

Partie A : Fabrication d'un yaourt**1. Étude de la cinétique de la fermentation lactique**

Q.1. Justifier, à l'aide du texte en introduction de l'exercice, que l'utilisation de la yaourtière favorise la fermentation lactique en indiquant le facteur cinétique mis en jeu.

Le chauffage permet d'augmenter la température qui est un facteur cinétique augmentant la vitesse de réaction de fermentation.

Q.2. Identifier le temps marquant le début de la fermentation.

Lorsque la fermentation débute alors la concentration en quantité de matière d'acide lactique augmente. La courbe du document 2 montre que cela commence vers $t = 100$ min.

Q.3. Proposer une explication à la présence d'acide lactique à l'instant $t = 0$.

Le sujet indique que l'acide lactique est naturellement présent dans le lait.

Q.4. Calculer la valeur de v_{app} , la vitesse volumique d'apparition de l'acide lactique lorsque la fermentation a commencé, en expliquant la démarche suivie.

$$v_{app} = \frac{dC_A}{dt}$$

Comme à partir de 100 minutes, C_A est représentée par une droite alors $C_A = k \cdot t + Cte$

$$v_{app} = \frac{dC_A}{dt} = k$$

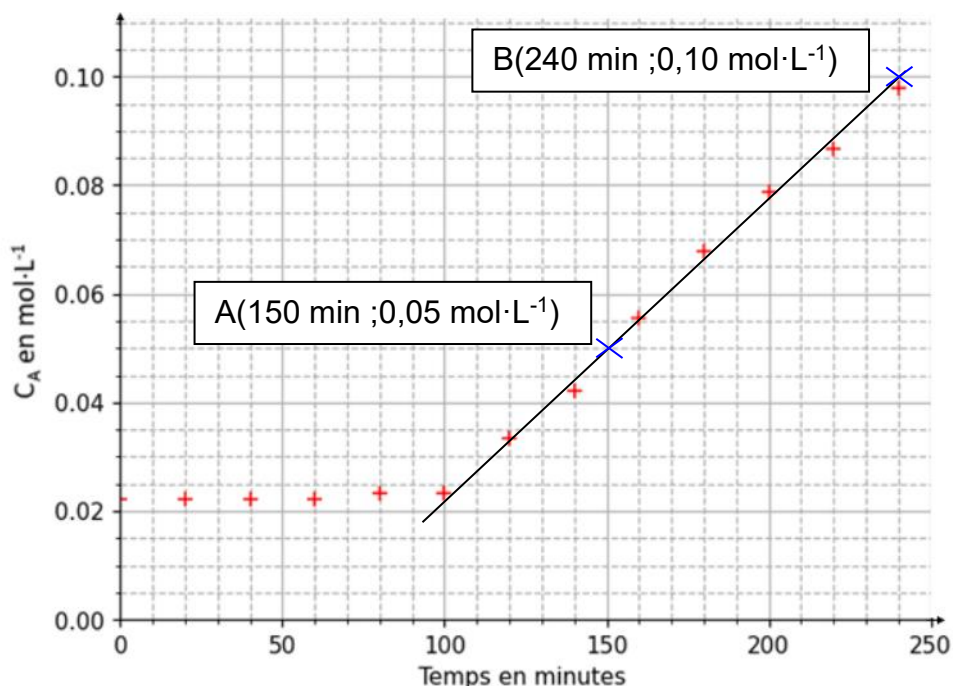
Il faut calculer le coefficient directeur k de cette droite.

$$v_{app} = \frac{(0,10 - 0,05) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{(240 - 150) \text{ min}}$$

$$v_{app} = \frac{(0,10 - 0,05) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{(240 - 150) \times 60 \text{ s}}$$

$$v_{app} = 9 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{app} = 9 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$



2. Caractérisation du yaourt maison

Q.5. Déterminer si le yaourt testé est ferme ou brassé.

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

Il faut déterminer le degré Dornic, et donc la concentration en masse d'acide lactique dans le yaourt.

