Corrigé complet — Bac S 2013 Inde (Pondichéry) (ancien programme)

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

Ex 1	**Protons énergétiques** Interactions fondamentales · Énergie cinétique · Quantité de mouvement · Relation de de Broglie · Dilatation des durées · Exploitation de documents	5,5 pts	50 min	10 questions	p. 2
Ex 2	**Molécule d'ibuprofène** Chiralité et représentation de Cram · Spectroscopie infrarouge · Spectroscopie RMN · Utilisation atomique · Sites donneur et accepteur · Titrage acido-basique	9,5 pts	1 h 30	19 questions	p. 6
Ex 3	**Pendule simple** Pendule simple · Période des oscillations · Analyse d'un texte historique · Frottements et amortissement · Poids et pesanteur apparente · Précision d'une mesure	5 pts	50 min	14 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Clarinettiste voyageur** Son pur et son complexe · Période et fréquence · Fréquences propres d'un tuyau sonore · Fondamental et harmoniques · Matériaux composites · Synthèse de documents	5 pts	50 min	6 questions	p. 17

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.

Protons énergétiques

Bac S 2013 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 1 **5,5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 L'interaction forte est-elle attractive ou répulsive ? Est-elle plus ou moins intense que l'interaction électrique ? Justifier à l'aide du document 1.

D'après le document 1, l'interaction électrique entre protons est répulsive et l'emporte largement sur l'interaction gravitationnelle : à elles deux, elles feraient éclater le noyau.

Or le noyau reste soudé, et c'est l'interaction forte qui assure sa cohésion : elle rapproche les nucléons et domine la répulsion électrique.

L'interaction forte est **attractive** et **plus intense** que l'interaction électrique.

PIÈGE
Répondre sans citer le document. Deux justifications sont attendues : la cohésion du noyau (attractive) et le fait qu'elle l'emporte sur la répulsion entre protons (plus intense).

1.2 Déterminer la charge électrique d'un quark up, sous la forme d'une fraction de la charge e du proton.

Données utiles proton : deux quarks up et un quark down ; charge du quark down : $-\frac{e}{3}$

La charge du proton, égale à $+e$, est la somme des charges de ses trois quarks. En notant q_u la charge d'un quark up :

$$2\,q_u - \frac{e}{3} = e \quad \text{donc} \quad 2\,q_u = \frac{4e}{3}$$

$$q_u = +\frac{2}{3}\,e$$

MÉTHODE
Vérifier le résultat par la somme : $\frac{2e}{3} + \frac{2e}{3} - \frac{e}{3} = e$. La charge se conserve, celle d'un édifice est la somme des charges de ses constituants.

2.1 Calculer, en joule puis en mégaélectron-volt, l'énergie cinétique d'un proton dont la vitesse vaut 10 % de la célérité c de la lumière dans le vide.

Données utiles $m_p = 1{,}673 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1\ \text{MeV} = 1{,}602 \times 10^{-13}$ J

À $v = 0{,}10\,c$, le proton est à la limite du domaine classique (document 4) : $E_c = \frac{1}{2} m_p\, v^2$.

$$E_c = \frac{1}{2} \times 1{,}673 \times 10^{-27} \times \left(0{,}10 \times 3{,}00 \times 10^{8}\right)^2 = 7{,}5 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

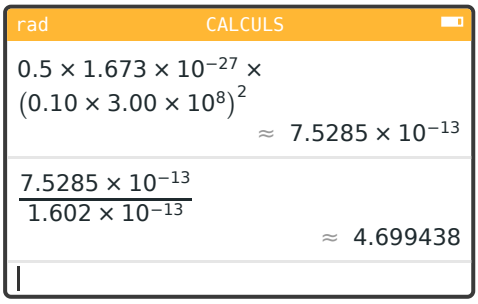
Conversion : $E_c = \dfrac{7{,}5285 \times 10^{-13}}{1{,}602 \times 10^{-13}} = 4{,}7\ \text{MeV}$

$$E_c = 7{,}5 \times 10^{-13}\ \text{J} = 4{,}7\ \text{MeV}$$

PIÈGE
Oublier le carré sur la vitesse, ou multiplier par $1{,}602 \times 10^{-13}$ au lieu de diviser : un proton ne peut pas avoir une énergie de 10^{-25} MeV.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs : la donnée la moins précise est « 10 % ». Pour convertir, on garde la valeur non arrondie de la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



2.2 Justifier par un argument quantitatif la phrase du document 4 : « les protons les plus énergétiques des rayons cosmiques sont relativistes ».

Données utiles $E_c = 4{,}7$ MeV à $v = 0{,}10\,c$ (2.1) ; protons cosmiques : de 100 MeV à 10 GeV

Un proton est classique tant que $v < 0{,}10\,c$, c'est-à-dire tant que son énergie cinétique reste inférieure à $4{,}7$ MeV (2.1).

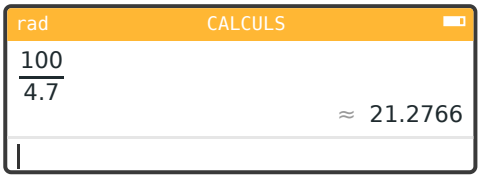
Les protons cosmiques les plus énergétiques ont une énergie cinétique d'au moins 100 MeV, soit plus de 20 fois cette limite ($\frac{100}{4{,}7} \approx 21$). L'énergie cinétique augmentant avec la vitesse, leur vitesse dépasse $0{,}10\,c$.

$E_c \geqslant 100\ \text{MeV} \gg 4{,}7\ \text{MeV}$: ces protons sont relativistes.

PIÈGE

Calculer leur vitesse avec $E_c = \frac{1}{2}mv^2$: la formule n'est plus valable pour eux. On compare donc des énergies, pas des vitesses.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Calculer la valeur de la quantité de mouvement p d'un proton dont la vitesse vaut 10 % de c.

Données utiles $m_p = 1{,}673 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Le proton est encore classique à cette vitesse : $p = m_p\,v$.

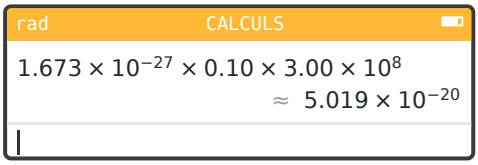
$$p = 1{,}673 \times 10^{-27} \times 0{,}10 \times 3{,}00 \times 10^{8}$$

$p = 5{,}0 \times 10^{-20}\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE

La quantité de mouvement $p = mv$ était au programme du Bac S ; elle ne figure plus dans celui de la spécialité actuelle.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 En déduire la valeur de la longueur d'onde λ associée.

