Corrigé complet — Bac S 2018 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**Paracétamol** Groupes caractéristiques et nomenclature · Spectroscopies IR et RMN · Mécanisme réactionnel · Couples acide-base et prédominance · Titrage d'oxydoréduction	9 pts	1 h 30	15 questions	p. 2
Ex 2	**Etude du lanceur d'un flipper** Oscillateur masse-ressort · Période propre · Analyse dimensionnelle · Énergie potentielle élastique · Conservation de l'énergie mécanique	6 pts	1 h	10 questions	p. 9
Ex 3	**Etude d'un écran de smartphone** Diffraction · Propriétés du laser · Interférences et interfrange · Pouvoir séparateur de l'œil · Codage RVB d'une image numérique	5 pts	50 min	12 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Tuyau d'orgue** Célérité du son et température · Longueur d'onde et fréquence · Période d'un signal sonore · Spectre : fondamental et harmoniques · Hauteur d'un son · Gamme tempérée	5 pts	50 min	3 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.

Paracétamol

Bac S 2018 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Nommer les fonctions associées aux groupes caractéristiques comportant un atome d'azote dans le paracétamol et dans le para-aminophénol.

Paracétamol : l'atome d'azote est lié à un atome de carbone lui-même doublement lié à un atome d'oxygène, $-NH-CO^-$. C'est un groupe amide : fonction **amide**.

Para-aminophénol : le groupe $-NH_2$ est un groupe amino : fonction **amine**.

Paracétamol : fonction amide ; para-aminophénol : fonction amine.

PIÈGE
Répondre « amine et cétone » pour le paracétamol. L'azote et le groupe $C=O$ voisins forment un seul groupe caractéristique, le groupe amide.

1.2 Nommer le sous-produit A formé lors de l'hydrolyse et justifier le nom attribué.

A a pour formule CH_3-COOH.

- Il porte le groupe carboxyle $-COOH$: c'est un acide carboxylique, d'où « acide …oïque ».
- Sa chaîne carbonée compte deux atomes de carbone : radical « éthan ».

A est l'acide éthanoïque (nom courant : acide acétique).

COMPRENDRE
L'atome de carbone du groupe carboxyle est compté dans la chaîne : deux atomes de carbone en tout, et non un seul.

1.3.1 De quel type de spectroscopie s'agit-il ? Justifier par un raisonnement quantitatif.

Données utiles axe des abscisses des spectres : σ de 500 à $4000\ \text{cm}^{-1}$; $\sigma = \dfrac{1}{\lambda}$

Les spectres donnent la transmittance en fonction du nombre d'onde σ, compris entre $500\ \text{cm}^{-1}$ et $4000\ \text{cm}^{-1}$. Comme $\lambda = \dfrac{1}{\sigma}$:

$$\lambda_{\min} = \frac{1}{4000} = 2{,}5 \times 10^{-4}\ \text{cm} = 2{,}5 \times 10^{-6}\ \text{m} = 2{,}5\ \mu\text{m}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{500} = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{cm} = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m} = 20\ \mu\text{m}$$

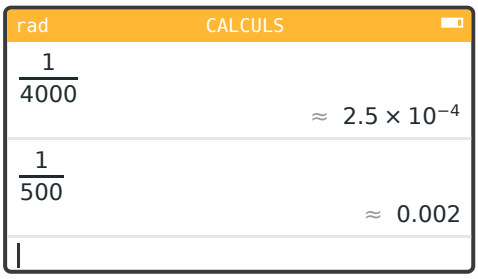
Ces longueurs d'onde sont supérieures à $800\ \text{nm} = 0{,}8\ \mu\text{m}$, limite du domaine visible du côté du rouge.

Les radiations utilisées ont des longueurs d'onde de $2{,}5\ \mu\text{m}$ à $20\ \mu\text{m}$: c'est une spectroscopie infrarouge (IR).

PIÈGE
σ est en cm^{-1} : $1/\sigma$ donne une longueur d'onde en centimètres, à convertir en mètres avant de comparer à $800\ \text{nm}$.

COMPRENDRE
Les bornes sont lues sur un axe gradué : deux chiffres significatifs suffisent. Ce qui compte est l'ordre de grandeur, le micromètre, au-delà du visible (400 à $800\ \text{nm}$).

À LA CALCULATRICE



1.3.2 Attribuer à chacune des deux espèces chimiques le spectre correspondant, en justifiant.

Données utiles C=O : 1650-1750 cm^{-1} ; N−H amine primaire : 3100-3500 cm^{-1}, deux bandes moyennes ; N−H amide : 3100-3500 cm^{-1}, une bande forte

Seul le paracétamol possède une liaison C=O (groupe amide) ; seul le para-aminophénol possède un groupe $-\text{NH}_2$ d'amine primaire.

- Spectre B : bande intense vers 1650 cm^{-1}, attribuée à la liaison C=O, et une seule bande fine vers 3300 cm^{-1} (N−H d'un amide).
- Spectre A : aucune bande intense entre 1650 et 1750 cm^{-1} (pas de liaison C=O) et deux bandes fines voisines vers 3300 cm^{-1} (N−H d'une amine primaire).

Spectre A : para-aminophénol ; spectre B : paracétamol.

MÉTHODE
Pour départager deux spectres IR, chercher la liaison présente dans une seule des deux molécules, ici C=O, puis vérifier sa bande. Les liaisons communes (O−H, C−H, C=C) ne permettent pas de trancher.

1.4 Sur le spectre RMN du paracétamol, identifier le signal des atomes d'hydrogène du groupe CH_3 et justifier sa multiplicité.

Données utiles hauteurs des paliers de la courbe d'intégration : $h_1 = h_2 = 3$ mm ; $h_3 = h_4 = 6$ mm ; $h_5 = 9$ mm

Le paracétamol $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$ possède 9 atomes d'hydrogène. La somme des paliers vaut $3 + 3 + 6 + 6 + 9 = 27$ mm, soit $\frac{27}{9} = 3$ mm par atome d'hydrogène.

Le palier $h_5 = 9$ mm correspond donc à $\frac{9}{3} = 3$ atomes d'hydrogène équivalents : ceux du groupe CH_3. C'est le signal situé à $\delta \approx 2{,}0$ ppm.

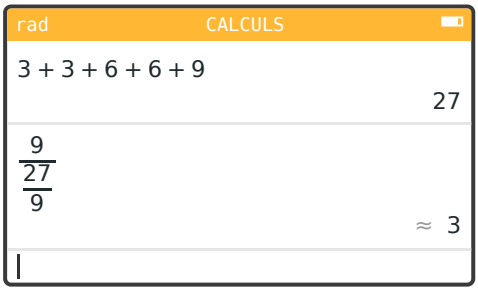
Multiplicité : l'atome de carbone voisin du groupe CH_3 est celui du groupe C=O, qui ne porte aucun atome d'hydrogène. Avec $n = 0$ voisin, la règle des $(n+1)$-uplets donne $0 + 1 = 1$ pic.

Le groupe CH_3 donne le singulet à $\delta \approx 2{,}0$ ppm (palier h_5, 3 H, aucun H voisin).