On exploite le titrage.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques donc $n(\text{HA})_{\text{initiale}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versée}}$.

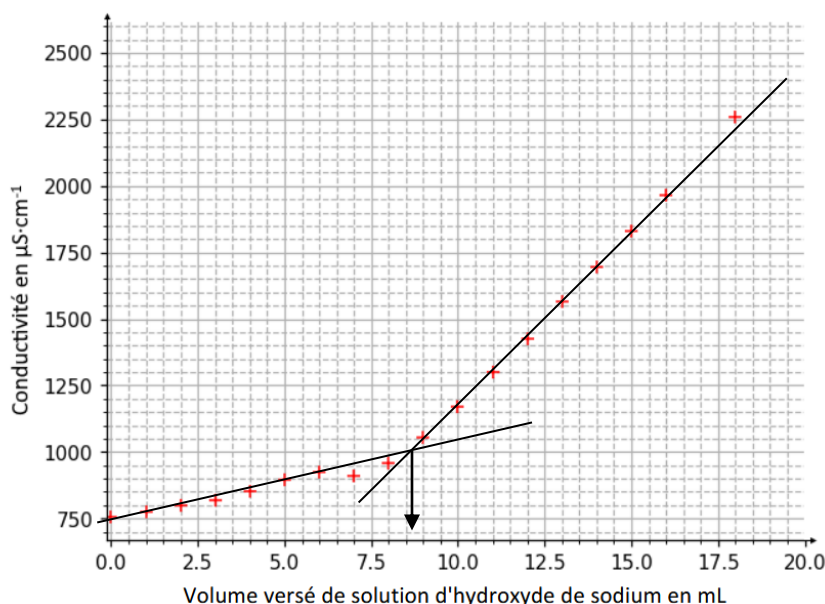
$$C_A \cdot V_A = C_B \cdot V_{\text{éq}} \text{ ainsi } C_A = \frac{C_B \cdot V_{\text{éq}}}{V_A}$$

On cherche la valeur du volume équivalent.

Pour cela, on trace deux demi-droites modélisant l'évolution de la conductivité. On lit l'abscisse du point d'intersection des demi-droites. On lit $V_{\text{éq}} = 8,6 \text{ mL}$.

La concentration est masse
est $C_{mA} = C_A \cdot M$

$$C_{mA} = \frac{C_B \cdot V_{\text{éq}}}{V_A} \cdot M$$



$$C_{mA} = \frac{0,150 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 8,6 \text{ mL}}{10,0 \text{ mL}} \times 90,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 12 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$$

Un degré Dornic (noté °D) correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de yaourt.

$$\text{Degré} = 12 / 0,1 = 120^\circ\text{D}$$

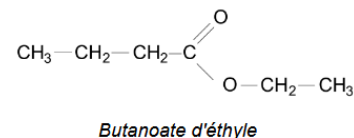
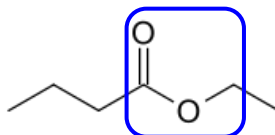
Le degré Dornic est compris entre 100 et 120°D donc c'est un yaourt brassé.

Partie B : Aromatiser le yaourt avec un arôme d'ananas

1. Étude des espèces chimiques de la synthèse

Q.6. Représenter la formule topologique du butanoate d'éthyle.

butanoate d'éthyle



Q.7. Sur la formule topologique, entourer le groupe caractéristique de cette molécule et nommer la famille fonctionnelle correspondante.

