BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** est autorisé.

L'usage de la calculatrice **sans mémoire**, « type collège », est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.

EXERCICE 1 : BICYCLE MOTO CROSS (11 POINTS)

Le BMX (Bicycle Moto Cross) est une discipline cycliste née aux USA et importée en France dans les années 1980.

La « Race », sport olympique depuis 2008, est une course qui se déroule sur une piste bosselée de longueur comprise entre 270 et 400 m. Huit pilotes partent d'une butte de départ surélevée et doivent terminer le tour le plus rapidement possible en franchissant plusieurs types d'obstacles.



Départ de la finale des J.O de Tokyo (2020)

A. Les signaux associés au départ de la course

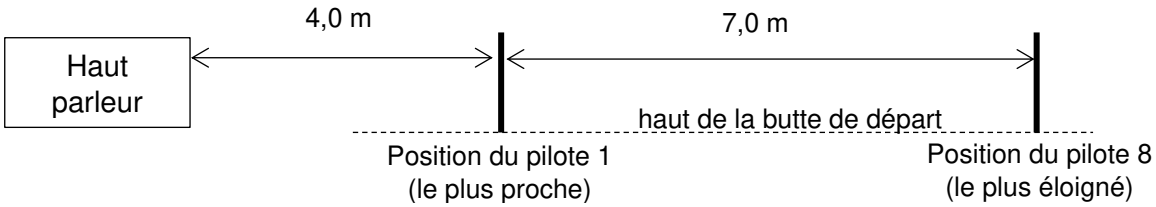
Une fois les pilotes bien positionnés sur la grille en haut de la butte, le starter lance la commande automatique de départ, qui comporte une série de 4 bips sonores synchronisés avec des feux (rouge, 1er orange, 2ème orange, vert). Au quatrième bip, qui coïncide avec le feu vert, la grille s'abaisse pour libérer les pilotes.

Lors de cette procédure, le cahier des charges de l'union cycliste internationale impose que le niveau d'intensité sonore soit initialement réglé pour que, malgré l'atténuation acoustique générée par leurs casques, les pilotes puissent tous entendre parfaitement les bips sonores. On considère qu'un son est parfaitement audible par le pilote à partir d'un niveau d'intensité sonore de l'ordre de 60 dB, sans dépasser 85 dB.

Données :

- célérité d'une onde sonore dans l'air à 20 °C : $c_{son} = 340\ m \cdot s^{-1}$;
- célérité d'une onde lumineuse dans l'air : supposée connue ;
- fréquence des bips sonores : $f = 632$ Hz.

Le haut-parleur délivrant les bips sonores est unique. Il est situé dans le prolongement de la ligne de départ à une distance $d = 4{,}0$ m sur la gauche du pilote le plus proche. Le pilote le plus éloigné se trouve alors 7,0 m plus à droite.



Le haut-parleur a été réglé de sorte que le niveau d'intensité sonore du son incident mesuré sur la paroi du casque du premier pilote soit L_{i1} = 83 dB.

L'atténuation par absorption, correspond à la différence entre le niveau d'intensité sonore L_i du son incident sur le casque et le niveau d'intensité sonore L_t du son transmis à l'intérieur de celui-ci. Pour la fréquence 632 Hz et les casques en fibre de carbone utilisés par les pilotes de haut niveau, cette atténuation est de l'ordre de 10 dB.

Q.1. Calculer le niveau d'intensité sonore L_{t1} transmis à l'intérieur du casque du premier pilote.

