Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** est autorisé.

L'usage de la calculatrice **sans mémoire**, « type collège », est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.

EXERCICE 1 : FABRICATION ET AROMATISATION D'UN YAOURT MAISON (9 POINTS)

Le lait est un aliment d'un grand intérêt nutritionnel dont la difficulté de conservation a été contournée depuis longtemps grâce à la fermentation lactique. Celle-ci fait intervenir des ferments et conduit à la transformation chimique du glucose en acide lactique. L'acide lactique, naturellement présent dans le lait voit son taux augmenter. Cette augmentation est responsable de la prise en masse du lait pour former un yaourt.

La yaourtière permet un chauffage doux et progressif du lait additionné des ferments afin de stimuler le processus de fermentation lactique ; ainsi, il suffira de huit heures environ pour fabriquer des yaourts.

Lors de la fermentation lactique, la multiplication des bactéries permettant la formation d'acide lactique est efficace entre 37,5°C et 45,0°C. En cas de température trop basse, en huit heures, le yaourt ne prendra pas. À l'inverse, une température trop élevée le rendra trop acide.

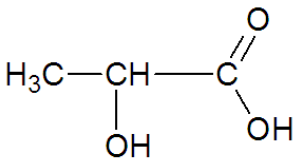
On propose dans cet exercice de vérifier les conditions de fabrication d'un yaourt « fait maison » à la yaourtière et de l'aromatiser avec un arôme d'ananas synthétisé au laboratoire.

Partie A : Fabrication d'un yaourt

Données :

- Informations à propos de l'acide lactique :

Formule semi-développée :



Masse molaire :

$M = 90{,}1\ g.mol^{-1}$

- Dans un récipient équipé d'un bec verseur, je verse 1L de lait entier UHT* à température ambiante. Puis j'ajoute le contenu d'un sachet de ferments et je mélange très soigneusement.
- Je verse le mélange dans les pots, puis je les place ouverts dans ma yaourtière.
- Je ferme la yaourtière, puis je la mets en route suivant son mode d'emploi.
- À la fin du cycle, je mets les pots au réfrigérateur environ 2 heures avant de les déguster.

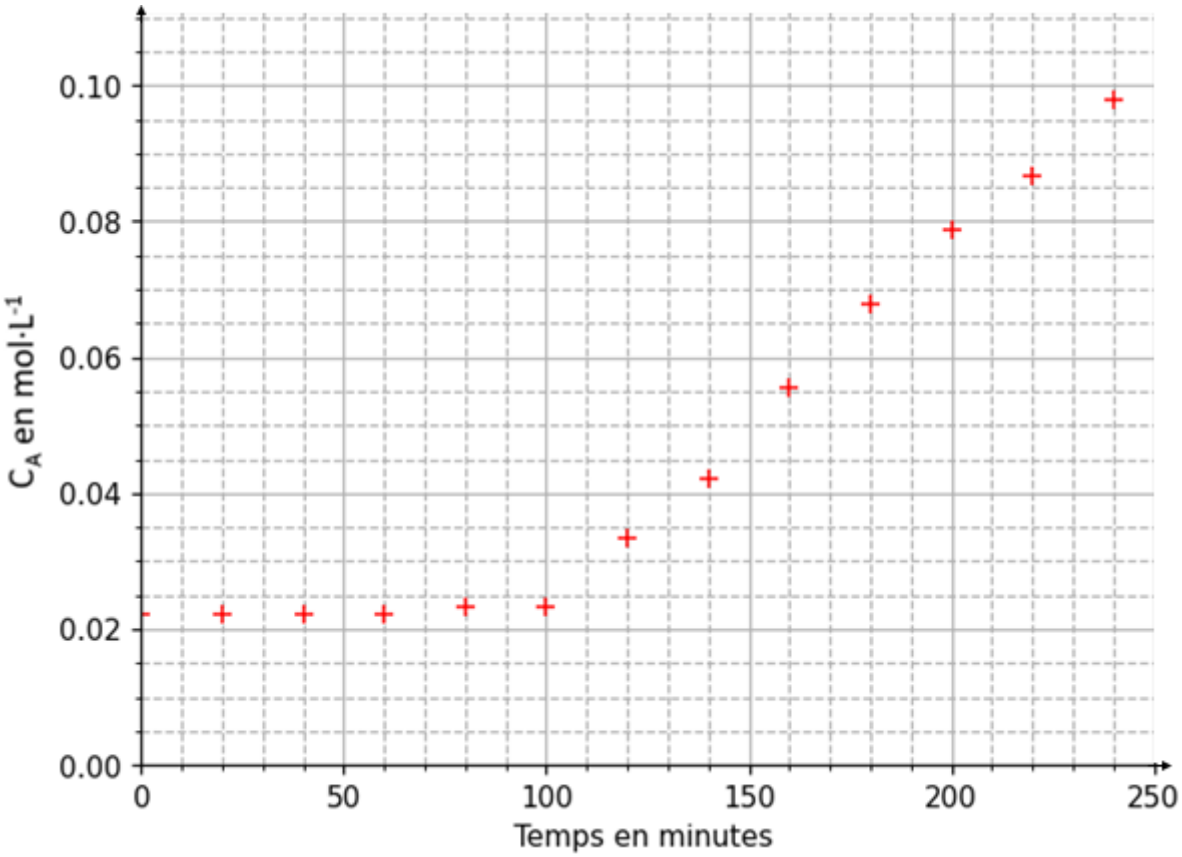
* Lait UHT : « upérisation à haute température », c'est un procédé qui consiste à tuer tous les micro-organismes et à neutraliser les enzymes éventuellement présentes naturellement dans le lait en le chauffant à une température très élevée.

