Corrigé complet — Bac S 2017 Liban (ancien programme)

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

Ex 1	**La mécanique au service de la pétanque** Chute libre · Équations horaires · Équation de la trajectoire · Quantité de mouvement · Énergie cinétique · Choc élastique	5 pts	50 min	7 questions	p. 2
Ex 2	**L'acide lévulinique, une molécule qui a de l'avenir** Chimie verte et rendement · Groupes caractéristiques · Spectroscopies IR et RMN · Stéréoisomérie et représentation de Cram · Mécanisme et flèches courbes · Quantité de matière	10 pts	1 h 40	15 questions	p. 5
Ex 3	**Interférences avec des atomes froids** Chute libre · Deuxième loi de Newton · Dualité onde-particule · Relation de de Broglie · Interférences et interfrange · Analyse dimensionnelle	5 pts	50 min	12 questions	p. 11
Ex 4	**Spécialité : étude d'un instrument à vent** Ondes stationnaires dans un tube · Mode fondamental · Relation entre longueur d'onde et fréquence · Octave et demi-ton · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 16

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.

La mécanique au service de la pétanque

Bac S 2017 Liban (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Partie A. Déterminer, à partir de la chronophotographie, la valeur de l'angle α entre l'horizontale et le vecteur vitesse initiale, en précisant la méthode.

Le vecteur $\overrightarrow{V_0}$ est tracé sur la chronophotographie, à partir de O. On mesure au rapporteur l'angle qu'il fait avec l'axe horizontal (Ox).

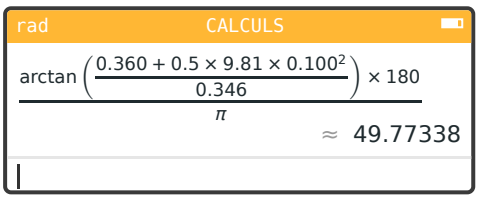
Autre méthode possible : mesurer à la règle la longueur ℓ de la flèche et celle ℓ_x de sa projection sur (Ox), puis calculer $\cos\alpha = \dfrac{\ell_x}{\ell}$.

$\alpha \approx 50^\circ$ (toute valeur lue entre 48° et 51° convient)

PIÈGE
Lire l'angle sur la corde entre deux positions éloignées de la boule : la trajectoire se courbe, l'angle obtenu est trop petit. Seule la tangente en O, donc la flèche $\overrightarrow{V_0}$, convient.

COMPRENDRE
Contrôle avec le tableau, à $t = 0{,}100$ s : les équations horaires donnent $\tan\alpha = \dfrac{y + \frac{1}{2}g\,t^2}{x} = \dfrac{0{,}409}{0{,}346}$, soit $\alpha \approx 50^\circ$. La mesure est cohérente.

À LA CALCULATRICE



1.2 En exploitant le modèle de la chute libre et les résultats expérimentaux, déterminer la valeur de la vitesse initiale V_0.

Données utiles $\alpha \approx 50^\circ$ (1.1) ; tableau : à $t = 0{,}100$ s, $x = 0{,}346$ m

D'après le modèle, $x = V_0\cos(\alpha)\,t$: l'abscisse est proportionnelle au temps, donc

$$V_0 = \frac{x}{\cos(\alpha)\,t}$$

Avec le dernier point du tableau, le plus éloigné de O (meilleure précision relative) :

$$V_0 = \frac{0{,}346}{\cos(50^\circ) \times 0{,}100} = 5{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

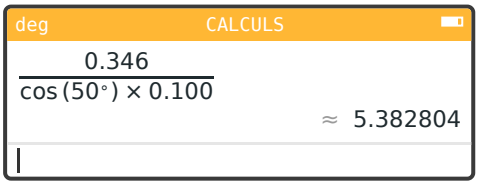
$V_0 \approx 5{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

PIÈGE
Utiliser l'équation de y en oubliant le terme $-\frac{1}{2}g\,t^2$, ou laisser la calculatrice en radians pour $\cos(50^\circ)$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : l'angle α n'est connu qu'à un ou deux degrés près. Avec $\alpha = 48^\circ$ on trouve $5{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, avec 51° on trouve $5{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: ces valeurs sont acceptées.

MÉTHODE
Pour exploiter tous les points, tracer x en fonction de t : on obtient une droite passant par l'origine, de coefficient directeur $V_0\cos\alpha$.

À LA CALCULATRICE



2.1 Montrer que la trajectoire de la boule est une parabole d'équation $y = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{(V_0\cos\alpha)^2} + \tan(\alpha)\,x$.

On élimine le temps entre les deux équations horaires.

De $x = V_0\cos(\alpha)\,t$ on tire $t = \dfrac{x}{V_0\cos\alpha}$.

On reporte dans $y = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + V_0\sin(\alpha)\,t$:

$$y = -\frac{1}{2}\,g\left(\frac{x}{V_0\cos\alpha}\right)^2 + V_0\sin\alpha\times\frac{x}{V_0\cos\alpha}$$

Comme $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$:

$y = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{(V_0\cos\alpha)^2} + \tan(\alpha)\,x$: de la forme $y = a\,x^2 + b\,x$ avec $a < 0$, c'est une parabole tournée vers le bas.

PIÈGE
Oublier de justifier le mot « parabolique » : il faut dire que y est un polynôme du second degré en x.

MÉTHODE
Équation de trajectoire : isoler t dans l'équation de x (la plus simple), le remplacer dans celle de y, puis simplifier.

2.2 Pour $\alpha = 51^\circ$ et $V_0 = 5{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, calculer l'abscisse du point d'impact de la boule avec le sol.

Données utiles O est à 1,2 m au-dessus du sol ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Le sol est à 1,2 m sous l'origine O : au point d'impact, $y = -1{,}2$ m.

L'équation de la trajectoire s'écrit $a\,x^2 + b\,x + c = 0$ avec :

$a = -\dfrac{g}{2\,(V_0\cos\alpha)^2} = -\dfrac{9{,}81}{2\times(5{,}5\times\cos 51^\circ)^2} = -0{,}409\ \text{m}^{-1}$; $b = \tan 51^\circ = 1{,}23$; $c = 1{,}2$ m.

Discriminant, calculé avec les valeurs non arrondies de a et b : $\Delta = b^2 - 4ac = 3{,}49 > 0$.