PIÈGE
Compter l'atome d'hydrogène porté par l'azote comme voisin. Les voisins sont les H portés par les atomes de carbone adjacents ; ici N−H est en outre séparé du CH_3 par le carbone du C=O.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN ne figure plus au programme actuel de spécialité de terminale ; la spectroscopie infrarouge y est toujours.

À LA CALCULATRICE



1.5 Préciser les précautions de sécurité à prendre pour mettre en œuvre cette hydrolyse par chauffage à reflux au laboratoire.

Données utiles pictogrammes : para-aminophénol (danger pour la santé, danger pour l'environnement, nocif ou irritant) ; acide sulfurique (corrosif, nocif ou irritant) ; paracétamol (nocif ou irritant)

Risques chimiques :

- l'acide sulfurique est corrosif : porter une blouse fermée, des lunettes de protection et des gants ;
- le para-aminophénol présente un danger grave pour la santé : manipuler sous la hotte, sans contact avec la peau ;
- le para-aminophénol est dangereux pour l'environnement : ne rien verser à l'évier, récupérer les solutions dans un bidon de déchets.

Risques liés au chauffage à reflux :

- fixer le ballon et le réfrigérant à une potence ; laisser le haut du réfrigérant ouvert pour éviter toute surpression ;
- faire circuler l'eau dans le réfrigérant avant de chauffer ;
- poser le chauffe-ballon sur un support élévateur pour pouvoir arrêter rapidement le chauffage ;
- ajouter quelques grains de pierre ponce pour régulariser l'ébullition.

Blouse, lunettes, gants, hotte, récupération des déchets ; montage fixé, réfrigérant ouvert et alimenté en eau, support élévateur.

MÉTHODE
Pour une question de sécurité : associer une précaution à chaque pictogramme du sujet, puis ajouter les précautions propres au montage utilisé.

1.6 À quelle catégorie de réaction appartient l'hydrolyse du paracétamol ? S'agit-il d'une modification de chaîne ou de groupe caractéristique ? Justifier.

Catégorie : sur l'atome d'azote, le groupe d'atomes $-CO-CH_3$ est remplacé par un atome d'hydrogène. Un atome ou groupe d'atomes est remplacé par un autre : c'est une **substitution**.

Modification : le groupe amide du paracétamol disparaît, un groupe amino apparaît dans le para-aminophénol (et un groupe carboxyle dans A). Le cycle et le groupe hydroxyle sont inchangés.

Réaction de substitution, avec modification de groupe caractéristique (amide → amine).

COMPRENDRE
Deux réactifs et deux produits : ce n'est ni une addition (un seul produit) ni une élimination (un seul réactif, formation d'une liaison multiple).

1.7.1 Sur l'annexe, pour les étapes 3 et 4, compléter les schémas en faisant apparaître les doublets non liants non représentés.

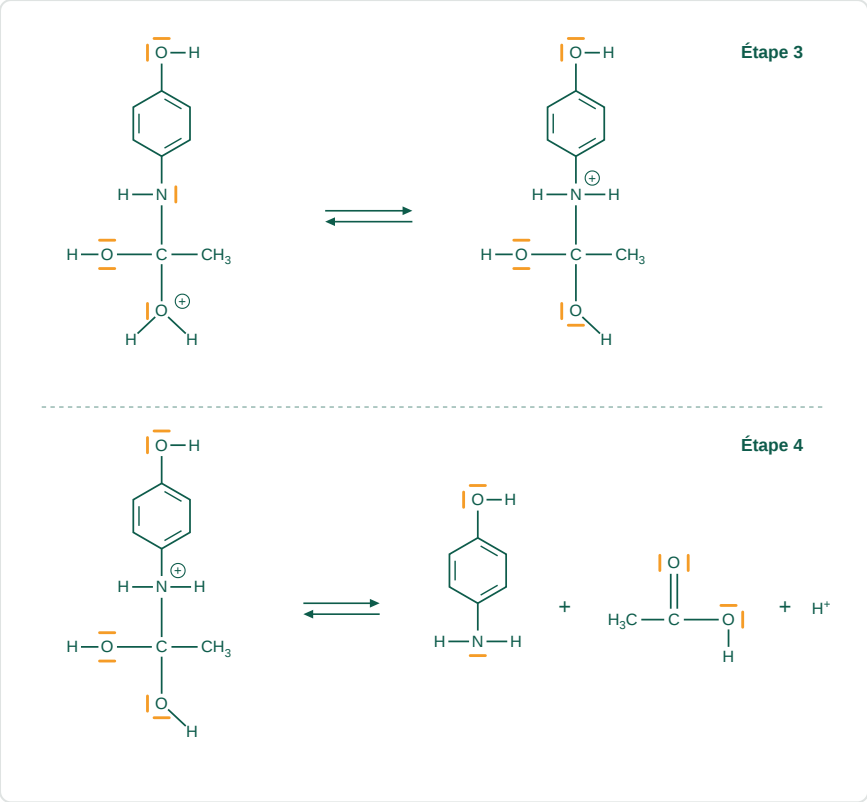
Chaque atome d'oxygène ou d'azote est entouré de quatre doublets (règle de l'octet) :

- O engagé dans deux liaisons : 2 doublets non liants ;
- O^+ engagé dans trois liaisons : 1 doublet non liant ;
- N engagé dans trois liaisons : 1 doublet non liant ;
- N^+ engagé dans quatre liaisons : aucun doublet non liant.

L'ion H^+ n'en porte aucun.

Voir l'annexe complétée : 2 doublets sur chaque O neutre, 1 sur O^+ et sur N neutre, aucun sur N^+.

PIÈGE
Laisser un doublet non liant sur l'azote chargé N^+ : ses quatre doublets sont déjà engagés dans des liaisons. Compter la double liaison $C{=}O$ pour deux doublets liants.



1.7.1 · Annexe complétée : étapes 3 et 4, doublets non liants ajoutés en orange.

1.7.2 Pour l'étape 2, identifier les sites donneur et accepteur de doublets d'électrons et compléter le mécanisme par des flèches courbes.

Site donneur : l'atome d'oxygène de la molécule d'eau, qui porte deux doublets non liants.

Site accepteur : l'atome de carbone lié à O^+ et à N, deux atomes plus électronégatifs que lui ; il porte une charge partielle positive.

Flèches courbes :

- une flèche part d'un doublet non liant de l'oxygène de l'eau et pointe vers cet atome de carbone (formation de la liaison $C-O$) ;
- une flèche part de la double liaison $C=O$ et pointe vers l'atome O^+ (un doublet liant devient non liant, le carbone garde quatre liaisons).

