Corrigé complet — Bac 2025 Centres étrangers 1 Jour 2

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Fabrication et aromatisation d'un yaourt maison** Facteurs cinétiques · Vitesse volumique d'apparition · Titrage conductimétrique · Spectroscopie infrarouge · Rendement d'une synthèse · Mécanisme réactionnel	9 pts	1 h 35	15 questions	p. 2
Ex 2	**Le trombone de Koenig** Interférences de deux ondes sonores · Ondes cohérentes · Différence de marche · Interférences constructives et destructives · Célérité et longueur d'onde · Programme Python	5 pts	53 min	8 questions	p. 8
Ex 3	**La viscosité du glycérol** Deuxième loi de Newton · Poussée d'Archimède · Équation différentielle et vitesse limite · Analyse dimensionnelle · Incertitude-type et écart normalisé	6 pts	1 h 03	10 questions	p. 11

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Fabrication et aromatisation d'un yaourt maison

Bac 2025 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

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

La yaourtière chauffe doucement le lait et le maintient dans l'intervalle où les ferments sont efficaces (entre 37,5 °C et 45,0 °C). Élever la température du milieu accélère la transformation : le yaourt est prêt en huit heures environ.

Le facteur cinétique mis en jeu est la **température**.

COMPRENDRE
Ici, plus chaud ne veut pas dire mieux : au-delà de 45 °C, le yaourt devient trop acide. La yaourtière sert autant à chauffer qu'à rester dans le bon intervalle.

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

Sur le document 2, C_A reste pratiquement constante (environ $0{,}022\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) jusqu'à 100 min, puis elle augmente : de l'acide lactique se forme.

La fermentation débute à $t \approx 100$ min.

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

D'après l'introduction, le lait contient naturellement de l'acide lactique, avant toute fermentation.

L'acide lactique présent à $t = 0$ est celui du lait lui-même.

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

Données utiles document 2 : points de la droite tracée, A $(120\ \text{min} ;\ 0{,}034\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ et B $(240\ \text{min} ;\ 0{,}098\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$

Par définition, $v_{app} = \dfrac{\text{d}C_A}{\text{d}t}$: c'est le coefficient directeur de la tangente à la courbe $C_A(t)$.

Après 100 min, les points sont alignés : la courbe est une droite, confondue avec sa tangente. La vitesse est donc constante et égale au coefficient directeur de cette droite, calculé avec deux points A et B éloignés.

$$v_{app} = \frac{C_A(t_B) - C_A(t_A)}{t_B - t_A} = \frac{0{,}098 - 0{,}034}{240 - 120} = 5{,}3 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

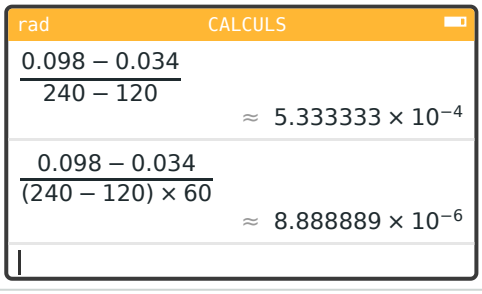
En secondes : $v_{app} = \dfrac{0{,}098 - 0{,}034}{(240 - 120) \times 60}$

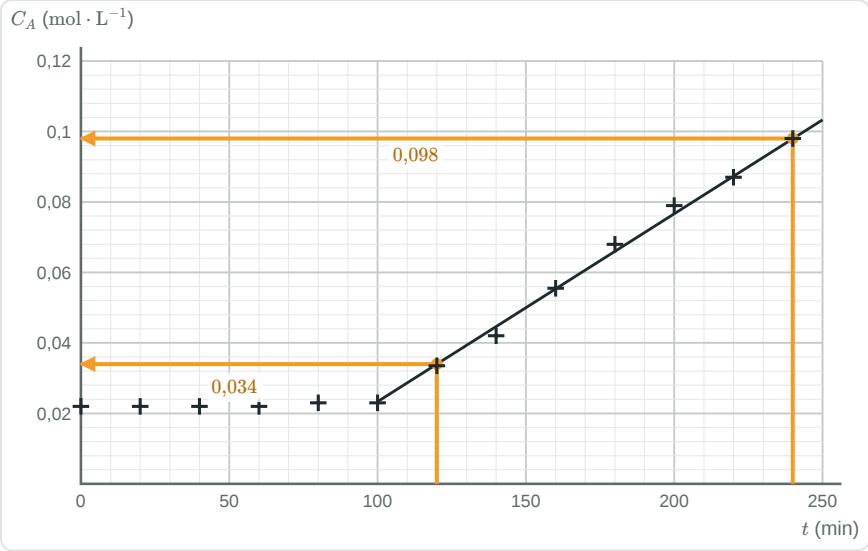
$v_{app} \approx 8{,}9 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, soit environ $9\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Calculer $\dfrac{C_A}{t}$ avec un seul point : la droite ne passe pas par l'origine. Il faut une variation de concentration divisée par une durée.