Deux solutions : $x_1 = \dfrac{-b+\sqrt{\Delta}}{2a} = -0{,}77$ m et $x_2 = \dfrac{-b-\sqrt{\Delta}}{2a} = 3{,}8$ m.

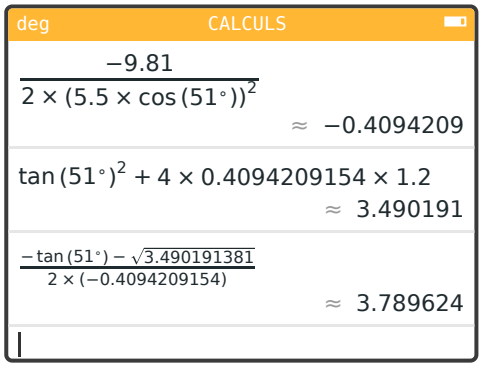
La boule est lancée vers les x positifs : on retient x_2.

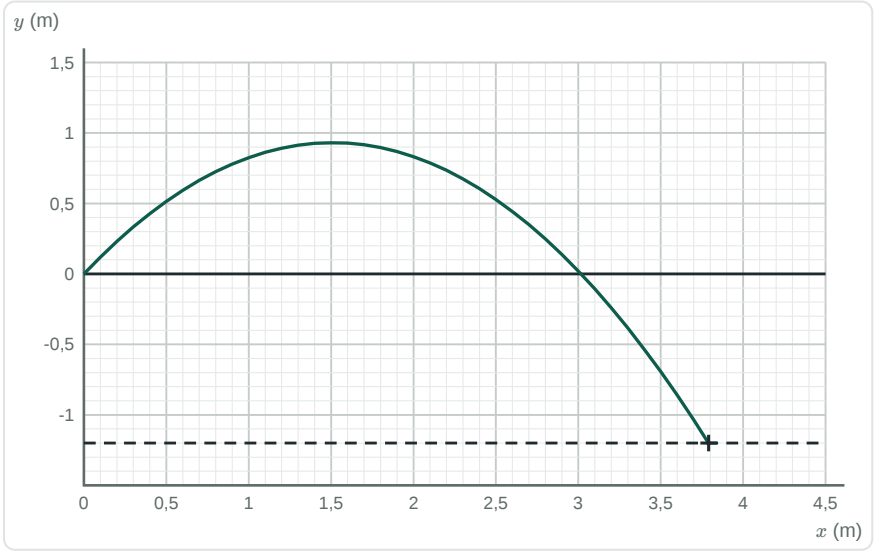
$x_{\text{impact}} \approx 3{,}8$ m

PIÈGE
Écrire $y = +1{,}2$ m ou $y = 0$ à l'impact. L'origine est la main du joueur, pas le sol : le sol a une ordonnée négative.

COMPRENDRE
Garder les valeurs de a et b en mémoire de la calculatrice : avec les arrondis intermédiaires on obtient 3,78 m au lieu de 3,79 m. Résultat cohérent : le bouchon est à 6 m au moins, la boule doit encore rouler.

À LA CALCULATRICE





2.2 · Trajectoire calculée ($\alpha = 51^\circ$, $V_0 = 5{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ; le sol est la droite $y = -1{,}2$ m

1 Partie B. Nommer les deux grandeurs dont la conservation est exprimée par les deux relations données pour le choc.

Première relation, vectorielle, en $m\vec{V}$: conservation de la **quantité de mouvement** du système formé par les deux boules, $\vec{p} = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2$ (la boule 1 est immobile avant le choc).

Seconde relation, en $\frac{1}{2}mV^2$: conservation de l'**énergie cinétique** du système.

Quantité de mouvement et énergie cinétique du système {boule 1 + boule 2}.

COMPRENDRE
La quantité de mouvement $\vec{p} = m\vec{v}$ et sa conservation figuraient au programme de Terminale S. Elles ne sont plus au programme actuel de spécialité, où la deuxième loi de Newton s'écrit avec l'accélération.

COMPRENDRE
Un choc qui conserve aussi l'énergie cinétique est dit élastique : c'est un modèle, acceptable pour deux boules d'acier.

2 Partie B. Associer chaque relation entre les masses (A : $m_1 = m_2$; B : $m_1 > m_2$; C : $m_1 < m_2$) à l'une des propositions 1, 2 ou 3, en justifiant.

Données utiles $\overrightarrow{V_1'} = \frac{2m_2}{m_1+m_2}\overrightarrow{V_2}$; $\overrightarrow{V_2'} = \frac{m_2-m_1}{m_1+m_2}\overrightarrow{V_2}$

Le coefficient de $\overrightarrow{V_1'}$ est toujours positif : la boule 1 part dans le sens de $\overrightarrow{V_2}$. Tout dépend du signe de $m_2 - m_1$.

A ($m_1 = m_2$) : $\overrightarrow{V_1'} = \frac{2m_2}{2m_2}\overrightarrow{V_2} = \overrightarrow{V_2}$ et $\overrightarrow{V_2'} = \vec{0}$. La boule 2 s'arrête, la boule 1 prend sa vitesse : proposition 3.

B ($m_1 > m_2$) : $m_2 - m_1 < 0$, donc $\overrightarrow{V_2'}$ est de sens opposé à $\overrightarrow{V_2}$. La boule G_2 repart en sens inverse : proposition 1.

C ($m_1 < m_2$) : $m_2 - m_1 > 0$, donc $\overrightarrow{V_2'}$ garde le sens de $\overrightarrow{V_2}$. De plus $m_2 - m_1 < 2m_2$, donc $V_2' < V_1'$: la boule G_2 avance derrière G_1, moins vite. Proposition 2.

A – 3 ; B – 1 ; C – 2

COMPRENDRE
Le schéma du sujet représente le cas C. Avec les masses du texte (pointeur 710 g, tireur 700 g au plus), on est dans le cas B, tout près de A : la boule du tireur reste presque sur place.

MÉTHODE
Deux vecteurs liés par $\vec{u} = k\vec{v}$ ont le même sens si $k > 0$ et des sens opposés si $k < 0$. Il suffit d'étudier le signe du coefficient.

3 Partie B. Que se passe-t-il si la masse m_1 est très largement supérieure à la masse m_2 ?

Si $m_1 \gg m_2$, alors $m_1 + m_2 \approx m_1$ et $m_2 - m_1 \approx -m_1$.

$\frac{2m_2}{m_1+m_2} \approx \frac{2m_2}{m_1} \approx 0$, donc $\overrightarrow{V_1'} \approx \vec{0}$: la boule 1 reste pratiquement immobile.