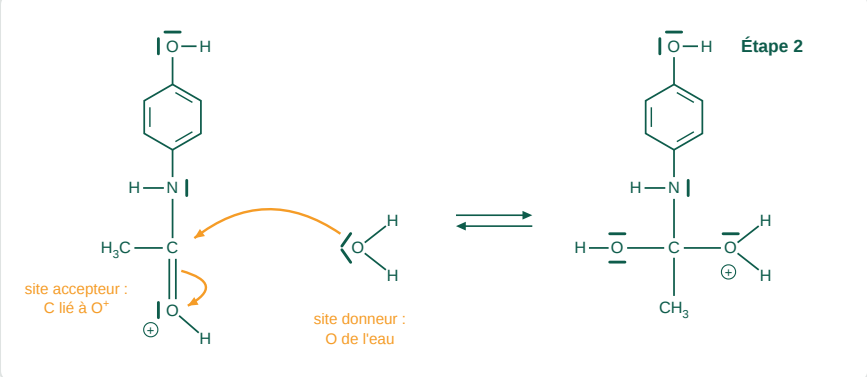
Donneur : O de l'eau ; accepteur : C lié à O^+ ; deux flèches courbes (voir l'annexe complétée).

PIÈGE

Tracer une flèche du carbone vers l'oxygène de l'eau. Une flèche courbe part toujours d'un doublet (non liant ou liant) et pointe vers le site accepteur.

COMPRENDRE

Vérification sur le produit : l'oxygène venu de l'eau a trois liaisons et un seul doublet, il porte la charge $+$; l'autre oxygène a retrouvé deux doublets, il est neutre.



1.7.2 · Annexe complétée : étape 2, flèches courbes en orange.

1.8 Déterminer, en fin de réaction, la forme prédominante du para-aminophénol et de l'acide acétique, puis proposer une nouvelle écriture de la dernière étape du mécanisme.

Données utiles pK_a des couples : $HO-C_6H_4-NH_3^+/HO-C_6H_4-NH_2$: 5,6 ; $HO-C_6H_4-NH_2/^-O-C_6H_4-NH_2$: 10,5 ; CH_3COOH/CH_3COO^- : 4,8

L'hydrolyse est réalisée dans une solution d'acide sulfurique : le milieu est très acide, son pH est inférieur à 4,8, donc inférieur aux trois pK_a.

Quand $pH < pK_a$, la forme acide du couple prédomine :

- para-aminophénol : $pH < 5{,}6$, il se trouve sous la forme de l'ion $HO-C_6H_4-NH_3^+$ (le groupe hydroxyle reste $-OH$ puisque $pH < 10{,}5$) ;
- acide acétique : $pH < 4{,}8$, il se trouve sous la forme CH_3COOH.

L'étape 4 ne libère donc pas d'ion H^+ : il reste fixé sur l'atome d'azote.

En notant Ar le groupe $HO-C_6H_4^-$, l'étape 4 s'écrit :

$$Ar-NH_2^+-C(OH)_2-CH_3 \longrightarrow Ar-NH_3^+ + CH_3-COOH$$

Formes prédominantes : $HO-C_6H_4-NH_3^+$ et CH_3COOH ; l'étape 4 ne libère plus d'ion H^+.

COMPRENDRE
L'équation reste équilibrée : une charge $+$ de chaque côté. L'hydrogène d'un groupe $-OH$ passe sur l'azote lors de la rupture de la liaison $C-N$.

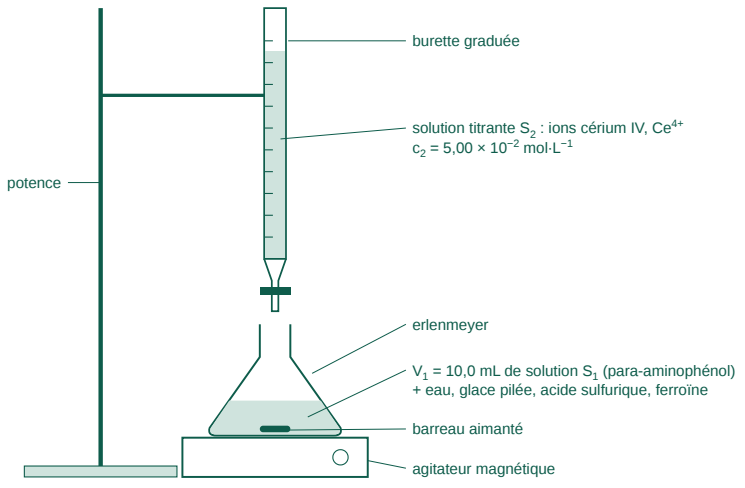
MÉTHODE
Placer le pH du milieu sur l'axe de prédominance de chaque couple : à gauche du pK_a, forme acide ; à droite, forme basique.

2.1 Schématiser le dispositif expérimental du titrage du para-aminophénol par les ions cérium, en précisant le nom de la verrerie.

Le prélèvement $V_1 = 10{,}0\ mL$ de solution S_1 est effectué avec une pipette jaugée de $10{,}0\ mL$ et versé dans un erlenmeyer. La solution titrante S_2 est placée dans une burette graduée. L'erlenmeyer est posé sur un agitateur magnétique.

Voir le schéma légendé : burette graduée (solution S_2), erlenmeyer (solution S_1 et indicateur), barreau aimanté, agitateur magnétique.

PIÈGE
Inverser les solutions. La solution titrante, de concentration connue, est dans la burette ; la solution titrée, de volume connu, est dans l'erlenmeyer.



2.1 · Dispositif de titrage colorimétrique.

2.2 Le réactif titrant joue-t-il le rôle d'oxydant ou de réducteur ? Justifier.

Le réactif titrant est l'ion Ce^{4+}, transformé en ion Ce^{3+} au cours du titrage :

$$Ce^{4+} + e^- = Ce^{3+}$$

L'ion Ce^{4+} capte un électron : c'est un oxydant (il est réduit en Ce^{3+}).

Le réactif titrant Ce^{4+} est l'oxydant ; le para-aminophénol est le réducteur.

COMPRENDRE
Le sujet nomme « anthraquinone » le produit dessiné. Le nom ne correspond pas à cette formule, qui est celle de la para-benzoquinone (un seul cycle). Aucune réponse n'en dépend.

2.3 Parmi les propositions A, B, C et D, déterminer la relation correcte, à l'équivalence, entre la quantité de matière de paracétamol initialement présente et celle des ions cérium. Justifier.

L'hydrolyse est totale et une mole de paracétamol donne une mole de para-aminophénol : $n(\text{paracétamol}) = n(\text{para-aminophénol})$.

À l'équivalence, les réactifs du titrage ont été introduits dans les proportions stœchiométriques, soit une mole de para-aminophénol pour deux moles d'ions Ce^{4+} :

$$\frac{n(\text{para-aminophénol})}{1} = \frac{n_E(Ce^{4+})}{2}$$

La proposition D est fausse : il se forme autant d'ions Ce^{3+} qu'il a été versé d'ions Ce^{4+}.

Proposition C : $n(\text{paracétamol}) = \dfrac{n_E(Ce^{4+})}{2}$, la moitié de la quantité d'ions Ce^{4+} versée à l'équivalence.

PIÈGE
Choisir B en multipliant par 2 du mauvais côté. Il faut deux ions Ce^{4+} par molécule titrée : il y a donc deux fois moins de molécules que d'ions versés.

COMPRENDRE
Cette quantité est celle contenue dans la prise d'essai $V_1 = 10{,}0\ \text{mL}$, et non dans le comprimé entier.

