

ETUDE D'UN PROCEDE DE FABRICATION

Partie 1 — Dosage conductimétrique des ions chlorure dans une eau de brassage

1.1. Pour fabriquer de la bière, il faut de l'eau, du malt, du houblon et des levures.

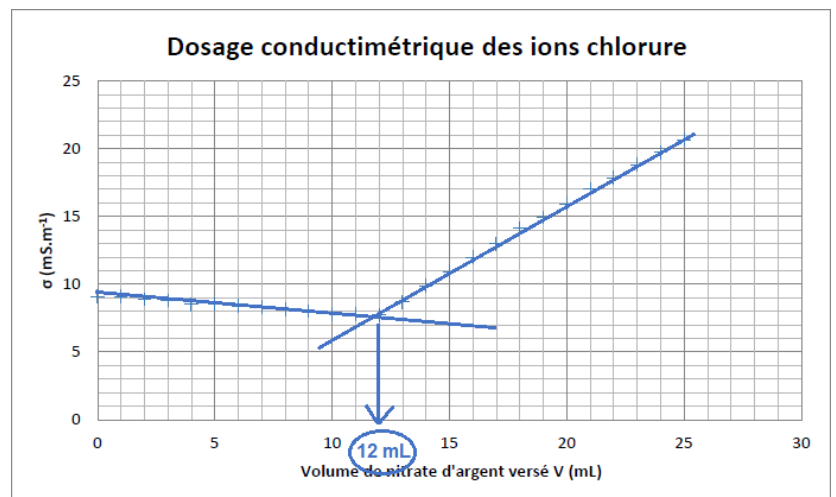
1.2.

| | Ion | Ag ⁺ | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ |
|---|---|-----------------|-----------------|------------------------------|
| | λ^0 (mS·mol ⁻¹ ·m ²) à 25 °C | 6,190 | 7,639 | 7,150 |
| Évolution des quantités d'ions libres dans le bécher | Avant l'équivalence | ≈ 0 | ↓ | ↑ |
| | Après l'équivalence | ↑ | ≈ 0 | ↑ |

Avant l'équivalence, tout se passe comme si on remplaçait les ions chlorure du bécher par des ions nitrate légèrement moins conducteur : la conductivité de la solution diminue.

Après l'équivalence, on ajoute des ions argent et nitrate dans le bécher : la conductivité de la solution augmente.

On a donc bien $V_e = 12,0$ mL



1.3. Calcul de la concentration massique en ions chlorure.

1.3.1. D'après l'équation de la réaction de titrage, à l'équivalence, la quantité d'ions argent introduite est égale à la quantité d'ions chlorure initialement présente dans le bécher :

$$n_{\text{Cl}^-} = n_{\text{Ag}^+}$$

$$[\text{Cl}^-] \times V_1 = [\text{Ag}^+] \times V_e$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{[\text{Ag}^+] \times V_e}{V_1} = \frac{10,0 \times 12,0}{100} = 1,20 \text{ mmol.L}^{-1} = 1,20 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$1.3.2. C_m = M \times [\text{Cl}^-] = 35,5 \times 1,20 \cdot 10^{-3} = 42,6 \times 10^{-3} \text{ g.L}^{-1} = 42,6 \text{ mg.L}^{-1}$$

1.4.

1.4.1. On a :

$$\frac{U(V_1)}{V_1} = \frac{1}{100} = 0,01 = 1\%$$

$$\frac{U(V_e)}{V_e} = \frac{0,5}{12,0} = 0,04 = 4\%$$

$$\frac{U([Ag^+])}{[Ag^+]} = \frac{0,1}{10,0} = 0,01 = 1\%$$

$\frac{U(V_e)}{V_e}$ est donc prépondérante devant les deux autres

1.4.2. En ne tenant compte que de l'incertitude sur le volume équivalent on a :

$$U(C_m) = C_m \times \frac{U(V_e)}{V_e} = 42,6 \times \frac{0,5}{12,0} = 1,77 \text{ mg/L qui sera arrondi à 1 chiffre significatif soit}$$

$$U(C_m) = 2 \text{ mg/L} \rightarrow C_m = (43 \pm 2) \text{ mg/L}$$

1.5. D'après le document 2, pour une bière brune, il faut une concentration en ions chlorure comprise entre 100 et 200 ppm, soit entre 100 et 200 mg.L⁻¹.

