

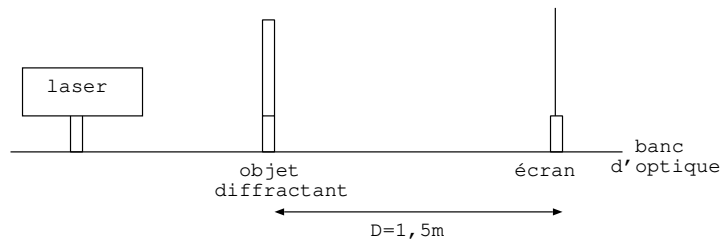
TP d'optique ondulatoire

Le dispositif

On dispose de quatre dispositifs diffractants montés sur un système à barillet (voir la fiche jointe):

- A3000 diffraction par des trous
- A3015 diffraction par des fentes ou des fils
- A3020 diffraction par un jeu de deux fentes parallèles
- A3030 diffraction par N fentes parallèles équidistantes

Tous ces dispositifs sont éclairés en incidence normale par un faisceau laser de longueur d'onde λ . La figure de diffraction et/ou d'interférences est observée sur un écran muni d'un papier millimétré, placé à une distance D autour de $1,5\text{ m}$ du dispositif diffractant. On réalise ainsi les conditions pour l'étude de la diffraction de type Fraunhofer (sans lentille, cela consiste à faire une observation lointaine).

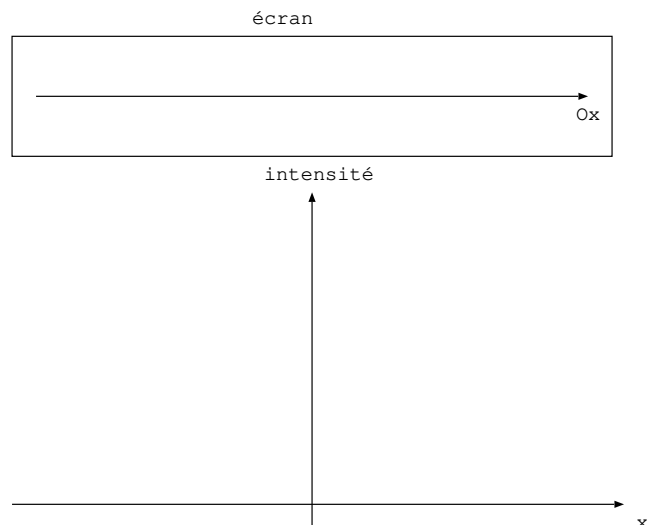


I. Le phénomène de diffraction

1. Diffraction par une fente fine (dispositif A3015)

Etude qualitative : Observer la figure de diffraction par une fente fine de largeur d . Le dispositif A3015 propose des fentes de largeur $30\text{ }\mu\text{m}$, $40\text{ }\mu\text{m}$, $60\text{ }\mu\text{m}$, $80\text{ }\mu\text{m}$, $100\text{ }\mu\text{m}$, $150\text{ }\mu\text{m}$ et $200\text{ }\mu\text{m}$.

Pour la fente de largeur de votre choix, représenter l'allure de la figure de diffraction et tracer l'allure de la fonction intensité en fonction de x qui correspond à la figure observée.



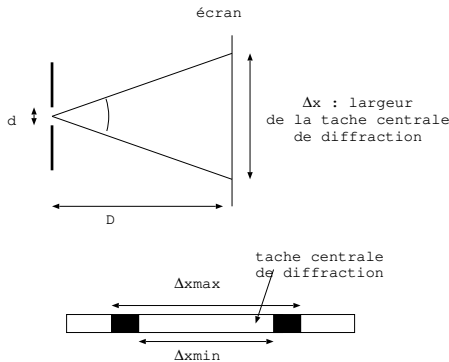
Lorsque l'on modifie la largeur de la fente fine, si on observe à l'écran que la taille de la tache centrale diminue. Que peut-on en déduire?

Que devient la figure de diffraction lorsque l'on remplace la fente par un fil de même largeur?