2.4 Déterminer, à partir des résultats du titrage, la masse de paracétamol contenue dans un comprimé.

Données utiles $c_2 = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_{2E} = 13{,}1\ \text{mL}$; $V_1 = 10{,}0\ \text{mL}$; volume de la fiole $V = 100\ \text{mL}$; $M = 151\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

À l'équivalence (question 2.3) : $c_1 V_1 = \dfrac{c_2 V_{2E}}{2}$, donc

$$c_1 = \frac{c_2 V_{2E}}{2V_1} = \frac{5{,}00 \times 10^{-2} \times 13{,}1}{2 \times 10{,}0} = 3{,}275 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Tout le para-aminophénol issu du comprimé se trouve dans la fiole de volume $V = 100\ \text{mL}$, et l'hydrolyse totale donne $n(\text{paracétamol}) = n(\text{para-aminophénol}) = c_1 V$.

$$m = c_1 V M = 3{,}275 \times 10^{-2} \times 0{,}100 \times 151 = 0{,}495\ \text{g}$$

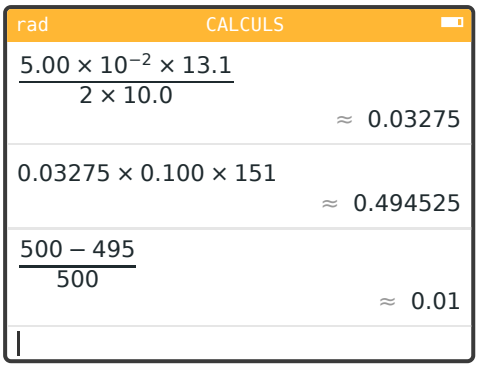
Cette valeur est très proche des $500\ \text{mg}$ annoncés : écart relatif $\dfrac{500 - 495}{500} = 1\ \%$.

$m = 0{,}495\ \text{g} = 495\ \text{mg}$ de paracétamol par comprimé

PIÈGE
Oublier le facteur de dilution : seuls $10{,}0\ \text{mL}$ des $100\ \text{mL}$ de S_1 sont titrés. Sans le facteur 10, on trouve $49{,}5\ \text{mg}$, résultat incohérent avec l'étiquette.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c_2, V_{2E}, V_1 et M. On garde $3{,}275 \times 10^{-2}$ pour le calcul suivant et on n'arrondit qu'à la fin. Le rapport V_{2E}/V_1 est sans unité : les deux volumes restent en mL.

À LA CALCULATRICE



2.5 Citer deux sources d'écart possibles avec la valeur indiquée sur l'étiquette.

Deux sources parmi :

- l'hydrolyse peut ne pas être tout à fait totale après une heure de chauffage : il se forme alors moins de para-aminophénol que prévu ;
- des pertes de matière lors du transfert du ballon vers la fiole jaugée (ballon mal rincé) ;
- l'incertitude sur le volume équivalent V_{2E} : repérage du changement de couleur à la goutte près, lecture de la burette ;
- les incertitudes sur V_1, sur le volume de la fiole et sur la concentration c_2 ;
- la tolérance de fabrication : la masse de paracétamol varie légèrement d'un comprimé à l'autre.

Par exemple : hydrolyse incomplète ou pertes au transfert (valeur trop faible) ; incertitude sur le repérage de l'équivalence.

COMPRENDRE

Les deux premières causes conduisent à une masse plus faible que $500\ \text{mg}$, ce qui va dans le sens du résultat trouvé ($495\ \text{mg}$).

Etude du lanceur d'un flipper

Bac S 2018 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 En comparant les enregistrements 1 et 2, identifier précisément la modification effectuée entre l'expérience 1 et l'expérience 2.

Les deux expériences utilisent la même masse ($m = 500$ g) et le même ressort. Seule la valeur maximale de x change : $4{,}0$ cm sur l'enregistrement 1, $2{,}0$ cm sur l'enregistrement 2.

L'expérimentateur a modifié l'**amplitude** : il a lâché la masse à $2{,}0$ cm de sa position d'équilibre au lieu de $4{,}0$ cm.

PIÈGE
« Précisément » demande les deux valeurs lues sur les graphiques, avec leur unité. Attention : les axes verticaux des enregistrements 1 et 2 n'ont pas la même échelle.

1.2 L'amplitude du mouvement du point G a-t-elle une influence sur sa période ? Justifier.

Sur les enregistrements 1 et 2, quatre oscillations complètes durent la même durée (environ $3{,}1$ s) alors que l'amplitude a été divisée par deux, les autres paramètres étant inchangés.

L'amplitude n'a **pas d'influence** sur la période.

MÉTHODE
Pour tester l'influence d'un paramètre, on compare deux expériences qui ne diffèrent que par ce paramètre. Ici : les enregistrements 1 et 2 pour l'amplitude, 2 et 3 pour la masse.

1.3 Que peut-on dire de l'influence de la masse sur la période des oscillations ?

Les enregistrements 2 et 3 ont la même amplitude ($2{,}0$ cm) et le même ressort ; seule la masse change ($m' > m$).

Enregistrement 2 : $T_0 \approx 0{,}78$ s. Enregistrement 3 : trois périodes durent $2{,}94$ s, soit $T_0' \approx 0{,}98$ s.

La période **augmente** quand la masse augmente.

1.4.1 Ces trois enregistrements permettent-ils d'affirmer que la constante de raideur k a une influence sur la période ? Justifier.

Les trois expériences sont réalisées avec le même ressort : la constante de raideur k n'a jamais été modifiée.

Non : sans variation de k, ces enregistrements ne disent rien de son influence sur la période.

1.4.2 Proposer une expérience supplémentaire permettant de conclure sur ce point.

On reprend l'expérience 2 (même masse $m = 500$ g, même amplitude) en remplaçant le ressort par un autre, de constante de raideur différente, puis on mesure la nouvelle période.

Si la période mesurée diffère de $0{,}78$ s, alors k a une influence sur la période.

1.5.1 En utilisant les résultats des questions précédentes, montrer que l'expression (1) ne convient pas.

Dans l'expression (1), $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{k}{m}}$, la masse est au dénominateur : si m augmente, T_0 diminue.

Or l'expérience montre le contraire (question 1.3) : la période augmente avec la masse.

L'expression (1) est en contradiction avec l'expérience : elle **ne convient pas**.

1.5.2 Par une analyse dimensionnelle, montrer que l'expression (3) ne convient pas et que l'expression (2) est homogène.

Unité de k : d'après $P = m\,g$, $1\ \text{N} = 1\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, donc k en $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ s'exprime en $\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$. Le facteur 2π est sans unité.

Expression (2) : $\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ s'exprime en $\sqrt{\dfrac{\text{kg}}{\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}}} = \sqrt{\text{s}^2} = \text{s}$.

Expression (3) : $\sqrt{\dfrac{m\,g}{k}}$ s'exprime en $\sqrt{\dfrac{\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}}{\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}}} = \sqrt{\text{m}} = \text{m}^{1/2}$.

