

MP09 – DIFFRACTION DES ONDES LUMINEUSES

4 avril 2020

Aurélien Goerlinger & Yohann Faure

Commentaires du jury

- **2010-2017** : Une condition nécessaire est de connaître la différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel, et on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées.
- **2014-2017** : La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique complémentaire.
- **2017** : Le jury voit trop souvent des expériences de diffraction par des fentes, généralement mal calibrées, servir à mesurer des longueurs d'ondes de lasers!
- **2014-2016** : Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises.
- **2010-2013** : Rappelons que les phénomènes de diffraction peuvent s'observer avec d'autres sources lumineuses que des lasers, dont le « speckle » peut parfois nuire à la précision des mesures.
- **2008** : Dans toute expérience d'optique, les figures sont de bien meilleure qualité quand les appareils sont convenablement alignés.
- **2000** : La diffraction est certes un phénomène gênant, mais pas uniquement : le principe de fonctionnement d'instruments comme les réseaux optiques repose sur son existence. L'optique diffractive prend de plus en plus d'importance industrielle.

Bibliographie

↗ FLTCLD

↗ Sextant

En complément

Expériences



Table des matières

1	Le phénomène de diffraction	2
1.1	Première approche	2
1.2	Vérification théorique	2
1.3	Application	3
2	Les régimes de diffraction : fresnel et Fraunhofer	3
2.1	Mise en évidence	3
2.2	Nombre de Fresnel	4
2.3	Zones de Fresnel	4
3	Optique de Fourier	5
3.1	Transformée de Fourier	5
3.2	Filtrage	5

Introduction

En optique géométrique, la lumière va en ligne droite, et le rayon lumineux est assimilé à un pinceau de lumière de largeur infiniment fine devant tous les obstacles qu'il rencontre. Cependant, la théorie ondulatoire de la lumière met en évidence une limite de cette approche, qui se manifeste lorsque qu'une onde lumineuse rencontre des obstacles de dimension de l'ordre de grandeur de sa longueur d'onde. Il se passe alors un phénomène particulier que l'on connaît bien maintenant, la diffraction

1 Le phénomène de diffraction

La première mise en évidence du phénomène de diffraction c'est celle de la fente.

1.1 Première approche



Mise en évidence du phénomène

⚡ FLTCLD

⌚ 2mn

Un laser, une fente réglable, et c'est parti! wiiiiii!
HeNe : $\lambda = 632.8\text{nm}$

Il existe un lien quantitatif que nous allons vérifier tout de suite!

1.2 Vérification théorique

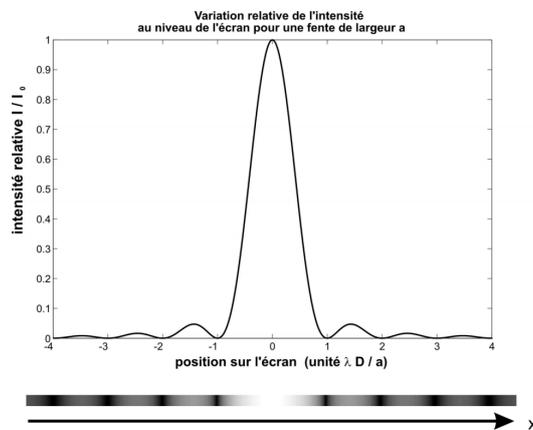


FIGURE 1 – Forme de l'intensité sur l'écran.

Par le calcul on a $I \propto \text{sinc}^2 \frac{\pi a x}{\lambda D}$. a =largeur, D =longueur écran-fente, x sur l'écran. On peut remonter vérifier cette valeur, si on connaît la largeur de la fente. Tous les $\frac{\lambda D}{a}$ le sinc s'annule, donc on a la largeur de la tâche centrale qui vaut $2 \frac{\lambda D}{a}$ et les autres qui valent $\frac{\lambda D}{a} = \Delta x$.

$$\Delta x = \frac{\lambda D}{a}$$



Mesure de largeurs de fentes

⚡ FLTCLD

⌚ 5mn

Même matériel, fentes de largeur connue, on mesure autant d'annulations que possible, et on trace Δx en fonction de $1/a$. Droite de pente λD .