Remarque : La fente et le fil de même largeur sont appelés pupilles complémentaires. Là où le fil laisse passer la lumière, la fente coupe la lumière et réciproquement. Le théorème de Babinet précise que les figures de diffraction par deux pupilles complémentaires sont identiques.

Etude quantitative: l'objectif de cette étude est de mesurer expérimentalement la largeur d d'une fente fine à partir de la figure de diffraction à travers cette fente.

Méthode 1: par un tirage au sort en utilisant la méthode Monte Carlo.



Observer la figure de diffraction par la fente de largeur d de votre choix.

Mesurer les largeurs Δx_{max} et Δx_{min} limites de la tache centrale de diffraction.

Exprimer Δx et l'incertitude $u(\Delta x)$ en fonction de Δx_{max} et Δx_{min} .

Estimer l'incertitude sur D et l'incertitude sur Δx (lignes 7 à 29) et appliquer la méthode Monte Carlo pour évaluer d et $u(d)$. Vérifier la cohérence avec la valeur de d attendue.

Méthode 2: par une régression linéaire de la courbe Δx en fonction de D .

Observer la diffraction par une fente de largeur d de votre choix.

Mesurer les largeurs Δx_{max} et Δx_{min} limites de la tache centrale de diffraction pour différentes valeurs de D (prendre des valeurs de D suffisamment grandes, soit supérieures à 1 m). Compléter le tableau et les lignes 34 à 36 du code python.

D				
Δx_{max}				
Δx_{min}				

Exprimer Δx et l'incertitude $u(\Delta x)$ en fonction de Δx_{max} et Δx_{min} . Compléter les lignes 40 et 41 du code.

Etablir la relation théorique donnant Δx (largeur de la tache centrale de diffraction à l'écran) en fonction de λ , D (distance fente-écran) et d (largeur de la fente). Prévoir ainsi les caractéristiques de la courbe donnant Δx en fonction de D . Donnée: la demi-largeur angulaire de la tache centrale de diffraction par une fente fine de largeur d est $\theta_{1/2} = \frac{\lambda}{d}$.

Tracer et exploiter la courbe donnant Δx en fonction de D (lignes 44 à 48 du code). En déduire d en utilisant `np.polyfit` lignes 52 à 63. Vérifier la cohérence du résultat avec la valeur annoncée de d .

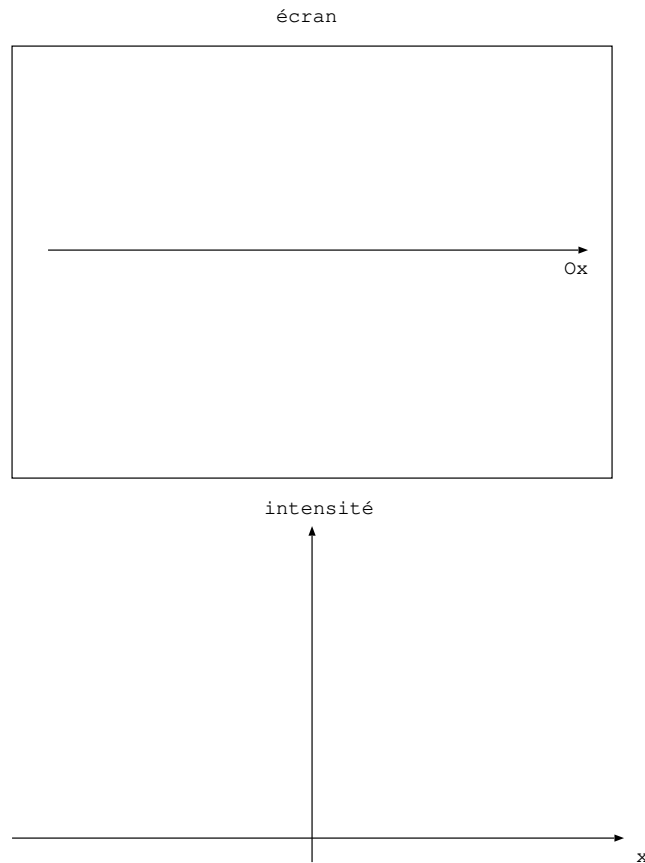
Aide syntaxique: On dispose de deux listes x et y telle que la courbe attendue donnant y en fonction de x est une droite d'équation $y = ax + b$. On trouve les coefficients a et b avec python en utilisant la syntaxe:

$a, b = \text{np.polyfit}(x, y, 1)$ renvoie les nombres a et b qui modélisent la droite donnant y en fonction de x selon la loi $y = ax + b$.