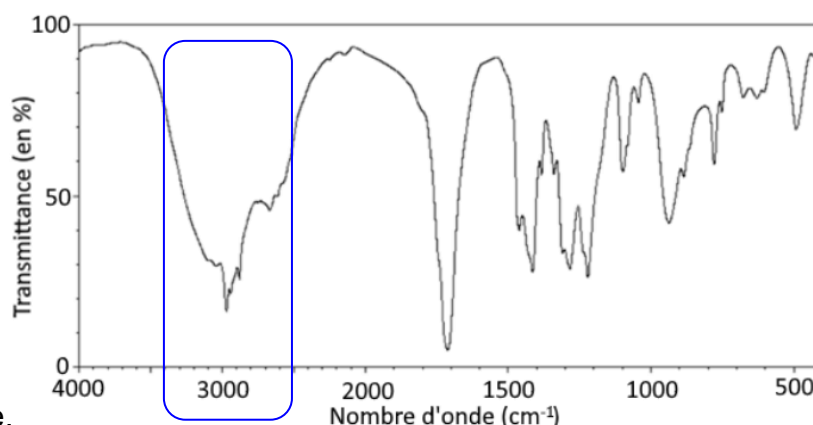
Famille fonctionnelle des esters.

Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité
O-H alcool	3200 - 3700	forte, large
O-H acide carboxylique	2500 - 3200	forte à moyenne, large
C = C	1620 - 1690	fine, moyenne
C = O ester	1700 - 1740	forte
C = O aldéhyde et cétone	1650 - 1730	forte
C = O acide	1680 - 1710	forte
C – H aldéhyde	2700 - 3100	moyenne

Document 5. Table de données des spectres infrarouge (IR)

Q.8. Déterminer la molécule qui, parmi celles présentées dans le document 4, correspond au spectre infrarouge ci-dessous. Justifier.

Le spectre montre une bande large et forte entre 2500 et 3200 cm⁻¹ qui caractérise la présence d'une liaison O–H d'un acide carboxylique.



C'est le spectre de l'acide butanoïque.

Document 6. Spectre infrarouge (Source : d'après mediachimie.org)

2. Synthèse de l'arôme d'ananas

Q.9. Identifier dans le protocole les opérations permettant d'optimiser la vitesse de formation de l'arôme d'ananas.

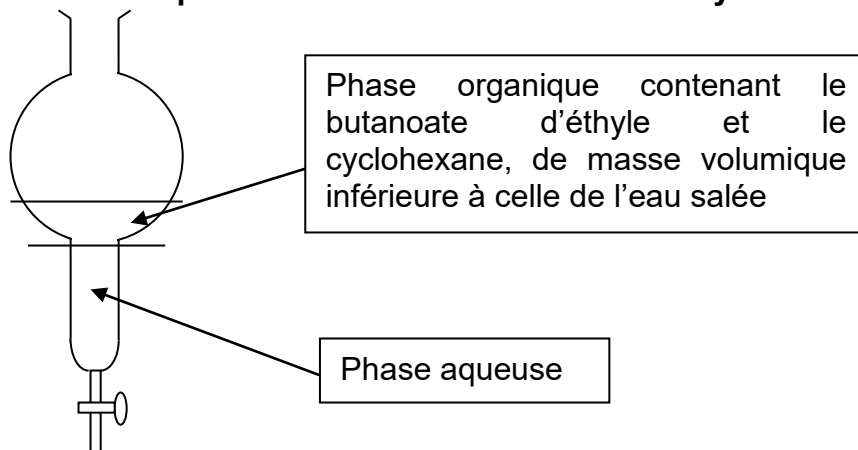
L'ajout d'une petite quantité d'acide sulfurique montre qu'on a utilisé un catalyseur. Celui-ci n'apparaît pas dans l'équation de la réaction car il est régénéré en fin de transformation.

On a chauffé à reflux, or l'augmentation de la température permet d'augmenter la vitesse de formation de l'arôme d'ananas.

Q.10. Justifier l'utilisation du cyclohexane dans l'étape 4 pour isoler le butanoate d'éthyle.

Le butanoate d'éthyle est très peu soluble dans l'eau salée mais il est soluble dans le cyclohexane. Ainsi lors de l'extraction liquide-liquide, l'ester passera dans le cyclohexane. De plus le cyclohexane est non miscible à l'eau, ainsi il formera une phase bien distincte.

Q.11. Schématiser l'ampoule à décanter, la légender avec les termes : phase aqueuse et phase organique. Justifier la position de la phase contenant le butanoate d'éthyle.