Incertitudes : $\Delta\Delta x$ = digit de la règle divisé par le nombre de mesures, ou sigma de la distribution, au choix.

1.3 Application

On sait que le phénomène est identique si on met un obstacle plutôt qu'une fente. On va donc utiliser l'étalonnage précédent pour mesurer la largeur d'un cheveu!



Largeur du cheveu

🔗 Mon imagination folle

⊖ 2mn

Remplacer la fente par un cheveu, mesurer Δx et remonter à l'épaisseur.

$$a = \frac{\lambda D}{\Delta x}$$

Incertitudes : $\Delta a = a \sqrt{(\Delta\Delta x/x)^2 + (\Delta\lambda D/\lambda D)^2}$, avec $\Delta\lambda D$ donné par la régression.

En réalité, bien que les mesures fonctionnent bien, montrant la cohérence de la théorie ondulatoire de la lumière, lorsque l'on rapproche l'écran on voit l'éclairement se modifier : on n'a pas la même forme que ce que l'équation précédente indiquait. Il existe en réalité plusieurs régimes de diffraction, dont nous allons parler tout de suite.



2 Les régimes de diffraction : fresnel et Fraunhofer

2.1 Mise en évidence

pour mieux faire la différence entre les deux régimes, on va changer d'objet diffractant et on va utiliser des lentilles pour élargir la figure.



Mise en évidence des deux régimes

🔗 Sextant p141

⊖ 5 min

Matériel :

- Laser rouge $\lambda = 632.8$ nm P5.3/2 sur support horizontal P108.8, pied fixe 0.531 ;
- Objectif de microscope x10 ;
- lentille de focale grande (environ 30 cm) ;
- Trou P113.3 ou diapositive B169 -trou de largeur 0.8 mm) sur un statif

Si les figures de diffraction observées sont trop petites, on peut ajouter une lentille de projection. Pour cela, conjuguer une fente et l'écran avec une lentille de 10 cm et une QI, de sorte à avoir la plus grande image possible. Solidariser la lentille et l'écran avec une barre et retirer la fente et la QI : on peut utiliser alors ce dispositif pour observer les deux régimes.

Commençons par former une source quasi-punctuelle. Pour cela, faire converger le laser avec un objectif de microscope (ou une lentille de courte focale) puis, à l'aide de la seconde lentille de grande focale, faire l'image du point source sur l'écran.

Placer ensuite le trou derrière la lentille de grande focale pour obtenir une figure de **diffraction de Fraunhofer** sur l'écran. Si on bouge le trou dans son plan, la figure n'est pas modifiée. On parle aussi de **diffraction en champ lointain**.

Rapprocher l'écran du trou. On voit alors la figure de diffraction dans l'image géométrique. Si on bouge le trou, la figure de diffraction bouge aussi. On parle de **diffraction en champ proche** ou **diffraction de Fresnel**.

formule donnant le nombre de zones de Fresnel en fonction de $1/b$.

En pratique, on fixe toutes les longueurs sauf la position y de la lentille d'exploration que l'on fait varier. On part avec la lentille éloignée de l'objet, puis on rapproche la lentille en observant bien le centre de la figure.

Quand le centre passe de noir à brillant ou inversement, on compte le nombre de zones de Fresnel \mathcal{F} (donc d'anneaux, en comptant le centre) et on note la valeur de y .

On obtient b grâce à la relation de conjugaison $\frac{1}{f} = \frac{1}{y} + \frac{1}{D-y-b}$ qui donne $b = \frac{D-y-fy}{y-f}$.

On trace ensuite F en fonction de $1/b$. La pente $\frac{\rho^2}{\lambda}$ permet de remonter au rayon du trou, et l'ordonnée à l'origine à la distance source-objet diffractant a .

Il y a une discussion dans le Jolidon sur le terme $1/a$ dans le nombre de Fresnel qui est en fait affecté par la courbure du faisceau laser.

3 Optique de Fourier

3.1 Transformée de Fourier

Image de Fraunhofer = transformée de Fourier de l'image, donc on peut faire joujou!



