A propos de l'acide citrique

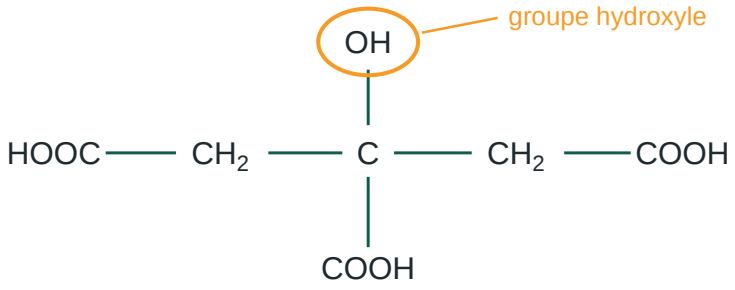
Bac S 2014 Polynésie (ancien programme) · Exercice 1 **5,5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Reproduire la formule semi-développée de l'acide citrique et entourer le groupe caractéristique de la fonction alcool.

La fonction alcool correspond au groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$ porté par l'atome de carbone central, qui n'est lié à aucun autre atome d'oxygène.

Le groupe entouré est le groupe **hydroxyle** $-\mathrm{OH}$ du carbone central (voir la formule).

PIÈGE
Entourer le OH d'un groupe $-\mathrm{COOH}$: il appartient à un groupe carboxyle (fonction acide carboxylique), pas à une fonction alcool.



1.1 · Formule semi-développée de l'acide citrique : le groupe de la fonction alcool est entouré

1.2 Identifier les groupes caractéristiques responsables de l'acidité de l'acide citrique et justifier qu'il s'agit d'un triacide.

L'acidité est due aux groupes **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$ (fonction acide carboxylique).

Un acide, au sens de Brönsted, est une espèce capable de céder un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$. Chaque groupe carboxyle peut en céder un : $-\mathrm{COOH} \longrightarrow -\mathrm{COO^-} + \mathrm{H^+}$.

La molécule possède **trois** groupes carboxyle : elle peut céder trois ions $\mathrm{H^+}$, c'est un triacide.

COMPRENDRE
L'hydrogène du groupe hydroxyle de l'alcool n'est pas acide dans l'eau : on ne compte que les trois groupes carboxyle. C'est pourquoi l'acide est noté $\mathrm{AH_3}$ dans la suite.

2.1.1 À partir des courbes de l'annexe, déterminer la concentration molaire d'acide citrique de la solution titrée.

Données utiles $V_A = 10{,}0\ \mathrm{mL}$; $C_B = 1{,}00 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $\mathrm{AH_3\,(aq) + 3\,HO^-\,(aq) \longrightarrow A^{3-}\,(aq) + 3\,H_2O\,(l)}$

Le volume équivalent est l'abscisse du maximum de la courbe dérivée : $V_{éq} = 31{,}0$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$$n(\mathrm{AH_3})_{\text{initial}} = \frac{n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}}}{3} \quad \text{soit} \quad C_A\,V_A = \frac{C_B\,V_{éq}}{3}$$

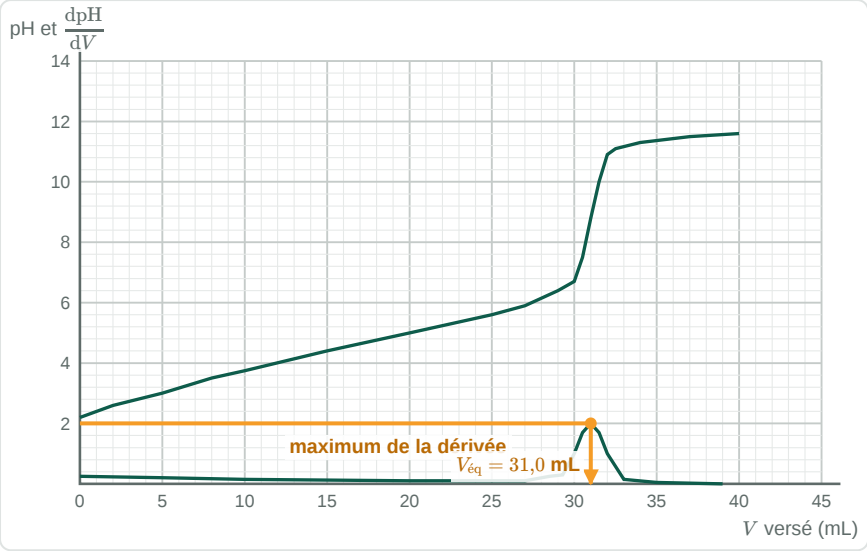
$$C_A = \frac{C_B\,V_{éq}}{3\,V_A} = \frac{1{,}00 \times 10^{-1} \times 31{,}0}{3 \times 10{,}0}$$