Cette eau a une concentration égale à 43 mg.L⁻¹ = 43 ppm inférieure à 100ppm = 100 mg.L⁻¹, elle ne convient donc pas.

Partie 2 — Autour de la fermentation

A — Le refroidissement du moût

2.1. La température du moût doit baisser de 91°C donc il faut refroidir le moût. Le refroidissement se fait avec un échangeur à plaques.

Dans cet échangeur la circulation à contre-courant, c'est à dire en sens opposé pour le liquide à refroidir (le moût) et le fluide de refroidisseur permet à l'échangeur d'être le plus efficace : il permet un plus grand échange d'énergie thermique entre les deux liquides.

2.2. La grandeur réglée est la température de sortie du moût.

La grandeur réglante est le débit volumique D_V de l'eau froide.

La consigne est réglée à 9,0°C.

B — Maintien en température de la cuve de fermentation

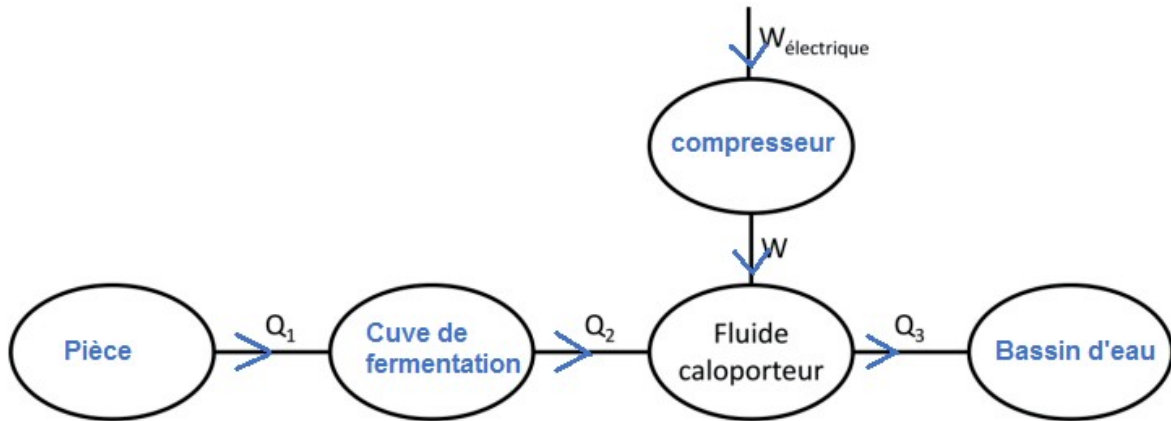
2.3.

$$2.3.1. \Phi = \frac{\theta_c - \theta_f}{r} \text{ avec } R = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ °C} \cdot \text{W}^{-1} \quad \Phi = \frac{21 - 9}{2,8 \cdot 10^{-2}} = 430 \text{ W}$$

2.3.2. Un transfert thermique spontané s'effectue toujours de la source chaude vers la source froide.

Ici le transfert spontané se fait donc ici de l'extérieur vers l'intérieur de la cuve. Si on ne fait rien, la température du moût augmente pour atteindre la température de la pièce qui est à 21°C. Pour que la température reste égale à 9°C, il est donc nécessaire de refroidir.

2.4. Sur le **document réponse en annexe page 9, à rendre avec la copie**, compléter le schéma énergétique du système en sélectionnant certaines expressions parmi celles proposées dans la liste suivante :



2.5.

2.5.1. Le flux thermique Φ traversant la paroi étant de 430 W, en une seconde, le fluide reçoit une énergie thermique $Q_1 = \Phi \times \Delta t = 430 \times 1 = 430 \text{ J}$.

2.5.2. Pour que la température reste constante, il faut que l'énergie reçue par la cuve soit « éliminée » par le fluide caloporteur : $Q_1 + Q_2 = 0$ Donc que $|Q_1| = |Q_2|$

2.5.3.

