Un smartphone en TP de physique-chimie

Bac S 2017 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Quel comportement de la lumière (onde ou particule) est mis en jeu dans l'expérience du laser réfléchi par l'écran du smartphone ?

L'écran se comporte comme un réseau : la lumière réfléchie par les pixels forme sur l'écran d'observation une figure de taches lumineuses régulièrement espacées. C'est une figure d'interférences (associée à la diffraction par les pixels), phénomène propre aux ondes.

L'expérience met en jeu le comportement **ondulatoire** de la lumière.

COMPRENDRE
Le comportement particulaire (photons) se manifeste dans les échanges d'énergie avec la matière, par exemple l'effet photoélectrique. Diffraction et interférences ne s'expliquent qu'avec une onde.

1.2 À l'aide des résultats de l'expérience, déterminer la distance p séparant deux pixels de l'écran du smartphone.

Données utiles $i = \dfrac{\lambda \times D}{p}$; $\lambda = 650$ nm ; $D = 1{,}66$ m ; photographie de la figure avec règle graduée en cm

Sur la rangée de taches la plus proche de la règle, on mesure plusieurs intervalles pour gagner en précision : de la tache située à $130{,}2$ cm à celle située à $137{,}8$ cm, il y a 6 intervalles.

$$i = \frac{137{,}8 - 130{,}2}{6} = 1{,}27 \text{ cm} = 1{,}27 \times 10^{-2} \text{ m}$$

La relation $i = \dfrac{\lambda \times D}{p}$ donne $p = \dfrac{\lambda \times D}{i}$:

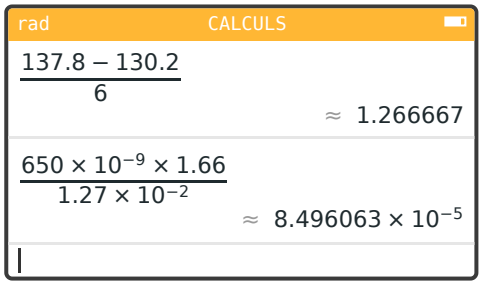
$$p = \frac{650 \times 10^{-9} \times 1{,}66}{1{,}27 \times 10^{-2}}$$

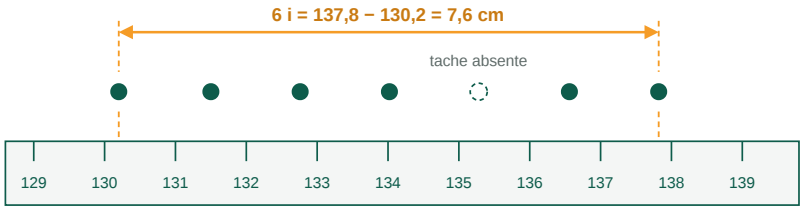
$p = 8{,}5 \times 10^{-5}$ m, soit 85 μm

PIÈGE
Une tache manque dans la rangée, vers $135{,}2$ cm : elle compte quand même pour un intervalle. Convertir aussi λ en mètre et i en mètre avant le calcul.

COMPRENDRE
La distance $7{,}6$ cm est lue au millimètre près : deux chiffres significatifs, donc deux pour p. Mesurer $6\,i$ plutôt que i divise par 6 l'effet de l'incertitude de lecture.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Mesure de plusieurs intervalles sur la rangée du bas (schéma de la photographie)

1.3 Vérifier que ce résultat est cohérent avec les indications du fabricant, en considérant que les pixels sont accolés.

Données utiles écran : $5{,}98$ cm $\times$ $10{,}62$ cm ; 720 px $\times$ 1280 px ; $p = 8{,}5 \times 10^{-5}$ m (1.2)

Les pixels étant accolés, la distance entre deux pixels est la largeur d'un pixel. La longueur de l'écran, $10{,}62$ cm, contient 1280 pixels :

$$p_{\text{fab}} = \frac{10{,}62 \times 10^{-2}}{1280} = 8{,}30 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Écart relatif avec la mesure : $\dfrac{|p - p_{\text{fab}}|}{p_{\text{fab}}} = \dfrac{8{,}5 - 8{,}3}{8{,}3} \approx 2\ \%$.

