Lumière et matière

Bac S 2010 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 2 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

1 (Partie A) Donner le domaine des longueurs d'onde dans le vide associé aux radiations visibles.

Les radiations visibles ont une longueur d'onde dans le vide comprise entre le violet et le rouge :

$400\ \text{nm} \leqslant \lambda \leqslant 800\ \text{nm}$

COMPRENDRE
En dessous de 400 nm se trouve l'ultraviolet, au-dessus de 800 nm l'infrarouge. Le laser de l'exercice (411 nm) émet donc dans le violet, tout près de la limite du visible.

2 (Partie A) Une onde lumineuse est-elle une onde mécanique ? Justifier.

Une onde mécanique a besoin d'un milieu matériel pour se propager. La lumière se propage dans le vide (elle nous parvient du Soleil).

Non : la lumière n'est pas une onde mécanique, c'est une onde électromagnétique.

3 (Partie A) Donner la relation entre la longueur d'onde dans le vide λ, la célérité c de la lumière dans le vide et la période T. Préciser les unités.

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période :

$\lambda = cT$, avec λ en m, c en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et T en s.

4 (Partie A) En déduire la période T d'une onde électromagnétique de longueur d'onde 411 nm.

Données utiles $\lambda = 411\ \text{nm}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

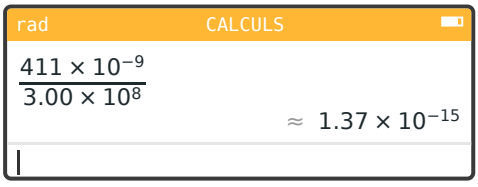
$$T = \frac{\lambda}{c} = \frac{411 \times 10^{-9}}{3{,}00 \times 10^{8}}$$

$T = 1{,}37 \times 10^{-15}\ \text{s}$

PIÈGE
Laisser λ en nanomètres : il faut l'écrire 411×10^{-9} m avant de diviser par c.

COMPRENDRE
λ et c sont donnés avec trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois.

À LA CALCULATRICE



5 (Partie A) Donner la relation entre l'écart angulaire θ du faisceau diffracté, la longueur d'onde λ et la largeur a de la fente.

$\theta = \dfrac{\lambda}{a}$, avec θ en radian, λ et a dans la même unité (en m).

COMPRENDRE
θ est le demi-angle d'ouverture du faisceau : il est repéré sur le schéma entre l'axe du montage et le bord de la tache centrale.

6 (Partie A) Avec l'approximation $\tan\theta \approx \theta$, donner la relation entre θ, la distance D fente-écran et la largeur d de la tache centrale.

Dans le triangle rectangle formé par l'axe du montage, l'écran et le bord du faisceau, le côté opposé à θ mesure $\frac{d}{2}$ et le côté adjacent mesure D :

$\tan\theta = \frac{d/2}{D} = \frac{d}{2D}$

Comme l'angle est petit, $\tan\theta \approx \theta$:

$$\theta = \frac{d}{2D}$$

PIÈGE

Écrire $\theta = \frac{d}{D}$: l'angle θ ne voit que la moitié de la tache centrale, d'où le facteur 2.

7 (Partie A) Établir la relation $\frac{\lambda}{a} = \frac{d}{2D}$.

Les questions 5 et 6 donnent deux expressions du même angle : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et $\theta = \frac{d}{2D}$. En les égalant :

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{d}{2D}$$

8 (Partie A) Calculer les valeurs de a pour les deux conditions expérimentales proposées.

Données utiles $\lambda = 411$ nm ; $D = 20$ cm ; $d = 1{,}0$ mm puis $d = 0{,}10$ mm

D'après la question 7 : $a = \frac{2\lambda D}{d}$, avec $D = 0{,}20$ m.

Pour $d = 1{,}0$ mm : $a = \frac{2 \times 411 \times 10^{-9} \times 0{,}20}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}6 \times 10^{-4}$ m

Pour $d = 0{,}10$ mm : $a = \frac{2 \times 411 \times 10^{-9} \times 0{,}20}{0{,}10 \times 10^{-3}} = 1{,}6 \times 10^{-3}$ m

$a = 0{,}16$ mm pour $d = 1{,}0$ mm ; $a = 1{,}6$ mm pour $d = 0{,}10$ mm

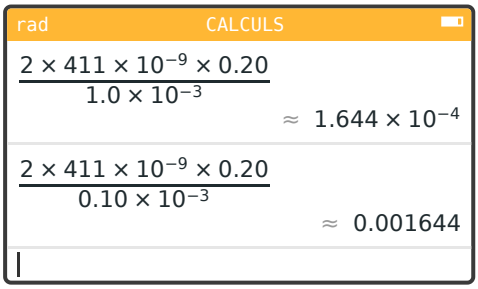
PIÈGE

Mélanger les unités : λ en nm, D en cm et d en mm doivent tous être convertis en mètres.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme D et d. La tache est dix fois plus large quand la fente est dix fois plus fine : d et a sont inversement proportionnels.

