Corrigé complet — Bac S 2016 Amérique du Sud (ancien programme)

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

Ex 1	**Un étonnant ascenseur à bateaux : The Falkirk wheel** Référentiel galiléen · Mouvement circulaire uniforme · Accélération centripète · Énergie mécanique · Puissance et énergie · Variation d'énergie interne	6 pts	1 h	9 questions	p. 2
Ex 2	**Synthèse d'un médicament** Spectroscopie infrarouge · Titrage pH-métrique · Sites donneur et accepteur de doublet · Stéréoisomérie et représentation de Cram · Oxydoréduction · Rendement d'une synthèse	9 pts	1 h 30	17 questions	p. 6
Ex 3	**L'effet Doppler peut-il perturber un danseur ?** Effet Doppler · Hauteur et fréquence d'un son · Vitesse moyenne · Exploitation de graphiques · Seuil différentiel de l'oreille	5 pts	50 min	7 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : L'orgue marin de Blackpool** Hauteur et fréquence d'un son · Tuyau sonore ouvert · Harmoniques · Célérité du son et température · Mesure sur un plan à l'échelle · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 15

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.

Un étonnant ascenseur à bateaux : The Falkirk wheel

Bac S 2016 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1 Partie A. Parmi les référentiels R_1 (touriste sur la berge), R_2 (voyageur dans le bateau) et R_3 (technicien dans le godet opposé), lequel choisir pour étudier le mouvement et appliquer les lois de Newton ? Justifier.

Les lois de Newton s'appliquent dans un référentiel galiléen.

Le référentiel R_1 est lié au sol : c'est un référentiel terrestre, que l'on peut considérer comme galiléen pendant la durée de l'ascension.

Les référentiels R_2 et R_3 sont liés aux godets, qui décrivent des cercles par rapport au sol : ils ne sont pas galiléens.

Il faut choisir le référentiel R_1, terrestre, supposé galiléen.

COMPRENDRE
Dans R_2, le système est immobile : il n'y aurait aucun mouvement à étudier. Un référentiel n'est galiléen que s'il est en translation rectiligne uniforme par rapport à un autre référentiel galiléen.

2.1 Partie A. Identifier, parmi les graphiques A, B et C, celui qui représente l'évolution de la valeur de la vitesse du point G pendant l'ascension. Un argument quantitatif est attendu.

Données utiles échelle : 1 cm pour 2,0 m ; $\Delta t = 30$ s entre deux photographies ; $CG = 12$ m ; durée de l'ascension : 5 min 30 s

Sur l'enregistrement, les positions successives de G sont régulièrement espacées alors que les photographies sont prises à intervalles de temps égaux : la valeur de la vitesse est constante. Les graphiques A (vitesse décroissante) et C (vitesse croissante) sont écartés.

Argument quantitatif : entre deux positions voisines, on mesure par exemple $G_6G_7 \approx 1{,}7$ cm sur le schéma, soit $1{,}7 \times 2{,}0 = 3{,}4$ m en réalité.

$$v = \frac{G_6G_7}{\Delta t} = \frac{3{,}4}{30} = 0{,}11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 11 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

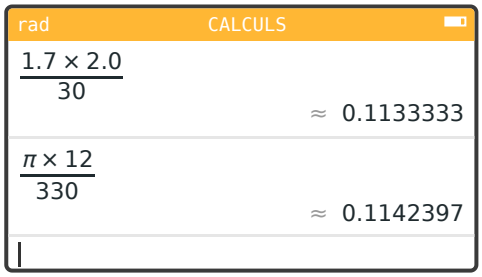
Le graphique B montre une vitesse constante égale à $11 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

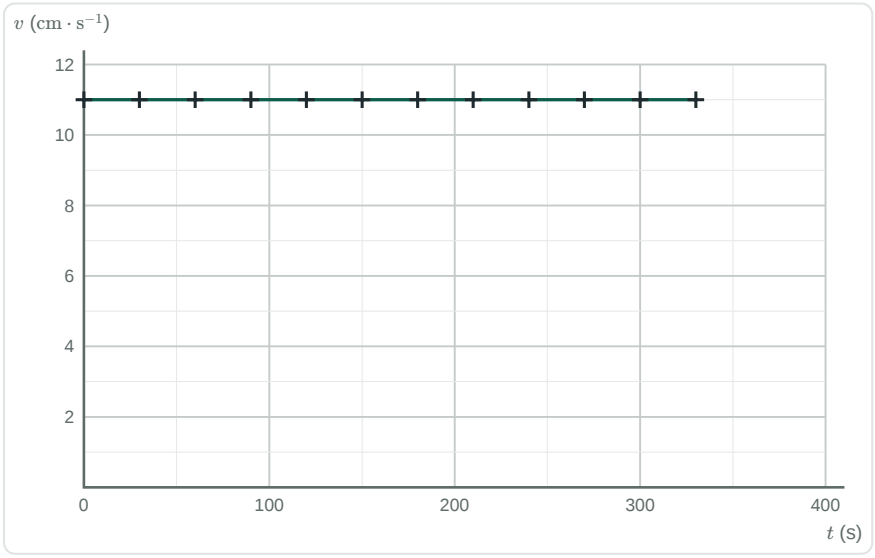
Le graphique B convient : $v \approx 11 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, constante.

PIÈGE
Oublier l'échelle ou la conversion : la longueur mesurée est en centimètres sur le papier, le graphique est gradué en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ réels. Il faut passer par les mètres réels.

COMPRENDRE
Vérification sans mesure : G parcourt un demi-cercle de rayon 12 m en 330 s, donc $v = \frac{\pi R}{\Delta t_{\text{tot}}} = 0{,}11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Deux chiffres significatifs, comme la mesure et l'échelle.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Graphique B : la vitesse reste égale à 11 cm·s⁻¹ pendant les 330 s de l'ascension

2.2 Partie A. Donner la nature du mouvement du point G en justifiant les termes employés.

Dans le référentiel terrestre :

- la trajectoire de G est un arc de cercle de centre C (toutes les positions sont à la même distance de C) : le mouvement est circulaire ;
- la valeur de la vitesse est constante (question 2.1) : le mouvement est uniforme.

Le mouvement de G est circulaire uniforme.

PIÈGE
Chaque adjectif doit être justifié séparément : « circulaire » décrit la trajectoire, « uniforme » décrit la valeur de la vitesse. Citer les deux mots sans justification ne rapporte pas tous les points.

2.3 Partie A. Citer au moins un adjectif pour qualifier l'accélération du système.

Le mouvement est circulaire uniforme : le vecteur accélération est dirigé à chaque instant vers le centre C de la trajectoire, comme le vecteur $\vec{a}_3$ tracé au point G_3.

L'accélération est centripète (ou radiale) ; sa valeur est constante.

COMPRENDRE
La valeur de la vitesse est constante, mais sa direction change : le vecteur vitesse varie, donc l'accélération n'est pas nulle. Seule sa valeur a est constante, pas le vecteur $\vec{a}$, qui tourne avec G.

