La mesure de la longueur d'onde d'un LASER

En utilisant les documents 1, 2, 3 et 4, déterminer la valeur de la longueur d'onde λ émise par un LASER de laboratoire.
Les valeurs obtenues pour la longueur d'onde sont-elles cohérentes ? Justifier.

<u>Données</u> : constante de Planck : $h = (6{,}626 \pm 0{,}001)\times10^{-34}$ J.s ;
célérité de la lumière : $c = (2{,}998 \pm 0{,}001) \times 10^{8}$ m.s^{-1} ; 1 eV = $1{,}602 \times 10^{-19}$ J

Rappels : Incertitudes

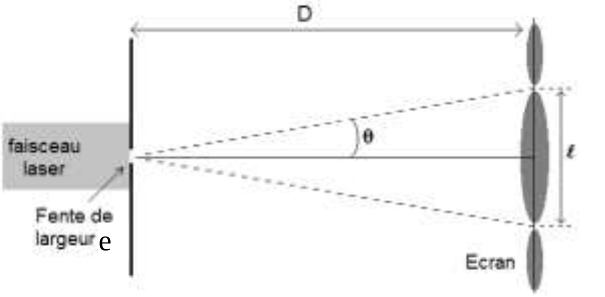
- L'incertitude absolue : Δx s'exprime avec la même unité que x ; permet d'encadrer la valeur de x en écrivant le résultat : $x \pm \Delta x$ ou $x - \Delta x < x < x + \Delta x$
  Remarque : Δx ne s'exprime qu'avec 1 seul chiffre significatif et limite la précision de x
  Exemple : L = (3,2 ± 0,2) m est une écriture correcte ; L = (3,21 ± 0,2) m n'est pas correct.
- L'incertitude relative : $\dfrac{\Delta x}{x}$ s'exprime en pourcentage
- Composition d'incertitudes :

Relation	Incertitude
$m=\dfrac{x\times y}{z}$	$\dfrac{\Delta m}{m}=\sqrt{\left(\dfrac{\Delta x}{x}\right)^2+\left(\dfrac{\Delta y}{y}\right)^2+\left(\dfrac{\Delta z}{z}\right)^2}$
$m=a\times x+b$ a et b constantes sans incertitudes	$\Delta m = a\times \Delta x$

Document 1 : Diffraction de lumière

Le faisceau LASER éclaire une fente de largeur **e** (voir le schéma ci-contre). Sur un écran placé à la distance **D** = (1,50±0,02) m de la fente, on observe une figure de diffraction constituée de taches lumineuses.
En modifiant la largeur e de la fente, on mesure la largeur ℓ de la tache centrale observée. Les résultats expérimentaux permettent de tracer la courbe $\ell = f(1/\mathbf{e})$ donnée sur la figure 1.
La modélisation de la droite obtenue donne : $\ell = k\times1/\mathbf{e}$
avec $k = (1{,}9\pm0{,}2) \times 10^{-6}$ m^2

Rappel : largeur de la tache centrale : $\ell = \dfrac{2\lambda D}{e}$



Document 2 : Mesure interférentielle

A présent, le faisceau LASER éclaire 2 fentes S_1 et S_2 séparées d'une distance **a** = (50,0±0,2) µm (voir le schéma ci-contre). Sur le même écran, placé cette fois à la distance **D** = (2,97±0,01) m des fentes, on observe une figure d'interférence constituée d'une alternance de franges brillantes et sombres équidistantes d'une distance i appelée interfrange avec $i = \dfrac{\lambda \times D}{a}$ (figure 2).

Incertitude sur la lecture graphique : $\Delta x = \dfrac{x_{\max} - x_{\min}}{\sqrt{3}}$

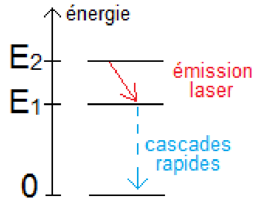
Document 3 : Mesure directe à l'oscilloscope

La caractérisation d'une impulsion ultracourte peut être effectuée à l'aide d'un photodétecteur et d'un oscilloscope rapide. L'acquisition de l'intensité I(t) correspond à la figure 3 (rappel : 1 fs = 10^{-15} s).

Document 4 : Energie du rayonnement LASER

Le LASER étudié est une lumière monochromatique de couleur rouge. Cette couleur est due au néon constituant le gaz à l'intérieur de la source Laser, dont le diagramme des niveaux d'énergie est indiqué ci-contre. Une fois excité, l'atome de néon est dans l'état d'énergie E_2. Puis, par désexcitation stimulée, il passe au niveau inférieur d'énergie E_1 en émettant un rayonnement d'énergie $E = E_2 - E_1$. Or, d'après la formule de Planck, cette énergie vaut $E = \frac{hc}{\lambda}$ (E est exprimée en joules, lorsque λ est indiquée en mètre).