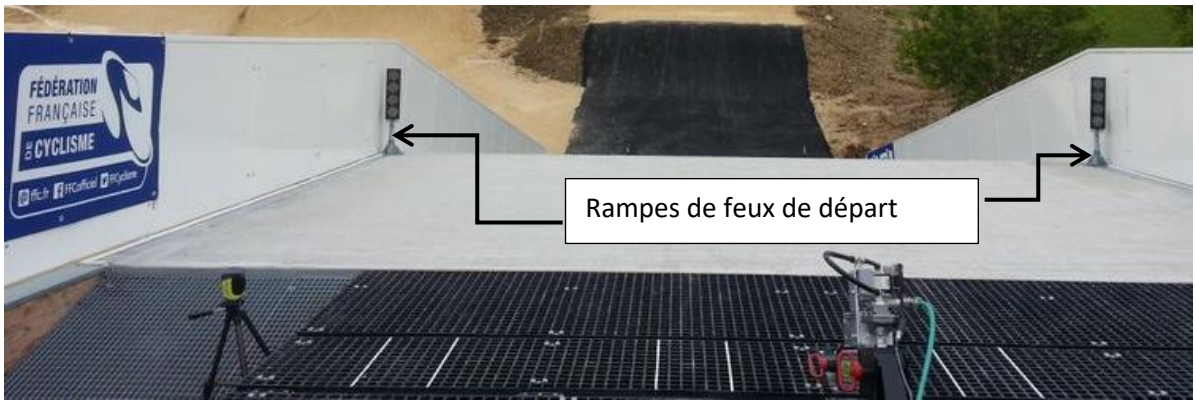
La relation entre *L,* le niveau d'intensité sonore à une distance *d* de la source et *L',* le niveau sonore à une distance *d'* plus éloignée de cette source, est donnée par : $L' = L + 20 \cdot \log\left(\frac{d}{d'}\right)$.

Q.2. Calculer le niveau d'intensité sonore L_{i8} du son incident sur le casque du huitième pilote, puis le niveau d'intensité sonore L_{t8} du son transmis correspondant. Commenter ce résultat.

Certaines buttes sont maintenant sonorisées avec deux haut-parleurs, disposés aux extrémités de la ligne de départ.

Q.3. Expliquer qualitativement pourquoi ce dispositif à double haut-parleur est plus équitable.

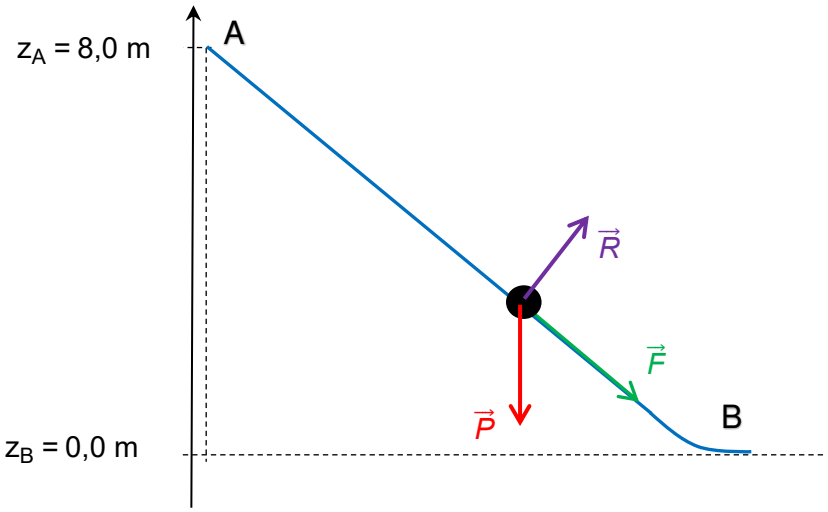
Deux rampes de feux lumineux sont installées à mi-pente de la butte de départ de part et d'autre du plan incliné de la descente :



Q.4. Justifier sans calcul l'intérêt pour les pilotes d'être davantage attentifs aux signaux lumineux qu'aux signaux sonores pour prendre le départ.

B. Le départ

Lorsque la grille s'abaisse, les pilotes pédalent intensément pour acquérir la plus grande vitesse possible au bas de la butte. Lors d'une séance d'entrainement, filmée pour une chaine sportive, se déroulant sur une piste possédant une butte de départ à 8 m de hauteur, un pilote atteint la vitesse de 61 km·h^{-1} au bas de la butte en 2,7 s.



Profil de la butte

Pendant cette descente, on considère que le système {pilote + bicyclette}, assimilé à un point matériel de masse totale m = 93 kg se déplace de la position A jusqu'à la position B, en n'étant soumis qu'à trois actions mécaniques modélisées par son poids $\vec{P}$, la réaction $\vec{R}$ du plan incliné toujours perpendiculaire au plan et la force motrice $\vec{F}$ de norme supposée constante et parallèle au plan. Le référentiel terrestre est ici considéré comme galiléen.

