

Diffraction des ondes lumineuses

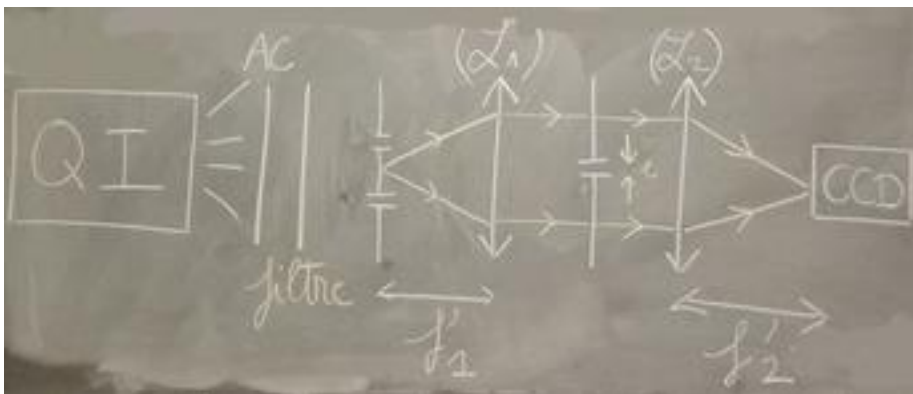
Matériel

- lampe QI + filtre AC
- filtres interférentiels
- fentes d'Young (largeur de chaque fente : $70\text{ }\mu\text{m}$, distance entre les fentes : $200\text{ }\mu\text{m}$)
- fente réglable avec vernier
- CCD Ovio (logiciel : ESAOSTUDIO – Atelier scientifique) + atténuateur 1/1000
- doublets de 200 mm (x2), 500 mm et 1000 mm
- laser épuré
- fente simple avec $e = 70\text{ }\mu\text{m}$
- grille (pas de l'ordre de 0,3 mm)
- condenseur
- grille de pas connu

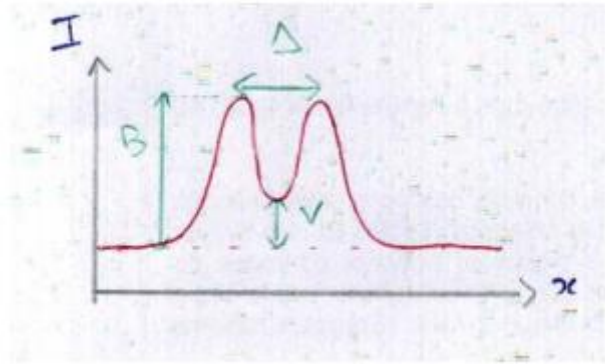
Introduction

Dans le cursus scolaire, on introduit souvent la diffraction comme le phénomène physique limitant la résolution spatiale des instruments d'optique. Nous allons démarrer ce montage en cherchant à comprendre comment intervient cette limitation du pouvoir séparateur sur un exemple simple.

I Pouvoir séparateur : fentes d'Young en éclairage incohérent



On réalise l'image de fentes d'Young sur un écran, via un éclairage en lumière blanche rendu monochromatique par un filtre interférentiel. Puis, on ajoute une fente unique de largeur e réglable.



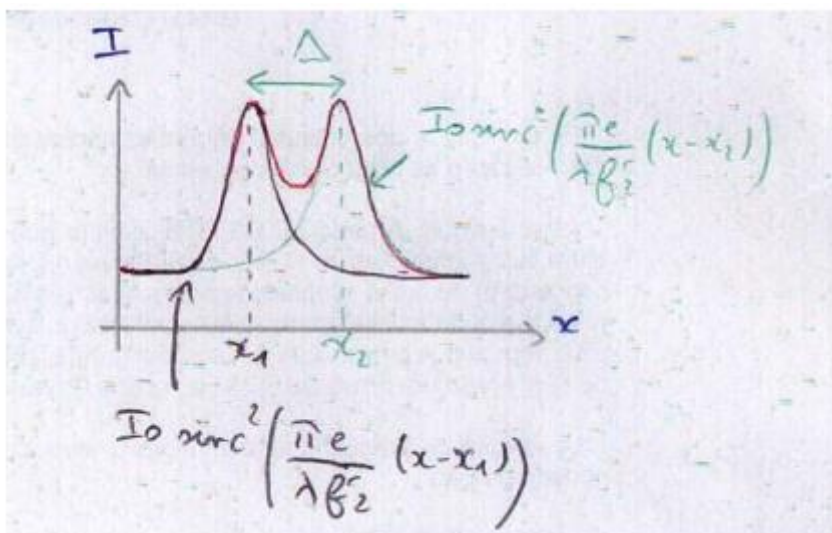
Alignement optique général : l'image des fentes d'Young ne change pas avec e : $\Delta = \text{cte}$. Attention, on est en Fraunhofer exact avec une source (les fentes d'Young) étendue : donc incohérence spatiale. La figure de diffraction de la fente simple se place au niveau de chaque point image des fentes d'Young.