$$C_A = 1{,}03 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 : il faut trois ions $\mathrm{HO^-}$ pour une molécule d'acide. Écrire $C_AV_A = C_BV_{éq}$ donne une concentration, puis un pourcentage, trois fois trop grands.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme C_B, $V_{éq}$ et V_A ; le 3 est un nombre exact. Les deux volumes restent en mL car leur rapport est sans unité.

MÉTHODE
Le saut de pH est repéré par le pic de la dérivée. Sans cette courbe, on utiliserait la méthode des tangentes parallèles sur la courbe de pH.



2.1.1 · Annexe complétée : l'équivalence est repérée par le maximum de la courbe dérivée

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1.00 \times 10^{-1} \times 31.0}{3 \times 10.0} \approx 0.1033333$

2.1.2 Calculer le pourcentage en masse p d'acide citrique dans le sachet de détartrant.

Données utiles $C_A = 1{,}03 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} (2.1.1) ; $V = 2{,}00$ L ; $M = 192$ g · mol^{-1} ; $m_{\text{sachet}} = 40{,}0$ g

La prise d'essai a la même concentration que la solution S. Masse d'acide citrique dissoute dans le volume V :

$$m_A = C_A\, V\, M = 1{,}03 \times 10^{-1} \times 2{,}00 \times 192 = 39{,}7 \text{ g}$$

$$p = \frac{m_A}{m_{\text{sachet}}} = \frac{39{,}7}{40{,}0}$$

$p = 0{,}992$ soit $99{,}2$ % (calcul mené avec la valeur non arrondie de C_A).

PIÈGE
Utiliser $V_A = 10{,}0$ mL au lieu de $V = 2{,}00$ L : le sachet entier est dissous dans les 2,00 L de la solution S.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.1033333333 \times 2.00 \times 192 \approx 39.68$

$\frac{0.1033333333 \times 2.00 \times 192}{40.0} \approx 0.992$

2.1.3 Déterminer l'incertitude relative sur le pourcentage en masse p. Le résultat obtenu pour p est-il en cohérence avec l'étiquette ?

Données utiles $C_B = (1{,}00 \pm 0{,}02) \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; précision relative de la verrerie : 0,5 % ; précision sur $V_{éq}$: 1 % ; $p = 99{,}2$ % (2.1.2)

$$\frac{\Delta C_B}{C_B} = \frac{0{,}02}{1{,}00} = 0{,}02 \; ; \quad \frac{\Delta V_{éq}}{V_{éq}} = 0{,}01 \; ; \quad \frac{\Delta V_A}{V_A} = \frac{\Delta V}{V} = 0{,}005$$

$$\frac{\Delta p}{p} = \sqrt{0{,}02^2 + 0{,}01^2 + 0{,}005^2 + 0{,}005^2} = 0{,}023 \quad \text{soit environ } 2\ \%$$

$\Delta p = 0{,}023 \times 99{,}2 = 2{,}3$ %, arrondi par excès à 3 % : $p = (99 \pm 3)$ %, soit $96\ \% \leqslant p \leqslant 102\ \%$.

$\frac{\Delta p}{p} \approx 2$ % ; la valeur 100 % de l'étiquette appartient à l'intervalle : le résultat est cohérent avec l'étiquette.