COMPRENDRE
Les lectures graphiques ont deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux au plus. Selon les points choisis, on trouve une valeur voisine de $9 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE





Q.4 · Document 2 : droite modélisant la phase de fermentation et les deux points choisis

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

Données utiles $V_A = 10{,}0$ mL ; $C_B = 0{,}150$ mol · L^{-1} ; $M = 90{,}1$ g · mol^{-1} ; 1 °D = 0,1 g d'acide lactique par litre

Volume à l'équivalence. La courbe du document 3 présente deux portions rectilignes. On trace les deux droites qui les modélisent : leur point d'intersection a pour abscisse $V_{éq} = 8{,}6$ mL.

Concentration en quantité de matière. À l'équivalence, l'acide HA et les ions HO^- versés sont en proportions stœchiométriques ($HA + HO^- \longrightarrow A^- + H_2O$) :

$$n(HA)_{initial} = n(HO^-)_{versé} \quad \text{soit} \quad C_A\,V_A = C_B\,V_{éq}$$

Concentration en masse. $C_m = C_A \times M = \dfrac{C_B\,V_{éq}}{V_A} \times M$

$$C_m = \frac{0{,}150 \times 8{,}6}{10{,}0} \times 90{,}1 = 11{,}6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

Degré Dornic. 1 °D correspond à $0{,}1$ g · L^{-1} : $\dfrac{11{,}6}{0{,}1} = 116$ °D, soit environ $1{,}2 \times 10^2$ °D.

Le degré Dornic vaut environ 116 °D, compris entre 100 et 120 °D : le yaourt est **brassé**.

COMPRENDRE
La lecture de $V_{éq}$ est peu précise, mais la conclusion est solide : tout volume équivalent compris entre 7,4 mL et 8,9 mL donne un degré Dornic entre 100 et 120 °D.

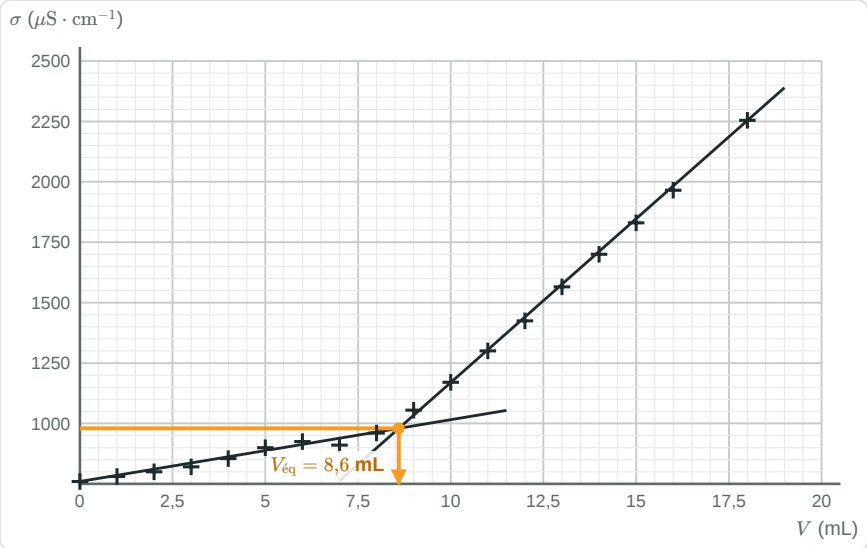
MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan (volume équivalent, puis C_A, puis C_m, puis degré Dornic), écrire chaque relation littérale et conclure par une comparaison aux intervalles. Une démarche claire rapporte des points même sans résultat final.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{0.150 \times 8.6}{10.0} \times 90.1$ ≈ 11.6229

$\dfrac{11.6229}{0.1}$ ≈ 116.229



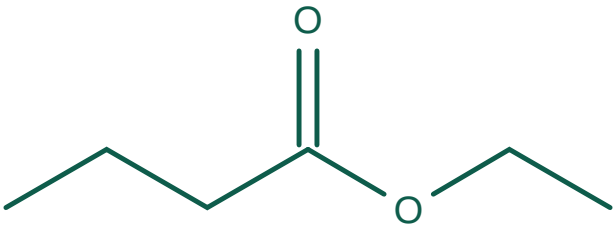
Q.5 · Document 3 : les deux droites et la lecture du volume à l'équivalence

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

Chaque sommet ou extrémité de la ligne brisée représente un atome de carbone, avec les atomes d'hydrogène qu'il porte ; seuls les atomes d'oxygène sont écrits.

Formule topologique : voir la figure (6 atomes de carbone, 2 atomes d'oxygène, formule brute $C_6H_{12}O_2$).

PIÈGE
Compter les sommets : quatre carbones du côté du $C{=}O$ (carbone fonctionnel compris), deux du côté de l'oxygène. Un segment en trop ou en moins et la molécule n'est plus la bonne.