Données :

- intensité de la pesanteur g = 9,81 m·s^{-2} ;
- théorème de l'énergie cinétique : la variation d'énergie cinétique d'un système entre deux positions A et B est égale à la somme des travaux des forces appliquées à ce système entre les deux positions A et B.

Q.5. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système lors du trajet AB pour exprimer le travail $W_{AB}(\vec{F})$ de la force motrice liée au pédalage du pilote.

Q.6. Calculer la valeur de ce travail.

Ce pilote est capable de développer une puissance de pédalage de l'ordre de 2000 à 2500 W lors du trajet AB.

Q.7. Montrer que la valeur du travail calculé à la question **Q.6** est en accord avec la puissance de pédalage du pilote, supposée constante.

C. Le saut de bosse

Le pilote aborde maintenant une bosse double avec l'objectif de complètement franchir l'obstacle.

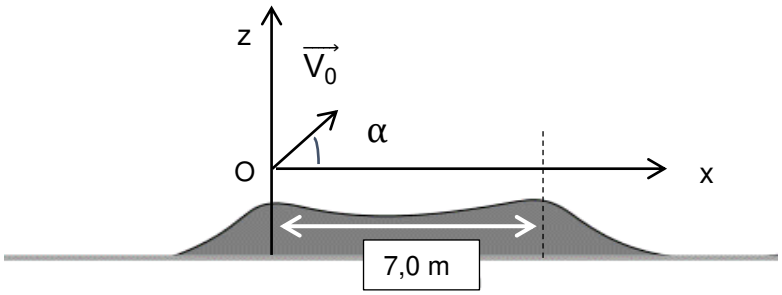


Schéma de la situation

Le vecteur vitesse initiale du système $\overrightarrow{V_0}$ est incliné d'un angle α = 23° par rapport à l'horizontale.

Les deux sommets sont situés à la même hauteur et distants de 7,0 m.

À la date t = 0 de son « envol » l'ensemble {pilote + bicyclette}, assimilé à un point matériel noté G, se trouve en O. Sa masse totale vaut m = 93 kg, et la norme de $\overrightarrow{V_0}$ est mesurée à 13,6 m·s^{-1}.

On néglige l'action de l'air sur l'ensemble {pilote + bicyclette}.

Q.8. En appliquant la deuxième loi de Newton au système, montrer que les équations horaires du mouvement pendant le saut sont :

$$\overrightarrow{OG}\begin{pmatrix} x(t) = (V_0 \cdot \cos\alpha)\cdot t \\ z(t) = -\frac{1}{2}g\cdot t^2 + (V_0 \cdot \sin\alpha)\cdot t \end{pmatrix}$$

Le système retrouve le contact avec le sol au bout de 1,0 s.

Q.9. Déterminer si le saut est réussi dans le cadre du modèle utilisé.

En réalité le système entre en contact avec le sol juste après le deuxième sommet, pour une distance horizontale parcourue de l'ordre de 8,0 m.

Q.10. Montrer que le modèle n'est pas adapté à la description du saut et en indiquer une raison possible.

D. Une expérience contestée

Après la course, la technique dite du bain froid, est utilisée par des pilotes de BMX pour favoriser la récupération physique. Elle consiste à immerger le pilote de BMX dans un bain d'eau froide à 10 °C, pendant quelques minutes.

Dans cette partie, on cherche à déterminer la température du corps du pilote au bout de la durée d'immersion. Pour cela on s'intéresse à l'évolution de la température T du système {pilote de BMX} placé au contact de l'eau froide du bain dont la température T_{eau} demeure constante et égale à 10 °C.

On note Q l'énergie thermique échangée entre le pilote et l'eau pendant une durée Δt. On note Φ le flux thermique correspondant.

On assimile le pilote à un système incompressible possédant une capacité thermique, C, constante.

Données :

- température initiale du pilote avant son immersion : $\theta_0 = 37$ °C ;
- T (K) = θ (°C) + 273 ;
- capacité thermique du système {pilote de BMX} : $C = 347$ kJ·K^{-1}.

Q.11. Citer trois modes de transfert thermique.

Q.12. En appliquant le premier principe de la thermodynamique, relier la variation d'énergie interne ΔU du système {pilote de BMX} à l'énergie thermique Q.

Q.13. Exprimer le flux thermique Φ en fonction de Q et de Δt. Indiquer les unités du système international des grandeurs intervenant dans cette expression.

