

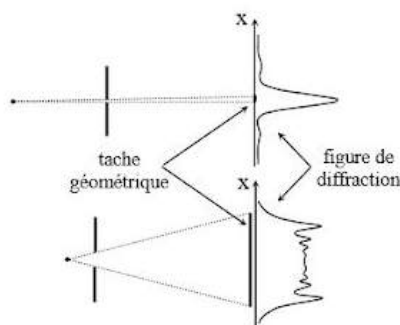
M9 : Diffraction des ondes lumineuses

Rapport du jury :

Ce montage a parfois été très bien présenté. 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. 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. Le jury voit trop souvent des expériences de diffraction par des fentes, généralement mal calibrées, servir à mesurer des longueurs d'ondes de lasers ! Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises. 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. À propos des réseaux : Attention aux protocoles de réglages : alignements (bancs d'optique conseillés), orientation, hauteur, conditions de Fraunhofer. Attention aux conditions de validité des relations employées : l'angle d'incidence n'est pas toujours nul (par exemple dans la relation de Bragg) : on peut avoir intérêt ou pas, à se placer à un minimum de déviation.

Introduction

→ Manipulation qualitative pour mettre en valeur la différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel. Voir poly M9 I.1



AU DÉBUT DE PAS METTRE LA LENTILLE : Utilisation d'un laser He Ne et d'une fente diffractante (qu'on peut traduire) : on observe une figure de diffraction de Fresnel, peu importe où se trouve l'écran (pas trop loin sinon Fraunhofer car $\sim \infty$). La figure de diffraction va être incluse dans la tâche géométrique.

Parler propriétés générale de la diffraction : figure de diffraction se développe dans la direction parallèle à la plus petite dimension de l'objet diffractant lorsque l'on agrandit la fente, et qu'elle s'étale d'autant plus que cette dimension est petite.

Pour passer en mode Fraunhofer : On enlève la fente, et on place une lentille, on recherche son plan focal image et on place l'écran à cet endroit (on a alors des rayons qui arrivent de l'infini). On remet la fente et on obtient une figure de diffraction beaucoup plus large que la tâche géométrique : On est dans l'approximation de Fraunhofer. Quand on translate la fente, on voit que la figure de diffraction reste immobile. (Transfo de Fourier : caractéristique de la diffraction de Fraunhofer).

Retour à Fresnel : On ferme la fente pour obtenir une figure de diffraction largement étalée et on rapproche l'écran de la fente (ou on éloigne, au delà du point image de la lentille). Désormais, si on translate, la figure bouge. La lentille permet donc d'avoir une onde plane et des rayons à l'infini.

Remarque : Pour Fraunhofer, on doit avoir $D \gg x^2/\lambda$

On garde ce montage pour après.

I/ Influence de la diffraction sur la formation des images : Critère de Rayleigh

Le pouvoir séparateur exprime l'aptitude d'un instrument d'optique à séparer et à percevoir des détails rapprochés. Il est limité par la diffraction résultant de la limitation en largeur du faisceau (intervient si pupille d'entrée petite..) lorsque l'instrument d'optique est parfait (c'est à dire qu'il ne présente pas d'aberration). voir Poly M9 IV.1.

1) Le critère de Rayleigh

On crée l'image de deux fentes très proches grâce à une lentille. Pour avoir une meilleure luminosité, on utilise une fente plutôt qu'un diaphragme. Mettre condenseur x6 sur la lampe QI, on place devant une bifente + utilisation d'une fente et lentille. (il est précisé une lentille de 250 mm mais cela marche mieux avec une lentille de petite focale). Ne pas oublier de régler le condenseur de façon à observer le filament sur la lentille. On doit ajuster la position de la fente devant la lentille afin d'obtenir une image nette des bi-fentes sur la caméra CCD. Pour travailler en lumière monochromatique et réaliser les mesures, on doit ajouter un filtre interférentiel.

On se place maintenant au critère de Rayleigh en réduisant la largeur de la fente, c'est à dire quand la position du min(pic 1) = la position du max(pic 2). Le minimum entre les 2 tâches doit correspondre à 80% du maximum d'intensité. (Afficher la simulation que Philippe a faite.)

Une fois atteint, on souhaite avoir la largeur de la fente correspondant au critère de Rayleigh.

