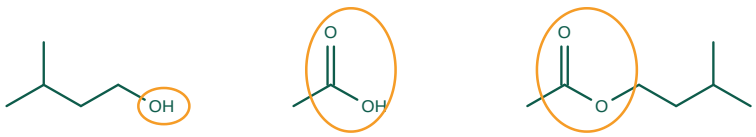
Synthèse de l'arome de banane

Bac 2023 Métropole Jour 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Représenter la formule topologique des réactifs et de l'éthanoate de 3-méthylbutyle. Entourer les groupes caractéristiques et identifier les familles fonctionnelles.

Voir les trois formules topologiques ci-dessous, groupes caractéristiques entourés.

3-méthylbutan-1-ol : groupe hydroxyle, famille des **alcools**. Acide éthanoïque : groupe carboxyle, famille des **acides carboxyliques**. Éthanoate de 3-méthylbutyle : groupe ester, famille des **esters**.



3-méthylbutan-1-ol
groupe hydroxyle
famille : alcool

acide éthanoïque
groupe carboxyle
famille : acide carboxylique

éthanoate de 3-méthylbutyle
groupe ester
famille : ester

Q1 · Formules topologiques ; en orange, les groupes caractéristiques entourés

PIÈGE
Pour l'acide et l'ester, entourer seulement $C{=}O$ ou seulement OH : le groupe caractéristique comprend le carbone et ses deux oxygènes.

MÉTHODE
En formule topologique, chaque extrémité ou sommet de la ligne brisée est un carbone ; les H portés par les carbones ne sont pas écrits. Seuls les hétéroatomes (ici O) et les H qu'ils portent apparaissent.

Q2 Justifier que le produit P obtenu lors de cette synthèse est de l'eau.

Formules brutes : 3-méthylbutan-1-ol $C_5H_{12}O$; acide éthanoïque $C_2H_4O_2$; éthanoate de 3-méthylbutyle $C_7H_{14}O_2$.

$$C_5H_{12}O + C_2H_4O_2 \rightleftharpoons C_7H_{14}O_2 + P$$

Les réactifs apportent 7 C, 16 H et 3 O ; l'ester en contient 7 C, 14 H et 2 O. Par conservation des éléments, P contient 2 H et 1 O.

P a pour formule H_2O : c'est de l'eau.

MÉTHODE
Pour identifier une espèce inconnue dans une équation : écrire les formules brutes, compter chaque élément de part et d'autre, puis attribuer la différence à l'espèce manquante.

Q3 Attribuer, en justifiant, chacun des spectres A et B soit à l'acide éthanoïque, soit à l'éthanoate de 3-méthylbutyle.

Données utiles $O{-}H$: $3200 - 3700\ \text{cm}^{-1}$, forte et large ; $C{=}O$: $1650 - 1750\ \text{cm}^{-1}$, forte et fine

Les deux molécules possèdent une liaison $C{=}O$: les deux spectres montrent une bande forte et fine vers $1700\ \text{cm}^{-1}$, qui ne permet pas de trancher.

Seul l'acide éthanoïque possède une liaison $O{-}H$. Le spectre A présente une bande forte et très large autour de $3000\ \text{cm}^{-1}$; le spectre B n'en présente pas (seulement les bandes $C{-}H$, fines, vers $2900\ \text{cm}^{-1}$).

Spectre A : acide éthanoïque. Spectre B : éthanoate de 3-méthylbutyle.

COMPRENDRE
Dans un acide carboxylique, la bande $O{-}H$ est décalée vers les petits nombres d'onde et recouvre celle des $C{-}H$: elle déborde de l'intervalle du tableau. C'est sa largeur qui la signale.

MÉTHODE
Chercher d'abord la liaison que possède une seule des deux molécules : c'est elle, par sa présence ou son absence, qui permet l'attribution.

Q4 Nommer les étapes 2 et 3 du protocole A.

Étape 2 : transformation chimique (la synthèse proprement dite, par chauffage à reflux).

