

# **BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE**

**Série : Sciences et Technologies de Laboratoire**

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en  
Laboratoire**

**SESSION 2017**

**Mardi 20 juin 2017**

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et  
chimiques en laboratoire**

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en  
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

***L'usage de la calculatrice est autorisé.***

Ce sujet comporte **9** pages.

Les documents sont réunis en fin d'énoncé.

**La page 9 est à rendre avec la copie.**

## Étude d'un procédé de fabrication

Le sujet s'intéresse à la production de la bière, et plus particulièrement aux étapes de fermentation et de conditionnement de la bière.

Le schéma ci-dessous représente une brasserie (usine de fabrication de la bière).

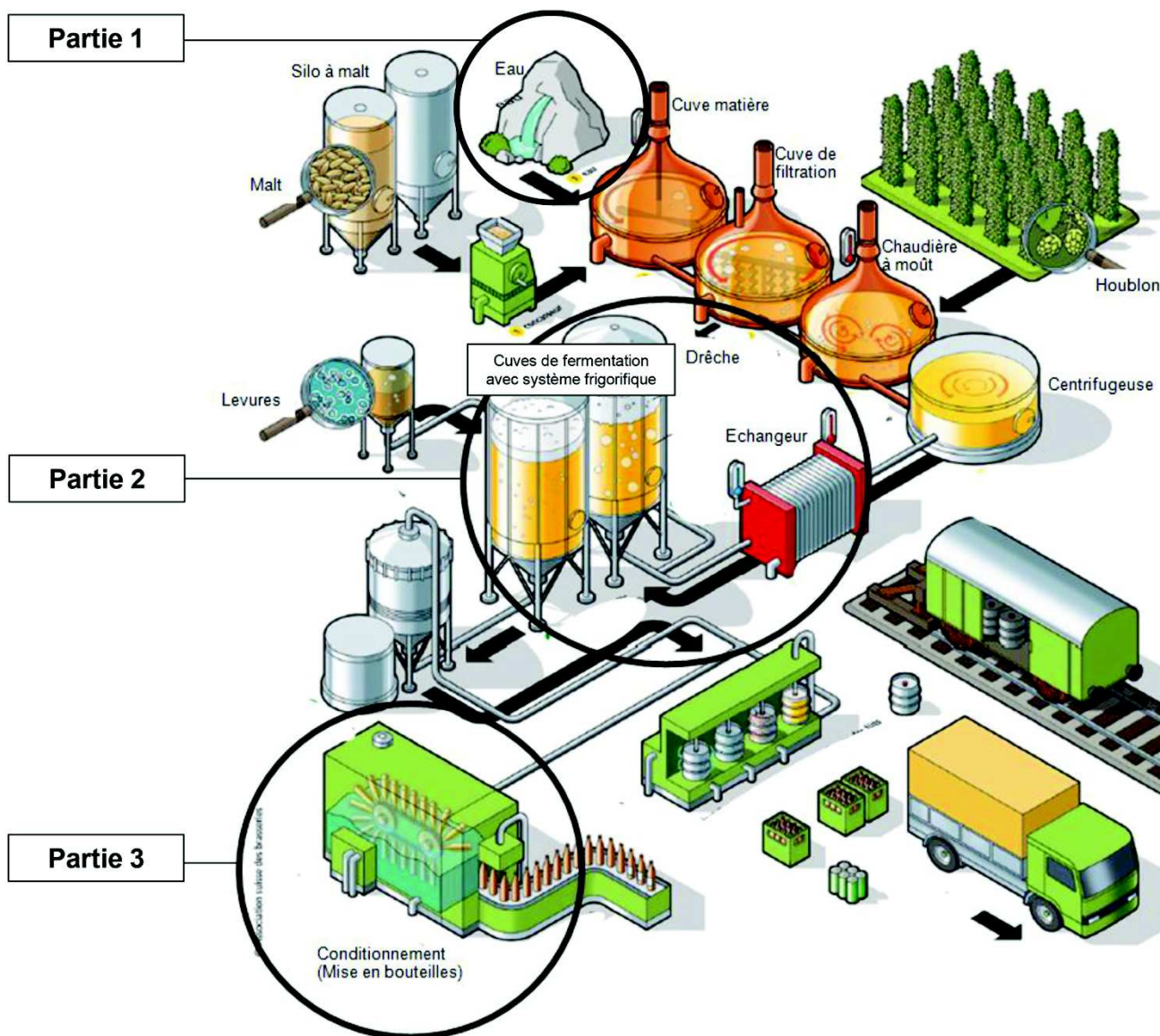


Figure 1 : Extrait d'une brochure professionnelle

Le sujet comporte trois parties indépendantes que le candidat peut traiter dans l'ordre de son choix.

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

**Partie 2 – Autour de la fermentation (8 points)**

A – Le refroidissement du moût

B – Maintien en température de la cuve de fermentation

**Partie 3 – Le conditionnement de la bière (5 points)**

## 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.

*En brasserie, les bières sont toutes produites selon le même procédé. Cependant, en fonction notamment de l'eau utilisée pour le brassage, toutes ne possèdent pas les mêmes caractéristiques (goût, aspect, etc...).*

*Afin de savoir si l'eau utilisée pour le brassage convient pour une production de bière brune, il faut doser les ions chlorure. Pour ce faire, on procède à un titrage par une solution de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$ ). Le dosage est suivi par conductimétrie. L'équation de la réaction de dosage est la suivante :*

