Corrigé complet — Bac S 2017 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**La fermentation malolactique des vins** Formules topologiques et groupes caractéristiques · Stéréoisomérie · Acides, bases et prédominance · Temps de demi-réaction · Chromatographie sur couche mince · Spectroscopie RMN	10 pts	1 h 40	19 questions	p. 2
Ex 2	**Quand Newton vient en aide aux skateurs** Principe d'inertie · Énergie cinétique · Énergie potentielle de pesanteur · Conservation de l'énergie mécanique · Travail d'une force de frottement · Lecture graphique	5 pts	50 min	9 questions	p. 9
Ex 3	**Observation d'une exoplanète** Diffraction par une ouverture · Critère de Rayleigh · Écart angulaire · Interférences constructives et destructives · Retard et période · Relation $\lambda = c\,T$	5 pts	50 min	8 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : La trompette en ut** Ondes stationnaires · Modes propres d'une colonne d'air · Harmoniques · Longueur d'onde et fréquence · Gamme tempérée	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.

La fermentation malolactique des vins

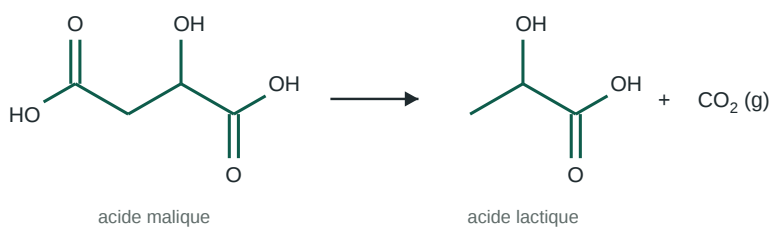
Bac S 2017 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

1.1 Réécrire l'équation de la réaction modélisant la transformation de l'acide malique en acide lactique avec les formules topologiques.

Dans une formule topologique, la chaîne carbonée est une ligne brisée : ni les atomes de carbone ni les atomes d'hydrogène qu'ils portent ne sont écrits. Les autres atomes (ici O) et les H qui leur sont liés restent écrits.

Acide malique $\longrightarrow$ acide lactique $+ \mathrm{CO_2\,(g)}$, en formules topologiques (figure).

PIÈGE
Compter les sommets : quatre atomes de carbone pour l'acide malique, trois pour l'acide lactique. L'extrémité libre du trait de gauche de l'acide lactique représente le groupe $\mathrm{CH_3}$.



1.1 · Équation de la réaction en formules topologiques

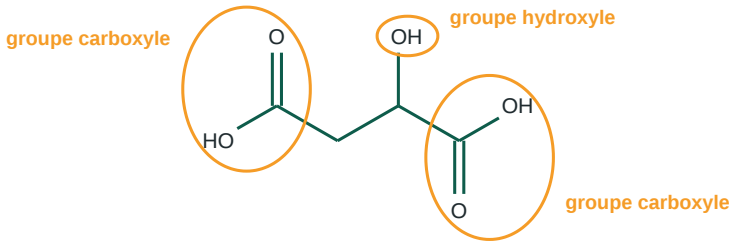
1.2 Entourer et nommer les groupes caractéristiques présents dans la molécule d'acide malique.

La molécule d'acide malique porte trois groupes caractéristiques :

- deux groupes **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$, aux deux extrémités de la chaîne (famille des acides carboxyliques) ;
- un groupe **hydroxyle** $-\mathrm{OH}$, porté par un atome de carbone de la chaîne (famille des alcools).

Deux groupes carboxyle et un groupe hydroxyle (entourés sur la figure).

PIÈGE
Le $-\mathrm{OH}$ d'un groupe carboxyle n'est pas un groupe hydroxyle : il s'entoure avec le $\mathrm{C{=}O}$ voisin. Ne pas confondre non plus le nom du groupe (carboxyle) et celui de la famille (acide carboxylique).



1.2 · Groupes caractéristiques de l'acide malique

1.3 À l'aide de la représentation de Cram, dessiner les stéréoisomères de la molécule d'acide lactique.

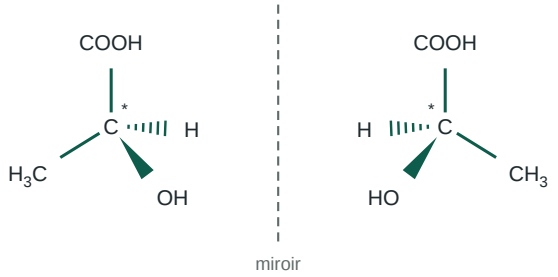
Dans l'acide lactique, l'atome de carbone central est lié à quatre groupes tous différents : $-\mathrm{H}$, $-\mathrm{OH}$, $-\mathrm{CH_3}$ et $-\mathrm{COOH}$. C'est un atome de carbone asymétrique, noté C^*, et c'est le seul de la molécule.

La molécule est donc chirale : elle existe sous deux formes, images l'une de l'autre dans un miroir plan et non superposables.

L'acide lactique possède deux stéréoisomères, qui sont des énantiomères (figure).

COMPRENDRE
La représentation de Cram et l'énantiomérie étaient au programme de Terminale S. Elles ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale.

MÉTHODE
Dessiner le premier stéréoisomère, tracer un miroir vertical, puis construire son image. On peut aussi échanger deux des quatre groupes portés par C^* : on obtient l'autre énantiomère.



1.3 · Les deux énantiomères de l'acide lactique (trait plein : dans le plan ; triangle plein : vers l'avant ; hachures : vers l'arrière)

2.1 Définir la notion d'acide. Justifier alors la notation $\mathrm{AH_2}$ utilisée pour l'acide malique.

Selon Brønsted, un acide est une espèce chimique capable de céder au moins un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$ (un proton).

L'acide malique possède deux groupes carboxyle : il peut céder successivement deux ions $\mathrm{H^+}$.

$\mathrm{AH_2 = AH^- + H^+}$ puis $\mathrm{AH^- = A^{2-} + H^+}$

La notation $\mathrm{AH_2}$ fait apparaître les deux protons que ce diacide peut céder.

