

XI : Diffraction

La première partie du TP est d'obtenir les caractéristiques de la pupille diffractante à partir de figures de diffraction.

La deuxième partie du TP est de modifier l'image géométrique d'un objet, se présentant sous la forme d'une diapositive, en plaçant différents filtres dans le plan de Fourier, c'est-à-dire dans le plan focal image de la lentille servant à former l'image de l'objet.

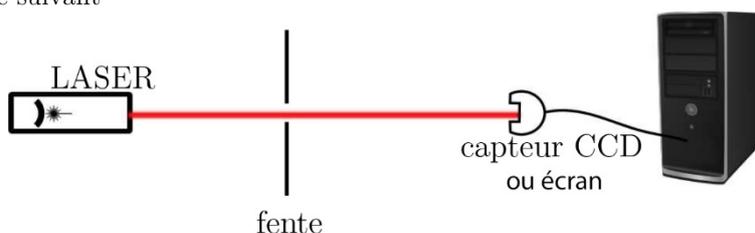
Matériel à disposition :

- 1^{ère} série (× 6)
 - 1 caméra Caliens et son ordinateur.
 - Pupilles diffractantes (Fente, fentes d'Young, mire sinusoïdale, réseau, Cd, réglet...)
 - Cache pour pupilles.
 - Laser, pieds d'optique, porte-objet, écran...
- 2^{ème} série (× 6)
 - 1 Lampe à vapeur de Na
 - 1 Lampe « Quartz-Iode »
 - Laser, pieds d'optique, porte-objet, écran...
 - Objets : Grille, photo « Léna », plume, réseau de fentes...
 - Fente orientable et de largeur réglable
 - Caches pour strioscopie
 - 1 Torche Laser pour le professeur
- Notice logiciel Caliens
- Lunettes de protection pour laser rouge.

