Corrigé complet — Bac S 2019 Métropole (ancien programme)

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

Ex 1	**De la noix de muscade à la cosmétique** Extraction et recristallisation · Mécanisme réactionnel et flèches courbes · Diagramme de prédominance · Rendement d'une synthèse · Titrage colorimétrique · Incertitude et degré de pureté	9 pts	1 h 30	14 questions	p. 2
Ex 2	**Décollage de la fusée Ariane 5** Chronophotographie · Vitesse et accélération · Deuxième loi de Newton · Poids et poussée · Travail d'une force · Puissance moyenne	6 pts	1 h	8 questions	p. 7
Ex 3	**On vous donne le "la"** Son pur et son complexe · Période et fréquence · Spectre en fréquences · Numérisation d'un signal · Niveau d'intensité sonore · Atténuation	5 pts	50 min	8 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Accorder un diapason** Analyse dimensionnelle · Fréquence d'un son · Longueur d'onde et célérité · Proportionnalité et modèle · Caisse de résonance · 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.

De la noix de muscade à la cosmétique

Bac S 2019 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Donner deux arguments qui justifient l'emploi du dichlorométhane plutôt que de l'éthanol lors des étapes 1 et 2.

Données utiles trimyristine : très soluble dans le dichlorométhane, soluble dans l'éthanol ; $T_{éb}$: 40 °C (dichlorométhane), 78 °C (éthanol)

Étape 1 (extraction) : la trimyristine est **très soluble** dans le dichlorométhane, alors qu'elle est seulement soluble dans l'éthanol. Le dichlorométhane en extrait donc davantage.

Étape 2 (évaporation du solvant) : le dichlorométhane bout à 40 °C, l'éthanol à 78 °C. Il s'élimine plus facilement, avec un chauffage modéré.

Dichlorométhane : meilleur solvant de la trimyristine et solvant plus volatil.

MÉTHODE
Choix d'un solvant d'extraction : comparer d'abord la solubilité de l'espèce à extraire, puis la facilité à éliminer le solvant (température d'ébullition basse). Chaque argument cite une valeur du tableau.

1.2 Justifier l'observation faite dans l'étape 3 (formation progressive d'un solide blanc).

Données utiles trimyristine dans la propanone : soluble à chaud, insoluble à froid

À chaud, la trimyristine est soluble dans la propanone : la solution est homogène.

Dans le bain d'eau glacée, la température baisse et la trimyristine devient insoluble dans la propanone : elle cristallise peu à peu.

Le solide blanc est la trimyristine, insoluble à froid dans la propanone.

COMPRENDRE
C'est une recristallisation : les impuretés solubles à froid restent dans la propanone et sont éliminées avec le filtrat lors de la filtration sur Büchner de l'étape 4.

1.3 La masse de trimyristine obtenue est-elle en accord avec les données ? Justifier.

Données utiles $m_{\text{trimyristine}} = 4{,}75$ g ; $m_{\text{poudre}} = 20{,}0$ g ; pourcentage massique attendu : entre 20 % et 25 %

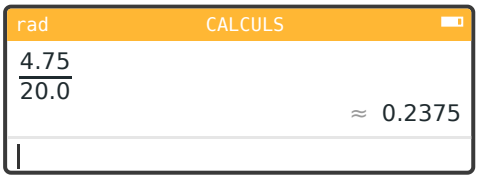
Pourcentage massique de trimyristine extraite :

$$P = \frac{m_{\text{trimyristine}}}{m_{\text{poudre}}} = \frac{4{,}75}{20{,}0} = 0{,}238 = 23{,}8\ \%$$

$20\ \% < 23{,}8\ \% < 25\ \%$: la masse obtenue est en accord avec les données.

COMPRENDRE
Les deux masses ont trois chiffres significatifs : le quotient en garde trois. On peut aussi encadrer la masse attendue : entre $0{,}20 \times 20{,}0 = 4{,}0$ g et $0{,}25 \times 20{,}0 = 5{,}0$ g.

À LA CALCULATRICE



2.1 Donner la formule semi-développée du glycérol, aussi nommé propan-1,2,3-triol.

Chaîne de trois atomes de carbone (propan-), portant chacun un groupe hydroxyle (1,2,3-triol) :

$HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$

PIÈGE
Dans une formule semi-développée, les liaisons avec les atomes d'hydrogène ne sont pas dessinées, mais les liaisons $C-C$ et $C-O$ le sont. Une formule brute $C_3H_8O_3$ ne rapporte pas le point.

2.2 À partir des données, retrouver la formule brute des groupements R.

Données utiles trimyristine : $C_{45}H_{86}O_6$; représentation de la molécule avec trois groupes R identiques

Sur la représentation, les atomes écrits hors des groupes R sont : 6 C (trois de la chaîne et trois des groupes $C{=}O$), 5 H et 6 O.

Il reste pour les trois groupes R : $45 - 6 = 39$ atomes C et $86 - 5 = 81$ atomes H, aucun atome O.

Les trois groupes sont identiques : $\frac{39}{3} = 13$ C et $\frac{81}{3} = 27$ H chacun.

Chaque groupe R a pour formule brute $C_{13}H_{27}$ (soit $C_{39}H_{81}$ pour les trois).

COMPRENDRE
Vérification avec l'acide myristique $R{-}COOH$: $C_{13}H_{27}{-}COOH$ donne bien $C_{14}H_{28}O_2$, la formule du tableau.

2.3 Recopier l'étape du mécanisme, représenter les flèches courbes et citer la catégorie de réaction de cette étape.

Données utiles électronégativités : C 2,6 ; O 3,4

L'atome O de l'ion hydroxyde porte des doublets non liants et une charge négative : c'est le site donneur. L'atome C du groupe ester, lié à deux atomes O plus électronégatifs que lui, porte une charge partielle positive : c'est le site accepteur.

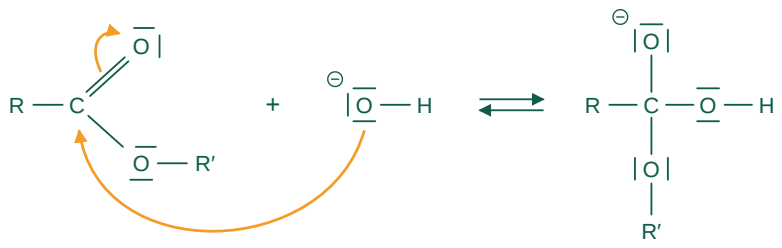
Première flèche : d'un doublet non liant de l'atome O de HO^- vers l'atome C (formation de la liaison $C{-}O$).

Seconde flèche : d'un doublet de la liaison double $C{=}O$ vers l'atome O (ce doublet devient non liant).

Deux réactifs s'assemblent en un seul produit, avec disparition d'une liaison double.

Deux flèches courbes (voir schéma) ; cette étape est une **addition**.