Document 1. Exemple de recette maison à la yaourtière

1. Étude de la cinétique de la fermentation lactique

La transformation chimique du glucose en acide lactique correspondant à la fermentation lactique est modélisée par une réaction d'équation : $C_6H_{12}O_6(aq) \rightarrow 2\ C_3H_6O_3(aq)$

Pendant les quatre premières heures de fabrication, on contrôle la concentration C_A en quantité de matière d'acide lactique formé dans le yaourt, on obtient la courbe ci-dessous. Les ferments sont introduits à t = 0 s.



Document 2. Évolution de la concentration en acide lactique dans le yaourt en fonction du temps

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.

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

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

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.

2. Caractérisation du yaourt maison

Le degré Dornic permet de quantifier la concentration en masse d'acide lactique présente dans les produits laitiers.

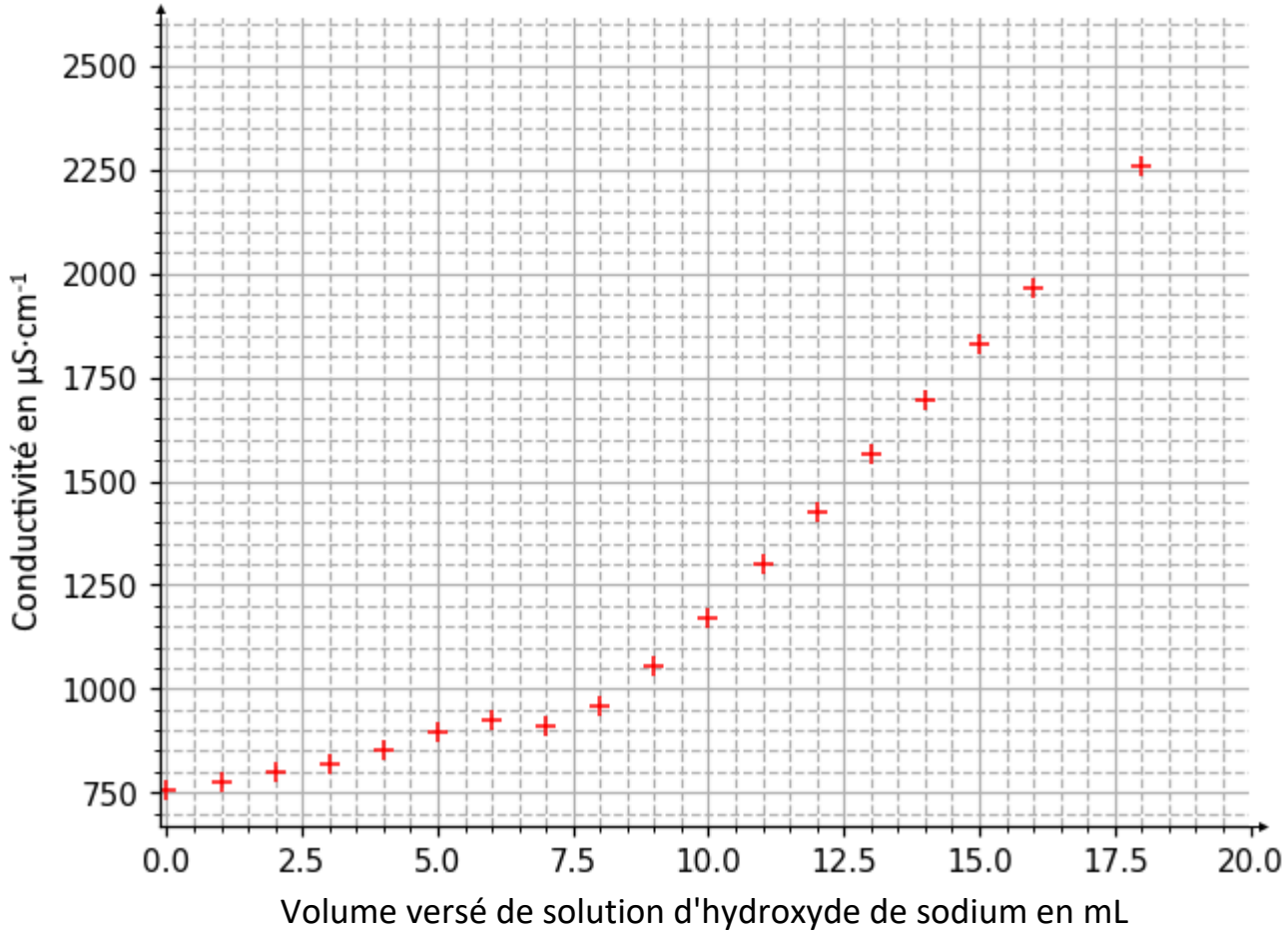
Un degré Dornic (noté °D) correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de yaourt.