(2) est homogène à une durée ; (3) est la racine carrée d'une longueur : elle **ne convient pas**.

COMPRENDRE
L'homogénéité est nécessaire, pas suffisante : elle élimine (3) mais ne prouve pas (2), et ne dit rien du facteur 2π. L'oscillateur masse-ressort n'est plus au programme actuel de spécialité.

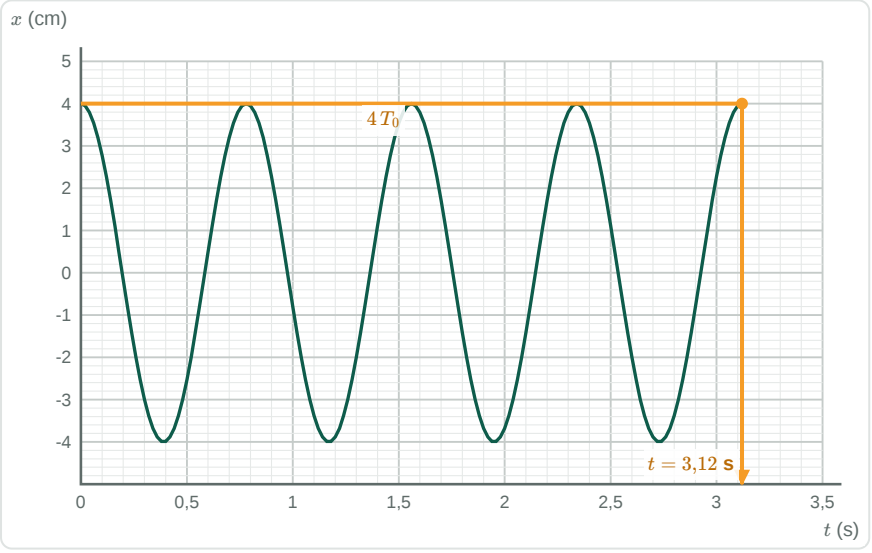
MÉTHODE
Ramener chaque grandeur aux unités de base (kg, m, s) à l'aide d'une relation connue, ici $P = m\,g$ pour le newton, puis simplifier comme dans un calcul littéral.

1.6 Déterminer le plus précisément possible, en expliquant la démarche, la période T_0 des oscillations de l'enregistrement 1.

Pour réduire l'incertitude de lecture, on mesure la durée du plus grand nombre possible de périodes. Entre le premier maximum ($t = 0$) et le cinquième ($t = 3{,}12$ s), il y a quatre périodes :

$$T_0 = \frac{3{,}12}{4} = 0{,}78\ \text{s}$$

$T_0 = 0{,}78$ s

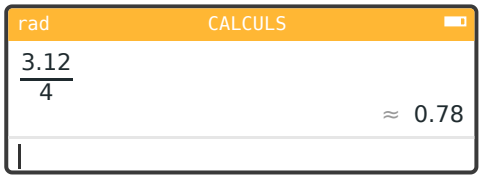


1.6 · Enregistrement 1 : quatre périodes entre le premier et le cinquième maximum

PIÈGE
Cinq maximums délimitent quatre périodes, pas cinq. Et mesurer une seule période divise la précision par quatre : la question dit « le plus précisément possible ».

COMPRENDRE
Une petite graduation vaut $0{,}1$ s : la date $3{,}12$ s est lue à quelques centièmes près, donc T_0 est connue à environ $0{,}01$ s près. Deux chiffres significatifs suffisent.

À LA CALCULATRICE



1.7 Les caractéristiques fournies pour le ressort sur le site marchand sont-elles validées par ces expériences ?

Données utiles $k = 33\ \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ (document 1) ; $m = 500\ \text{g} \pm 10\ \text{g}$; $T_0 = 0{,}78$ s (1.6)

Période attendue avec la raideur annoncée par le vendeur :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}500}{33}} = 0{,}77\ \text{s}$$

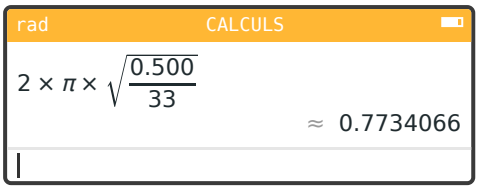
La valeur mesurée, $0{,}78$ s, s'en écarte de $0{,}01$ s, soit environ 1 % : l'écart est de l'ordre de la précision de la lecture graphique.

La raideur annoncée, $33\ \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, est **validée**. L'écrasement maximal de 90 mm, lui, n'est pas testé par ces expériences.

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : k est en $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, donc m doit être en kilogrammes, soit $0{,}500$ kg.

COMPRENDRE
On peut aussi calculer $k = \dfrac{4\pi^2 m}{T_0^2} \approx 32\ \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ et le comparer à 33. Avec m entre 490 g et 510 g, la période attendue va de $0{,}77$ s à $0{,}78$ s.

À LA CALCULATRICE



2 Par un raisonnement énergétique sans perte, montrer que l'énergie élastique emmagasinée par le ressort suffit pour que la bille atteigne l'extrémité de la rampe, puis calculer sa vitesse à cet endroit.

Données utiles $k = 33\ \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$; $\Delta\ell = 90\ \text{mm}$; $m = 100\ \text{g}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $h = 10\ \text{cm}$

Système : la bille. Départ : ressort comprimé au maximum, bille immobile, à l'altitude choisie comme origine de l'énergie potentielle de pesanteur. Arrivée : extrémité de la rampe, à la hauteur h, ressort détendu.

Énergie emmagasinée par le ressort :

$$E_{pe} = \frac{1}{2}\,k\,\Delta\ell^2 = \frac{1}{2} \times 33 \times (90 \times 10^{-3})^2 = 0{,}134\ \text{J}$$

Énergie potentielle de pesanteur à gagner pour monter de h :

$$E_{pp} = m\,g\,h = 0{,}100 \times 9{,}81 \times 0{,}10 = 0{,}0981\ \text{J}$$

$E_{pe} > E_{pp}$: l'énergie du ressort est suffisante, la bille atteint l'extrémité de la rampe.

Sans perte, l'énergie se conserve entre le départ et l'arrivée : $E_{pe} = \frac{1}{2}\,m\,v^2 + m\,g\,h$, d'où

$$v = \sqrt{\frac{2\,(E_{pe} - m\,g\,h)}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times (0{,}13365 - 0{,}0981)}{0{,}100}} = 0{,}84\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

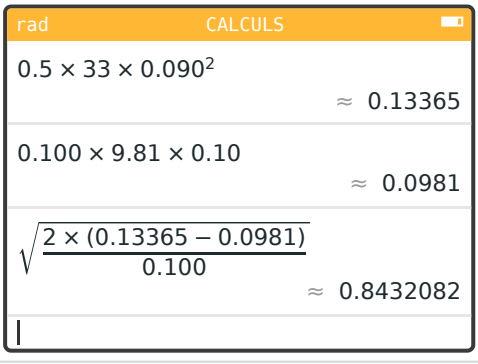
$E_{pe} = 0{,}134\ \text{J} > E_{pp} = 0{,}098\ \text{J}$: la bille atteint l'extrémité de la rampe, avec $v = 0{,}84\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

PIÈGE
Trois conversions : 90 mm $= 0{,}090$ m, 100 g $= 0{,}100$ kg, 10 cm $= 0{,}10$ m. La masse est ici celle de la bille (100 g), pas la masse marquée de 500 g de la partie 1.