$p_{\text{fab}} = 83\ \mu$m et $p = 85\ \mu$m : l'écart, d'environ $2\ \%$, s'explique par la précision de la lecture sur la photographie. Les résultats sont cohérents.

COMPRENDRE
Les autres indications donnent la même valeur : $5{,}98$ cm $\div\ 720 = 83\ \mu$m, et 306 pixels par pouce donnent $2{,}54$ cm $\div\ 306 = 83\ \mu$m.

MÉTHODE
Pour juger une cohérence, calculer un écart relatif et le commenter : quelques pour cent avec une mesure faite à la règle sur une photographie, c'est compatible.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{10.62 \times 10^{-2}}{1280} \approx 8.296875 \times 10^{-5}$

$\dfrac{8.5 - 8.3}{8.3} \approx 0.02409639$

2.1 Quelle devrait être, en mégaoctets (Mo), la taille de la vidéo obtenue ?

Données utiles 720×480 pixels ; 24 bits par pixel ; 30 images par seconde ; durée 20 s ; 1 octet = 8 bits ; $1\ \text{Mo} = 10^6$ octets

Chaque pixel est codé sur 24 bits, soit $\dfrac{24}{8} = 3$ octets.

Une image occupe $720 \times 480 \times 3$ octets et la vidéo compte $30 \times 20 = 600$ images :

$$\text{taille} = 720 \times 480 \times 3 \times 600 = 6{,}2 \times 10^8 \text{ octets}$$

La vidéo non compressée occupe $6{,}2 \times 10^2$ Mo (622 Mo).

PIÈGE
Oublier de passer des bits aux octets donne une taille 8 fois trop grande. Le son étant désactivé, seule l'image est à compter.

COMPRENDRE
Le codage des images et le débit binaire figuraient au programme de l'ancien Bac S ; ils ne sont plus au programme actuel de la spécialité en Terminale.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{720 \times 480 \times 3 \times 30 \times 20}{1 \times 10^6} \approx 622.08$

2.2 À quel domaine du spectre électromagnétique appartiennent les ondes émises par le smartphone lors du transfert Bluetooth ? Justifier par un calcul.

Données utiles $f = 2{,}4$ GHz ; $c = 3{,}0 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; spectre électromagnétique gradué en longueur d'onde

La bande de fréquence utilisée est $f = 2{,}4\ \text{GHz} = 2{,}4 \times 10^9$ Hz.

Longueur d'onde dans le vide (ou l'air) :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}0 \times 10^8}{2{,}4 \times 10^9} = 0{,}125\ \text{m} \approx 0{,}13\ \text{m}$$

Sur le spectre fourni, cette valeur, légèrement supérieure à 10^{-1} m, se situe dans la zone comprise entre l'infrarouge et les ondes radio.

$\lambda \approx 0{,}13$ m : les ondes Bluetooth appartiennent au domaine des **micro-ondes**.

PIÈGE
Le spectre est gradué en longueur d'onde, pas en fréquence : il faut calculer λ, après avoir converti les gigahertz en hertz ($1\ \text{GHz} = 10^9$ Hz).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{3.0 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} \approx 0.125$

2.3 Après compression, la taille du fichier n'est plus que de 9,1 Mo. Déterminer la durée minimale de transfert de cette vidéo.

Données utiles débit du Bluetooth 4.0 : $D = 24\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$; 1 octet = 8 bits

Taille du fichier en bits : $N = 9{,}1 \times 8 = 72{,}8$ Mbit.

Le débit binaire est le nombre de bits transmis par seconde : $D = \dfrac{N}{\Delta t}$, d'où

$$\Delta t = \frac{N}{D} = \frac{9{,}1 \times 8}{24}$$

$\Delta t = 3{,}0$ s

PIÈGE
Le débit est en mégabits par seconde et la taille en mégaoctets : sans la conversion, on trouve 0,38 s.