Un yaourt ferme est caractérisé par un degré Dornic compris entre 80 et 100 °D et un yaourt brassé par un degré Dornic compris entre 100 et 120 °D.

Pour déterminer la fermeté d'un yaourt, on procède au titrage conductimétrique de l'acide lactique, noté HA(aq), contenu dans un volume V_A = 10,0 mL de yaourt par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration en quantité de matière C_B = 0,150 mol·L^{-1}.

Les résultats expérimentaux du titrage permettent d'obtenir la courbe du document 3.

La réaction support du titrage est : $HA(aq) + HO^-(aq) \rightarrow A^-(aq) + H_2O(\ell)$.



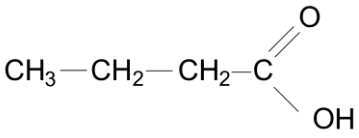
Document 3. Évolution de la conductivité du yaourt en fonction du volume versé de solution d'hydroxyde de sodium

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

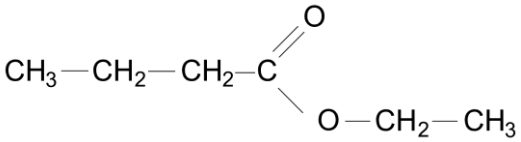
Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.

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

L'arôme d'ananas que l'on utilise pour aromatiser le yaourt est constitué principalement de butanoate d'éthyle synthétisé à partir d'acide butanoïque :



Acide butanoïque



Butanoate d'éthyle

Document 4. Formules semi-développées de molécules

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

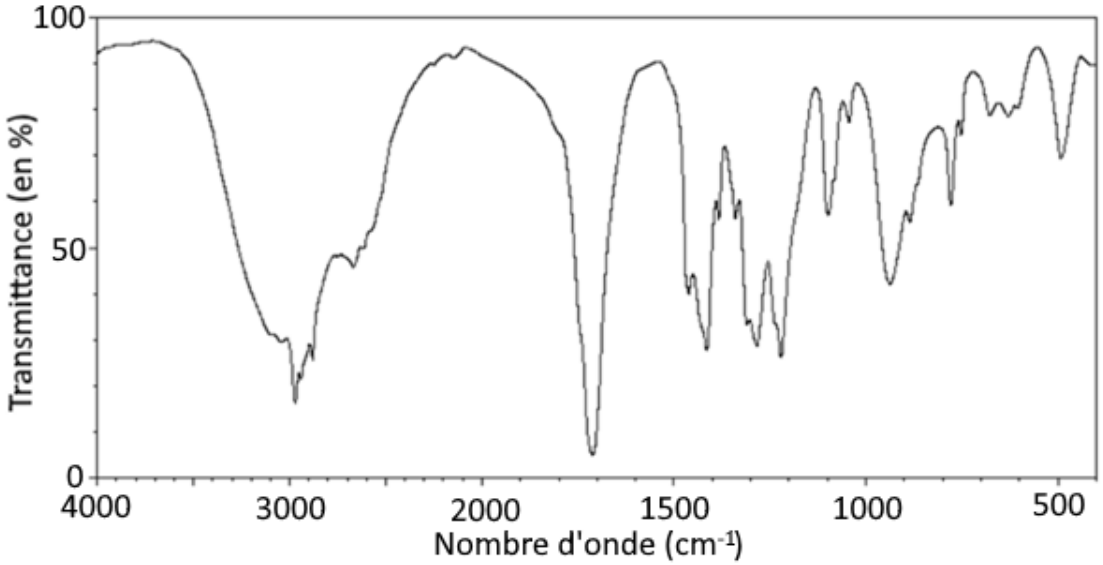
Document 5. Table de données des spectres infrarouge (IR)