3 Partie A. Déterminer la valeur de l'accélération du godet avec l'eau et son bateau. Le roulis est-il négligeable ?

Données utiles $v = 0{,}11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (2.1) ; $R = CG = 12\ \text{m}$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; échelle : 1 cm pour $8{,}0\times10^{-4}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Pour un mouvement circulaire uniforme de rayon R, la valeur de l'accélération est :

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{0{,}11^2}{12} = 1{,}0\times10^{-3}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Vérification graphique : le vecteur $\vec{a}_3$ mesure environ 1,3 cm, soit $a = 1{,}3\times8{,}0\times10^{-4} = 1{,}0\times10^{-3}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Seuil : $\frac{g}{100} = \frac{9{,}8}{100} = 9{,}8\times10^{-2}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

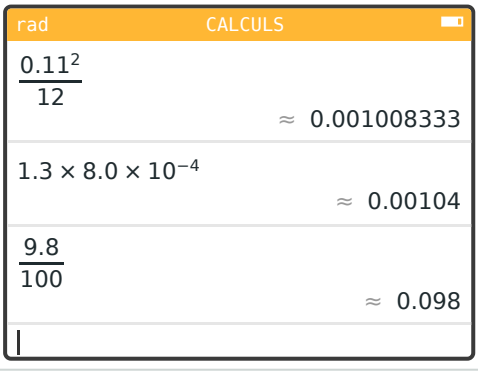
L'accélération est environ cent fois plus petite que ce seuil.

$a = 1{,}0\times10^{-3}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} < \frac{g}{100}$: le roulis est négligeable.

PIÈGE
Comparer a à g au lieu de $\frac{g}{100}$, ou conclure sans écrire les deux valeurs avec la même unité et la même puissance de dix.

MÉTHODE
Deux voies donnent le même résultat : la relation $a = \frac{v^2}{R}$ ou la mesure du vecteur avec l'échelle des accélérations. Une seule suffit sur la copie ; l'autre sert de contrôle.

À LA CALCULATRICE



1.1 Partie B. Calculer la variation d'énergie mécanique d'un godet avec l'eau et son bateau lors de son ascension, l'ensemble étant immobile au départ et à l'arrivée.

Données utiles $m = 500\ \text{t} = 500 \times 10^3$ kg ; $h = 24$ m ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

On note A la position basse et B la position haute. L'énergie mécanique est $E_m = E_c + E_{pp}$.

Le système est immobile en A et en B : $E_c(A) = E_c(B) = 0$. Donc :

$$\Delta E_m = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = m\,g\,(z_B - z_A) = m\,g\,h$$

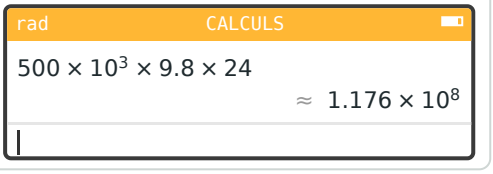
$$\Delta E_m = 500 \times 10^3 \times 9{,}8 \times 24$$

$\Delta E_m = 1{,}2 \times 10^8$ J

PIÈGE
Laisser la masse en tonnes : $1\ \text{t} = 10^3$ kg. Prendre 35 m (hauteur de l'édifice) au lieu de 24 m (élévation du bateau) est l'autre erreur fréquente.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme g et h.
L'énergie mécanique du godet augmente : il reçoit de l'énergie du reste du dispositif.

À LA CALCULATRICE



1.3 Partie B. 1.2.a. Choisir la relation correcte entre énergie et puissance. 1.2.b. Calculer l'énergie fournie par les moteurs lors d'une ascension. 1.3. Expliquer pourquoi elle est très inférieure à celle reçue par le godet.

Données utiles $1\ \text{J} = 1\ \text{W} \cdot \text{s}$; $P = 22{,}5$ kW ; $\Delta t = 5\ \text{min}\ 30\ \text{s}$; $\Delta E_m = 1{,}2 \times 10^8$ J (1.1)

1.2.a. D'après l'énoncé, $1\ \text{J} = 1\ \text{W} \cdot \text{s}$: une énergie est le produit d'une puissance (en W) par une durée (en s). Les deux autres expressions donneraient des $\text{W} \cdot \text{s}^{-1}$ et des $\text{W}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

1.2.a. $E = P \times \Delta t$

1.2.b. $\Delta t = 5 \times 60 + 30 = 330$ s et $P = 22{,}5 \times 10^3$ W.

$E = P \times \Delta t = 22{,}5 \times 10^3 \times 330$

1.2.b. $E = 7{,}43 \times 10^6$ J

1.3. Le bras porte deux godets de même masse. Pendant qu'un godet monte, l'autre descend de la même hauteur : l'énergie potentielle de pesanteur qu'il perd est transférée au godet qui monte. Les moteurs n'ont qu'à mettre l'ensemble en mouvement et à compenser les frottements.

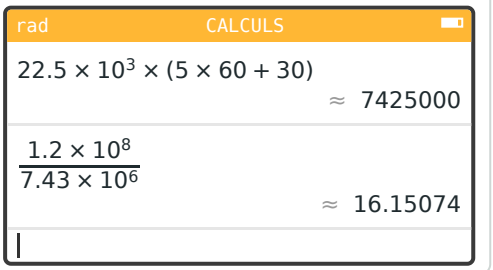
1.3. Le godet descendant sert de contrepoids : $E \ll \Delta E_m$ (environ 16 fois moins).

PIÈGE
Durée à convertir en secondes et puissance en watts : 5 min 30 s ne vaut pas 5,30 min, et 22,5 kW valent $22{,}5 \times 10^3$ W.

COMPRENDRE
Les deux godets ont la même masse, avec ou sans bateau : un bateau qui flotte chasse du godet une masse d'eau égale à la sienne. La roue reste équilibrée.

MÉTHODE
Pour trier des formules, raisonner sur les unités : écrire l'unité de chaque membre et ne garder que la relation homogène. L'énoncé rappelle ici $1\ \text{J} = 1\ \text{W} \cdot \text{s}$ pour cela.

À LA CALCULATRICE



2 Partie B. Calculer la valeur de l'énergie nécessaire pour porter à ébullition l'eau de huit bouilloires électriques (démarche à présenter, grandeurs à estimer).

Données utiles $c_{\text{eau}} = 4{,}2 \times 10^3$ J · kg^{-1} · °C^{-1} ; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}0$ kg · L^{-1} ; contenance d'une bouilloire : 3,0 L

Masse d'eau à chauffer : $m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \times V = 1{,}0 \times 8 \times 3{,}0 = 24$ kg.

Estimation : l'eau est prise à la température ambiante, $\theta_i \approx 20$ °C, et elle bout à $\theta_f = 100$ °C sous la pression atmosphérique.

L'eau liquide est un système incompressible ; sa variation d'énergie interne est :

$$\Delta U = m_{\text{eau}}\, c_{\text{eau}}\, (\theta_f - \theta_i)$$

$$\Delta U = 24 \times 4{,}2 \times 10^3 \times (100 - 20)$$

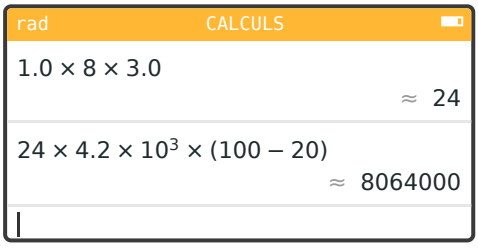
Cette énergie est le minimum que les bouilloires doivent fournir : on néglige les pertes thermiques vers l'air et l'énergie servant à chauffer les bouilloires elles-mêmes.