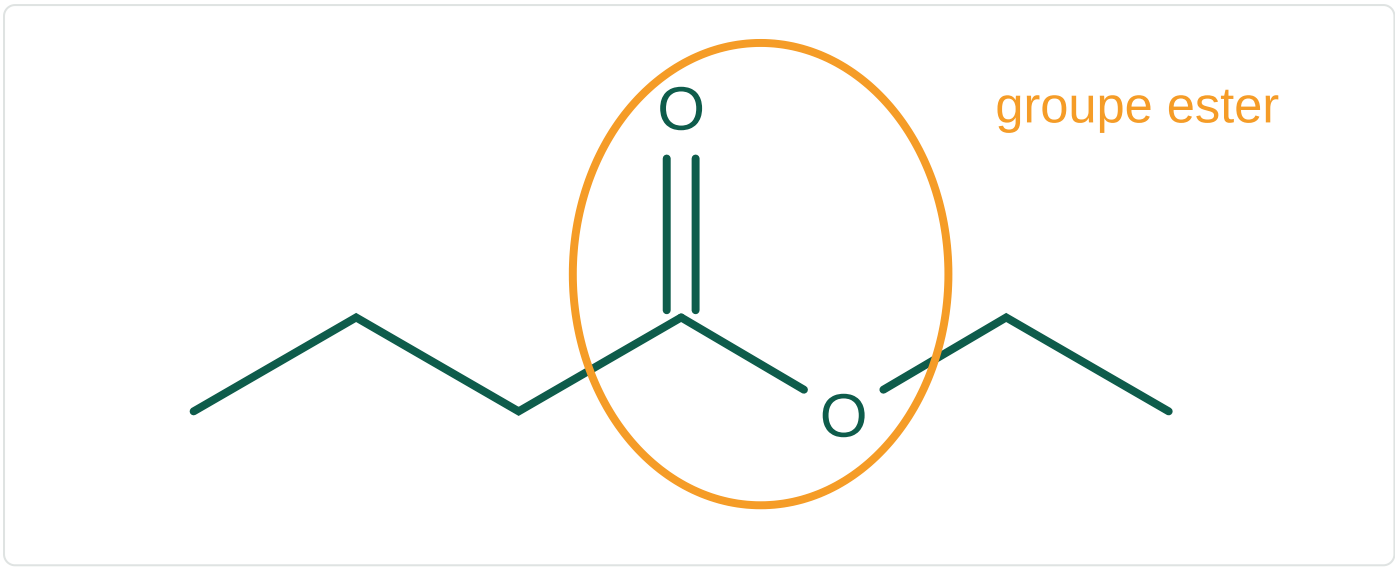


Q.6 · Formule topologique du butanoate d'éthyle

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

Le groupe caractéristique est formé du carbone doublement lié à un oxygène et simplement lié à un second oxygène, lui-même lié à une chaîne carbonée.

Groupe ester (entouré sur la figure) : la molécule appartient à la famille des **esters**.



Q.7 · Groupe caractéristique entouré

Q.8 Déterminer la molécule du document 4 qui correspond au spectre infrarouge du document 6. Justifier.

Le spectre présente :

- une bande forte et très large entre 2500 et $3200\ \text{cm}^{-1}$, caractéristique de la liaison O–H d'un acide carboxylique ;
- une bande forte et fine vers $1700\ \text{cm}^{-1}$, attribuable à la liaison C=O.

Les deux molécules possèdent une liaison C=O, mais seul l'acide butanoïque possède une liaison O–H.

Le spectre est celui de l'**acide butanoïque**.

PIÈGE
Justifier par la bande C=O vers $1700\ \text{cm}^{-1}$: elle existe dans les deux molécules et leurs intervalles se chevauchent. C'est la bande large O–H qui tranche.

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

- Étape 1 : l'ajout d'acide sulfurique concentré. Il ne figure pas dans l'équation de la réaction : c'est un **catalyseur**, qui accélère la transformation.
- Étape 2 : le **chauffage** à reflux. La température est un facteur cinétique : l'élever augmente la vitesse de formation de l'ester.

Deux opérations : ajout d'un catalyseur (acide sulfurique) et chauffage à reflux.

COMPRENDRE
Le reflux condense les vapeurs, qui retombent dans le ballon : on chauffe sans perdre de matière. Le catalyseur et la température jouent sur la durée, pas sur la quantité maximale d'ester.

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

D'après le document 7 :

- le cyclohexane n'est pas miscible avec l'eau : il forme une phase distincte de la phase aqueuse ;
- le butanoate d'éthyle est plus soluble dans le cyclohexane (solubilité moyenne) que dans l'eau salée (solubilité très faible).

L'ester passe dans le cyclohexane, que l'on sépare ensuite de la phase aqueuse : c'est une extraction liquide-liquide.

COMPRENDRE
L'éthanol dissout mieux l'ester, mais il est miscible avec l'eau : il ne peut pas servir de solvant extracteur. Les deux critères sont nécessaires.