Données utiles $h = 6{,}62 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$; $p = 5{,}019 \times 10^{-20}\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.3.1)

Relation de de Broglie : $\lambda = \frac{h}{p}$.

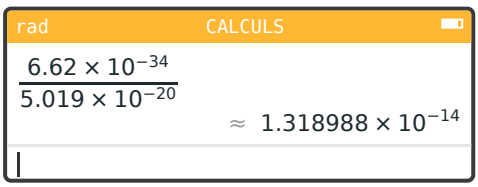
$$\lambda = \frac{6{,}62 \times 10^{-34}}{5{,}019 \times 10^{-20}}$$

$\lambda = 1{,}3 \times 10^{-14}\ \text{m}$

COMPRENDRE

Cette longueur d'onde est de l'ordre de la taille d'un noyau. La relation de de Broglie et les ondes de matière ne sont plus au programme de la spécialité actuelle.

À LA CALCULATRICE



3.1 Expliquer pourquoi les muons sont des particules relativistes.

Données utiles $v = 0{,}9997\,c$; limite du domaine classique : $0{,}10\,c$ (document 4)

D'après le document 4, une particule est relativiste dès que sa vitesse atteint ou dépasse 10 % de c.

$v = 0{,}9997\,c > 0{,}10\,c$: les muons sont relativistes.

3.2 Expliquer par un raisonnement quantitatif pourquoi des muons issus des rayons cosmiques peuvent être observés au niveau du sol terrestre.

Données utiles $v = 0{,}9997\,c$; $\Delta t_0 = 2{,}2\ \mu s$; durée de la traversée pour un observateur terrestre : $67\ \mu s$

Dans le référentiel terrestre, où le muon est en mouvement, sa durée de vie est dilatée : $\Delta t = \gamma\,\Delta t_0$.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-0{,}9997^2}} = 40{,}83$$

$$\Delta t = 40{,}83 \times 2{,}2 = 90\ \mu s$$

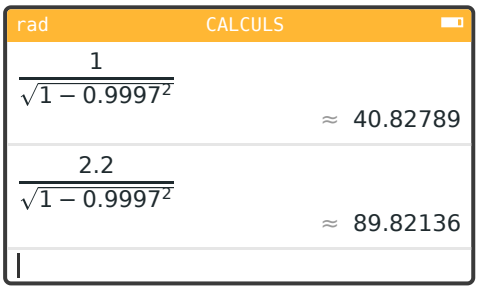
Les deux durées sont mesurées par le même observateur terrestre, on peut les comparer : la durée de vie du muon ($90\ \mu s$) dépasse la durée de la traversée de l'atmosphère ($67\ \mu s$).

$\Delta t = 90\ \mu s > 67\ \mu s$: des muons atteignent le sol avant de se désintégrer.

PIÈGE
Comparer $2{,}2\ \mu s$ à $67\ \mu s$: ces durées ne sont pas mesurées dans le même référentiel. La durée propre est celle mesurée dans le référentiel où le muon est immobile.

COMPRENDRE
Comme $v/c = 0{,}9997$, la célérité c se simplifie dans γ. La relativité restreinte (dilatation des durées) ne figure plus au programme de la spécialité actuelle.

À LA CALCULATRICE



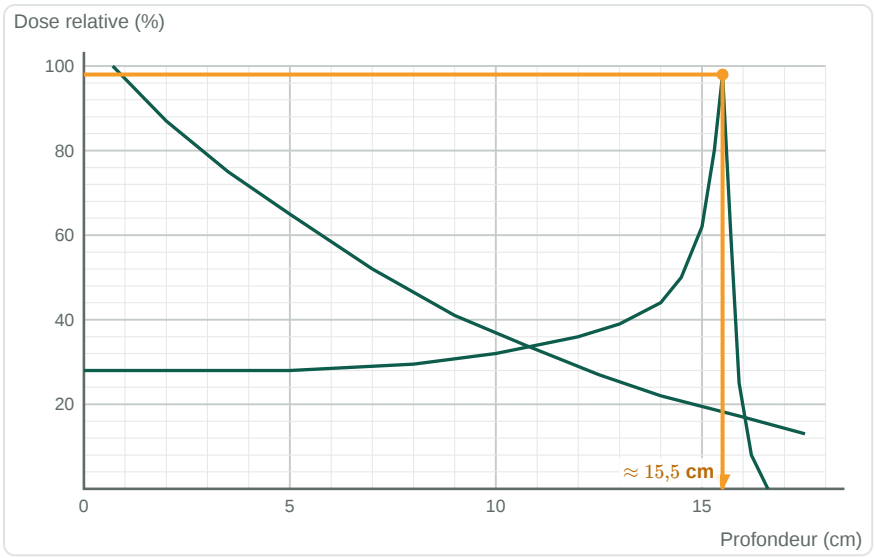
4.1 Pour l'exemple de la figure 2, déterminer à quelle profondeur doit se trouver la tumeur traitée pour que la protonthérapie soit la plus efficace. Justifier.

Le traitement est le plus efficace si la tumeur reçoit le maximum d'énergie, donc si elle se trouve là où la dose relative des protons est maximale (100 %) : au pic de Bragg.

Lecture de l'abscisse du pic sur la figure 2 :

La tumeur doit se trouver à une profondeur d'environ $15{,}5$ cm.

MÉTHODE
Une lecture graphique se justifie : dire quelle grandeur on repère (ici le maximum de dose), puis lire l'abscisse avec l'échelle. Toute valeur entre 15 et 16 cm est acceptée.



4.1 · Figure 2 du sujet (allure) : protons de 150 MeV (courbe avec pic) et photons (courbe décroissante), lecture du pic de Bragg

4.2 Lequel des deux traitements respecte le mieux « l'art de la radiothérapie » ? Deux arguments sont attendus.

L'art de la radiothérapie : une dose suffisante pour détruire toutes les cellules cancéreuses, en abîmant le moins possible les cellules saines.

- Les protons déposent leur dose maximale dans une zone étroite, celle de la tumeur (pic de Bragg), alors que les photons n'y déposent plus qu'environ 20 % de la dose maximale.
- Les tissus sains sont mieux épargnés : avant la tumeur, les protons déposent environ 30 % de la dose maximale et, après le pic, la dose tombe à zéro. Les photons, eux, cèdent le plus d'énergie dès l'entrée (près de 100 %) et irradient encore au-delà de la tumeur.