$\Delta U = 8{,}1 \times 10^6$ J

COMPRENDRE
Une autre température initiale raisonnable (15 °C, 25 °C) est acceptée : le résultat reste proche de 8×10^6 J. On chauffe jusqu'à l'ébullition, sans vaporiser l'eau.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la grandeur estimée et sa valeur (ici θ_i), écrire la relation littérale, calculer, puis nommer ce qui est négligé. Chaque étape visible est notée, même si le calcul n'aboutit pas.

À LA CALCULATRICE



3 Partie B. L'affirmation « La roue tourne en utilisant l'énergie de huit bouilloires en fonctionnement » est-elle plausible ou totalement farfelue ?

Données utiles $E = 7{,}43 \times 10^6$ J (1.2.b) ; $\Delta U = 8{,}1 \times 10^6$ J (2)

Énergie fournie par les moteurs pour une ascension : $E = 7{,}43 \times 10^6$ J.

Énergie pour faire bouillir l'eau de huit bouilloires : $\Delta U = 8{,}1 \times 10^6$ J.

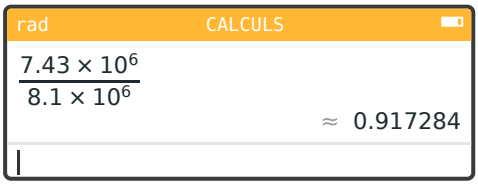
$$\frac{E}{\Delta U} = \frac{7{,}43 \times 10^6}{8{,}1 \times 10^6} \approx 0{,}92$$

Les deux énergies sont du même ordre de grandeur (10^7 J) et diffèrent de moins de 10 %.

L'affirmation est plausible : $E \approx \Delta U \approx 8 \times 10^6$ J.

COMPRENDRE
Avec la conversion rappelée par l'énoncé, $E = \dfrac{7{,}43 \times 10^6}{3600} \approx 2{,}1 \times 10^3$ Wh, soit environ 2 kWh pour élever 500 tonnes de 24 m.

À LA CALCULATRICE



Synthèse d'un médicament

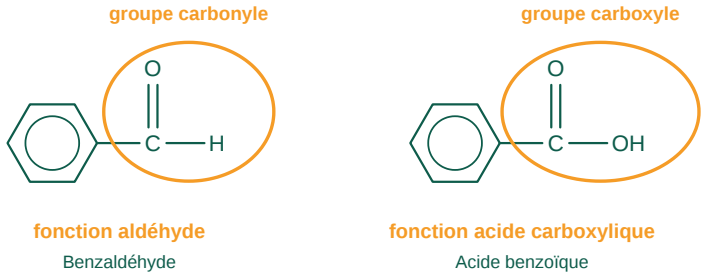
Bac S 2016 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Sur les molécules de benzaldéhyde et d'acide benzoïque de l'annexe, entourer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

Voir l'annexe complétée ci-dessous.

Benzaldéhyde : groupe carbonyle en bout de chaîne, fonction **aldéhyde**. Acide benzoïque : groupe carboxyle, fonction **acide carboxylique**.

PIÈGE
Dans l'acide, entourer séparément C=O et O–H et annoncer « cétone » et « alcool ». Le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ forme un tout. Le cycle aromatique n'est pas un groupe caractéristique à nommer ici.



1.1 · Annexe complétée : groupes caractéristiques entourés en orange

1.2 En expliquant la démarche, associer à chaque molécule (benzaldéhyde, acide benzoïque) l'un des deux spectres infrarouge.

Données utiles table IR : O–H acide carboxylique 2500–$3200\ \mathrm{cm^{-1}}$ (large) ; $\mathrm{C_{al}}$–H 2750–$2900\ \mathrm{cm^{-1}}$ (parfois 2 bandes) ; C=O 1650–$1730\ \mathrm{cm^{-1}}$

Les deux molécules possèdent une liaison C=O et un cycle aromatique : la bande intense vers $1700\ \mathrm{cm^{-1}}$ et les bandes entre 1450 et $1600\ \mathrm{cm^{-1}}$, présentes sur les deux spectres, ne permettent pas de trancher.

On cherche donc ce qui les distingue : la liaison O–H de l'acide carboxylique et la liaison $\mathrm{C_{al}}$–H de l'aldéhyde.

Spectre n°2 : bande large et forte qui s'étale d'environ 2500 à $3200\ \mathrm{cm^{-1}}$, caractéristique de la liaison O–H d'un acide carboxylique.

Spectre n°1 : pas de bande large dans cette zone, mais deux bandes fines entre 2750 et $2900\ \mathrm{cm^{-1}}$, attribuées à la liaison $\mathrm{C_{al}}$–H.

Spectre n°1 : benzaldéhyde. Spectre n°2 : acide benzoïque.

MÉTHODE
Pour départager deux molécules en IR : lister les liaisons de chacune, écarter celles qu'elles ont en commun, puis chercher sur les spectres la bande de la liaison que l'une possède et l'autre non.

1.3 Expliquer ce que la chromatographie sur couche mince (dépôts B et AB) permet de conclure.

Le dépôt AB (acide benzoïque) donne une seule tache.

Le dépôt B (flacon entamé) donne deux taches : le flacon contient au moins deux espèces. La tache du bas a migré à la même hauteur que celle de AB : il s'agit d'acide benzoïque. La tache du haut correspond à une autre espèce, vraisemblablement le benzaldéhyde.

Le benzaldéhyde du flacon entamé n'est pas pur : une partie s'est oxydée en acide benzoïque.

COMPRENDRE
Pour affirmer que la tache du haut est bien le benzaldéhyde, il aurait fallu un troisième dépôt de benzaldéhyde pur. La CCM dit ce qui est présent, pas en quelle proportion : d'où le titrage qui suit.

1.4 Citer la définition d'un couple acide-base et d'une réaction acido-basique.

Un acide est une espèce capable de céder un ion H^+ ; une base est une espèce capable d'en capter un.

Un couple acide-base AH / A^- est formé d'un acide et d'une base dits conjugués, qui se transforment l'un en l'autre par perte ou gain d'un ion H^+ : $AH = A^- + H^+$.

Une réaction acido-basique est un transfert d'un ion H^+ de l'acide d'un couple vers la base d'un autre couple.

1.5 Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre l'acide benzoïque et les ions hydroxyde.

Données utiles couples $C_7H_6O_2$ / $C_7H_5O_2^-$ et H_2O / HO^-

L'acide benzoïque cède un ion H^+ à l'ion hydroxyde :

$$C_7H_6O_2 + HO^- \longrightarrow C_7H_5O_2^- + H_2O$$

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage doit être totale et rapide : on l'écrit avec une flèche simple. Les ions Na^+, spectateurs, n'apparaissent pas.

1.6 Déterminer la quantité de matière d'acide benzoïque présente dans le volume de solution prélevée, en explicitant la méthode à l'aide des graphiques de l'annexe.