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet (non liant ou liant), jamais d'un atome ni d'une charge, et pointe vers l'atome accepteur ou vers l'atome qui récupère le doublet. Une flèche tracée à l'envers annule la réponse.



2.3 · Étape du mécanisme recopiée ; en orange, les deux flèches courbes à tracer

2.4 Donner, en justifiant, la forme prédominante du couple acide myristique / ion myristate en fin d'ajout de l'acide chlorhydrique.

Données utiles $pK_a(RCOOH/RCOO^-) \approx 5$; pH final voisin de 1

Pour $pH < pK_a$, la forme acide du couple prédomine ; pour $pH > pK_a$, c'est la forme basique.

Ici $pH \approx 1 < pK_a \approx 5$.

L'acide myristique $RCOOH$ prédomine en fin d'ajout.

COMPRENDRE
L'écart est de 4 unités de pH : $\frac{[RCOO^-]}{[RCOOH]} = 10^{pH-pK_a} = 10^{-4}$. La quasi-totalité des ions myristate est transformée en acide, ce qui est le but de l'opération.

2.5.1 Déterminer la quantité de matière maximale d'acide myristique que l'on pourrait obtenir à l'issue de la synthèse.

Données utiles $m_{\text{trimyristine}} = 4{,}75\ \text{g}$; $M_{\text{trimyristine}} = 723\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Les ions hydroxyde sont en excès : la trimyristine est le réactif limitant. D'après la première équation, une mole de trimyristine donne trois moles d'ions myristate ; d'après la seconde, chaque ion myristate donne une molécule d'acide myristique. Donc :

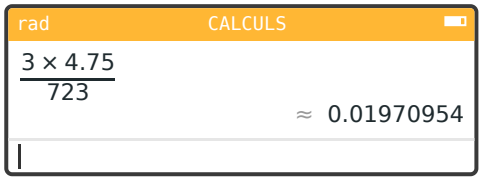
$$n_{\text{max}} = 3\,n_{\text{trimyristine}} = \frac{3\,m_{\text{trimyristine}}}{M_{\text{trimyristine}}}$$

$$n_{\text{max}} = \frac{3\times 4{,}75}{723} = 1{,}97\times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$$\boxed{n_{\text{max}} = 1{,}97\times 10^{-2}\ \text{mol}}$$

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 : une molécule de trimyristine contient trois groupes ester et libère trois ions myristate. Sans lui, le rendement de la question suivante dépasserait 100 %.

À LA CALCULATRICE



2.5.2 Déterminer le rendement de cette synthèse de l'acide myristique à partir de la trimyristine.

Données utiles $m = 3{,}36\ \text{g}$; $M_{\text{acide}} = 228\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; n_{max} (2.5.1)

Masse maximale d'acide myristique :

$$m_{\text{max}} = n_{\text{max}} \times M_{\text{acide}} = \frac{3\times 4{,}75}{723}\times 228 = 4{,}49\ \text{g}$$

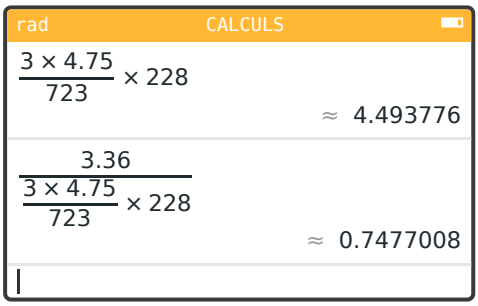
Rendement :

$$\eta = \frac{m}{m_{\text{max}}} = \frac{3{,}36}{4{,}49} = 0{,}748$$

$$\boxed{\eta = 74{,}8\ \%}$$

MÉTHODE
Rendement = quantité obtenue ÷ quantité maximale, en masses ou en quantités de matière, mais pour la même espèce. On garde la valeur non arrondie de n_{max} dans la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



3.1 Écrire l'équation de la réaction support du titrage de l'acide myristique par l'hydroxyde de sodium.

L'acide myristique RCOOH cède un ion H^+ à la base HO^- ; les ions Na^+ sont spectateurs.

$$\boxed{\text{RCOOH} + \text{HO}^- \longrightarrow \text{RCOO}^- + \text{H}_2\text{O}}$$

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage est totale et rapide : elle s'écrit avec une flèche simple.

3.2 Déterminer la concentration massique d'acide myristique de la solution titrée.

Données utiles $C_2 = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 9{,}60\ \text{mL}$; $V_1 = 10{,}00\ \text{mL}$; $M_{\text{acide}} = 228\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation (une mole pour une mole) :

$$n(\text{RCOOH})_{\text{titré}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad C_1 V_1 = C_2 V_E$$

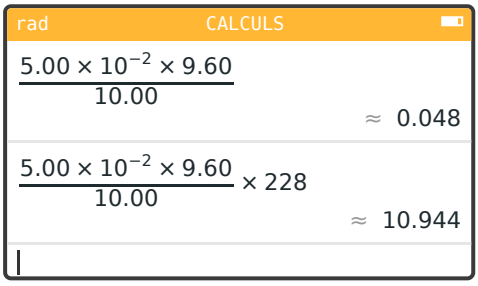
Concentration massique : $C_m = C_1 \times M_{\text{acide}} = \dfrac{C_2 V_E}{V_1} \times M_{\text{acide}}$

$$C_m = \frac{5{,}00 \times 10^{-2} \times 9{,}60}{10{,}00} \times 228 = 10{,}9\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_m = 10{,}9\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (avec $C_1 = 4{,}80 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

PIÈGE
La question demande une concentration massique, en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: s'arrêter à C_1 en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ fait perdre des points. Les deux volumes restent en mL, leur rapport est sans unité.

À LA CALCULATRICE



3.3 En déduire la masse d'acide myristique m_{exp} présente dans la solution S1.

Données utiles C_m (3.2) ; $V_0 = 100{,}00\ \text{mL}$

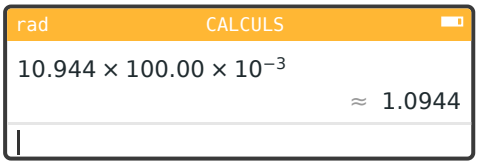
La prise d'essai a la même concentration que la solution S1, de volume V_0 :

$$m_{\text{exp}} = C_m \times V_0 = 10{,}944 \times 100{,}00 \times 10^{-3} = 1{,}09\ \text{g}$$

$m_{\text{exp}} = 1{,}09\ \text{g}$

PIÈGE
Multiplier par $V_1 = 10{,}00$ mL donne la masse d'acide dans la prise d'essai (0,109 g), pas celle de la solution S1 entière.

À LA CALCULATRICE



3.4 Proposer un encadrement de la masse m_{exp} à l'aide de la relation donnée, comparer avec la masse $m_{\text{éch}}$ initialement dissoute et commenter.