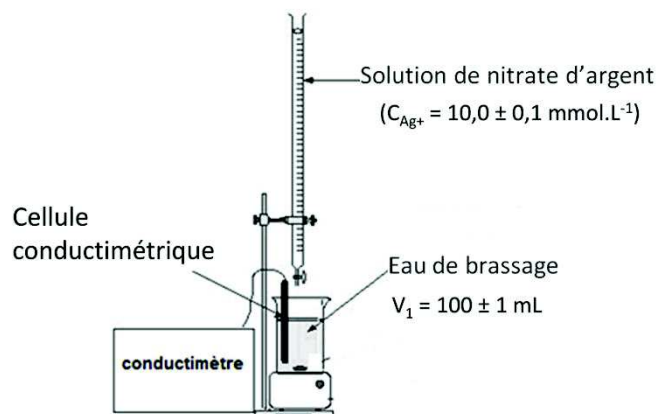
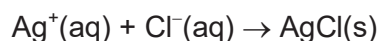


Figure 2 : Dosage conductimétrique des ions chlorure

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.

1.3. Calcul de la concentration massique en ions chlorure.

1.3.1. Déterminer la valeur de la concentration molaire en ions chlorure  $C_{\text{Cl}^-}$  de l'eau de brassage.

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  $42,6 \text{ mg.L}^{-1}$ .

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.

On estime que l'incertitude  $U(V_e)$  sur la détermination du volume équivalent  $V_e$  vaut 0,5 mL.

On admet que la relation de propagation des incertitudes s'écrit :

$$U(C_M) = C_M \times \sqrt{\left(\frac{U(V_1)}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{U(V_e)}{V_e}\right)^2 + \left(\frac{U(C_{\text{Ag}^+)}}{C_{\text{Ag}^+}}\right)^2}$$

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.

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.

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

## Partie 2 – Autour de la fermentation (8 points)

La fermentation du moût est un processus exothermique. Elle nécessite une température optimale de 9,0 °C, or le moût sort de la dernière cuve de brassage à 100,0 °C. Pour assurer une bonne fermentation, il est donc nécessaire de :

- refroidir le moût de 100,0 °C à 9,0 °C. La rapidité du refroidissement est cruciale afin d'éviter l'infection par d'éventuelles bactéries. On utilise pour cela un échangeur à plaques.
- maintenir le contenu de la cuve à 9,0 °C durant toute la fermentation à l'aide d'un système frigorifique.

