

MP08 - Interférences à deux ondes en optique

Cléments (COLLÉAUX et DE LA SALLE)

25 mars 2020

Niveau : L2

Bibliographie

Prérequis



Expériences



Table des matières

Table des matières	1
1 Diffraction de FRESNEL	2
2 Diffraction de FRAUNHOFER	3
2.1 Mesure de longueurs	3
2.2 Strioscopie	4

Introduction

On va articuler cette leçon autour du passage de FRESNEL à FRAUNHOFFER... Pour rappel, on peut poser le nombre de FRESNEL :

$$\mathcal{F} = \frac{r^2}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

Où r est la taille de l'objet, a la distance source - objet et b la distance entre l'objet et l'écran. Ce nombre provient du terme de phase dans HUYGENS-FRESNEL :

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{(x - X)^2 + (y - Y)^2}{2D} \quad X, Y r$$

Ce terme est donné après l'approximation de FRESNEL : $D \gg r$ et peut être simplifié lorsque :

$$\frac{2\pi}{\lambda} \frac{X^2 + Y^2}{2D} \ll 2\pi \implies \mathcal{F} \ll 1$$

Ainsi on a

- $\mathcal{F} \ll 1$ dans l'approximation de FRAUNHOFFER
- $\mathcal{F} \gg 1$ dans l'approximation de FRESNEL
- $\mathcal{F} \equiv 0$ en diffraction de FRAUNHOFFER exacte

1 Diffraction de FRESNEL

Le nombre de FRESNEL \mathcal{F} est également le nombre de **zones de FRESNEL**, c-à-d le nombre d'anneaux à l'intérieur de la tâche principale :

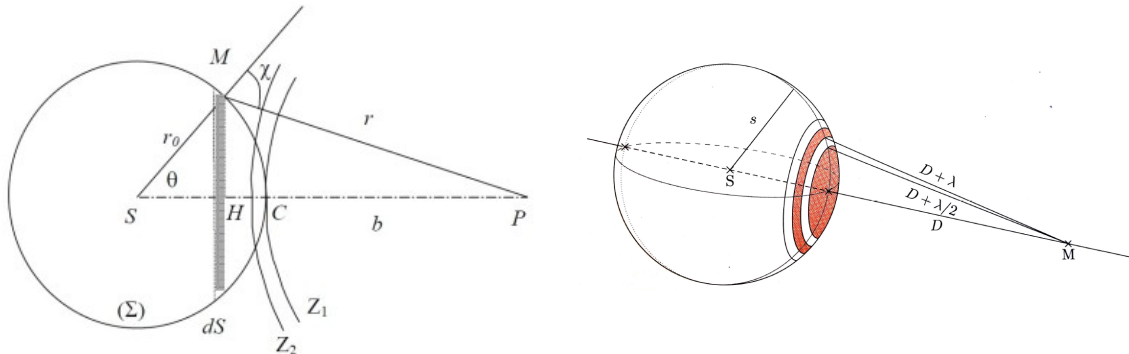


FIGURE 1.1 – Pour tracer ces zones, on trace les sphères de rayons b (noté D), $b + \lambda$, ... Ainsi, sur chacune de ces sphères, le chemin optique est le même. Notre distance a est notée r_θ à gauche et s à droite.

But

Retrouver l'évolution linéaire de \mathcal{F} en fonction de $1/b$

Expérience : Zones de FRESNEL

➤ Jolidon, p. ???

⊖ 10 min

Matos :

- Laser

- Objectif de microscope
- Diapositive B169

Les lentilles sont choisies telles que toute la longueur du banc soit en régime de FRESNEL, ne pas hésiter à faire un petit calcul en live pour le montrer. On fixe tout les composants sauf la lentille que l'on rapproche petit à petit. À chaque inversion (brillant / sombre) du centre, on compte le nombre de FRESNEL. Une régression de \mathcal{F} en fonction de $1/b$ nous permet de remonter au rayon du trou (pente) et à la distance a (ordonnée à l'originie)

Qu'est-ce qu'il se passe quand on change la taille de la fente ? En diminuant la taille de la fente, tout le reste étant fixé, on voit que la figure de diffraction change. On introduit le régime de Fraunhofer.

2 Diffraction de FRAUNHOFER

2.1 Mesure de longueurs

On peut commencer en disant que la taille de la fente qui tend vers 0 est cohérent avec la limite $\mathcal{F} \ll 1$.

Avant de parler de la théorie, parlons du montage qui permet d'étudier la diffraction de Fraunhofer **exacte** : le montage $4f$ qui permet, avec les lentilles convergentes, d'avoir les distances objet-écran et objet-source égales à $+\infty$, donc $\mathcal{F} = 0$.

Le développement théorique de l'expression de Huyghens-Fresnel dans le régime de Fraunhofer permet d'écrire l'intensité obtenue sur l'écran après diffraction par une fente de largeur b selon \vec{e}_x et infinie selon \vec{e}_y :

$$I(x) = E_0^2 \text{sinc}^2 \left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta_x \right)$$

en particulier, la largeur du pic central Δx s'écrit $\Delta x = 2 \frac{\lambda f_2}{b}$.

But

Le but de cette expérience est de retrouver expérimentalement le profil de l'intensité en sinc^2 et de retrouver la largeur de la fente.