I – Diffraction de Fraunhofer par une pupille

I-1) Fente simple

- Réaliser le montage suivant

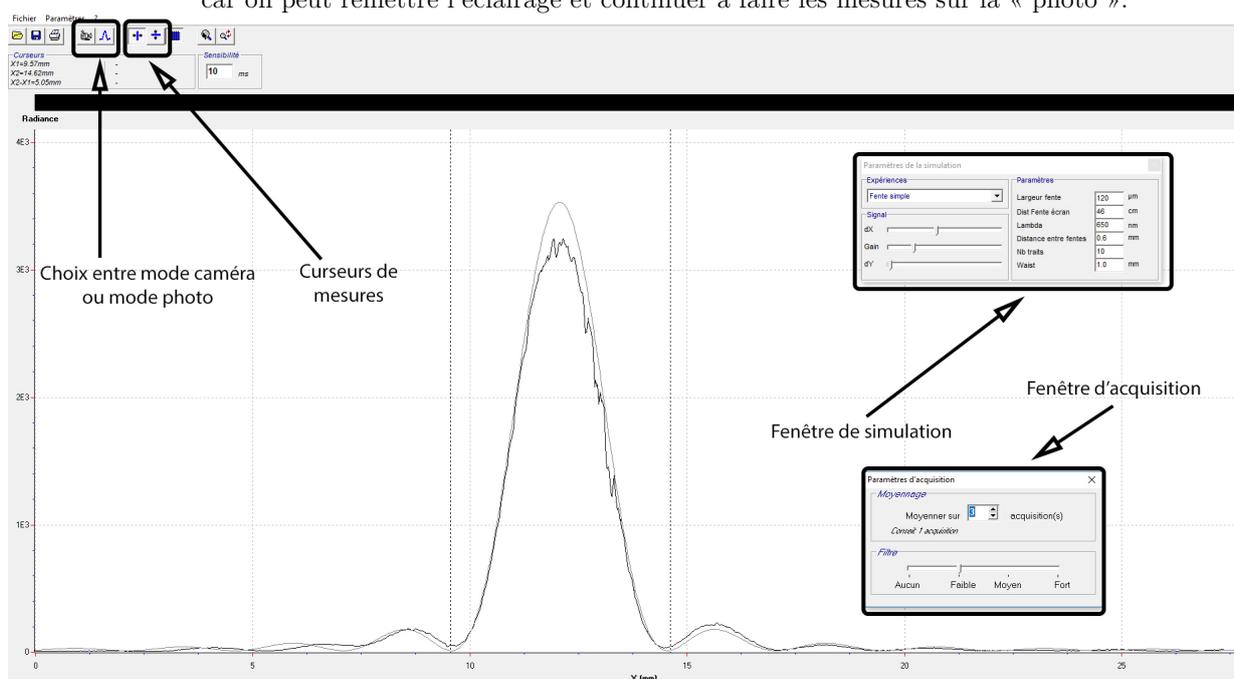


- On utilisera un élargisseur de faisceau sur le laser (objectif de microscope) et on pourra placer un système (Polariseur/Analyseur) pour baisser la luminosité arrivant sur le capteur CCD.
- Le capteur CCD est déjà équipé d'un filtre qui abaisse l'intensité lumineuse reçue par le capteur.
- On choisira une distance Laser-fente d comprise entre 0,1 et 0,4m et une distance Fente-capteur D comprise entre de 0,6 et 1m.
- Choisissez la diapositive « Fente simple » et pointez la fente A ou B ou C, en vous servant du cache. Si on note « a » la largeur de la fente on a :

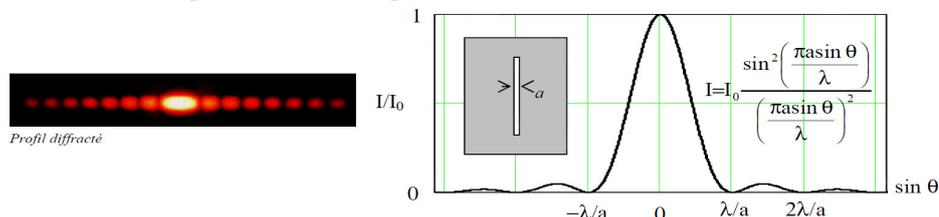
$$a_A = 120\mu\text{m}, a_B = 240\mu\text{m} \text{ et } a_C = 480\mu\text{m}$$
- Observer la figure de diffraction à l'aide du logiciel Caliens et en déduire la largeur de la fente avec son incertitude élargie à 95% (souvent appelée incertitude dans la suite de l'énoncé).
- Attention aux différentes inclinaisons sur les différents axes de mesures. En effet si votre figure de diffraction n'est pas symétrique, réajuster l'ensemble. Le montage est simplissime mais il demande une grande précision !

Document 1 : Utilisation de du logiciel « Caliens »

- Menu paramètres :
 - o Simulation : permet de simuler la figure de diffraction recherchée
 - o Acquisition : permet de faire la moyenne de différentes acquisitions : par défaut la valeur est un, mais on peut changer sur une autre valeur (3 par exemple) juste avant les mesures
- Curseurs : le logiciel dispose de curseurs pour des mesures de distance ou d'intensité lumineuse.
- Caméra :
 - o Mode caméra : affiche en temps réel la figure de diffraction
 - o Mode photo : prend la « photo » d'une acquisition. C'est pratique pour faire les mesures car on peut remettre l'éclairage et continuer à faire les mesures sur la « photo ».



Document 2 : Diffraction par une fente simple



L'éclairement sur l'écran s'écrit : $I(x) = I_0 \text{ sinc}^2\left(\frac{\pi ax}{\lambda D}\right)$ donc la largeur centrale s'écrit : $X = \frac{2\lambda D}{a}$.

Pour la mesure de l'incertitude, il faut tenir compte de l'incertitude de D (on néglige celle sur λ) mais aussi l'incertitude sur la lecture de X par Caliens. Ainsi :