Incertitude absolue sur la mesure de E : $\Delta E = \pm 0{,}02\text{eV}$



Niveaux d'énergie du néon :

$E_1 = 18{,}70$ eV

$E_2 = 20{,}66$ eV

La mesure de la longueur d'onde d'un LASER

Figure 1 - Courbe ℓ = f(1/e)

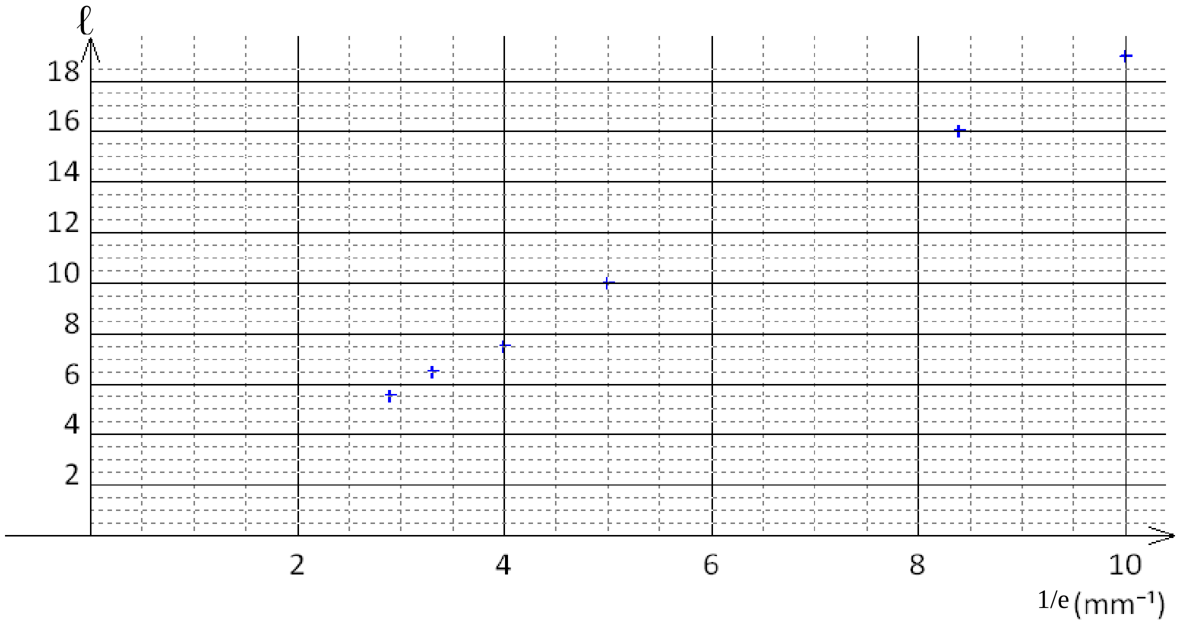


Figure 2 - Figure d'interférence **à l'échelle 1/4**

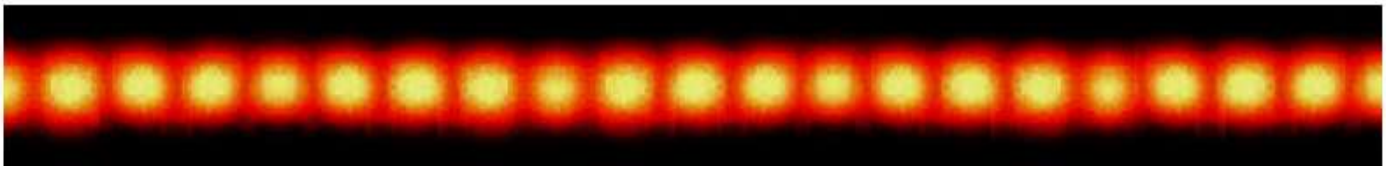
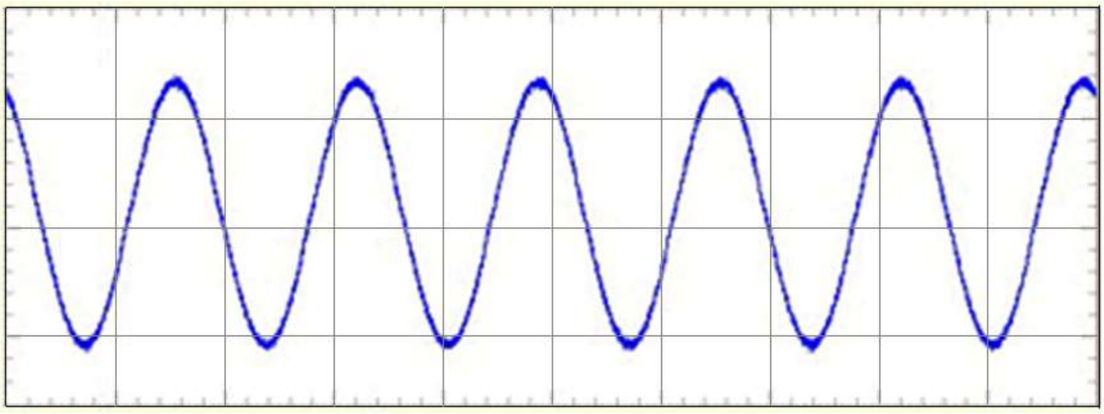