Données utiles $V_E = 9{,}60 \pm 0{,}05$ mL ; $C_2 = (5{,}00 \pm 0{,}01) \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} ; $V_1 = 10{,}00 \pm 0{,}05$ mL ; $V_0 = 100{,}00 \pm 0{,}08$ mL ; $m_{\text{éch}} = 1{,}14 \pm 0{,}01$ g ; $m_{\text{exp}} = 1{,}0944$ g (3.3)

D'après la relation fournie :

$$\left(\frac{U(m_{\text{exp}})}{m_{\text{exp}}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}05}{9{,}60}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01}{5{,}00}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{10{,}00}\right)^2 + \left(\frac{0{,}08}{100{,}00}\right)^2 = 5{,}68 \times 10^{-5}$$

$$U(m_{\text{exp}}) = 1{,}0944 \times \sqrt{5{,}68 \times 10^{-5}} = 8{,}2 \times 10^{-3} \text{ g}$$

Arrondie par excès à un chiffre significatif : $U(m_{\text{exp}}) = 0{,}009$ g, donc $m_{\text{exp}} = 1{,}094 \pm 0{,}009$ g.

Masse dissoute : $1{,}13 \text{ g} \leqslant m_{\text{éch}} \leqslant 1{,}15 \text{ g}$.

Les deux intervalles n'ont aucune valeur commune et $m_{\text{exp}} < m_{\text{éch}}$: l'échantillon contient autre chose que de l'acide myristique, le produit n'est pas pur.

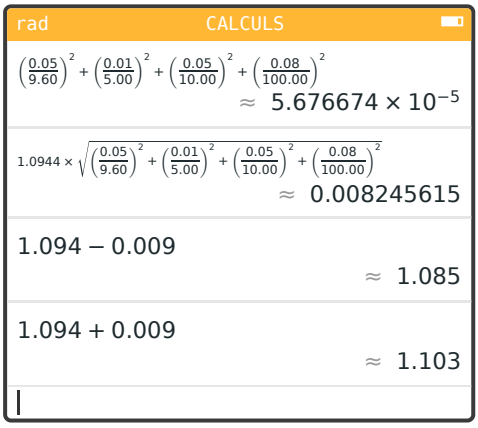
$1{,}085 \text{ g} \leqslant m_{\text{exp}} \leqslant 1{,}103 \text{ g}$: intervalle disjoint de celui de $m_{\text{éch}}$, le produit synthétisé n'est pas pur.

PIÈGE
Dans le terme en C_2, le facteur 10^{-2} se simplifie : on écrit $\frac{0{,}01}{5{,}00}$. Les incertitudes relatives sont sans unité, chaque rapport se calcule avec les mêmes unités en haut et en bas.

COMPRENDRE
Une incertitude se majore et s'écrit avec un seul chiffre significatif ; le résultat est ensuite arrondi au même rang (ici le millième de gramme).

COMPRENDRE
Le programme actuel de spécialité utilise l'incertitude-type u et compare deux valeurs par l'écart normalisé. La démarche reste la même : une formule fournie, puis une comparaison argumentée.

À LA CALCULATRICE



3.5 Déterminer le degré de pureté du produit synthétisé.

Données utiles $m_{\text{exp}} = 1{,}0944$ g (3.3) ; $m_{\text{éch}} = 1{,}14$ g

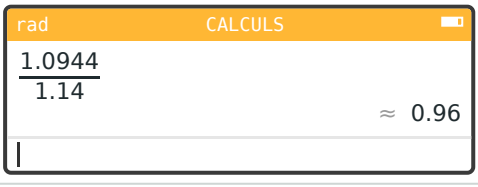
Par définition, $d = \dfrac{\text{masse d'acide myristique dans l'échantillon}}{\text{masse de l'échantillon}}$:

$$d = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{éch}}} = \frac{1{,}0944}{1{,}14} = 0{,}960$$

$d = 0{,}960$, soit un degré de pureté de 96,0 %.

COMPRENDRE
Le rendement de 74,8 % (2.5.2) supposait le produit pur. Avec 96,0 % d'acide dans les 3,36 g obtenus, la masse d'acide réellement formée est un peu plus faible, et le rendement réel aussi.

À LA CALCULATRICE



Décollage de la fusée Ariane 5

Bac S 2019 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Calculer la masse des gaz éjectés pendant les 2,40 s de l'étude. La comparer à la masse au décollage de la fusée et commenter.

Données utiles débit du moteur Vulcain : $270\ \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$; débit de chaque booster : $1{,}8\times10^{3}\ \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$; masse d'Ariane 5 au décollage : 750 à 780 t

La fusée possède un moteur Vulcain et deux boosters. Débit massique total :

$D = 270 + 2\times1{,}8\times10^{3} = 3{,}87\times10^{3}\ \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$

Masse de gaz éjectée pendant $\Delta t = 2{,}40$ s :

$m = D\times\Delta t = 3{,}87\times10^{3}\times2{,}40 = 9{,}3\times10^{3}\ \text{kg}$, soit 9,3 t.

Comparaison avec la masse au décollage la plus faible, $M = 750$ t :

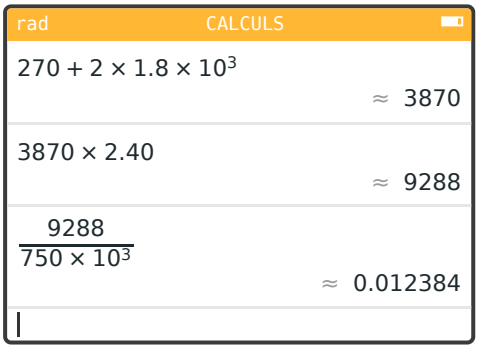
$\dfrac{m}{M} = \dfrac{9{,}3}{750} = 0{,}012$.

$m = 9{,}3\times10^{3}\ \text{kg} \approx 9{,}3$ t, soit environ 1,2 % de la masse de la fusée : cette perte est négligeable, la masse peut être considérée comme constante pendant l'étude.

PIÈGE
Oublier qu'il y a deux boosters, ou comparer des kilogrammes à des tonnes sans convertir.

COMPRENDRE
Le débit des boosters est donné avec deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. On arrondit seulement à la fin, en conservant 3870 dans le calcul.

À LA CALCULATRICE



1.2 Estimer, à l'aide de la figure 2, la valeur de y_5. Détailler la démarche.

Données utiles $y_1 = 30{,}1$ m (figure 3)

Le point repéré sur l'image 1 est le sommet du booster de gauche. On retrouve ce même point sur l'image 5.

L'ordonnée $y_1 = 30{,}1$ m, connue, sert d'échelle. On mesure à la règle, sur la figure 2, la distance verticale entre l'origine de l'axe et le point repéré (les longueurs dépendent de l'impression, seul leur rapport compte) :

- image 1 : 3,3 cm, pour $y_1 = 30{,}1$ m ;
- image 5 : 4,45 cm, pour y_5.