COMPRENDRE
Les deux valeurs de $\mathrm{p}K_A$ des données correspondent à ces deux pertes successives. L'atome H du groupe hydroxyle, lui, n'est pas cédé en solution aqueuse.

2.2 Représenter les domaines de prédominance, en fonction du pH, des différentes formes de l'acide malique et de l'acide lactique.

Données utiles $\mathrm{AH_2/AH^-}$: $\mathrm{p}K_{A1} = 3{,}46$; $\mathrm{AH^-/A^{2-}}$: $\mathrm{p}K_{A2} = 5{,}10$; $\mathrm{A'H/A'^-}$: $\mathrm{p}K_A = 3{,}86$

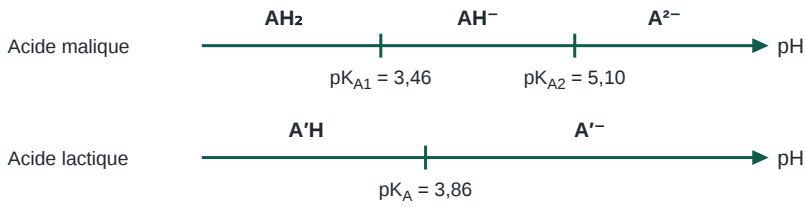
Pour un couple acide/base, l'acide prédomine si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$ et la base prédomine si $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$.

Acide malique : $\mathrm{AH_2}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 3{,}46$, $\mathrm{AH^-}$ entre $3{,}46$ et $5{,}10$, $\mathrm{A^{2-}}$ pour $\mathrm{pH} > 5{,}10$.

Acide lactique : $\mathrm{A'H}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 3{,}86$, $\mathrm{A'^-}$ pour $\mathrm{pH} > 3{,}86$.

Trois domaines pour l'acide malique, deux pour l'acide lactique (figure).

PIÈGE
L'espèce $\mathrm{AH^-}$ est à la fois la base du premier couple et l'acide du second : son domaine est borné des deux côtés. L'acide est toujours du côté des pH faibles.



2.2 · Domaines de prédominance

2.3 Calculer la valeur du pH du vin en début de fermentation.

Données utiles $[H_3O^+] = 6{,}3 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

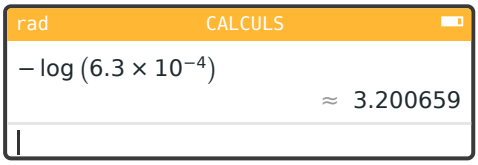
$$\text{pH} = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right) \text{ avec } c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log\left(6{,}3 \times 10^{-4}\right)$$

$$\boxed{\text{pH} = 3{,}2}$$

COMPRENDRE
La concentration est donnée avec deux chiffres significatifs : inutile d'écrire tous les chiffres affichés. On retient $3{,}2$, précision habituelle d'un pH.

À LA CALCULATRICE



2.4 En déduire la forme prédominante de l'acide malique dans le vin en début de fermentation malolactique.

Données utiles $\text{pH} = 3{,}2$ (2.3) ; $\text{p}K_{A1} = 3{,}46$

$\text{pH} = 3{,}2 < \text{p}K_{A1} = 3{,}46$: le pH du vin se situe dans le domaine de prédominance de la forme la plus acide.

En début de fermentation, l'acide malique est majoritairement sous la forme AH_2.

COMPRENDRE
Le pH est proche de $\text{p}K_{A1}$: la forme AH^- est minoritaire, mais loin d'être négligeable. « Prédominante » ne veut pas dire « seule présente ».

2.5 Proposer des éléments d'interprétation à « la désacidification résultant de la fermentation malolactique ».

Chaque molécule d'acide malique, qui est un diacide, est remplacée par une molécule d'acide lactique, qui est un monoacide : un groupe carboxyle disparaît, l'atome de carbone correspondant part sous forme de CO_2 gazeux.

De plus, l'acide lactique ($\text{p}K_A = 3{,}86$) est un acide plus faible que l'acide malique ($\text{p}K_{A1} = 3{,}46$) : à concentration égale, il cède moins d'ions H^+ à l'eau.

Le vin contient moins d'ions H_3O^+ après la fermentation : son pH augmente, il est moins acide.

MÉTHODE
Pour comparer deux acides faibles : plus le $\text{p}K_A$ du couple est grand, plus l'acide est faible.

3.1 Montrer que la quantité de matière initiale en acide malique dans la cuve est de $2{,}2 \times 10^2$ mol.

Données utiles $c_m = 3{,}0\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 10\ \text{m}^3$; $M_{mal} = 134{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse d'acide malique dans la cuve : $m_{mal} = c_m \times V$, avec $V = 10\ \text{m}^3 = 10 \times 10^3\ \text{L}$.

$$n_{mal} = \frac{m_{mal}}{M_{mal}} = \frac{c_m \times V}{M_{mal}}$$

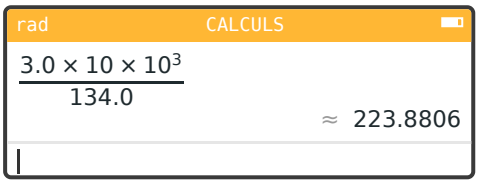
$$n_{mal} = \frac{3{,}0 \times 10 \times 10^3}{134{,}0} = 2{,}2 \times 10^2\ \text{mol}$$

$n_{mal} = 2{,}2 \times 10^2$ mol : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Le volume est donné en m^3 et la concentration en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: $1\ \text{m}^3 = 10^3\ \text{L}$. Sans cette conversion, le résultat est mille fois trop petit.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_m et V, qui sont les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



3.2 En s'appuyant sur le graphique de l'annexe, déterminer la quantité de matière d'acide lactique formé à l'état final.

Données utiles $M_{lac} = 90{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

À l'état final, la masse d'acide lactique ne varie plus : la courbe atteint un palier, lu à $m_f \approx 20$ kg, soit 20×10^3 g.

