



20/06/2017

Baccalauréat STL - SPCL

Épreuve de spécialité SPCL

Proposition de correction

Métropole

Partie 1 — Dosage conductimétrique des ions chlorure dans une eau de brassage (7 points)

1.1. À l'aide de la **figure 1 page 2**, citer les matières premières utilisées dans la fabrication de la bière.

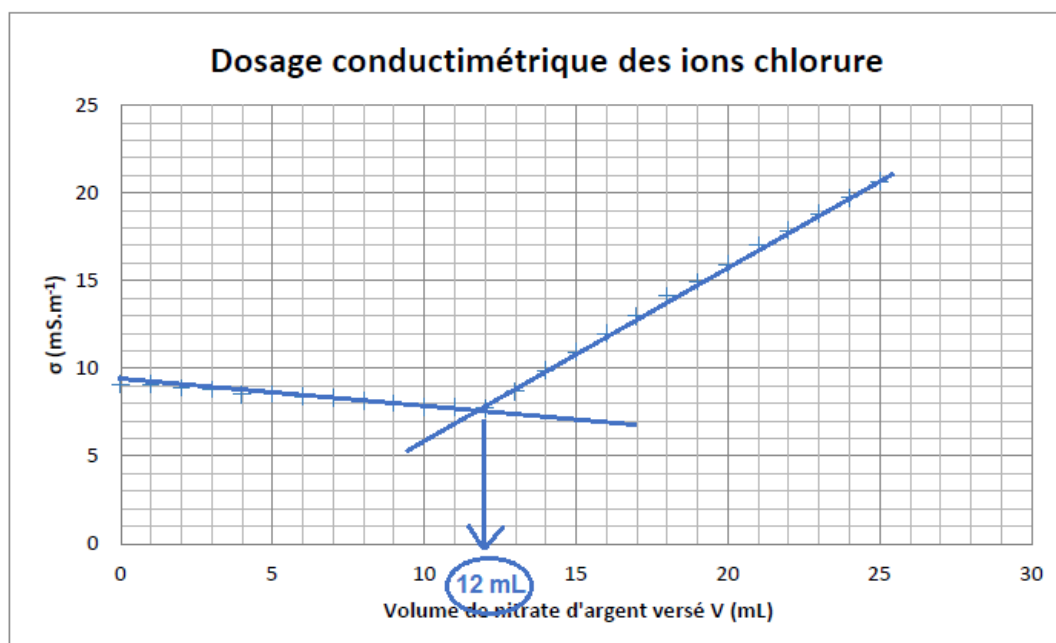
Pour fabriquer de la bière, il faut de l'eau, du malt, du houblon et des levures.

1.2. En s'aidant des valeurs de conductivités ioniques molaires données dans le **document 1 page 7**, justifier l'allure de la courbe de dosage fournie dans le **document réponse en annexe page 9**. Montrer ensuite graphiquement sur le **document réponse** que le volume équivalent V_e vaut 12,0 mL.

	Ion	Ag^+	Cl^-	NO_3^-
	λ^0 ($\text{mS}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{m}^2$) 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. Déterminer la valeur de la concentration molaire en ions chlorure C_{Cl^-} de l'eau de brassage.

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 :

$$n(\text{Cl}^-) = n(\text{Ag}^+)$$

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

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{C_{\text{Ag}^+} \times V_e}{V_1}$$

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{10,0 \times 12,0}{100} = 1,20 \text{ mmol.L}^{-1} = 1,20 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

1.3.2. La masse molaire atomique du chlore vaut $M = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$. Montrer que la concentration massique en ions chlorure C_M vaut $42,6 \text{ mg.L}^{-1}$.

$$C_M = M \times C_{\text{Cl}^-} = 35,5 \times 1,20 \times 10^{-3} = 42,6 \times 10^{-3} \text{ g.L}^{-1} = 42,6 \text{ mg.L}^{-1}.$$

1.4. On cherche à estimer l'incertitude sur la concentration massique en ions chlorure $U(C_M)$ dans l'eau de brassage.

1.4.1. L'incertitude $U(V_1)$ sur le volume de l'eau de brassage V_1 est de 1 mL.

Comparer l'influence des différentes sources d'erreur sur l'estimation de $U(C_M)$ et justifier qu'une d'entre elles est prépondérante devant les autres.