$\frac{m_2-m_1}{m_1+m_2} \approx -1$, donc $\overrightarrow{V_2'} \approx -\overrightarrow{V_2}$.

La boule 2 rebondit sur la boule 1, qui ne bouge presque pas, et repart en sens inverse avec la même valeur de vitesse, $8{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

COMPRENDRE
C'est le rebond d'une balle sur un mur : l'obstacle très lourd reçoit de la quantité de mouvement mais presque aucune énergie cinétique.

L'acide lévulinique, une molécule qui a de l'avenir

Bac S 2017 Liban (ancien programme) · Exercice 2 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

1.1 Citer les paramètres que les chercheurs ont fait varier pour optimiser la synthèse.

D'une synthèse à l'autre, trois paramètres changent :

- la matière première (et donc sa teneur en cellulose) ;
- le mode de chauffage : avec irradiation micro-ondes pendant 15 min, ou sans pendant 60 min ;
- la nature du catalyseur (acide chlorhydrique ou acide sulfurique).

Paramètres modifiés : matière première, irradiation micro-ondes (avec la durée associée), nature du catalyseur.

COMPRENDRE
La température (200 °C), la masse de matière première, le volume d'eau et la quantité de catalyseur restent identiques : ce ne sont pas des paramètres étudiés.

1.2 Identifier le paramètre favorisant le rendement mis en évidence par les synthèses 2 et 3. Justifier.

Les synthèses 2 et 3 utilisent la même matière première (sciure de peuplier) et le même catalyseur. Seul le mode de chauffage diffère.

Sans micro-ondes, le rendement vaut 37 % en 60 min ; avec micro-ondes, il atteint 45,8 % en seulement 15 min.

L'irradiation micro-ondes favorise le rendement (45,8 % contre 37 %), pour une durée quatre fois plus courte.

MÉTHODE
Pour isoler l'effet d'un paramètre, comparer deux expériences qui ne diffèrent que par lui, puis citer les deux valeurs de rendement.

1.3 Identifier le paramètre ayant une influence sur le rendement mis en évidence par les synthèses 2 et 4. Préciser son influence.

Les synthèses 2 et 4 ont le même catalyseur, la même durée (60 min) et aucune irradiation. Elles diffèrent par la matière première : sciure de peuplier (2) ou boues de papier (4).

Les teneurs en cellulose sont presque égales (57,6 % et 57,1 %), mais le rendement passe de 37 % à 55,1 %.

La nature de la matière première influe sur le rendement : les boues de papier sont plus favorables que la sciure de peuplier.

PIÈGE
Attribuer l'écart à la teneur en cellulose : elle est quasiment la même dans les deux cas. C'est la nature du déchet qui compte.

1.4 Quel catalyseur est-il préférable de choisir ? Justifier.

Les synthèses 4 et 6 ne diffèrent que par le catalyseur (boues de papier, 60 min, sans micro-ondes). Le rendement vaut 55,1 % avec l'acide chlorhydrique et 26,5 % avec l'acide sulfurique.

L'acide chlorhydrique est préférable : le rendement est environ deux fois plus grand (55,1 % contre 26,5 %).

1.5 Quelle expérience correspond à la synthèse de l'acide lévulinique la plus « verte » possible ? Justifier.

La synthèse 5 réunit les conditions les plus favorables :

- le meilleur rendement (55,5 %), donc le moins de matière perdue ;
- la durée de chauffage à 200 °C la plus courte (15 min) : meilleur rendement énergétique (principe 6) ;
- une matière première renouvelable, issue de déchets (principe 7) ;
- un catalyseur en très petite quantité (principe 9).

La synthèse 5 est la plus « verte » : meilleur rendement, obtenu en 15 min seulement, à partir de déchets.

COMPRENDRE
Les synthèses 4 et 5 ont des rendements voisins (55,1 % et 55,5 %) : c'est la durée de chauffage, quatre fois plus courte, qui les départage.

1.6 Déterminer la masse expérimentale m_{exp} d'acide lévulinique réellement obtenue dans l'expérience 5.

Données utiles $m = 1{,}75$ g de boues de papier ; teneur en cellulose : 57,1 % en masse ; rendement : 55,5 % ; $M_{motif} = 162{,}1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_{acide} = 116{,}1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse de cellulose : $m_{cel} = 0{,}571 \times m = 0{,}571 \times 1{,}75 = 0{,}999$ g.

Quantité de motifs de cellulose : $n_{motif} = \dfrac{m_{cel}}{M_{motif}} = \dfrac{0{,}999}{162{,}1} = 6{,}16 \times 10^{-3}$ mol.

Un motif donne au plus une molécule d'acide : $n_{max} = n_{motif}$. Avec un rendement $\eta = 0{,}555$: $n_{exp} = \eta \times n_{motif}$.

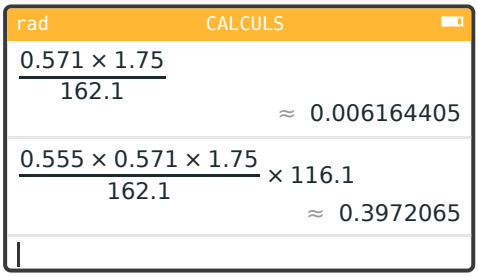
$$m_{exp} = \eta \times \frac{0{,}571 \times m}{M_{motif}} \times M_{acide} = 0{,}555 \times \frac{0{,}571 \times 1{,}75}{162{,}1} \times 116{,}1$$

$m_{exp} = 0{,}397$ g

PIÈGE
Diviser 1,75 g par 162,1 : la matière première ne contient que 57,1 % de cellulose. Autre oubli fréquent : le rendement de 55,5 %.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme les données (1,75 g ; 57,1 % ; 55,5 %). Le nombre n de motifs par macromolécule n'intervient pas : on raisonne par mole de motifs.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Recopier l'équation de la réaction 1 en formules topologiques. Entourer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

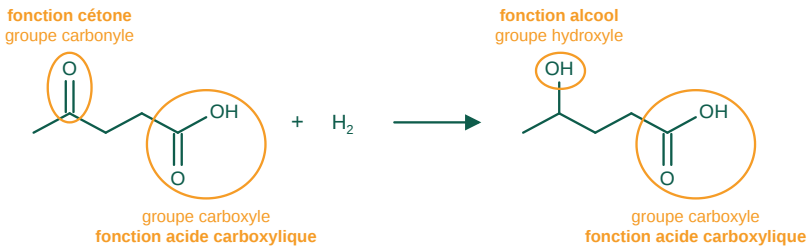
Voir le schéma ci-dessous.