La **protonthérapie** respecte le mieux l'art de la radiothérapie.

PIÈGE
Donner deux fois le même argument. Il en faut un sur la tumeur (dose maximale au bon endroit) et un sur les cellules saines (peu de dose avant, aucune après), appuyés sur des valeurs lues sur la figure 2.

Molécule d'ibuprofène

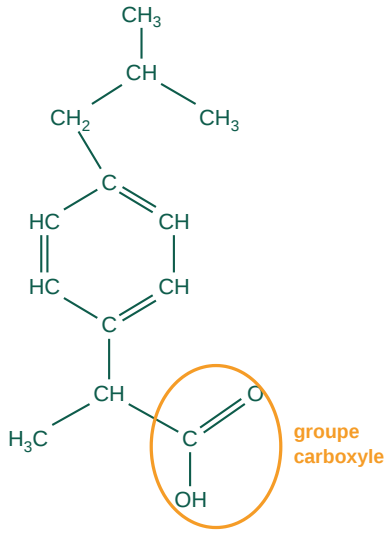
Bac S 2013 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **9,5 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Sur la figure 1 de l'annexe, entourer le groupe caractéristique associé à la fonction acide carboxylique.

On entoure l'ensemble $-\mathrm{COOH}$: l'atome de carbone, l'oxygène doublement lié et le groupe $-\mathrm{OH}$.

Le groupe entouré est le groupe **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$.

PIÈGE
N'entourer que $-\mathrm{OH}$ (ce serait un groupe hydroxyle) ou que $\mathrm{C{=}O}$ (un groupe carbonyle). Le groupe carboxyle réunit les deux sur le même carbone.



1.1 · Figure 1 de l'annexe : groupe carboxyle entouré

1.2.1 La molécule d'ibuprofène est chirale. Expliquer la cause de cette chiralité en la nommant et en la repérant sur la figure 2 de l'annexe.

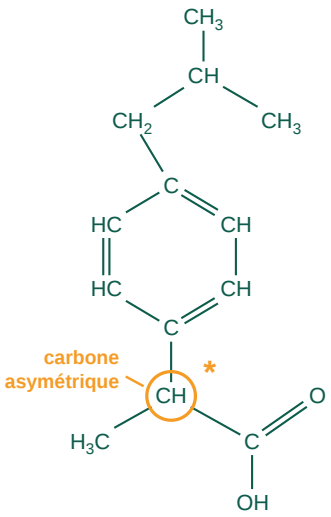
La molécule possède un atome de carbone asymétrique : le carbone lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents ($-\mathrm{H}$, $-\mathrm{CH_3}$, $-\mathrm{COOH}$ et le cycle aromatique substitué).

Il n'y en a qu'un seul dans la molécule, ce qui la rend chirale.

Cause de la chiralité : un unique **atome de carbone asymétrique**, repéré par un astérisque sur la figure 2.

PIÈGE
Le CH du groupe isobutyle n'est pas asymétrique : il porte deux groupes $-\mathrm{CH_3}$ identiques.

COMPRENDRE
Chiralité, carbone asymétrique, énantiomères et représentation de Cram figuraient au programme de Terminale S ; ils ne sont plus au programme actuel de la spécialité.



1.2.1 · Figure 2 de l'annexe : atome de carbone asymétrique repéré par un astérisque

1.2.2 Comment reconnaître si des molécules sont énantiomères ?

Deux molécules sont énantiomères si elles sont **images l'une de l'autre dans un miroir plan** et **non superposables**.

PIÈGE
Oublier « non superposables » : une molécule achirale est elle aussi l'image d'elle-même dans un miroir, mais elle se superpose à cette image.

1.2.3 Sur la figure 3 de l'annexe, compléter la représentation de Cram de l'un des énantiomères de l'ibuprofène et schématiser le deuxième énantiomère.

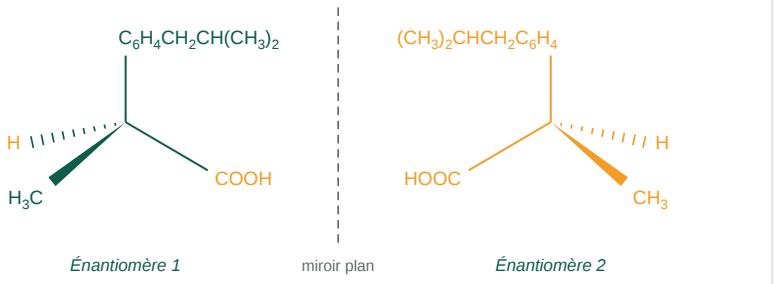
Le carbone asymétrique porte déjà le groupe $C_6H_4CH_2CH(CH_3)_2$ et le groupe $-CH_3$. Il reste à placer $-H$ et $-COOH$ sur les deux liaisons libres.

Le deuxième énantiomère est l'image du premier dans un miroir plan.

Voir la figure 3 complétée : $-H$ et $-COOH$ ajoutés, puis image dans un miroir.

COMPRENDRE
Convention de Cram : trait plein dans le plan de la feuille, triangle plein vers l'avant, hachures vers l'arrière. Placer $-H$ et $-COOH$ dans l'ordre inverse est accepté : on dessine alors l'autre énantiomère.

MÉTHODE
Pour dessiner l'autre énantiomère, deux possibilités : tracer l'image dans un miroir, ou garder le même dessin en échangeant seulement deux des quatre groupes.



1.2.3 · Figure 3 de l'annexe : représentation complétée et second énantiomère, image du premier dans un miroir

1.3.1 Donner l'origine des bandes d'absorption 1 et 2 du spectre infrarouge (document 1) en exploitant les données du document 2.

Données utiles document 2 : $C{=}O$ d'un acide carboxylique, 1700 à 1725 cm^{-1}, fine, forte ; $O{-}H$ d'un acide carboxylique, 2500 à 3200 cm^{-1}, large ; $C{-}H$, 2900 à 3100 cm^{-1}, bandes multiples

Bande 1 : fine et intense, vers $1700\ cm^{-1}$. Elle correspond à la liaison $C{=}O$ de l'acide carboxylique.

Bande 2 : large, centrée vers $3000\ cm^{-1}$, avec plusieurs pics. Elle correspond à la liaison $O{-}H$ de l'acide carboxylique (2500 à 3200 cm^{-1}), à laquelle se superposent les bandes des liaisons $C{-}H$ (2900 à 3100 cm^{-1}).