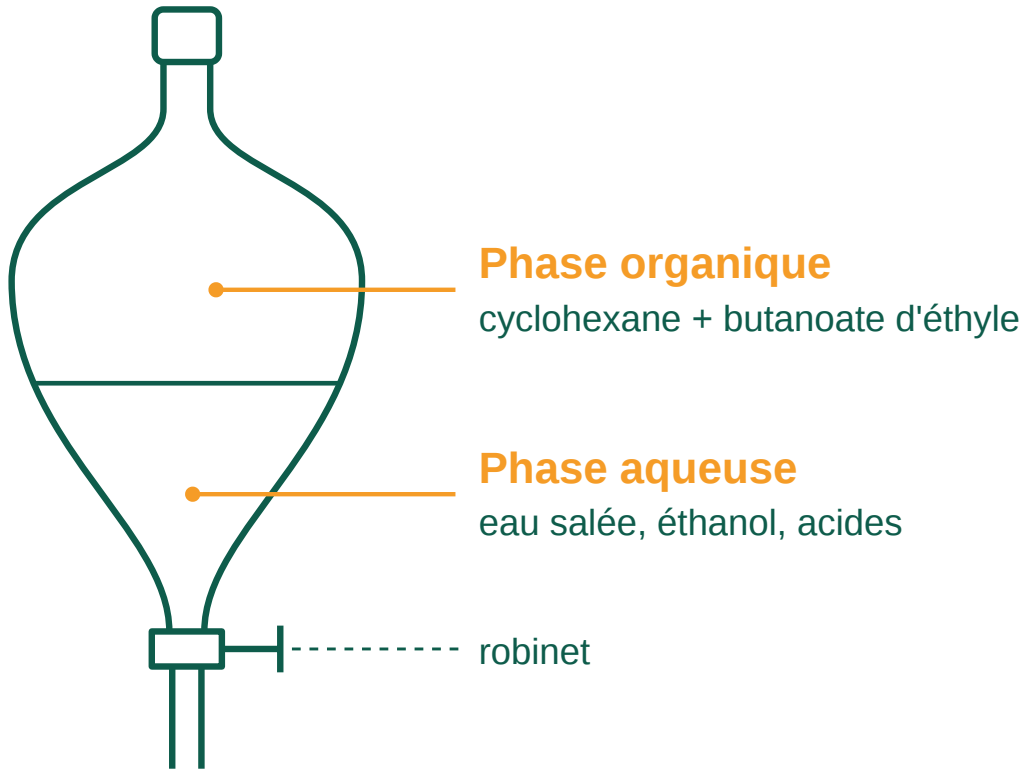
Q.11 Schématiser l'ampoule à décanter, la légender avec les termes phase aqueuse et phase organique. Justifier la position de la phase contenant le butanoate d'éthyle.

Données utiles masses volumiques : cyclohexane $0{,}78\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; eau salée $> 1{,}00\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$

Le butanoate d'éthyle se trouve dans le cyclohexane : c'est la phase organique.

La masse volumique du cyclohexane ($0{,}78\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) est inférieure à celle de l'eau salée (supérieure à $1{,}00\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) : le liquide le moins dense surnage.

La phase organique, qui contient l'ester, est **au-dessus** de la phase aqueuse.



Q.11 · Ampoule à décanter après décantation

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

Données utiles $V_{\text{éthanol}} = 40{,}0$ mL ; $\rho_{\text{éthanol}} = 0{,}79\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $M_{\text{éthanol}} = 46{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Quantité de matière initiale d'éthanol : $n_{\text{éthanol}} = \dfrac{m}{M} = \dfrac{\rho V}{M}$

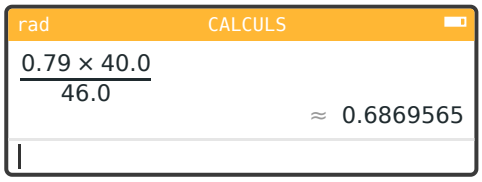
$$n_{\text{éthanol}} = \frac{0{,}79 \times 40{,}0}{46{,}0} = 0{,}69\ \text{mol}$$

D'après l'équation, une mole d'acide butanoïque réagit avec une mole d'éthanol. Les nombres stœchiométriques valant 1, on compare directement les quantités initiales.

$n_{\text{éthanol}} = 0{,}69\ \text{mol} > n_{acide} = 0{,}44\ \text{mol}$: l'éthanol est en excès, l'acide butanoïque est le réactif limitant.

PIÈGE
Comparer les volumes (40,0 mL de chaque) ou les masses : cela ne prouve rien. Seules les quantités de matière, divisées par les nombres stœchiométriques, se comparent.

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles $m_{ester} = 33{,}7$ g ; $M_{ester} = 116{,}0$ g · mol^{-1} ; $n_{acide} = 4{,}4 \times 10^{-1}$ mol

L'acide butanoïque est le réactif limitant (Q.12). Si la transformation était totale, il se formerait autant d'ester qu'il y a d'acide au départ : $n_{max} = n_{acide} = 0{,}44$ mol.

Quantité d'ester obtenue : $n_{exp} = \dfrac{m_{ester}}{M_{ester}} = \dfrac{33{,}7}{116{,}0} = 0{,}291$ mol

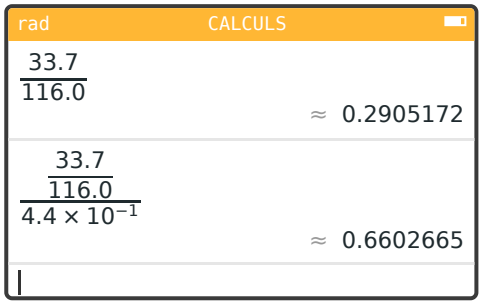
$$\eta = \frac{n_{exp}}{n_{max}} = \frac{0{,}291}{0{,}44} = 0{,}66$$

Le rendement est nettement inférieur à 100 % : la transformation n'est pas totale (elle conduit à un état d'équilibre) et une partie de l'ester est perdue lors de l'extraction et de la distillation.