À LA CALCULATRICE



9 (Partie A) En utilisant les résultats de la question 8, expliquer pourquoi il n'est pas possible d'utiliser une fente trop fine dans un spectrophotomètre.

La question 8 montre que plus la fente est fine, plus la tache centrale est large : la fente de $0{,}16$ mm donne une tache dix fois plus large que celle de $1{,}6$ mm.

Avec une fente trop fine, la diffraction étale donc le faisceau au lieu de le garder étroit : la lumière sélectionnée n'est plus concentrée sur la cuve et le détecteur en reçoit trop peu.

Une fente trop fine diffracte la lumière : le faisceau s'élargit et la lumière qui traverse la cuve devient trop faible.

1 (Partie B) Calculer le volume V_0 de solution mère nécessaire pour préparer la solution fille.

Données utiles $C_0 = 5{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $C_1 = 3{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_1 = 50{,}0\ \text{mL}$

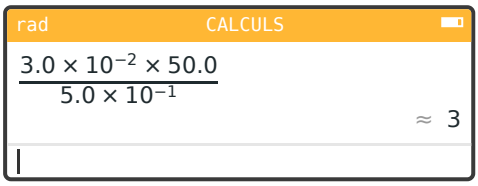
Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté prélevée se retrouve intégralement dans la solution fille : $C_0\,V_0 = C_1\,V_1$.

$$V_0 = \frac{C_1\,V_1}{C_0} = \frac{3{,}0 \times 10^{-2} \times 50{,}0}{5{,}0 \times 10^{-1}}$$

$V_0 = 3{,}0\ \text{mL}$

COMPRENDRE
Inutile de convertir V_1 en litres : les concentrations se simplifient et V_0 sort dans l'unité de V_1.

À LA CALCULATRICE



2 (Partie B) Choisir, dans la liste proposée, le matériel nécessaire à la préparation de la solution fille.

Données utiles $V_0 = 3{,}0\ \text{mL}$ (Q1) ; $V_1 = 50{,}0\ \text{mL}$

- Bécher de 50 mL : pour y verser un peu de solution mère, dans laquelle on prélève.
- Pipette graduée de 5,0 mL : pour prélever $V_0 = 3{,}0$ mL (aucune pipette jaugée de la liste ne convient).
- Fiole jaugée de 50,0 mL : pour ajuster le volume de la solution fille à $V_1 = 50{,}0$ mL.