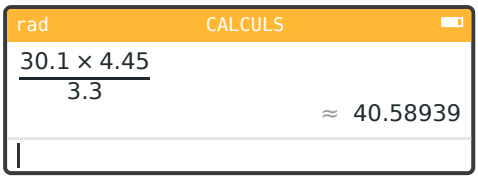
Par proportionnalité : $y_5 = 30{,}1\times\dfrac{4{,}45}{3{,}3}$

$y_5 \approx 41$ m

PIÈGE
Mesurer depuis le bas de la photographie au lieu de l'origine de l'axe, ou repérer sur l'image 5 un autre point de la fusée que sur l'image 1.

COMPRENDRE
Une mesure à la règle se fait au demi-millimètre près : toute valeur entre 40 m et 42 m est acceptable. Contrôle avec le tableau : $v_4 = \dfrac{y_5 - y_3}{t_5 - t_3} = 9{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ donne $y_5 = 41{,}0$ m.

À LA CALCULATRICE



1.3.1 Estimer, à l'aide du tableau de la figure 3, la valeur de v_2. Détailler la démarche et vérifier la cohérence avec le graphe de la figure 4.

Données utiles $y_1 = 30{,}1$ m à $t_1 = 0{,}20$ s ; $y_3 = 33{,}3$ m à $t_3 = 1{,}00$ s

La vitesse à la date t_2 est assimilée à la vitesse moyenne entre les dates t_1 et t_3 qui l'encadrent :

$$v_2 = \frac{y_3 - y_1}{t_3 - t_1} = \frac{33{,}3 - 30{,}1}{1{,}00 - 0{,}20} = \frac{3{,}2}{0{,}80}$$

Sur la figure 4, le point d'abscisse $t = 0{,}6$ s a pour ordonnée $4{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: le résultat est cohérent avec le graphe.

$v_2 = 4{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

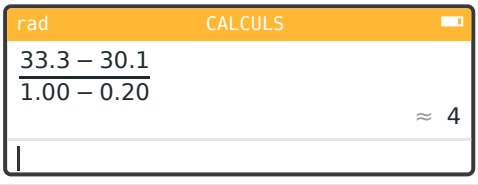
PIÈGE

Calculer $\frac{y_2}{t_2}$ ou $\frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}$: la vitesse à une date s'estime entre la position précédente et la position suivante.

MÉTHODE

Cette méthode se vérifie sur une valeur donnée dans le tableau : $v_3 = \frac{36{,}9 - 31{,}5}{0{,}80} = 6{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



1.3.2 Montrer que la valeur de l'accélération de la fusée pendant la durée de l'étude est proche de $7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Données utiles figure 4

Les points de la figure 4 sont alignés : on trace la droite qui passe au plus près de tous les points. Elle passe par l'origine.

L'accélération est la dérivée de la vitesse par rapport au temps : $a_y = \frac{\text{d}v_y}{\text{d}t}$. C'est donc le coefficient directeur de cette droite, constant pendant l'étude.

Avec deux points de la droite, O$(0\ ;\ 0)$ et B$(2{,}20\ \text{s}\ ;\ 15\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$:

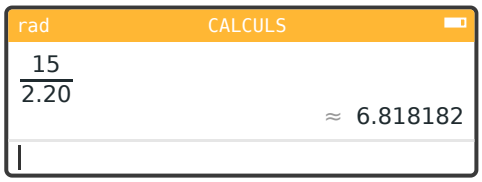
$$a_y = \frac{15 - 0}{2{,}20 - 0} = 6{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

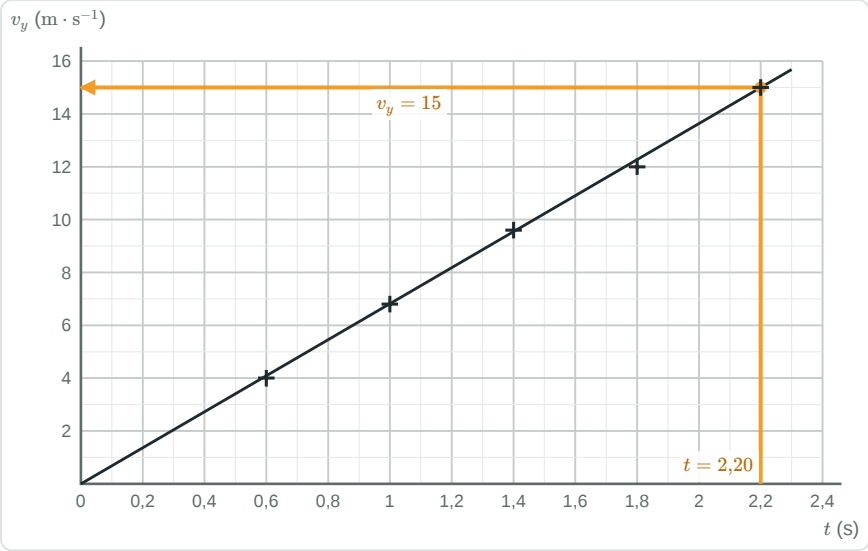
$a = 6{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, valeur proche des $7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ annoncés.

MÉTHODE

Pour un coefficient directeur, choisir deux points de la droite tracée les plus éloignés possible : l'erreur de lecture pèse moins sur le résultat.

À LA CALCULATRICE





1.3.2 · Figure 4 du sujet, avec la droite tracée et le point B utilisé

1.3.3 Préciser, en justifiant, la direction et le sens du vecteur accélération de la fusée.

Le mouvement de la fusée est rectiligne et vertical : le vecteur vitesse garde une direction verticale, donc le vecteur accélération $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$ est lui aussi vertical.

La fusée monte et la valeur de sa vitesse augmente : le mouvement est accéléré, $\vec{a}$ a le même sens que $\vec{v}$. Avec l'axe y orienté vers le haut, cela se lit sur $a_y = +6{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}} > 0$.

Le vecteur accélération est **vertical** et orienté **vers le haut**.

PIÈGE
Justifier par « la fusée monte » ne suffit pas : un objet qui monte en ralentissant a une accélération vers le bas. C'est l'augmentation de la vitesse qui donne le sens.

1.4 Choisir, parmi les propositions de la figure 5, le schéma compatible avec le décollage de la fusée. Justifier.

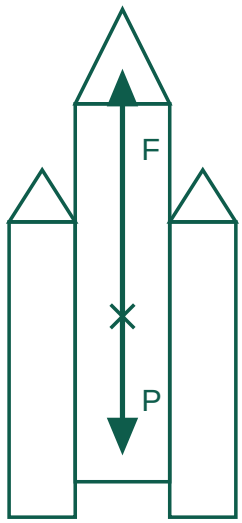
Système {fusée}, de masse M constante (question 1.1) ; référentiel terrestre supposé galiléen. Forces : le poids $\vec{P}$ et la poussée $\vec{F}$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{F} = M\,\vec{a}$. La somme des forces a donc la direction et le sens de $\vec{a}$: verticale, vers le haut (question 1.3.3).

