

Sommaire

I Objectifs pédagogiques et disciplinaires	1
II Introduction	2
III Pouvoir séparateur : fentes d'Young en éclairage incohérent	2
III.1 Protocole	2
III.2 Exploitation	3
III.3 Matériel	3
IV Diffraction de Fraunhofer	4
IV.1 Protocole	4
IV.2 Matériel	5
V Filtrage optique d'une grille	5
V.1 Protocole	5
V.2 Matériel	5
VI Conclusion	6
VII Critique des choix pédagogiques	6
VIII Remarques des correcteurs	6
IX Questions des correcteurs	6
X Tableau	6

I Objectifs pédagogiques et disciplinaires

- La diffraction est le phénomène physique limitant la résolution de nombreux instruments d'optique (aspect néfaste)
- Mais si ça diffracte, alors on peut caractériser l'objet diffractant (aspect positif) !

II 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.

Faire la démo de refermer la fente simple pour recouvrir les figures de diffraction ! On peut le faire en lumière blanche ici : on a plus de luminosité pour l'oeil !

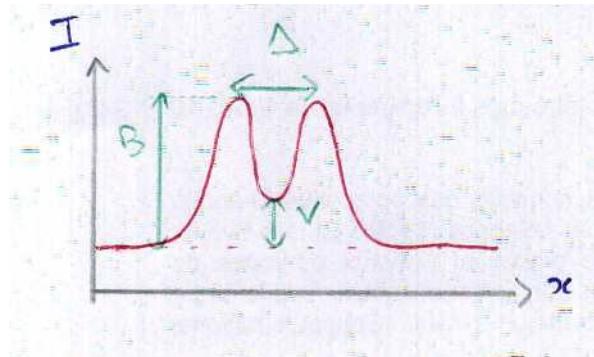
Remarque importante On peut se placer dans les conditions de Fraunhofer (FH) exact sans forcément faire un éclairage parallèle, MAIS on a intérêt à le faire pour la reproductibilité des expériences : les longueurs qui comptent dans ce cas sont les distances focales des lentilles !

III Pouvoir séparateur : fentes d'Young en éclairage incohérent

III.1 Protocole

Schéma sur le tableau (cf. fin du CR) - Sextant, Optique expérimentale, p. 135

Alignement optique général 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.



Explication de l'observation sur l'écran L'image des fentes d'Young ne change pas avec e : $\Delta = \text{cste}$. Attention, on est en FH 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 µm) et suffisamment écartées (écart choisi ici : 200 µm).

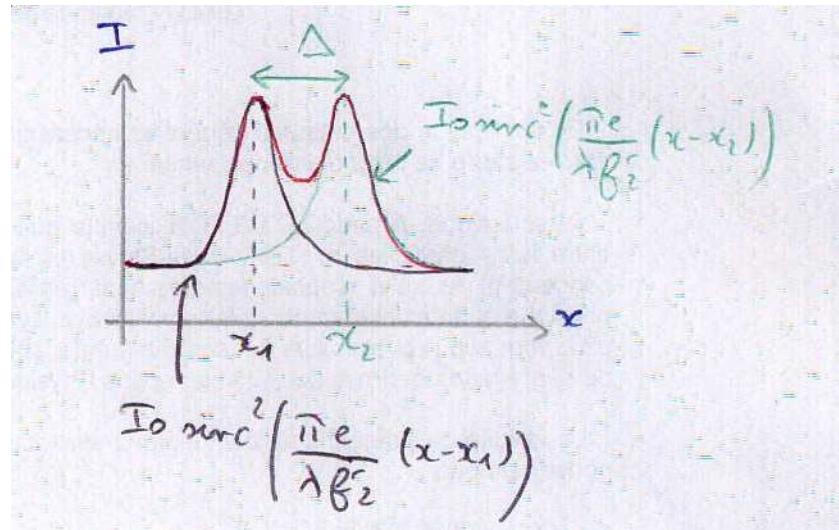
Souci de luminosité On a intérêt à avoir recouvrement des figures de diffraction pour e pas trop petit... Donc, on a intérêt à choisir un écart de fentes d'Young suffisamment petit (compromis à trouver avec le critère précédent) et à augmenter f'_2 (souci : dans ce cas, Δ augmente aussi... On fait le compromis de prendre $f'_2 = 500$ mm).