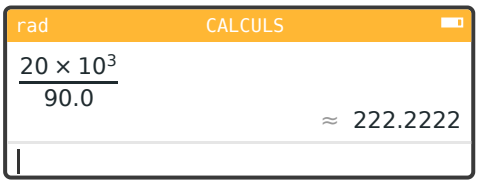
$$n_{lac,f} = \frac{m_f}{M_{lac}}$$

$$n_{lac,f} = \frac{20 \times 10^3}{90{,}0} = 2{,}2 \times 10^2\ \text{mol}$$

$n_{lac,f} = 2{,}2 \times 10^2$ mol

PIÈGE
L'axe vertical est gradué en kilogrammes alors que la masse molaire est en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: convertir m_f en grammes.

À LA CALCULATRICE



3.3 La fermentation malolactique est-elle une transformation chimique totale ? Justifier.

Données utiles $n_{mal} = 2{,}2 \times 10^2$ mol (3.1) ; $n_{lac,f} = 2{,}2 \times 10^2$ mol (3.2)

D'après l'équation, une mole d'acide malique consommée donne une mole d'acide lactique. Si tout l'acide malique réagit, l'avancement maximal est $x_{max} = n_{mal} = 2{,}2 \times 10^2$ mol.

L'avancement final est la quantité d'acide lactique réellement formée : $x_f = n_{lac,f} = 2{,}2 \times 10^2$ mol.

$x_f = x_{max}$: la transformation est totale, tout l'acide malique a été consommé.

MÉTHODE
Une transformation est totale si $x_f = x_{max}$, c'est-à-dire si le réactif limitant a disparu. On compare donc toujours une quantité mesurée à la quantité maximale prévue par l'équation.

3.4 Définir le temps de demi-réaction d'une transformation chimique.

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_f}{2}$.

PIÈGE
Ce n'est pas la moitié de la durée totale de la transformation. Ici la fermentation dure une vingtaine de jours et $t_{1/2}$ vaut seulement 2 jours.

3.5 Montrer que la masse d'acide lactique formé est proportionnelle à l'avancement de la réaction. Déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

Données utiles $m_f = 20$ kg (3.2)

D'après l'équation, la quantité d'acide lactique formé à la date t est égale à l'avancement : $n_{lac}(t) = x(t)$.

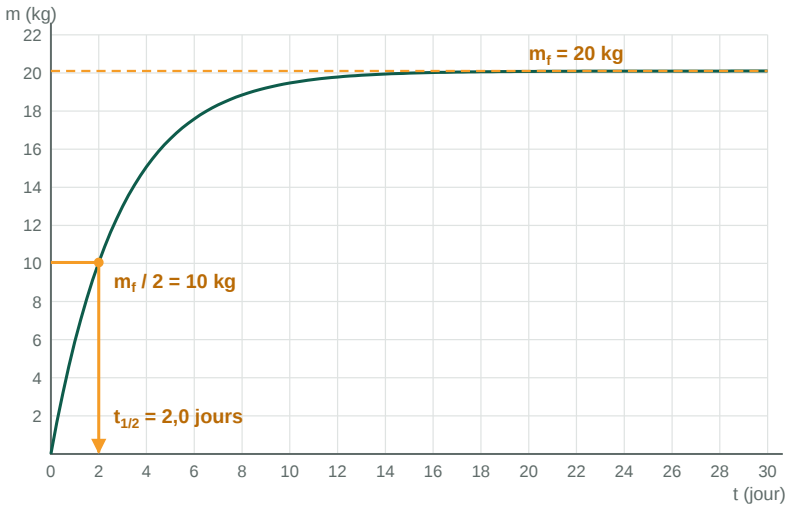
Donc $m_{lac}(t) = n_{lac}(t) \times M_{lac} = M_{lac} \times x(t)$: comme M_{lac} est une constante, la masse formée est proportionnelle à l'avancement.

À $t_{1/2}$, l'avancement vaut $\dfrac{x_f}{2}$, donc la masse vaut $\dfrac{m_f}{2} = \dfrac{20}{2} = 10$ kg.

Sur l'annexe, on trace l'horizontale $m = 10$ kg jusqu'à la courbe, puis on lit l'abscisse du point d'intersection.

$t_{1/2} \approx 2{,}0$ jours

MÉTHODE
Lecture d'un $t_{1/2}$: repérer le palier, prendre la moitié de sa valeur sur l'axe vertical, rejoindre la courbe, descendre sur l'axe des temps. Laisser les traits de construction apparents.



3.5 · Annexe : lecture du temps de demi-réaction

3.6 À partir de quelle date le viticulteur pourra-t-il mettre en bouteille le vin de ses cuves ? Justifier.

Le vin ne doit être mis en bouteille qu'une fois la fermentation malolactique terminée, c'est-à-dire lorsque la masse d'acide lactique n'augmente plus.

Sur le graphique, la courbe se confond avec son palier au bout de 19 jours environ. La fermentation a débuté le 15 octobre et ce mois compte 31 jours : 16 jours mènent au 31 octobre, il en reste 3 en novembre.

Mise en bouteille possible à partir du 3 novembre 2016 environ.

COMPRENDRE
La fin d'une transformation se lit mal sur une courbe qui s'aplatit : une réponse entre 16 et 20 jours (du 31 octobre au 4 novembre) est recevable si elle est justifiée par le palier.

3.7 Représenter sur l'annexe l'allure de la courbe de suivi si la température ambiante est de 20 °C. Justifier. En déduire l'influence sur la mise en bouteille.