Transformée de fourier d'une grille

↗ La caverne qui me sert de tête

⊖ 2mm

Faire un double sinc avec une grille

3.2 Filtrage

On va faire l'image de frau dans un coin, la modifier, et la retransformer en image normale, ça fera du filtrage!

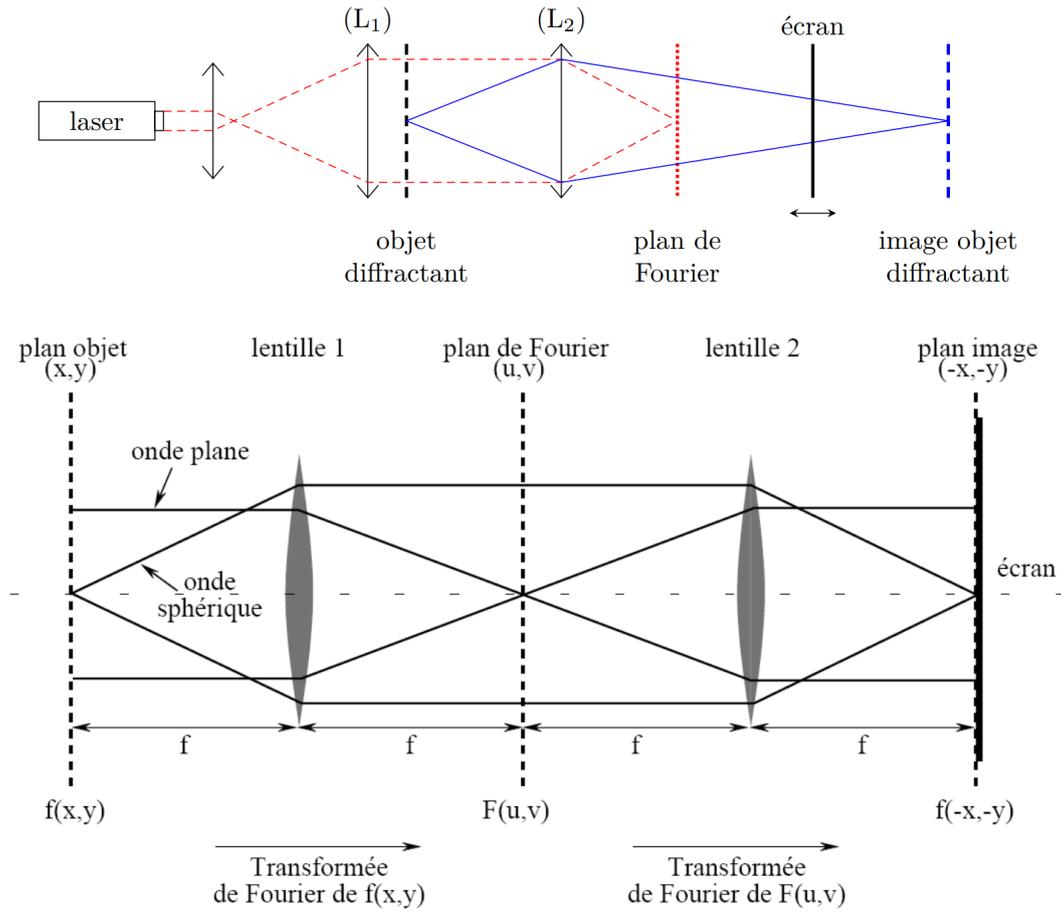


FIGURE 3 – Le laser et les deux premières lentilles servent seulement à générer un joli faisceau.

Filtrage de Fourier



⊖ 5mn

Matériel : Lentilles (deux de même focales, une autre pour le laser), laser, objectif de microscope, empreinte digitale sur du scotch, image diapo de la tête de Fourier, tête d'épingle sur un scotch

Montage : Faire attention au montage $4f$, faire bien correspondre les foyers.

Faire la manip que tu veux entre détramer ce bon vieux Fourier, faire apparaître une empreinte digitale, ou filtrer un laser pour épurer un faisceau. On met l'objet dans le faisceau entre L_1 et L_2 , on en fait l'image ponctuelle dans le plan de Fourier, où l'on met le filtre, puis on fait l'image.

Passé bas = diaphragme.

Passé haut = diapo tête d'épingle