Un savon fait maison

Bac 2023 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Nommer la famille chimique à laquelle appartient la molécule d'oléine et préciser son groupe caractéristique.

La molécule d'oléine contient trois fois l'enchaînement $-CO-O-C$: un carbone doublement lié à un oxygène et lié à un second oxygène, lui-même lié à un carbone.

L'oléine appartient à la famille des **esters** (c'est un triester) ; son groupe caractéristique est le groupe ester $-COO-$.

PIÈGE
Confondre avec un acide carboxylique : dans un ester, l'oxygène simplement lié porte une chaîne carbonée, pas un atome d'hydrogène.

Q2 Donner la formule brute du glycérol, noté A dans l'équation de saponification de l'oléine.

L'équation est ajustée : chaque élément est conservé. Formules brutes : oléine $C_{57}H_{104}O_6$; ion oléate $C_{18}H_{33}O_2^-$.

- Carbone : $57 = 3 \times 18 + n_C$, donc $n_C = 3$.
- Hydrogène : $104 + 3 = 3 \times 33 + n_H$, donc $n_H = 8$.
- Oxygène : $6 + 3 = 3 \times 2 + n_O$, donc $n_O = 3$.
- Sodium et charges : déjà équilibrés ($3\,Na^+$ de chaque côté), A est neutre et sans sodium.

Le glycérol A a pour formule brute $C_3H_8O_3$.

PIÈGE
Oublier les atomes hors des groupes $C_{17}H_{33}$: l'oléine compte aussi 6 C et 5 H dans son squelette, et les 3 ions HO^- apportent 3 H et 3 O.

MÉTHODE
Vérifier avec la masse molaire du tableau : $3 \times 12 + 8 \times 1 + 3 \times 16 = 92\ g \cdot mol^{-1}$, valeur donnée pour le glycérol.

Q3 Choisir, parmi les deux schémas, celui qui illustre les propriétés lavantes des savons. Justifier ce choix.

La chaîne carbonée de l'ion oléate est lipophile : elle a de l'affinité pour le gras et s'y enfonce. La tête $-COO-$, hydrophile, reste au contact de l'eau.

Les ions entourent donc la salissure, chaînes tournées vers l'intérieur et têtes vers l'extérieur ; l'ensemble, bien dispersé dans l'eau, est emporté au rinçage.

C'est le **schéma 2** : les chaînes plongent dans le gras et les têtes (cercles) sont dirigées vers l'eau.

COMPRENDRE
Dans le schéma 1, ce sont les têtes hydrophiles qui touchent le gras et les chaînes lipophiles qui baignent dans l'eau : chaque partie est placée dans le milieu avec lequel elle n'a pas d'affinité.

Q4 Déterminer la concentration en quantité de matière de la solution d'hydroxyde de sodium préparée dans la première étape, la dissolution se faisant sans variation de volume. Commenter.

Données utiles $m(NaOH) = 25\ g$; $M(NaOH) = 40\ g \cdot mol^{-1}$; $V = 50\ mL = 50 \times 10^{-3}\ L$

$$C = \frac{n(NaOH)}{V} = \frac{m(NaOH)}{M(NaOH) \times V}$$

$$C = \frac{25}{40 \times 50 \times 10^{-3}} = 12{,}5\ mol \cdot L^{-1}$$

Cette solution est extrêmement concentrée. L'hydroxyde de sodium étant corrosif (pictogramme du tableau), elle provoque de graves brûlures de la peau et des yeux : la consigne de porter blouse, lunettes et gants est pleinement justifiée.

$C \approx 13\ mol \cdot L^{-1}$: solution très concentrée et corrosive, les protections sont indispensables.

PIÈGE
Laisser le volume en millilitres : on obtiendrait une concentration mille fois trop petite.

COMPRENDRE
Les données (25 g, 50 mL, $0{,}91\ g \cdot mL^{-1}$) ont deux chiffres significatifs : les résultats en gardent deux. Dans les calculs suivants, on reprend les valeurs non arrondies.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{25}{40 \times 50 \times 10^{-3}} \approx 12.5$$

Q5 Indiquer, en justifiant, l'évolution attendue du pH du milieu au cours de la fabrication du savon.

Les ions hydroxyde HO^- sont un réactif de la saponification : ils sont consommés au fur et à mesure, donc leur concentration diminue. Or le pH d'un milieu basique est d'autant plus élevé que $[HO^-]$ est grande.

Très élevé au départ, le pH **diminue** tout au long de la saponification.

COMPRENDRE
Le milieu reste néanmoins basique en fin de transformation : l'ion oléate formé est une base faible.

Q6 Déterminer la masse restante d'oléine à l'état final, en s'appuyant par exemple sur un tableau d'avancement.

Données utiles $V_{huile} = 220$ mL ; $\rho = 0{,}91$ g · mL^{-1} ; $M(\text{oléine}) = 884$ g · mol^{-1} ; $m(\text{NaOH}) = 25$ g ; $M(\text{NaOH}) = 40$ g · mol^{-1}

Quantités initiales :

$$n_i(\text{oléine}) = \frac{\rho \times V_{huile}}{M(\text{oléine})} = \frac{0{,}91 \times 220}{884} = 0{,}226 \text{ mol}$$

$$n_i(HO^-) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{25}{40} = 0{,}625 \text{ mol}$$

Tableau d'avancement (en mol), transformation totale :

	oléine	$3\,HO^-$	3 oléate	A
$x = 0$	0,226	0,625	0	0
x_{max}	$0{,}226 - x_{max}$	$0{,}625 - 3\,x_{max}$	$3\,x_{max}$	x_{max}

Réactif limitant : $\frac{n_i(HO^-)}{3} = 0{,}208 \text{ mol} < \frac{n_i(\text{oléine})}{1} = 0{,}226$ mol. Les ions hydroxyde sont limitants et $x_{max} = 0{,}208$ mol.