Précision du vernier On doit l'étalonner. Cf. protocole de la partie suivante !

Critère de recouvrement choisi

- Critère de Rayleigh : on n'a que très peu de luminosité, donc grosse incertitude...
- Critère des pieds des sinc^2 qui se touchent : grosse incertitude à cause du bruit sur l'acquisition CCD

Donc critère maison : on ne peut plus distinguer deux points si $V = B/2$.



On cherche donc Δ tel que : $\text{sinc}^2\left(\frac{\pi e}{\lambda f'_2} \frac{\Delta}{2}\right) = 1/4$. On aboutit à :

$$e = 1.206 \frac{\lambda f'_2}{\Delta}$$

Protocole détaillé pour la CCD

1. On fait varier e de sorte à avoir grossièrement $V = B/2$ (s'aider d'une règle sur l'écran d'ordi !)
2. On mesure V , on déduit le B à avoir. On règle e pour avoir ce B là. On vérifie que V n'a pas changé et on répète.
3. On change λ (on ne change pas Δ ici, car plus dur expérimentalement)

III.2 Exploitation

On trace $e_{\text{diff}} = f(\lambda)$ et on vérifie le coefficient directeur.

Pour les incertitudes : les incertitudes dominantes sont sur l'étalonnage du vernier de la fente simple (et principalement sur l'ordonnée à l'origine). Comme on a fait des ajustements pour faire cet étalonnage, l'incertitude sur e_{diff} est inférieure à la largeur d'un pixel de la CCD, mais c'est dur de donner l'incertitude précise (il faudrait prendre une incertitude sur les abscisses)...

III.3 Matériel

- Lampe QI + filtre anticalorique
- Série de filtres interférentiels
- Fentes d'Young : largeur de chaque fente de 70 µm et distance entre les fentes de 200 µm

- Fente réglable avec vernier
- CCD Ovio (logiciel : ESAOSTUDIO - Atelier Scientifique) + Atténuateur 1/1000
- Deux doublets : 200 mm et 500 mm

Transition On a vérifié le critère donnant le pouvoir séparateur d'un instrument en supposant étalonner une fente réglable. En fait, cet étalonnage a été fait via la figure de diffraction de FH !

IV Diffraction de Fraunhofer

IV.1 Protocole

Voir le tableau à la fin du CR - Sextant, Optique expérimentale, p. 110 (fente simple), p. 115 - 120 (fentes multiples)

Choix des lentilles On prend un doublet avec $f'_2 = 1000$ mm, pour plus séparer les différentes fréquences spatiales (on gagnera en résolution).

Liste de choses faisables

- Vérification de l'épuration du laser et placement des lentilles pour faire un faisceau parallèle et l'image du point source sur l'écran
- Fente simple ($e = 70 \mu\text{m}$ pour nous) : on montre la figure de diffraction à l'écran. On vérifie le critère de diffraction de FH exact (translation de la fente dans son plan). Puis 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 $e = 70 \mu\text{m}$, et un écart ici choisi à $a = 200 \mu\text{m}$) : 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!). On peut en déduire le pas a de la grille.

Problème rencontré : sur la CCD, on avait un signal hyper bruité au niveau du centre de la figure de diffraction (peut-être qu'il ne faut mettre leur intensité qu'à une valeur de 0.5 u.a max), ce qui rend l'ajustement des données hyper galère... (On y arrivait mieux avec la fente réglable, mais je crois (à vérifier) qu'on l'avait fait avec une diode laser... Ce serait donc mieux avec une diode laser, pour les points à proximité du point image de la source sur l'écran ?)

Problème pour les MPs : il est illusoire de se dire qu'on pourra en direct : acquérir les données sur le logiciel CCD, les mettre dans un fichier texte, transformer les virgules en points, mettre le tout sous Igor, corriger les abscisses des pixels, parce qu'on n'a pas pu les récupérer avec assez de chiffres significatifs, faire l'ajustement avec une fonction définie par l'utilisateur en donnant donc des valeurs de base aux paramètres et en mettant un masque si besoin... Donc :

1. On ne fait pas d'ajustement en direct. On se contente de regarder l'écart entre les min principaux du sinc sur la CCD, et on donne un ordre de grandeur de e , en disant qu'on a fait des ajustements en préparation (conseillé!).
2. On passe par un programme Python (à écrire) qui fait tout un tas de choses lui-même.