Q.12. Montrer que l'éthanol est bien le réactif en excès, sachant que la quantité de matière initiale de l'acide butanoïque est $n_{\text{acide}} = 4,4 \times 10^{-1}$ mol.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M}$$

$$n = \frac{0,79 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1} \times 40,0 \text{ mL}}{46,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,69 \text{ mol d'éthanol}$$

$$\frac{0.79 \times 40}{46}$$

$$6.869565217 \text{E} -1$$

D'après l'équation de la réaction, 1 mol d'acide consomme 1 mol d'éthanol.

Alors on pourra consommer 0,44 mol d'acide et 0,44 mol d'éthanol ; il restera de l'éthanol en excès ($0,69 - 0,44 = 0,25$ mol).

Q.13. Calculer alors la valeur du rendement de la réaction. Commenter.

$$\eta = \frac{n_{\text{ester expérimental}}}{n_{\text{ester max}}} = \frac{m_{\text{ester expérimental}}}{M_{\text{ester}} n_{\text{acide}}}$$

L'acide est le réactif limitant, d'après l'équation de la réaction si la transformation était totale alors il se formerait autant d'ester qu'il disparaît d'acide butanoïque.

$$\eta = \frac{33,7}{116,0 \times 4,4 \times 10^{-1}} = 0,66 = 66\%$$

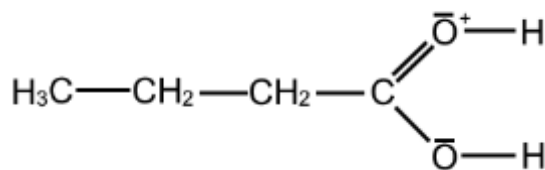
$$\frac{33.7}{116 \times 0.44}$$

$$6.602664577 \text{E} -1$$

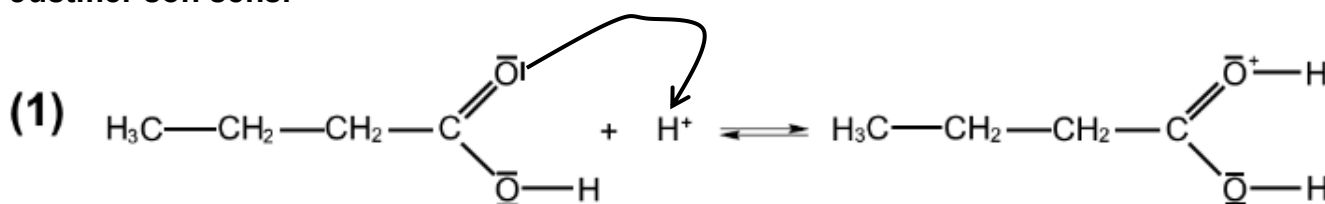
Q.14. Identifier un intermédiaire réactionnel dans les étapes du mécanisme réactionnel ci-dessus, en justifiant.

Un intermédiaire réactionnel est une espèce formée lors d'une étape du mécanisme réactionnel et consommée lors de l'étape suivante.

C'est le cas de :



Q.15. Recopier l'étape (1) et représenter par une flèche courbe le déplacement d'électrons. Justifier son sens.



Le doublet d'électrons se déplace d'un site donneur (riche en électrons) vers un site accepteur (pauvre en électrons).

Merci de nous signaler la présence d'erreurs à labolycee@labolycee.org

Exercice 2 : Le trombone de Koenig (5 points)

Q.1. Justifier en quoi le trombone de Koenig est un dispositif qui vérifie les conditions nécessaires à l'observation d'interférences au niveau du microphone.

Les deux ondes circulant dans les deux tubes sont cohérentes : elles ont la même fréquence, et une fois le tube mobile immobilisé, leur déphasage reste constant.

Q.2. Préciser le type d'interférences observé sur la figure 4 et justifier si celle-ci est associée à l'expérience 1 ou à l'expérience 2.

Au niveau du microphone, l'amplitude de l'onde sonore est très faible. Il se produit alors des interférences destructives.