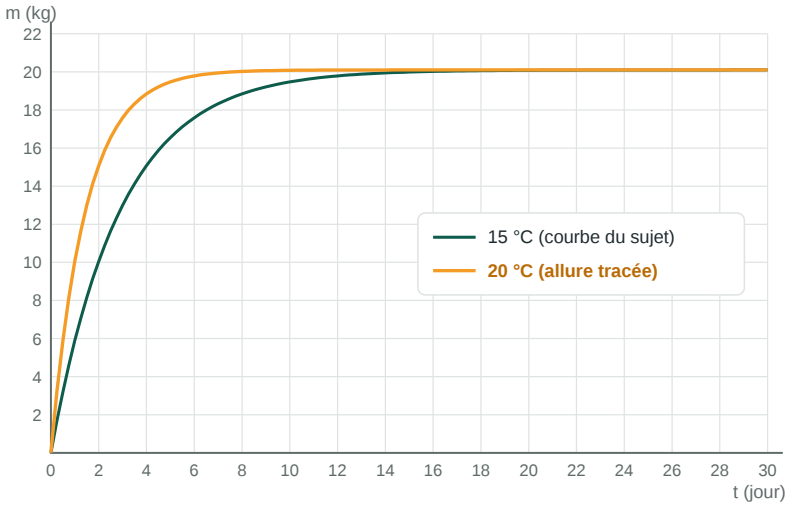
La température est un facteur cinétique : à 20 °C, la transformation est plus rapide qu'à 15 °C. À chaque date, la masse d'acide lactique formé est plus grande : la nouvelle courbe part de l'origine avec une pente plus forte et reste au-dessus de la première.

L'état final ne change pas : la quantité initiale d'acide malique est la même et la transformation est totale, donc le palier reste à 20 kg. Il est simplement atteint plus tôt.

À 20 °C, le palier de 20 kg est atteint plus tôt : le vin peut être mis en bouteille plus tôt.

PIÈGE
Tracer un palier plus haut. La température modifie la vitesse, pas la quantité de réactif disponible : les deux courbes se rejoignent sur le même palier.

COMPRENDRE
L'énoncé demande une allure : aucune valeur n'est attendue pour le nouveau temps de demi-réaction, il suffit qu'il soit visiblement plus petit que 2 jours.



3.7 · Annexe : allure de la courbe à 20 °C, plus rapide mais avec la même masse finale

4.1 D'après le chromatogramme, le viticulteur peut-il mettre ce vin en bouteille ? Justifier.

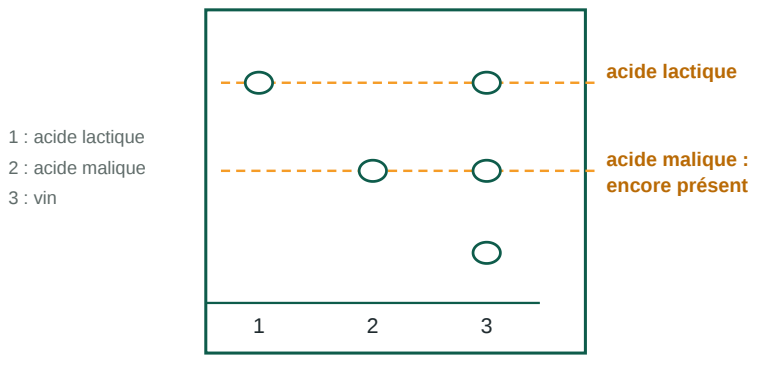
Le dépôt 3 (vin) donne trois taches. L'une est à la même hauteur que la tache de l'acide lactique (dépôt 1) ; une autre est à la même hauteur que celle de l'acide malique (dépôt 2).

Le vin contient donc encore de l'acide malique : la fermentation malolactique n'est pas terminée.

Non : le viticulteur doit attendre avant de mettre ce vin en bouteille.

COMPRENDRE
La troisième tache du vin, la plus basse, ne correspond à aucun des deux témoins : c'est une autre espèce du vin, qu'on ne peut pas identifier ici.

MÉTHODE
Sur une même plaque, deux taches à la même hauteur correspondent à la même espèce. On lit un chromatogramme horizontalement, dépôt par dépôt.



4.1 · Chromatogramme : le vin (dépôt 3) présente une tache à la hauteur de l'acide malique

4.2 Quel(s) problème(s) veut-on éviter en suivant l'évolution de la fermentation malolactique dans les vins avant la mise en bouteille ?

Si la fermentation se poursuit dans la bouteille fermée, du dioxyde de carbone gazeux continue à se former. La pression augmente : le bouchon peut être chassé ou la bouteille fuir, et le vin devient pétillant à l'ouverture.

De plus, l'acidité du vin, donc son goût, continue d'évoluer après la mise en bouteille.

On veut éviter un dégagement de CO_2 dans la bouteille fermée (surpression, vin pétillant) et un vin dont l'acidité n'est pas stabilisée.

5.1 Parmi les spectres RMN simulés, lequel pourrait correspondre à l'acide lactique ? Expliciter la démarche et attribuer les signaux.

L'acide lactique $CH_3-CH(OH)-COOH$ possède quatre groupes de protons équivalents : on attend quatre signaux.

- CH_3 : 3 H, un seul H voisin (celui de CH), donc un doublet ;
- CH : 1 H, trois H voisins (ceux de CH_3), donc un quadruplet ;
- OH : 1 H, sans voisin couplé, donc un singulet ;
- $COOH$: 1 H, sans voisin couplé, donc un singulet.

Seul le spectre 1 présente un quadruplet (vers 5 ppm) et un doublet dont le saut d'intégration est trois fois plus haut que les autres (vers 1,5 ppm). Le spectre 2 présente un triplet et aucun quadruplet : c'est celui de l'acide malique.

Attribution sur le spectre 1 : doublet à 1,5 ppm : CH_3 ; quadruplet à 5 ppm : CH ; singulet à 3,3 ppm : OH ; singulet à 11 ppm : $COOH$.

Le spectre 1 est celui de l'acide lactique.

COMPRENDRE
Les deux singulets intègrent chacun pour 1 H. Sans table, on les distingue par le déplacement chimique : le proton du groupe carboxyle, proche de deux atomes d'oxygène, a le plus grand, autour de 11 ppm.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN du proton était au programme de Terminale S. Elle ne figure plus au programme actuel de spécialité de Terminale.

MÉTHODE
Trois vérifications : nombre de signaux (groupes de protons équivalents), hauteur des sauts d'intégration (nombre de protons), multiplicité (n voisins donnent $n+1$ pics).

5.2 La spectroscopie RMN pourrait-elle être utilisée pour affirmer que la fermentation malolactique est terminée ? Justifier.