Bande 1 : $C{=}O$ du groupe carboxyle ; bande 2 : $O{-}H$ du groupe carboxyle et liaisons $C{-}H$.

PIÈGE
L'axe des nombres d'onde est gradué de droite à gauche : $4000\ cm^{-1}$ est à gauche.

MÉTHODE
Pour attribuer une bande, donner trois arguments tirés du tableau : le nombre d'onde, la largeur et l'intensité.

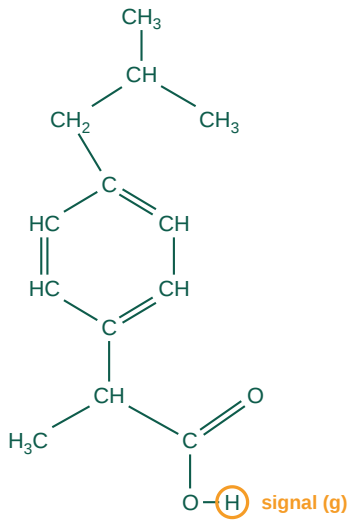
1.3.2 Sur la figure 4 de l'annexe, entourer le ou les atomes d'hydrogène associés au signal (g) du spectre RMN. Justifier à l'aide du document 4.

Données utiles document 3 : signal (g) à $\delta \approx 12$ ppm ; document 4 : $R{-}COOH$ entre 10 et 12 ppm environ

Le signal (g) a un déplacement chimique d'environ 12 ppm. D'après le document 4, seul l'atome d'hydrogène d'un groupe carboxyle $R{-}COO\mathbf{H}$ résonne dans ce domaine.

Le signal (g) est dû à l'atome d'hydrogène du groupe $-COOH$, entouré sur la figure 4.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN du proton figurait au programme de Terminale S ; elle n'est plus au programme actuel de la spécialité, contrairement à la spectroscopie infrarouge.



1.3.2 · Figure 4 de l'annexe : atome d'hydrogène du signal (g)

1.3.3 Le signal (g) est un singulet. Expliquer pourquoi.

L'atome d'hydrogène du groupe $-COOH$ est lié à un atome d'oxygène, lui-même lié à un atome de carbone qui ne porte aucun hydrogène. Il n'a donc aucun atome d'hydrogène voisin.

$n = 0$ voisin : le signal comporte $n + 1 = 1$ pic, c'est un **singulet**.

MÉTHODE
Règle des $(n+1)$-uplets : un proton ayant n protons voisins équivalents (portés par les atomes de carbone adjacents) donne un signal de $n+1$ pics.

1.3.4 Sur la figure 5 de l'annexe, entourer le ou les atomes d'hydrogène associés au signal (a) du spectre RMN. Justifier.

Données utiles document 3 : signal (a) à $\delta \approx 1$ ppm, d'aire six fois celle de (g) ; document 4 : CH_3-C vers 1 ppm

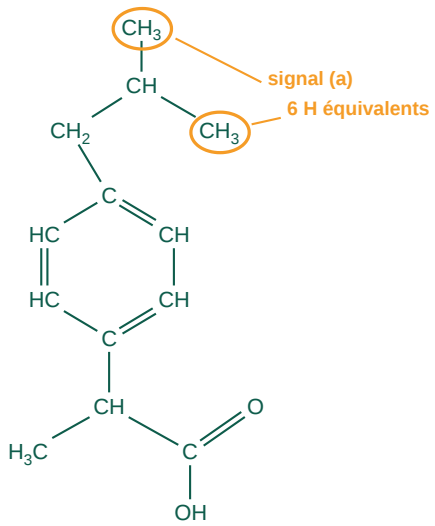
Déplacement chimique : $\delta \approx 1$ ppm, domaine des hydrogènes d'un groupe CH_3-C (document 4).

Intégration : l'aire de (a) vaut six fois celle de (g), qui correspond à 1 H. Le signal (a) est donc dû à 6 atomes d'hydrogène équivalents, soit deux groupes $-CH_3$ équivalents.

Ce sont les deux groupes $-CH_3$ portés par le même CH du groupe isobutyle.

Signal (a) : les **6 H** des deux groupes $-CH_3$ du groupe isobutyle, entourés sur la figure 5.

PIÈGE
Entourer aussi le $-CH_3$ voisin du groupe carboxyle. Il n'a pas le même environnement que les deux autres : il donne son propre signal, d'aire trois fois celle de (g).



1.3.4 · Figure 5 de l'annexe : atomes d'hydrogène du signal (a)

1.3.5 Le signal (a) est un doublet. Justifier cette multiplicité.

Les six atomes d'hydrogène des deux groupes $-CH_3$ ont pour seul voisin l'atome d'hydrogène du groupe CH auquel ces groupes sont liés.

$n = 1$ voisin : le signal comporte $n + 1 = 2$ pics, c'est un **doublet**.

PIÈGE
Les protons équivalents ne se couplent pas entre eux : les six H des deux groupes $-CH_3$ ne comptent pas comme voisins les uns des autres.

2.1.1 Déterminer la formule brute de la molécule 1.

Données utiles étape 1 : molécule 1 + $C_4H_6O_3 \rightarrow C_{12}H_{16}O + C_2H_4O_2$

On note $C_xH_yO_z$ la molécule 1. Les éléments se conservent au cours de l'étape 1 :

- carbone : $x + 4 = 12 + 2$, donc $x = 10$;
- hydrogène : $y + 6 = 16 + 4$, donc $y = 14$;
- oxygène : $z + 3 = 1 + 2$, donc $z = 0$.

Formule brute de la molécule 1 : $C_{10}H_{14}$.

MÉTHODE
Vérification sur la formule topologique : un cycle benzénique substitué une fois, C_6H_5, et un groupe isobutyle, C_4H_9, donnent bien $C_{10}H_{14}$.

2.1.2 La réaction de l'étape 2 est-elle une substitution, une addition ou une élimination ? Justifier.

Deux réactifs (la molécule 2 et H_2) donnent un seul produit, la molécule 3. Les deux atomes d'hydrogène se fixent sur la double liaison $C{=}O$, qui devient une liaison simple $C{-}O$.

L'étape 2 est une **addition**.

MÉTHODE
Addition : deux réactifs, un produit, une liaison multiple disparaît. Élimination : l'inverse. Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre, il y a autant de produits que de réactifs.

