Synthèse d'un biocarburant

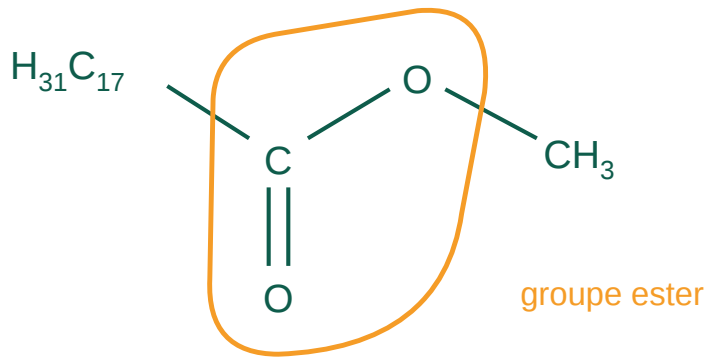
Bac 2021 Asie Sujet 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 Recopier la formule semi-développée de l'ester méthylique de colza et entourer le groupe caractéristique présent dans la molécule.

Le groupe caractéristique est formé de l'atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène et simplement lié à un second atome d'oxygène, lui-même lié à une chaîne carbonée (voir la formule ci-dessous).

Groupe caractéristique **ester** $-\mathrm{COO}-$, famille des esters.

PIÈGE
N'entourer que $\mathrm{C{=}O}$ désigne un groupe carbonyle. Le groupe ester comprend le carbone et les deux atomes d'oxygène, sans les chaînes $\mathrm{C_{17}H_{31}}$ et $\mathrm{CH_3}$.



1 · Formule de l'ester méthylique de colza, groupe ester entouré en orange

2 Déterminer la masse molaire moléculaire de l'ester méthylique de colza.

Données utiles $M(\mathrm{C}) = 12{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

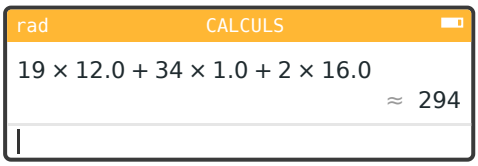
D'après l'équation de la réaction, la formule brute de l'ester est $\mathrm{C_{19}H_{34}O_2}$.

$M(\text{ester}) = 19\,M(\mathrm{C}) + 34\,M(\mathrm{H}) + 2\,M(\mathrm{O}) = 19 \times 12{,}0 + 34 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0$

$M(\text{ester}) = 294{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

MÉTHODE
Vérifier le décompte sur la formule semi-développée : $17 + 1 + 1 = 19$ atomes de carbone, $31 + 3 = 34$ atomes d'hydrogène, 2 atomes d'oxygène.

À LA CALCULATRICE



3 Identifier, dans le protocole, les conditions opératoires destinées à augmenter la vitesse de synthèse de l'ester méthylique de colza.

- Le **chauffage** à 60 °C (étape 2) : la température est un facteur cinétique, la transformation est plus rapide à chaud.
- L'ajout de **soude** (étape 1) : c'est un catalyseur, il accélère la réaction sans figurer dans son équation.

L'agitation, qui renouvelle le contact entre l'huile et le méthanol, y contribue aussi.

Chauffage à 60 °C et emploi d'un catalyseur (la soude).

COMPRENDRE
Le reflux n'accélère rien par lui-même : il condense les vapeurs, ce qui permet de chauffer longtemps sans perdre de matière, en particulier le méthanol, très volatil.

4 Identifier, dans le protocole, les étapes correspondant à la transformation des réactifs et à la séparation du produit, en donnant leurs numéros.

- Transformation des réactifs : **étapes 1 et 2** (mélange des réactifs avec le catalyseur, puis chauffage à reflux).
- Séparation du produit : **étape 3** (décantation des deux phases).

Les étapes 4 et 5 (lavage, séchage, évaporation du méthanol) purifient le produit ; l'étape 6 sert à l'analyser.

Transformation : étapes 1 et 2 ; séparation : étape 3.

MÉTHODE
Une synthèse se découpe toujours en quatre temps : transformation, séparation, purification, analyse. Classer chaque étape du protocole dans l'un d'eux.

5 Déterminer la valeur de la masse volumique du produit obtenu lors de la synthèse.

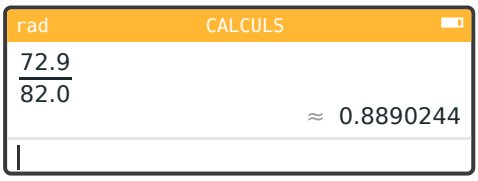
Données utiles $m = 72{,}9\ \text{g}$; $V = 82{,}0\ \text{mL}$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{72{,}9}{82{,}0}$$

$\rho = 0{,}889\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

COMPRENDRE
m et V sont donnés avec trois chiffres significatifs : le quotient en garde trois. On reste en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, unité de la valeur de référence, pour pouvoir comparer ensuite.

À LA CALCULATRICE



6 Écrire le résultat de la détermination expérimentale de la masse volumique avec son incertitude associée.

Données utiles $u(m) = 0{,}1\ \text{g}$; $u(V) = 0{,}1\ \text{mL}$; $\rho = 0{,}889\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (Q5)

On isole $u(\rho)$ dans la relation fournie :

$$u(\rho) = \rho \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2} = 0{,}889 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{72{,}9}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{82{,}0}\right)^2}$$

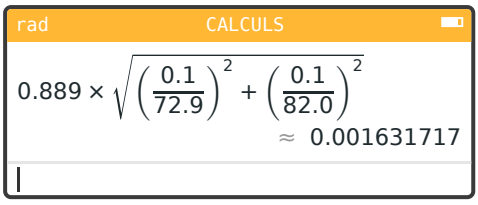
$u(\rho) = 1{,}6 \times 10^{-3}\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, arrondie par excès à un chiffre significatif : $u(\rho) = 0{,}002\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

$\rho = (0{,}889 \pm 0{,}002)\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

PIÈGE
Oublier la racine carrée, ou oublier de multiplier par ρ : la relation donne le carré de l'incertitude relative, pas $u(\rho)$.