1. Étude des espèces chimiques de la synthèse

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

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

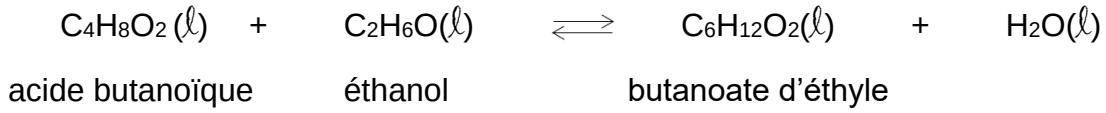
Q.8. Déterminer la molécule qui, parmi celles présentées dans le document 4, correspond au spectre infrarouge ci-dessous. Justifier.



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

2. Synthèse de l'arôme d'ananas

La synthèse de l'arôme d'ananas correspond à la transformation modélisée par la réaction dont l'équation est :



Son protocole est le suivant :

Étape 1 : Introduire dans un ballon 40,0 mL d'éthanol (réactif en excès), 40,0 mL d'acide butanoïque et 1,0 mL d'acide sulfurique concentré.

Étape 2 : Chauffer à reflux pendant 30 min.

Étape 3 : Refroidir jusqu'à température ambiante puis verser le contenu dans une ampoule à décanter.

Étape 4 : Ajouter 100 mL d'eau salée puis 30 mL de cyclohexane.

Étape 5 : Isoler la phase organique.

Étape 6 : Éliminer le solvant par distillation. On obtient ainsi 33,7 g d'ester.

Solvant	Eau	Eau salée	Éthanol	Cyclohexane
Solubilité du butanoate d'éthyle	Faible	Très faible	Bonne	Moyenne
Masse volumique ($g \cdot mL^{-1}$)	1,00	> 1,00	0,79	0,78
Miscibilité avec l'eau		Miscible	Miscible	Non miscible

Document 7. Propriétés physico-chimiques de quelques solvants extracteurs

Espèces chimiques	Eau	Éthanol	Butanoate d'éthyle
Masse molaire ($g \cdot mol^{-1}$)	18,0	46,0	116,0

Document 8. Masse molaire de quelques molécules

Q.9. Identifier dans le protocole les opérations permettant d'optimiser 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.

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.

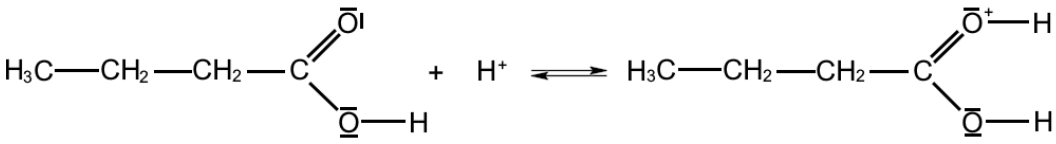
Q.12. Montrer que l'éthanol est bien le réactif en excès, sachant que la quantité de matière initiale de l'acide butanoïque est $n_{acide} = 4{,}4 \times 10^{-1}$ mol.

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

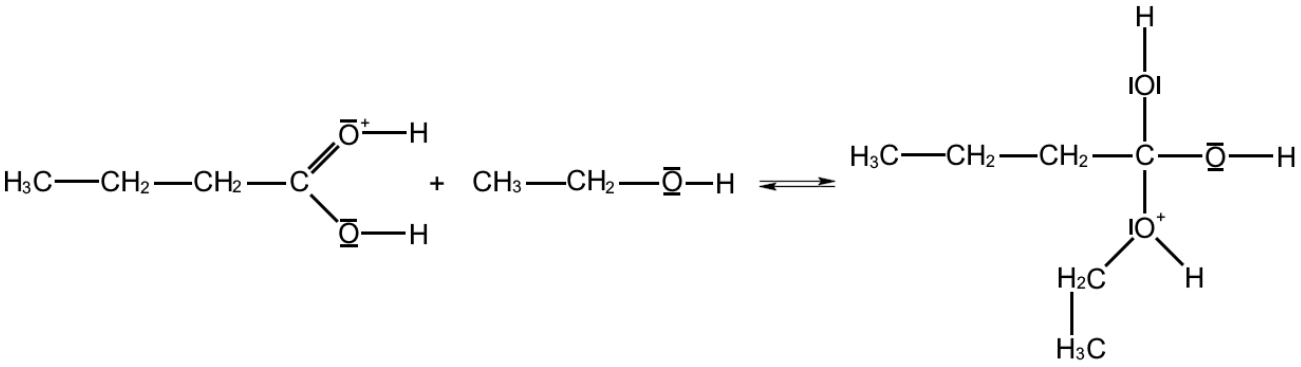
Exercice 1

On s'intéresse à une partie du mécanisme réactionnel de la réaction dont les 2 premières étapes sont données ci-dessous :

