f = [\mathrm{H_3O^+}]_f \times V = 1{,}15 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$, soit $\tau = 11{,}5\ \%$, proche de 12 %.

À LA CALCULATRICE



Etude d'un traitement contre les verrues

Bac 2023 Polynésie Septembre · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q1 Calculer la masse m d'acide trichloroacétique à peser pour préparer la solution S_0.

Données utiles $V = 100{,}0$ mL ; titre massique $w = 40{,}0\ \%$; $\rho = 1{,}50 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

Masse du volume V de solution : $m_{S_0} = \rho V$.

L'acide représente 40,0 % de cette masse : $m = w\,\rho\,V$.

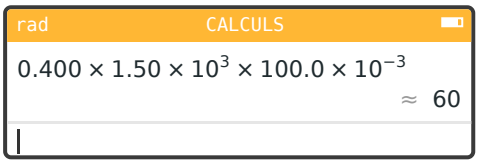
$$m = 0{,}400 \times 1{,}50 \times 10^3 \times 100{,}0 \times 10^{-3}$$

$m = 60{,}0$ g

PIÈGE
Laisser V en millilitres alors que ρ est en grammes par litre : on trouverait une masse mille fois trop grande.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme w et ρ, les données les moins précises : on écrit 60,0 g et non 60 g.

À LA CALCULATRICE



Q2 Vérifier que la concentration en quantité de matière c_0 de la solution S_0 est égale à $3{,}67\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $m = 60{,}0$ g (Q1) ; $M = 163{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V = 100{,}0$ mL

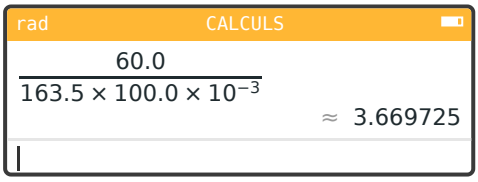
$c_0 = \dfrac{n}{V}$ avec $n = \dfrac{m}{M}$, donc $c_0 = \dfrac{m}{M\,V}$.

$$c_0 = \frac{60{,}0}{163{,}5 \times 100{,}0 \times 10^{-3}} = 3{,}67\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$c_0 = 3{,}67\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

MÉTHODE
Sans passer par la masse : $c_0 = \dfrac{w\,\rho}{M}$. Le volume préparé n'intervient pas, la concentration ne dépend que de la composition de la solution.

À LA CALCULATRICE



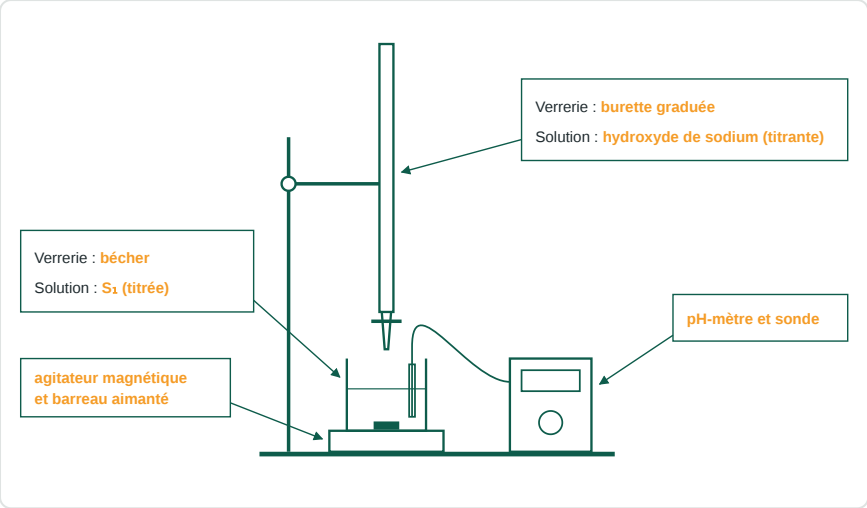
Q3 Annoter, sur le document réponse, le schéma du dispositif utilisé pour le dosage pH-métrique.

Voir le document réponse complété ci-dessous.