Acide lévulinique : groupe carbonyle porté par un carbone lié à deux carbones (fonction cétone) et groupe carboxyle (fonction acide carboxylique).

Composé 1 : groupe hydroxyle (fonction alcool) et groupe carboxyle (fonction acide carboxylique).

Réactif : cétone et acide carboxylique ; produit : alcool et acide carboxylique.

PIÈGE
Entourer séparément le C=O et le OH du groupe carboxyle et annoncer « cétone + alcool » : l'ensemble –COOH forme une seule fonction, l'acide carboxylique.



2.1.1 · Réaction 1 en formules topologiques, groupes caractéristiques entourés

2.1.2 À quelle catégorie de réaction la réaction 1 appartient-elle ?

Deux réactifs (l'acide lévulinique et H_2) donnent un seul produit. Les deux atomes d'hydrogène se fixent sur le carbone et l'oxygène de la double liaison $C{=}O$, qui devient une liaison simple.

La réaction 1 est une addition.

MÉTHODE
Addition : une liaison double disparaît, un seul produit. Élimination : une liaison double apparaît, une petite molécule est libérée. Substitution : un atome ou groupe en remplace un autre.

2.1.3 Recopier la formule semi-développée de l'acide lévulinique, entourer les groupes de protons équivalents et prédire la multiplicité du signal RMN de chaque groupe.

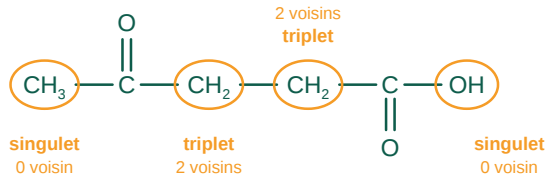
La molécule comporte quatre groupes de protons équivalents (schéma ci-dessous). Un groupe ayant n protons voisins, portés par les carbones adjacents, donne un signal de $n+1$ pics.

- CH_3 : le carbone voisin ($C{=}O$) ne porte aucun H, $n=0$: singulet.
- CH_2 lié au $C{=}O$ de la cétone : 2 voisins : triplet.
- CH_2 lié au groupe carboxyle : 2 voisins : triplet.
- H du groupe $COOH$: singulet.

Quatre signaux : deux singulets (CH_3 et OH) et deux triplets (les deux CH_2).

PIÈGE
Compter les deux CH_2 comme un seul groupe : ils n'ont pas le même environnement (l'un proche de la cétone, l'autre de l'acide).

COMPRENDRE
La RMN du proton ne figure plus au programme actuel de spécialité de Terminale. Le proton d'un groupe OH ne se couple pas avec ses voisins : il donne un singulet.



2.1.3 · Groupes de protons équivalents de l'acide lévulinique et multiplicités

2.1.4 Expliquer comment s'assurer de l'existence du composé 1 à la fin de la réaction 1, par spectroscopie IR et par RMN du proton.

IR. Le composé 1 possède une fonction alcool, absente de l'acide lévulinique : son spectre doit présenter une bande forte et large entre 3200 et 3400 $\mathrm{cm^{-1}}$ (liaison O–H d'un alcool).

RMN. Le composé 1, $\mathrm{CH_3-CH(OH)-CH_2-CH_2-COOH}$, compte six groupes de protons équivalents, donc six signaux au lieu de quatre. En particulier, le signal du $\mathrm{CH_3}$ devient un doublet (un voisin, le H du CH) alors que c'était un singulet dans l'acide lévulinique.

IR : apparition de la bande O–H alcool (3200 – 3400 $\mathrm{cm^{-1}}$). RMN : six signaux, dont un doublet pour $\mathrm{CH_3}$.

PIÈGE
Invoquer la disparition de la bande C=O de la cétone (1700 – 1740 $\mathrm{cm^{-1}}$) : celle de l'acide carboxylique (1700 – 1725 $\mathrm{cm^{-1}}$) subsiste au même endroit, le critère est peu visible.

COMPRENDRE
Les six groupes du composé 1 : $\mathrm{CH_3}$ (doublet), CH (5 voisins : sextuplet), OH alcool (singulet), deux $\mathrm{CH_2}$ distincts (quadruplet et triplet), OH acide (singulet).

2.1.5 Donner les représentations de Cram des deux stéréoisomères du composé 1. Par quelle relation de stéréoisomérie sont-ils liés ? Justifier.

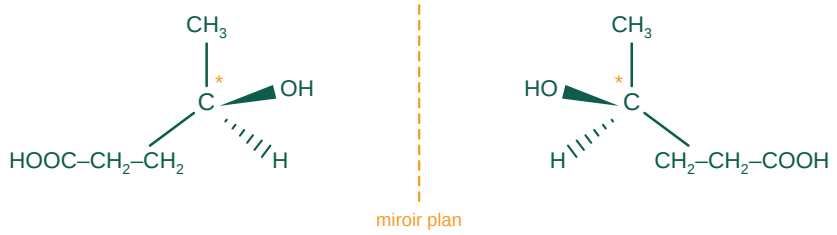
Le carbone qui porte le groupe OH est lié à quatre groupes différents : H, OH, $\mathrm{CH_3}$ et $\mathrm{CH_2-CH_2-COOH}$. C'est un carbone asymétrique (repéré par un astérisque sur le schéma), et c'est le seul de la molécule.

La molécule est donc chirale : elle existe sous deux formes, chacune étant l'image de l'autre dans un miroir plan sans lui être superposable (schéma ci-dessous).

Les deux stéréoisomères du composé 1 sont des énantiomères.

COMPRENDRE
Représentation de Cram, carbone asymétrique et énantiomérie ne sont plus au programme actuel de spécialité de Terminale.

MÉTHODE
Cram : trait plein dans le plan, triangle plein vers l'avant, triangle hachuré vers l'arrière. Pour passer d'un énantiomère à l'autre, dessiner l'image dans un miroir ou échanger deux groupes.



2.1.5 · Les deux stéréoisomères du composé 1 en représentation de Cram

2.1.6 Sur l'annexe, compléter les étapes a et b du mécanisme d'estérification à l'aide du formalisme des flèches courbes.

Une flèche courbe part d'un doublet d'électrons (site donneur) et pointe vers le site accepteur.