Expérience : Étude de la diffraction de Fraunhofer d'une fente

🔗 Jolidon, p.323

⌚ 10 min

- en source de lumière, prendre soit un laser + épurateur (pas de problème de cohérence temporelle tmtc) pour travailler à λ fixé, soit une lampe QI avec son filtre AC pour faire varier
- en lentilles on peut prendre $f_1 \simeq 10$ cm et $f_2 \simeq 20$ cm
- bien aligner le montage, la beauté des images et la pertinence des mesures en dépendent !
- l'objet diffractant est une fente, fixe pour travailler à b fixé ou variable pour faire varier b
- l'écran est remplacé par une caméra CCD qui va enregistrer l'intensité
- tracer le signal d'intensité enregistré par la caméra et en extraire le profil $I(x)$ le long d'une ligne dans la bonne direction (utilisation de python ou ImageJ 🔗 Jolidon, p235) et le

modéliser par $\text{sinc}^2(c(x - x_0))$ où x_0 prend en compte la position de l'axe optique sur l'axe de mesure. On peut aussi tracer en fonction de $u = c(x - x_0)$.

- mesurer Δx pour plusieurs valeurs de largeur de la fente b ou plusieurs valeurs de longueur d'onde λ (plus balèze) et tracer $\frac{f_2}{\Delta x} \left(\frac{b - b_0}{\lambda} \right)$ qu'on est supposé avoir linéaire avec $\alpha^{\text{th}} = 2$, b_0 représente une erreur systématique du vernier de la fente. Attention, deux méthodes : Δx peut être évaluée à partir de la largeur du pic central où à en comptant la distance entre deux zéros aussi éloignés que possible. Spoiler alert la deuxième méthode est plus précise.

Pour minimiser les incertitudes, on règle la sensibilité du capteur pour que l'intensité maximale corresponde à une valeur inférieure à $2^8 - 1$ pour qu'il n'y ait pas de saturation du signal

2.2 Strioscopie

But

Il s'agit de montrer tout ce qu'on peut faire avec le filtrage optique... Ici, point d'expérience quantitative, on veut juste montrer comment ça marche

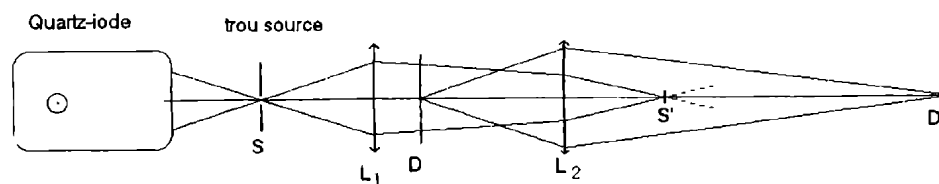


FIGURE 2.1 – D est l'objet diffractant, et S' le point conjugué à la source, le plan de S' est le plan de FOURIER dans lequel l'amplitude de l'onde est la TF de l'objet.

On place d'abord l'objet et L_2 , on fait l'image de D sur l'écran, puis on ajoute L_1 .

Par commodité, on peut aussi utiliser un montage $4f$:

- S est à l'infini (dans plan focal objet de L_1)
- On ajoute une troisième lentille L_3 telle que $f = DL_2 = L_2S' = S'L_3 = L_3D'$

Le filtrage se fait en positionnant des trous / points dans le plan de FOURIER. En effet, on a vu que le régime de FOURIER avait lieu à l'infini, c'est-à-dire dans le plan conjugué à la source par les lentilles.

Expérience : Strioscopie

🔗 Jolidon, p.329, Duffait, p.45

⌚ 10 min

Matos :

- Laser rouge
- Objectif de microscope
- Lentilles de 50mm (L_1) et 120mm (L_2)
- Diapos rigolos
- Fente réglable

On peut s'amuser avec plusieurs objets : réseau carré, plume, tête de FOURIER, empreinte digitale sur un scotch... Pour le réseau, il est intéressant de tester de filtrer dans une direction unique (fente)

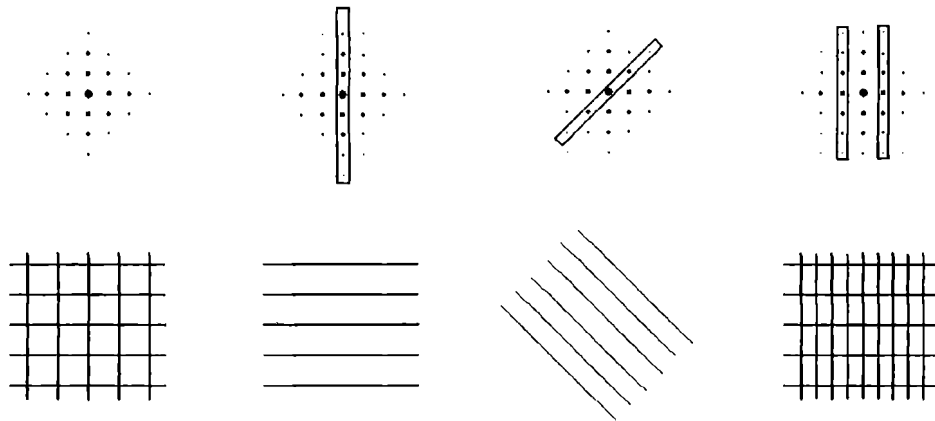


FIGURE 2.2 – Le filtrage coupe les fréquences perpendiculaires à la fente.