Données utiles $c_B = 1{,}00\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; courbes $\text{pH} = f(V)$ et dérivée

Méthode de la dérivée : le volume à l'équivalence est l'abscisse du maximum de la courbe $\frac{\text{dpH}}{\text{d}V}$. On lit $V_E = 12{,}5$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation de titrage (1 pour 1) :

$$n(C_7H_6O_2) = n(HO^-)_{\text{versé}} = c_B \times V_E$$

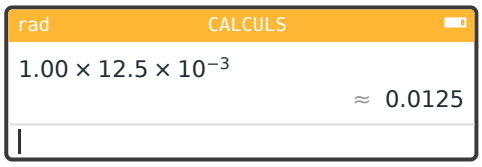
$$n(C_7H_6O_2) = 1{,}00 \times 12{,}5 \times 10^{-3}$$

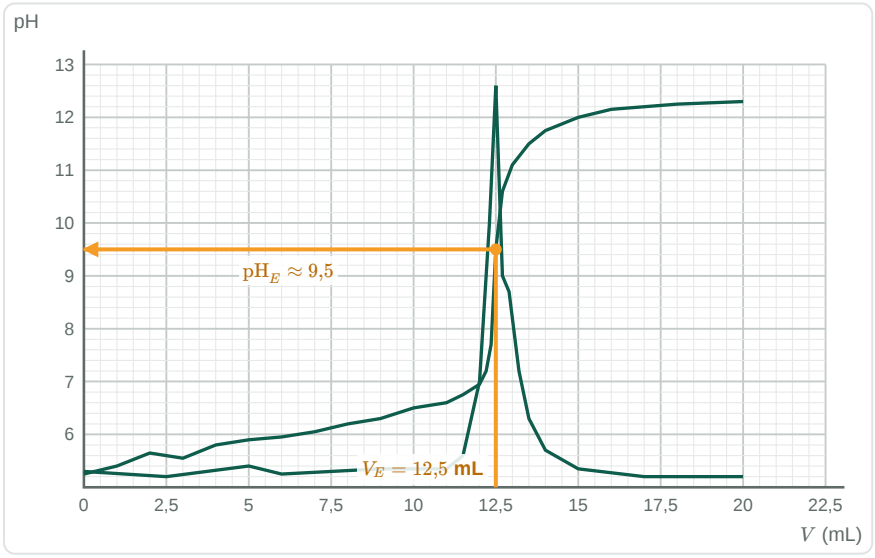
$n(C_7H_6O_2) = 1{,}25 \times 10^{-2}$ mol dans les 10,0 mL prélevés

PIÈGE
Laisser V_E en mL : la concentration est en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, il faut $12{,}5 \times 10^{-3}$ L.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c_B et V_E. La méthode des tangentes parallèles, appliquée à la courbe de pH, donne le même volume.

À LA CALCULATRICE





1.6 · Annexe complétée : le maximum de la courbe dérivée (courbe en pic, échelle de droite du sujet non reproduite) repère V_E

1.7 Déterminer la quantité de matière de benzaldéhyde présente dans 10,0 mL de benzaldéhyde pur.

Données utiles $\rho = 1{,}02\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M = 106\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V = 10{,}0\ \text{mL}$

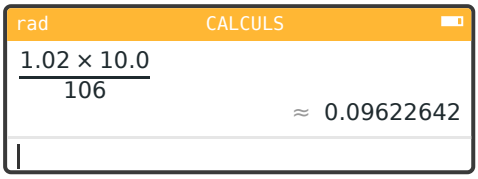
Masse de l'échantillon pur : $m = \rho \times V$. Donc

$$n_{\text{pur}} = \frac{m}{M} = \frac{\rho \times V}{M} = \frac{1{,}02 \times 10{,}0}{106}$$

$n_{\text{pur}} = 9{,}62 \times 10^{-2}$ mol

COMPRENDRE
La masse volumique est donnée en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$: on garde le volume en mL, la masse sort directement en grammes, unité cohérente avec M.

À LA CALCULATRICE



1.8 En déduire la valeur de la pureté de la solution du flacon entamé de benzaldéhyde.

Données utiles $n(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = 1{,}25 \times 10^{-2}$ mol (1.6) ; $n_{\text{pur}} = 9{,}62 \times 10^{-2}$ mol (1.7)

Chaque molécule d'acide benzoïque provient de l'oxydation d'une molécule de benzaldéhyde. La quantité de benzaldéhyde réellement présente dans les 10,0 mL est donc :

$$n_{\text{réel}} = n_{\text{pur}} - n(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2)$$

D'après la définition donnée :

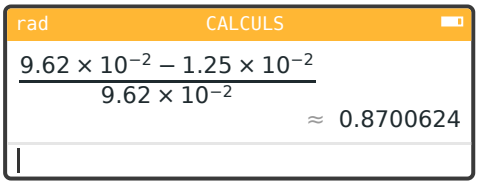
$$p = \frac{n_{\text{réel}}}{n_{\text{pur}}} = \frac{9{,}62 \times 10^{-2} - 1{,}25 \times 10^{-2}}{9{,}62 \times 10^{-2}}$$

$p = 0{,}870$, soit une pureté de $87{,}0\ \%$

PIÈGE
Calculer $\frac{1{,}25 \times 10^{-2}}{9{,}62 \times 10^{-2}} = 13\ \%$ et l'annoncer comme pureté : c'est la part oxydée. Le titrage dose l'impureté, pas le benzaldéhyde.

COMPRENDRE
Ce raisonnement suppose que les 10,0 mL prélevés contiennent autant de molécules au total (benzaldéhyde et acide) que 10,0 mL de benzaldéhyde pur : c'est l'approximation attendue ici.

À LA CALCULATRICE



1.9 Expliquer quel indicateur coloré choisir pour réaliser le même titrage par suivi colorimétrique, et indiquer le changement de couleur qui repère l'équivalence.

Données utiles hélianthine 3,1–4,4 ; bleu de thymol 8,0–9,6 (jaune, puis bleu) ; bleu de Nil 10,1–11,1

Un indicateur convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

Sur la courbe, pour $V_E = 12{,}5$ mL, on lit $\text{pH}_E \approx 9{,}5$ (voir la lecture tracée à la question 1.6). Cette valeur appartient à la zone de virage du bleu de thymol (8,0–9,6), qui est de plus tout entière dans le saut de pH.

Avant l'équivalence le milieu est acide (forme jaune) ; après, les ions HO^- sont en excès (forme bleue).

Bleu de thymol : la solution passe du **jaune au bleu** à l'équivalence.

PIÈGE
Donner le virage à l'envers (bleu vers jaune) : c'est la base que l'on verse, le pH augmente, on passe donc de la teinte acide à la teinte basique.

2.1 Pour les réactifs de l'étape (a), dire si le carbone lié à Mg dans le bromure d'allylmagnésium est un site donneur ou accepteur d'électrons ; même question pour le carbone du groupe carbonyle du benzaldéhyde.

Données utiles électronégativités : C 2,55 ; O 3,44 ; Mg 1,31

Liaison C–Mg : $\chi(\mathrm{C}) = 2{,}55 > \chi(\mathrm{Mg}) = 1{,}31$. Le carbone, plus électronégatif, attire à lui le doublet liant et porte une charge partielle négative δ^-.