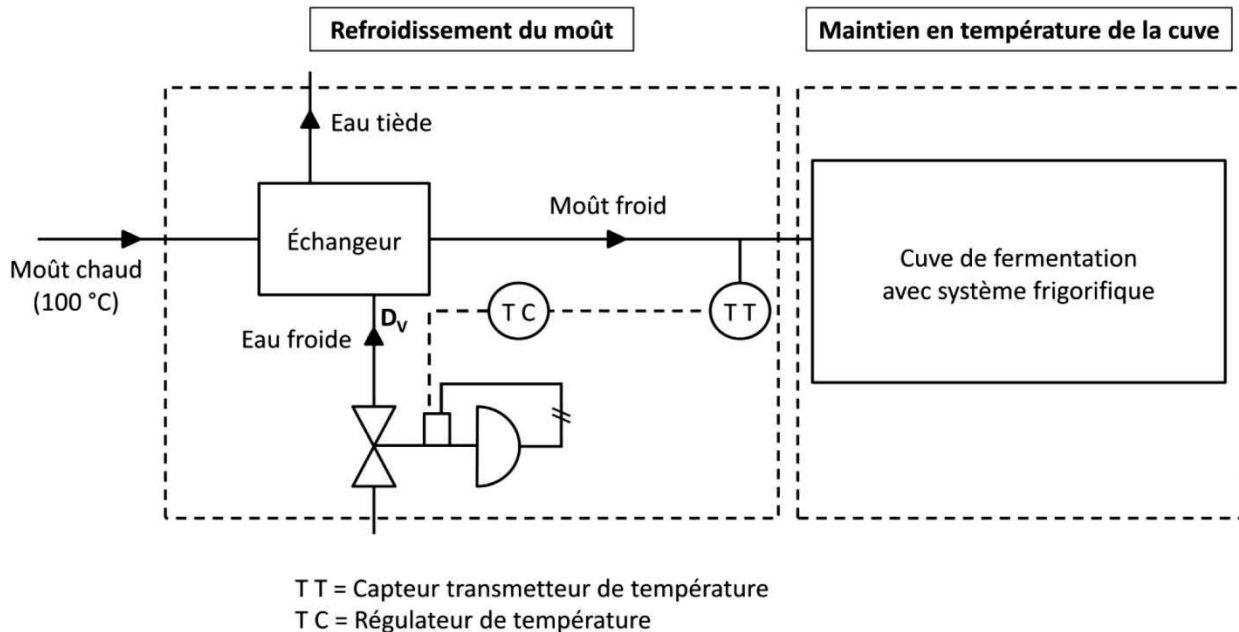


Figure 3 : Schéma de régulation du refroidissement du moût et maintien en température de la cuve de fermentation

### A – Le refroidissement du moût

L'échangeur est alimenté par de l'eau froide ; il en ressort de l'eau tiède qui pourra être réutilisée dans une autre partie de l'usine. Le débit volumique d'eau froide  $D_v$  peut être modifié avec une vanne commandée par un régulateur, en lien avec le capteur de température placé à la sortie de l'échangeur.

- 2.1. L'eau et le moût circulent à contre-courant dans l'échangeur. Justifier ce choix.
- 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.

### B – Maintien en température de la cuve de fermentation

Durant toute la fermentation (une semaine), la température intérieure de la cuve doit être maintenue à 9,0 °C. Pour ce faire, un système frigorifique est installé sur la cuve de fermentation. Ce système permet par ailleurs de réchauffer de l'eau stockée dans un bassin. Cette eau sera ultérieurement utilisée comme eau de brassage (**document 3**).

La température de la pièce dans laquelle se trouve la cuve est de 21 °C.

- 2.3. Nécessité d'un système de refroidissement
  - 2.3.1. À l'aide du **document 3**, montrer que le flux thermique  $\Phi$  traversant la paroi de la cuve est de l'ordre de 430 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.

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 :

- bassin d'eau
- compresseur
- cuve de fermentation
- détendeur
- pièce
- fluide caloporteur.

Préciser à l'aide de flèches le sens réel des transferts énergétiques notés  $Q$  pour des transferts thermiques, et  $W$  pour du travail.

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.

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.

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.

