Du jus de pomme au vinaigre

Bac S 2016 Polynésie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Établir l'équation de la réaction de fermentation alcoolique du D-glucose. Pourquoi cette fermentation est-elle qualifiée d'alcoolique ?

Sur la représentation de Cram, on compte 6 atomes de carbone, 12 d'hydrogène et 6 d'oxygène : le glucose a pour formule brute $C_6H_{12}O_6$.

D'après le texte, il se forme de l'éthanol CH_3-CH_2-OH, soit C_2H_6O, et du dioxyde de carbone CO_2.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\,C_2H_6O + 2\,CO_2$$

La fermentation est dite alcoolique car l'un des produits, l'éthanol, porte le groupe hydroxyle $-OH$: il appartient à la famille des alcools.

PIÈGE
Dans une formule topologique, les atomes d'hydrogène portés par les carbones de la chaîne ne sont pas tous dessinés. Le carbone du bout de chaîne CH_2OH en porte deux.

COMPRENDRE
La représentation de Cram et la notion d'énantiomères ne figurent plus au programme actuel de spécialité. Ici, seul le décompte des atomes est utile.

MÉTHODE
Ajuster dans l'ordre : l'hydrogène impose 2 devant l'éthanol (12 = 2 × 6), puis le carbone impose 2 devant CO_2 (6 = 4 + 2). Vérifier enfin l'oxygène : 6 = 2 + 4.

1.2 Quel est le rôle de la zymase dans la fermentation alcoolique ?

La zymase est une enzyme : elle est nécessaire à la transformation mais n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

La zymase est un **catalyseur** (catalyse enzymatique) : elle diminue la durée de la transformation du glucose, sans être consommée.

COMPRENDRE
Un catalyseur accélère la réaction sans modifier son bilan : il est régénéré en fin de transformation. Une enzyme est de plus très sélective, la zymase n'agit que sur le D-glucose, pas sur son énantiomère.

2.1 Donner le nom en nomenclature systématique de l'acide acétique.

La molécule possède le groupe carboxyle $-COOH$: c'est un acide carboxylique. Sa chaîne carbonée compte deux atomes de carbone, d'où le radical « éthan ».

L'acide acétique est l'**acide éthanoïque**.

PIÈGE
Le carbone du groupe carboxyle fait partie de la chaîne : deux carbones au total, donc « éthanoïque » et non « méthanoïque ».

2.2 Écrire la réaction de fermentation acétique en identifiant les deux produits formés. Montrer que l'éthanol subit une oxydation et en déduire les couples oxydant/réducteur mis en jeu.

Le dioxygène réagit avec l'éthanol pour donner l'acide acétique CH_3-COOH, de formule brute $C_2H_4O_2$. La conservation des éléments montre que le second produit est l'eau :

$$C_2H_6O + O_2 \longrightarrow C_2H_4O_2 + H_2O$$

Demi-équation associée à l'éthanol :

$$C_2H_6O + H_2O = C_2H_4O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$$

L'éthanol cède des électrons : il subit bien une oxydation, c'est le réducteur du couple $C_2H_4O_2$ / C_2H_6O.

Ces électrons sont captés par le dioxygène, qui est réduit : $O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- = 2\,H_2O$.

Produits : acide acétique et eau. Couples : $C_2H_4O_2$ / C_2H_6O (acide éthanoïque / éthanol) et O_2 / H_2O.

PIÈGE
Un couple s'écrit toujours oxydant / réducteur. L'éthanol, qui perd des électrons, est le réducteur : il se place à droite.

COMPRENDRE
Les deux demi-équations échangent chacune 4 électrons : leur somme redonne directement l'équation de la fermentation acétique, les ions H^+ et une molécule d'eau se simplifient.

MÉTHODE
Demi-équation en milieu acide : ajuster l'élément principal, puis l'oxygène avec H_2O, l'hydrogène avec H^+, enfin les charges avec des électrons.

3 Déterminer si le cidre mis en fermentation depuis plusieurs semaines peut être commercialisé sous l'appellation vinaigre.

Données utiles $V = (25{,}0 \pm 0{,}1)$ mL de cidre dilué dix fois ; $c = (0{,}15 \pm 0{,}005)\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $U(V_E) = 0{,}2$ mL ; $M = 60\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; teneur minimale : 5,0 g pour 100 mL, tolérance 0,2 degré

Démarche. On détermine par le titrage la masse d'acide acétique dans 100 mL de cidre (degré d), puis on la compare au seuil légal.