Donc, si on veut comparer à la théorie, qui considère une figure de diffraction qui prend place au voisinage de deux points images sur l'écran, alors il faut négliger la largeur de chaque fente d'Young devant Δ : donc on prend des fentes d'Young fines (largeur de chaque fente : $70 \mu\text{m}$) et suffisamment écartées (par exemple $200 \mu\text{m}$).

Souci de luminosité : on a intérêt à avoir recouvrement des figures de diffraction pour e pas trop petit. Donc, on a intérêt à choisir un écart de fentes d'Young suffisamment petit (compromis à trouver avec le critère précédent) et à augmenter f_2' (souci : dans ce cas, Δ augmente aussi... on peut prendre $f_2' = 500 \text{ mm}$ comme compromis).

Précision du vernier : il faut l'étalonner (cf partie suivante)

Critère de recouvrement : critère de Rayleigh (très peu de luminosité donc grosse incertitude) et « critère des sinc^2 » (grosse incertitude à cause du bruit sur l'acquisition CCD). On prendra donc comme critère : on ne peut plus distinguer deux points si $V = B/2$.



On cherche donc Δ tel que : $\text{sinc}^2\left(\frac{\pi e \Delta}{2 \lambda f_2'}\right) = \frac{1}{4}$

On aboutit à : $e = 1,206 \frac{\lambda f_2'}{\Delta}$

On fait varier e de sorte à avoir grosso modo $V = B/2$ (s'aider d'une règle sur l'écran d'ordi). On mesure V , on déduit le B à avoir. On règle e pour avoir cette valeur B . On vérifie que V n'a pas changé et on répète en changeant λ (on ne change pas Δ ici, car plus dur expérimentalement). On trace e en fonction de λ .

II Diffraction de Fraunhofer



Choix des lentilles : On prend $f_2' = 1000$ mm pour séparer davantage les différentes fréquences spatiales (on gagnera en résolution).

Pour régler l'épurateur de faisceaux :

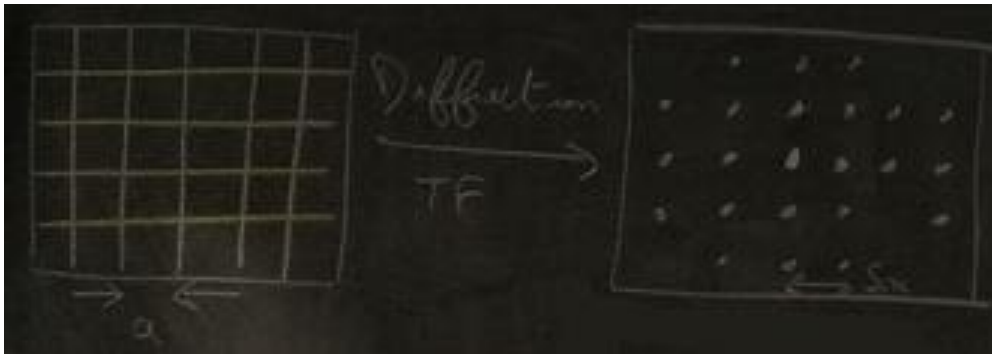
Enlever l'objectif de microscope et mettre le diaphragme. Utiliser les 4 vis pour régler l'alignement du laser (ne pas trop dévisser) : translater le diaphragme et corriger l'alignement si nécessaire (le faisceau doit traverser peu importe la position du diaphragme sur le rail). Mettre l'objectif de microscope et le régler pour avoir le maximum de luminosité. Charioter le diaphragme avec la vis micrométrique pour se placer dans le plan focal de l'objectif de microscope.

Fente simple : on montre la figure de diffraction à l'écran et on vérifie le critère de diffraction de Fraunhofer exact (translation de la fente dans son plan). -> CCD et ajustement de la figure de diffraction pour déterminer l'épaisseur e : c'est le protocole d'étalonnage de la fente simple réglable de la 1ère expérience.