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.

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 °C effectuée précédemment.

### Partie 3 – Le conditionnement de la bière (5 points)

On s'intéresse dans cette partie à la mise en bouteille de la bière. Le système retenu pour contrôler le niveau de bière au remplissage de chaque bouteille est constitué d'une fibre optique dont le cœur est en polyméthacrylate de méthyle (**document 4**) parcourue par un faisceau laser ; l'extrémité de la fibre plonge dans le goulot de la bouteille. Le détecteur est sensible au flux énergétique renvoyé par l'extrémité de la fibre. Le remplissage est stoppé lorsque le niveau de liquide atteint la pointe de la fibre.

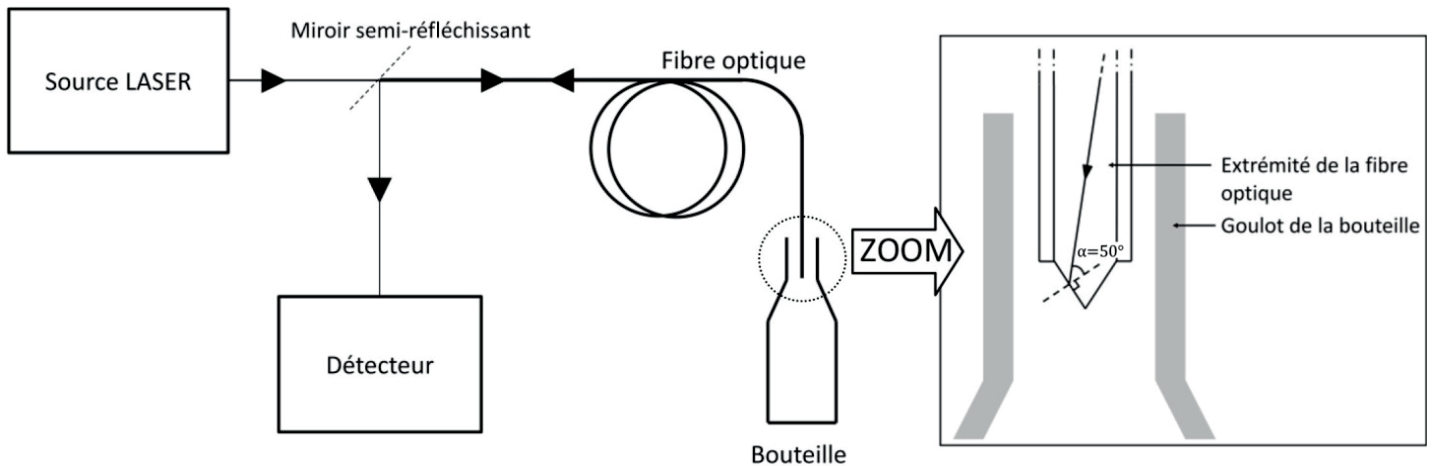


Figure 4 : Schéma du système de détection du niveau de liquide

- 3.1. À l'aide des **documents 4 et 5**, préciser, en justifiant, la couleur de la lumière émise par la source laser.
- 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**).
- 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  $i_{\text{lim}}$  l'angle d'incidence limite à l'interface fibre / bière.

*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. 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.
- 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.

### Document 1 : Conductivités ioniques molaires

| Ion  | Ag <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|--|-----------------|-----------------|------------------------------|
| λ° (mS.mol <sup>-1</sup> .m <sup>2</sup> ) à 25 °C | 6,190           | 7,639           | 7,150                        |

### Document 2 : Différents types de bière en fonction de l'eau utilisée pour le brassage

L'eau contient six principaux ions : les ions bicarbonate, sodium, chlorure, calcium, magnésium et sulfate. Leur proportion va influencer la douceur ou la dureté en bouche de la bière, mais aussi le processus de fabrication. On distingue essentiellement trois types de bières :

- La bière blonde, à l'eau douce : limpide et légère, la bière blonde nécessite une eau peu minéralisée.
- La bière ambrée, à l'eau riche en oligo-éléments : cette eau doit contenir une forte proportion de sulfate de calcium (70 à 150 ppm), qui favorise la transparence et relève l'arôme du houblon.
- La bière brune, à l'eau carbonatée : les ions bicarbonate (100 à 300 ppm) et chlorure (100 à 200 ppm) donnent à la bière brune son corps et sa texture granuleuse.