Équivalence. Réaction support du titrage : $CH_3COOH + HO^- \longrightarrow CH_3COO^- + H_2O$.

Le volume équivalent est l'abscisse du maximum de la dérivée $\dfrac{\mathrm{d}pH}{\mathrm{d}V_B}$: $V_E = 12{,}5$ mL.

Masse d'acide dans la prise d'essai. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n_{\text{acide}} = c\,V_E$, donc

$$m = c\,V_E\,M = 0{,}15 \times 12{,}5 \times 10^{-3} \times 60 = 0{,}1125\ \text{g}$$

Degré du cidre. Cette masse est contenue dans 25,0 mL de cidre dilué dix fois. Le cidre non dilué en contient dix fois plus dans 25,0 mL, et encore quatre fois plus dans 100 mL :

$$d = m \times 10 \times \frac{100}{25{,}0} = 4{,}5\ \text{g pour } 100\ \text{mL}$$

Incertitude. Avec $C_B = c$:

$$U(d) = 4{,}5 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{25{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{12{,}5}\right)^2 + \left(\frac{0{,}005}{0{,}15}\right)^2} = 0{,}17$$

arrondie par excès à un chiffre significatif : $d = (4{,}5 \pm 0{,}2)$ degrés.

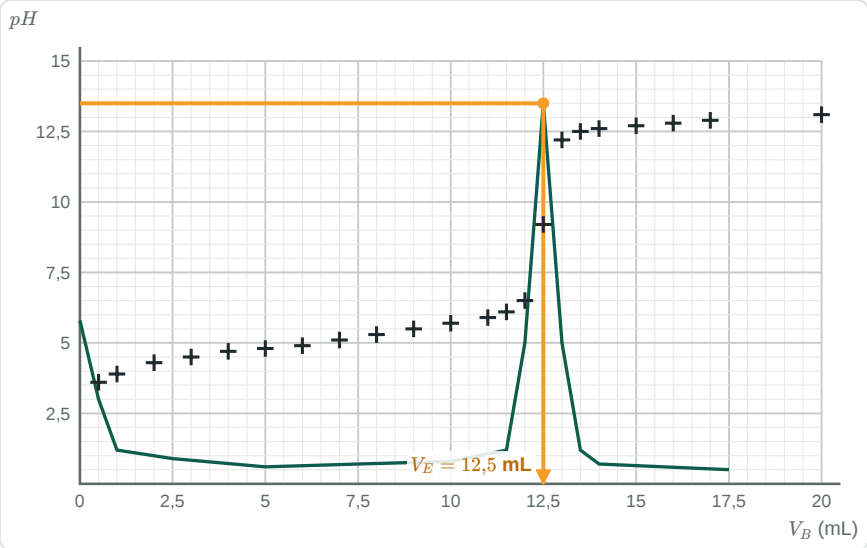
Conclusion. La tolérance abaisse le seuil à $5{,}0 - 0{,}2 = 4{,}8$ degrés. Le degré du cidre est compris entre 4,3 et 4,7.

$d = (4{,}5 \pm 0{,}2)$ degrés : même la valeur haute, 4,7, reste inférieure à 4,8. Ce cidre ne peut pas être vendu sous l'appellation vinaigre.

PIÈGE
Oublier la dilution : sans le facteur 10, on trouve 0,45 degré. Autre oubli fréquent : le passage de 25,0 mL à 100 mL, et la conversion de V_E en litre.

COMPRENDRE
La concentration c n'a que deux chiffres significatifs : d aussi. Une incertitude s'arrondit par excès à un chiffre, et le résultat s'écrit avec la même précision. Le terme lié à c domine largement.

COMPRENDRE
Le sujet note U une incertitude élargie et fournit la formule de composition. Le programme actuel raisonne avec l'incertitude-type u, mais la formule, toujours donnée, s'applique de la même façon.



3 · Graphe du sujet : pH (croix) et dérivée (courbe) ; le maximum de la dérivée donne V_E

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.15 \times 12.5 \times 10^{-3} \times 60$
≈ 0.1125

$\dfrac{0.1125 \times 10 \times 100}{25}$
≈ 4.5

$4.5 \times \sqrt{\left(\dfrac{0.1}{25}\right)^2 + \left(\dfrac{0.2}{12.5}\right)^2 + \left(\dfrac{0.005}{0.15}\right)^2}$
≈ 0.1673559