La variation d'énergie interne d'un système incompressible au repos dont la température varie de ΔT est donnée par la relation $\Delta U = C \cdot \Delta T$.

Q.14. Exprimer le flux thermique Φ en fonction de la capacité thermique C, de la variation de température ΔT et de la durée Δt.

La valeur du flux thermique moyen échangé entre le système {pilote de BMX} et l'eau froide est estimée à $4{,}6 \times 10^3$ W.

Q.15. Calculer à l'aide du modèle la température du pilote au bout de 10 min d'immersion dans l'eau froide.

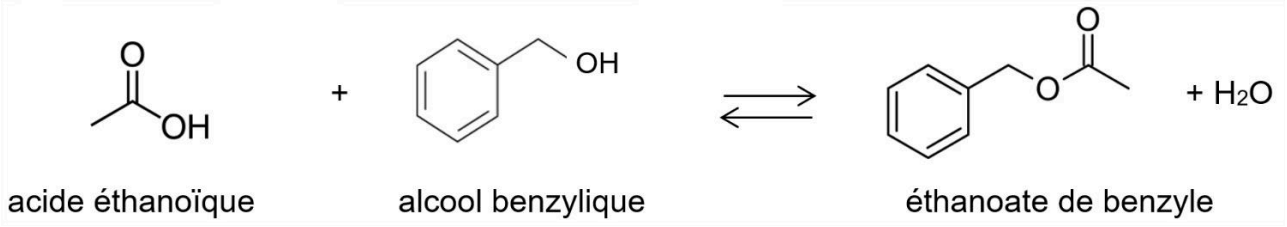
Q.16. Indiquer une des raisons expliquant pourquoi ce modèle n'est pas pertinent.

EXERCICE 2 : OPTIMISATION DE LA SYNTHÈSE DE L'ÉTHANOATE DE BENZYLE (5 POINTS)

L'éthanoate de benzyle est un ester qu'on trouve à l'état naturel dans beaucoup de fleurs, comme le jasmin. Son utilisation en quantité importante dans de nombreux domaines nécessite de recourir à sa synthèse industrielle.

A. Formation de l'ester

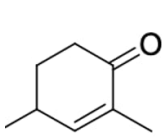
L'équation de la réaction modélisant la synthèse de l'éthanoate de benzyle est la suivante :



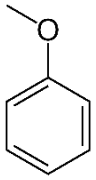
Q.1. Donner la formule brute de l'alcool benzylique.

Q.2. Recopier les trois formules topologiques ci-dessus, entourer les groupes caractéristiques en précisant pour chacun d'eux la famille fonctionnelle correspondante.

Les formules topologiques de deux molécules A et B sont données ci-dessous :



Molécule A



Molécule B

Q.3. Préciser laquelle de ces deux molécules est un isomère de l'alcool benzylique. Justifier.

Q.4. La synthèse de l'éthanoate de benzyle est une transformation lente, citer deux conditions expérimentales qui peuvent la rendre plus rapide.

B. Optimisation du rendement de la synthèse

De nombreuses synthèses ont un rendement faible, en particulier parce que les transformations associées ne sont pas totales.

Afin de déterminer le rendement, on met en œuvre le protocole 1 suivant associant la synthèse puis le titrage du réactif restant :

- dans un ballon sec, introduire un volume V_1 = 2,7 mL d'acide éthanoïque et un volume V_2 = 4,9 mL d'alcool benzylique ;
- adapter le réfrigérant à eau au ballon, puis chauffer le mélange à ébullition pendant 25 min ;
- quand le reflux a cessé, ajouter dans le ballon 100 mL d'eau glacée ;
- verser la totalité du mélange réactionnel dans une bécher de 250 mL et procéder alors au titrage de l'acide éthanoïque restant comme schématisé ci-après.