(1 ppm = 1 mg.L<sup>-1</sup>)

(d'après <http://univers-biere.net>)

### Document 3 : Maintien en température de la cuve de fermentation

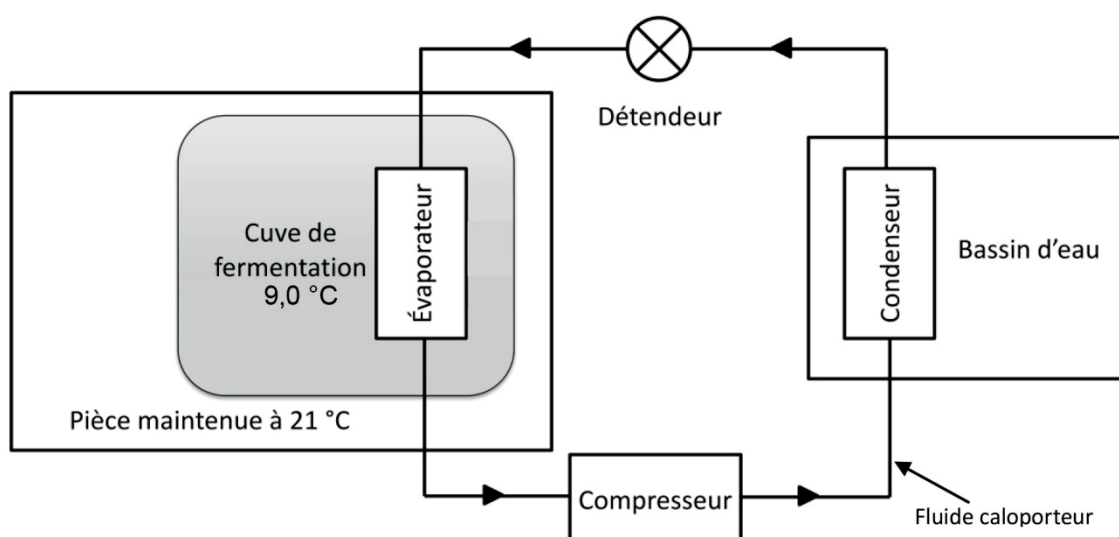


Schéma de principe du système frigorifique installé sur la cuve de fermentation

Efficacité énergétique frigorifique (EEF) du système : **EEF = 2,1**

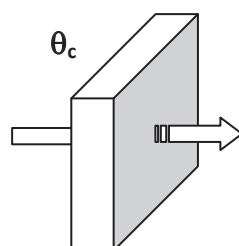
$$EEF = \frac{\text{énergie échangée entre la source froide et le fluide caloporteur}}{\text{énergie électrique consommée par la machine}}$$

#### Données concernant la cuve de fermentation :

- Paroi à épaisseur multiple comprenant une mousse polyuréthane insérée entre deux épaisseurs d'inox
- Résistance thermique de la cuve :  $R = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ °C.W}^{-1}$

#### Flux thermique :

Calcul d'un flux thermique  $\Phi$  au travers d'une paroi de résistance thermique  $R$  soumise de part et d'autre à des températures  $\theta_c$  et  $\theta_f$  (avec  $\theta_c > \theta_f$ )



$$\Phi = \frac{\theta_c - \theta_f}{R}$$

### Document 4 : Détecteur de niveau



Source LASER de l'unité de traitement WLL190T-2

Fréquence :  $4,75 \cdot 10^{14}$  Hz  
 Puissance émise : 0,5 mW  
 Puissance consommée : 22 W

Alimentation secteur : 230 V  
 Diamètre du faisceau : 0,9 mm  
 Divergence du faisceau : 1,0 mrad