Liaison C=O : $\chi(\mathrm{O}) = 3{,}44 > \chi(\mathrm{C}) = 2{,}55$. L'oxygène attire les doublets liants ; le carbone porte une charge partielle positive δ^+.

Le carbone lié à Mg est un site **donneur** de doublet d'électrons ; le carbone du carbonyle est un site **accepteur** (« attracteur » dans l'énoncé).

PIÈGE
Raisonner par habitude (« un carbone est toujours δ^+ ») : lié à un métal peu électronégatif comme Mg, le carbone devient δ^-. Il faut comparer les électronégativités liaison par liaison.

2.2 Compléter, dans l'annexe, le mécanisme réactionnel de l'étape (a) en indiquant la ou les flèches courbes manquantes.

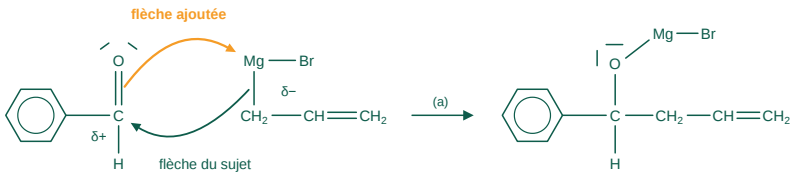
La flèche déjà tracée part du doublet de la liaison C–Mg (site donneur) et pointe vers le carbone du carbonyle (site accepteur) : elle traduit la formation de la liaison C–C et la rupture de la liaison C–Mg.

Dans le produit, la liaison C=O est devenue simple et une liaison O–Mg est apparue. Il manque donc une flèche : elle part d'un doublet de la double liaison C=O et pointe vers l'atome Mg.

Une flèche courbe à ajouter, de la double liaison C=O vers Mg (voir l'annexe complétée).

COMPRENDRE
Autre tracé accepté, avec deux flèches : de la liaison C=O vers l'atome O, puis d'un doublet non liant de O vers Mg. Le bilan électronique est le même.

MÉTHODE
Comparer réactifs et produit : chaque liaison rompue est le départ d'une flèche, chaque liaison formée en est l'arrivée. Une flèche part toujours d'un doublet (liant ou non liant), jamais d'un atome nu ni d'une charge.



2.2 · Annexe complétée : en orange, la flèche courbe manquante (du doublet de la liaison C=O vers Mg)

2.3 Représenter en représentation de Cram les deux stéréoisomères obtenus à l'issue de l'étape (b), puis préciser, en justifiant, la relation de stéréoisomérie qui les lie.

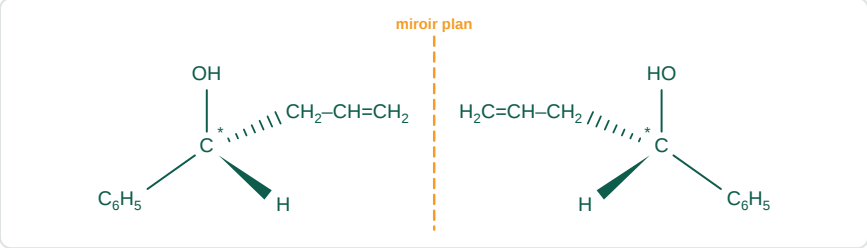
Dans l'alcool obtenu, le carbone qui porte le groupe hydroxyle est lié à quatre groupes différents : $-\mathrm{OH}$, $-\mathrm{H}$, $-\mathrm{C_6H_5}$ et $-\mathrm{CH_2-CH=CH_2}$. C'est un carbone asymétrique (noté C*), et c'est le seul de la molécule.

La molécule est donc chirale : elle existe sous deux configurations, images l'une de l'autre dans un miroir plan et non superposables (voir la figure).

Les deux stéréoisomères sont des **énantiomères**.

COMPRENDRE
Convention de Cram : trait plein dans le plan de la feuille, triangle plein vers l'avant, triangle hachuré vers l'arrière. Pour passer d'un énantiomère à l'autre, on peut aussi échanger deux des quatre groupes.

COMPRENDRE
La stéréoisomérie (carbone asymétrique, chiralité, énantiomères) faisait partie du programme de Terminale S ; elle ne figure plus au programme actuel de la spécialité.



2.3 · Les deux stéréoisomères en représentation de Cram, images l'un de l'autre dans un miroir plan

2.4 L'obtention de deux stéréoisomères, aux effets biologiques éventuellement différents, pose problème pour un médicament. En déduire l'intérêt de l'étape 2.

Le produit de l'étape 2 est dessiné avec une liaison en triangle plein vers le groupe $-\mathrm{OH}$: la configuration du carbone asymétrique est fixée. L'étape 2, réalisée avec une enzyme (lipase), ne conserve donc qu'un seul des deux énantiomères formés à l'étape 1.

L'étape 2 isole un seul énantiomère : la suite de la synthèse conduit alors uniquement au stéréoisomère de la sertraline qui possède l'effet biologique recherché.

COMPRENDRE
Le rendement de 40 % de l'étape 2 se comprend ainsi : le mélange de départ ne contient que 50 % du bon énantiomère, on ne peut pas en récupérer davantage.

3.1 Évaluer la durée de la réaction de Barbier à partir des CCM réalisées de $t = 0$ à 7 min, en expliquant le raisonnement.

À $t = 0$, seul le benzaldéhyde (réactif révélé sous UV) est présent : il donne la tache du haut.

Cette tache s'atténue à 2 min puis à 3 min, pendant qu'une tache plus basse apparaît : c'est le produit qui se forme.

À partir de $t = 4$ min, la tache du benzaldéhyde a disparu et les dépôts 4 à 7 sont identiques : le milieu n'évolue plus.

Le benzaldéhyde est entièrement consommé entre 3 et 4 min : la réaction dure environ **4 min**.

MÉTHODE
Suivi par CCM : la réaction est terminée au premier prélèvement où la tache du réactif limitant a disparu, les chromatogrammes suivants étant identiques.

3.2 Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction de la variante verte, l'eau oxygénée étant transformée en eau. Montrer qu'il s'agit d'une oxydation pour l'espèce organique.

Données utiles réactif $\mathrm{C_{10}H_{22}O}$; produit $\mathrm{C_{10}H_{20}O_2}$; une oxydation est une perte d'électrons

Demi-équation de l'espèce organique :

$$\mathrm{C_{10}H_{22}O + H_2O = C_{10}H_{20}O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-}$$

Les électrons apparaissent du côté du produit : l'espèce organique $\mathrm{C_{10}H_{22}O}$ perd 4 électrons, elle subit bien une **oxydation**.

Demi-équation du peroxyde d'hydrogène (oxydant, il est réduit) :

$$\mathrm{H_2O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^- = 2\,H_2O}$$

On multiplie la seconde par 2 pour échanger 4 électrons, on additionne, puis on simplifie les ions $\mathrm{H^+}$ et une molécule d'eau :

$$\mathrm{C_{10}H_{22}O + 2\,H_2O_2 \longrightarrow C_{10}H_{20}O_2 + 3\,H_2O}$$

PIÈGE
Oublier de simplifier l'eau : 4 $\mathrm{H_2O}$ formées à droite, 1 consommée à gauche, il en reste 3. Vérifier le bilan final : 26 H et 5 O de chaque côté.