IV.2 Matériel

- Laser épuré (et diode laser pour l'étalonnage de la fente réglable de la 1ère expérience ?)
- Fente simple avec $e = 70 \mu\text{m}$
- Fentes d'Young avec $e = 70 \mu\text{m}$ et $a = 200 \mu\text{m}$
- Grille (pas de l'ordre de 0.3 mm)
- Doublets : 200 mm et 1000 mm
- CCD Ovio + logiciel ESAOSTUDIO

Transition La diffraction sert donc à caractériser l'objet diffractant. Mais vu qu'on obtient la TF de cet objet, on peut appliquer des filtres et modifier l'image obtenue de l'objet !

V Filtrage optique d'une grille

V.1 Protocole

Voir tableau à la fin du CR + Sextant, Optique expérimentale, p. 128 (expérience d'Abbe)

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 grossissement d'optique géométrique grand. Donc, on place \mathcal{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, $f'_2 = 200 \text{ mm}$ 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.

Calcul de la taille de fente e à choisir pour ne garder que les traits horizontaux Dans le plan de Fourier, on veut :

$$\frac{\lambda f'_2}{a_{grille}} = e$$

On est en polychromatique, si on veut couper tous les λ pour l'ordre ± 1 , on fait le calcul avec $\lambda = 400 \text{ nm}$. 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. S'y placer et ouahhh !

V.2 Matériel

- QI + filtre anticalorique + condenseur
- Diaphragme
- Grille de pas connu
- Fente simple réglable étalonnée
- Doublets : 200 mm et 200 mm

VI 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.

VII Critique des choix pédagogiques

- Démarrer par une expérience simple, qui est souvent par laquelle les élèves découvrent la diffraction
- Pas de diffraction de Fresnel, car elle n'est pas utile pour caractériser un objet diffractant : pas d'intérêt pratique. (S'attendre à des questions dessus.)
- Refaire un montage en direct en insistant sur les choix de lentilles, la lumière source, les caractéristiques de la diffraction de FH exacte (sur l'expérience 2, plutôt).

VIII Remarques des correcteurs

Remarques d'ALD :

- La première manip prend trop de temps... Elle est pas suffisamment claire, on ne comprend pas le critère, il faut mieux expliquer + la courbe d'étalonnage fait peur, on s'embrouille...
- Il faudrait dire dans la manip 2 qu'on s'est servi de la diffraction pour étalonner le vernier de la fente !
- On pourrait commencer par la manip 2, ce qui introduit l'étalonnage de la grille.
- Il faudrait lier un peu plus les manips les unes avec les autres, les transitions sont bonnes mais il faudrait insister un peu plus.
- Le plan est bon, mais pas limpide en première lecture, donc il accompagner le jury, avec un peu de théorie s'il le faut.
- Remarque pratique : pour l'autocollimation, mettre le miroir sur le banc directement plutôt que de le tenir à la main.
- Pour introduire le filtrage, il faut insister sur l'aspect spectral, fréquences spatiales, coupure etc...

IX Questions des correcteurs

Questions d'ALD :

1. Critère de translation de l'objet diffractant en diffraction de Fraunhofer ? Pourquoi ça marche ? Quelle opération est réalisée mathématiquement ? *TF*
2. Pourquoi une focale de 1 m en sortie de la manip 2 ? Pourquoi étaler la figure sur la CCD (ce n'est pas ce qu'on fait en général) *Saturation si trop focalisée*
3. Pourquoi le capteur CCP que tu utilises est 1D alors que ta figure est 2D ? *Peut-être utiliser un CMOS, ou prendre une photo puis ImageJ...*

Manip surprise : Montrer que le mode AC de l'oscilloscope est un passe-haut et que l'on peut dériver un signal avec.

X Tableau