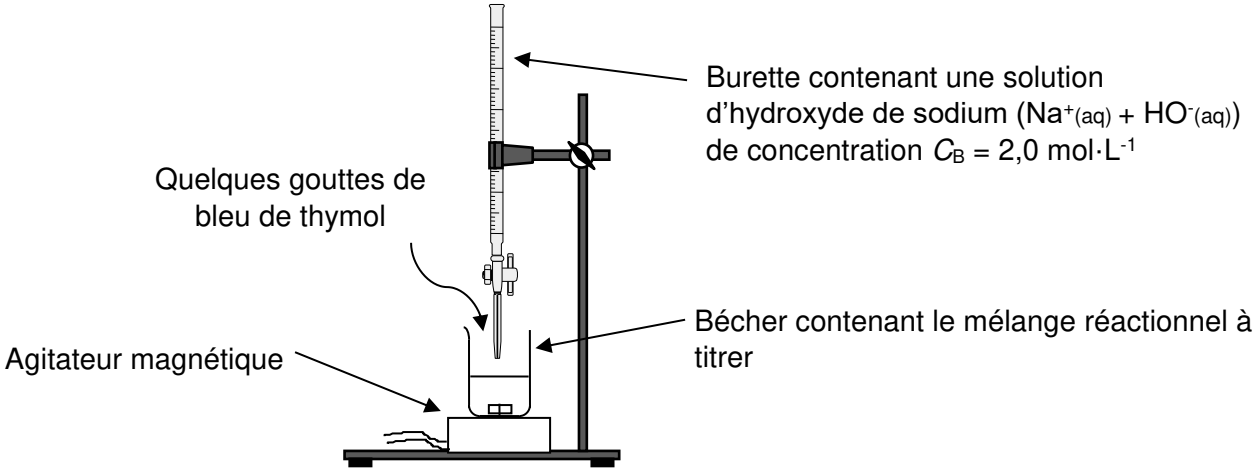


Schéma du dispositif expérimental du titrage

Données :

Espèce	Acide éthanoïque	Alcool benzylique	Éthanoate de benzyle
Masse molaire moléculaire M (en g·mol^{-1})	60,0	108,0	150,0
Masse volumique ρ (en g·mL^{-1}) à T = 20 °C	1,05	1,04	1,05

Q.5. Déterminer les quantités de matière initiales n_{i1} d'acide éthanoïque et n_{i2} d'alcool benzylique introduites dans le ballon.

Q.6. Établir la relation entre la quantité de matière d'acide éthanoïque consommée $n_{acide\ cons.}$ et la quantité de matière d'ester formé n_{ester} à partir de l'équation de la réaction modélisant la synthèse.

L'équation de la réaction support du titrage est : $CH_3COOH(aq) + HO^-(aq) \rightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O(\ell)$.

On observe un changement de couleur du mélange réactionnel pour un volume d'hydroxyde de sodium versé de $V_E = 8{,}5$ mL.

Q.7. Déterminer la quantité de matière de l'acide éthanoïque restant dans le mélange réactionnel $n_{acide\ rest}$.

Q.8. Définir et calculer le rendement r de la synthèse. Conclure.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Dans les mêmes conditions expérimentales que le protocole 1 mais en modifiant le volume d'acide éthanoïque introduit dans le ballon on réalise le protocole 2.

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs du rendement selon les conditions initiales pour les deux protocoles :

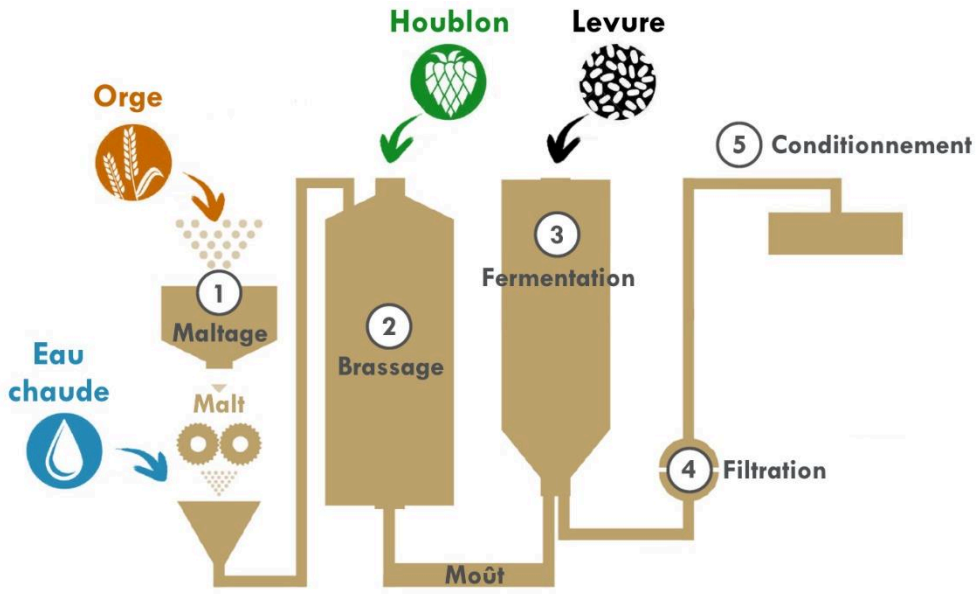
Protocole	**1**	**2**
Volume d'acide éthanoïque V_1 (en mL)	2,7	4
Volume d'alcool benzylique V_2 (en mL)	4,9	4,9
Rendement r de la synthèse		0,71