Sur des espèces pures, les deux spectres se distinguent : le triplet et le doublet vers 2,8 ppm sont propres à l'acide malique.

Mais le vin est un mélange de très nombreuses espèces (eau, éthanol, autres acides…). Leurs signaux se superposent et ceux d'un reste d'acide malique, très peu concentré, seraient noyés parmi eux : on ne pourrait pas affirmer qu'ils ont disparu.

Non : la RMN n'est pas adaptée à ce contrôle sur un mélange aussi complexe que le vin. La chromatographie de la partie 4 convient mieux.

Quand Newton vient en aide aux skateurs

Bac S 2017 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Quelle est la nature du mouvement du système S sur le parcours AB ?

Sur AB, le skateur avance en ligne droite : la trajectoire de G est une droite. Sa vitesse garde la même valeur.

Le mouvement de S sur AB est **rectiligne uniforme**.

COMPRENDRE
Deux mots sont attendus : « rectiligne » décrit la trajectoire, « uniforme » décrit la valeur de la vitesse. Chacun se justifie par une information du texte.

1.2 Que peut-on dire, sur ce parcours, des forces exercées sur le système S ? Justifier.

Le référentiel terrestre est considéré comme galiléen et le mouvement de G y est rectiligne uniforme : $\vec{v}_G$ est un vecteur constant.

D'après le principe d'inertie (première loi de Newton), la somme des forces extérieures appliquées à S est alors nulle.

$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$: les forces exercées sur S (poids, réaction du sol, frottements éventuels) se compensent.

PIÈGE
Écrire « aucune force ne s'exerce sur S ». Le poids et l'action du sol existent toujours : c'est leur somme vectorielle qui est nulle.

2.1 Donner les expressions de l'énergie mécanique du système S au point C et au point E.

Données utiles $E_{pp} = 0$ au niveau du sol ; G est à la hauteur H au-dessus du support ; rail à la hauteur h

$E_m = E_c + E_{pp} = \dfrac{1}{2} m v^2 + m g z$, où z est l'altitude de G mesurée depuis le sol.

En C, le skateur est sur le sol : $z_C = H$. En E, il est sur le rail : $z_E = H + h$.

$$E_m(C) = \frac{1}{2} m v_C^2 + m g H \quad \text{et} \quad E_m(E) = \frac{1}{2} m v_E^2 + m g (H + h)$$

PIÈGE
Prendre $z_C = 0$ et $z_E = h$. Le système est assimilé au point G, situé à H au-dessus du support, alors que la référence d'énergie potentielle est le sol.

2.2 Déterminer l'expression de la vitesse v_E au point E en fonction de g, h et v_C.

Données utiles $E_m(C)$ et $E_m(E)$ (2.1)

Sans frottement ni autre dissipation entre C et E, l'énergie mécanique de S se conserve : $E_m(C) = E_m(E)$.

$$\frac{1}{2} m v_C^2 + m g H = \frac{1}{2} m v_E^2 + m g H + m g h$$

Les termes $m g H$ s'éliminent ; on divise par m puis on multiplie par 2 : $v_E^2 = v_C^2 - 2 g h$.

$$v_E = \sqrt{v_C^2 - 2 g h}$$

COMPRENDRE
Le sujet écrit « entre C et F » : il faut lire « entre C et E », puisque des frottements agissent sur le rail entre E et F.

MÉTHODE
Conservation de l'énergie mécanique : 1) justifier (pas de frottement) ; 2) écrire E_m aux deux points ; 3) simplifier par m ; 4) isoler la grandeur cherchée. Ni m ni H n'apparaissent dans le résultat.

2.3 En déduire la valeur de la vitesse v_E au point E.

Données utiles $v_C = 3{,}6\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $h = 45\ \text{cm} = 0{,}45\ \text{m}$

$$v_E = \sqrt{3{,}6^2 - 2 \times 9{,}8 \times 0{,}45}$$

$$v_E = 2{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

PIÈGE
Laisser h en centimètres : la racine porterait alors sur un nombre négatif. Convertir en mètres avant le calcul.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{3.6^2 - 2 \times 9.8 \times 0.45}$

$\approx$ 2.034699

COMPRENDRE

Les données ont deux chiffres significatifs : le résultat aussi. On vérifie que $v_E < v_C$: en montant, le système échange de l'énergie cinétique contre de l'énergie potentielle.

3.1 Attribuer à chaque courbe (1, 2, 3) l'énergie qui lui correspond, E_p, E_c ou E_m, en justifiant.

- Le rail est horizontal : l'altitude de G ne change pas, donc E_p est constante. C'est la **courbe 2**, seule courbe horizontale.
- Le frottement freine le système : v diminue, donc E_c diminue. Les courbes 1 et 3 conviennent toutes deux.
- $E_m = E_c + E_p$ avec $E_p > 0$: E_m est toujours au-dessus de E_c. On vérifie en $x = 0$: $150 + 330 = 480$ J.

Courbe 1 : E_c ; courbe 2 : E_p ; courbe 3 : E_m.

COMPRENDRE

Le graphique donne $E_p = 330 \text{ J} = m\,g\,h$: l'altitude y est comptée depuis la position de G au sol. Avec la référence du texte, on aurait $m\,g\,(H + h) \approx 1{,}1 \times 10^3$ J. L'attribution des courbes n'en dépend pas.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$75 \times 9.8 \times 0.45$

$\approx$ 330.75

$75 \times 9.8 \times (1.0 + 0.45)$

$\approx$ 1065.75

3.2 Donner l'expression littérale du travail de la force $\vec{f}$ le long du parcours EF.

La force $\vec{f}$ est constante et de sens opposé au déplacement $\overrightarrow{EF}$: l'angle entre les deux vecteurs vaut 180°.

$W_{EF}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{EF} = f \times EF \times \cos(180^\circ)$

$W_{EF}(\vec{f}) = -f\,L$

COMPRENDRE

Le travail est négatif : il est résistant. La force de frottement retire de l'énergie au système.