Cela correspond à l'expérience 1, où les ondes sont en opposition de phase au niveau du microphone.

Pour l'expérience 2, on définit δ , la différence de marche à l'instant t entre l'onde circulant dans le tube en U fixe et l'onde circulant dans le tube en U mobile.

Q.3. Exprimer δ en fonction de D .

Les ondes passant par le tube mobile parcourent une distance plus longue de $2D$.

La différence de marche est $\delta = 2D$.

Q.4. Rappeler la relation entre δ et λ , la longueur d'onde du signal sonore, dans le cas d'interférences constructives. On introduira dans cette relation un nombre entier positif k .

Pour des interférences constructives $\delta = k\lambda$.

Q.5. Montrer, à l'aide des questions 3 et 4, que pour tout k entier positif, la distance de décalage correspondante D_k , conduisant à des interférences constructives, peut se mettre

sous la forme : $D_k = \frac{k}{2} \times \frac{v}{f}$ avec v : célérité de l'onde sonore dans le trombone en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et f : fréquence de l'onde sonore dans le trombone en Hz.

$$\delta = 2D_k = k\lambda \text{ or } \lambda = \frac{v}{f}$$

$$2D_k = k \cdot \frac{v}{f}$$

$$D_k = \frac{k}{2} \times \frac{v}{f}$$

La plus petite distance de décalage D_1 permettant d'observer à l'écran des interférences constructives est $D_1 = 4,35 \text{ cm}$ pour une fréquence de l'onde sonore $f = 4\,032 \text{ Hz}$.

Q.6. En déduire la valeur de la célérité de l'onde sonore se propageant dans le trombone de Koenig.

$$D_k = \frac{k}{2} \times \frac{v}{f} \text{ donc } v = \frac{D_k \times 2 \times f}{k}$$

La plus petite distance de décalage est obtenue pour $k = 1$.

$$v = D_k \times 2 \times f$$

$$v = 4,35 \times 10^{-2} \times 2 \times 4032 = 351 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$4.35\text{E-}2*2*4032$$

$$3.50784\text{E}2$$

Cette valeur est en accord avec nos connaissances sur la célérité du son dans l'air.

```

1 from statistics import mean
2
3 D=[4.32e-2,8.7e-2,13.1e-2,17.4e-2,21.6e-2] # décalage en mètre de la partie mobile du trombone
4 k=[1,2,3,4,5] # nombre de décalage permettant l'obtention d'interférences constructives
5 f=4032
6 v=[]
7
8 for i in range(len(D)): # i prend les valeurs successives 0,1,2,3,4
9     v_i=2*f*D[i]/k[i]
10    v.append(v_i)
11
12    v_son=round(mean(v)) # permet de calculer la moyenne v_son des grandeurs contenues dans la liste v
13
14 print("La vitesse moyenne du son dans le trombone est", v_son,"m/s")
15
16 Lambda=...
17 print("La longueur d'onde de l'onde acoustique dans le trombone est",Lambda,"m")

```

[Code à tester dans Bashton.fr](https://bashton.fr)

Q.7. Expliquer l'intérêt des lignes 8, 9 dans le programme.

Le programme calcule la vitesse pour chacune des valeurs de D et de k .

Q.8. Proposer à la ligne 16, à l'aide des grandeurs définies dans le programme, une formule permettant de calculer la longueur d'onde λ (Lambda) des ondes acoustiques.

$\text{Lambda} = v_{\text{son}} / f$

Merci de nous signaler la présence d'erreurs à labolycee@labolycee.org

Exercice 3 : la viscosité du glycérol (6 points)

1. Étude théorique de la chute d'une bille sphérique métallique dans un fluide

Q.1. Appliquer la seconde loi de Newton au centre de masse G de la bille et établir la relation entre le vecteur accélération $\vec{a}$, les forces $\vec{P}$, $\vec{\pi}_A$, $\vec{F}$ et la masse m de la bille.

Dans le référentiel de l'éprouvette, supposé galiléen, la bille est soumise aux trois forces indiquées.