Figure 3 - Oscillogramme

Echelles : axe vertical : tension (1 carreau ↔ 1 mV) ; axe horizontal : temps (1 carreau ↔ 1,25 fs)



La mesure de la longueur d'onde d'un LASER

Etude du document 1

i. Le phénomène de diffraction est observé si la longueur d'onde λ est du même ordre de grandeur que la largeur de la fente a.

ii. $\tan(\theta) = \frac{\ell/2}{D} = \frac{\ell}{2D}$. L'angle θ vérifie $\theta = \frac{\lambda}{a}$ d'où $\frac{\ell}{2D} = \frac{\lambda}{a}$ soit $\ell = (2 \times D \times \lambda) \times \frac{1}{a}$

iii. La courbe $\ell = f(1/a)$ est une fonction linéaire. La droite doit passer par l'origine.
Le coefficient directeur de la droite est $k = 2 \times D \times \lambda$.
Graphiquement, $k = \frac{11{,}5 \text{ mm}}{6{,}0 \text{ mm}^{-1}} = 1{,}9 \text{ mm}^2 = 1{,}9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$\lambda = \frac{k}{2D} = \frac{1{,}9 \times 10^{-6}}{(2 \times 1{,}50)} = 6{,}3 \times 10^{-7}$ m $= 6{,}3 \times 10^{-6} \times 10^{9}$ nm $= 630$ nm.

- Remarque : on calcule la valeur de θ pour la valeur de a la plus petite (soit 1/a la plus grande) :
  $\theta = \frac{\lambda}{a} = 640.10^{-9} \times (10 \times 10^{3}) = 6{,}4 \times 10^{-3}$ rad soit 0,37° qui est bien un angle faible.

Etude des documents 2, 3 et 4

Document 2

- Le phénomène mis en jeu est le phénomène d'interférence.
- La valeur de l'interfrange i est donnée par la relation $i = \frac{\lambda \times D}{a}$
- On mesure l'interfrange i pour 19 interfranges : $19 \times i = 18{,}0$ cm sur le document soit $18{,}0 \times 4 = 72{,}0$ cm en réalité en tenant compte de l'échelle, ce qui donne $i = 72{,}0/19 = 3{,}79$ cm.
- Puis, $\lambda = \frac{i \times a}{D}$ A.N. : $\lambda = \frac{3{,}79 \times 10^{-2} \times 50{,}0 \times 10^{-6}}{3{,}00} = 6{,}32 \times 10^{-7}$ m = 632 nm. (3 chiffres significatifs)

Document 3

- La mesure de 5T donne 14,5 cm. D'après l'échelle du document 12,5 fs soit 10 carreaux mesurent 17,3 cm.
- D'où, la période vaut $T = \frac{14{,}5 \times 12{,}5}{(17{,}3 \times 5)} = 2{,}10$ fs $= 2{,}10 \times 10^{-15}$ s.
- Puis $\lambda = c \times T$; A.N. : $\lambda = 2{,}998 \times 10^{8} \times 2{,}10 \times 10^{-15} = 6{,}30 \times 10^{-7}$ m = 630 nm. (3 chiffres significatifs)

Document 4

- Lors de la désexcitation de l'atome, il y a émission d'une radiation lumineuse.
- La radiation émise a pour énergie : $\Delta E = E_2 - E_1$; A.N. : $\Delta E = 20{,}66 - 18{,}70 = 1{,}96$ eV $= 3{,}14 \times 10^{-19}$ J
- Puis la longueur d'onde $\lambda = \frac{h \times c}{\Delta E}$; A.N. : $\lambda = \frac{6{,}626 \times 10^{-34} \times 2{,}998 \times 10^{8}}{3{,}14 \times 10^{-19}} = 6{,}33 \times 10^{-7} = 633$ nm (rouge).

Conclusion : Les valeurs obtenues de la longueur d'onde sont cohérentes. En moyenne, nous obtenons $\lambda = 632$ nm avec une erreur relative de $2/632 = 3{,}2 \times 10^{-3} = 0{,}32$ %.