PIÈGE
Ne pas arrondir les énergies avant de les soustraire : avec $0{,}13 - 0{,}098$, on trouve $0{,}80\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. La différence de deux valeurs proches amplifie les erreurs d'arrondi.

COMPRENDRE
Résultat à deux chiffres significatifs, comme k, $\Delta\ell$ et h. L'expression de E_{pe}, fournie par l'énoncé, n'est plus au programme actuel ; la conservation de l'énergie mécanique l'est toujours.

À LA CALCULATRICE



Etude d'un écran de smartphone

Bac S 2018 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Citer deux propriétés du laser.

La lumière émise par un laser est **monochromatique** : elle ne contient qu'une seule longueur d'onde.

Le faisceau est **très directif** : il reste fin, il diverge très peu.

Lumière monochromatique et faisceau très directif.

COMPRENDRE
Autres réponses acceptées : lumière cohérente, énergie concentrée sur une petite surface. Les propriétés du laser figuraient au programme de Terminale S ; elles ne sont plus exigibles en spécialité aujourd'hui.

1.2 Donner, en le justifiant, un ordre de grandeur possible de la largeur a du miroir pour observer une figure de diffraction en lumière visible.

La diffraction est nettement observable quand la dimension de l'obstacle est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, ou jusqu'à une centaine de fois plus grande.

Dans le visible, λ est comprise entre 400 nm et 800 nm, soit un ordre de grandeur de 10^{-6} m. La largeur a peut donc aller d'environ $1\ \mu\text{m}$ à $100\ \mu\text{m}$.

Ordre de grandeur possible : $a \approx 10^{-5}$ m (quelques dizaines de micromètres).

PIÈGE
Répondre « a doit être inférieure à λ ». La diffraction s'observe encore très bien pour a de l'ordre de $100\,\lambda$: une fente de 50 µm diffracte un faisceau laser.

1.3 Rappeler la relation entre le demi-angle θ, la largeur a du miroir et la longueur d'onde λ. En déduire le laser utilisé pour chaque figure de diffraction.

Relation : $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$, avec θ en radian, λ et a en mètre.

Le miroir est le même pour les deux figures : θ est proportionnel à λ.
Comme $\lambda_{\text{rouge}} > \lambda_{\text{vert}}$, on a $\theta_{\text{rouge}} > \theta_{\text{vert}}$.

À distance D égale, plus θ est grand, plus la tache centrale est large.
Sur la figure 2, la tache centrale de la figure n°2 est la plus large.

Figure n°2 : laser rouge ; figure n°1 : laser vert.

COMPRENDRE
La figure 2 est en couleurs, mais la réponse attendue repose sur la largeur des taches : il faut raisonner avec $\theta = \lambda/a$, pas seulement constater la teinte.

1.4 Le laser rouge a une longueur d'onde de 632,8 nm. En déduire la longueur d'onde du laser vert.

Données utiles $\lambda_{\text{rouge}} = 632{,}8$ nm ; mesures sur la figure 2 : $L_{\text{vert}} \approx 1{,}5$ cm et $L_{\text{rouge}} \approx 1{,}8$ cm

Sur la figure 1, dans le triangle rectangle de côtés D et $\frac{L}{2}$: $\tan\theta = \frac{L}{2D}$. L'angle est petit, donc $\tan\theta \approx \theta$ et $\theta = \frac{L}{2D}$.

Avec $\theta = \frac{\lambda}{a}$: $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$, soit $\lambda = \frac{a\,L}{2D}$.

a et D sont identiques pour les deux expériences, donc λ est proportionnelle à L :

$$\frac{\lambda_{\text{vert}}}{\lambda_{\text{rouge}}} = \frac{L_{\text{vert}}}{L_{\text{rouge}}} \quad \text{soit} \quad \lambda_{\text{vert}} = \lambda_{\text{rouge}} \times \frac{L_{\text{vert}}}{L_{\text{rouge}}}$$

Les deux figures sont à la même échelle : on mesure à la règle la largeur de chaque tache centrale, entre les milieux des deux premières extinctions.

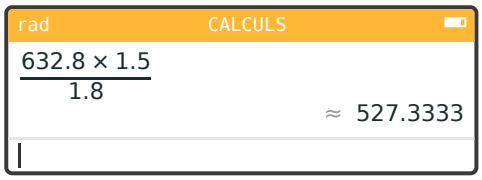
$$\lambda_{\text{vert}} = 632{,}8 \times \frac{1{,}5}{1{,}8} = 527 \text{ nm}$$

$\lambda_{\text{vert}} \approx 5{,}3 \times 10^{2}$ nm

COMPRENDRE
Les largeurs sont mesurées avec deux chiffres significatifs : le résultat n'en garde que deux, même si λ_{rouge} en compte quatre. La valeur obtenue est bien dans le domaine du vert.

MÉTHODE
Quand a et D sont inconnues mais communes aux deux expériences, former un rapport : elles s'éliminent, et les largeurs peuvent rester en centimètres mesurés sur le sujet.

À LA CALCULATRICE



2.1 Déterminer le plus précisément possible la distance i entre deux points lumineux.

Données utiles figure 4 : quadrillage et échelle 1 cm

Pour réduire l'incertitude de lecture, on mesure la plus grande distance possible : sur la ligne horizontale centrale, on compte 7 points lumineux, donc 6 intervalles.

Avec l'échelle de la figure 4 (un petit carreau du quadrillage correspond à 0,5 cm), la distance entre les centres des deux points extrêmes vaut $6\,i \approx 8{,}9$ cm.

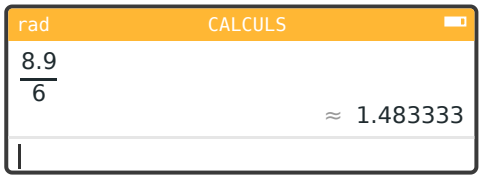
$$i = \frac{8{,}9}{6} = 1{,}48 \text{ cm}$$

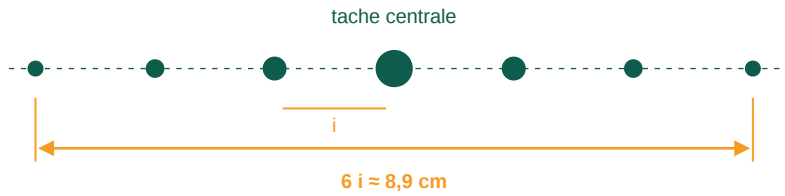
$i \approx 1{,}5 \text{ cm} = 1{,}5 \times 10^{-2}$ m

PIÈGE
Compter 7 intervalles pour 7 points : il n'y en a que 6. Mesurer un seul intervalle ne répond pas à « le plus précisément possible ».