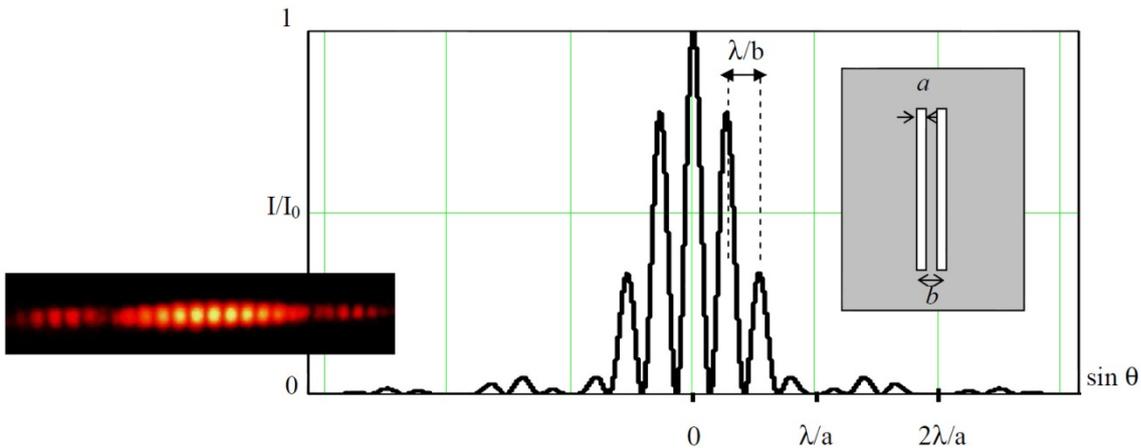
$$\frac{U_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{U_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{U_X}{X}\right)^2}$$

Pour U_X et U_D , on fait la soustraction des positions de deux curseurs (ou deux positions) d'où l'incertitude élargie à 95% vaut :

$$U_X = \sqrt{2} \frac{1 \text{ graduation}}{\sqrt{3}}$$

I-2) Fentes d'Young

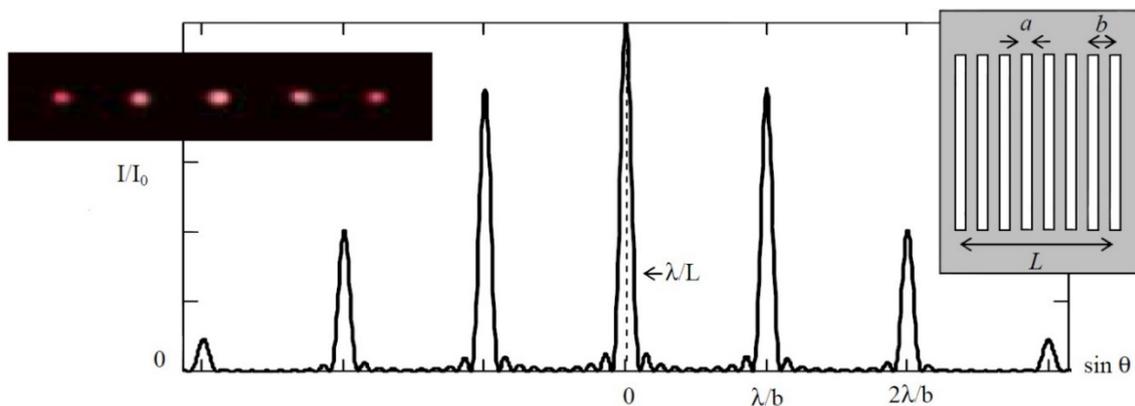
- Réaliser la même opération avec la diapositive fentes d'Young modèle A. Pour le modèle A on a : $a = 120 \mu\text{m}$ et $b = 0,6 \text{ mm}$



- Donner les valeurs de « a », et « b » avec leur incertitude.

I-3) Réseaux de traits

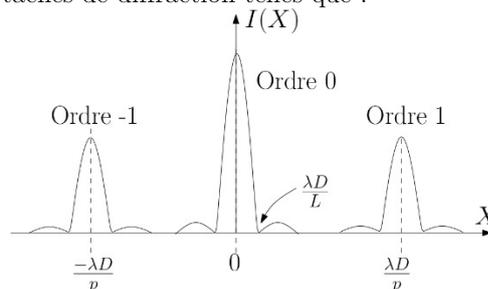
- Enlevez l'objectif de microscope du Laser.
- Réaliser la même opération avec une diapositive « réseaux » dont le nombre de traits par mm n est noté sur la diapositive.



- A l'aide d'un écran obtenez une mesure de b, distance entre deux traits puis de n avec son incertitude.
- L'amplitude des pics principaux est modulée par la fonction sinus cardinal provenant de la diffraction par une pupille de largeur a. La première annulation du sinus cardinal est obtenue pour $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$. Déterminer a et son incertitude, si le réseau choisi le permet à l'aide de Caliens.