3.3 En utilisant la non-conservation de l'énergie en présence de frottements, en déduire la valeur de l'intensité de la force de frottement $\vec{f}$.

Données utiles $L = 2{,}0$ m ; courbe 3 : $E_m(E) = 480$ J et $E_m(F) = 410$ J ; $W_{EF}(\vec{f}) = -f\,L$ (3.2)

La variation de l'énergie mécanique est égale au travail de la force non conservative, ici $\vec{f}$:

$$E_m(F) - E_m(E) = W_{EF}(\vec{f}) = -f\,L \quad \text{donc} \quad f = \frac{E_m(E) - E_m(F)}{L}$$

Lecture de la courbe 3 : $E_m(E) = 480$ J en $x = 0$ et $E_m(F) = 410$ J en $x = 2{,}0$ m.

$$f = \frac{480 - 410}{2{,}0}$$

$f = 35$ N

PIÈGE

Oublier le signe : $E_m(F) - E_m(E) = -70$ J est négatif, mais f est une intensité, donc positive.

MÉTHODE

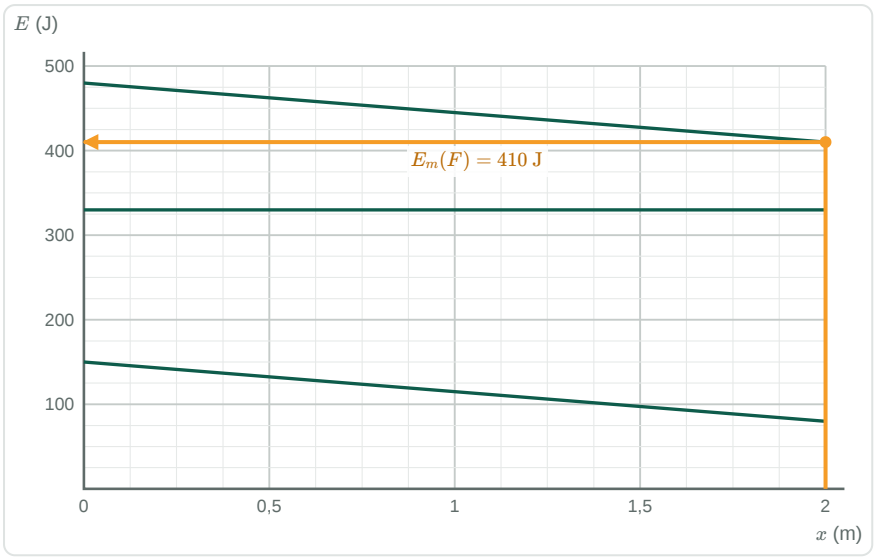
Comme E_p est constante, E_c perd la même quantité : la courbe 1 passe de 150 J à 80 J. Lire les deux courbes permet de contrôler la lecture.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{480 - 410}{2.0}$

$\approx$ 35



3.3 · Graphique du sujet (de bas en haut : courbes 1, 2 et 3), avec la lecture de $E_m(F)$

4 Le skateur arrive en haut de la rampe avec une vitesse nulle. Déterminer la hauteur de la rampe.

Données utiles $v_K = 4{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; roulement sans frottement

On note J le sommet de la rampe et h' sa hauteur. Sans frottement, l'énergie mécanique de S se conserve entre K et J : $E_m(K) = E_m(J)$.

En K : $z_K = H$ et $v = v_K$. En J : $z_J = H + h'$ et $v_J = 0$.

$$\frac{1}{2} m v_K^2 + m g H = 0 + m g (H + h') \quad \text{donc} \quad h' = \frac{v_K^2}{2g}$$

$$h' = \frac{4{,}5^2}{2 \times 9{,}8}$$

$h' = 1{,}0\ \text{m}$

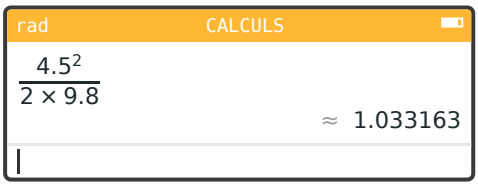
PIÈGE

Répondre $H + h' = 2{,}0\ \text{m}$: c'est l'altitude de G en haut de la rampe, pas la hauteur de la rampe.

COMPRENDRE

Toute l'énergie cinétique acquise en K est convertie en énergie potentielle de pesanteur. La hauteur atteinte ne dépend pas de la masse du skateur.

À LA CALCULATRICE



Observation d'une exoplanète

Bac S 2017 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Quelle propriété de la lumière permet d'expliquer le phénomène de diffraction ?

La diffraction est un phénomène propre aux ondes.

Elle s'explique par le **caractère ondulatoire** de la lumière.

COMPRENDRE
L'étalement du faisceau est d'autant plus marqué que l'ouverture est petite devant la longueur d'onde : θ_{diff} est proportionnel à $\dfrac{\lambda}{D}$.

1.2 Déterminer le diamètre D du télescope terrestre permettant de distinguer la planète 2M1207b de l'étoile 2M1207a.

Données utiles $r = 55$ ua ; $d_{\text{Terre-étoile}} = 230$ al ; $\lambda = 2{,}0\ \mu$m ; $1\text{ ua} = 1{,}496 \times 10^{11}$ m ; $1\text{ al} = 9{,}461 \times 10^{15}$ m

Critère de Rayleigh : les deux astres sont distingués si $\alpha \geqslant \theta_{\text{diff}}$.

Avec $\alpha \approx \dfrac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$ et $\theta_{\text{diff}} = 1{,}22\,\dfrac{\lambda}{D}$:

$$\frac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}} \geqslant 1{,}22\,\frac{\lambda}{D} \quad \text{soit} \quad D \geqslant 1{,}22\,\lambda\,\frac{d_{\text{Terre-étoile}}}{r}$$

Les deux distances sont converties en mètres, $\lambda = 2{,}0 \times 10^{-6}$ m :

$$D_{\min} = 1{,}22 \times 2{,}0 \times 10^{-6} \times \frac{230 \times 9{,}461 \times 10^{15}}{55 \times 1{,}496 \times 10^{11}} = 0{,}65\text{ m}$$

$D \geqslant 0{,}65$ m : le diamètre du télescope doit être d'au moins 65 cm.