MÉTHODE
Demi-équation en milieu acide : équilibrer d'abord les atomes autres que O et H, puis O avec $\mathrm{H_2O}$, puis H avec $\mathrm{H^+}$, enfin les charges avec des électrons.

3.3 Déterminer le rendement de l'oxydation dans la variante verte, l'eau oxygénée étant en excès. Peut-on conclure quant à l'intérêt de cette variante en termes de rendement ?

Données utiles réactif : $m_1 = 100$ g, $M_1 = 158\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; produit : $m_2 = 96$ g, $M_2 = 172\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; étape 7 (Jones) : 98 %

L'eau oxygénée est en excès : $C_{10}H_{22}O$ est le réactif limitant. D'après l'équation (1 pour 1), la quantité maximale de produit est $n_{\max} = n(C_{10}H_{22}O)_i = \dfrac{m_1}{M_1}$.

Quantité de produit obtenue : $n_{\text{exp}} = \dfrac{m_2}{M_2}$.

$$\eta = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\max}} = \frac{m_2/M_2}{m_1/M_1} = \frac{96/172}{100/158} = 0{,}88$$

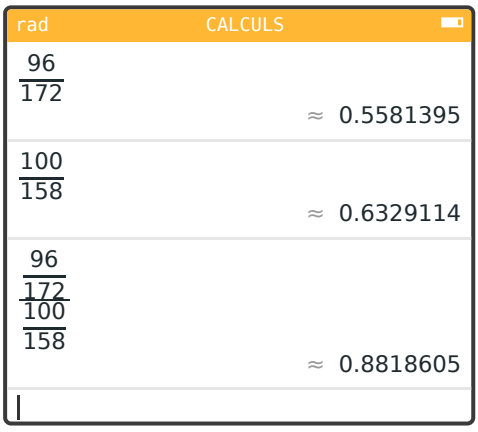
L'oxydation de Jones de l'étape 7 affiche 98 %. Avec 88 %, la variante verte donne un bon rendement, mais inférieur : elle n'apporte pas d'avantage sur ce critère. La comparaison reste toutefois indicative, car la variante a été testée sur une autre molécule que celle de la synthèse.

$\eta = 88\ \%$: en termes de rendement, la variante verte est moins intéressante que l'oxydation de Jones (98 %).

PIÈGE
Calculer $\dfrac{96}{100} = 96\ \%$: un rendement compare des quantités de matière, pas des masses, car réactif et produit n'ont pas la même masse molaire.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, imposés par la masse de produit (96 g).

À LA CALCULATRICE



3.4 Donner un argument expliquant pourquoi la variante verte est plus compatible avec la chimie durable que l'oxydation de Jones.

L'oxydation de Jones emploie l'acide chromique, composé du chrome (VI) classé cancérogène dès que sa teneur dépasse 0,1 %.

La variante utilise une solution de peroxyde d'hydrogène à 30 % : d'après le tableau (tranche 8–35 %), elle est seulement irritante pour la peau, et l'oxydant se transforme en eau.

La variante verte remplace un oxydant cancérogène par un réactif bien moins dangereux, qui ne rejette que de l'eau : elle est plus sûre pour l'opérateur et pour l'environnement.

COMPRENDRE
Autre argument recevable : la variante fait appel à un catalyseur, l'un des principes de la chimie verte.

L'effet Doppler peut-il perturber un danseur ?

Bac S 2016 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 À l'aide des documents, déterminer la distance horizontale parcourue par Kilian lors de son grand jeté.

Données utiles courbe $z = f(x)$ de la trajectoire de G ; plan de la scène à l'échelle 1/120

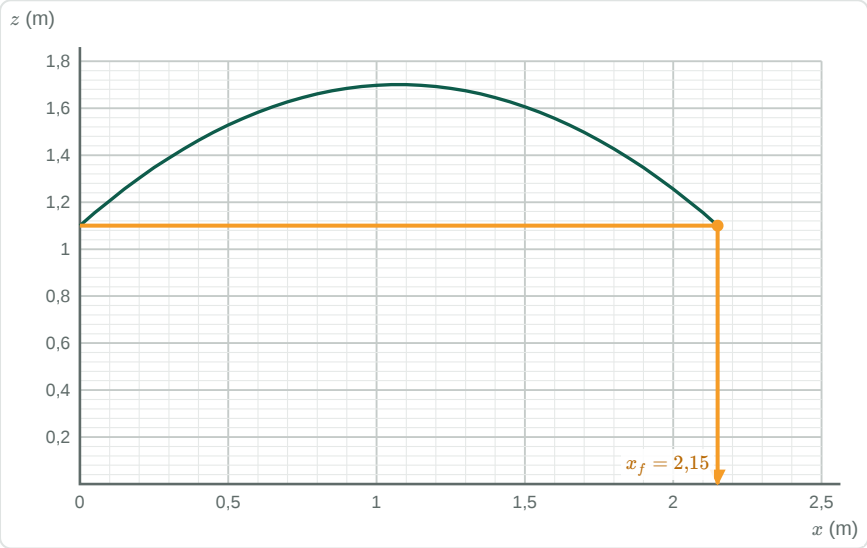
Sur la courbe $z = f(x)$, le saut commence en G_i d'abscisse $x_i = 0$ m et se termine en G_f, dernier point de la courbe, d'abscisse $x_f = 2{,}15$ m.

La distance horizontale parcourue est $d = x_f - x_i$.

$$d = G_iG_f = 2{,}15 \text{ m}$$

COMPRENDRE
La distance horizontale se lit sur l'axe des abscisses, pas le long de la courbe : la longueur de l'arc tient aussi compte du déplacement vertical de G.

MÉTHODE
Vérification avec le plan : mesurer G_iG_f à la règle sur la feuille puis multiplier par 120. Une mesure proche de 1,8 cm donne environ 2,2 m, ce qui confirme la lecture graphique.



1.1 · Trajectoire de G : lecture de l'abscisse de G_f

1.2 En déduire la vitesse horizontale moyenne de Kilian lors de son grand jeté.

Données utiles $d = 2{,}15$ m (1.1) ; $\Delta t = 0{,}710$ s

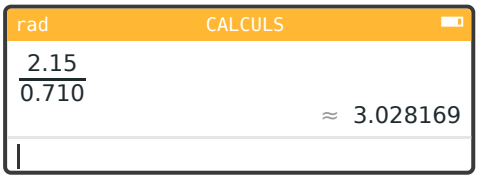
La vitesse horizontale moyenne est le quotient de la distance horizontale parcourue par la durée du saut :

$$v_x = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2{,}15}{0{,}710}$$

$$v_x = 3{,}03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme d et Δt. Environ 11 km/h : une valeur réaliste pour un danseur lancé après une course d'élan.

À LA CALCULATRICE



2.1 Quelle est la fréquence des notes émises par le piano pendant le grand jeté de Kilian ?

D'après le tableau chronologique, Alice ne joue que des La3 pendant la course d'élan et le grand jeté. Le tableau des fréquences donne, pour le La de l'octave 3 :

$f_E = 440$ Hz

PIÈGE
Lire la bonne ligne du tableau des fréquences : le La vaut 110 Hz à l'octave 1 et 220 Hz à l'octave 2.