On calcule d'abord la valeur théorique : $a = \lambda L_1 / b l_2$ (ne pas oublier les incertitudes) avec b la distance entre les bifentes.

Voir Excel

Voir poly M9 IV.1 pour la démo et le schéma (attention, j'ai changé les notations et dit que a c'était la largeur de la fente par rapport au poly).

2) Mesure de la largeur d'une fente

→ On reprend le montage précédent (en Fraunhofer) et on place la fente. **Voir poly M9 I**.
On place une caméra CCD pour enregistrer la figure de diffraction.

Réglage de la caméra CCD : Sur Caliens, on peut augmenter le temps d'intégration pour saturer. On peut monter/descendre la caméra pour avoir le maximum d'intensité (prendre un pied qui permet ce déplacement).

Une fois que notre figure de diffraction est à peu près symétrique, on peut ajouter une lumière de fond pour remonter les minimums et les mettre en valeur.

Pour avoir les pics secondaires, on translate la CDD (l'ajustement se fera automatiquement sur Caliens). Mettre un rouleau pour s'affranchir de toute lumière parasite.

Eventuellement : faire une modélisation.

Utiliser pointeur pour mesurer les interfranges (distances centre à centre entre 2 pics lumineux). On en prend plusieurs pour plus de précision. On a $i = \lambda D/a$, on peut en déduire a , la largeur de la fente.

La comparer à la valeur théorique calculée précédemment.

Voir Excel

II - Diffraction par un trou : Théorème de Babinet

1) Diffraction par un trou

On éclaire un trou à l'aide d'un laser, et on observe la figure de diffraction sur un écran relativement éloigné pour se placer dans les conditions de Fraunhofer. On utilise des trous de 0,2 à 0,3 mm (**Prendre un trou, où il existe son inverse en taille pour la manipulation sur le théorème de Babinet: il existe une diapositive avec trou et disques complémentaire à Rennes**), et éloignez suffisamment le laser pour éclairer le trou de manière uniforme.

On mesure le rayon du 1er anneau noir, et on compare à la formule d'Airy.

$$\frac{1,22 \cdot \lambda}{\text{diamètre trou}} = \frac{\text{Rayon anneau}}{\text{Distance trou-écran}}$$

On mesure l'interfrange de la figure de diffraction (pour la prochaine manipulation).

Voir Excel

2) Théorème de Babinet

Cf Annexe 2 : On reprend le montage précédent et on remplace le trou par un disque opaque de même diamètre. On constate que les figures de diffraction sont les mêmes sauf à l'ordre zéro, le confirmer en mesurant l'interfrange, et en comparant à celle précédente.

Questions:

- Quelle est la différence entre diffraction de Fraunhofer et Fresnel ? Les 2 diffractions supposent d'avoir des distances suffisamment grandes par rapport à la taille de l'objet diffractant et à la tâche de diffraction pour faire l'hypothèse $\tan(\Theta) = \sin(\Theta) = \Theta$. On est

en Fraunhofer si la figure de diffraction est beaucoup plus large que la tâche géométrique.

Sinon elle est décrite par la diffraction de Fresnel. Cf Annexe.

À l'opposé de la diffraction de Fraunhofer, la diffraction de Fresnel doit prendre en compte la courbure du front d'onde, afin de rendre correctement le terme de phase des ondes interférentes en champ proche lorsque la distance augmente, c'est-à-dire lorsqu'on se place en champ lointain, le rayon de courbure des ondes sortantes diffractées devient très grand, si bien que ces ondes peuvent être approximées par des ondes planes selon la direction du plan image : on retrouve alors la diffraction ou approximation de Fraunhofer.

- Pourquoi utiliser un laser vert, plutôt qu'un laser rouge? Max de sensibilité de l'œil

- Dans les expériences de filtrage, vous avez parlé de transformée de Fourier, mais dans quel domaine ? Dans le domaine spatial (et non temporel).

- Comment mesurer la taille d'une fente autrement que par diffraction? Par microscope.

- Dans Fresnel, où est située la source ? la source est la pupille (source secondaire)

- Dans Fraunhofer, expliciter les incertitudes prises en compte? incertitude sur la distance D (qui n'est pas vraiment à l'infini) que l'on peut supprimer en utilisant une lentille, incertitude sur le rayon de courbure des ondes sphérique très grand.