2.1.3 L'électronégativité du carbone est inférieure à celle de l'oxygène. Le carbone de la liaison $C{=}O$ de la molécule 2 est-il un site donneur ou accepteur de doublet d'électrons ? Expliquer.

L'oxygène, plus électronégatif, attire vers lui les électrons de la liaison $C{=}O$: la liaison est polarisée. L'oxygène porte une charge partielle δ^- et le carbone une charge partielle δ^+.

Le carbone est donc appauvri en électrons.

Le carbone de la liaison $C{=}O$ est un site **accepteur** de doublet d'électrons.

COMPRENDRE
Dans un mécanisme, une flèche courbe part toujours d'un site donneur (doublet non liant, liaison multiple, charge δ^-) et pointe vers un site accepteur (δ^+).

2.2 Calculer la valeur de l'utilisation atomique du procédé Boots à partir de l'équation de son bilan global.

Données utiles M en $g \cdot mol^{-1}$: $C_{10}H_{14}$ 134,0 ; $C_4H_6O_3$ 102,0 ; C_2H_5ONa 68,0 ; $C_4H_7ClO_2$ 122,5 ; H_3O^+ 19,0 ; NH_2OH 33,0 ; H_2O 18,0 ; $C_{13}H_{18}O_2$ 206,0

Les sous-produits ne sont pas connus : on utilise l'expression faisant intervenir les réactifs, chacun affecté de son nombre stœchiométrique.

$$UA = \frac{M(C_{13}H_{18}O_2)}{\sum_j M_j(\text{réactif})}$$

Somme des masses molaires des réactifs :

$$134{,}0 + 102{,}0 + 68{,}0 + 122{,}5 + 19{,}0 + 33{,}0 + 2 \times 18{,}0 = 514{,}5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$UA = \frac{206{,}0}{514{,}5} = 0{,}4004$$

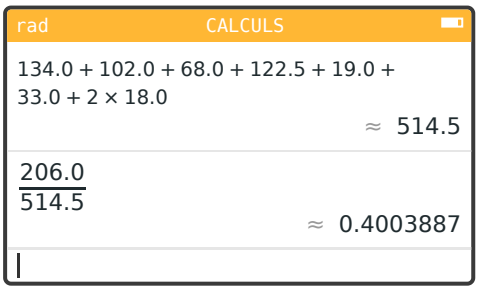
$UA(\text{Boots}) = 0{,}4004$, soit environ $40\ \%$.

PIÈGE
Oublier le nombre stœchiométrique 2 devant H_2O : la somme vaudrait 496,5 et le résultat serait faux.

COMPRENDRE
Les masses molaires ont quatre chiffres significatifs, d'où $0{,}4004$. Pour comparer avec les 77 % du procédé BHC, deux chiffres suffisent.

COMPRENDRE
L'utilisation atomique et la chimie verte ne sont plus au programme actuel de la spécialité ; le calcul ne demande que des masses molaires.

À LA CALCULATRICE



2.3 Indiquer, en justifiant, quel procédé de synthèse de l'ibuprofène répond le mieux à la minimisation des déchets recherchée dans le cadre de la chimie verte.

Données utiles $UA(\text{BHC}) = 77\ \%$; $UA(\text{Boots}) = 40\ \%$ (2.2)

D'après le document 5, plus l'utilisation atomique est proche de 1, moins la synthèse génère de déchets.

Or $0{,}77 > 0{,}40$: dans le procédé BHC, 77 % de la masse des réactifs se retrouve dans l'ibuprofène, contre 40 % seulement dans le procédé Boots.

Le procédé **BHC** répond le mieux à la minimisation des déchets.

COMPRENDRE
Le procédé BHC a un autre atout : trois étapes catalysées au lieu de six étapes, donc moins de réactifs, de solvants et d'énergie consommés.

3.1 Justifier l'usage de l'éthanol dans le protocole.

L'ibuprofène est très soluble dans l'éthanol alors qu'il est très peu dans l'eau ; les excipients sont pratiquement insolubles dans l'éthanol.

L'éthanol dissout donc l'ibuprofène du comprimé broyé et lui seul : la filtration retient les excipients solides et le filtrat contient tout l'ibuprofène. L'éthanol étant très soluble dans l'eau, on peut ensuite diluer ce filtrat avec de l'eau.

L'éthanol sert à **extraire l'ibuprofène** du comprimé en le séparant des excipients.

PIÈGE
Citer une seule solubilité. Il faut les deux : l'ibuprofène se dissout dans l'éthanol, les excipients non. C'est cette différence qui permet la séparation par filtration.

3.2 Écrire l'équation de la réaction support de dosage.

L'acide RCOOH réagit avec la base HO^- apportée par la solution d'hydroxyde de sodium :

$$\text{RCOOH}\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{RCOO}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

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

3.3 Comment repère-t-on expérimentalement l'équivalence lors du titrage ?

Données utiles phénolphtaléine : incolore pour pH < 8,2 ; rose pour pH > 10

Avant l'équivalence, la solution est acide : la phénolphtaléine est incolore. Dès que les ions HO^- sont en excès, le pH augmente brusquement et dépasse la zone de virage de l'indicateur.

L'équivalence est repérée par le **passage de l'incolore au rose persistant**, à la goutte près.

PIÈGE
Donner le changement de couleur dans le mauvais sens. La solution titrée est l'acide : elle est incolore au départ et devient rose.

3.4 Déterminer la valeur de la masse d'ibuprofène dans un comprimé, déterminée par ce dosage.

Données utiles $c_B = 1{,}50 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $V_E = 12{,}8$ mL ; $M(C_{13}H_{18}O_2) = 206{,}0$ g · mol^{-1}

À l'équivalence, l'acide et les ions hydroxyde versés ont réagi dans les proportions de l'équation (3.2), mole à mole :

$$n(\text{RCOOH})_{\text{initial}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} = c_B\,V_E$$

Toute la solution S, donc tout l'ibuprofène du comprimé, a été titrée :

$$m = n(\text{RCOOH})_{\text{initial}} \times M = c_B\,V_E\,M$$

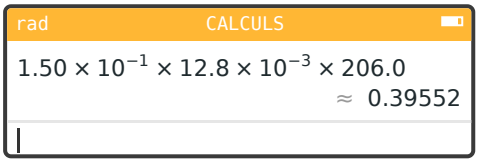
$$m = 1{,}50 \times 10^{-1} \times 12{,}8 \times 10^{-3} \times 206{,}0 = 0{,}396 \text{ g}$$

$m = 0{,}396$ g $= 396$ mg d'ibuprofène dans le comprimé.