COMPRENDRE
La durée est « minimale » car $24\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ est le débit le plus élevé permis par la norme : un débit réel plus faible allonge le transfert.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{9.1 \times 8}{24} \approx 3.033333$

3.1 Par une analyse dimensionnelle, choisir parmi les relations a. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{g}}$, b. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ et c. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{g}{L}}$ celle qui donne la période des petites oscillations du pendule.

Une période s'exprime en seconde ; 2π est sans unité ; g s'exprime en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$, L en m et m en kg.

- relation a : $\sqrt{\dfrac{m}{g}}$ s'exprime en $\sqrt{\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m \cdot s^{-2}}}} = \mathrm{kg^{1/2} \cdot m^{-1/2} \cdot s}$: ce n'est pas une durée ;
- relation b : $\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ s'exprime en $\sqrt{\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{m \cdot s^{-2}}}} = \sqrt{\mathrm{s^2}} = \mathrm{s}$: c'est une durée ;
- relation c : $\sqrt{\dfrac{g}{L}}$ s'exprime en $\sqrt{\dfrac{\mathrm{m \cdot s^{-2}}}{\mathrm{m}}} = \mathrm{s^{-1}}$: c'est l'inverse d'une durée.

Seule la relation b est homogène à une durée : $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$

COMPRENDRE
L'intensité de pesanteur g, donnée parfois en $\mathrm{N \cdot kg^{-1}}$, est une accélération : $1\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}} = 1\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$. La période ne dépend pas de la masse.

MÉTHODE
Remplacer chaque grandeur par son unité de base (m, kg, s) et simplifier. Une relation dont les deux membres n'ont pas la même unité est forcément fausse.

3.2 Le pendule passe par la position d'équilibre sur l'image n° 16 puis, après une oscillation complète, sur l'image n° 50. Retrouver la longueur L du fil.

Données utiles 30 images par seconde ; $g = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$; $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ (3.1)

Une oscillation complète dure $50 - 16 = 34$ intervalles entre images, et deux images successives sont séparées de $\dfrac{1}{30}$ s :

$$T = \frac{34}{30} = 1{,}13\ \mathrm{s}$$

De $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ on tire $T^2 = 4\pi^2\dfrac{L}{g}$, soit $L = \dfrac{gT^2}{4\pi^2}$:

$$L = \frac{9{,}81 \times 1{,}13^2}{4\pi^2}$$

$L = 0{,}32$ m, soit 32 cm

PIÈGE
Une oscillation complète ramène le pendule à la position d'équilibre **dans le même sens** : entre les images 16 et 50, il y est passé une fois en sens inverse. Ne pas prendre cette durée pour une demi-période.

COMPRENDRE
Le repérage se fait à une image près sur 34 : la période n'est connue qu'à 3 % près, d'où deux chiffres significatifs pour L. L'expression de la période du pendule n'est plus exigible au programme actuel.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{50 - 16}{30} \approx 1.133333$

$\dfrac{9.81 \times \left(\dfrac{34}{30}\right)^2}{4 \times \pi^2} \approx 0.3191719$

4.1 Nommer la verrerie nécessaire pour réaliser la solution n° 3 à partir de la solution mère (n° 1) et décrire précisément le protocole.

Données utiles $C_1 = 2{,}5 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $C_3 = 5{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

C'est une dilution : la quantité de soluté prélevée se conserve, $C_1V_1 = C_3V_3$. Le facteur de dilution vaut

$$F = \frac{C_1}{C_3} = \frac{V_3}{V_1} = \frac{2{,}5 \times 10^{-4}}{5{,}0 \times 10^{-5}} = 5{,}0$$

On choisit par exemple $V_3 = 50{,}0$ mL, donc $V_1 = \dfrac{50{,}0}{5{,}0} = 10{,}0$ mL.