(1)



(2)



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

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

EXERCICE 2 : LE TROMBONE DE KOENIG (5 POINTS)

Le trombone de Koenig est un dispositif permettant de déterminer la célérité des ondes acoustiques. Il est composé de deux tubes en U emboîtés l'un dans l'autre. Le premier est fixe, le second est mobile. Un haut-parleur, alimenté par un générateur de basse fréquence, émet un son de fréquence fixe. Un microphone branché sur un oscilloscope mesure le signal à la sortie du dispositif. On suppose que les ondes ont la même amplitude dans les deux tubes et que leur propagation a lieu sans amortissement.

Lorsque le tube mobile est enfoncé au maximum (décalage nul), le dispositif est symétrique et les deux chemins suivis par les ondes ont la même longueur.

Lorsque le tube mobile est tiré, les deux chemins suivis sont différents : les ondes interfèrent.

D'après la Mission de Sauvegarde du Patrimoine Scientifique Technique Contemporain (patstec.fr)

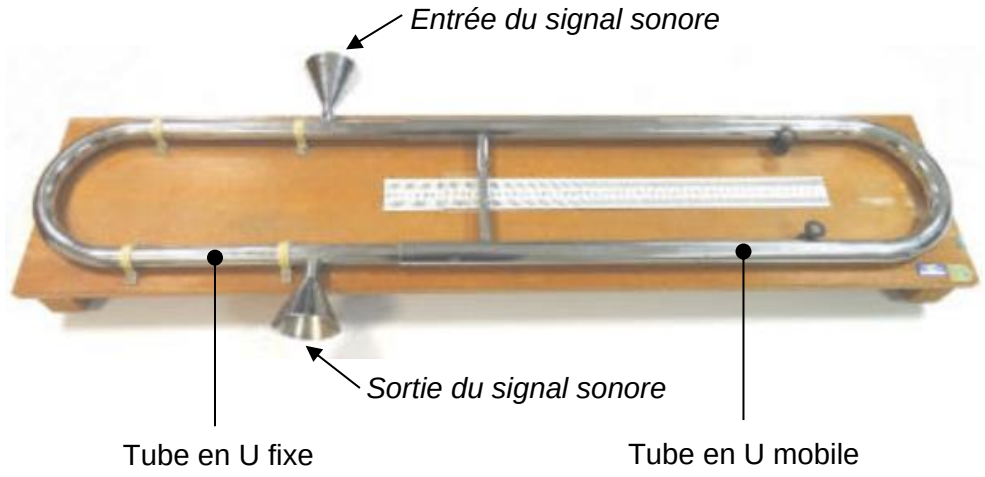


Figure 1. Trombone de Koenig

L'objectif de cet exercice est de déterminer la célérité des ondes acoustiques dans l'air à 20 °C.