On a :

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

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

$$\frac{U(C_{\text{Ag}^+})}{C_{\text{Ag}^+}} = \frac{0,1}{10,0} = \frac{1}{100} = 0,01 = 1\%$$

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

1.4.2. En ne tenant compte que de la source d'erreur prépondérante, calculer $U(C_M)$ puis écrire correctement la concentration massique en ions chlorure de l'eau de brassage C_M avec son incertitude.

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

$$U(C_M) = C_M \times \frac{U(V_e)}{V_e} = 42,6 \times \frac{0,5}{12,0} = 1,77 \text{ mg.L}^{-1} \text{ qui sera arrondi à un chiffre}$$

significatif soit $U(C_M) = 2 \text{ mg.L}^{-1}$.

On a donc : $C_M = 43 \pm 2 \text{ mg.L}^{-1}$

- 1.5. D'après le **document 2**, déterminer si cette eau convient pour la fabrication d'une bière brune.
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 (8 points)

A — Le refroidissement du moût

- 2.1. L'eau et le moût circulent à contre-courant dans l'échangeur. Justifier ce choix.
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. Le fonctionnement de l'échangeur est régi par un régulateur.
Indiquer la grandeur réglée, la grandeur réglante et la valeur de la consigne.
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. Nécessité d'un système de refroidissement
- 2.3.1. À l'aide du **document 3**, montrer que le flux thermique Φ traversant la paroi de la cuve est de l'ordre de 430 W.

D'après le document 3 : $\Phi = \frac{\theta_c - \theta_f}{R}$ avec $R = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ °C} \cdot \text{W}^{-1}$

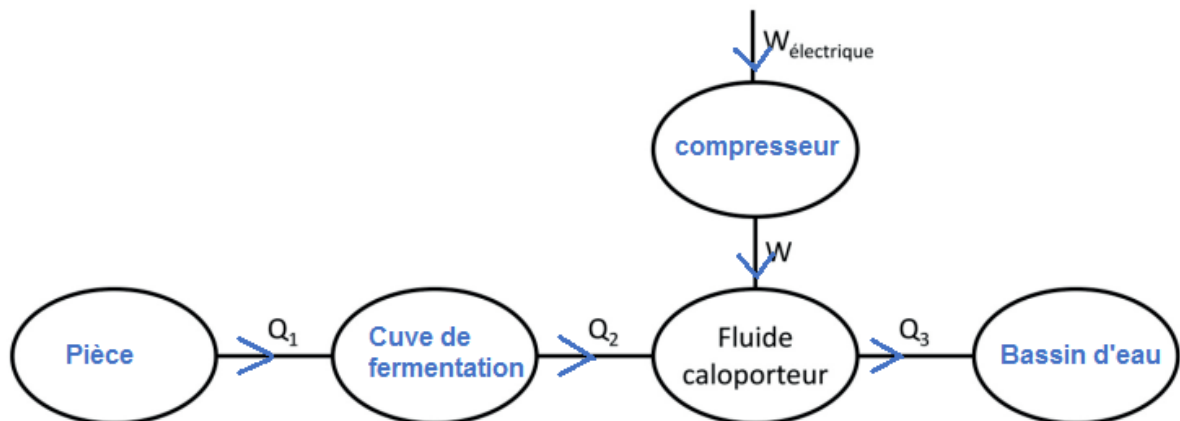
Donc $\Phi = \frac{21-9}{2,8 \times 10^{-2}} \approx 430 \text{ W}$

- 2.3.2. En vous appuyant sur vos connaissances et en le justifiant, préciser le sens du transfert thermique à travers la paroi de la cuve. Justifier la nécessité d'un système de refroidissement.

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. Évaluation du coût hebdomadaire du maintien en température de la cuve en négligeant l'énergie thermique libérée par la réaction de fermentation

- 2.5.1. Déduire de la question 2.3.1. la quantité d'énergie thermique Q_1 apportée au contenu de la cuve pendant 1,0 s par le milieu extérieur.