2. Diffraction par un trou de diamètre d (le dispositif A3000 comporte des trous de diamètre $20\ \mu\text{m}$, $30\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m}$, $100\ \mu\text{m}$, $200\ \mu\text{m}$, et $500\ \mu\text{m}$.)

Observer la figure de diffraction par un trou.

Etude qualitative: Pour le trou du rayon de votre choix, représenter l'allure de la figure de diffraction et tracer l'allure de la fonction intensité en fonction de x qui correspond à la figure observée.



Lorsque l'on modifie le rayon du trou, si on observe à l'écran que la taille de la tache centrale diminue. Que peut-on en déduire?

Etude quantitative: Observer la diffraction par un trou de rayon R de votre choix.

Utiliser une des méthodes précédentes pour déterminer la valeur expérimentale de R et la confronter à la valeur théorique attendue.

3. Diffraction par un carré ou un rectangle

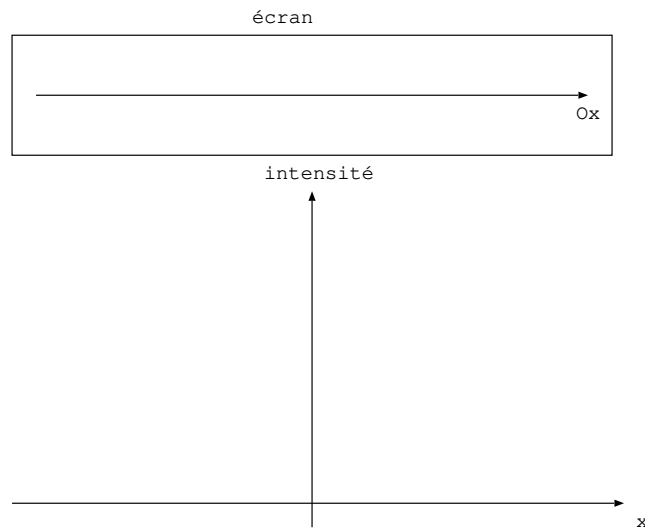
Observer la figure de diffraction et reproduire la figure de diffraction par un carré et par un rectangle, pour ces objets, la diffraction se produit dans deux directions. Comment peut-on savoir quel est le côté le plus petit du rectangle quand on observe une figure de diffraction?

II. Interférences à 2 ondes cohérentes

1. Les fentes d'Young (dispositif A3020)

Analyse qualitative : Observer la figure d'interférences donnée par deux fentes d'Young de même largeur d et distantes de a .

Pour les fentes d'Young de votre choix, représenter l'allure de la figure d'interférences et tracer l'allure de la fonction intensité en fonction de x qui correspond à la figure observée.