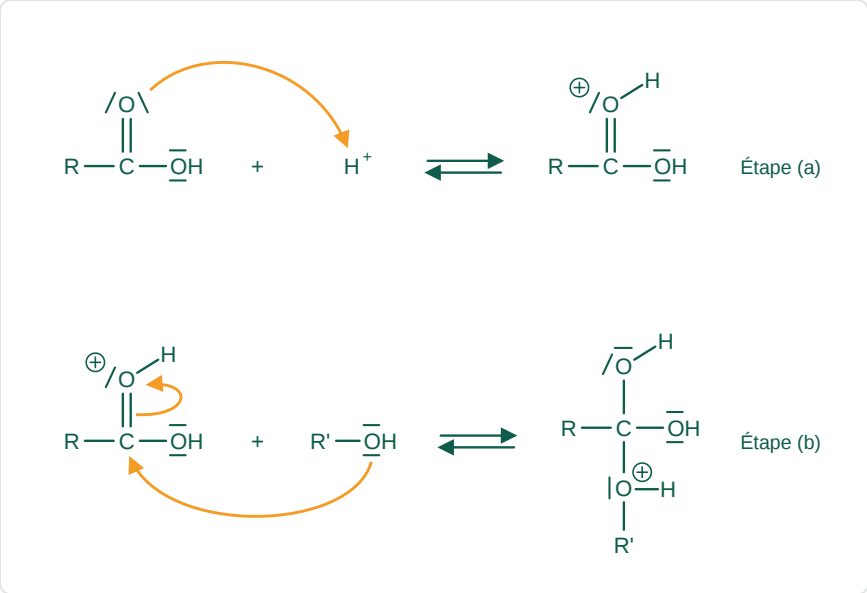
Étape (a). Une flèche part d'un doublet non liant de l'oxygène du groupe $\mathrm{C=O}$ et va vers l'ion $\mathrm{H^+}$ (accepteur) : la liaison O–H se forme.

Étape (b). Une flèche part d'un doublet non liant de l'oxygène de l'alcool $\mathrm{R'-OH}$ et va vers le carbone lié à l'oxygène chargé positivement (accepteur) : la liaison C–O se forme. Une seconde flèche part de la double liaison $\mathrm{C=O}$ et va vers cet oxygène, qui récupère un doublet non liant et perd sa charge.

Étape (a) : une flèche, de O vers $\mathrm{H^+}$. Étape (b) : deux flèches, de O de l'alcool vers C, puis de la double liaison vers O.

PIÈGE
Faire partir la flèche de $\mathrm{H^+}$ ou de la charge positive : une flèche courbe décrit le déplacement d'un doublet, elle part toujours des électrons.

COMPRENDRE
À l'étape (b), sans la seconde flèche, le carbone aurait cinq liaisons. Le doublet de la double liaison bascule sur l'oxygène pour respecter la règle de l'octet.



2.1.6 · Annexe complétée : flèches courbes des étapes (a) et (b)

2.2.1 Justifier la nécessité de trouver des synthèses ne menant qu'à un seul stéréoisomère dans l'industrie pharmaceutique.

Deux stéréoisomères n'ont pas la même géométrie dans l'espace. Or les récepteurs biologiques de l'organisme sont eux-mêmes chiraux : ils ne reconnaissent pas de la même façon les deux formes. L'une peut être le principe actif recherché, l'autre être inactive, voire toxique.

Il faut obtenir uniquement le stéréoisomère actif : cela évite un mélange à séparer et la présence d'une forme inefficace ou dangereuse.

2.2.2 Quelle est la quantité initiale n_{acide} d'acide lévulinique transformée lors de cette synthèse ?

Données utiles $V = 0{,}75$ mL ; $C_m = 785\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $M_{acide} = 116{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse d'acide dissous : $m_{acide} = C_m \times V$, avec $V = 0{,}75 \times 10^{-3}$ L.

$$n_{acide} = \frac{C_m \times V}{M_{acide}} = \frac{785 \times 0{,}75 \times 10^{-3}}{116{,}1}$$

$n_{acide} = 5{,}1 \times 10^{-3}$ mol

PIÈGE
Laisser V en mL alors que C_m est en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: le résultat serait mille fois trop grand.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $V = 0{,}75$ mL, la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{785 \times 0.75 \times 10^{-3}}{116.1} \approx 0.005071059$$

2.2.3 Calculer le volume maximal théorique V_{max} de valérolactone. Le volume V' obtenu est-il compatible avec le rendement de 78 % de la réaction 2' indiqué dans la publication ?

Données utiles n_{acide} (2.2.2) ; $V' = 0{,}38$ mL ; valérolactone : $M_{GLV} = 100{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\rho_{GLV} = 1{,}05\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

D'après les équations 1' et 2', une mole d'acide donne une mole de composé 2, puis une mole de valérolactone : $n_{max} = n_{acide}$.

$$V_{max} = \frac{n_{acide} \times M_{GLV}}{\rho_{GLV}} = \frac{5{,}07 \times 10^{-3} \times 100{,}1}{1{,}05} = 0{,}48\ \text{mL}$$

Rendement expérimental : $\eta = \dfrac{V'}{V_{max}} = \dfrac{0{,}38}{0{,}48} = 0{,}79$, soit 79 %.

La réaction 1' étant totale (100 %), le rendement global est celui de la réaction 2'.

$V_{max} = 0{,}48$ mL ; rendement de 79 %, compatible avec les 78 % annoncés.

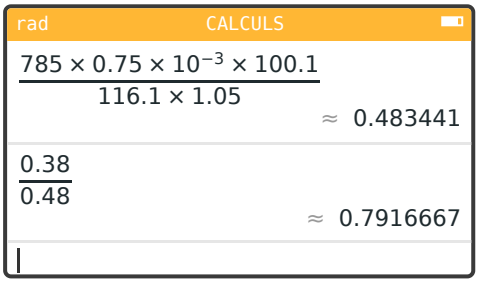
PIÈGE

Utiliser la masse volumique de l'acide lévulinique (1,14) au lieu de celle de la valérolactone (1,05), ou oublier que ρ en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ donne directement un volume en mL.

COMPRENDRE

Avec deux chiffres significatifs sur V et V', un écart d'un point entre 79 % et 78 % n'est pas significatif.

