L'acide butyrique

Bac 2023 Réunion Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1 Donner l'expression du taux d'avancement final τ en fonction de l'avancement final x_f et de l'avancement maximal x_{max}.

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$$

COMPRENDRE
τ est sans unité, compris entre 0 et 1 : il vaut 1 pour une transformation totale, moins de 1 si elle est limitée.

A.2 Exprimer l'avancement maximal x_{max} en fonction de C et V.

L'eau est le solvant, en large excès : le réactif limitant est l'acide AH. Si la transformation était totale, il disparaîtrait entièrement : $n_i(\mathrm{AH}) - x_{max} = 0$, avec $n_i(\mathrm{AH}) = C \times V$.

$$x_{max} = C \times V$$

A.3 Exprimer la valeur de l'avancement final x_f en fonction du pH et de V.

Données utiles $\mathrm{pH} = 4{,}5$; $V = 100$ mL ; $c^\circ = 1$ mol·L^{-1}

D'après l'équation, il se forme autant d'ions oxonium que l'avancement : $n_f(\mathrm{H_3O^+}) = x_f$, donc $x_f = [\mathrm{H_3O^+}]_f \times V$.
Or $[\mathrm{H_3O^+}]_f = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$, avec $c^\circ = 1$ mol·L^{-1}.

$$x_f = 10^{-\mathrm{pH}} \times V \text{ (concentration en mol·L}^{-1}\text{, } V \text{ en L)}$$

PIÈGE
Écrire $x_f = 10^{-\mathrm{pH}}$: c'est une concentration, pas une quantité de matière. Il faut multiplier par le volume, exprimé en litre.

A.4 Calculer le taux d'avancement final τ et justifier que l'acide butyrique est un acide faible.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-4}$ mol·L^{-1} ; $\mathrm{pH} = 4{,}5$; x_{max} (A.2) ; x_f (A.3)

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{10^{-\mathrm{pH}} \times V}{C \times V} = \frac{10^{-\mathrm{pH}}}{C}$$

$$\tau = \frac{10^{-4{,}5}}{1{,}0 \times 10^{-4}} = 0{,}32$$

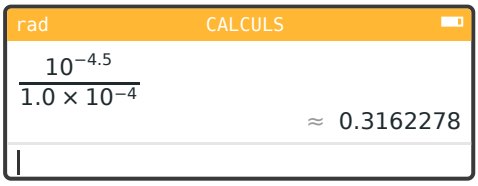
$\tau < 1$: la réaction de l'acide butyrique avec l'eau n'est pas totale, c'est donc un acide faible.

$\tau = 0{,}32$, soit 32 % : l'acide butyrique est un acide faible.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C. Le volume se simplifie : τ ne dépend ici que du pH et de la concentration apportée.

MÉTHODE
Acide fort ou faible : comparer τ à 1, ou, ce qui revient au même, comparer le pH mesuré à $-\log(C/c^\circ)$ (ici 4,0). Un pH plus grand signale un acide faible.

À LA CALCULATRICE



A.5.1 Exprimer la constante d'acidité K_A de la réaction en fonction de τ et C.

Données utiles $[\mathrm{AH}]_{eq} = C \times (1-\tau)$; $[\mathrm{A^-}]_{eq} = C \times \tau$

$$K_A = \frac{[\mathrm{A^-}]_{eq} \times [\mathrm{H_3O^+}]_{eq}}{[\mathrm{AH}]_{eq} \times c^\circ}$$

La réaction forme autant d'ions $\mathrm{A^-}$ que d'ions $\mathrm{H_3O^+}$: $[\mathrm{H_3O^+}]_{eq} = [\mathrm{A^-}]_{eq} = C \times \tau$.

$$K_A = \frac{(C \times \tau)^2}{C \times (1-\tau) \times c^\circ}$$

$$\boxed{K_A = \frac{C \times \tau^2}{(1-\tau) \times c^\circ} \text{ avec } c^\circ = 1 \text{ mol·L}^{-1}}$$

PIÈGE
Faire figurer l'eau dans K_A : c'est le solvant, elle n'apparaît pas. Ne pas oublier non plus le carré sur τ après simplification par C.

A.5.2 En déduire la valeur du $\mathrm{p}K_A$ de l'acide butyrique.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-4}$ mol·L^{-1} ; $\tau = 0{,}316$ (A.4, valeur non arrondie) ; K_A (A.5.1)

$$\mathrm{p}K_A = -\log K_A = -\log\left(\frac{C \times \tau^2}{(1-\tau) \times c^\circ}\right)$$

$$K_A = \frac{1{,}0 \times 10^{-4} \times 0{,}316^2}{1 - 0{,}316} = 1{,}5 \times 10^{-5}$$

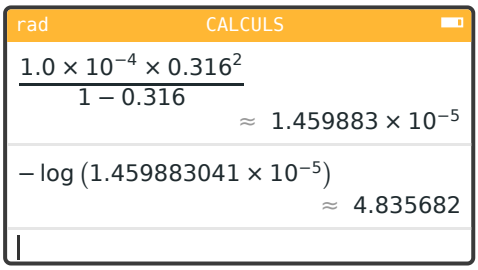
$$\mathrm{p}K_A = -\log(1{,}5 \times 10^{-5}) = 4{,}8$$

$$\boxed{\mathrm{p}K_A = 4{,}8}$$

PIÈGE
Reprendre $\tau = 0{,}32$ arrondi pour la suite : on garde un chiffre de plus dans les calculs intermédiaires et on n'arrondit qu'à la fin.