Étape 3 : séparation et purification du produit (lavages de la phase organique, puis séchage).

Étape 2 : transformation ; étape 3 : séparation et purification.

COMPRENDRE
Le lavage à l'eau salée entraîne dans la phase aqueuse les espèces qui y sont solubles (acide éthanoïque surtout), alors que l'ester y est très peu soluble. Le sulfate de magnésium anhydre capte les traces d'eau.

Q5 Préciser le sens du mot catalyseur.

Un catalyseur est une espèce chimique qui augmente la vitesse d'une transformation sans figurer dans son équation : il est régénéré en fin de réaction.

PIÈGE
Écrire que le catalyseur augmente le rendement. Il permet d'atteindre plus vite l'état final, sans le modifier.

Q6 Préciser l'utilité du montage de chauffage à reflux dans ce protocole.

Chauffer accélère la transformation : la température est un facteur cinétique.

Le réfrigérant liquéfie les vapeurs, qui retombent dans le ballon : on chauffe à ébullition sans perdre de matière.

Le chauffage à reflux accélère la synthèse tout en évitant les pertes de réactifs et de produits.

Q7 Lors du second lavage, on observe un dégagement gazeux. Proposer une explication à cette observation et justifier l'utilité de cette étape.

Données utiles couples $(CO_2\,(g), H_2O\,(l))$ / $HCO_3^-\,(aq)$ et $HCO_3^-\,(aq)$ / $CO_3^{2-}\,(aq)$

Après la synthèse, la phase organique contient encore des acides : l'acide éthanoïque qui n'a pas réagi et l'acide sulfurique (catalyseur).

L'ion hydrogénocarbonate, base du couple (CO_2, H_2O) / HCO_3^-, réagit avec ces acides, par exemple :

$$CH_3COOH + HCO_3^- \longrightarrow CH_3COO^- + CO_2\,(g) + H_2O\,(l)$$

Le gaz observé est le dioxyde de carbone.

Dégagement de CO_2 ; ce lavage élimine les acides restants de la phase organique, donc purifie l'ester.

PIÈGE
Utiliser l'autre couple, HCO_3^- / CO_3^{2-} : l'ion HCO_3^- y joue le rôle d'acide et aucun gaz ne se forme. Face à un acide, il intervient comme base.

COMPRENDRE
L'ion éthanoate formé est chargé : il passe dans la phase aqueuse, que l'on élimine. L'acide est ainsi retiré de la phase organique.

Q8 Déterminer le réactif limitant utilisé dans le protocole A puis calculer le rendement de la synthèse.

Données utiles alcool : $V_1 = 22$ mL, $d_1 = 0{,}81$, $M_1 = 88{,}2$ g · mol^{-1} ; acide : $V_2 = 15$ mL, $d_2 = 1{,}05$, $M_2 = 60{,}0$ g · mol^{-1} ; ester : $m_B = 19{,}7$ g, $M_B = 130{,}2$ g · mol^{-1}

Pour un liquide de densité d : $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{d\,\rho_{\text{eau}}\,V}{M}$, avec $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00$ g · mL^{-1}.

Alcool : $n_1 = \dfrac{0{,}81 \times 1{,}00 \times 22}{88{,}2} = 0{,}20$ mol

Acide : $n_2 = \dfrac{1{,}05 \times 1{,}00 \times 15}{60{,}0} = 0{,}26$ mol

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 et $n_1 < n_2$: le 3-méthylbutan-1-ol est le réactif limitant. Si la transformation était totale, on obtiendrait $n_{\max} = n_1$.