COMPRENDRE
L'incertitude sur C_B domine largement : c'est la concentration de la solution titrante qu'il faudrait mieux connaître pour améliorer la mesure, pas la verrerie.

MÉTHODE
Une incertitude se donne avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès ; le résultat est ensuite arrondi au même rang. Deux valeurs sont compatibles si l'une appartient à l'intervalle de l'autre.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{0.02^2 + 0.01^2 + 0.005^2 + 0.005^2} \approx 0.02345208$

$0.0234520788 \times 99.2 \approx 2.326446$

2.2.1 Proposer un argument expliquant que la solution détartrante est plus efficace lorsqu'elle a été préalablement chauffée.

La température est un facteur cinétique : plus elle est élevée, plus la transformation entre le carbonate de calcium et les ions H_3O^+ est rapide.

Avec une solution chaude, le tartre est consommé en une durée plus courte : le détartrage est plus rapide.

COMPRENDRE
À l'échelle microscopique, l'agitation thermique augmente : les chocs entre les ions H_3O^+ et le solide sont plus fréquents et plus efficaces.

2.2.2 Établir un bilan énergétique, sous forme de schéma, pour la bouilloire, puis calculer son rendement énergétique.

Données utiles $P = 1500$ W ; $V = 0{,}40$ L ; $\theta_i = 18\ ^\circ$C ; $\theta_f = 85\ ^\circ$C ; $\Delta t = 1$ min 20 s $= 80$ s ; $c = 4{,}2$ kJ $\cdot$ kg^{-1} $\cdot$ K^{-1} ; $\rho = 1{,}0$ kg $\cdot$ L^{-1}

Énergie électrique reçue par la bouilloire : $E_{\text{él}} = P\,\Delta t = 1500 \times 80 = 1{,}2 \times 10^5$ J.

Énergie thermique reçue par l'eau, de masse $m = \rho V$ (énergie utile) :

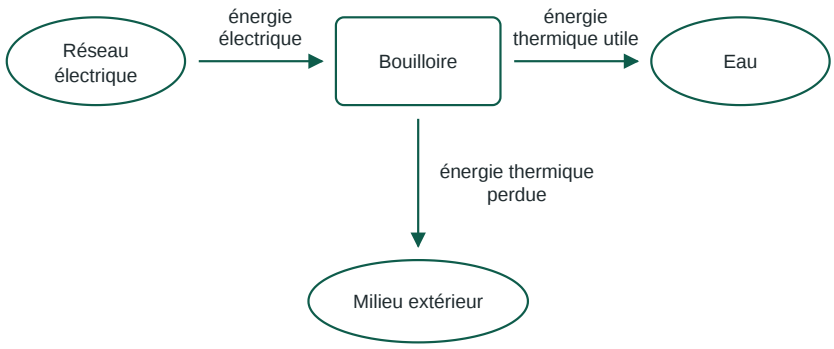
$$Q = \rho\, V\, c\,(\theta_f - \theta_i) = 1{,}0 \times 0{,}40 \times 4{,}2 \times 10^3 \times (85 - 18) = 1{,}1 \times 10^5 \text{ J}$$

Rendement : $\eta = \dfrac{Q}{E_{\text{él}}} = \dfrac{\rho\, V\, c\,(\theta_f - \theta_i)}{P\,\Delta t}$

$\eta = 0{,}94$ soit $94\ \%$; les $6\ \%$ restants sont cédés au milieu extérieur.

PIÈGE
Laisser c en kJ ou la durée en minutes : il faut $c = 4{,}2 \times 10^3$ J $\cdot$ kg^{-1} $\cdot$ K^{-1} et $\Delta t = 80$ s pour obtenir deux énergies en joules.

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : $85 - 18 = 67\ ^\circ$C $= 67$ K. Inutile d'ajouter 273 aux deux températures.



2.2.2 · Bilan énergétique de la bouilloire

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1500 \times 80 = 120\,000$

$1.0 \times 0.40 \times 4.2 \times 10^3 \times (85 - 18) \approx 112560$

$\dfrac{112\,560}{120\,000} \approx 0.938$