PIÈGE
Laisser r en ua et la distance en al : le rapport n'a de sens que si les deux longueurs sont dans la même unité. Oublier aussi de convertir λ en mètres donne un diamètre faux d'un facteur 10^6.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme λ et r. L'écart angulaire vaut $\alpha \approx 3{,}8 \times 10^{-6}$ rad : plus il est petit, plus le télescope doit être large.

MÉTHODE
Question ouverte : 1) écrire la condition à respecter ; 2) remplacer chaque angle par son expression ; 3) isoler la grandeur cherchée ; 4) convertir, calculer, conclure par une phrase.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.22 \times 2.0 \times 10^{-6} \times 230 \times 9.461 \times 10^{15}}{55 \times 1.496 \times 10^{11}} \approx 0.6452982$$

2.1 Justifier que les rayons lumineux issus de l'étoile et captés par les deux télescopes interfèrent de manière constructive au niveau de la recombinaison.

L'étoile est sur la ligne de visée : son onde atteint les deux télescopes au même instant. La recombinaison se fait à égale distance des deux télescopes : les deux trajets ont la même durée.

Le retard entre les deux signaux est donc nul, ce qui correspond à $\tau = k\,T$ avec $k = 0$.

Les deux ondes arrivent en phase : les interférences sont **constructives**.

COMPRENDRE
Sujet d'ancien programme, qui raisonne sur le retard τ. Le programme actuel utilise la différence de chemin optique $\delta = c\,\tau$: constructive si $\delta = k\,\lambda$, destructive si $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$.

2.2 Montrer que le système optique ajoutant un retard $\frac{T}{2}$ après le télescope 2 produit des interférences destructives entre les deux rayons issus de l'étoile. Quelle est alors l'intensité du signal lié à l'étoile ?

Sans le système, le retard entre les deux signaux de l'étoile est nul (2.1). Avec lui, il devient $\tau = \frac{T}{2}$.

Les interférences sont destructives si $\tau = (2k+1)\,\frac{T}{2}$, avec k entier : c'est le cas ici pour $k = 0$. Les deux ondes sont en opposition de phase.

Les télescopes étant identiques, les deux ondes ont la même amplitude : elles se compensent exactement.

Interférences **destructives** : l'intensité du signal de l'étoile est nulle.

PIÈGE
Répondre « intensité minimale » sans conclure. C'est l'égalité des amplitudes, due aux deux télescopes identiques, qui permet d'affirmer que le signal de l'étoile s'annule.

2.3 Montrer que le signal de l'exoplanète issu du télescope 2 a un retard $\tau' = \frac{d\,\sin\alpha}{c} + \frac{T}{2}$ par rapport au signal issu du télescope 1.

Deux retards s'ajoutent pour le signal de la planète passant par le télescope 2 :

- celui dû à l'inclinaison des rayons, $\tau = \frac{d\,\sin\alpha}{c}$;
- celui imposé par le système optique de Bracewell, $\frac{T}{2}$.

Les trajets jusqu'à la recombinaison étant égaux, aucun autre décalage n'intervient.

$$\tau' = \tau + \frac{T}{2} = \frac{d\,\sin\alpha}{c} + \frac{T}{2}$$

COMPRENDRE
L'onde inclinée de α parcourt la distance supplémentaire $d\,\sin\alpha$ pour atteindre le télescope 2 : à la célérité c, cela prend la durée $\frac{d\,\sin\alpha}{c}$.

2.4 À quelle condition sur le retard τ' obtient-on une interférence constructive ?

Les deux ondes doivent se superposer en phase : le retard est un nombre entier de périodes.

$\tau' = k\,T$, avec k entier.

2.5 Montrer que cette relation peut aussi s'écrire $d\,\sin\alpha = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$, k étant un nombre entier.

On égale les expressions de τ' des questions 2.3 et 2.4 :

$$\frac{d\,\sin\alpha}{c} + \frac{T}{2} = k\,T \quad \text{donc} \quad \frac{d\,\sin\alpha}{c} = \left(k - \frac{1}{2}\right)T$$

En multipliant par c, avec $\lambda = c\,T$:

$$d\,\sin\alpha = \left(k - \frac{1}{2}\right)c\,T = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

PIÈGE
Ne pas citer $\lambda = c\,T$: dans un « montrer que », la relation qui fait passer de $c\,T$ à λ doit être écrite explicitement.

2.6 En déduire la distance minimale d entre les deux télescopes pour obtenir une interférence constructive lors de l'observation de l'exoplanète 2M1207b, en infrarouge.

Données utiles $\lambda = 10\ \mu\text{m}$; $r = 55$ ua ; $d_{\text{Terre-étoile}} = 230$ al ; $\sin\alpha \approx \dfrac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$

En remplaçant $\sin\alpha$ dans la relation de la question 2.5 :

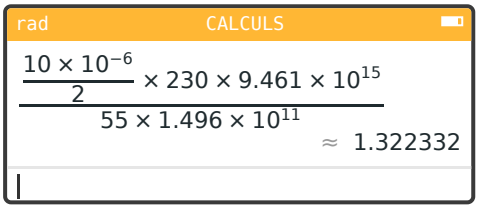
$$d\,\frac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}} = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{soit} \quad d = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda\,\frac{d_{\text{Terre-étoile}}}{r}$$

d est une distance positive : sa plus petite valeur est obtenue pour $k = 1$.

$$d_{\text{min}} = \frac{\lambda}{2}\,\frac{d_{\text{Terre-étoile}}}{r} = \frac{10 \times 10^{-6}}{2} \times \frac{230 \times 9{,}461 \times 10^{15}}{55 \times 1{,}496 \times 10^{11}} = 1{,}3\ \text{m}$$

$\boxed{d_{\text{min}} = 1{,}3\ \text{m}}$

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Prendre $k = 0$: on obtient $d < 0$, ce qui n'a pas de sens pour une distance. Attention aussi à la longueur d'onde, qui n'est plus celle de la question 1.2.