#### Fibre optique LL3-DF02 :

Cœur : polyméthacrylate de méthyle

Gaine : téflon

Longueur : 2,00 m

Angle d'incidence du faisceau laser à l'interface de sortie :  $\alpha = 50^\circ$

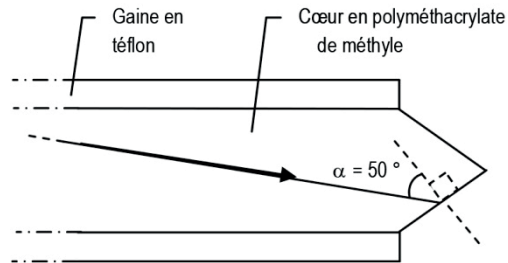


Schéma de l'extrémité de la fibre optique

(d'après <https://www.mysick.com/saqqara/im0034606.pdf>)

### Document 5 : Propriétés des ondes électromagnétiques dans le domaine du visible

Couleur en fonction des longueurs d'onde dans le vide :

| Couleur              | Violet  | Indigo  | Bleu    | Cyan    | Vert    | Jaune   | Orange  | Rouge   |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Longueur d'onde (nm) | 380-430 | 430-450 | 450-500 | 500-520 | 520-565 | 565-590 | 590-625 | 625-780 |

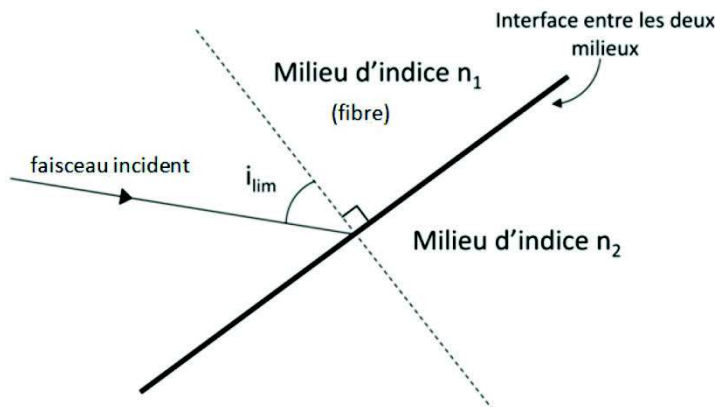
Vitesse de propagation de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

### Document 6 : Indices de réfraction

| Matériau | Air  | Eau  | Bière | Téflon | Polyméthacrylate de méthyle | Verre |
|----------|------|------|-------|--------|-----------------------------|-------|
| Indice   | 1,00 | 1,33 | 1,34  | 1,35   | 1,48                        | 1,50  |

### Document 7 : Angle d'incidence limite

Remarque : Seul le rayon incident est représenté sur ce schéma.