- Burette graduée : solution titrante d'hydroxyde de sodium $(\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}))$, de concentration c_2.
- Bécher : solution titrée S_1 d'acide trichloroacétique, $V_1 = 20{,}0$ mL.
- Sous le bécher : agitateur magnétique (et son barreau aimanté).
- Boîtier relié à la sonde : pH-mètre.

Titrante dans la burette (hydroxyde de sodium), titrée dans le bécher (S_1).

PIÈGE
Intervertir les deux solutions. La solution de concentration connue est dans la burette ; celle que l'on cherche à doser, prélevée avec précision (V_1), est dans le bécher.



Q3 · Document réponse complété : dispositif de titrage pH-métrique

Q4 À l'aide de la figure 1, déterminer le volume V_{2E} de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence. Nommer la méthode utilisée.

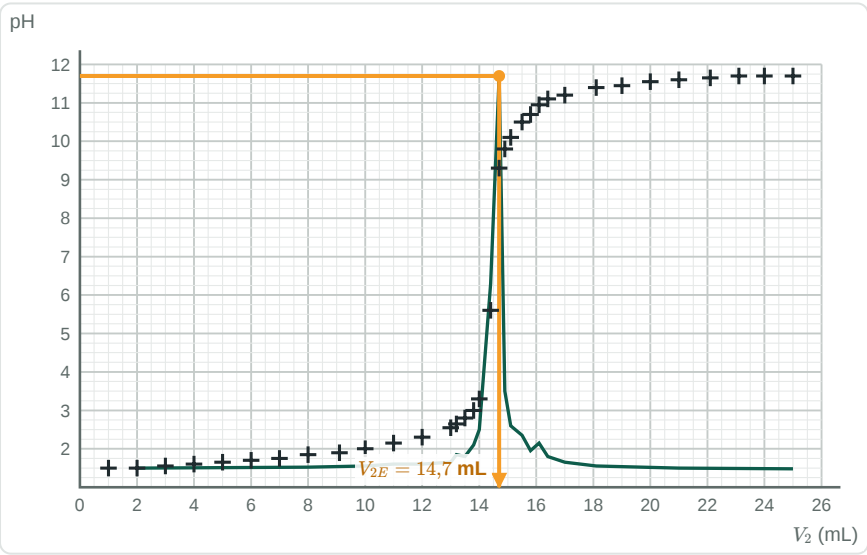
Méthode de la courbe dérivée : l'équivalence correspond au volume pour lequel $\frac{\mathrm{d\,pH}}{\mathrm{d}V_2}$ est maximale, c'est-à-dire à l'abscisse du sommet du pic.

Le pic est situé entre 14 mL et 15 mL, à sept dixièmes de la graduation 14.

$V_{2E} = 14{,}7\ \mathrm{mL}$ (méthode de la courbe dérivée)

PIÈGE
Lire l'ordonnée du sommet au lieu de son abscisse. La hauteur du pic n'a aucune signification ici : seule sa position sur l'axe des volumes compte.

COMPRENDRE
Le pic correspond au saut de pH : c'est là que le pH varie le plus vite. La méthode des tangentes parallèles est aussi acceptée et donne une valeur voisine, proche de 14,5 mL.



Q4 · Figure 1 du sujet : le pic de la courbe dérivée repère l'équivalence

Q5 Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation observée durant le dosage.

L'acide AH cède un ion $\mathrm{H^+}$ à la base $\mathrm{HO^-}$; la réaction support d'un titrage est totale.

$$\mathrm{AH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow A^-\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

PIÈGE
Faire figurer $\mathrm{Na^+}$: c'est un ion spectateur, il n'apparaît pas dans l'équation.

Q6 Déterminer la concentration en quantité de matière c_1 de la solution diluée S_1.