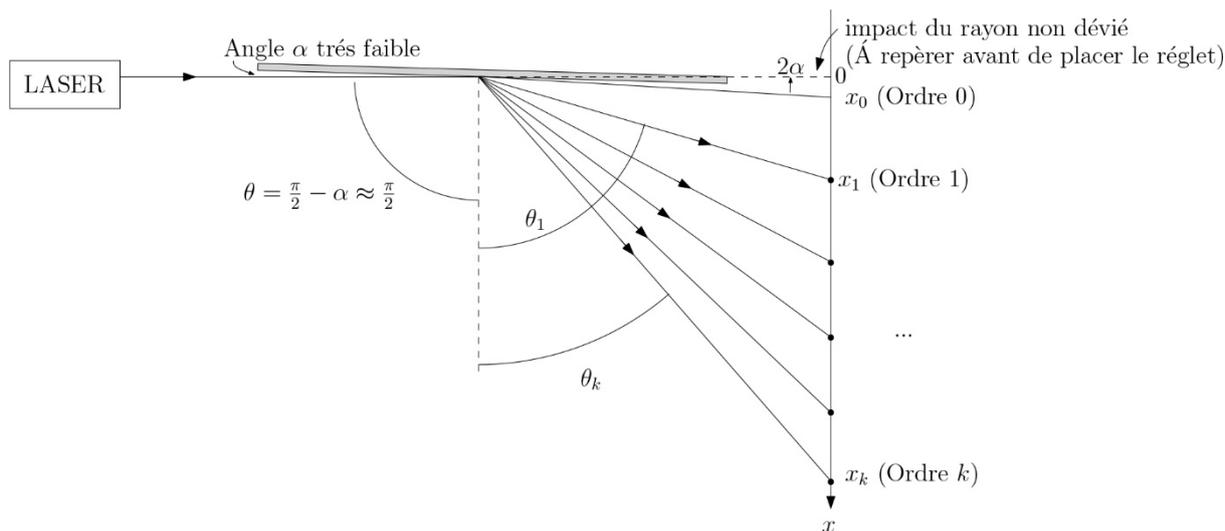
I-4) Mire sinusoïdale

- La transmittance de la pupille est donnée par : $t(x) = \text{rect}\left(\frac{x}{L}\right) \left(1 + m \cos\left(\frac{2\pi x}{p}\right)\right)$ où $n = \frac{1}{p}$ est le nombre de traits par mm. Cette pupille donne trois tâches de diffraction telles que :



- A l'aide de la figure de diffraction, en déduire n avec son incertitude élargie à 95%.

I-5) Réseau par réflexion



Le but de la manipulation est de déterminer le pas $p = \frac{1}{a}$ du réglelet où a est la distance entre deux graduations successives. Ce pas est connu il vaut 1 trait par mm ou 1/2 trait par mm : il est donc très faible par rapport aux réseaux de fentes utilisés en optique (la distance a entre deux traits étant elle très élevée devant les longueurs d'ondes utilisées).

Cette particularité du réglelet impose le protocole suivant : Le réglelet doit être éclairé sous incidence rasante comme indiqué sur la figure.

- Réaliser le montage en attaquant le réglelet sous incidence rasante.
- Obtenez une figure de diffraction sur un écran placé à une distance D comprise entre 0,4m et 1m. Repérez sur cet écran la position du faisceau non diffracté.

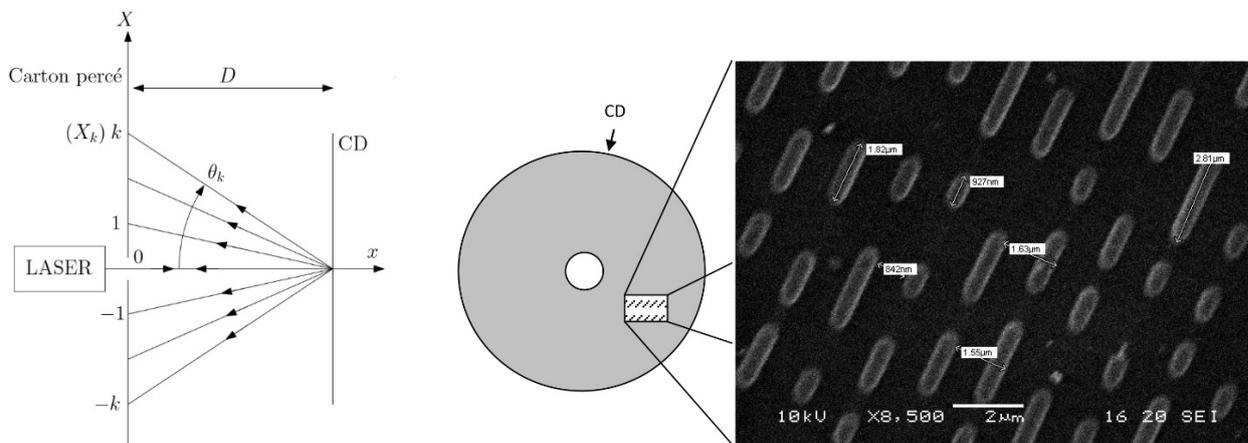
La formule des réseaux s'écrit :