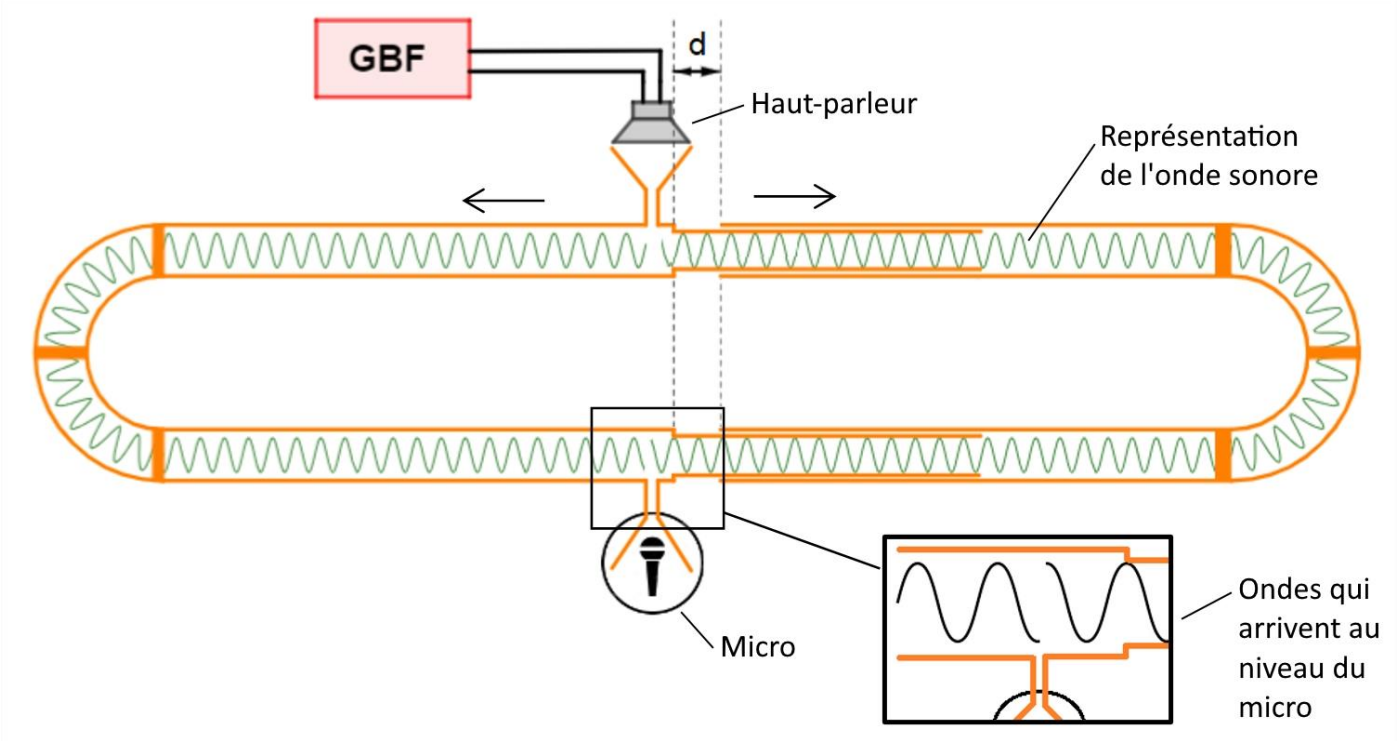


Figure 2. Le tube mobile est décalé vers la droite d'une distance *d* (le sens de propagation des signaux est représenté par une flèche) – **Expérience 1**

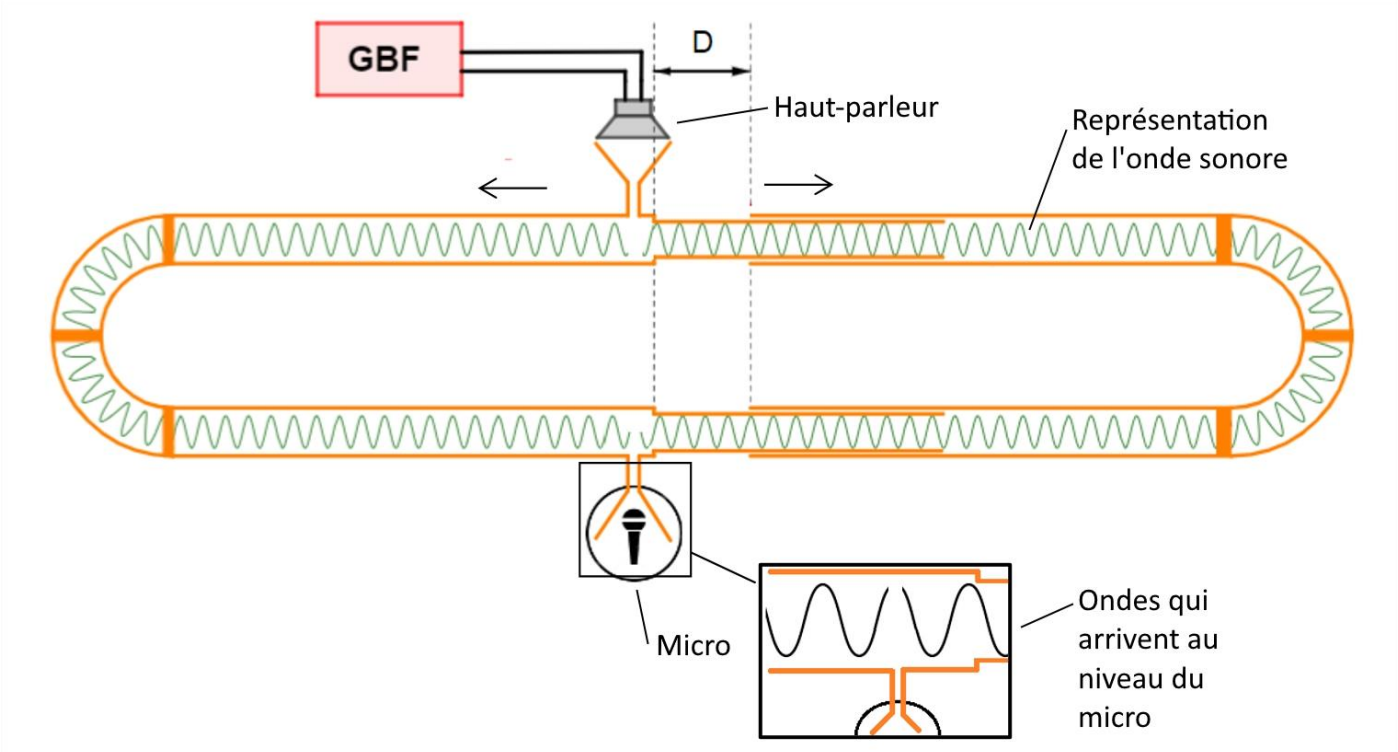


Figure 3. Le tube mobile est décalé vers la droite d'une distance *D* (le sens de propagation des signaux est représenté par une flèche) – **Expérience 2**

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.