Verrerie : un bécher, une pipette jaugée de $10{,}0$ mL munie d'une propipette, une fiole jaugée de $50{,}0$ mL avec son bouchon.

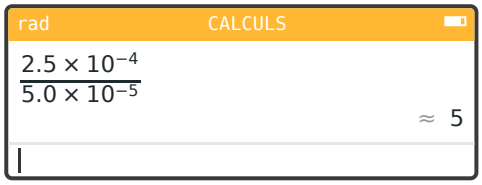
- Verser un peu de solution mère dans le bécher ; rincer la pipette avec cette solution.
- Prélever $10{,}0$ mL de solution mère à la pipette jaugée et les introduire dans la fiole jaugée.
- Ajouter de l'eau distillée aux deux tiers, boucher et agiter.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque sur le trait), boucher et homogénéiser.

Pipette jaugée de $10{,}0$ mL et fiole jaugée de $50{,}0$ mL (dilution au cinquième).

PIÈGE
Éprouvette graduée et bécher ne sont pas assez précis pour une dilution. Ne jamais pipeter directement dans le flacon de solution mère.

COMPRENDRE
Tout couple de verrerie jaugée de rapport 5 convient : $20{,}0$ mL dans $100{,}0$ mL, ou $5{,}0$ mL dans $25{,}0$ mL.

À LA CALCULATRICE



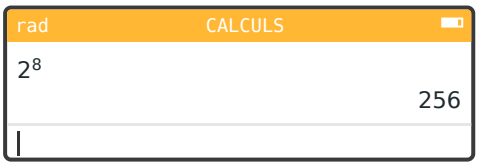
4.2 Expliquer pourquoi la valeur de chaque sous-pixel est comprise entre 0 et 255.

Chaque sous-pixel est codé sur un octet, c'est-à-dire sur 8 bits. Chaque bit vaut 0 ou 1 : un octet peut donc prendre $2^8 = 256$ valeurs différentes.

Les 256 valeurs possibles sont numérotées à partir de zéro : de 0 à 255.

PIÈGE
Répondre « de 0 à 256 » : il y a bien 256 valeurs, mais la première est 0, donc la dernière est $2^8 - 1 = 255$.

À LA CALCULATRICE



4.3 Pourquoi choisit-on la valeur du sous-pixel vert pour le calcul de la grandeur A_{octet}, plutôt que celle du rouge ou du bleu ?

Données utiles spectre d'absorption du permanganate de potassium ; spectre visible : le vert s'étend d'environ 470 nm à 560 nm

Le spectre d'absorption de la solution présente un maximum d'absorbance vers $\lambda_{\max} \approx 525$ nm, longueur d'onde qui correspond au vert. Le rouge (au-delà de 640 nm) est très peu absorbé et le bleu l'est nettement moins que le vert.

La lumière verte est donc celle dont l'intensité varie le plus avec la concentration : dans le tableau, la valeur du vert passe de 189 à 68 quand la concentration augmente, alors que celle du rouge ne diminue pas.

Le sous-pixel vert correspond au maximum d'absorption de la solution : c'est lui qui donne la mesure la plus sensible à la concentration.

COMPRENDRE
Même choix qu'avec un spectrophotomètre, que l'on règle sur $\lambda_{\max}$. La solution absorbe le vert et diffuse le rouge et le bleu : elle paraît rose-violette (magenta), couleur complémentaire du vert.

4.4 La notice indiquait autrefois 1 mg de permanganate de potassium pour 100 mL de solution. Le fabricant a-t-il changé la teneur de son antiseptique ?