Q.9. Justifier l'évolution du rendement de la réaction de synthèse.

EXERCICE 3 : FABRICATION DE LA BIÈRE (4 POINTS)

De l'orge, de l'eau, du houblon et de la levure... Ces quatre ingrédients permettent de fabriquer des milliers de types de bières différentes.

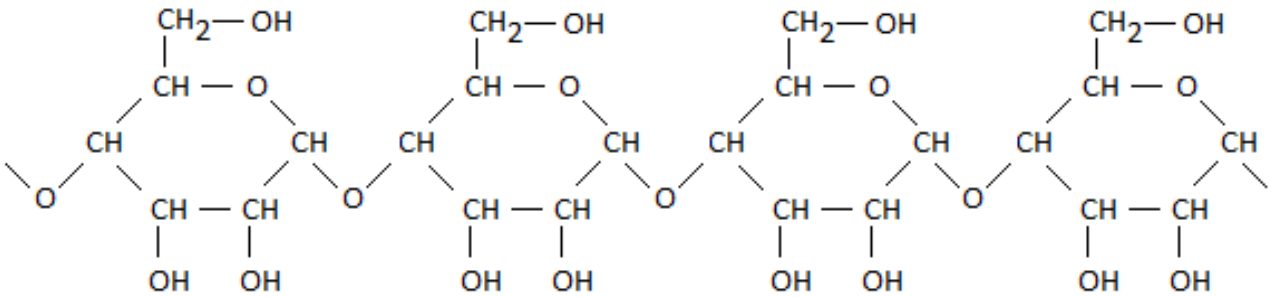
Le schéma ci-dessous représente de manière simplifiée quelques étapes du processus de fabrication de la bière.



L'objectif de cet exercice est d'étudier certaines des transformations chimiques mises en jeu dans la fabrication de la bière.

A. Hydrolyse de l'amidon

L'orge concassée est la matière première dans la fabrication de la bière. L'orge constitue une source d'amidon qui est un polymère de formule :



Après une étape appelée maltage, l'amidon est plongé dans de l'eau chaude, ce qui rend actives des enzymes sensibles à la température. Ces enzymes sont des catalyseurs d'une transformation chimique appelée hydrolyse de l'amidon. Au cours de cette transformation, l'amidon se transforme en glucose, de formule $C_6H_{12}O_6$.

Q.1. À l'aide de la formule de l'amidon, identifier le motif de ce polymère.

La capacité des enzymes à dégrader l'amidon est influencée par la concentration en ions oxonium $[H_3O^+]$.

L'activité des enzymes est optimale lorsque $1{,}3 \times 10^{-6} \leq [H_3O^+] \leq 3{,}2 \times 10^{-6}$ mol·L^{-1}.

Lors d'un contrôle, on mesure un $pH = 5{,}6$.

Q.2. Vérifier que l'activité des enzymes est optimale.

B. Fermentation alcoolique

Lors du brassage, on ajoute du houblon au liquide obtenu précédemment contenant des sucres, en particulier le glucose. Le houblon libère des espèces chimiques qui confèrent à la bière son amertume et son arôme. Le mélange ainsi obtenu est appelé « moût ».