Exercice 2

Sur l'écran de l'oscilloscope, on observe la figure suivante :

- la voie CH1 est reliée au GBF ;
- la voie CH2 est reliée au microphone.

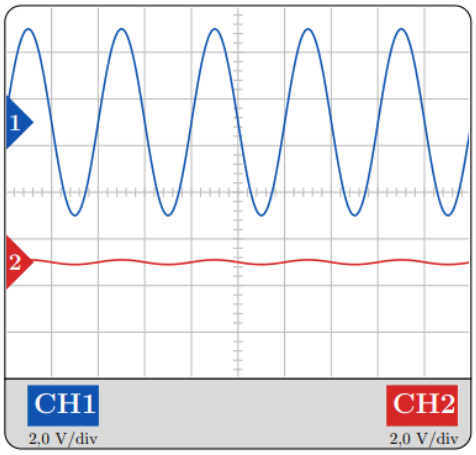


Figure 4. Écran d'oscilloscope

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.

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.

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.

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 $m \cdot s^{-1}$;
f : fréquence de l'onde sonore dans le trombone en Hz.

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

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

Exercice 2

On souhaite automatiser la détermination de la célérité v des ondes acoustiques, en exploitant toutes les valeurs D_k mesurées, à l'aide du programme écrit en langage python ci-dessous.

```
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    vi=2*f*D[i]/k[i]
10   v.append(vi)
11
12   vson=round(mean(v))                         # permet de calculer la moyenne  vson  des grandeurs contenues dans la liste v
13
14 print("La vitesse moyenne du son dans le trombone est", vson,"m/s")
15
16 Lambda=...
17 print("La longueur d'onde de l'onde acoustique dans le trombone est",Lambda,"m")
```

Figure 5. Programme permettant de déterminer la célérité et la longueur d'onde des ondes acoustiques

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

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.

EXERCICE 3 : LA VISCOSITÉ DU GLYCÉROL (6 POINTS)



La viscosité est une grandeur physico-chimique caractéristique d'un fluide qui traduit la résistance de ce fluide au mouvement. Plus la viscosité du fluide est élevée, plus le fluide s'écoule difficilement. La valeur de la viscosité dépend de la température du fluide et elle s'exprime en $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$.

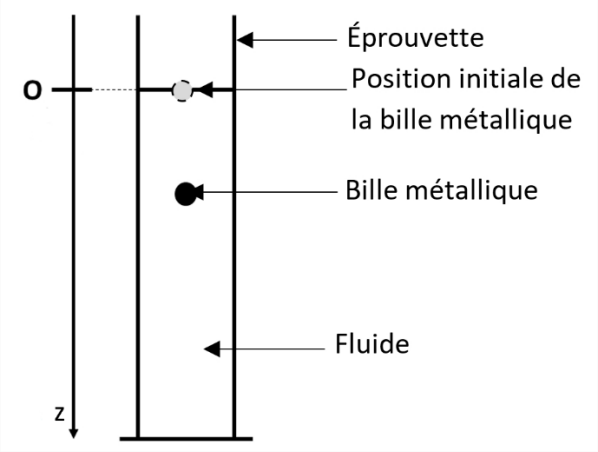
La viscosité peut être mesurée expérimentalement à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille de laboratoire (voir photo).

Au lycée, on peut concevoir un viscosimètre analogue à celui de la photo à l'aide d'une éprouvette graduée remplie du fluide étudié au sein de laquelle on étudie la chute d'une bille métallique sphérique. L'objectif de cet exercice est d'étudier la fiabilité des mesures obtenues à l'aide d'un tel viscosimètre.

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

On étudie le mouvement d'une bille métallique sphérique de masse *m*, de rayon *R* lâchée sans vitesse initiale dans une éprouvette graduée remplie d'un fluide.

Le mouvement de chute de la bille étant rectiligne, on choisit un repère Oz pour étudier ce mouvement. L'origine O du repère coïncide avec la position initiale du centre de masse G de la bille et l'axe est vertical et orienté vers le bas (voir le document 1).