Données utiles $M(\text{KMnO}_4) = 158{,}0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; tableau des concentrations et des valeurs de A_{octet} ; antiseptique : vert 194 au-dessus de la solution, 172 dans la solution

Droite d'étalonnage. On place les points $(C\ ;\ A_{\text{octet}})$ des solutions n° 1 à 4. Ils sont pratiquement alignés avec l'origine : A_{octet} est proportionnelle à C, comme dans la loi de Beer-Lambert, $A_{\text{octet}} = k\,C$. La droite tracée passe par l'origine et très près du point de la solution n° 1 :

$$k = \frac{0{,}43}{2{,}5 \times 10^{-4}} = 1{,}7 \times 10^{3} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Antiseptique. $A_{\text{octet}} = \log\left(\dfrac{194}{172}\right) = 0{,}052$, d'où

$$C_A = \frac{A_{\text{octet}}}{k} = \frac{0{,}052}{1{,}7 \times 10^{3}} = 3{,}1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

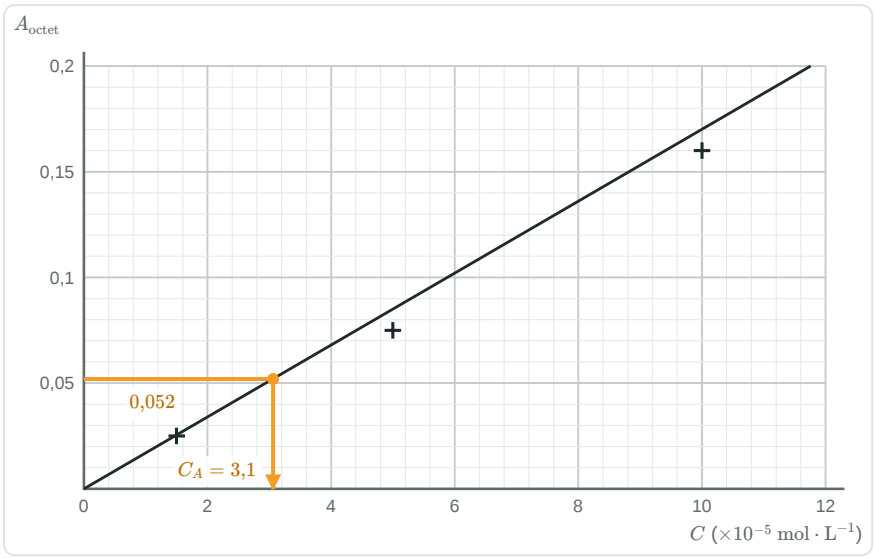
Masse dans 100 mL. $m = C_A \times M \times V = 3{,}1 \times 10^{-5} \times 158{,}0 \times 0{,}100 = 4{,}9 \times 10^{-4}$ g, soit environ $0{,}5$ mg.

L'antiseptique contient environ $0{,}5$ mg de permanganate de potassium pour 100 mL, la moitié de l'ancienne indication (1 mg) : le fabricant a diminué la teneur.

PIÈGE
La mesure, faite sur des octets entiers, est peu précise. Un écart d'un facteur 2 dépasse cependant largement cette imprécision : la conclusion reste valable.

COMPRENDRE
Vérification rapide : 1 mg pour 100 mL correspond à $6{,}3 \times 10^{-5}$ mol · L^{-1}, plus que la solution n° 3. Or l'antiseptique absorbe moins que la solution n° 3 ($0{,}052 < 0{,}075$) : sa teneur est forcément inférieure.

MÉTHODE
Dosage par étalonnage : 1) tracer $A = f(C)$ avec les solutions étalons ; 2) mesurer A pour la solution inconnue ; 3) en déduire C par lecture graphique ou avec le coefficient directeur ; 4) convertir et comparer à l'indication.



4.4 · Droite d'étalonnage, agrandie aux faibles concentrations (le point de la solution n° 1, hors cadre, est sur la droite)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.43}{2.5 \times 10^{-4}} \approx 1720$$

$$\log\left(\frac{194}{172}\right) \approx 0.05227328$$

$$\frac{0.052}{1.7 \times 10^{3}} \approx 3.058824 \times 10^{-5}$$

$$3.1 \times 10^{-5} \times 158.0 \times 0.100 \approx 4.898 \times 10^{-4}$$