2.2 Quelle est la fréquence des notes perçues par Kilian pendant son grand jeté ? Expliquer en détail le raisonnement et le calcul.

Données utiles $f_E = 440$ Hz (2.1) ; $v_R = v_x = 3{,}03\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1.2) ; $v_{son} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Le piano est l'émetteur, immobile ; Kilian est le récepteur, en mouvement par rapport au piano : il y a effet Doppler.

Sur le plan de la scène, G_f est plus loin du piano que G_i : Kilian s'éloigne de l'émetteur. La fréquence perçue est donc plus faible que la fréquence émise et s'écrit :

$$f_R = f_E \times \frac{v_{son}}{v_{son} + v_R}$$

La vitesse du récepteur est la vitesse horizontale de G, supposée constante : $v_R = v_x$.

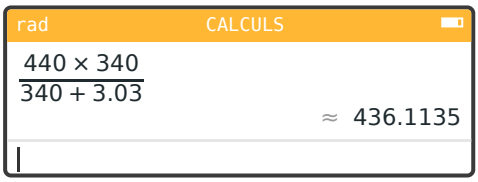
$$f_R = 440 \times \frac{340}{340 + 3{,}03}$$

$f_R = 436$ Hz

PIÈGE
Choisir la formule avec le signe « $-$ » : elle donnerait 444 Hz, un son plus aigu, ce qui correspond à un danseur qui se rapproche du piano.

MÉTHODE
Contrôle rapide du résultat : récepteur qui s'éloigne, donc $f_R < f_E$ et son plus grave ; récepteur qui s'approche, donc $f_R > f_E$ et son plus aigu.

À LA CALCULATRICE



2.3 Kilian a une oreille entraînée par des années d'études musicales : expliquer s'il peut percevoir cette différence de hauteur.

Données utiles $f_E = 440$ Hz ; $v_R = 3{,}03\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{son} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; seuil d'une oreille entraînée : $\frac{1}{1000}$

Immobile, Kilian a entendu les premiers La3 à la fréquence émise, 440 Hz. Pendant le saut, il les perçoit à la fréquence f_R. La variation relative de fréquence entre ces deux sons successifs est :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{f_E - f_R}{f_E} = 1 - \frac{v_{son}}{v_{son} + v_R} = \frac{v_R}{v_{son} + v_R} = \frac{3{,}03}{340 + 3{,}03} = 8{,}8 \times 10^{-3}$$

Le seuil différentiel relatif d'une oreille entraînée vaut $\frac{1}{1000} = 1 \times 10^{-3}$.

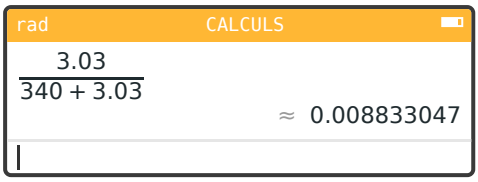
Comme $8{,}8 \times 10^{-3} > 1 \times 10^{-3}$, la variation relative dépasse le seuil.

$\frac{\Delta f}{f} = 8{,}8 \times 10^{-3} > 1 \times 10^{-3}$: Kilian perçoit la différence de hauteur, le son lui paraît plus grave.

PIÈGE
Calculer $\frac{440 - 436}{440}$ avec la valeur arrondie de f_R : la différence 4 Hz n'a plus qu'un chiffre significatif et le résultat devient 9×10^{-3}. La conclusion reste la même.

COMPRENDRE
L'écart n'est que d'environ 4 Hz, mais c'est le rapport $\frac{\Delta f}{f}$ qui compte pour l'oreille : il vaut ici près de neuf fois le seuil d'un musicien.

À LA CALCULATRICE



2.4 Un autre danseur, n'ayant pas l'oreille entraînée, aurait-il été capable de percevoir cette différence de fréquence ?

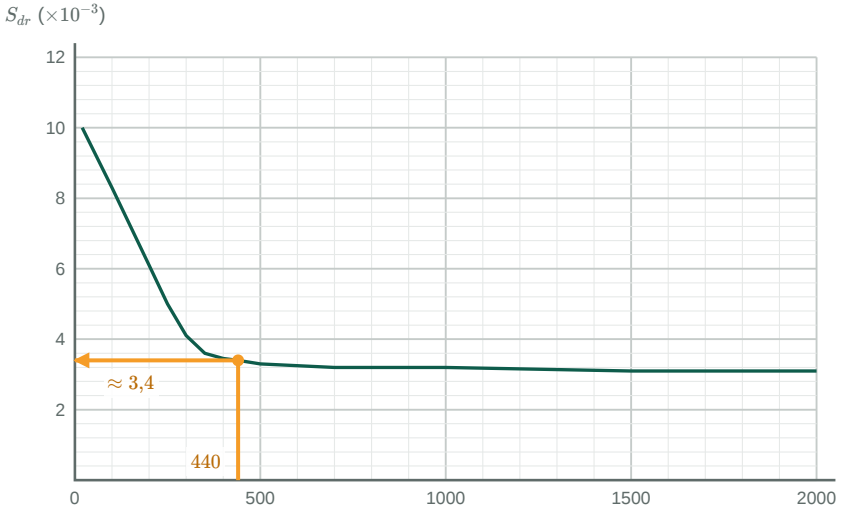
Données utiles courbe de la loi de Weber-Fechner (oreille moyenne) ; $\frac{\Delta f}{f} = 8{,}8 \times 10^{-3}$ (2.3)

Pour une oreille moyenne, le seuil se lit sur la courbe de Weber-Fechner. Pour un son de référence de fréquence 440 Hz, on lit $S_{dr} \approx 3{,}4 \times 10^{-3}$.

La variation relative subie pendant le saut est supérieure à ce seuil : $8{,}8 \times 10^{-3} > 3{,}4 \times 10^{-3}$.

Oui : avec $S_{dr} \approx 3{,}4 \times 10^{-3} < 8{,}8 \times 10^{-3}$, un danseur à l'oreille non entraînée percevrait aussi la différence de hauteur.

COMPRENDRE
La lecture est peu précise (entre 3×10^{-3} et 4×10^{-3} selon le tracé), mais la variation calculée vaut plus du double du seuil : la conclusion ne dépend pas de cette incertitude.



2.4 · Seuil différentiel relatif d'une oreille moyenne (zoom de 0 à 2000 Hz) : lecture à 440 Hz

3 Expliquer l'origine du désaccord entre Alice et Kilian.

Alice a raison : elle a joué la même note, un La3 de fréquence 440 Hz, pendant toute la fin de l'acte.

Kilian a raison lui aussi. Immobile, il a reçu les premiers La3 à 440 Hz. Pendant son grand jeté, il s'éloignait du piano à environ $3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$: par effet Doppler, il a perçu les La3 suivants à 436 Hz, donc plus graves.

La variation relative de fréquence, $8{,}8 \times 10^{-3}$, dépasse le seuil différentiel de l'oreille, entraînée ou non : la différence de hauteur était réellement audible pour lui.

Le désaccord vient de l'effet Doppler : la note émise est restée la même, mais le mouvement de Kilian par rapport au piano a abaissé la fréquence qu'il percevait.

COMPRENDRE
La fréquence émise ne dépend que de la source ; la fréquence perçue dépend aussi du mouvement relatif de l'émetteur et du récepteur. Assise à son piano, Alice n'observe aucun décalage.