- Schéma 2 : le poids est dessiné vers le haut, ce qui est impossible.
- Schéma 3 : $\vec{F}$ est plus courte que $\vec{P}$, la somme des forces serait dirigée vers le bas.
- Schéma 1 : $\vec{P}$ vers le bas, $\vec{F}$ vers le haut et plus longue que $\vec{P}$.

Le **schéma 1** est le seul compatible : il faut $F > P$.

PIÈGE
Les schémas 1 et 3 ont les mêmes directions et les mêmes sens : c'est la comparaison des longueurs des deux flèches qui les départage.



P + F (vecteurs)
même sens que a

1.4 · Schéma 1 : la somme des forces (en orange) a le sens de l'accélération

1.5 À partir des résultats précédents, estimer la valeur de la force de poussée. Vérifier la cohérence de ce résultat avec les données.

Données utiles $a = 7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (1.3.2) ; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; masse au décollage : 750 à 780 t ; poussée d'Ariane 5 : 12 000 à 13 000 kN

On projette la deuxième loi de Newton, $\vec{P} + \vec{F} = M\,\vec{a}$, sur l'axe vertical orienté vers le haut :

$-P + F = M\,a_y$, avec $P = M\,g$, donc $F = M\,(a_y + g)$.

- Pour $M = 750\ \text{t} = 750 \times 10^3$ kg : $F = 750 \times 10^3 \times (7 + 9{,}8) = 1{,}26 \times 10^7$ N.
- Pour $M = 780$ t : $F = 780 \times 10^3 \times (7 + 9{,}8) = 1{,}31 \times 10^7$ N.

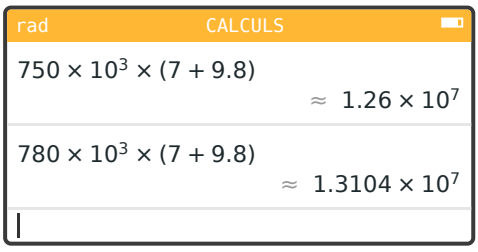
Or $1\ \text{kN} = 10^3$ N : la poussée est comprise entre 12 600 kN et 13 100 kN.

$F \approx 1{,}3 \times 10^7\ \text{N} = 13 \times 10^3$ kN, en accord avec les 12 000 à 13 000 kN du tableau.

PIÈGE
Écrire $F = M\,a$ en oubliant le poids, ou laisser la masse en tonnes : on trouverait une poussée bien trop faible.

COMPRENDRE
La poussée est due à l'éjection des gaz (propulsion par réaction). Ce mode de propulsion, étudié dans l'ancien programme avec la quantité de mouvement, n'est plus au programme de spécialité ; la deuxième loi de Newton suffit ici.

À LA CALCULATRICE



2 Estimer la puissance moyenne fournie à la fusée par l'ensemble {moteur Vulcain + boosters} entre 0,2 s et 2,2 s. Comparer cette valeur avec les données du texte d'introduction.

Données utiles $F = 1{,}3 \times 10^7$ N (1.5) ; $y_1 = 30{,}1$ m à $t_1 = 0{,}20$ s ; $y_6 = 46{,}5$ m à $t_6 = 2{,}20$ s ; moteur Vulcain : 10 MW ; boosters : 90 % de la puissance totale

Estimation à partir de la chronophotographie. L'énergie est transmise à la fusée par le travail de la poussée $\vec{F}$, constante, verticale et de même sens que le déplacement, entre les images 1 et 6 :

$$W(\vec{F}) = F \times (y_6 - y_1)$$

Puissance moyenne sur la durée $\Delta t = t_6 - t_1$:

$$P_{\text{moy}} = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t} = \frac{F\,(y_6 - y_1)}{t_6 - t_1} = \frac{1{,}3 \times 10^7 \times (46{,}5 - 30{,}1)}{2{,}20 - 0{,}20} = 1{,}1 \times 10^8 \text{ W}$$

Valeur attendue d'après l'introduction. Les boosters fournissent 90 % de la puissance totale : le moteur Vulcain en fournit 10 %, soit 10 MW. Donc $P_{\text{totale}} = \frac{10}{0{,}10} = 100$ MW.

$P_{\text{moy}} \approx 1{,}1 \times 10^8$ W $= 110$ MW, du même ordre que les 100 MW déduits de l'introduction (écart d'environ 10 %) : l'estimation est cohérente.

PIÈGE

Comparer directement le résultat aux 10 MW du texte : cette valeur ne concerne que le moteur Vulcain, soit 10 % du total.

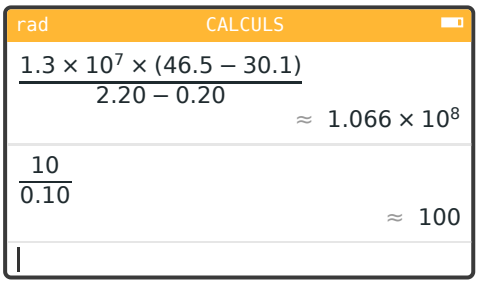
COMPRENDRE

L'accélération n'est connue qu'avec un chiffre significatif et la masse à 4 % près : seul l'ordre de grandeur du résultat a un sens, d'où la conclusion malgré l'écart.

MÉTHODE

Autre démarche possible : la puissance moyenne est la variation d'énergie mécanique (cinétique et potentielle de pesanteur) de la fusée divisée par la durée. Avec $M = 765$ t, on trouve environ 104 MW.

À LA CALCULATRICE



On vous donne le "la"

Bac S 2019 Métropole (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Le son émis par le diapason tenu à la main est-il pur ? Justifier.

Un son pur correspond à un signal sinusoïdal. Le signal de la figure 1 se répète à peu près à l'identique, mais chaque motif porte plusieurs petites ondulations : il n'a pas la forme d'une sinusoïde.

Le son obtenu n'est **pas pur** : c'est un son complexe.

COMPRENDRE
Pur ne veut pas dire périodique. Un signal périodique quelconque est un son complexe : seul le cas particulier de la sinusoïde donne un son pur, dont le spectre ne contient qu'un pic.

1.2 Estimer la période du signal à partir de la figure 1. Le résultat est-il cohérent avec la fréquence de 440 Hz annoncée par le constructeur ?