PIÈGE
Laisser V_E en millilitres, ou faire intervenir $V_S = 100$ mL : la totalité de la solution S est titrée, son volume ne sert pas au calcul.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c_B et V_E, les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



3.5 Calculer l'écart relatif entre la masse mesurée et la masse annoncée par l'étiquette.

Données utiles $m_{\text{exp}} = 396$ mg (3.4) ; $m_a = 400$ mg (étiquette)

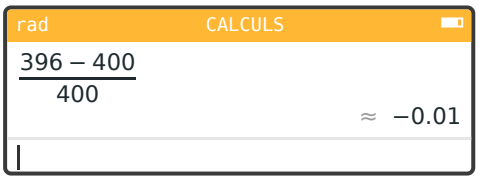
$$\frac{m_{\text{exp}} - m_a}{m_a} = \frac{396 - 400}{400} = -0{,}010$$

La masse mesurée est inférieure de 1,0 % à la masse annoncée : cet écart est faible, le dosage confirme l'indication de l'étiquette.

Écart relatif : $-1{,}0$ %, soit 1,0 % en valeur absolue.

COMPRENDRE
Le signe moins vient de la définition donnée par le sujet, sans valeur absolue : il indique que la masse mesurée est inférieure à la masse annoncée.

À LA CALCULATRICE



Pendule simple

Bac S 2013 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Citer deux expressions employées dans le texte pour désigner une oscillation.

Galilée parle d'« allées et venues » des boules, puis de « vibrations ».

Une oscillation : « allées et venues » ou « vibrations ».

COMPRENDRE
Une oscillation est un aller-retour complet : la boule revient au même point en allant dans le même sens. Sa durée est la période T.

1.2 Comment Galilée désigne-t-il la position d'équilibre du pendule ?

À l'équilibre, le fil est vertical, donc perpendiculaire à l'horizontale. Galilée écrit qu'il écarte les boules « de la position perpendiculaire ».

Position d'équilibre : « la position perpendiculaire ».

1.3.1 La masse m de la boule suspendue a-t-elle une influence sur la période du pendule ? Justifier à partir du document 1.

La boule de plomb est au moins cent fois plus lourde que celle de liège, les deux fils ont la même longueur. Pourtant, après cent ou mille oscillations, aucune boule n'a pris d'avance sur l'autre : leur « rythme de mouvement » est « rigoureusement identique ».

La masse m n'a pas d'influence sur la période.

PIÈGE
Répondre sans s'appuyer sur le texte : la justification par le document est exigée, la formule seule ne suffit pas.

COMPRENDRE
C'est cohérent avec la relation $T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$ de l'énoncé, où m n'apparaît pas.

1.3.2 Le pendule en plomb est-il plus, moins ou autant sensible aux frottements que le pendule en liège ? Justifier.

Selon Galilée, l'action du milieu (l'air) ralentit « bien davantage » les vibrations du liège que celles du plomb. À la fin, le liège ne décrit plus que des arcs de cinq ou six degrés, contre cinquante ou soixante pour le plomb : son amplitude a beaucoup plus diminué.

Le pendule en plomb est moins sensible aux frottements que le pendule en liège.

COMPRENDRE
Les deux boules subissent des frottements de l'air comparables, mais la boule de plomb, bien plus lourde, possède une énergie mécanique bien plus grande : elle en perd une fraction plus faible à chaque oscillation.

1.3.3 La période des oscillations dépend-elle des frottements ? Justifier.

Le milieu gêne le mouvement « sans toutefois modifier » la fréquence des vibrations. De plus, les petits arcs du liège et les grands arcs du plomb sont parcourus « en des temps égaux » alors que les frottements n'agissent pas de la même façon sur les deux boules.

La période ne dépend pas des frottements (tant qu'ils restent faibles).

PIÈGE
Confondre amplitude et période : les frottements font diminuer l'amplitude des oscillations, pas leur durée.

1.4 Pourquoi peut-on admettre que les pendules décrits dans le texte sont assimilables à des pendules simples ?

Données utiles une coudée vaut $0{,}57$ m ; fils de quatre coudées

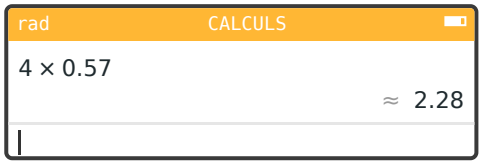
Un pendule simple est un solide de petite taille suspendu à un fil de masse négligeable, de longueur très supérieure à la taille du solide.

- Les fils sont « très fins » : leur masse est négligeable devant celle des boules.
- Leur longueur vaut $\ell = 4 \times 0{,}57 = 2{,}3$ m, ce qui est très grand devant le diamètre d'une boule tenue en main (quelques centimètres).

Fil de masse négligeable et $\ell \approx 2{,}3$ m très supérieure à la taille des boules : ce sont des pendules simples.

MÉTHODE
Pour justifier un modèle, reprendre une à une les conditions de sa définition (ici celles de l'introduction du sujet) et montrer que chacune est remplie.

À LA CALCULATRICE



1.5 Calculer la valeur de la période des pendules de Galilée.

Données utiles $\ell = 4 \times 0{,}57$ m (Q1.4) ; $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

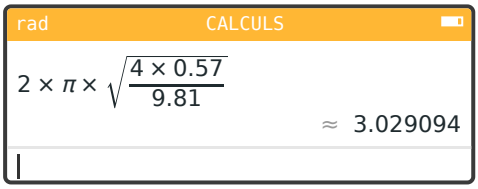
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{4 \times 0{,}57}{9{,}81}} = 3{,}0\ \text{s}$$

$T = 3{,}0$ s

PIÈGE
Utiliser la valeur arrondie $\ell = 2{,}3$ m dans le calcul : on garde $4 \times 0{,}57$ et on n'arrondit qu'à la fin.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($0{,}57$ m). Le nombre 4 de « quatre coudées » est un nombre exact, il ne limite pas la précision.

À LA CALCULATRICE



2.1 Expliquer pourquoi ce dispositif expérimental permet de simuler une variation de l'intensité de la pesanteur.

La bille en acier subit, en plus de la tension du fil, deux forces verticales : son poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ et la force magnétique $\vec{F}$. Le champ étant uniforme, $\vec{F}$ est la même en tout point de la trajectoire.