Spécialité : L'orgue marin de Blackpool

Bac S 2016 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

Q Question préliminaire. Parmi les trois tuyaux représentés sur le plan à l'échelle de l'orgue, indiquer celui qui joue la note la plus grave. Justifier.

Données utiles tuyau ouvert aux deux extrémités : $L = \dfrac{v_{\text{son}}}{2 \times f}$

La note la plus grave est celle dont la fréquence f est la plus petite.

La relation du sujet donne $f = \dfrac{v_{\text{son}}}{2L}$.

Les trois tuyaux contiennent le même air, à la même température : v_{son} a la même valeur pour tous. La fréquence est donc inversement proportionnelle à la longueur L : elle est la plus petite pour le tuyau le plus long.

La note la plus grave est jouée par le tuyau le plus long, celui du bas sur le plan.

COMPRENDRE

Grave signifie basse fréquence, aigu signifie haute fréquence. La « hauteur » d'une note, mot employé sur le panneau, désigne la fréquence du son, pas une altitude sur la sculpture.

P Problème. Vérifier, à l'aide des documents, la phrase inscrite sur le panneau explicatif. Cette phrase est-elle vraie tout au long de l'année ? Justifier.

Données utiles $H = 15{,}0$ m ; $L = \dfrac{v_{\text{son}}}{2 \times f}$; $v_{\text{son}} = 331{,}5 + 0{,}607 \times \theta$; températures moyennes mensuelles ; tableau des fréquences des notes

1. Mesures sur le plan. Sur le plan imprimé, la hauteur $H = 15{,}0$ m est représentée par $22{,}6$ cm. Les trois tuyaux mesurent $4{,}4$ cm (tuyau 1, en bas), $2{,}2$ cm (tuyau 2, en haut) et $1{,}5$ cm (tuyau 3, au milieu), à $0{,}1$ cm près.

Longueur réelle du tuyau 1 : $L_1 = \dfrac{4{,}4}{22{,}6} \times 15{,}0 = 2{,}92$ m, soit environ $2{,}9$ m.

2. La note la plus basse est-elle un si bémol ? Hypothèse : l'air des tuyaux est à la température moyenne annuelle, voisine de $\theta = 9$ °C d'après le graphique.

$$v_{\text{son}} = 331{,}5 + 0{,}607 \times 9 = 337 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$f_1 = \frac{v_{\text{son}}}{2L_1} = \frac{337}{2 \times 2{,}92} = 58 \text{ Hz}$$

Le tableau donne $58{,}3$ Hz pour le Si b de l'octave 0 ; les notes voisines sont le La ($55{,}0$ Hz) et le Si ($61{,}7$ Hz). La note la plus basse est bien un si bémol.

3. Fréquences double et triple. Comme v_{son} est la même dans tous les tuyaux, $\dfrac{f_2}{f_1} = \dfrac{L_1}{L_2}$ et $\dfrac{f_3}{f_1} = \dfrac{L_1}{L_3}$. Les rapports se calculent directement avec les longueurs mesurées sur le plan :

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{4{,}4}{2{,}2} = 2{,}0 \qquad \frac{f_3}{f_1} = \frac{4{,}4}{1{,}5} = 2{,}9$$

Une fréquence triple correspondrait à un tuyau de $\dfrac{4{,}4}{3} = 1{,}5$ cm sur le plan : c'est la longueur mesurée, à la précision de la règle. Les fréquences des deuxième et troisième notes sont bien le double et le triple de la première.

4. Au cours de l'année. La température moyenne varie de $3{,}5$ °C (février) à 15 °C (juillet et août). Pour le tuyau 1 :

$$f_{\min} = \frac{331{,}5 + 0{,}607 \times 3{,}5}{2 \times 2{,}92} = 57{,}1 \text{ Hz} \qquad f_{\max} = \frac{331{,}5 + 0{,}607 \times 15}{2 \times 2{,}92} = 58{,}3 \text{ Hz}$$

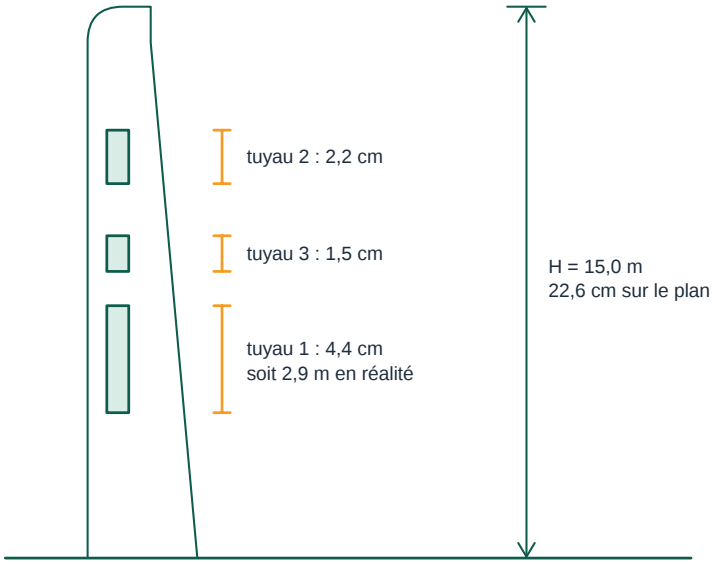
La fréquence varie d'environ 1 Hz sur l'année, alors qu'il faut $3{,}3$ Hz pour passer du Si b au La ou au Si. La note reste donc un si bémol, un peu plus bas en hiver. Les rapports 2 et 3 ne dépendent que des longueurs des tuyaux : la température ne les modifie pas.

La phrase du panneau est vérifiée : $f_1 \approx 58$ Hz (Si b), $f_2 = 2f_1$, $f_3 = 3f_1$. Elle reste vraie toute l'année : f_1 varie seulement de $57{,}1$ Hz à $58{,}3$ Hz.

PIÈGE
Mesurer sur le schéma de fonctionnement de la première page : il n'est pas à l'échelle. Seul le plan de profil, où $H = 15{,}0$ m, permet de convertir les longueurs. Les centimètres mesurés dépendent de l'impression, pas les rapports.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs pour f_1, comme la longueur lue sur le plan ($4{,}4$ cm). L'incertitude de $0{,}1$ cm sur cette lecture représente environ 2 %, soit 1 Hz : l'accord avec $58{,}3$ Hz est satisfaisant.

COMPRENDRE
Les instruments à vent et la relation entre longueur d'un tuyau et fréquence relevaient de l'ancien enseignement de spécialité ; ils ne sont plus au programme actuel. La relation est fournie : seule son exploitation est attendue.



P · Plan à l'échelle : longueurs mesurées sur le plan imprimé

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{4.4}{22.6} \times 15.0 \approx 2.920354$

$331.5 + 0.607 \times 9 \approx 336.963$

$\frac{337}{2 \times 2.92} \approx 57.70548$

$\frac{4.4}{1.5} \approx 2.933333$

$\frac{331.5 + 0.607 \times 3.5}{2 \times 2.92} \approx 57.12748$

$\frac{331.5 + 0.607 \times 15}{2 \times 2.92} \approx 58.32277$