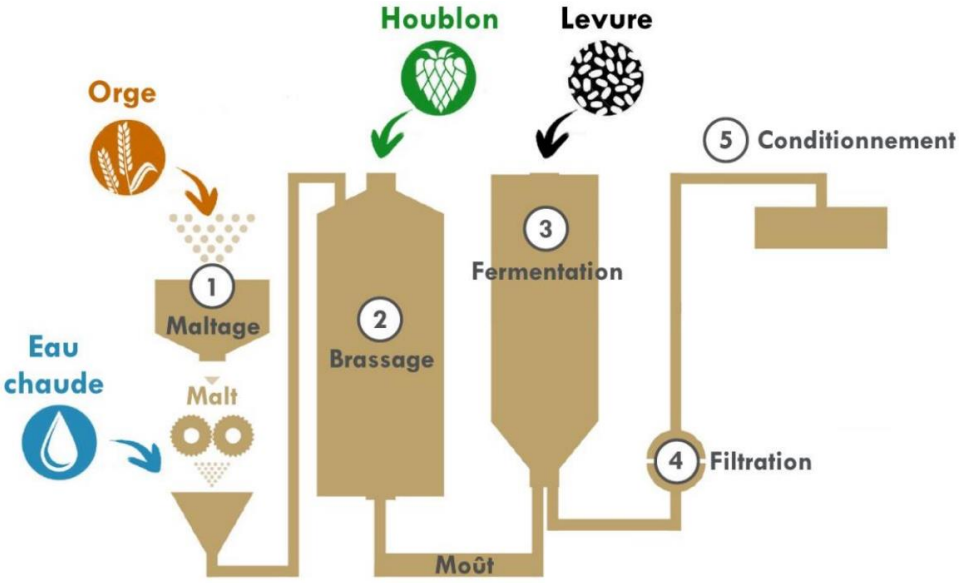
EXERCICE 3 (4 points)
FABRICATION DE LA BIÈRE

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.

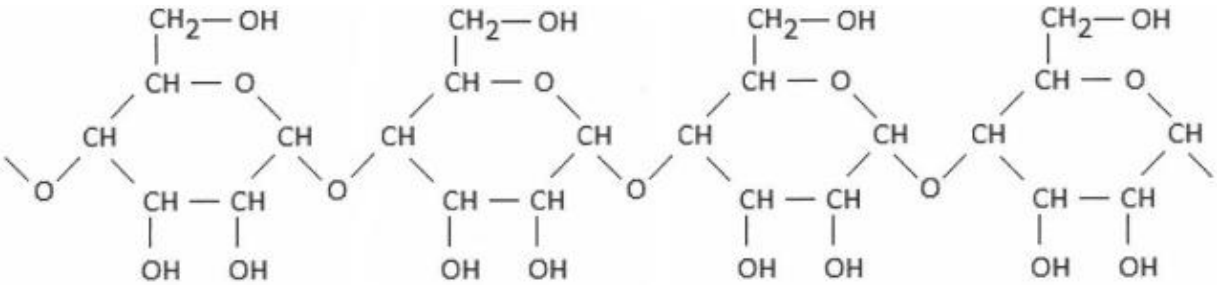
Le schéma ci-dessous représente de manière simplifiée quelques étapes du processus de fabrication de la bière.



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 $1{,}3\times10^{-6} \leq [H_3O^+] \leq 3{,}2\times10^{-6}$ 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 : $p_{atm} = 1{,}013\times10^5$ 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.

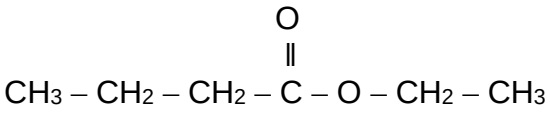
En réalité, le volume de gaz dégagé est de 22 L.

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

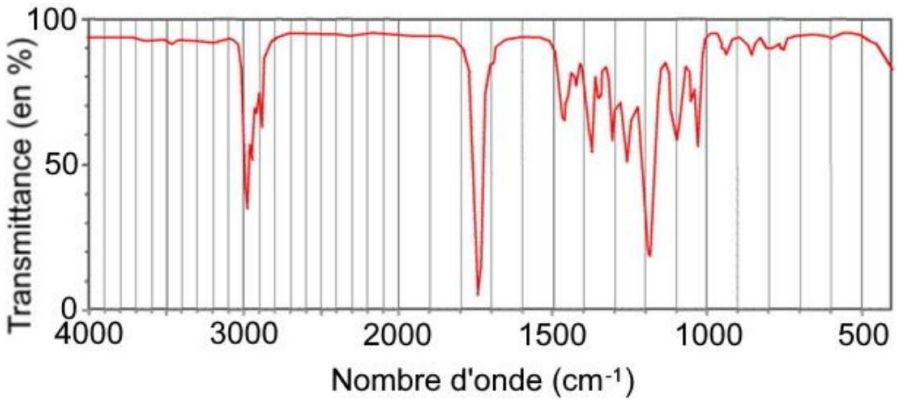
C. Saveur de la bière

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.