

Nom:..... Prénom:..... Classe:..... Date:

Les interférences lumineuses: taille d'un pixel d'un écran

✔ Objectifs

- Interférences de deux ondes, conditions d'observation. Interférences constructives, Interférences destructives.
- Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.
- Tester les conditions d'interférences constructives ou destructives à la surface de l'eau dans le cas de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase.
- Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des interférences de deux ondes lumineuses, en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image.

👤 Classe

Terminale Spé

🕒 Durée

2 h

✂ Sur la paillasse

- Un ordinateur connecté à internet ;
- Un jeton munis de fentes d'Young ;
- Un pointeur laser ;
- Un double décimètre et un mètre ruban ;
- Un écran sur pied munis de papier millimétré ;
- Trois supports et pinces.

📄 Document 1: Expérience de Young

En 1801, le scientifique britannique Thomas Young réalise une expérience historique en faveur de la nature ondulatoire de la lumière : interférences lumineuses.

Les interférences sont un phénomène qui se produit lorsque deux ondes de même nature se rencontrent. On peut ainsi observer les phénomènes d'interférence en optique, en télécommunications (ondes électromagnétiques) mais aussi en mécanique (acoustique ou pour les ondes à la surface de l'eau). Ce phénomène n'est néanmoins observable que dans des cas particuliers.

La propriété qu'ont les ondes d'interférer dans certaines conditions a permis de mettre au point des techniques de mesure de pointe : cela s'appelle l'interférométrie.



FIGURE 1 – Le physicien anglais Thomas Young (1773-1829).

1 Interférences à la surface de l'eau

📄 Document 2: Ondes à la surface de l'eau

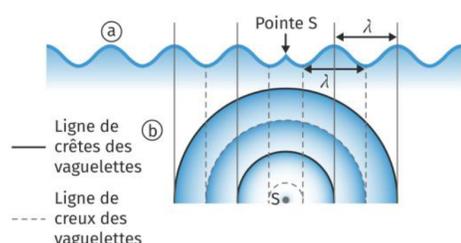


FIGURE 2 – Les vibrations périodiques d'une pointe S à la surface de l'eau d'une cuve à ondes (a) créent des ondes circulaires périodiques se propageant de façon concentrique à la surface de l'eau. L'alternance des crêtes (traits pleins) et des creux (pointillés) de l'onde est représentée ci-dessous (b).

férences constructives et destructives.

Solution: Les interférences constructives ont lieu lorsque $\delta = k \times \lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$ (k un entier relatif). Les interférences destructives ont lieu lorsque $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$ (k un entier relatif).

2 Phénomène d'interférence lumineuse

Document 5: Dispositif expérimental

Un laser rouge est braqué vers un écran. Un support permet d'insérer des diapositives formant une bifente d'Young, c'est-à-dire deux fentes rectangulaires parallèles extrêmement fines et distantes de d dont la valeur est calibrée. On dispose d'un jeu de bifentes dont les écartements d sont variés. Placer l'une de ces bifentes sur le trajet du faisceau laser et l'écran à la distance $D = 1,50\text{m}$ de la bifente. La lumière est diffractée par les deux fentes, qui se comportent comme deux sources synchrones de lumière, S_1 et S_2 . La figure obtenue sur l'écran est appelée figure d'interférences des bifentes d'Young. L'interfrange i est la distance qui sépare les centres de deux franges brillantes consécutives ou les centres de deux franges sombres consécutives.

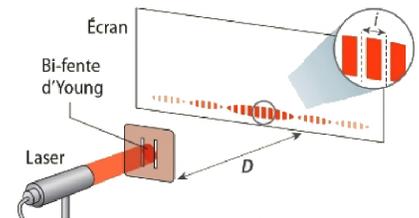


FIGURE 4 – Expérience d'Young.

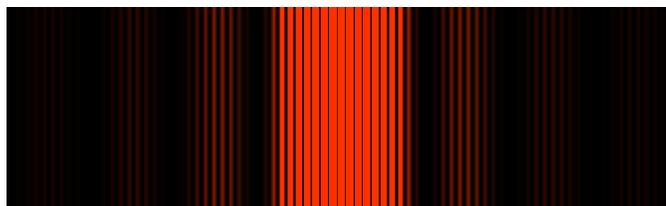
Document 6: Précautions avec la manipulation de lasers

On dispose d'une source laser. Elle produit un faisceau lumineux très directif et de forte puissance lumineuse susceptible d'altérer la rétine de manière irréversible. Il ne faut jamais regarder directement le faisceau de lumière d'un laser ni placer sur son trajet des objets réfléchissants (montre, bagues, règle métallique...).



- Mettre en place le dispositif expérimental décrit dans le document 5, en utilisant un laser produisant une lumière monochromatique rouge et en plaçant un ensemble de deux fentes fines proches (fentes d'Young) séparées par une distance $d = 300\mu\text{m}$, face au laser. Observer la figure d'interférences obtenue sur l'écran. Dessiner la figure observée sur l'écran.

Solution:



- Étudier, de façon **qualitative** à l'aide du matériel disponible, l'influence sur la valeur de l'interfrange i , de la distance d séparant les deux fentes, de la distance D et de la longueur d'onde du laser (vous disposez de lasers verts et rouges).