- Quels types de réseaux existent ? Leur fonctionnement ? Réseaux en transmission, Réseaux en réflexion (= Réseaux blazés).

https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_diffraction,

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_interference/reseau-blaze-apprendre.html

Remarques :

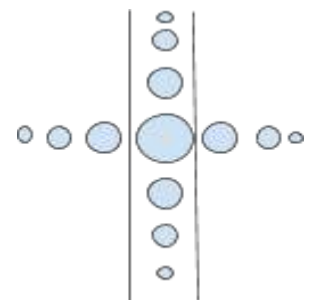
- Exploitation plus poussée des courbes. Il faut les exploiter jusqu'au dernier détail.

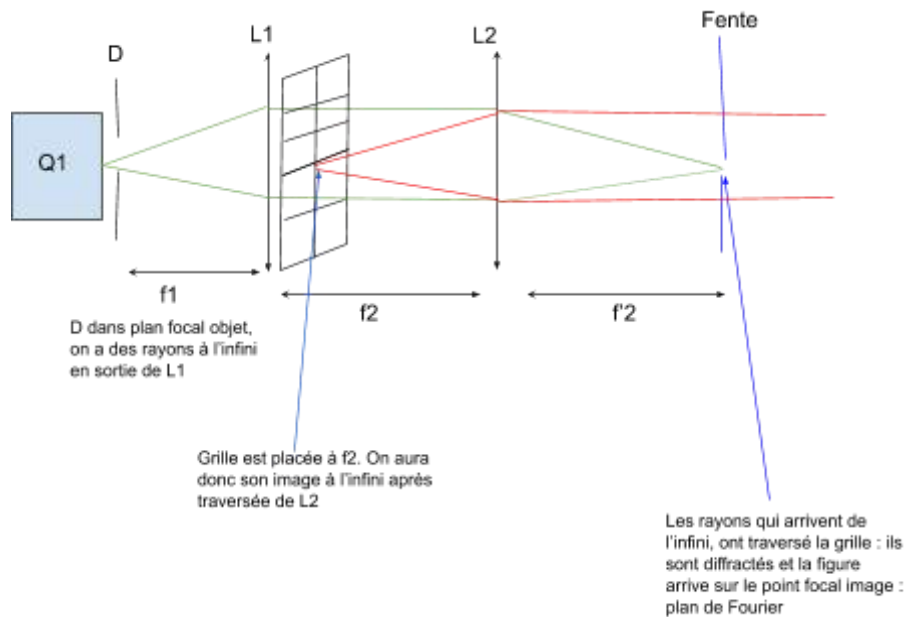
- Faire une mesure à l'ordre 1 et -1 pour s'affranchir de l'angle d'incidence dans les calculs.

→ **Partie intéressante à connaître (pour les questions)**

Filtrage de fréquences spatiales :

On utilise une lampe ULTRA GIGA MEGA puissante. On place un diaphragme en métal proche de la lampe : on doit observer le filament sur le diaphragme. On place la lentille L1 grâce à une auto-collimation par rapport au diaphragme (le diaphragme est alors dans le foyer objet). On place L2 de façon à avoir une image nette de la grille sur le mur (ou écran éloigné). Avec un écran, on repère le point focal image de L2 (environ 25cm) on sait qu'on y est quand on observe la figure de diffraction (pivoter écran pour mieux voir). On remplace l'écran par une fente, quand on ferme la fente, on doit avoir que les traits horizontaux. Ouvrir + le diaphragme pour avoir + de luminosité.





En fermant la grille, on sélectionne la composante verticale de la figure de diffraction. Ainsi on supprime les traits verticaux de l'image de la grille.

Manipulation à refaire (pas au point!)

-Diffraction sur un écran de smartphone

Utiliser un laser polarisé. On observe Figure de diffraction.

Observer au microscope les pixels d'un téléphone. Il faut étudier l'image obtenue pour savoir pourquoi on a obtenu cette figure.

<http://acces.ens-lyon.fr/acces/classe/smartphones/ressources/activite/mesure-de-la-taille-de-s-pixels-dun-smartphone>

<http://chimix.com/an17/bac17/ind2.html>