Données utiles figure 1 : 8 motifs entre deux maximums situés à $t \approx 1{,}0$ ms et $t \approx 19{,}6$ ms ; $f_{\text{La3}} = 440$ Hz

Pour gagner en précision, on mesure la durée du plus grand nombre possible de périodes. Entre le premier grand maximum ($t \approx 1{,}0$ ms) et le neuvième ($t \approx 19{,}6$ ms), on compte 8 périodes :

$$8\,T = 19{,}6 - 1{,}0 = 18{,}6 \text{ ms} \quad \text{donc} \quad T = \frac{18{,}6}{8} \approx 2{,}3 \text{ ms}$$

Fréquence correspondante : $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{2{,}3 \times 10^{-3}} \approx 4{,}3 \times 10^{2}$ Hz.

Un La3 a pour période $\dfrac{1}{440} = 2{,}27 \times 10^{-3}$ s, soit 2,3 ms avec la précision de la lecture graphique.

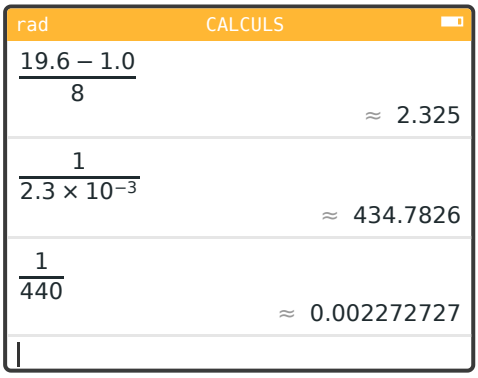
$T \approx 2{,}3$ ms, soit $f \approx 4{,}3 \times 10^{2}$ Hz : résultat cohérent avec les 440 Hz annoncés.

PIÈGE
Oublier de convertir les millisecondes en secondes avant de calculer $f = 1/T$: on trouverait 0,43 Hz, valeur absurde pour un son audible.

COMPRENDRE
La lecture sur l'axe se fait à quelques dixièmes de milliseconde près : deux chiffres significatifs suffisent pour T, donc pour f. Un écart de 10 Hz sur 440 Hz (environ 2 %) n'a alors rien d'anormal.

MÉTHODE
Mesurer n périodes puis diviser par n : l'erreur de lecture sur l'axe est elle aussi divisée par n. Repérer des points homologues faciles à pointer (maximums, passages par zéro dans le même sens).

À LA CALCULATRICE



2.1 Parmi les spectres a, b et c de la figure 2, lequel correspond au son enregistré ? Justifier.

Données utiles spectre a : pics à 436 Hz et 2620 Hz ; spectre b : un seul pic à 438 Hz ; spectre c : pics à 218 Hz et 436 Hz ; $f \approx 4{,}3 \times 10^2$ Hz (1.2)

Le son n'est pas pur (1.1) : son spectre contient plusieurs pics. Le spectre b, qui n'en montre qu'un, est écarté.

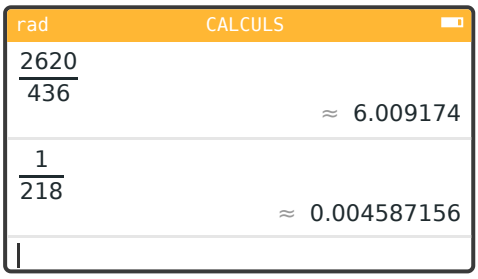
La fréquence du signal, voisine de 440 Hz (1.2), est celle du fondamental, c'est-à-dire du pic de plus basse fréquence. Dans le spectre c, le fondamental est à 218 Hz : la période vaudrait environ 4,6 ms, ce qui ne correspond pas à la figure 1.

Dans le spectre a, le fondamental est à 436 Hz et le second pic vérifie $\frac{2620}{436} \approx 6$: c'est l'harmonique de rang 6.

Le son enregistré correspond au **spectre a**.

COMPRENDRE
L'harmonique de rang 6 se voit sur la figure 1 : chaque motif porte environ six petites ondulations. La fréquence d'un son complexe est toujours celle de son fondamental.

À LA CALCULATRICE



2.2 Comment distingue-t-on un signal analogique d'un signal numérique ?

Un signal analogique varie de façon continue au cours du temps : il peut prendre n'importe quelle valeur dans un intervalle.

Un signal numérique varie par paliers : il ne prend qu'un nombre fini de valeurs, à des instants séparés, et chaque valeur est codée par un nombre binaire.

Analogique : variation **continue**. Numérique : variation **discrète** (par paliers).

COMPRENDRE
La numérisation (échantillonnage, quantification, taille d'un fichier) ne figure plus au programme de spécialité de Terminale : elle est aujourd'hui traitée en enseignement scientifique de Première. Les questions 2.2 à 2.4 restent un bon exercice de raisonnement.

2.3 Montrer qu'avec la durée, la fréquence d'échantillonnage et le nombre de bits choisis, la taille du fichier ne dépasse pas la limite imposée.

Données utiles $\Delta t = 2{,}0$ s ; $f_e = 44$ kHz ; $N = 32$ bits ; taille maximale 500 ko ; 1 octet = 8 bits

Le logiciel prélève f_e échantillons par seconde pendant la durée Δt : le nombre d'échantillons est $f_e \times \Delta t$. Chacun est codé sur N bits, donc la taille du fichier est :

$$\text{taille} = f_e \times \Delta t \times N = 44 \times 10^3 \times 2{,}0 \times 32 = 2{,}8 \times 10^6 \text{ bits}$$

En octets : $\frac{2{,}8 \times 10^6}{8} = 3{,}5 \times 10^5$ octets, soit $3{,}5 \times 10^2$ ko.

Taille $\approx 3{,}5 \times 10^2$ ko < 500 ko : la condition est respectée.

PIÈGE
Laisser f_e en kilohertz, ou comparer directement le nombre de bits à 500 ko. Il faut diviser par 8 pour passer aux octets, puis par 10^3 pour passer aux kilooctets.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$44 \times 10^3 \times 2.0 \times 32$
≈ 2816000

$\frac{2\,816\,000}{8}$
≈ 352000

2.4 Quel est l'intérêt d'augmenter la fréquence d'échantillonnage ? Quel en serait l'inconvénient ?

Intérêt : les valeurs sont prélevées à intervalles de temps $T_e = \frac{1}{f_e}$ plus courts. Le signal numérique suit de plus près les variations du signal analogique : la numérisation est plus fidèle.

Inconvénient : le nombre d'échantillons $f_e \times \Delta t$ augmente, donc la taille du fichier aussi. Il occupe plus de mémoire et se transfère plus lentement ; la limite de 500 ko pourrait être dépassée.

Signal numérique plus **fidèle**, mais fichier plus **volumineux**.

COMPRENDRE
Avec les réglages de la question 2.3, la limite de 500 ko serait atteinte pour $f_e \approx 62$ kHz : on ne peut donc pas augmenter beaucoup la fréquence d'échantillonnage sans réduire Δt ou N.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{500 \times 10^3 \times 8}{2.0 \times 32}$
≈ 62500

3.1 Vérifier que les intensités sonores aux points B_1 et B_2 sont reliées approximativement par $I_{B2} = \frac{I_{B1}}{50}$.