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. On note Q_2 l'énergie thermique cédée par la cuve de fermentation au fluide caloporteur. Sachant que la température intérieure de la cuve doit être constante, établir un lien entre les valeurs absolues des énergies thermiques $|Q_1|$ et $|Q_2|$ - Justifier la réponse.

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. Exprimer l'efficacité énergétique frigorifique EEF définie dans le **document 3** en fonction des notations utilisées dans le schéma **du document réponse en annexe**. Vérifier que l'énergie électrique consommée par la machine pour maintenir l'intérieur de la cuve à 9,0 °C pendant 1,0 s est de l'ordre de 200 J.

D'après le document 3 :

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

$$EEF = \frac{|Q_2|}{W}$$

$$\text{Donc } W = \frac{|Q_2|}{EEF} = \frac{430}{2,1} \approx 200 \text{ J.}$$

- 2.5.4. Calculer l'énergie nécessaire au maintien en température de la cuve pendant une durée d'une semaine, soit 7 jours (durée de la première étape de fermentation). Sachant que l'on peut estimer le coût de 1 kW.h d'électricité à 0,145 €, calculer le coût financier du maintien de la cuve à 9,0 °C pendant 7 jours.

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

Si, en 1s, on consomme $200 \text{ J} = \frac{200}{3600} = 5,55 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{h}$,

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

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

- 2.5.5. En tenant compte de la réaction de fermentation qui a lieu à l'intérieur de cette cuve, discuter de la validité de l'estimation du coût financier du maintien de la cuve à $9,0 \text{ °C}$ effectuée précédemment.

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 (5 points)

- 3.1. À l'aide des documents 4 et 5, préciser, en justifiant, la couleur de la lumière émise par la source laser.

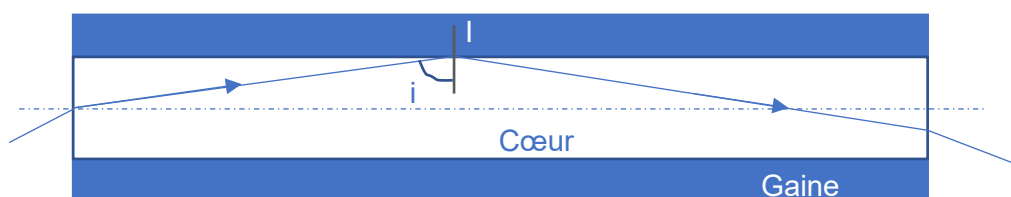
La fréquence du laser est $f = 4,75 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Ce qui correspond à une longueur d'onde $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \times 10^8}{4,75 \times 10^{14}} = 6,32 \times 10^{-7} \text{ m} = 632 \text{ nm}$.

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

- 3.2. Expliquer le principe de la propagation guidée de la lumière au sein d'une fibre optique. Une explication détaillée (sans calcul) du phénomène physique mis en jeu est attendue. Illustrer les quelques lignes d'explication par un schéma soigné et légendé du trajet d'un rayon lumineux dans la fibre optique (on pourra éventuellement s'aider des documents 4, 6 et 7).

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.

D'après le document 7 : $\sin(i_{\text{lim}}) = \frac{n_2}{n_1}$ où n_2 est l'indice de la bière (1,34) et n_1 celui de la fibre (1,48).

$$\text{Donc } \sin(i_{\text{lim}}) = \frac{1,34}{1,48} = 0,905.$$

$$\text{D'où } i_{\text{lim}} = \arcsin(0,905) = 64,9^\circ$$

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°.

- 3.4. Expliquer pourquoi l'onde lumineuse est totalement réfléchie à l'interface fibre / air lorsque la fibre se trouve dans l'air, alors qu'elle n'est que partiellement réfléchie lorsqu'elle plonge dans la bière.

L'angle limite est plus petit lorsque la fibre est dans l'air que lorsque la fibre est dans le 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°) : la lumière est alors totalement réfléchie.

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

- 3.5. Expliquer le principe de détection du niveau de liquide par ce dispositif ; l'explication s'appuiera sur la comparaison qualitative des valeurs des flux énergétiques reçus par le détecteur, suivant le milieu dans lequel plonge l'extrémité de la fibre.

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.