COMPRENDRE

Avec cet écartement, le signal de l'étoile est éteint (2.2) alors que celui de la planète est renforcé : la planète devient observable malgré sa faible luminosité.

Spécialité : La trompette en ut

Bac S 2017 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Donner la relation entre la longueur du tuyau sonore et la longueur d'onde correspondant à la note jouée.

Données utiles mode fondamental : $L = \frac{\lambda_0}{2}$ (document 1) ; la note jouée est l'harmonique de rang 2

La note jouée a la fréquence de l'harmonique de rang 2 : $f = 2f_0$, où f_0 est la fréquence du mode fondamental.

La célérité v du son est la même pour tous les modes, donc $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{v}{2f_0} = \frac{\lambda_0}{2}$.

Or, d'après le document 1, $\lambda_0 = 2L$.

$L = \lambda$: la longueur du tuyau est égale à la longueur d'onde de la note jouée.

PIÈGE

Recopier $L = \lambda_0/2$ sans aller plus loin : cette relation concerne le fondamental, que la trompette ne joue pas. La question porte sur la note jouée.

COMPRENDRE

Les ondes stationnaires dans un tuyau sonore relevaient de l'enseignement de spécialité d'avant 2021 ; elles ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale.

MÉTHODE

Vérification sur le schéma du document 1 : pour $n = 2$, on lit ventre, nœud, ventre, nœud, ventre. Deux ventres consécutifs sont distants de $\lambda/2$, donc $L = 2 \times \lambda/2 = \lambda$.

2 Montrer que la colonne d'air mesure $L = 130$ cm quand la trompette joue un do3 (aucun piston enfoncé). Problème : expliquer l'intérêt des coulisses, calculer la longueur de chacune des trois, puis expliquer l'intérêt des bagues des coulisses 1 et 3.

Données utiles $v = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $L = \lambda$ (Q1) ; fréquences du document 4 ; pistons enfoncés (document 3) : si2 → 2 ; la2# → 1 ; la2 → 1 et 2 ; sol2# → 2 et 3 ; sol2 → 1 et 3 ; fa2# → 1, 2 et 3

Question 2. Pour le do3, $f = 262$ Hz (document 4). Comme $L = \lambda$ et $\lambda = \dfrac{v}{f}$:

$$L = \frac{v}{f} = \frac{340}{262} = 1{,}30\ \text{m}$$

On retrouve bien $L = 130$ cm.

Problème. Intérêt des coulisses. Puisque $f = \dfrac{v}{L}$ avec v constante, allonger la colonne d'air abaisse la fréquence. Chaque piston enfoncé ajoute la longueur de sa coulisse : la note devient plus grave. Les combinaisons de pistons donnent ainsi les six notes situées sous le do3, que les seuls modes propres du tuyau ne permettent pas d'atteindre.

Longueurs des coulisses. Pour chaque note, la colonne d'air doit mesurer $L_{\text{note}} = \dfrac{v}{f_{\text{note}}}$; on garde le millimètre dans les calculs intermédiaires : do3 : 129,8 cm ; si2 : 137,7 cm ; la2# : 145,9 cm ; la2 : 154,5 cm ; sol2# : 163,5 cm ; sol2 : 173,5 cm ; fa2# : 183,8 cm.

Coulisse 1 (piston 1 seul, la2#) : $\ell_1 = L_{\text{la2\#}} - L_{\text{do3}} = 145{,}9 - 129{,}8 = 16{,}1$ cm.

Coulisse 2 (piston 2 seul, si2) : $\ell_2 = L_{\text{si2}} - L_{\text{do3}} = 137{,}7 - 129{,}8 = 7{,}9$ cm.

Coulisse 3 : le piston 3 n'est jamais enfoncé seul. Avec le sol2# (pistons 2 et 3) : $\ell_3 = L_{\text{sol2\#}} - L_{\text{do3}} - \ell_2 = 163{,}5 - 129{,}8 - 7{,}9 = 25{,}8$ cm.

Intérêt des bagues. Avec ces longueurs, les autres combinaisons donnent une colonne d'air trop courte :

la2 (pistons 1 et 2) : $129{,}8 + 16{,}1 + 7{,}9 = 153{,}8$ cm au lieu de 154,5 cm ;

sol2 (pistons 1 et 3) : $129{,}8 + 16{,}1 + 25{,}8 = 171{,}7$ cm au lieu de 173,5 cm ;

fa2# (trois pistons) : $129{,}8 + 16{,}1 + 7{,}9 + 25{,}8 = 179{,}6$ cm au lieu de 183,8 cm. Il manque environ 4 cm : la note émise aurait pour fréquence $\dfrac{340}{1{,}796} = 189$ Hz au lieu de 185 Hz, elle serait trop aiguë.

Les bagues permettent au musicien de tirer les coulisses 1 et 3 pendant qu'il joue, donc d'ajouter les quelques centimètres manquants pour que ces notes soient justes.

$L = 1{,}30\ \text{m} = 130$ cm (valeur attendue) ; $\ell_1 \approx 16$ cm, $\ell_2 \approx 8$ cm, $\ell_3 \approx 26$ cm ; les bagues allongent les coulisses 1 et 3 pour corriger les notes trop aiguës.

PIÈGE
Calculer ℓ_3 comme $L_{\text{note}} - L_{\text{do3}}$ sans retrancher la coulisse de l'autre piston enfoncé. Lire attentivement le document 3 : un piston enfoncé est dessiné en position basse.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs pour L, comme v et f. Une différence de deux longueurs voisines perd des chiffres : $1{,}46 - 1{,}30$ ne donne que deux chiffres. D'où le millimètre gardé en cours de calcul et les résultats arrondis au centimètre.

COMPRENDRE
On peut aussi déduire ℓ_3 du sol2 (pistons 1 et 3) : $173{,}5 - 129{,}8 - 16{,}1 = 27{,}6$ cm, soit 27 à 28 cm selon les arrondis. Les deux démarches sont recevables ; leur désaccord annonce justement le rôle des bagues.

À LA CALCULATRICE

