

TP Interférences lumineuses à l'aide des fentes d'Young

CONTEXTE DU SUJET

Depuis le XVII^e siècle, les scientifiques comme Isaac Newton et Christian Huygens ont débattu de la nature de la lumière, opposant les théories corpusculaires aux conceptions ondulatoires. Ce débat a connu un tournant décisif au XIX^e siècle grâce à l'expérience historique de Thomas Young, qui a démontré le caractère ondulatoire de la lumière à travers le phénomène d'interférences.

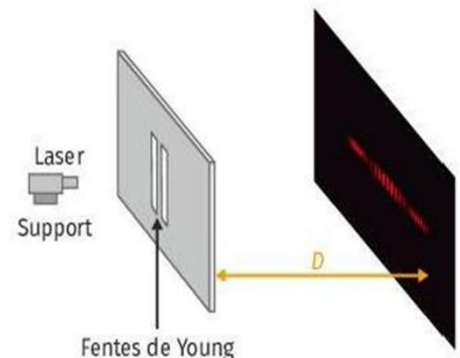


Thomas Young
(1773-1829)

DOCUMENTS MIS À DISPOSITION DU CANDIDAT :

Doc 1. Expérience de Thomas Young (1801)

L'expérience est aujourd'hui reproductible grâce à l'utilisation de sources lumineuses laser. Son principe repose sur le passage d'une onde monochromatique à travers une plaque percée de deux fentes fines. Lorsque ces fentes sont suffisamment étroites, l'image observée sur l'écran ne correspond plus à celle prédite par l'optique géométrique qui suggérerait simplement deux taches lumineuses mais révèle au contraire une figure d'interférences caractéristique du comportement ondulatoire de la lumière.



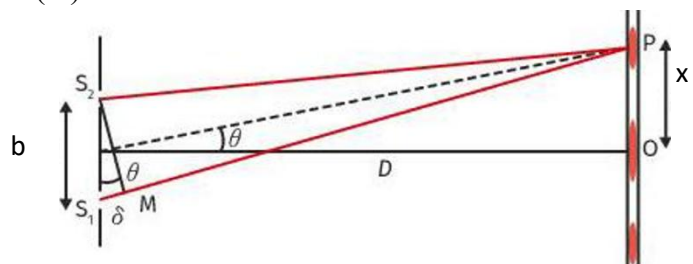
Doc 2. Différence de chemin optique

Les deux fentes se comportent comme des sources secondaires cohérentes dont les ondes lumineuses peuvent interférer. Les zones sombres correspondent à des interférences destructives, les zones brillantes à des interférences constructives : on parle de franges d'interférences. L'intensité lumineuse pour un point donné de l'écran dépend de la différence entre les chemins optiques empruntés par chaque onde lumineuse. Si D est suffisamment grand et θ suffisamment petit :

$$\delta = \frac{b \cdot x}{D}$$

Définitions des grandeurs :

- δ : différence de chemin optique (m)
- b : distance séparant le centre des deux fentes (m)
- x : position du point P sur l'écran (m)
- D : distance entre les fentes et l'écran (m)



Doc 3. Les conditions d'interférences peuvent sont :

Interférences constructives : lorsque $\delta = k \times \lambda$ ($k \in \mathbb{N}$), les ondes sont en phase, ce qui donne lieu à des franges brillantes.

Interférences destructives : lorsque $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ ($k \in \mathbb{N}$), les ondes sont en opposition de phase, produisant des franges sombres.

Doc 4. Notice du logiciel Salsa J

1. Pour lancer SalsaJ

- Cliquer l'icône de raccourci « SalsaJ » :



2. Quelques boutons et fonctions associées



Ouvrir un
fichier image



Annuler la dernière
opération



Tracer un trait



Zoom avant/arrière



Déplacement
dans le cadre de
l'image

3. Pour ouvrir un fichier image

- Effectuer « Fichier » puis « Ouvrir » ou cliquer sur le bouton « Ouvrir un fichier image ».
- Rechercher le fichier en se déplaçant dans l'arborescence.
- Cliquer sur le fichier désiré puis « Ouvrir ».

4. Pour étalonner l'échelle d'une image

- Tracer un trait entre deux points séparés d'une distance connue. Pour cela, cliquer sur le bouton « Tracer un trait » puis cliquer et glisser entre les deux points.
- Penser à utiliser le zoom avant (clic gauche) au préalable pour gagner en précision. Pour dézoomer faire clic droit.
- Dans la barre de menu du logiciel, cliquer « Analyse » et « Indiquer l'échelle... ».
- Compléter ou modifier les informations dans la fenêtre qui apparaît, cocher « Global » puis cliquer « OUI ».

5. Pour mesurer une distance après étalonnage

- Tracer un trait entre deux points séparés d'une distance d. Pour cela, cliquer sur le bouton « Tracer un trait » puis cliquer et glisser entre les deux points.
- La valeur s'affiche en haut et droite.