Leur somme $\vec{P} + \vec{F}$ est donc une force verticale constante : elle agit comme un poids de valeur différente, $m\,g_{\text{app}}$ avec $g_{\text{app}} \neq g$.

Tout se passe comme si la bille oscillait dans un champ de pesanteur d'intensité g_{app} différente de g.

2.2 Comment doit être orientée la force magnétique exercée sur la bille pour simuler un accroissement de la pesanteur ? Justifier.

Le poids est vertical et dirigé vers le bas. Pour que la force résultante $\vec{P} + \vec{F}$ ait une valeur plus grande que P, la force magnétique doit avoir le même sens que le poids : les valeurs s'ajoutent, $m\,g_{\text{app}} = m\,g + F$.

La force magnétique doit être verticale et dirigée vers le bas : $g_{\text{app}} = g + \dfrac{F}{m} > g$.

2.3 Comment peut-on simuler un affaiblissement de l'intensité de la pesanteur ?

Il faut que la force magnétique s'oppose au poids, donc qu'elle soit dirigée vers le haut : $m\,g_{\text{app}} = m\,g - F$. On l'obtient en changeant le sens de la force magnétique par rapport au cas précédent, par exemple en inversant le sens du courant dans les bobines.

Force magnétique verticale vers le haut : $g_{\text{app}} = g - \dfrac{F}{m} < g$.

2.4 Si le dispositif simule un accroissement de la pesanteur, comment cela se traduit-il sur l'évolution de la période du pendule ? Justifier.

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$: à longueur ℓ fixée, g est au dénominateur, donc T diminue quand g augmente.

Si la pesanteur apparente augmente, la période du pendule diminue : il oscille plus vite.

2.5.1 Proposer une méthode expérimentale pour obtenir une mesure la plus précise possible de la période.

On chronomètre la durée Δt d'un grand nombre N d'oscillations (par exemple $N = 20$), en déclenchant et en arrêtant le chronomètre au passage par la position d'équilibre, puis on calcule :

$T = \dfrac{\Delta t}{N}$, avec N grand.

COMPRENDRE
L'erreur de déclenchement du chronomètre (quelques dixièmes de seconde) est la même pour 1 ou 20 oscillations : rapportée à une période, elle est divisée par N.

2.5.2.1 Pour un pendule de longueur 0,50 m, on mesure une période de 1,5 s avec le courant. Le dispositif simule-t-il un accroissement ou une diminution de la pesanteur ? Expliquer.

Données utiles $\ell = 0{,}50$ m ; $T_{\text{mes}} = 1{,}5$ s ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Période du même pendule sans courant :

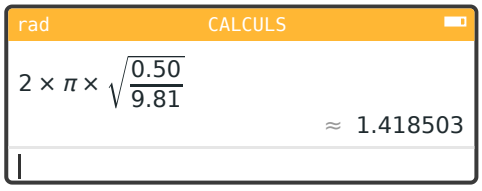
$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}50}{9{,}81}} = 1{,}4\ \text{s}$$

Avec le courant, $T_{\text{mes}} = 1{,}5\ \text{s} > T_0$: la période a augmenté. Or, à ℓ fixée, T augmente quand g diminue (Q2.4).

$T_{\text{mes}} = 1{,}5\ \text{s} > T_0 = 1{,}4\ \text{s}$: le dispositif simule une diminution de la pesanteur.

MÉTHODE
Pour dire dans quel sens une grandeur a varié, il faut une valeur de comparaison : ici la période sans courant, calculée avec $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

À LA CALCULATRICE



2.5.2.2 Déterminer la valeur de l'intensité de la pesanteur apparente.

Données utiles $\ell = 0{,}50\ \text{m}$; $T_{\text{mes}} = 1{,}5\ \text{s}$

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g_{\text{app}}}}$ donne, en élevant au carré, $T^2 = \dfrac{4\pi^2\,\ell}{g_{\text{app}}}$, soit :

$$g_{\text{app}} = \frac{4\pi^2\,\ell}{T^2} = \frac{4\pi^2 \times 0{,}50}{1{,}5^2} = 8{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

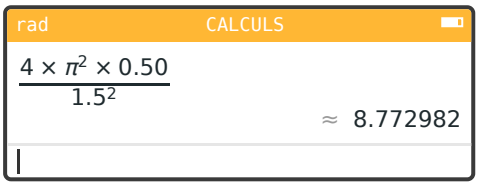
Cette valeur est inférieure à $9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, en accord avec la question précédente.

$\boxed{g_{\text{app}} = 8{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}}$

PIÈGE

Oublier le carré sur T ou sur 2π en isolant g.
Vérifier l'unité : des mètres divisés par des secondes au carré.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Clarinettiste voyageur

Bac S 2013 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Parmi les enregistrements a et b, lequel correspond à la clarinette de Florent ? Justifier.

L'enregistrement a est une sinusoïde : c'est un son pur.
L'enregistrement b est périodique mais non sinusoïdal : c'est un son complexe.

D'après le document 3, un instrument de musique produit un son complexe.

L'enregistrement **b** est celui de la clarinette.

COMPRENDRE
Sujet de l'ancien programme : son pur et son complexe, harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de spécialité. La mesure d'une période et le calcul d'une fréquence restent en revanche exigibles.

1.2 La clarinette de Florent est-elle bien accordée pour jouer dans un orchestre français ?

Données utiles enregistrement b ; « la » d'accord en France : 442 Hz (document 2)

Sur l'enregistrement b, on mesure la durée de 10 périodes, entre le premier et le onzième maximum : $10\,T = 22{,}2\ \text{ms}$.

$$T = \frac{22{,}2}{10} = 2{,}22\ \text{ms} = 2{,}22 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}22 \times 10^{-3}} = 450\ \text{Hz}$$

La fréquence mesurée, 450 Hz, est supérieure à la fréquence d'accord de 442 Hz.

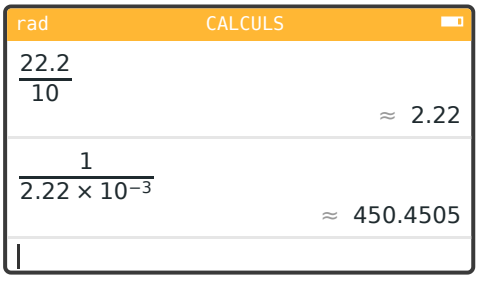
$f = 450\ \text{Hz} \neq 442\ \text{Hz}$: la clarinette n'est pas bien accordée (elle joue trop haut).