D'après le document 3 :

$$EFF = \frac{\text{énergie échangée entre la source froide et le fluide caloporteur}}{\text{énergie électrique consommée par la machine}}$$

$$EFF = \frac{|Q_2|}{W} \rightarrow W = \frac{|Q_2|}{EFF} = \frac{430}{2,1} = 205 \text{ J}$$

2.5.4. On converti 7 jours en secondes : $7 \text{ j} = 7 \times 24 \times 3600 = 604\,800 \text{ s}$

Si, en 1s, on consomme 200 J = $5,55 \cdot 10^{-2} \text{ W.h}$

Alors en 7 jours, on consomme donc $604\,800 \times 5,55 \times 10^{-2} = 3,35 \times 10^5 \text{ W.h} = 33,5 \text{ kW.h}$

Ce qui représente un coût de $33,5 \times 0,145 \approx 5 \text{ €}$

2.5.5. En réalité, la réaction de fermentation est exothermique, elle provoque donc elle aussi une élévation de la température du moût que le fluide caloporteur doit aussi évacuer. Le coût calculé en 2.5.4. est donc sous-estimé.

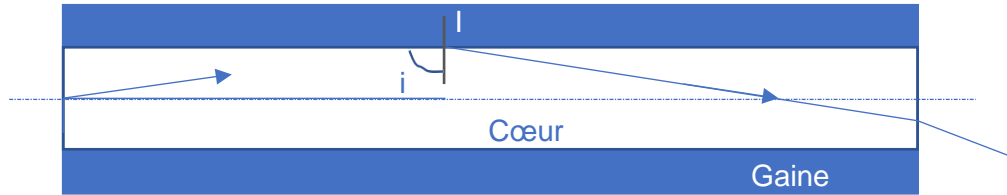
Partie 3 — Le conditionnement de la bière

3.1. La fréquence du laser est $f = 4,75 \cdot 10^{14}$ Hz. Ce qui correspond à une longueur d'onde

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{4,75 \cdot 10^{14}} = 6,32 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 632 \text{ nm}$$

D'après le document 5, on est dans le domaine de la lumière rouge.

3.2. Le principe de propagation dans une fibre optique (à saut d'indice) :



La fibre est constituée d'un cœur d'indice n_1 entouré d'une gaine d'indice n_2 tel que $n_2 < n_1$.

Lorsque le rayon incident arrive sur l'interface cœur/gaine avec un angle i supérieur à l'angle limite, on observe une réflexion totale : le rayon ne peut pas sortir de la fibre, il reste « piégé » à l'intérieur. La lumière est donc guidée de l'entrée à la sortie de la fibre.

3.3. On s'intéresse au rayon arrivant à l'extrémité épointée de la fibre, lorsque celle-ci plonge dans la bière. À l'aide des **documents 4, 6 et 7**, calculer i_{lim} , l'angle d'incidence limite à l'interface fibre / bière.

$$\sin(i_{\text{lim}}) = \frac{n_2}{n_1} \text{ où } n_2 \text{ est l'indice de la bière (1,34) et } n_1 \text{ celui de la fibre (1,48)}$$

$$\sin(i_{\text{lim}}) = \frac{1,34}{1,48} = 0,905 \rightarrow i_{\text{lim}} = \arcsin(0,905) = 64,9^\circ$$

Dans le cas où l'extrémité épointée de la fibre est dans l'air, l'angle d'incidence limite à l'interface fibre/ air est de $42,5^\circ$.

3.4. L'angle limite est plus petit lorsque la fibre est dans l'air que lorsque la fibre est dans la bière.

D'après le document 7, le rayon arrive avec un angle d'incidence de 50° .

Lorsque la fibre est dans l'air, cet angle est supérieur à l'angle limite ($42,5^\circ$) : la lumière est alors totalement réfléchie.

Lorsque la fibre est dans la bière, cet angle est inférieur à l'angle limite ($64,9^\circ$) : une partie de la lumière est réfractée. La lumière n'est alors que partiellement réfléchie dans ce cas.

3.5. Quand le niveau n'est pas atteint, la fibre a son extrémité dans l'air, et la lumière est totalement réfléchie à la pointe : le récepteur reçoit beaucoup de lumière en retour.

Quand la bière atteint la fibre, la pointe de la fibre est dans la bière. Seule une partie de la lumière est réfléchie et revient au détecteur.

Donc le niveau correct de remplissage est atteint lorsque le détecteur perçoit une baisse du flux lumineux.