D'après la seconde loi de Newton, $\Sigma \vec{F}_{ext.} = m \cdot \vec{a}$,

$$\vec{P} + \vec{\pi}_A + \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Q.2. Montrer alors que la valeur v de la vitesse de la bille vérifie l'équation différentielle

suivante : $m \cdot \frac{dv}{dt} = -k \cdot v + m \cdot g - \rho_F \cdot V_F \cdot g$ équation (1)

$$\vec{P} + \vec{\pi}_A + \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Par projection suivant l'axe vertical Oz orienté positivement vers le bas :

$$P_z + \pi_{Az} + F_z = m \cdot a_z$$

$$m \cdot g - \rho_F \cdot V_F \cdot g - k \cdot v = m \cdot \frac{dv_z}{dt}$$

La coordonnée v_z du vecteur vitesse est positive, le mouvement est suivant un seul axe alors $v_z = v$.

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = -k \cdot v + m \cdot g - \rho_F \cdot V_F \cdot g$$

Q.3. Indiquer la nature du mouvement de la bille lorsque $v = v_{lim}$ et préciser alors la valeur de l'accélération de la bille.

La vitesse est constante donc le mouvement est uniforme.

La trajectoire est une droite donc le mouvement est rectiligne.

Si $v = \text{Cte}$ alors $a = \frac{dv}{dt} = 0$.

Q.4. À l'aide de l'équation (1), exprimer la constante k quand la vitesse atteint la valeur constante v_{lim} .

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = -k \cdot v + m \cdot g - \rho_F \cdot V_F \cdot g$$

$$0 = -k \cdot v_{lim} + m \cdot g - \rho_F \cdot V_F \cdot g$$

$$k \cdot v_{lim} = m \cdot g - \rho_F \cdot V_F \cdot g$$

$$k = \frac{m \cdot g - \rho_F \cdot V_F \cdot g}{v_{lim}}$$

$$k = \frac{g \cdot (m - \rho_F \cdot V_F)}{v_{lim}}$$

Q.5. Déterminer l'unité de la constante k à l'aide d'une analyse dimensionnelle ou d'une analyse utilisant les unités.

$$\text{Avec les unités, } \frac{g \cdot (m - \rho_F \cdot V_F)}{v_{lim}} \Leftrightarrow \frac{m \cdot s^{-2} (kg - kg \cdot m^{-3} \cdot m^3)}{m \cdot s^{-1}} = \frac{s^{-2} (kg - kg)}{s^{-1}} = kg \cdot s^{-1}$$

Quand on soustrait des kg à des kg, on obtient des kg.

La constante k peut aussi s'exprimer : $k = 6\pi \times \eta \times R$ avec R le rayon de la bille et η la viscosité du fluide.

Q.6. Montrer que la viscosité du fluide s'exprime alors : $\eta = \frac{g \cdot (m - \rho_F \cdot V_F)}{6\pi \cdot R \cdot v_{\text{lim}}}$.

$$k = \frac{g \cdot (m - \rho_F \cdot V_F)}{v_{\text{lim}}} = 6\pi \cdot \eta \cdot R$$

$$\eta = \frac{g \cdot (m - \rho_F \cdot V_F)}{6\pi \cdot R \cdot v_{\text{lim}}}$$

2. Fiabilité du viscosimètre du lycée : mesure de la viscosité du glycérol

Données :

- Masse de la bille : $m = 3,30 \times 10^{-5} \text{ kg}$;
- Volume de la bille : $V_{\text{bille}} = 4,19 \times 10^{-9} \text{ m}^3$;
- Rayon de la bille : $R = 1,00 \times 10^{-3} \text{ m}$;
- Masse volumique du glycérol : $\rho = 1260 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- Distance entre les deux graduations choisies sur l'éprouvette : $L = 5,0 \times 10^{-1} \text{ m}$.

Au cours d'une expérience n°1, on a mesuré une durée $\Delta t = 50,9 \text{ s}$ pour que la bille parcoure la distance L séparant les deux graduations sur l'éprouvette.