Solution: Si d augmente alors i diminue.
Si λ augmente (passage du vert au rouge) alors i augmente.

5. En déduire l'expression correcte de l'interfrange i . On peut également utiliser l'analyse dimensionnelle pour éliminer les candidats.

a) $i = \frac{\lambda d}{D}$

b) $i = \frac{d}{D}$

c) $i = \frac{\lambda}{d}$

d) $i = \frac{d}{\lambda}$

e) $i = \frac{\lambda D}{d}$

f) $i = \frac{\lambda^2 D}{d}$

6. Déterminer la longueur d'onde du laser rouge utilisé et le comparer à la valeur théorique $\lambda = 650 \pm 10 \text{ nm}$.

Solution: D'après la relation précédente, on a $\lambda = \frac{di}{D} = \frac{0,2 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0,5 \times 10^{-2} \text{ m}}{1,50 \text{ m}} = 668 \times 10^{-9} \text{ m} = 668 \times 10^{-9} \text{ m}$
Cette valeur est proche de la valeur donnée par le constructeur. Le calcul du z-score pourrait nous renseigner de meilleure façon sur la compatibilité de notre mesure avec la valeur du constructeur.

3 Détermination de la taille d'un pixel d'un écran de smartphone

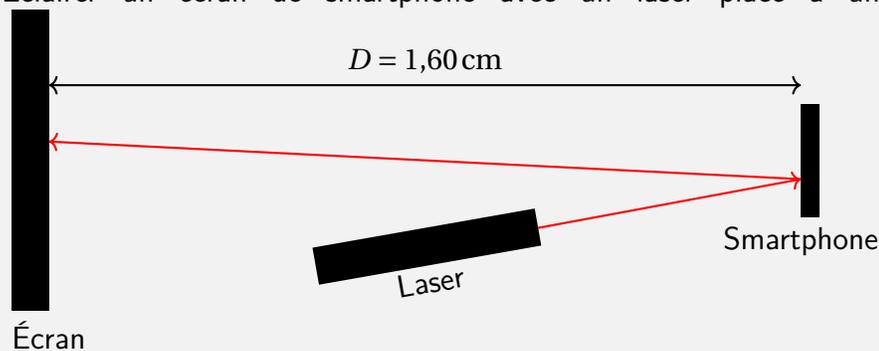
Le phénomène d'interférences va permettre la détermination de la résolution d'un écran de smartphone. Celle-ci correspond aux nombres de pixels par pouce (donnée que l'on trouve chez les constructeurs en ppp ou dpi). On appellera e la distance séparant les centres de deux pixels voisins.



Protocole expérimental

L'écran d'un smartphone est constitué d'un ensemble de pixels très petits que l'on peut considérer comme des sources lumineuses accolées les unes aux autres. On peut considérer que deux pixels voisins constituent un dispositif équivalent à une bifente de Young ; on appellera e la distance séparant les centres de ces pixels.

- Éclairer un écran de smartphone avec un laser placé à une distance $D = 1,60 \text{ m}$.



- Par réflexion, repérer la figure d'interférence sur un écran.
 Mesurer le plus précisément possible l'interfrange i entre deux points lumineux.

7. Réaliser le protocole ci-dessus et mesurer l'interfrange i .

Solution: On prend un téléphone de marque *Samsung* A12. On mesure $i = 1,1 \text{ cm}$.

8. En utilisant la formule déterminée dans la partie précédente, déterminer la taille e d'un pixel.

Solution: $i = \frac{\lambda D}{e} \iff e = \frac{\lambda D}{i} = \frac{650 \times 10^{-9} \text{ m} \times 1,60 \text{ m}}{1,1 \times 10^{-2} \text{ m}} = 9,5 \times 10^{-5} \text{ m}$
 Un pixel mesure $e = 9,5 \times 10^{-5} \text{ m}$.

9. En déduire la résolution de l'écran du smartphone, c'est à dire le nombre de pixels par pouce. Donnée : 1 pouce = 2,54 cm.

Solution: La résolution est le nombre de pixels par pouce donc $res = \frac{1 \text{ pouce}}{e} = \frac{2,54 \times 10^{-2} \text{ m}}{9,5 \times 10^{-5} \text{ m}} = 2,7 \times 10^2 \text{ ppp}$.

10. Déterminer l'erreur associée à la mesure de e . On utilisera la formule de propagation des erreurs.

Solution:

$$\begin{aligned} \frac{u(e)}{e} &= \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{10}{650}\right)^2 + \left(\frac{\frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{\sqrt{6}}}{1,60 \text{ m}}\right)^2 + \left(\frac{\frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{\sqrt{6}}}{1,1 \times 10^{-2} \text{ m}}\right)^2} \\ &= 4\% \end{aligned}$$

11. Comparer à la valeur indiquée par le constructeur. Utiliser le z-score.

Solution:

$$z = \frac{|e_{ref} - e_{exp}|}{u(e)} = \frac{|9,6 \times 10^{-5} \text{ m} - 9,5 \times 10^{-5} \text{ m}|}{4\% \times 9,5 \times 10^{-5} \text{ m}} = 0.26$$

$z < 2$ donc la mesure est compatible avec la valeur théorique.