MÉTHODE
Une incertitude-type s'écrit avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès. La valeur mesurée s'arrête ensuite au même rang décimal, ici le millième.

À LA CALCULATRICE



7 Comparer le résultat expérimental de la masse volumique avec la valeur de référence du produit synthétisé, en utilisant le quotient $\frac{|\rho - \rho_{\text{ref}}|}{u(\rho)}$.

Données utiles $\rho_{\text{ref}} = 0{,}880\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $\rho = 0{,}889\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ et $u(\rho) = 0{,}002\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (Q6)

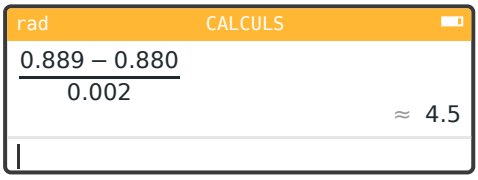
$$\frac{|\rho - \rho_{\text{ref}}|}{u(\rho)} = \frac{|0{,}889 - 0{,}880|}{0{,}002} = 4{,}5$$

L'écart à la valeur de référence vaut plus de quatre incertitudes-types, bien au-delà du seuil usuel de 2.

Quotient égal à $4{,}5 > 2$: la mesure n'est pas compatible avec la valeur de référence ; le produit obtenu n'est sans doute pas de l'ester pur.

COMPRENDRE
Un écart de 1 % paraît faible, mais l'incertitude est encore plus petite. C'est le quotient qui tranche, pas l'écart relatif. Des restes d'eau ou de glycérol, plus denses que l'ester, expliqueraient une valeur trop élevée.

À LA CALCULATRICE



8 Montrer que le méthanol est le réactif introduit en excès, puis déterminer la masse maximale d'ester pouvant être obtenue si la transformation est totale et le produit entièrement récupéré.

Données utiles $m_1 = 100{,}0\ \text{g}$; $m_2 = 25{,}0\ \text{g}$; $M(\text{huile}) = 878\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{méthanol}) = 32{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{ester}) = 294{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (Q2)

Quantités initiales :

$n_1 = \frac{m_1}{M(\text{huile})} = \frac{100{,}0}{878} = 0{,}114\ \text{mol}$ $\quad$ $n_2 = \frac{m_2}{M(\text{méthanol})} = \frac{25{,}0}{32{,}0} = 0{,}781\ \text{mol}$

L'équation fait réagir 1 mole d'huile avec 3 moles de méthanol. On compare donc $\frac{n_1}{1} = 0{,}114\ \text{mol}$ et $\frac{n_2}{3} = 0{,}260\ \text{mol}$.

$\frac{n_1}{1} < \frac{n_2}{3}$: l'huile de colza est le réactif limitant, le méthanol est en excès.

Une mole d'huile donne 3 moles d'ester : $n_{\text{max}} = 3\,n_1$, donc

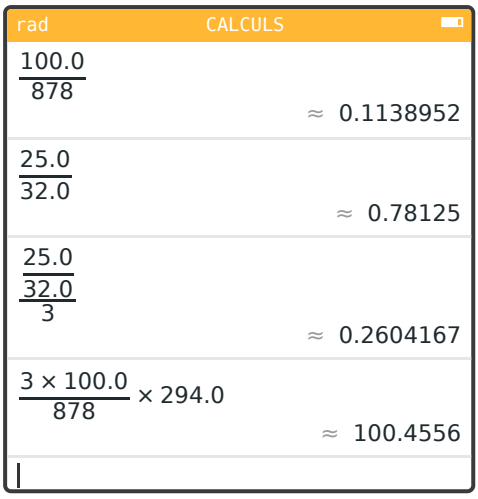
$$m_{\text{max}} = 3\,n_1\,M(\text{ester}) = 3 \times \frac{100{,}0}{878} \times 294{,}0$$

Le méthanol est en excès et $m_{\text{max}} = 100\ \text{g}$ (soit $1{,}00 \times 10^2\ \text{g}$).

PIÈGE
Comparer directement n_1 et n_2 sans diviser par les nombres stœchiométriques. Ici la conclusion serait la même par hasard, mais le raisonnement ne rapporte pas les points.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de n_1 dans la calculatrice. Avec $0{,}114$ mol, on trouve $100{,}55$ g, arrondi à tort à 101 g au lieu de 100 g.

À LA CALCULATRICE



9 Définir, puis calculer le rendement de cette synthèse.

Données utiles $m = 72{,}9$ g ; $m_{\text{max}} = 100{,}46$ g avant arrondi (Q8)

Le rendement est le quotient de la quantité de produit réellement obtenue par la quantité maximale que l'on obtiendrait si la transformation était totale et sans perte :

$$\eta = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}} = \frac{m}{m_{\text{max}}}$$

car les deux quantités concernent la même espèce, de même masse molaire.

$$\eta = \frac{72{,}9}{100{,}46} = 0{,}726$$

$$\boxed{\eta = 72{,}6\ \%}$$

COMPRENDRE

Un rendement inférieur à 100 % vient des pertes aux étapes 3 à 5 et d'une transformation peut-être incomplète. Le produit n'étant pas pur (Q7), ce rendement est même un peu surestimé.

À LA CALCULATRICE