Q.7. Montrer que la valeur de la vitesse v_{lim} est égale à $9,82 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ au cours de l'expérience n°1.

Le régime permanent est atteint donc la vitesse est constante. $v_{\text{lim}} = \frac{L}{\Delta t}$

$$v_{\text{lim}} = \frac{5,0 \times 10^{-1} \text{ m}}{50,9 \text{ s}} = 9,82 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

En toute rigueur on ne peut conserver que deux chiffres significatifs.

Q.8. Calculer la viscosité du glycérol grâce aux données de l'expérience n°1.

$$\eta = \frac{g \cdot (m - \rho_F \cdot V_F)}{6\pi \cdot R \cdot v_{\text{lim}}}$$

$\frac{9.81 * (3.3E-5 - 1260 * 4.19E-9)}{6 * \pi * 1E-3 * 9.82E-3}$ $1.469125925E0$

$$\eta = \frac{9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times (3,30 \times 10^{-5} \text{ kg} - 1260 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 4,19 \times 10^{-9} \text{ m}^3)}{6\pi \times 1,00 \times 10^{-3} \text{ m} \times 9,82 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 1,47 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dans les mêmes conditions que l'expérience n°1, on a mesuré à nouveau 5 fois (expériences n°2 à 6) la viscosité du glycérol. Les résultats sont rassemblés dans le tableau du document 3.

Expériences	1	2	3	4	5	6
η à 20°C (en kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹)	1,47	1,50	1,48	1,45	1,52	1,46

Document 3. Valeurs de la viscosité du glycérol mesurées à 20°C

Rappels :

- pour une mesure X réalisée N fois, on attribue comme valeur à X , la moyenne (arithmétique) $\bar{X}$ des valeurs de ces N mesures. L'incertitude-type associée à cette valeur vaut $u(\bar{X}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$ où σ_{n-1} est l'écart-type expérimental.
- pour évaluer la compatibilité d'une valeur mesurée X avec une valeur de référence X_{ref} , on peut calculer le quotient : $\frac{|X - X_{ref}|}{u(X)}$.

Q.9. Calculer la valeur moyenne de la viscosité $\bar{\eta}$ et l'incertitude associée $u(\bar{\eta})$.

$$\bar{\eta} = 1,48 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$u(\bar{\eta}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{6}}$$

$$u(\bar{\eta}) = \frac{2,6 \times 10^{-2}}{\sqrt{6}} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

On arrondit l'incertitude par excès à un chiffre significatif

$$u(\bar{\eta}) = 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\eta = 1,48 \pm 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

SCI FLOTT AUTO RÉEL DEGRÉ MP QUARTILE MÉTHODE [TI-83CE]
Stats 1 var
$\bar{x}=1.48\text{E}0$
$\Sigma x=8.88\text{E}0$
$\Sigma x^2=1.31458\text{E}1$
$Sx=2.607680962\text{E}-2$
$\sigma x=2.380476143\text{E}-2$
$n=6\text{E}0$
$\min X=1.45\text{E}0$
$\downarrow Q_1 [TI-83CE]=1.46\text{E}0$

La valeur de référence de la viscosité du glycérol pur à 20 °C est $\eta_{ref} = 1,49 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. L'écart-type expérimental de la série de mesures de la viscosité donnée au document 3 vaut : $\sigma_{n-1} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Q.10. Conclure sur la fiabilité des mesures obtenues à l'aide du viscosimètre du lycée.

On calcule le quotient $z = \frac{|\bar{\eta} - \eta_{ref}|}{u(\bar{\eta})}$

$$z = \frac{|1,48 - 1,49|}{0,02} = \frac{0,01}{0,02} = 0,5.$$

La valeur expérimentale s'écarte de la valeur théorique de 0,5 fois l'incertitude de mesure. On peut valider les mesures du viscosimètre du lycée.

Merci de nous signaler la présence d'erreurs à labolycee@labolycee.org