$\eta \approx 0{,}66$, soit 66 %

COMPRENDRE
Mettre l'éthanol en excès sert justement à améliorer le rendement : cela déplace l'équilibre dans le sens de la formation de l'ester.

À LA CALCULATRICE



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

Un intermédiaire réactionnel est une espèce formée au cours d'une étape du mécanisme, puis consommée dans une étape suivante ; il ne figure pas dans l'équation de la réaction.

Le cation $CH_3-CH_2-CH_2-C(OH)_2^+$ est produit par l'étape (1) et consommé par l'étape (2).

L'intermédiaire réactionnel est le cation $CH_3-CH_2-CH_2-C(OH)_2^+$, c'est-à-dire l'acide butanoïque qui a fixé un ion H^+.

PIÈGE
Citer H^+ : il est consommé à l'étape (1) avant d'être régénéré en fin de mécanisme. C'est le catalyseur, pas un intermédiaire.

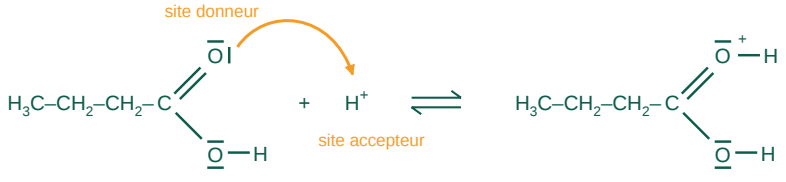
Q.15 Recopier l'étape (1) et représenter par une flèche courbe le déplacement d'électrons. Justifier son sens.

La flèche courbe part d'un doublet non liant de l'atome d'oxygène du groupe $C{=}O$ et pointe vers l'ion H^+ (voir la figure).

L'atome d'oxygène porte des doublets non liants : c'est un site donneur de doublet d'électrons. L'ion H^+, chargé positivement et sans électron, est un site accepteur. Une liaison O–H se forme.

La flèche va du site donneur (doublet de O) vers le site accepteur (H^+).

PIÈGE
Faire partir la flèche de H^+ vers l'oxygène : une flèche courbe représente le déplacement d'un doublet d'électrons, jamais celui d'un atome ou d'une charge positive.



Q.15 · Étape (1) recopiée, avec la flèche courbe

Le trombone de Koenig

Bac 2025 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Justifier que le trombone de Koenig vérifie les conditions nécessaires à l'observation d'interférences au niveau du microphone.

Le son émis par l'unique haut-parleur se partage entre les deux tubes : les deux ondes qui se rejoignent au microphone proviennent de la même source.

Elles ont donc la même fréquence et, pour une position donnée du tube mobile, un déphasage qui ne varie pas au cours du temps.

Les deux ondes sont **cohérentes** et se superposent au microphone : des interférences peuvent y être observées.

PIÈGE
Répondre seulement « deux ondes se superposent ». La condition attendue est la cohérence : même fréquence et déphasage constant.

COMPRENDRE
Diviser l'onde d'une seule source en deux trajets est le moyen habituel d'obtenir deux ondes cohérentes, comme avec les fentes d'Young en optique.

Q.2 Préciser le type d'interférences observé sur la figure 4 et justifier si elle correspond à l'expérience 1 ou à l'expérience 2.

Sur la figure 4, le signal du microphone (voie CH2) a une amplitude presque nulle alors que le GBF (voie CH1) délivre une tension sinusoïdale d'amplitude bien visible : les interférences sont **destructives**.

Dans l'agrandissement de la figure 2, l'une des ondes arrive au microphone sur un creux quand l'autre y arrive sur une crête : elles sont en opposition de phase et se compensent. Dans celui de la figure 3, les deux ondes arrivent ensemble sur une crête : elles sont en phase.

Interférences destructives : la figure 4 correspond à l'**expérience 1**.

COMPRENDRE
L'amplitude résultante est quasi nulle parce que les deux ondes ont la même amplitude, comme le suppose l'énoncé.

MÉTHODE
Pour comparer deux ondes qui se rencontrent, regarder leur état au point de rencontre : deux crêtes ensemble, elles sont en phase ; une crête face à un creux, elles sont en opposition de phase.

