

LP n° 35 : Diffraction de Fraunhofer

NIVEAU : LICENCE

PRÉREQUIS :

- Optique géométrique
- Interférences
- Transformées de Fourier

PLAN :

1. Le phénomène de diffraction
2. Illustrations sur quelques figures usuelles
3. Application au filtrage spatial

BIBLIOGRAPHIE :

- [11] Optique et physique ondulatoire, Bertin-Faroux-Renault (1986)
- [51] Optique physique et électronique, D. Mauras [24] Ondes lumineuses, Champeau & Carpentier, de Boeck
- Polycopié d'optique de J. Leygnier
- TD de C. Sayrin, *Diffraction I & II*.

IDÉES À FAIRE PASSER :

A priori cette leçon n'est pas l'occasion de présenter la diffraction depuis rien. De ce fait, je pense que la première doit être rapidement menée pour consacrer un temps conséquent aux propriétés et applications de la diffraction dans le cadre de l'approximation de Fraunhofer.

Introduction : [11], p. 209 - Comme le faisceau est parallèle en sortie du laser, on obtient une tache de largeur a sur l'écran (ok optique géo). Quand on ferme la fente, a diminue : la tache sur l'écran s'élargit et on voit apparaître une tache centrale et des taches secondaires : DIFFRACTION. On est plus dans la limite de l'optique géométrique : on doit considérer l'aspect ondulatoire de la lumière. Avec quels principes expliquer ce phénomène?

Expérience : mise en défaut expérimentale de l'optique géométrique pour des diaphragmes de petite taille (laser + fente réglable + écran)

1 Le phénomène de diffraction

1.1 Approche par le principe d'Huygens-Fresnel

[11], p. 213 - Chaque point atteint par la lumière est une source secondaire. Ex : vagues qui arrivent sur une baie : l'état vibratoire en M est affecté par la présence du trou et ne dépend que des sources passant par ce trou. Idem, p. 215 - Énoncé du principe d'H-F pour ramener l'étude de la diffraction à un phénomène d'interférences. Expression mathématique? TD CS et [11] - Faire le schéma avec les 3 repères (x_0, y_0) ; (X, Y) ; (x, y) . Définir le facteur de transmission du diaphragme diffractant. Écrire l'état vibratoire au point M , sachant que les sources secondaires émettent une onde sphérique. Exprimer chacun des termes et arriver à la formule de diffraction de Fresnel.

Transition : On a trouvé l'expression mathématique du principe de H-F, quel est le lien avec la diffraction de Fraunhofer?

1.2 Diffraction dans l'approximation de Fraunhofer

TD CS p.2 (et [11] éventuellement) - Diffraction de Fraunhofer = diffraction de l'infini à l'infini = diffraction à l'infini d'une onde plane $1/D = 0$ et $1/d = 0$, le terme quadratique est négligeable. On arrive à la formule de Fraunhofer et on reconnaît la transformée de Fourier du facteur de transmission.

Comment faire en pratique? [11], p. 224 - Montage au tableau, arriver au montage à une seule lentille avec le diaphragme accolé. La figure de diffraction est dans le plan de formation de l'image géométrique de la source de sorte que la diffraction est un phénomène qui accompagne la formation des images lorsqu'on diaphragme les faisceaux. —

Transition : On a maintenant tous les outils pour comprendre la diffraction, on va s'intéresser aux figures de quelques objets.

2 Illustration sur quelques figures usuelles

2.1 Diffraction par une fente rectangulaire

slide position du problème : diaphragme et fonction de transmittance. Voir TD de C. Sayrin et [58], p. 270 - On fait NAÏVEMENT le calcul au tableau en calculant l'intégrale de manière pédestre et sans utiliser la TF tout de suite. On aboutit à l'amplitude de la vibration lumineuse en tout point puis à l'intensité de l'onde lumineuse dans le plan de l'écran, au point M. Dessiner au tableau le sinus cardinal carré. Et chercher les annulations de la fonction pour obtenir la taille de la tache centrale notamment.