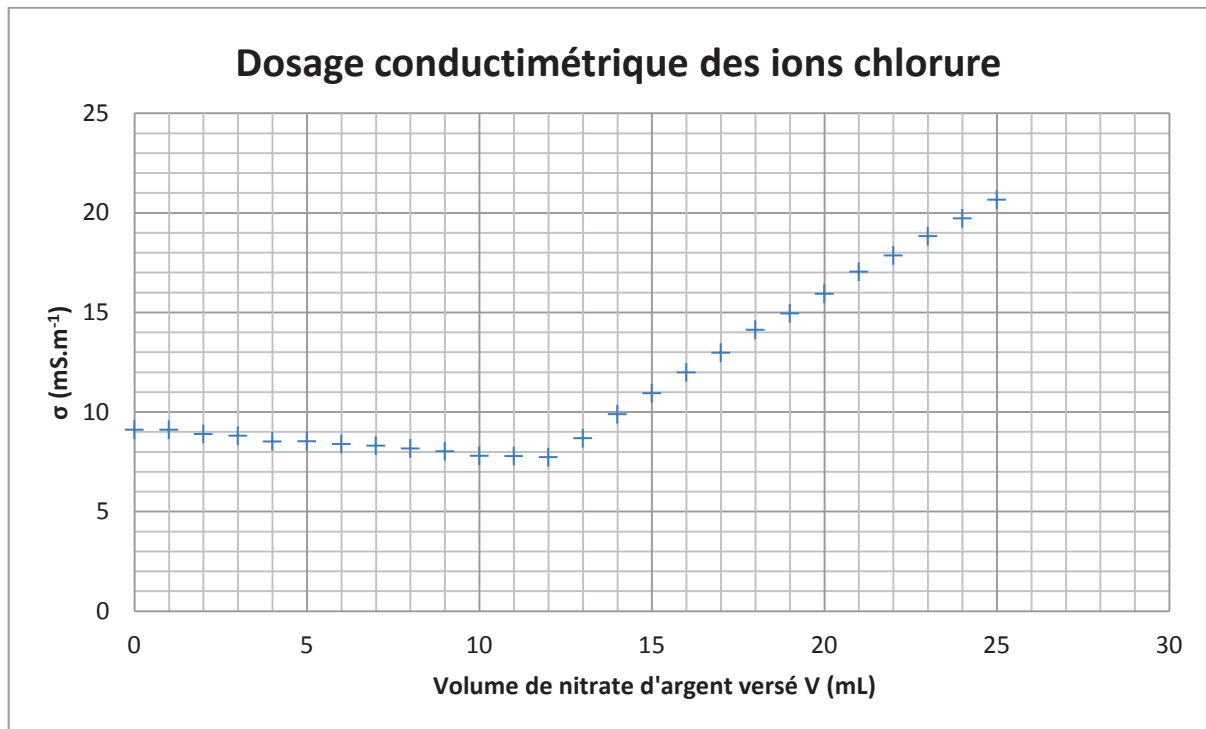


angle limite d'incidence  $i_{lim}$  :

$$\sin(i_{lim}) = \frac{n_2}{n_1}$$



PARTIE 1 - question 1.2



PARTIE 2 - B - question 2.4

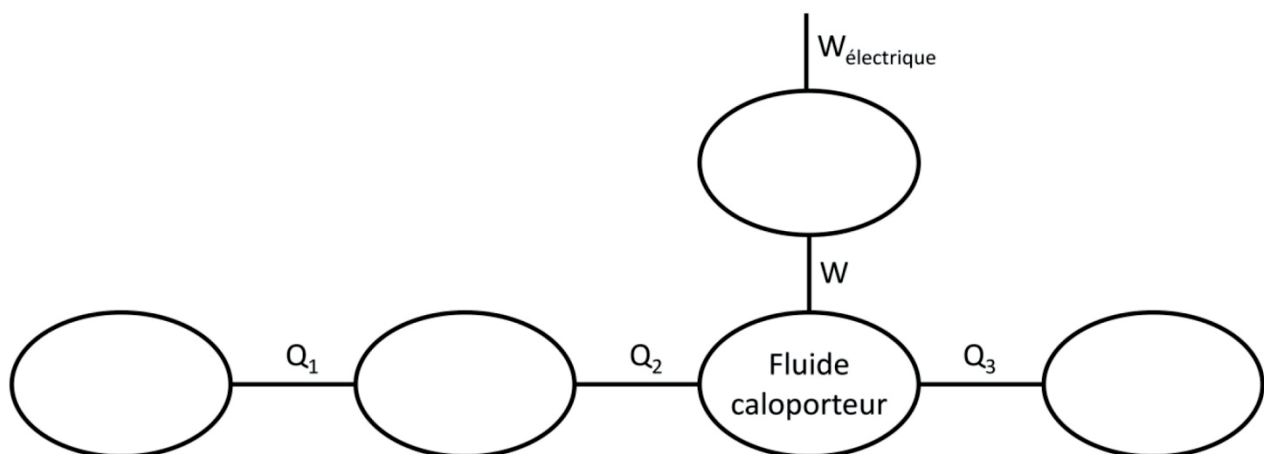


SCHÉMA ÉNERGÉTIQUE DU MAINTIEN EN TEMPÉRATURE DE LA CUVE DE FERMENTATION