MÉTHODE
Mesurer N intervalles puis diviser par N divise aussi l'incertitude de lecture par N. Viser le centre des taches, pas leur bord.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Figure 4 : mesure de six intervalles sur la ligne centrale

2.2 En déduire que la valeur de la largeur d'un pixel est proche de 75 µm.

Données utiles $D = 1{,}74$ m ; $\lambda = 632{,}8$ nm ; $i = 1{,}48 \times 10^{-2}$ m (2.1)

De $i = \dfrac{\lambda D}{a}$ on tire $a = \dfrac{\lambda D}{i}$.

$$a = \frac{632{,}8 \times 10^{-9} \times 1{,}74}{1{,}48 \times 10^{-2}} = 7{,}4 \times 10^{-5} \text{ m}$$

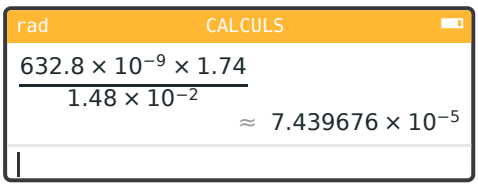
Les pixels sont des carrés accolés : la distance entre les centres de deux pixels voisins est égale à la largeur d'un pixel.

$a \approx 74\ \mu$m, valeur proche de 75 μm.

PIÈGE
Laisser λ en nanomètre ou i en centimètre : tout doit être en mètre. On reprend la valeur non arrondie de i (1,48 cm) pour le calcul.

COMPRENDRE
L'écran se comporte comme un réseau de petits miroirs régulièrement espacés : les ondes réfléchies interfèrent, et l'interfrange $i = \lambda D/a$ est celui des interférences, toujours au programme.

À LA CALCULATRICE



3.1 Le punctum proximum d'un œil normal est à 25 cm. Déterminer la taille du plus petit objet AB visible.

Données utiles $\alpha_{min} = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad ; $d = 25$ cm $= 0{,}25$ m

L'objet paraît le plus grand possible quand il est placé au plus près de l'œil, à $d = 0{,}25$ m. Il est tout juste distingué si son diamètre apparent vaut α_{min}.

Dans le triangle rectangle formé par AB et la distance d : $\tan \alpha_{min} = \dfrac{AB}{d}$. L'angle est très petit, donc $\tan \alpha_{min} \approx \alpha_{min}$ (en radian) :

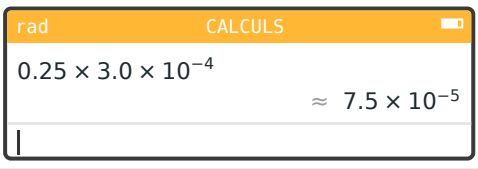
$$AB = d \times \alpha_{min} = 0{,}25 \times 3{,}0 \times 10^{-4} = 7{,}5 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$AB = 75\ \mu$m

PIÈGE
Calculer une tangente avec la calculatrice réglée en degrés : l'angle est donné en radian. Convertir aussi 25 cm en mètre.

COMPRENDRE
Le pouvoir séparateur de l'œil n'est plus au programme de spécialité : ici, tout est fourni par l'énoncé et la question se réduit à de la trigonométrie aux petits angles.

À LA CALCULATRICE



3.2 Déterminer la distance entre les centres de deux pixels successifs du smartphone, dont la notice indique une résolution de 367 ppp.

Données utiles 367 pixels par pouce ; 1 pouce $= 2{,}54$ cm

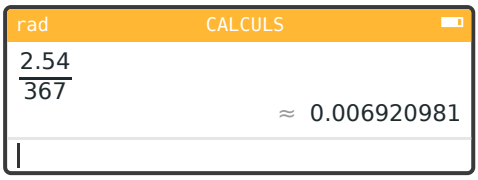
367 pixels accolés occupent une longueur de 1 pouce, soit 2,54 cm. La distance p entre les centres de deux pixels successifs est la largeur d'un pixel :

$$p = \frac{2{,}54}{367} = 6{,}92 \times 10^{-3} \text{ cm} = 6{,}92 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$p = 69{,}2\ \mu$m

COMPRENDRE
Cette valeur du constructeur est cohérente avec la mesure par interférences de la partie 2 (74 µm) : l'écart est d'environ 7 %, compatible avec la lecture de la figure 4.

À LA CALCULATRICE



3.3 Montrer qu'il est impossible à l'œil nu de distinguer deux pixels de l'écran. Cette propriété est-elle intéressante pour l'utilisation du smartphone ?

Données utiles $AB = 75\ \mu\text{m}$ (3.1) ; $p = 69{,}2\ \mu\text{m}$ (3.2)

Deux pixels voisins sont séparés de $p = 69{,}2\ \mu\text{m}$, valeur inférieure à $75\ \mu\text{m}$, plus petite distance que l'œil peut séparer, même dans le cas le plus favorable (écran à 25 cm).

Le diamètre apparent de deux pixels voisins est donc inférieur à α_{min} : l'œil les voit comme un seul point. À une distance plus grande, c'est encore plus vrai.

Cette propriété est intéressante : l'image paraît continue, sans quadrillage visible, et les trois sous-pixels d'un pixel se confondent en une seule couleur.

$p < AB$ ($69{,}2\ \mu\text{m} < 75\ \mu\text{m}$) : pixels indiscernables à l'œil nu, l'image n'apparaît pas pixellisée.

COMPRENDRE
C'est parce que l'œil ne sépare pas les sous-pixels rouge, vert et bleu que leurs lumières s'additionnent : la synthèse additive donne la couleur perçue du pixel.

4.1 Chaque pixel est codé par trois octets. Pourquoi parle-t-on d'un codage 24 bits ?

Chaque pixel est codé par 3 octets, un par sous-pixel (rouge, vert, bleu), et un octet contient 8 bits.

$3 \times 8 = 24$ bits par pixel : c'est un codage 24 bits.

COMPRENDRE
Le codage RVB des images relève aujourd'hui de l'enseignement scientifique et de SNT, plus de la spécialité.

4.2 Pourquoi parle-t-on aussi de « 16 millions de couleurs » possibles ? Calculer le nombre exact de couleurs.

Chaque bit prend 2 valeurs (0 ou 1). Avec 24 bits, le nombre de combinaisons, donc de couleurs codables, est :

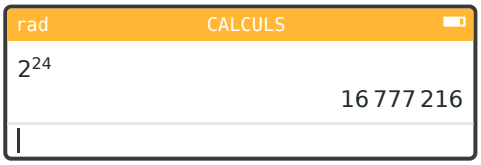
$$N = 2^{24} = 16\,777\,216$$

Autrement dit, chaque sous-pixel a $2^8 = 256$ niveaux d'intensité (de 0 à 255) et $256^3 = 16\,777\,216$.

$N = 2^{24} = 16\,777\,216$ couleurs, soit environ 16 millions (plus exactement près de 17 millions).

PIÈGE
Calculer 24^2 ou 3×256 : avec n bits on code 2^n valeurs, et les possibilités des trois sous-pixels se multiplient.

À LA CALCULATRICE



4.3 Deux zones de 9 pixels sont données par leurs codages RVB : l'une est colorée, l'autre en niveaux de gris. Peut-on les distinguer à partir du codage ?