À l'issue du brassage, on ajoute la levure qui entraîne une transformation appelée fermentation. Celle-ci produit de l'éthanol et du dioxyde de carbone à partir des sucres. En particulier, le glucose est transformé en éthanol. Cette transformation est modélisée par l'équation de réaction suivante :

$$C_6H_{12}O_6(aq) \rightarrow 2\ C_2H_5OH(aq) + 2\ CO_2(g)$$

Données :

- masse molaire atomique en g·mol^{-1} : $M_H = 1{,}0$; $M_C = 12{,}0$; $M_O = 16{,}0$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314$ J·K^{-1}·mol^{-1} ;
- conversion entre les échelles de température : T(K) = θ(°C) + 273 ;
- pression atmosphérique : $p_{atm} = 1{,}013 \times 10^5$ Pa.

On considère un « moût » de concentration en masse de glucose égale à 92,7 g·L^{-1}.

On fait l'hypothèse que la température de fermentation est égale à 20 °C, que la transformation est totale et que le gaz produit se comporte comme un gaz parfait.

Q.3. Déterminer la valeur du volume de dioxyde de carbone gazeux maximum dégagé à la pression atmosphérique au cours de la fermentation d'un volume $V = 1{,}0$ L de moût.

La démarche suivie devra être clairement exposée et les calculs devront être détaillés.

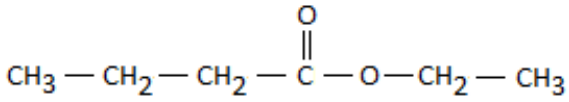
En réalité, le volume de gaz dégagé est de 22 L.

Q.4. Proposer une hypothèse permettant d'expliquer cette différence.

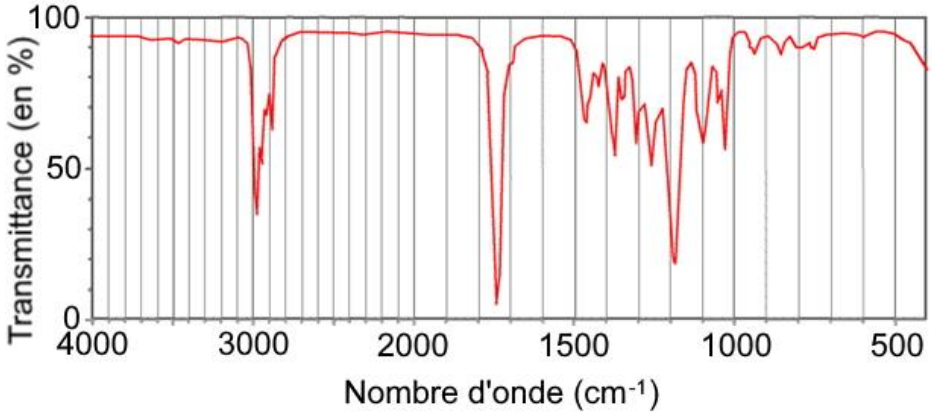
C. Saveur de la bière

Le houblon renferme de nombreuses espèces chimiques organiques qui réagissent avec l'éthanol issu de la fermentation pour donner naissance à une large variété d'espèces chimiques odorantes. Parmi eux, le butanoate d'éthyle, de formule brute $C_6H_{12}O_2$, apporte à la bière une agréable saveur de fruit tropical.

La formule semi-développée du butanoate d'éthyle est la suivante :



Après avoir isolé un composé présent dans un échantillon de bière, un laboratoire d'analyse réalise un spectre infrarouge de ce composé :



d'après www.unice.fr.

Table spectroscopique simplifiée :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O-H alcool libre	3500 – 3700	Forte, fine
O-H alcool lié	3200 – 3400	Forte, large
O-H acide carboxylique	2500 – 3200	Forte à moyenne, large
N-H amine ou amide	3100 – 3500	Forte à Moyenne
N-H amine ou amide	1560 – 1640	Forte ou moyenne
C-H	2800 – 3100	Forte à moyenne
C=O ester	1700 – 1740	Forte
C=O amide	1650 – 1740	Forte
C=O aldéhyde et cétone	1650 – 1730	Forte
C=O acide carboxylique	1680 – 1710	Forte
C–O	1040 - 1300	Forte à moyenne

Q.5. Vérifier que le spectre infrarouge obtenu peut correspondre au butanoate d'éthyle.

Q.6. Expliquer si ce spectre infrarouge suffit ou pas pour affirmer que le composé isolé est le butanoate d'éthyle.