$$\sin \theta_k - \sin \theta = k \frac{\lambda}{a} \Rightarrow \sin \theta_k - 1 = k \frac{\lambda}{a}$$

- Mesurez x_k et D pour 5 tâches de diffraction.
- Tracez $\sin \theta_k = f(k)$ puis en déduire a .
- Donnez a avec son incertitude. Conclure.

I-6) Réseau par réflexion : le CD ou DVD.

Le but de la manipulation est de mesurer le pas d'un CD et de remonter à sa capacité de stockage. Pour cela on utilise le CD comme réseau de diffraction par réflexion :

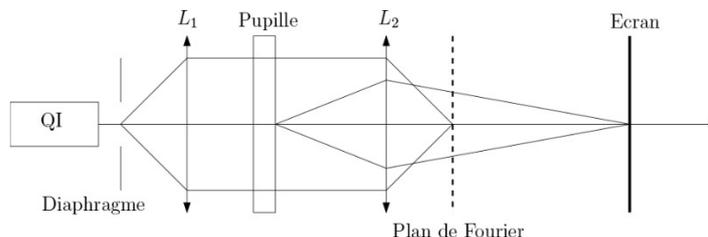


- Sous incidence normale la formule des réseaux s'écrit : $\sin \theta_k = k \frac{\lambda}{a}$
- A l'aide de votre protocole expérimental, déterminer a et son incertitude.
- En supposant qu'un bit est stockée sur une surface a^2 , en déduire la capacité de stockage du CD.

II – Filtrage optique

II-1) Montage pour le filtrage optique

Afin d'étudier le filtrage optique, on va réaliser un montage à base de deux lentilles avec pour source une lumière blanche ou une lumière à vapeur de sodium.



- Positionner le diaphragme dans le plan focal objet de L_1 ($f'_1 = 100\text{mm}$ par exemple) par autocollimation.
- Eclairer l'objet avec une OPPM perpendiculaire au plan de l'objet et observer le spectre à l'infini, c'est-à-dire dans le plan focal image d'une lentille convergente.
- Former l'image de l'objet sur un écran en veillant à l'agrandir suffisamment afin de pouvoir visualiser des détails (par exemple, le nombre de traits/mm pour un réseau).

On place une fente orientable et dont la largeur est réglable dans le plan de Fourier afin de filtrer les fréquences spatiales et modifier l'apparence de l'image sur l'écran.

II-2) Réseaux

- a) Réseau de traits
 - Utiliser un réseau de traits comme pupille, et comme éclairage la lampe à vapeur de sodium.
 - Sur l'écran le réseau doit être bien visible. Pour cela, prenez un grandissement conséquent en jouant sur la position de la pupille et de l'écran.
 - A l'aide de la fente, obtenez un réglage à teinte uniforme. Expliquer.
- b) Grille
 - Utiliser une grille comme pupille.
 - A l'aide de la fente, éliminez les traits verticaux puis horizontaux.
 - Faites tourner la fente. Qu'observez-vous pour des inclinaisons de 45° ? Expliquer.

II-3) Détramage

- Utiliser la photo de Léna qui présente une trame.



- A l'aide de la fente détramer la photo.

II-4) Strioscopie

- Réaliser l'expérience en lumière blanche.
- Prenez comme objet une plume.
- A l'aide de filtres positionnés dans le plan de Fourier, que vous préciserez, réaliser une inversion de contraste, afin de mettre en évidence les détails de la plume.