À LA CALCULATRICE



Interférences avec des atomes froids

Bac S 2017 Liban (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Montrer que la vitesse d'un atome au niveau de la double fente est verticale et que sa valeur est $v_F = \sqrt{2\,g\,L}$.

Données utiles atome lâché sans vitesse initiale ; piège à la hauteur L au-dessus des fentes

Système {atome de néon}, de masse m constante ; référentiel du laboratoire supposé galiléen. Repère : origine O au piège, axe (Ox) horizontal, axe (Oy) vertical orienté vers le bas.

Chute libre : la seule force est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$. Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = m\,\vec{g}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$, soit $a_x = 0$ et $a_y = g$.

Par intégration, avec $\vec{v}_0 = \vec{0}$: $v_x = 0$ et $v_y = g\,t$. La composante horizontale reste nulle : la vitesse est **verticale**.

Nouvelle intégration, avec $x_0 = y_0 = 0$: $x = 0$ et $y = \dfrac{1}{2}\,g\,t^2$.

Aux fentes, $y = L$: $t_F = \sqrt{\dfrac{2L}{g}}$, d'où $v_F = g\,t_F = g\sqrt{\dfrac{2L}{g}}$.

$v_F = \sqrt{2\,g\,L}$, vitesse verticale dirigée vers le bas.

PIÈGE
Oublier de justifier les constantes d'intégration. Ce sont les conditions initiales (vitesse nulle, atome en O) qui les annulent : il faut l'écrire.

MÉTHODE
Plus rapide : conservation de l'énergie mécanique entre le piège et les fentes, $\dfrac{1}{2}\,m\,v_F^2 = m\,g\,L$. Mais elle ne donne que la valeur : la direction verticale demande les composantes de $\vec{v}$.

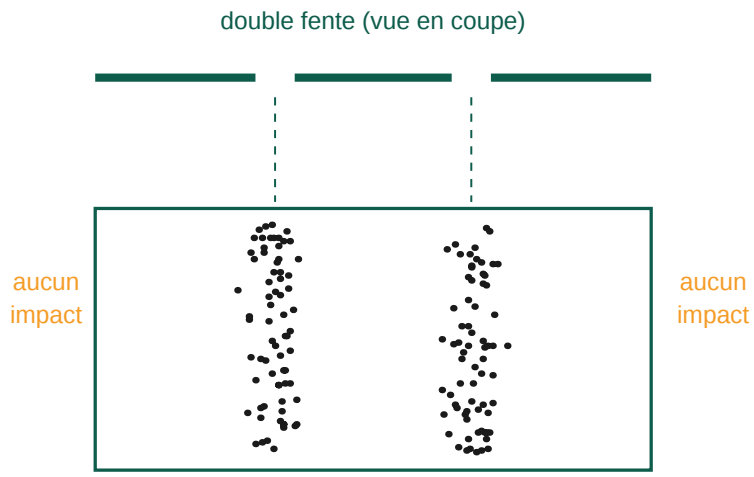
1.2 Dans le cadre de la mécanique de Newton, dessiner la répartition d'un grand nombre d'atomes détectés sur l'écran.

En mécanique de Newton, chaque atome est un corpuscule qui suit une trajectoire verticale : il traverse l'une des deux fentes, ou il est arrêté par la plaque.

Les impacts se regroupent donc à la verticale de chaque fente.

Deux taches d'impacts sur l'écran, une sous chaque fente, et aucun impact ailleurs.

COMPRENDRE
Ce dessin n'a que deux bandes. L'expérience en montre davantage, avec des zones sans impact entre elles : le modèle de Newton ne suffit pas, d'où la partie 2.



1.2 · Répartition attendue en mécanique de Newton : deux taches, une sous chaque fente

2.1 La figure obtenue sur l'écran est une figure d'interférences. Quel caractère de la matière est ainsi mis en évidence ?

Les interférences sont un phénomène propre aux ondes.

L'expérience met en évidence le caractère **ondulatoire** de la matière.

COMPRENDRE
Chaque impact reste ponctuel (aspect corpusculaire), mais la répartition des 6000 impacts dessine des franges (aspect ondulatoire). Les ondes de matière ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

2.2 Quelle relation lie les grandeurs p, m et v_F au niveau de la fente ? Préciser l'unité de chaque grandeur.

La quantité de mouvement est le produit de la masse par la vitesse.

$p = m\,v_F$, avec p en $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, m en kg et v_F en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

COMPRENDRE
La quantité de mouvement n'est plus au programme actuel de spécialité : on y écrit la deuxième loi de Newton avec $m\,\vec{a}$ seulement.

2.3 Montrer que la longueur d'onde λ_{th} associée à un atome de néon au niveau de la double fente vaut $1{,}6 \times 10^{-8}$ m.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $m = 3{,}35 \times 10^{-26}$ kg ; $v_F = 1{,}2$ m · s^{-1}

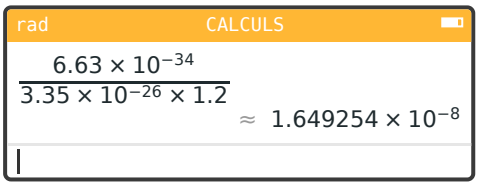
Relation de de Broglie avec $p = m\,v_F$ (2.2) : $\lambda_{th} = \dfrac{h}{p} = \dfrac{h}{m\,v_F}$

$$\lambda_{th} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}}{3{,}35 \times 10^{-26} \times 1{,}2} = 1{,}65 \times 10^{-8}\ \text{m}$$

$\lambda_{th} = 1{,}6 \times 10^{-8}$ m : c'est la valeur attendue.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme v_F, la donnée la moins précise. La calculatrice affiche 1,649… : l'énoncé garde 1,6, on le suit.

À LA CALCULATRICE



2.4 À partir de l'annexe, déterminer avec le plus de précision possible la valeur de l'interfrange.

Données utiles annexe : figure d'interférences et son échelle (double flèche de 1 mm)

L'interfrange i est la distance entre les milieux de deux franges voisines de même nature. Pour gagner en précision, on mesure plusieurs interfranges à la fois.

L'annexe montre cinq franges riches en impacts : il y a 4 interfranges entre les milieux des deux franges extrêmes.

Mesures à la règle sur l'annexe : $4\,i$ ↔ 3,4 cm ; échelle : 1 mm ↔ 4,0 cm.