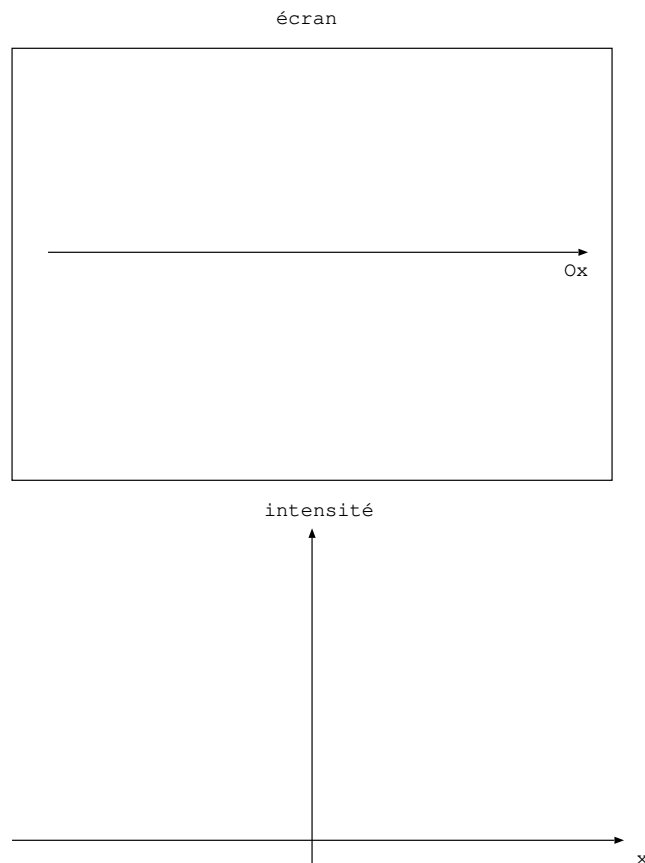
Ajouter sur le schéma précédent, représentatif de l'écran et sur la courbe intensité, la distance qui correspond à un interfrange et celle qui correspond à Δx , la largeur de la tache centrale de diffraction.

2. Analyse quantitative : prendre deux fentes d'young de largeur d distantes de la valeur a de votre choix. Mesurer Δx et i . En déduire a et d .

3. Interférences par deux trous d'Young (dispositif A3000)

Analyse qualitative : Observer la figure d'interférences donnée par deux trous d'Young de même largeur d et distants de a .

Pour les trous d'Young de votre choix, représenter l'allure de la figure d'interférences et tracer l'allure de la fonction intensité en fonction de x qui correspond à la figure observée.



Ajouter sur le schéma précédent, représentatif de l'écran et sur la courbe intensité, la distance qui correspond à un interfrange et celle qui correspond à Δx , la largeur de la tache centrale de diffraction.

4. *Analyse quantitative* : prendre deux trous d'young de diamètre d distants de la valeur a de votre choix. Mesurer Δx et i . En déduire a et d .

III. Interférences à N ondes cohérentes

N fentes d'Young (dispositif A3030)

Observe la figure d'interférences pour différentes valeurs de N . Compléter la phrase.

Plus le nombre de fentes N est grand et plus l'intensité des franges brillantes est et plus les franges brillantes sont

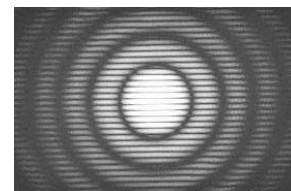
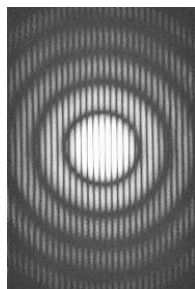
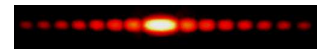
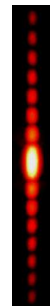
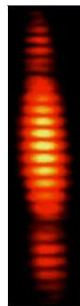
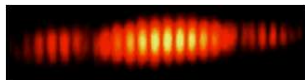
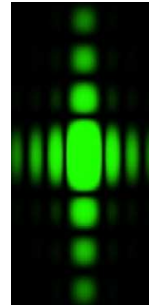
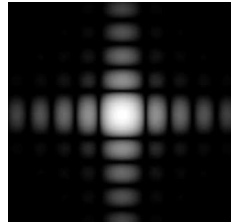
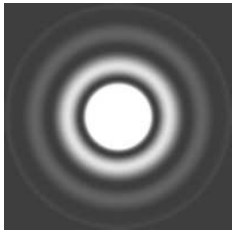
IV. Conclusion

A retenir: Avec des fentes ou des trous d'Young, les franges d'interférences sont rectilignes de direction perpendiculaire à la direction S_1S_2 , les franges ont la même largeur.

Les franges s'inscrivent dans une figure de diffraction: la tache centrale de diffraction a la forme des ouvertures (trou circulaire ou fente).