6. Pour obtenir le graphe donnant l'intensité des pixels d'une image le long d'une ligne

- Tracer un trait le long de la ligne désiré. Pour cela, cliquer sur le bouton adapté (voir tableau ci-dessus) puis cliquer et glisser entre les deux points. Penser à utiliser le zoom avant (voir tableau ci-dessus) au préalable pour gagner en précision.
 - Dans la barre de menu du logiciel, cliquer « Analyse » et « Coupe ».
 - Déplacer le pointeur sur le graphe qui apparaît pour accéder au coordonnées des points.
 - Cliquer le bouton « Liste » dans la fenêtre du graphique permet d'accéder aux coordonnées de chaque pixel de la ligne tracée.
- Remarque : la valeur de l'abscisse tient compte de l'étalonnage de l'échelle de l'image si celui-ci a été réalisé au préalable.

Matériel :

Règle

Laser

Ecran



Fentes d'Young

Banc d'optique
ordinateur

logiciel Salsa J



1. Analyse des documents

- a) Préciser les valeurs de la différence de chemin optique δ pour lesquelles les interférences sont constructives. Même question concernant les interférences destructives.
- b) D'après le schéma du **Doc.2** et le **Doc.3** déterminer l'expression de la position x_1 du point **P**₁, centre de la première frange brillante, en fonction de **b**, **D** et λ .
- c) Même question concernant la position x_2 du point **P**₂, centre de la deuxième frange brillante.
- d) En déduire l'expression de la distance séparant **P**₁ et **P**₂, appelée **interfrange i**.

APPEL n°1		
	Appeler le professeur pour lui présenter vos résultats	

2. Réalisation du montage

- a) Mesurer l'interfrange **i** en utilisant le logiciel Salsa J et directement sur le papier calque. **N'oubliez pas de prendre le maximum de i pour être plus précis.**
- b) Calculer la longueur d'onde λ à partir des données expérimentales.

APPEL n°2		
	Appeler le professeur pour lui présenter vos résultats	

3. Conclusion

- a) En considérant les incertitudes suivantes : $u(b) = 0,1 \times b$, $u(D) = 0,5 \text{ cm}$, $u(i)$ estimée à partir des mesures, déduire l'incertitude sur la longueur d'onde, notée $u(\lambda)$, à partir de la la formule de propagation des incertitudes.

$$\frac{u(\lambda)}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

Donner ensuite la valeur de λ accompagnée de son incertitude type, sous la forme $\lambda \pm u(\lambda)$.

- b) Comparer le résultat avec la valeur de référence de la longueur d'onde du laser en calculant le **z-score**.

$$z = \frac{|\lambda_{\text{mesuree}} - \lambda_{\text{reference}}|}{u(\lambda)}$$

Programme Python : Simulation des interférences d'Young

Ce programme permet de simuler le profil d'intensité lumineuse observé sur l'écran dans l'expérience d'Young. Il modélise les interférences en fonction de la position sur l'écran et des paramètres expérimentaux : longueur d'onde (λ), distance entre les fentes (b), et distance à l'écran (D).

```
# Importation des bibliothèques
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# -----
# Saisie de la distance entre les fentes
# -----
# L'utilisateur entre une valeur en millimètres, qu'on convertit en mètres
b_mm = float(input("Entrez la distance entre les fentes b (en mm) : "))
b = b_mm / 1000 # Conversion en mètres

# -----
# Paramètres physiques du montage
# -----
lambda_lumiere = 650e-9 # Longueur d'onde de la lumière en mètres (650 nm = lumière rouge)
D = 1.0 # Distance entre les fentes et l'écran en mètres

# -----
# Définition de l'espace d'observation sur l'écran
# -----
# On crée un tableau de positions x allant de -1 cm à +1 cm
# Cela représente la zone de l'écran où on observe les franges
x = np.linspace(-0.01, 0.01, 1000) # Positions sur l'écran en mètres

# -----
# Calcul de la différence de marche et de phase
# -----
I0 = 1 # Intensité maximale normalisée

# La différence de marche entre les deux rayons est :
delta = (b * x) / D # en mètres

# La différence de phase correspondante est :
phi = (2 * np.pi / lambda_lumiere) * delta # en radians

# Intensité lumineuse en chaque point x :  $I(x) = I_0 \times \cos^2(\phi)$ 
I = I0 * np.cos(phi)**2

# -----
# Tracé du profil d'intensité
# -----
plt.plot(x * 1e3, I) # x converti en mm pour plus de lisibilité

# Ajout du titre et des axes
plt.title("Profil d'intensité - Interférences de Young")
plt.xlabel("Position sur l'écran (mm)")
plt.ylabel("Intensité relative")

# Affichage du graphique
plt.show()
```

Protocole élève – Capytale

1. **Se connecter à l'ENT** → Ouvre ton ENT (monlycee.net) et connecte-toi.
2. **Accéder à Capytale** → Clique sur l'application **Capytale** dans les ressources numériques.
3. **Créer un notebook Python** → Clique sur **Créer une activité**, choisis **Python**, nomme-la (ex. *Interférences de Young*), puis clique sur **Créer**.
4. **Coller le programme** → Dans la première cellule, copie-colle le code précédent.

- a) Dans l'expérience de Young, on suppose que les deux ondes issues des fentes sont cohérentes et en phase à l'origine. Explique pourquoi cette condition est essentielle pour observer des interférences stables.
- b) Que se passerait-il si les deux sources n'avaient pas un déphasage constant ?