Données utiles $c_2 = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_{2E} = 14{,}7$ mL (Q4) ; $V_1 = 20{,}0$ mL

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation (Q5), ici une mole pour une mole :

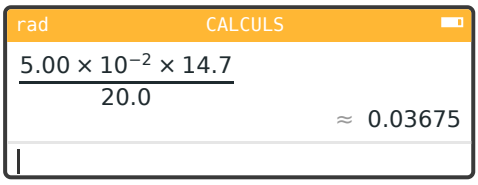
$n(\text{AH})_{\text{initiale}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versée}}$, soit $c_1 V_1 = c_2 V_{2E}$, donc $c_1 = \dfrac{c_2 V_{2E}}{V_1}$.

$$c_1 = \frac{5{,}00 \times 10^{-2} \times 14{,}7}{20{,}0} = 3{,}675 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\boxed{c_1 = 3{,}68 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Les deux volumes peuvent rester en millilitres : seul leur rapport intervient. Le résultat est donné avec trois chiffres significatifs, comme les trois données.

À LA CALCULATRICE



Q7 En déduire la concentration en quantité de matière $c_{0\text{exp}}$ de la solution S_0.

Données utiles $c_1 = 3{,}68 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q6) ; dilution au centième

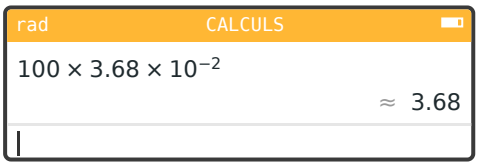
S_1 est obtenue en diluant S_0 au centième : S_0 est cent fois plus concentrée que S_1.

$$c_{0\text{exp}} = 100 \times c_1 = 100 \times 3{,}68 \times 10^{-2}$$

$$\boxed{c_{0\text{exp}} = 3{,}68\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Diviser par 100 au lieu de multiplier. La solution mère est toujours la plus concentrée : on doit retrouver une valeur proche de celle de Q2.

À LA CALCULATRICE



Q8 Vérifier la compatibilité de la valeur $c_{0\text{exp}}$ obtenue par le dosage avec la valeur de référence c_0 de la question Q2.

Données utiles $c_{0\text{exp}} = 3{,}68\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q7) ; $c_0 = 3{,}67\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q2) ; $u(c_{0\text{exp}}) = 4 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

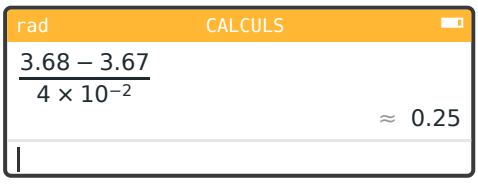
On calcule le quotient donné par l'énoncé :

$$\frac{|c_{0\text{exp}} - c_0|}{u(c_{0\text{exp}})} = \frac{|3{,}68 - 3{,}67|}{4 \times 10^{-2}} = 0{,}25$$

$0{,}25 \leqslant 2$: la valeur expérimentale est compatible avec la valeur de référence.

COMPRENDRE
L'écart entre les deux valeurs ($0{,}01\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) est quatre fois plus petit que l'incertitude-type. Avec les valeurs non arrondies, le quotient vaut environ 0,13 : la conclusion est la même.

À LA CALCULATRICE



Q9 À partir de la figure 2, choisir l'indicateur coloré le plus pertinent pour le dosage de l'acide trichloroacétique. Justifier.

Données utiles zones de virage : bleu de thymol 1,2 à 2,8 ; rouge de phénol 6,0 à 8,0 ; thymolphtaléine 9,3 à 10,5

Un indicateur convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence pH_E.

Sur la figure 1, le saut de pH, autour de $V_{2E} = 14{,}7$ mL, fait passer le pH d'environ 3,5 à environ 10 ; son milieu donne $\mathrm{pH}_E \approx 7$.

Cette valeur appartient à l'intervalle 6,0 à 8,0 et à aucun des deux autres.

Le rouge de phénol est le plus pertinent : sa zone de virage (6,0 à 8,0) contient $\mathrm{pH}_E \approx 7$.

PIÈGE

Choisir d'après le $\mathrm{p}K_a$ du couple dosé, ou sans lire pH_E sur la courbe. Le critère porte sur la zone de virage et le pH à l'équivalence.

COMPRENDRE

À l'équivalence, la solution passe du jaune au rouge à la goutte près. Le bleu de thymol virerait bien avant l'équivalence, dès les premiers millilitres versés.