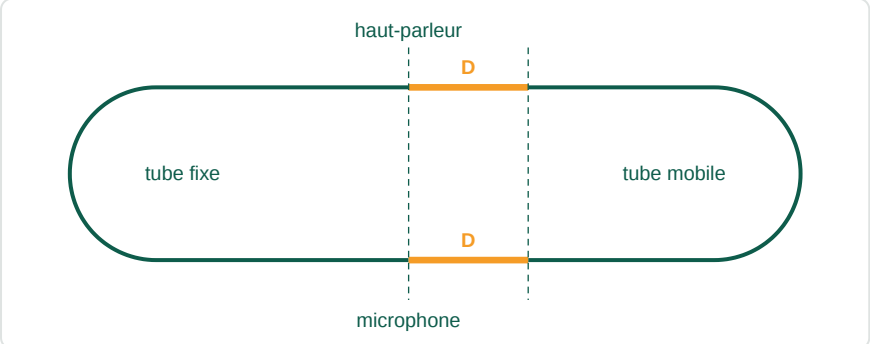
Q.3 Pour l'expérience 2, exprimer la différence de marche δ en fonction du décalage D.

Lorsque le décalage est nul, les deux chemins ont la même longueur.

Tirer le tube mobile de D allonge de D sa branche du haut et de D sa branche du bas. Le chemin passant par le tube mobile s'allonge donc de $2D$, celui du tube fixe ne change pas.

$$\delta = 2D$$

PIÈGE
Écrire $\delta = D$. L'onde parcourt la longueur ajoutée à l'aller, dans la branche du haut, puis au retour, dans la branche du bas.



Q.3 · Le tube mobile tiré de D : deux longueurs D ajoutées au chemin de droite (en orange)

Q.4 Rappeler la relation entre δ et la longueur d'onde λ dans le cas d'interférences constructives, avec un entier positif k.

Les interférences sont constructives lorsque les deux ondes arrivent en phase au microphone, c'est-à-dire lorsque la différence de marche est un multiple entier de la longueur d'onde.

$\delta = k\,\lambda$, avec k entier positif

COMPRENDRE
Pour des interférences destructives, la condition devient $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$: les ondes arrivent en opposition de phase.

Q.5 Montrer, à l'aide des questions 3 et 4, que les décalages donnant des interférences constructives s'écrivent $D_k = \frac{k}{2} \times \frac{v}{f}$.

Pour le décalage D_k : $\delta = 2D_k$ (Q.3) et $\delta = k\,\lambda$ (Q.4), donc $2D_k = k\,\lambda$.

La longueur d'onde est liée à la célérité et à la fréquence par $\lambda = \frac{v}{f}$.

Ainsi $2D_k = k \times \frac{v}{f}$, soit :

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

MÉTHODE
Dans un « montrer que », chaque égalité utilisée est annoncée avec son origine (question précédente ou relation de cours) avant d'être combinée aux autres.

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

Données utiles $D_1 = 4{,}35\ \text{cm} = 4{,}35 \times 10^{-2}\ \text{m}$; $f = 4\,032\ \text{Hz}$

Le plus petit décalage donnant des interférences constructives correspond à $k = 1$: $D_1 = \frac{1}{2} \times \frac{v}{f}$, d'où

$$v = 2\,D_1\,f$$

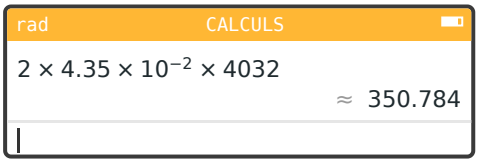
$$v = 2 \times 4{,}35 \times 10^{-2} \times 4\,032 = 351\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = 351\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

PIÈGE
Laisser D_1 en centimètres : on obtiendrait une célérité cent fois trop grande.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme D_1. L'ordre de grandeur est bien celui de la célérité du son dans l'air, voisine de $340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 20 °C.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Expliquer l'intérêt des lignes 8 et 9 du programme.

La ligne 8 ouvre une boucle : l'indice `i` prend successivement les valeurs 0, 1, 2, 3, 4, ce qui permet de parcourir les cinq couples de mesures (`D[i]`, `k[i]`).

La ligne 9 calcule, pour chaque couple, la célérité correspondante avec la relation de Q.5 : $v_i = \frac{2\,f\,D_i}{k_i}$.

Ces deux lignes calculent une valeur de la célérité pour **chacune** des mesures de D_k, ce qui permet ensuite d'en faire la moyenne (ligne 12).

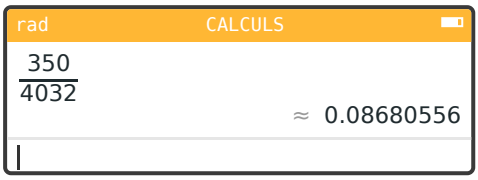
COMPRENDRE
Exploiter cinq mesures puis en prendre la moyenne atténue l'effet des erreurs de lecture sur chaque décalage : le résultat est plus fiable qu'avec la seule valeur D_1.

Q.8 Proposer, à la ligne 16, une formule utilisant les grandeurs du programme pour calculer la longueur d'onde λ (Lambda).

La relation $\lambda = \frac{v}{f}$ s'écrit avec la célérité moyenne `Vson` (ligne 12) et la fréquence `f` (ligne 5) :

Ligne 16 : `Lambda=Vson/f`

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Utiliser `V`, qui est une liste, ou une variable absente du programme. Respecter les majuscules : Python distingue `Vson` de `vson`.

COMPRENDRE
Le programme donne `Vson` $= 350\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, donc $\lambda = 8{,}68 \times 10^{-2}\ \text{m}$, soit environ le double de D_1, comme le prévoit Q.5 pour $k = 1$.