Données utiles $L_{B1} = 59$ dB ; $L_{B2} = 42$ dB ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2}

Le niveau d'intensité sonore est $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, d'où $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

Le rapport des deux intensités ne dépend plus de I_0 :

$$\frac{I_{B1}}{I_{B2}} = \frac{I_0 \times 10^{L_{B1}/10}}{I_0 \times 10^{L_{B2}/10}} = 10^{\frac{L_{B1}-L_{B2}}{10}} = 10^{\frac{59-42}{10}} = 10^{1{,}7} \approx 50$$

$\frac{I_{B1}}{I_{B2}} \approx 50$, donc $I_{B2} \approx \frac{I_{B1}}{50}$: la relation est vérifiée.

PIÈGE
Diviser les niveaux ($59 \div 42$) au lieu des intensités. Les décibels se retranchent : une différence de niveaux correspond à un rapport d'intensités.

MÉTHODE
On peut aussi calculer chaque intensité, $I_{B1} = 7{,}9 \times 10^{-7}$ W · m^{-2} et $I_{B2} = 1{,}6 \times 10^{-8}$ W · m^{-2}, puis diviser. Le rapport littéral est plus rapide et évite les arrondis intermédiaires.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$10^{\frac{59-42}{10}}$
≈ 50.11872

$1.0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{59}{10}}$
$\approx 7.943282 \times 10^{-7}$

$1.0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{42}{10}}$
$\approx 1.584893 \times 10^{-8}$

3.2 Montrer quantitativement que les deux mesures L_{B1} et L_{B2} sont cohérentes avec la courbe d'atténuation de la figure 4b.

Données utiles $L_{B1} = 59$ dB ; $L_{B2} = 42$ dB ; figure 4b : atténuation $L - L_{\max}$ en fonction de θ

B_1 est dans le plan du diapason : $\theta = 0^\circ$. La courbe donne une atténuation nulle, donc $L_{B1} = L_{\max} = 59$ dB.

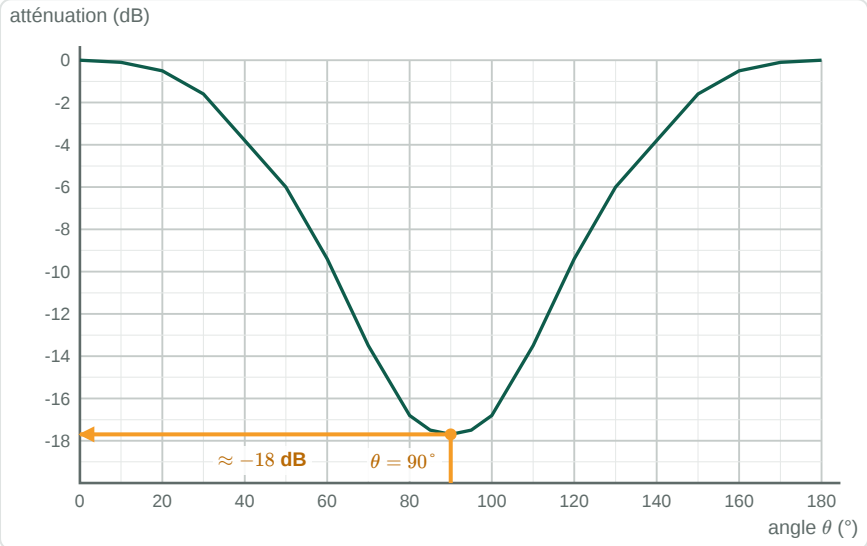
B_2 est sur la perpendiculaire au plan du diapason : $\theta = 90^\circ$. La courbe y passe par son minimum, où on lit une atténuation d'environ -18 dB.

Atténuation mesurée en B_2 : $L_{B2} - L_{\max} = 42 - 59 = -17$ dB.

Atténuation mesurée -17 dB, atténuation lue ≈ -18 dB : à 1 dB près, les mesures sont cohérentes avec la courbe.

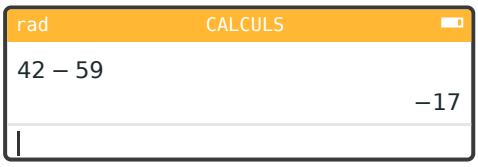
COMPRENDRE

L'écart de 1 dB est de l'ordre de la précision des sonomètres, qui affichent ici des valeurs entières, et de la lecture graphique. Une atténuation de -17 dB correspond au rapport 50 de la question 3.1.



3.2 · Figure 4b du sujet, avec la lecture pour le point B_2

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Accorder un diapason

Bac S 2019 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer, par une analyse dimensionnelle, que la formule (1) est homogène et qu'elle est compatible avec les mesures du tableau 1.

Données utiles $f = 0{,}16 \times \sqrt{\dfrac{E_A}{\rho_A}} \times \dfrac{d}{L^2}$; E_A en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$; ρ_A en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; tableau 1

Homogénéité. Le nombre $0{,}16$ est sans unité. Unité du quotient sous la racine :

$$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}} = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

donc $\sqrt{\dfrac{E_A}{\rho_A}}$ s'exprime en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (c'est une vitesse). Le quotient $\dfrac{d}{L^2}$ s'exprime en $\dfrac{\text{m}}{\text{m}^2} = \text{m}^{-1}$.

Le second membre est donc en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \times \text{m}^{-1} = \text{s}^{-1}$, c'est-à-dire en hertz, comme une fréquence : la formule (1) est homogène.

Compatibilité avec les mesures. Les quatre diapasons sont en aluminium et ont la même largeur d : la formule (1) s'écrit $f = k \times \dfrac{1}{L^2}$ avec $k = 0{,}16\, d \sqrt{\dfrac{E_A}{\rho_A}}$ constant. Le quotient de f par $\dfrac{1}{L^2}$ doit donc être le même pour les quatre diapasons :

- diapason 1 : $\dfrac{485}{85{,}7} = 5{,}66\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- diapason 2 : $\dfrac{384}{68{,}3} = 5{,}62\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- diapason 3 : $\dfrac{320}{56{,}5} = 5{,}66\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- diapason 4 : $\dfrac{256}{46{,}3} = 5{,}53\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Ces quatre valeurs s'écartent de moins de 2 % de leur moyenne, $5{,}62\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

La formule (1) est homogène (s^{-1} de chaque côté) et f est proportionnelle à $\dfrac{1}{L^2}$, avec $k \approx 5{,}62\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$: elle est compatible avec le tableau 1.

PIÈGE

Oublier la racine carrée : $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ devient $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Répondre seulement sur l'homogénéité : la question demande aussi de confronter la formule aux mesures.