Document 1. Schéma du dispositif expérimental pour l'étude de la chute d'une bille dans un fluide

Au cours de sa chute, la bille est soumise à :

- son poids $\vec{P}$
- la poussée d'Archimède, notée $\vec{\pi_A}$, exercée par le fluide sur la bille, verticale, vers le haut, de norme $\pi_A = \rho_F \times V_F \times g$.

  avec : ρ_F est la masse volumique du fluide dans lequel la bille chute en $kg \cdot m^{-3}$;

  V_F est le volume de fluide déplacé en m^3 ;

  g est l'intensité du champ de pesanteur.

- la force de frottement exercée par le fluide sur la bille, notée $\vec{F}$, verticale, vers le haut, de norme $F = k \times v$.

  avec : k est une constante qui dépend de la viscosité du fluide ;

  v est la vitesse de la bille à l'instant t.

La bille est assimilée à son centre de masse G. On étudie son mouvement dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

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 $\vec{P}$, $\overrightarrow{\pi_A}$, $\vec{F}$ et la masse m de la bille.

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

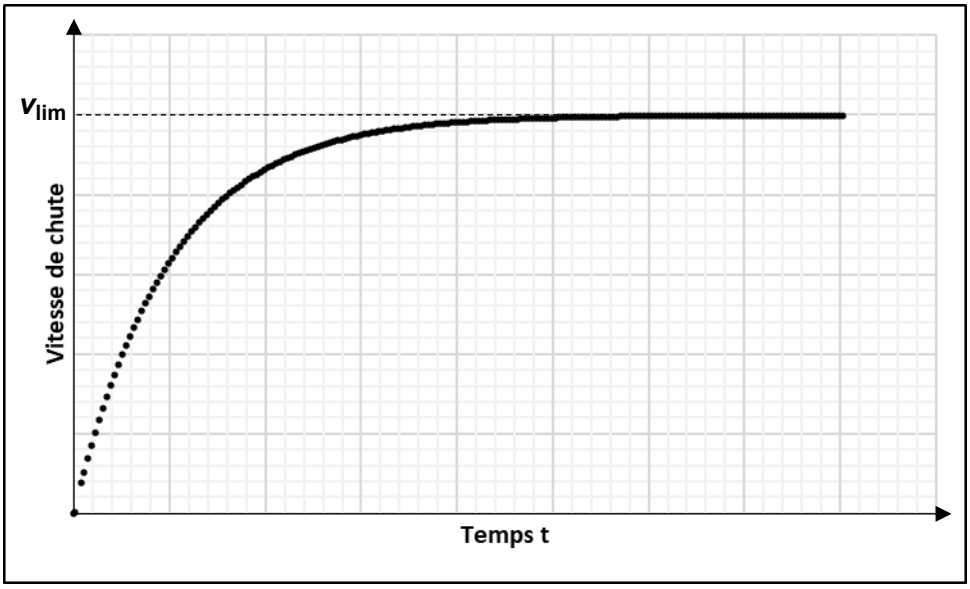
$$m \frac{dv}{dt} = - kv + mg - \rho_F v_F g \qquad \text{équation (1)}$$

On admet que la solution de l'équation différentielle précédente est de la forme : $v = v_{lim} \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ où v_{lim} est la vitesse limite atteinte par la bille et τ est un temps caractéristique qui vaut :

$$\tau = \frac{m}{k} \qquad \text{expression (2)}$$

Une résolution numérique de l'équation différentielle permet d'obtenir le graphe présenté sur le document 2 et montre l'existence d'une valeur limite de la vitesse v_{lim}.

Le temps nécessaire pour que la bille atteigne la vitesse limite est proportionnelle au temps caractéristique τ.



Document 2. Évolution temporelle de la vitesse v de chute de la bille dans le fluide

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.

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

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

Selon cette relation, on verra par la suite qu'il est possible d'évaluer η par mesure de v_{lim}, les autres paramètres étant connus.

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

Une éprouvette de volume 1 L est remplie de glycérol maintenu à la température de 20°C.

À l'aide d'un chronomètre, on mesure la durée Δt nécessaire à une bille en acier pour parcourir la distance entre deux graduations sur l'éprouvette. La première graduation doit être suffisamment éloignée de l'interface glycérol/air pour s'assurer que le régime permanent est atteint. La seconde graduation est choisie suffisamment éloignée de la première pour améliorer la précision de la mesure.

Données :

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

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

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

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

Exercice 3

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) $\overline{X}$ des valeurs de ces N mesures. L'incertitude-type associée à cette valeur vaut $u(\overline{X}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$ 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 $\overline{\eta}$ et l'incertitude associée $u(\overline{\eta})$.

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

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

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.