La viscosité du glycérol

Bac 2025 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 3 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

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

Système {bille}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Forces extérieures : le poids $\vec{P}$, la poussée d'Archimède $\vec{\pi}_A$ et la force de frottement $\vec{F}$.

Seconde loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit

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

MÉTHODE
Toujours les quatre mêmes étapes : système, référentiel galiléen, bilan des forces, loi écrite sous forme vectorielle. La projection sur l'axe ne vient qu'ensuite.

Q.2 Montrer que la valeur v de la vitesse de la bille vérifie l'équation différentielle (1) : $m\,\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = -k\,v + m\,g - \rho_F\,V_F\,g$.

Données utiles $\pi_A = \rho_F\,V_F\,g$; $F = k\,v$; axe Oz vertical orienté vers le bas

On projette la relation de Q.1 sur l'axe Oz, orienté vers le bas :

- le poids est vers le bas : $P_z = +m\,g$;
- la poussée d'Archimède est vers le haut : $\pi_{A,z} = -\rho_F\,V_F\,g$;
- le frottement est vers le haut : $F_z = -k\,v$.

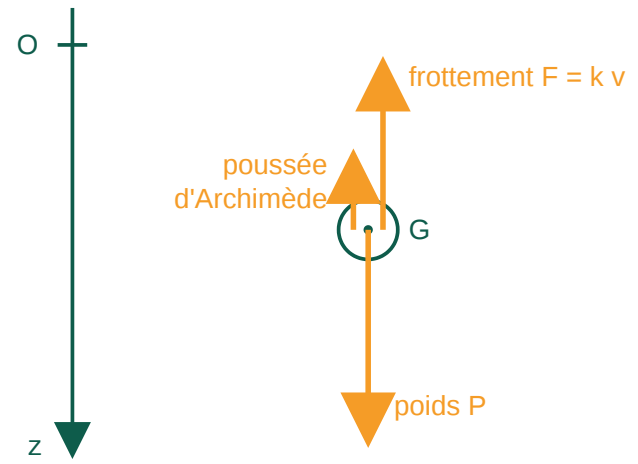
Donc $m\,g - \rho_F\,V_F\,g - k\,v = m\,a_z$.

La bille descend le long de l'axe : $v_z = v$ et $a_z = \dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$.

$$m\,\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = -k\,v + m\,g - \rho_F\,V_F\,g$$: c'est l'équation (1).

PIÈGE
Le signe de chaque terme dépend du sens de l'axe. Ici Oz pointe vers le bas : le poids est compté positivement, les deux forces dirigées vers le haut négativement.

COMPRENDRE
Dans l'équation (1), le sujet écrit « v_F » en minuscule : c'est une coquille, il s'agit du volume V_F de fluide déplacé, et non d'une vitesse.



Q.2 · Les trois forces exercées sur la bille et l'axe de projection

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 trajectoire est une droite verticale et la valeur de la vitesse ne varie plus : le mouvement est **rectiligne uniforme**.

Le vecteur vitesse est alors constant, donc $a = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$.

Mouvement rectiligne uniforme ; $a = 0\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

COMPRENDRE
D'après le principe d'inertie, les forces se compensent alors : le poids est équilibré par la somme de la poussée d'Archimède et du frottement.

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

Quand $v = v_{lim}$, $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$ (Q.3). L'équation (1) devient :

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

d'où $k\,v_{lim} = g\,(m - \rho_F\,V_F)$.

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

MÉTHODE
Pour trouver une valeur limite à partir d'une équation différentielle, il suffit d'annuler la dérivée : inutile de connaître la solution.

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

D'après Q.4, $k = \dfrac{g\,(m - \rho_F\,V_F)}{v_{lim}}$.

- g s'exprime en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$;
- $\rho_F\,V_F$ s'exprime en $\mathrm{kg \cdot m^{-3} \times m^3 = kg}$, comme m : la parenthèse est en kg ;
- v_{lim} s'exprime en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Unité de k : $\dfrac{\mathrm{m \cdot s^{-2} \times kg}}{\mathrm{m \cdot s^{-1}}} = \mathrm{kg \cdot s^{-1}}$

k s'exprime en $\mathrm{kg \cdot s^{-1}}$.

PIÈGE
Répondre « $\mathrm{N \cdot s \cdot m^{-1}}$ » sans aller jusqu'aux unités de base : le sujet donne la viscosité en $\mathrm{kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}}$, il faut rester cohérent.

COMPRENDRE
Même résultat avec $F = k\,v$: un newton vaut $1\ \mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}$ (car $P = m\,g$), divisé par des $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

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

Données utiles $k = 6\pi\,\eta\,R$; expression de k (Q.4)

On égale les deux expressions de k :

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

On divise les deux membres par $6\pi\,R$:

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

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

Données utiles $L = 5{,}0 \times 10^{-1}\ \mathrm{m}$; $\Delta t = 50{,}9\ \mathrm{s}$

Entre les deux graduations, le régime permanent est atteint : la bille a un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v_{lim}.