Masse d'oléine restante :

$$m_f = (n_i(\text{oléine}) - x_{max}) \times M(\text{oléine}) = \left(\frac{0{,}91 \times 220}{884} - \frac{25}{3 \times 40}\right) \times 884$$

$m_f(\text{oléine}) \approx 16$ g

PIÈGE
Comparer directement 0,226 mol et 0,625 mol et conclure que l'oléine est limitante. Il faut diviser chaque quantité par son nombre stœchiométrique : ici 0,625 mol se divise par 3.

COMPRENDRE
L'huile est volontairement en excès : toute la soude, corrosive, est consommée et le savon final n'en contient plus.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.91 \times 220}{884} \approx 0.2264706$$

$$\frac{25}{3 \times 40} \approx 0.2083333$$

$$\left(\frac{0.91 \times 220}{884} - \frac{25}{3 \times 40}\right) \times 884 \approx 16.03333$$

Q7 Déterminer le surgraissage du savon obtenu par cette méthode.

Données utiles surgraissage : pourcentage en masse d'huile non saponifiée ; $m_f(\text{oléine}) = 16{,}0$ g (Q6) ; $V_{\text{huile}} = 220$ mL ; $\rho = 0{,}91$ g · mL^{-1}

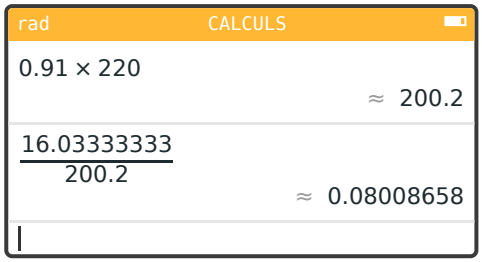
Masse d'huile introduite : $m_i = \rho \times V_{\text{huile}} = 0{,}91 \times 220 = 200$ g.

$$\text{surgraissage} = \frac{m_f(\text{oléine})}{m_i} = \frac{16{,}0}{200} = 0{,}080$$

Cette valeur est comprise entre 5 % et 10 % : le savon obtenu a un surgraissage habituel.

Surgraissage $\approx 8{,}0$ %, conforme à l'intervalle usuel de 5 % à 10 %.

À LA CALCULATRICE



Q8 Expliquer, en utilisant les données, l'intérêt du relargage.

D'après le tableau des données, l'oléate de sodium est moyennement soluble dans l'eau mais insoluble dans l'eau salée, alors que le glycérol et l'hydroxyde de sodium en excès y sont très solubles.

En ajoutant de l'eau salée, le savon dissous précipite tandis que les autres espèces restent en solution.

Le relargage fait précipiter le savon : on le sépare du glycérol et de la soude en excès, et on en récupère davantage.

COMPRENDRE
Sans relargage, une partie de l'oléate de sodium resterait dissoute dans la phase aqueuse et serait perdue : cette étape sert à la fois à isoler le produit et à en récupérer le plus possible.

Q9 Identifier, dans le protocole de la fabrication artisanale, la stratégie choisie pour optimiser le procédé par rapport à la fabrication maison de la partie 1.

Dans le procédé artisanal, le mélange est porté à ébullition, alors que la fabrication maison se fait à froid. La température est un facteur cinétique : en chauffant, on augmente la vitesse de la transformation.

La stratégie est le **chauffage** du milieu réactionnel, qui accélère la saponification.

COMPRENDRE
Autre différence : la soude est ici en excès, si bien que toute l'huile peut être transformée. Dans la partie 1, c'est l'huile qui est en excès, pour obtenir un savon surgras.

Q10 Calculer la masse d'oléate de sodium présente dans le « savon épuré », puis déterminer le rendement maximal de la fabrication du savon par le procédé artisanal.

Données utiles pour $m_{\text{huile}} = 1{,}000$ kg : au maximum $m_{\text{savon}} = 1{,}350$ kg ; oléate de sodium : 50,2 % en masse ; $M(\text{oléine}) = 884\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{oléate}) = 304\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse d'oléate de sodium réellement obtenue :

$$m_{\text{exp}} = \frac{50{,}2}{100} \times 1{,}350 = 0{,}678\ \text{kg}$$

Masse maximale attendue : l'oléine est le réactif limitant, puisque la soude est introduite en excès. D'après l'équation, une mole d'oléine donne trois moles d'oléate de sodium :

$$n_{max}(\text{oléate}) = 3 \times n_i(\text{oléine}) = 3 \times \frac{m_{\text{huile}}}{M(\text{oléine})}$$

$$m_{max} = 3 \times \frac{m_{\text{huile}}}{M(\text{oléine})} \times M(\text{oléate}) = 3 \times \frac{1{,}000}{884} \times 304 = 1{,}03\ \text{kg}$$

Rendement :

$$\eta = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{max}} = \frac{0{,}678}{1{,}03} = 0{,}657$$

$m_{\text{exp}} = 0{,}678$ kg d'oléate de sodium ; rendement maximal $\eta \approx 65{,}7\ \%$

PIÈGE
Diviser la masse de savon épuré (1,350 kg) par la masse maximale : ce savon contient 45,2 % d'eau et de la soude. Seule la masse d'oléate de sodium entre dans le rendement.

COMPRENDRE
Rendement « maximal » car 1,350 kg est la plus grande masse de savon citée. Dans l'extrait de 1859, « 1,000 » désigne sans doute mille kilogrammes : le rendement, rapport de deux masses, est inchangé.

MÉTHODE
Le rapport des masses molaires se calcule sans conversion : en gardant les masses en kilogrammes en haut et en bas, les unités se simplifient.

À LA CALCULATRICE