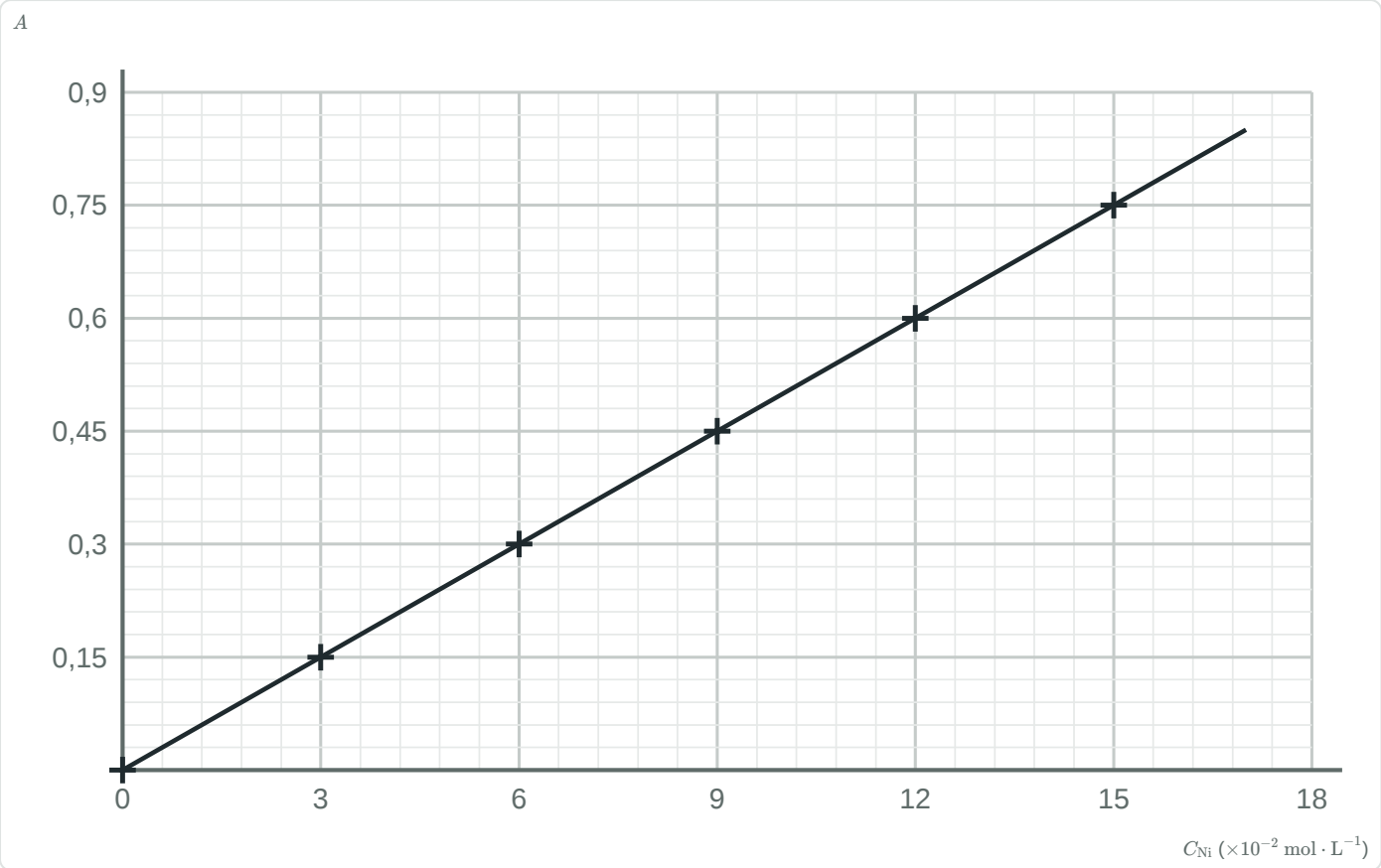
Bécher de 50 mL, pipette graduée de 5,0 mL et fiole jaugée de 50,0 mL.

PIÈGE
Choisir l'éprouvette graduée ou l'erlenmeyer : ils sont trop peu précis pour une solution étalon. La pipette jaugée de 10,0 mL ne délivre que 10,0 mL.

3 (Partie B) Tracer la courbe représentant l'absorbance A en fonction de la concentration, avec l'échelle imposée.

On place les six points du tableau, avec 2 cm pour $3{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en abscisse et 2 cm pour $0{,}15$ en ordonnée. Les points sont alignés : on trace à la règle la droite qui passe par l'origine et par tous les points.

Le graphique est une droite passant par l'origine.



3 · Absorbance en fonction de la concentration en chlorure de nickel (II)

4 (Partie B) À l'aide de la forme du graphique, déterminer la relation entre A et C_{Ni}.

Le graphique est une droite passant par l'origine : A est proportionnelle à C_{Ni}, soit $A = k\,C_{Ni}$.

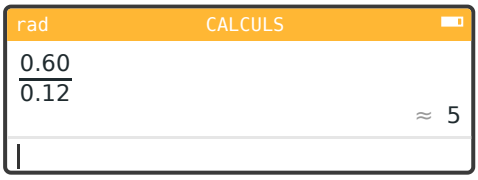
Le coefficient directeur se calcule avec l'origine et le point $(1{,}2 \times 10^{-1}\ ;\ 0{,}60)$:

$$k = \frac{0{,}60 - 0}{1{,}2 \times 10^{-1} - 0} = 5{,}0\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$\boxed{A = 5{,}0 \times C_{Ni}, \text{ avec } C_{Ni} \text{ en mol} \cdot \text{L}^{-1}}$

COMPRENDRE
Cette proportionnalité entre absorbance et concentration est la loi de Beer-Lambert. L'absorbance n'a pas d'unité, donc k s'exprime en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



5 (Partie B) L'absorbance de la solution inconnue est de 0,50. Calculer sa concentration C en ions nickel (II).

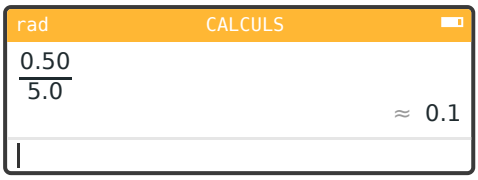
Données utiles $A = 0{,}50$; $k = 5{,}0\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ (Q4)

$$C = \frac{A}{k} = \frac{0{,}50}{5{,}0}$$

$\boxed{C = 0{,}10\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$

COMPRENDRE
La valeur $0{,}50$ est comprise entre les absorbances des solutions étalons (0 à $0{,}75$) : la relation de la question 4 s'applique bien.