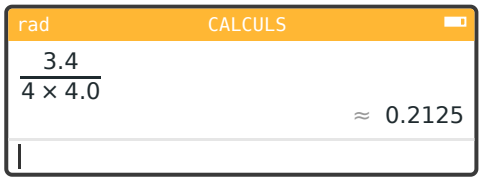
$$i = \frac{3{,}4}{4 \times 4{,}0} \times 1\ \text{mm} = 0{,}21\ \text{mm}$$

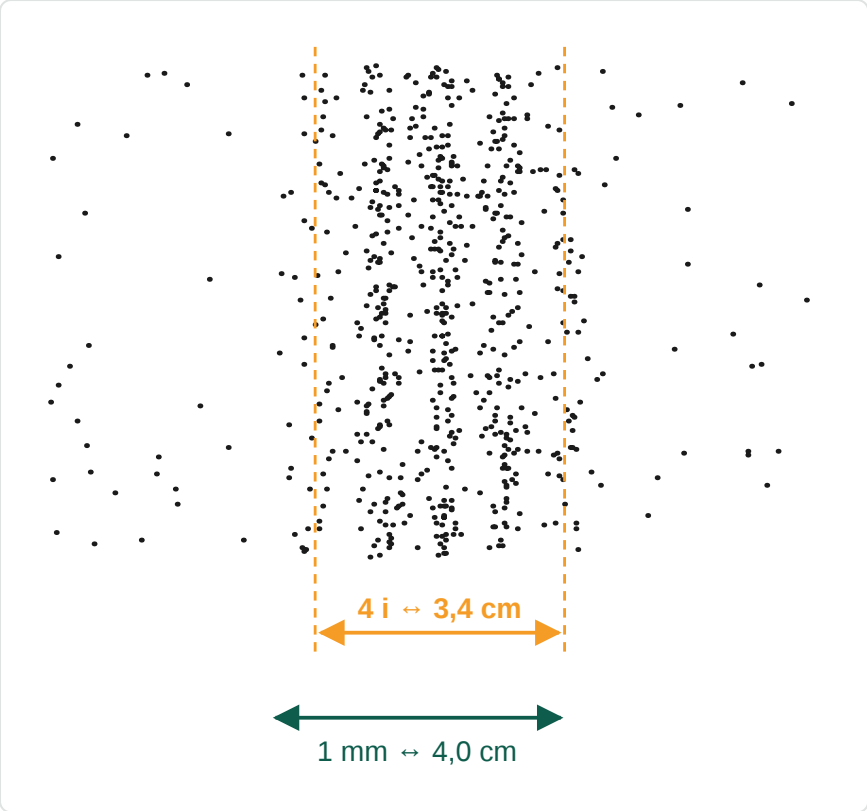
$i \approx 0{,}21$ mm, soit $2{,}1 \times 10^{-4}$ m.

PIÈGE
Mesurer un seul interfrange : l'erreur de lecture, environ 1 mm, pèse alors quatre fois plus. Autre erreur : compter 5 interfranges pour 5 franges, alors qu'il n'y en a que 4.

COMPRENDRE
Les longueurs en centimètres dépendent de l'impression de l'annexe. Seul leur rapport compte : il donne i entre 0,20 et 0,22 mm.

À LA CALCULATRICE





2.4 · Annexe complétée : quatre interfranges entre les franges extrêmes

2.5 Déterminer, parmi les trois formules proposées, celle qui permet de calculer l'interfrange. Préciser la méthode utilisée.

Données utiles $i = \dfrac{\lambda D}{d}$; $i = \dfrac{\lambda^2 d}{D}$; $i = \dfrac{d D}{\lambda^2}$

Méthode : analyse dimensionnelle. L'interfrange est une longueur, comme λ, D et d ; la bonne formule doit s'exprimer en mètre.

- $\dfrac{\lambda D}{d}$: $\dfrac{\text{m} \times \text{m}}{\text{m}} = \text{m}$, homogène à une longueur.
- $\dfrac{\lambda^2 d}{D}$: $\dfrac{\text{m}^2 \times \text{m}}{\text{m}} = \text{m}^2$, une surface.
- $\dfrac{d D}{\lambda^2}$: $\dfrac{\text{m} \times \text{m}}{\text{m}^2}$, sans unité.

Seule $i = \dfrac{\lambda D}{d}$ convient.

MÉTHODE
Entre plusieurs formules, on teste d'abord l'unité de chacune. Ici le test suffit, car une seule proposition a l'unité d'une longueur.

2.6 En déduire la valeur expérimentale λ_{exp} de la longueur d'onde de de Broglie associée aux atomes de néon.

Données utiles $i = 0{,}21$ mm (2.4) ; $d = 6\ \mu\text{m}$; $D = 113$ mm

D'après 2.5 : $\lambda_{exp} = \dfrac{i\,d}{D}$

$$\lambda_{exp} = \frac{0{,}21 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^{-6}}{113 \times 10^{-3}} = 1{,}1 \times 10^{-8}\ \text{m}$$

$\lambda_{exp} \approx 1{,}1 \times 10^{-8}$ m (soit 1×10^{-8} m avec un seul chiffre significatif, comme d).

PIÈGE
Laisser i et D en millimètres et d en micromètres : le résultat est alors faux d'un facteur 10^6. Tout convertir en mètres avant le calcul.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.21 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^{-6}}{113 \times 10^{-3}} \approx 1.115044 \times 10^{-8}$$

2.7 Comparer les longueurs d'onde λ_{exp} et λ_{th}.

Données utiles $\lambda_{th} = 1{,}6 \times 10^{-8}$ m (2.3) ; $\lambda_{exp} = 1{,}1 \times 10^{-8}$ m (2.6)

Les deux valeurs ont le même ordre de grandeur, 10^{-8} m, mais $\lambda_{exp} < \lambda_{th}$.

Écart relatif : $\dfrac{\lambda_{th} - \lambda_{exp}}{\lambda_{th}} = \dfrac{1{,}6 - 1{,}1}{1{,}6} = 0{,}31$

λ_{exp} est inférieure à λ_{th} d'environ 30 % : l'accord n'est pas satisfaisant.

MÉTHODE

« Comparer » deux valeurs demande une conclusion chiffrée : un écart relatif ou un rapport, puis une phrase qui dit si l'accord est acceptable.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.6 - 1.1}{1.6} \approx 0.3125$$

2.8.1 La gravitation continue de s'exercer après les fentes. Comment évolue la quantité de mouvement des atomes de néon entre la double fente et l'écran ?