PIÈGE
Laisser T en millisecondes : $1 \div 2{,}22$ ne donne pas des hertz. Convertir en secondes avant de calculer la fréquence.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme la durée lue (22,2 ms). L'écart de 8 Hz dépasse nettement l'incertitude de lecture : la conclusion est sûre.

MÉTHODE
Mesurer le plus grand nombre possible de périodes, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur dix périodes. Ici, 0,1 ms d'écart sur $10\,T$ ne change f que de 2 Hz.

À LA CALCULATRICE



2 Quelle est la longueur L de la colonne d'air mise en mouvement lorsque la clarinette est accordée pour la France ?

Données utiles $f = (2n-1)\,\dfrac{v}{4L}$; $v = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $f = 442$ Hz

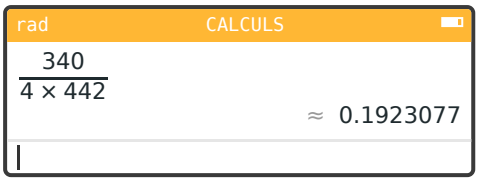
La fréquence de la note jouée est celle du fondamental, obtenue pour $n = 1$: $f = \dfrac{v}{4L}$, d'où $L = \dfrac{v}{4f}$.

$$L = \frac{340}{4 \times 442} = 0{,}192\ \text{m}$$

$L = 0{,}192$ m, soit 19,2 cm.

COMPRENDRE
Cette longueur est celle de la colonne d'air du modèle pour cette note, pas celle de l'instrument entier : les trous ouverts raccourcissent la colonne d'air qui vibre.

À LA CALCULATRICE



3 Florent joue aux États-Unis. Expliquer pourquoi et comment il doit modifier la géométrie de sa clarinette.

Données utiles « la » d'accord aux États-Unis : 440 Hz ; $L = 0{,}192$ m (Q2)

Pourquoi : aux États-Unis l'accord se fait à 440 Hz et non à 442 Hz. Florent doit donc abaisser légèrement la fréquence du son émis.

Comment : pour le fondamental, $f = \dfrac{v}{4L}$. La célérité v étant fixée, f diminue si L augmente. Il faut allonger la colonne d'air, en emboîtant moins profondément les éléments de la clarinette.

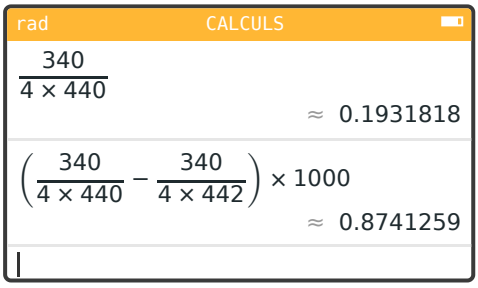
Nouvelle longueur : $L' = \dfrac{340}{4 \times 440} = 0{,}193\ \text{m}$, soit un allongement d'environ 1 mm.

Il faut allonger la clarinette d'environ 1 mm pour passer de 442 Hz à 440 Hz.

COMPRENDRE

f et L sont inversement proportionnelles : une variation de fréquence de 0,5 % demande une variation de longueur de 0,5 %, soit un peu moins de 1 mm sur 19,2 cm.

À LA CALCULATRICE



4 Montrer que le modèle du tuyau sonore est en accord avec l'affirmation « La clarinette ne fournit que les harmoniques impairs ».

Pour $n = 1$, la fréquence du fondamental est $f_1 = \dfrac{v}{4L}$.

La relation du document 4 s'écrit alors $f = (2n - 1)\, f_1$:

- $n = 2$: $f = 3\, f_1$;
- $n = 3$: $f = 5\, f_1$;
- $n = 4$: $f = 7\, f_1$.

Quel que soit l'entier n, le nombre $2n - 1$ est impair. Les fréquences propres sont donc f_1, $3f_1$, $5f_1$, $7f_1$… Les multiples pairs ($2f_1$, $4f_1$…) n'apparaissent jamais.

$f = (2n - 1)\, f_1$ avec $2n - 1$ impair : le modèle ne prévoit que les harmoniques impairs.

PIÈGE

S'arrêter à deux exemples numériques. C'est l'argument général « $2n - 1$ est toujours impair » qui démontre l'affirmation.

5 À l'aide des documents 5 à 9, rédiger une synthèse d'environ 15 lignes des arguments scientifiques (ou technologiques) et sociétaux en faveur de la clarinette en matériau composite.

Un matériau composite associe plusieurs matériaux non miscibles pour obtenir des propriétés qu'aucun ne possède seul. Quels avantages présente une clarinette en ébène reconstitué par rapport à une clarinette en ébène massif ?

Arguments scientifiques et technologiques. Le composite contient 95 % de poudre d'ébène, liée par 5 % de fibres de carbone et de résine époxy. Il conserve 100 % des propriétés acoustiques de l'ébène : le musicien garde le même son. L'instrument est plus fiable et dure plus longtemps, car il ne peut pas se fendre lors d'un choc climatique. Il est aussi plus dur : sa dureté Brinell vaut 35,6 contre 22,6 pour l'ébène, il résiste donc mieux aux chocs et au poinçonnement.

Arguments sociétaux. L'ébène est un bois tropical rare, dont la forte consommation rend l'exploitation problématique : il faut le chercher dans des zones de plus en plus reculées, et en 2005, 96 % du bois exporté du sud-est de la Tanzanie était abattu illégalement. Le reboisement est difficile, puisqu'un arbre doit avoir plus de cent ans pour servir à la lutherie. Or environ 25 % d'un lot d'ébène finit en déchets. Le composite est fabriqué avec le bois recyclé de la production traditionnelle : il valorise ces pertes et réduit la pression sur les forêts. La fabrication est de plus réalisée en France.

La clarinette en composite offre le même son, une solidité et une longévité supérieures, tout en préservant une ressource rare et menacée.

PIÈGE
Recopier les documents un par un, ou oublier les valeurs chiffrées. Chaque argument doit s'appuyer sur une donnée précise (95 %, 35,6 contre 22,6, 96 %, cent ans).

MÉTHODE
Lire la question pour repérer les deux familles d'arguments demandées, relever au brouillon une ou deux informations par document, puis rédiger : une phrase d'introduction, un paragraphe par famille, une conclusion.