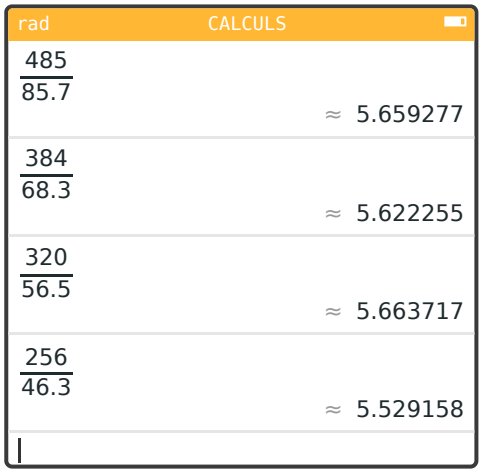
COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs pour k, comme les valeurs du tableau. Une formule homogène n'est pas forcément juste : l'analyse dimensionnelle ne dit rien du coefficient $0{,}16$.

MÉTHODE

Tester une proportionnalité : calculer le quotient des deux grandeurs pour chaque mesure et vérifier qu'il reste constant, ou tracer f en fonction de $\dfrac{1}{L^2}$ et obtenir une droite passant par l'origine.

À LA CALCULATRICE



2 Déterminer la longueur d'onde d'un son de fréquence 440 Hz se propageant dans l'air à 25 °C. Problème : indiquer les instructions à donner à l'atelier pour que chacun des quatre diapasons émette un La3 (440 Hz) amplifié de façon optimale par une caisse de résonance, dans une salle à 25 °C.

Données utiles figure 3 ; $f = 440$ Hz ; $d = 7{,}0$ mm ; tableau 1 ; profondeur D de la caisse : multiple entier impair de $\frac{\lambda}{4}$; f proportionnelle à $\frac{d}{L^2}$ (formule (1))

Question 2. Sur la figure 3, à 25 °C, la vitesse du son dans l'air vaut $v = 346\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{346}{440} = 0{,}786\ \text{m}$$

Problème.

Caisse de résonance. Les quatre diapasons accordés émettent le même son, de longueur d'onde $\lambda = 0{,}786$ m : une même profondeur convient pour les quatre caisses. La plus petite profondeur possible est

$$D = \frac{\lambda}{4} = \frac{0{,}786}{4} = 0{,}197\ \text{m} = 19{,}7\ \text{cm}$$

La valeur suivante, $\frac{3\lambda}{4} = 59{,}0$ cm, conviendrait aussi mais donnerait une caisse inutilement encombrante.

Diapasons 2, 3 et 4. Leur fréquence est inférieure à 440 Hz : il faut l'augmenter. D'après (1), f augmente quand L diminue : on raccourcit les branches en gardant d. Pour un même diapason, $f \times L^2$ reste constant, donc $440 \times L'^2 = f \times L^2$:

$$L' = L \times \sqrt{\frac{f}{440}}$$

- diapason 2 : $L' = 0{,}121 \times \sqrt{\frac{384}{440}} = 0{,}113$ m
- diapason 3 : $L' = 0{,}133 \times \sqrt{\frac{320}{440}} = 0{,}113$ m
- diapason 4 : $L' = 0{,}147 \times \sqrt{\frac{256}{440}} = 0{,}112$ m

Diapason 1. Sa fréquence (485 Hz) est trop élevée : il faut la diminuer. On ne peut pas allonger les branches, mais on peut diminuer leur largeur. À L fixée, f est proportionnelle à d :

$$d' = d \times \frac{440}{485} = 7{,}0 \times \frac{440}{485} = 6{,}4\ \text{mm}$$

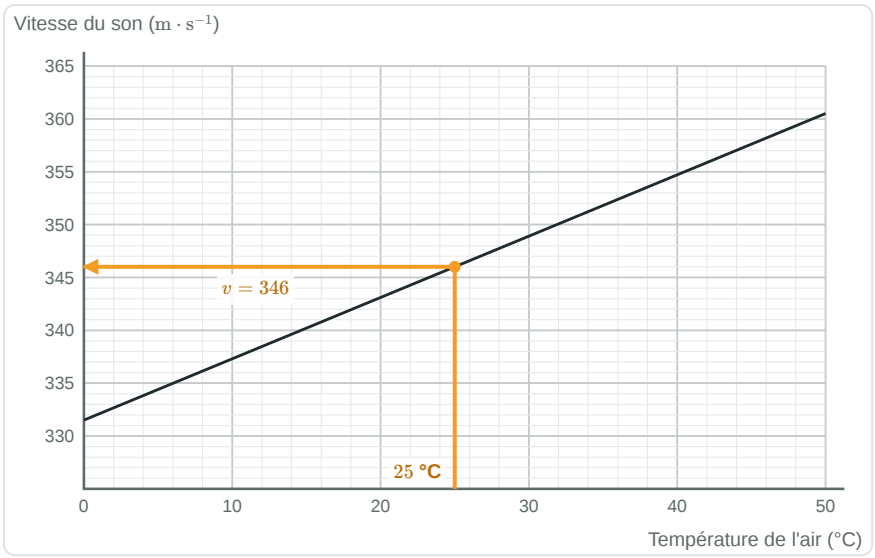
Regard critique. Les fréquences du tableau vérifient le modèle à 2 % près environ : après usinage, la fréquence de chaque diapason doit être contrôlée par un nouvel enregistrement, puis ajustée si besoin.

Instructions : diapason 1, amincir les branches jusqu'à $d' = 6{,}4$ mm ; diapasons 2 et 3, couper les branches à $L' = 11{,}3$ cm ; diapason 4, à $L' = 11{,}2$ cm ; caisses de profondeur intérieure $D = 19{,}7$ cm.

PIÈGE
Proposer de couper les branches du diapason 1 : sa fréquence augmenterait encore. Oublier la caisse de résonance, ou la calculer avec $340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ au lieu de la vitesse lue à 25 °C.

COMPRENDRE
Sujet de l'ancien enseignement de spécialité : l'acoustique musicale et la caisse de résonance ne figurent plus au programme actuel. La relation $\lambda = \frac{v}{f}$ et l'analyse d'unités restent exigibles.

MÉTHODE
Raisonner par proportionnalité sur chaque diapason évite de calculer $\sqrt{E_A/\rho_A}$: le coefficient $0{,}16$, connu avec deux chiffres seulement, disparaît du calcul et les longueurs gardent trois chiffres significatifs.



2 · Figure 3 du sujet, avec la lecture de la vitesse du son à 25 °C

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{346}{440}$ ≈ 0.7863636

$\frac{346}{4 \times 440}$ ≈ 0.1965909

$0.121 \times \sqrt{\frac{384}{440}}$ ≈ 0.113038

$0.133 \times \sqrt{\frac{320}{440}}$ ≈ 0.1134228

$0.147 \times \sqrt{\frac{256}{440}}$ ≈ 0.1121272

$\frac{7.0 \times 440}{485}$ ≈ 6.350515