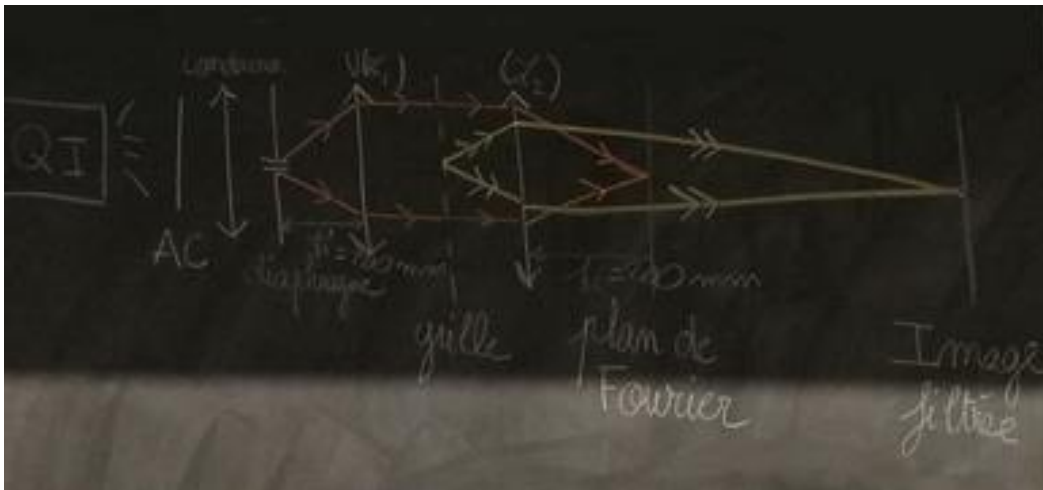
Fentes d'Young (choisies volontairement avec la même largeur $e = 70$ μm , et un écart ici choisi à $a = 200$ μm) : on a le même facteur de forme. Gain de luminosité d'un facteur 4 (N^2). Facteur de structure différent ($N - 2$ oscillations secondaires entre deux max). Possibilité de faire un ajustement via un capteur CCD, et de remonter à e et a .



Grille : affinement des pics lié à la taille L de l'objet éclairé, maxima secondaires très peu visibles, toujours un facteur de forme en sinc^2 . CCD : on peut repérer les positions des maxima (ne pas hésiter à changer la durée d'intégration pour les pics moins lumineux en saturant les plus lumineux).



III Filtrage optique d'une grille

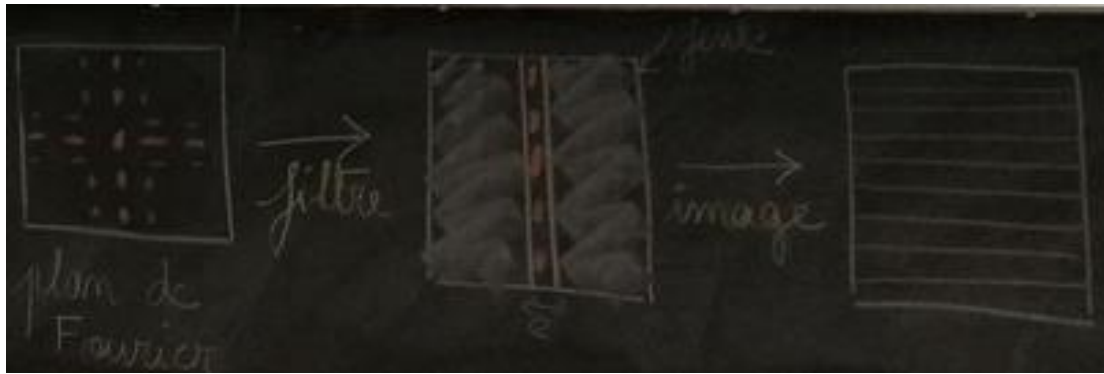


Choix des lentilles : pour que ce soit spectaculaire, il faut vraiment voir les différents traits de la grille sur l'écran : on a intérêt à avoir un grandissement d'optique géométrique grand. Donc, on place L_2 proche de la grille, pour avoir un faisceau presque parallèle en sortie et éloigner un max l'écran. Donc, on n'a surtout pas intérêt à prendre f_2' trop grand (car OA augmenterait). Donc, $f_2' = 200$ mm et on arrive à suffisamment séparer les fréquences spatiales.

Source lumineuse : le choix de la QI permet de voir nettement la position du plan de Fourier et de l'image finale de la grille filtrée. Sinon, grande zone où l'image paraît nette (liée à la forte cohérence d'un laser). Donc, on va améliorer la qualité du filtrage. Mais, on ne verra pas le plan de Fourier : d'où l'intérêt de l'avoir montré dans la partie d'avant.

Dans le plan de Fourier, on veut :
$$e = \frac{\lambda f_2'}{a_{\text{grille}}}$$

On est en polychromatique, si on veut couper tous les λ pour l'ordre ± 1 , on fait le calcul avec $\lambda = 400$ nm. On calcule e , on utilise l'étalonnage de la fente réglable et on en déduit e_{vernier} pour avoir une grille avec des traits horizontaux.



Conclusion

Certes, la diffraction est un phénomène physique limitant le pouvoir séparateur d'un instrument d'optique, mais c'est aussi un incroyable phénomène pour caractériser les objets diffractants (en obtenant leur transformée de Fourier) et modifier des images optiques par filtrage.

Bibliographie

-Sextant, Optique expérimentale, p135, p110 (fente simple), p115-120 (fentes multiples), p128 (expérience d'Abbe)