À LA CALCULATRICE

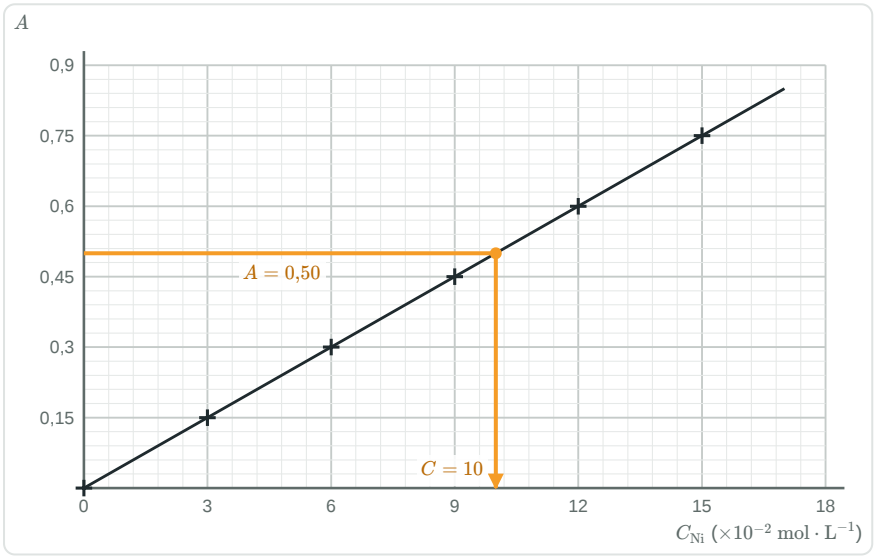


6 (Partie B) Vérifier graphiquement la valeur de la concentration C. Justifier à l'aide du graphique.

Sur le graphique, on trace l'horizontale d'ordonnée $A = 0{,}50$ jusqu'à la droite d'étalonnage, puis on descend verticalement jusqu'à l'axe des abscisses : on lit 10×10^{-2} mol · L^{-1}.

Lecture graphique : $C = 0{,}10$ mol · L^{-1}, en accord avec le calcul de la question 5.

MÉTHODE
Laisser les traits de construction apparents sur le graphique : ce sont eux qui justifient la lecture.



6 · Lecture graphique de la concentration de la solution inconnue

1 (Partie C) Quelle est l'énergie du niveau fondamental ?

Le niveau fondamental est le niveau de plus basse énergie, celui pour lequel $n = 1$.

$E_1 = -13{,}6$ eV

2 (Partie C) Quelle est l'énergie nécessaire pour ioniser l'atome d'hydrogène ?

Ioniser l'atome, c'est faire passer son électron du niveau fondamental ($n = 1$) au niveau $n = \infty$, d'énergie nulle :

$E_{\text{ionisation}} = E_\infty - E_1 = 0 - (-13{,}6)$

$E_{\text{ionisation}} = 13{,}6$ eV

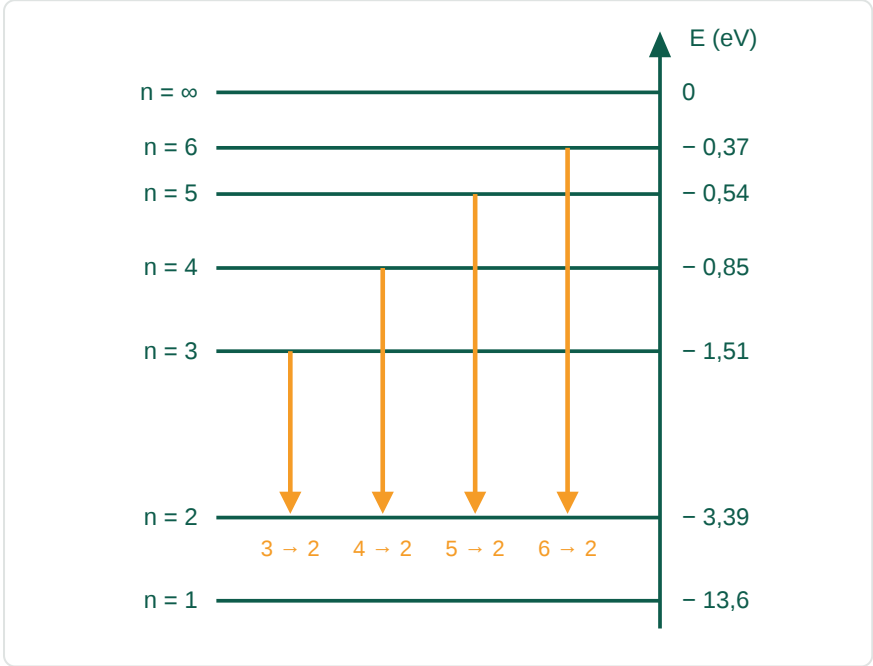
PIÈGE
Répondre $-13{,}6$ eV : l'énergie à fournir est positive, c'est l'écart entre les deux niveaux.