COMPRENDRE
Vérification : $\mathrm{pH} = 4{,}5 < \mathrm{p}K_A = 4{,}8$, la forme acide AH prédomine, ce qui est cohérent avec $\tau < 0{,}5$.

À LA CALCULATRICE

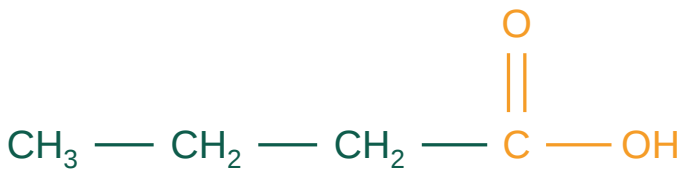


B.1 Donner la formule semi-développée de l'acide butyrique.

La formule topologique montre une chaîne de quatre atomes de carbone terminée par le groupe carboxyle.

$\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-COOH}$, la double liaison C=O étant détaillée sur le schéma.

MÉTHODE
Dans une formule topologique, chaque sommet et chaque extrémité de ligne brisée est un carbone, complété par des H jusqu'à quatre liaisons. On vérifie avec la formule brute : $\mathrm{C_4H_8O_2}$.



B.1 · Formule semi-développée de l'acide butyrique (acide butanoïque) ; en orange, le groupe carboxyle

B.2 Préciser la phase dans laquelle se trouve le butanoate de méthyle.

Données utiles solubilité de l'ester dans l'eau salée : très faible

Le butanoate de méthyle est très peu soluble dans l'eau salée : il ne passe pas dans la phase aqueuse.

Le butanoate de méthyle se trouve dans la phase organique.

COMPRENDRE
Le méthanol et l'acide butyrique restants sont, eux, solubles dans l'eau salée : ils rejoignent la phase aqueuse. C'est l'intérêt de ce lavage.

B.3 Schématiser l'ampoule à décanter après décantation. Justifier la position des deux phases.

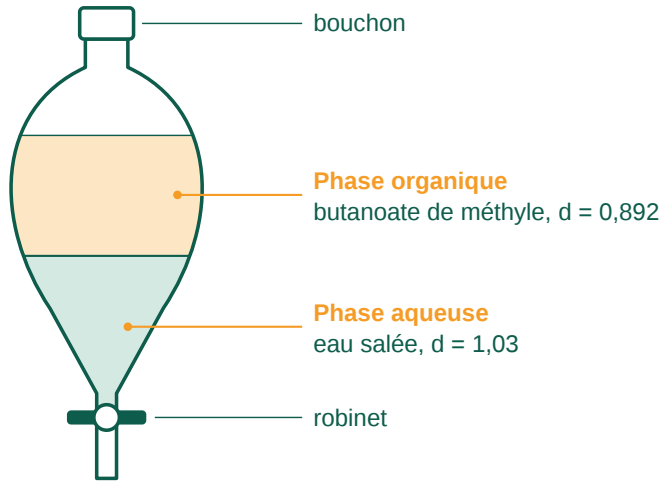
Données utiles densité du butanoate de méthyle : 0,892 ; densité de l'eau salée : 1,03

La phase organique est constituée essentiellement de l'ester, de densité 0,892. La phase aqueuse est de l'eau salée, de densité 1,03.

$0{,}892 < 1{,}03$: la phase la moins dense surnage.

Phase organique (ester) au-dessus, phase aqueuse (eau salée) en dessous.

PIÈGE
Un schéma sans légende ne rapporte rien : nommer chaque phase et justifier par la comparaison des deux densités, valeurs à l'appui.



B.3 · Ampoule à décanter après décantation

B.4 Attribuer un groupe d'atomes à chacun des pics entre 1600 cm^{-1} et 4000 cm^{-1}. Indiquer si ce spectre IR est compatible avec le produit attendu.

Données utiles table IR : ester, $C{=}O$ entre 1730 et 1750 cm^{-1}, liaison notée $C_{tri}{-}H$ entre 2700 et 3000 cm^{-1} ; acide carboxylique, $O{-}H$ entre 2500 et 3200 cm^{-1} ; alcool, $O{-}H$ lié entre 3200 et 3450 cm^{-1}

- Bande intense vers 1740 cm^{-1} : liaison $C{=}O$ d'un ester (1730 – 1750 cm^{-1}).
- Bande vers 2950 – 3000 cm^{-1} : liaisons $C{-}H$ (intervalle 2700 – 3000 cm^{-1} de la table).
- Aucune bande large et intense entre 2500 et 3450 cm^{-1} : pas de liaison $O{-}H$, donc ni acide carboxylique ni alcool.

La table attribue cette deuxième bande à une liaison $C_{tri}{-}H$: c'est une erreur du sujet, il s'agit des liaisons $C{-}H$ des carbones tétragonaux.

Le spectre est compatible avec le butanoate de méthyle : $C{=}O$ d'ester présent, pas de bande $O{-}H$.

COMPRENDRE
Dans le butanoate de méthyle, le seul carbone trigonal est celui du groupe $C{=}O$ et il ne porte aucun hydrogène. Les liaisons $C{-}H$ sont celles des groupes CH_3 et CH_2.

MÉTHODE
Pour valider une synthèse par IR : repérer la bande du produit, puis vérifier la disparition des bandes des réactifs. Ici, l'absence de bande $O{-}H$ montre que l'ester ne contient plus d'acide ni de méthanol.