Oui. Dans la zone de droite, les trois nombres de chaque pixel sont égaux (237 237 237, 187 187 187, …, 008 008 008) : les trois sous-pixels émettent avec la même intensité, la synthèse additive donne un gris, d'autant plus clair que le nombre est grand.

Dans la zone de gauche, les trois nombres d'un même pixel sont différents : une couleur domine. Par exemple, 255 255 000 (rouge et vert au maximum, bleu éteint) donne du jaune, et 255 000 002 donne du rouge.

Zone de droite (R = V = B pour chaque pixel) : niveaux de gris ; zone de gauche : zone colorée.

COMPRENDRE

Repères : 000 000 000 correspond au noir, 255 255 255 au blanc. Le pixel 008 008 008 est donc presque noir, le pixel 237 237 237 presque blanc.

Spécialité : Tuyau d'orgue

Bac S 2018 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Déterminer la note jouée par le tuyau étudié, avec la meilleure précision possible, en s'assurant que les documents 1 et 2 sont cohérents.

Données utiles $\lambda = 2L$; $v = \sqrt{\dfrac{\gamma RT}{M}}$; $\gamma = 1{,}40$; $R = 8{,}314\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $M = 0{,}0289\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$; $L = 52{,}0\ \text{cm}$; $\theta = 20\ ^\circ\text{C}$

Modèle du tuyau. Avec $\lambda = \dfrac{v}{f}$ et $\lambda = 2L$:

$$f = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

À 20 °C, $T = 20 + 273 = 293$ K et $L = 0{,}520$ m :

$$f = \frac{1}{2\times 0{,}520}\sqrt{\frac{1{,}40\times 8{,}314\times 293}{0{,}0289}} = 330\ \text{Hz}$$

Document 1. Pour gagner en précision, on mesure plusieurs périodes : le premier maximum est à $t \approx 2{,}0$ ms, le sixième à $t \approx 17{,}1$ ms, donc $5T \approx 15{,}1$ ms.

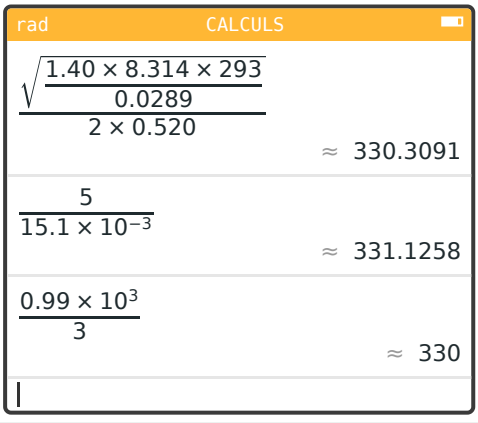
$$f = \frac{1}{T} = \frac{5}{15{,}1\times 10^{-3}} \approx 331\ \text{Hz}$$

Document 2. Le pic de rang 3 est à $f_3 \approx 0{,}99$ kHz. Comme $f_3 = 3f_1$: $f_1 \approx \dfrac{990}{3} = 330$ Hz, ce qui correspond bien au premier pic du spectre.

Les trois valeurs concordent à moins de 1 % près : les deux documents sont cohérents entre eux et avec le modèle. Dans le document 4, 330 Hz est la fréquence du Mi de l'octave 3.

$f \approx 330$ Hz : le tuyau joue un Mi_3.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Laisser L en centimètres ou θ en degrés Celsius : la formule de la célérité exige T en kelvins et la relation $f = v/(2L)$ demande L en mètres.

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme γ, M et L. La gamme tempérée et les modes d'un tuyau sonore relevaient de l'ancienne spécialité ; ils ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale.

MÉTHODE

Sur un graphique, mesurer la plus grande durée possible (ici $5T$) ou le pic de rang le plus élevé bien lisible, puis diviser : l'erreur de lecture est divisée d'autant.

2 Discuter qualitativement l'influence d'une variation de température sur la hauteur du son produit.

La hauteur d'un son est fixée par sa fréquence fondamentale : $f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ (question 1).

γ, R et M sont constants, et l'on suppose que la longueur L du tuyau ne change pas. La fréquence est alors proportionnelle à $\sqrt{T}$: si la température augmente, la célérité du son augmente, donc f aussi.

Quand la température augmente, la fréquence augmente : le son est plus **aigu** (et plus grave si la température baisse).

COMPRENDRE
La longueur d'onde reste imposée par le tuyau ($\lambda = 2L$). C'est la célérité qui change avec la température, et la fréquence $f = v/\lambda$ la suit.

3 Déterminer quantitativement si l'affirmation du musicien (une hausse de 10 °C modifie la hauteur de la note d'un quart de ton) est correcte.

Données utiles $f_{20} = 330$ Hz (Q1) ; rapport de fréquences d'un demi-ton : $2^{1/12} = 1{,}059$ (document 3)

Ce que vaut un quart de ton. L'octave (rapport 2) contient 12 demi-tons égaux, donc 24 quarts de ton égaux. Par le même raisonnement que dans le document 3, le rapport de fréquences d'un quart de ton est :

$$2^{1/24} = 1{,}029$$

Effet de 10 °C. La température passe de $T_{20} = 293$ K à $T_{30} = 30 + 273 = 303$ K. En supposant L inchangée :

$$f_{30} = \frac{1}{2 \times 0{,}520}\sqrt{\frac{1{,}40 \times 8{,}314 \times 303}{0{,}0289}} = 336 \text{ Hz}$$

Le rapport des fréquences ne dépend que des températures :

$$\frac{f_{30}}{f_{20}} = \sqrt{\frac{T_{30}}{T_{20}}} = \sqrt{\frac{303}{293}} = 1{,}017$$

Comparaison. $1{,}017 < 1{,}029$: la fréquence augmente de 1,7 %, alors qu'un quart de ton correspond à une hausse de 2,9 %. La note monte bien, mais d'un peu plus de la moitié d'un quart de ton seulement.

Regard critique : l'énoncé précise que L est donnée « à 20 °C » ; le métal se dilate un peu quand il chauffe, ce que ce calcul néglige.

$\frac{f_{30}}{f_{20}} = 1{,}017$, à comparer à $2^{1/24} = 1{,}029$: l'affirmation du musicien est exagérée, la hausse est inférieure à un quart de ton.

PIÈGE
Faire le rapport des températures en degrés Celsius ($30/20$), ou diviser les fréquences arrondies : $336/330 = 1{,}018$. Garder les valeurs non arrondies, ou mieux, le rapport littéral.

COMPRENDRE
Un intervalle musical est un rapport de fréquences, pas une différence. Le quart de ton est la moitié d'un demi-ton au sens où $2^{1/24} \times 2^{1/24} = 2^{1/12}$: on prend la racine carrée de 1,059, pas sa moitié.

MÉTHODE
Dans une résolution de problème : traduire l'affirmation en grandeur chiffrée (ici un rapport), calculer cette grandeur avec le modèle, comparer, conclure, puis critiquer une hypothèse.

À LA CALCULATRICE