3.1 (Partie C) Représenter sur le diagramme du document 1 les quatre premières transitions de la série de Balmer.

La série de Balmer regroupe les transitions d'un niveau supérieur vers le niveau $n = 2$. Les quatre premières partent des niveaux $n = 3$, 4, 5 et 6. L'atome perd de l'énergie : les flèches sont dirigées vers le bas et s'arrêtent sur le niveau $n = 2$.

Quatre flèches descendantes : $3 \to 2$, $4 \to 2$, $5 \to 2$ et $6 \to 2$.

PIÈGE
Faire arriver les flèches sur le niveau fondamental $n = 1$, ou les orienter vers le haut (ce serait une absorption).



3.1 · Document 1 complété : les quatre premières transitions de la série de Balmer

3.2 (Partie C) Calculer en nm la longueur d'onde associée à la transition de l'atome d'hydrogène de $n = 6$ à $n = 2$.

Données utiles $E_6 = -0{,}37$ eV ; $E_2 = -3{,}39$ eV ; $1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

En passant du niveau 6 au niveau 2, l'atome émet un photon dont l'énergie est égale à l'écart entre les deux niveaux :

$\Delta E = E_6 - E_2 = -0{,}37 - (-3{,}39) = 3{,}02$ eV, soit $\Delta E = 3{,}02 \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 4{,}83 \times 10^{-19}$ J.

Or $\Delta E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{\Delta E}$:

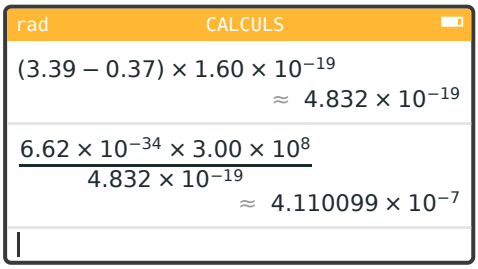
$$\lambda = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{4{,}83 \times 10^{-19}} = 4{,}11 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

$\lambda = 411$ nm

PIÈGE
Laisser ΔE en électronvolts dans $\lambda = \dfrac{h\,c}{\Delta E}$: avec h en J · s, l'énergie doit être en joules.

MÉTHODE
Calculer l'écart d'énergie en valeur positive (niveau haut moins niveau bas), le convertir en joules, puis appliquer $\lambda = \dfrac{h\,c}{\Delta E}$ et convertir en nm.

À LA CALCULATRICE



3.3 (Partie C) Une lampe à vapeur d'hydrogène est-elle utilisable comme source de lumière pour analyser l'absorbance de solutions de chlorure de nickel (II) à 411 nm ?

Données utiles $\lambda = 411$ nm pour la transition $6 \rightarrow 2$ (Q3.2)

La mesure d'absorbance se fait à 411 nm. D'après la question 3.2, la lampe à vapeur d'hydrogène émet justement une radiation de longueur d'onde 411 nm (transition $6 \rightarrow 2$).

Oui : la lampe à vapeur d'hydrogène émet la radiation de 411 nm nécessaire à cette mesure.

3.4 (Partie C) Peut-on tracer le spectre d'absorption du document 2 avec un spectrophotomètre équipé uniquement d'une lampe à vapeur d'hydrogène ? Cette source est-elle adaptée à un spectrophotomètre ?

Le spectre d'absorption du document 2 donne l'absorbance pour toutes les longueurs d'onde entre 380 nm et 800 nm : il faut une source qui émet toutes ces radiations, donc un spectre continu.

La lampe à vapeur d'hydrogène n'émet que quelques radiations visibles : son spectre est un spectre de raies. On n'obtiendrait que quelques points du document 2, pas la courbe.

Non : cette source à spectre de raies ne permet pas de tracer le spectre d'absorption ; un spectrophotomètre doit être équipé d'une source de lumière blanche, à spectre continu.

COMPRENDRE

Chaque raie correspond à une transition entre deux niveaux d'énergie de l'atome. Les niveaux étant quantifiés, seules quelques longueurs d'onde bien précises sont émises.