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

$v_{lim} = 9{,}82 \times 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$: c'est bien la valeur attendue.

PIÈGE
La relation $v = L/\Delta t$ n'est valable que si la vitesse est constante : il faut le justifier par le régime permanent, sinon on calcule seulement une vitesse moyenne.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{5.0 \times 10^{-1}}{50.9} \approx 0.009823183$

COMPRENDRE

Chiffres significatifs : L n'en a que deux, le résultat devrait s'écrire $9{,}8 \times 10^{-3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. On garde ici les trois chiffres de la valeur imposée par le sujet.

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

Données utiles $m = 3{,}30 \times 10^{-5}$ kg ; $V_{bille} = 4{,}19 \times 10^{-9}\ \text{m}^3$; $R = 1{,}00 \times 10^{-3}$ m ; $\rho = 1260\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; v_{lim} (Q.7)

La bille est entièrement immergée : le volume de fluide déplacé est celui de la bille, $V_F = V_{bille}$, et $\rho_F = \rho$.

$$\eta = \frac{g\,(m - \rho\, V_{bille})}{6\pi\, R\, v_{lim}}$$

$$\eta = \frac{9{,}81 \times (3{,}30 \times 10^{-5} - 1260 \times 4{,}19 \times 10^{-9})}{6\pi \times 1{,}00 \times 10^{-3} \times 9{,}82 \times 10^{-3}}$$

$\eta = 1{,}47\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE

À la calculatrice, mettre tout le dénominateur entre parenthèses ; sans elles, R et v_{lim} se retrouvent multipliés au lieu d'être divisés.

COMPRENDRE

On retrouve la valeur de l'expérience n°1 du document 3. La poussée d'Archimède n'est pas négligeable : $\rho\, V_{bille} = 5{,}28 \times 10^{-6}$ kg, soit 16 % de la masse de la bille.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{9.81 \times (3.30 \times 10^{-5} - 1260 \times 4.19 \times 10^{-9})}{6 \times \pi \times 1.00 \times 10^{-3} \times 9.82 \times 10^{-3}} \approx 1.469126$

$1260 \times 4.19 \times 10^{-9} \approx 5.2794 \times 10^{-6}$

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

Données utiles document 3 : 1,47 ; 1,50 ; 1,48 ; 1,45 ; 1,52 ; 1,46 (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) ; $N = 6$; $\sigma_{n-1} = 2{,}6 \times 10^{-2}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Moyenne des six mesures :

$$\overline{\eta} = \frac{1{,}47 + 1{,}50 + 1{,}48 + 1{,}45 + 1{,}52 + 1{,}46}{6} = 1{,}48\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Incertitude-type :

$$u(\overline{\eta}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}} = \frac{2{,}6 \times 10^{-2}}{\sqrt{6}} = 1{,}06 \times 10^{-2}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

On arrondit l'incertitude par excès, à deux chiffres significatifs.

$\overline{\eta} = 1{,}48\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ et $u(\overline{\eta}) = 0{,}011\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE

Ne pas confondre l'écart-type σ_{n-1}, dispersion des mesures, et l'incertitude-type sur la moyenne, qui est $\sqrt{N}$ fois plus petite.

COMPRENDRE

Une incertitude s'écrit avec un ou deux chiffres significatifs, arrondie par excès. Avec un seul chiffre, on écrirait $u(\overline{\eta}) = 0{,}02\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, réponse acceptée elle aussi.

MÉTHODE

L'écart-type s'obtient avec le mode statistique de la calculatrice : saisir les six valeurs en liste, puis lire la moyenne et l'écart-type d'échantillon (noté s_x ou σ_{n-1}), ici 0,026.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.47 + 1.50 + 1.48 + 1.45 + 1.52 + 1.46}{6} \approx 1.48$

$\dfrac{2.6 \times 10^{-2}}{\sqrt{6}} \approx 0.01061446$

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

Données utiles $\eta_{ref} = 1{,}49\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; $\overline{\eta}$ et $u(\overline{\eta})$ (Q.9)

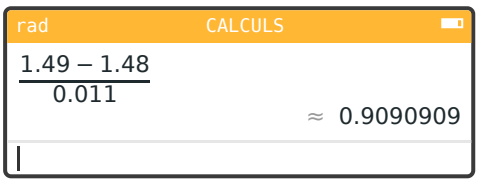
On calcule le quotient proposé par le sujet :

$$\frac{|\overline{\eta} - \eta_{ref}|}{u(\overline{\eta})} = \frac{|1{,}48 - 1{,}49|}{0{,}011} = 0{,}9$$

Ce quotient est inférieur à 2 : l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de référence est plus petit que l'incertitude-type.

Quotient $\approx 0{,}9 < 2$: la mesure est compatible avec la valeur de référence, le viscosimètre du lycée est fiable.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
S'arrêter à la valeur du quotient. La question demande de conclure : il faut comparer à 2 puis dire explicitement si le dispositif est fiable.

COMPRENDRE
Le seuil de 2 est le critère usuel de compatibilité. Avec $u(\overline{\eta}) = 0{,}02\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, le quotient vaut 0,5 : la conclusion est identique.