Pour chacune des photos, préciser si le laser a éclairé une fente unique, un trou unique, deux fentes fines ou deux trous et préciser l'orientation des fentes et des trous.

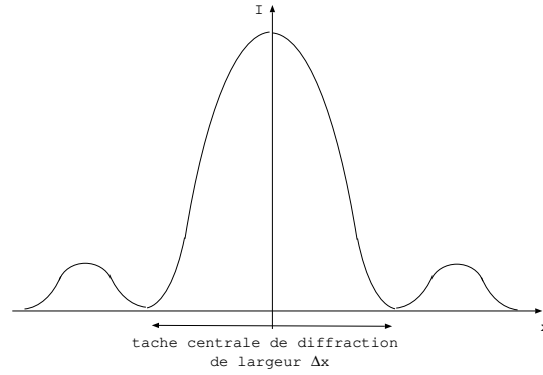
Sur les photos, en présence de diffraction, indiquer la tache centrale de diffraction et en présence d'interférences, indiquer un interfrange.



V. Correction

1. Diffraction à travers une fente ou un trou

La courbe intensité en fonction de x de l'onde diffractée par un trou ou par une fente a pour allure:



Pour mesurer la tache centrale de diffraction, on mesure Δx_{min} et Δx_{max} puis on en déduit:

$$\Delta x_{moy} = \frac{\Delta x_{min} + \Delta x_{max}}{2}$$

$$u(\Delta x) = \frac{\Delta x_{max} - \Delta x_{min}}{2}$$

Pour la diffraction à travers une fente de largeur d on a: $\tan \theta_{1/2} = \frac{\Delta x}{2D} \approx \Delta \theta_{1/2} = \frac{\lambda}{d}$ donc $\Delta x = \frac{2\lambda}{d}D$.

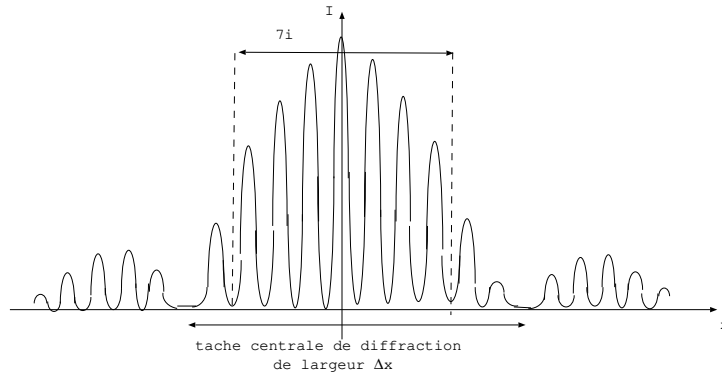
On trace Δx en fonction de D : c'est une droite de pente $a = \frac{2\lambda}{d}$. On déduit donc la valeur de d à partir de la valeur de la pente a par: $d = \frac{2\lambda}{a}$.

Pour la diffraction à travers un trou de rayon R on a: $\tan \theta_{1/2} = \frac{\Delta x}{2D} \approx \Delta \theta_{1/2} = \frac{1,22\lambda}{2R}$ donc $\Delta x = \frac{1,22\lambda}{R}D$.

On trace Δx en fonction de D : c'est une droite de pente $a = \frac{1,22\lambda}{R}$. On déduit donc la valeur de R à partir de la valeur de la pente a par: $R = \frac{1,22\lambda}{a}$.

2. Interférences à deux ondes

La courbe intensité en fonction de x de l'onde diffractée par deux trous ou par deux fentes a pour allure:



Sur les photos, on mesure la distance pour plusieurs interfranges et on en déduit la valeur de i .

On mesure Δx_{min} et Δx_{max} et on en déduit $\Delta x_{moy} = \frac{\Delta x_{min} + \Delta x_{max}}{2}$.

On déduit a , la distance entre deux trous ou deux fentes, de la valeur de i par $a = \frac{\lambda D}{i}$.

On déduit R ou d de la valeur de Δx_{moy} (voir les expressions précédentes).