Entre les fentes et l'écran, les atomes tombent encore sous l'effet de la pesanteur : leur vitesse continue de croître.

Comme $p = m\,v$ avec m constante :

La quantité de mouvement **augmente** entre la double fente et l'écran.

2.8.2 Comparer qualitativement la longueur d'onde associée aux atomes de néon au niveau de la double fente et au niveau de l'écran.

D'après la relation de de Broglie, $\lambda = \dfrac{h}{p}$ avec h constante : λ varie en sens inverse de p.

Or p augmente pendant la chute (2.8.1).

La longueur d'onde est **plus petite** au niveau de l'écran qu'au niveau de la double fente.

2.8.3 À quelle longueur d'onde aurait-on dû comparer la longueur d'onde obtenue expérimentalement ?

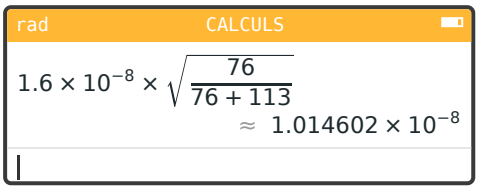
L'interfrange est mesuré sur l'écran : λ_{exp} renseigne sur l'onde de matière telle qu'elle arrive sur l'écran, après une chute supplémentaire de hauteur D.

Il aurait fallu comparer λ_{exp} à la longueur d'onde des atomes au niveau de l'écran, plus petite que λ_{th} : cela explique que $\lambda_{exp} < \lambda_{th}$.

COMPRENDRE

Avec 1.1, la vitesse à l'écran vaut $\sqrt{2\,g\,(L+D)}$, donc $\lambda_{\text{écran}} = \lambda_{th}\sqrt{\dfrac{L}{L+D}} \approx 1{,}0 \times 10^{-8}$ m, avec $L = 76$ mm et $D = 113$ mm : très proche de λ_{exp}.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : étude d'un instrument à vent

Bac S 2017 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer que la fréquence fondamentale dans un hautbois est égale à $f_1 = \dfrac{v}{4L}$, v étant la vitesse de l'onde sonore dans le tube.

Données utiles document 1 : tube fermé du côté de l'anche, ouvert du côté du pavillon

Le tube est fermé à l'anche (nœud de vibration N) et ouvert au pavillon (ventre de vibration V). Dans le mode fondamental, on trouve un seul nœud et un seul ventre, séparés par un quart de longueur d'onde (document 1) :

$$L = \frac{\lambda}{4} \quad \text{soit} \quad \lambda = 4L$$

Or la longueur d'onde, la vitesse et la fréquence de l'onde sont liées par $\lambda = \dfrac{v}{f_1}$, donc $f_1 = \dfrac{v}{\lambda}$.

$f_1 = \dfrac{v}{4L}$, ce qui est bien l'expression attendue.

COMPRENDRE
Un nœud et le ventre voisin sont toujours distants de $\lambda/4$; deux nœuds consécutifs, de $\lambda/2$. Un tube ouvert aux deux bouts donnerait donc $L = \lambda/2$ et $f_1 = v/(2L)$.

COMPRENDRE
Les modes de vibration d'une colonne d'air relevaient de l'ancien enseignement de spécialité (thème « son et musique ») ; ils ne figurent plus au programme actuel de terminale.

2 Quelle devrait être la longueur d'un hautbois pour jouer la note Mi_1 lorsque tous les trous sont bouchés ? Commenter. Problème : le tube mesure 66,8 cm tous trous bouchés ; quelle doit être sa longueur pour jouer la note Fa à l'octave 2 ?

Données utiles $v = 350\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $f(\text{Mi}_1) = 82{,}4$ Hz et $f(\text{Do}_1) = 65{,}4$ Hz (document 2) ; raccourcir le tube de 6 % monte la note d'un demi-ton (document 3) ; $f_1 = \dfrac{v}{4L}$ (Q1)

Question 2. Tous trous bouchés, la note jouée est le fondamental du tube entier. D'après la question 1 :

$$L = \frac{v}{4f_1} = \frac{350}{4 \times 82{,}4} = 1{,}06\ \text{m}$$

Un hautbois mesure une soixantaine de centimètres : il faudrait un tube presque deux fois plus long. Le Mi_1 est trop grave pour cet instrument.

Problème. *Note jouée tous trous bouchés* ($L_0 = 66{,}8$ cm $= 0{,}668$ m) :

$$f_0 = \frac{v}{4L_0} = \frac{350}{4 \times 0{,}668} = 131\ \text{Hz}$$

Monter d'une octave double la fréquence : $f(\text{Do}_2) = 2 \times 65{,}4 = 130{,}8$ Hz. Le tube entier joue donc un Do_2.

Du Do_2 au Fa_2. D'après le document 3, Do → Do# → Ré → Ré# → Mi → Fa : il faut monter de 5 demi-tons dans la même octave.

Longueur du tube. Chaque demi-ton laisse 94 % de la longueur précédente (facteur $0{,}94$). Pour 5 demi-tons successifs :

$$L = L_0 \times 0{,}94^5 = 66{,}8 \times 0{,}94^5 = 49{,}0\ \text{cm}$$

Contrôle. $f(\text{Mi}_2) = 2 \times 82{,}4 = 164{,}8$ Hz, d'où $L(\text{Mi}_2) = \dfrac{350}{4 \times 164{,}8} = 0{,}531$ m ; un demi-ton plus haut : $0{,}531 \times 0{,}94 = 0{,}499$ m. Les deux démarches concordent à 1 cm près. La valeur est inférieure à 66,8 cm : un trou ouvert à cette distance de l'anche convient.

Question 2 : $L = 1{,}06$ m, bien plus long qu'un hautbois. Problème : le tube doit mesurer environ **49 cm** pour jouer le Fa_2.

PIÈGE
Retrancher $5 \times 6\ \% = 30\ \%$ de la longueur. Chaque raccourcissement porte sur la longueur déjà réduite : on multiplie cinq fois par $0{,}94$, soit par $0{,}734$ et non par $0{,}70$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs pour $1{,}06$ m, comme v et f. Pour le problème, le « 6 % » n'en a qu'un : on annonce environ 49 cm, sans chercher le millimètre.

MÉTHODE
Résolution de problème : 1) identifier la note de départ en calculant sa fréquence ; 2) compter les demi-tons jusqu'à la note visée ; 3) traduire en longueur ; 4) contrôler par un autre chemin et juger la vraisemblance.

À LA CALCULATRICE