Quantité d'ester obtenue : $n_B = \dfrac{m_B}{M_B} = \dfrac{19{,}7}{130{,}2} = 0{,}151$ mol

$$r = \frac{n_B}{n_{\max}} = \frac{0{,}151}{0{,}202} = 0{,}75$$

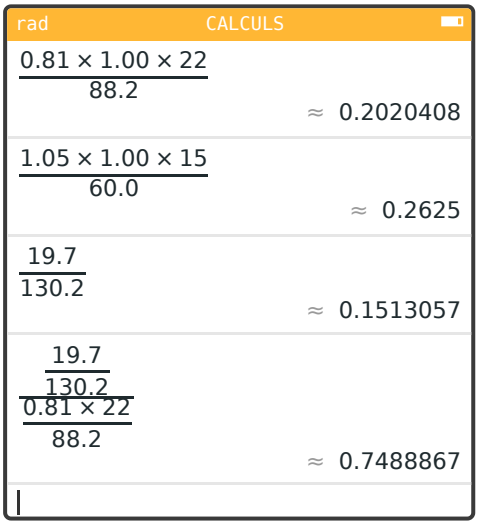
Réactif limitant : le 3-méthylbutan-1-ol ; rendement $r = 75\ \%$.

PIÈGE
Comparer les volumes ou les masses au lieu des quantités de matière : l'alcool a le plus grand volume (22 mL) et c'est pourtant lui le réactif limitant.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les volumes et la densité de l'alcool. Dans le calcul de r, on garde la valeur non arrondie $n_1 = 0{,}202$ mol : avec $0{,}20$ on trouverait 76 %.

MÉTHODE
La densité donne la masse volumique : $\rho = d \times \rho_{\text{eau}}$. Avec $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00$ g · mL^{-1}, la masse en grammes vaut $d \times V$ si V est en mL.

À LA CALCULATRICE



Q9 Calculer l'énergie utilisée pour chauffer le mélange réactionnel dans le protocole B. Commenter.

Données utiles $P = 800$ W ; $\Delta t = 30$ s ; chauffe-ballon (protocoles A et C) : $E_A = 4{,}1 \times 10^5$ J

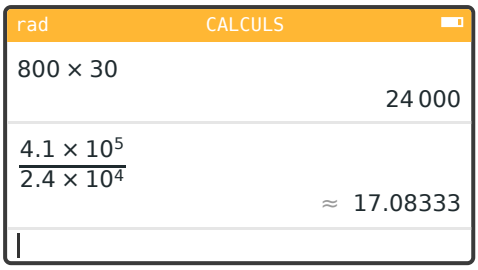
$E_B = P \times \Delta t = 800 \times 30 = 2{,}4 \times 10^4$ J

$$\frac{E_A}{E_B} = \frac{4{,}1 \times 10^5}{2{,}4 \times 10^4} \approx 17$$

$E_B = 2{,}4 \times 10^4$ J : le four à micro-ondes consomme environ 17 fois moins d'énergie que le chauffe-ballon.

MÉTHODE
« Commenter » une valeur, c'est la comparer à une autre valeur du sujet, par un rapport chiffré, puis conclure en une phrase.

À LA CALCULATRICE



Q10 À l'aide de la figure 1, identifier, en le justifiant, quel protocole répond le mieux aux principes directeurs de la chimie verte.

Données utiles rendements : A 75 % (Q8), B 87 %, C 85 % ; énergies : $4{,}1 \times 10^5$ J (A et C), $2{,}4 \times 10^4$ J (B, Q9)

Limitation des dépenses énergétiques : le protocole B consomme environ 17 fois moins d'énergie que A et C, et ne dure que 30 s.

Solvants et toxicité : le protocole C emploie du cyclohexane, inflammable, nocif pour la santé et dangereux pour l'environnement ; A et B s'en passent.

Procédé catalytique : les trois protocoles utilisent un catalyseur, ce critère ne les départage pas.

Efficacité : B a le meilleur rendement (87 %), donc moins de réactifs perdus.

Le protocole B (four à micro-ondes) répond le mieux aux principes de la chimie verte.

MÉTHODE
Reprendre un à un les principes de la figure et, pour chacun, comparer les protocoles avec une donnée du sujet (énergie, pictogrammes, rendement) avant de conclure.