Expérience : En fait l'expérience de la diffraction par une fente. En préparation on peut avoir ajusté le profil sur CCD, montrer les résultats et éventuellement remonter à a . En tout cas on montre que la taille de la tache centrale est inversement proportionnelle à celle de la fente, et on peut même regarder la dépendance en λ .

Animation Gastebois si ça marche sur les ordi... (pas gagné) puis refaire le lien entre la figure de diffraction et la TF et l'énoncer comme une propriété générale... Que l'on va illustrer tout de suite!

2.2 Diffraction par un diaphragme circulaire

slide position du problème : diaphragme et sa fonction de transmittance. [24], p.172 - On calcule l'amplitude puis l'intensité de l'onde lumineuse dans le plan de l'écran, au point M mais cette fois en se servant de la transformée de Fourier. Introduire une longueur adimensionnée : variable de la fonction de Bessel, à dessiner au tableau. On cherche les annulations de la fonction : on a la taille de la tache centrale (84% de la luminosité totale) dite tache d'Airy, taille inversement proportionnelle à la taille du diaphragme. Animation Gastebois (toujours on supposant que ça fonctionne)...

Expérience : On peut remplacer la fente par un diaphragme circulaire de taille variable mais c'est plus compliqué...

2.3 Propriétés de la diffraction de Fraunhofer

Translation du diaphragme dans son plan ([58], p. 273) et/ou théorème de Babinet ([58], exercice 21-5, p. 279 et corrigé p. 651)? -> permettra de faire de la diffraction par des structures périodiques mais pas l'objet de cette leçon.

Transition : Comment exploiter la diffraction pour modifier les images?

3 Applications de la diffraction au filtrage spatial

J'ai un souvenir que cette expérience (théorie et pratique) est bien décrite dans le livre de Thibierge [36].

3.1 Principe

[24], p. 401 - On a vu qu'une petite taille caractéristique de l'objet diffractant donnait une grande tache de diffraction. En fait il y a un lien : les fréquences spatiales (À DÉFINIR!!!). On observe la figure de diffraction dans le plan de Fourier. Un objet de hautes fréquences spatiales donne une figure de diffraction de basse fréquence spatiale dans le plan de Fourier. La répartition de l'éclairement dans le plan de Fraunhofer donne une illustration de la répartition des fréquences spatiales de l'objet. Modifier la figure de diffraction modifie les fréquences spatiales de l'objet et inversement.

3.2 Montage expérimental

Cf. TD de C. Sayrin *Diffraction II*.

Expérience : Monter l'expérience d'Abbe en laser ou en lumière blanche avec comme objet diffractant une grille.

Faire le schéma explicatif au tableau avec les TF directe et réciproque. Couper les fréquences avec une fente verticale, horizontale puis diagonale. Le réglage pour cette expérience doit être fait avec précision, et on préfère utiliser le montage à deux lentilles pour avoir de la place entre pour travailler. Propriétés à énoncer avec le **slide** :

- Intensité diffractée indépendante de la position du diaphragme dans son plan mais dépend de sa forme

- Toutes les fentes horizontales contribuent à la tache de diffraction verticale et inversement
- Détail étroit : figure large de diffraction.

Conclusion : on a défini la diffraction comme des interférences avec le principe d'HF, permettant d'obtenir un moyen facile d'expliquer les figures de diffraction de différents objets. Ce phénomène est important d'un point de vue théorique et pratique : la diffraction joue un rôle dans la formation des images et peut-être utilisée comme pour l'expérience d'Abbe. Pour aller plus loin dans l'utilisation, on peut penser à la strioscopie qui consiste à placer un objet de phase à la place du diaphragme. Cette méthode permet d'isoler dans une image des petits détails ou des variations d'indice comme lors de la compression de l'air ou d'autres fluides.

BONUS :

- Si on trouve que c'est trop de calcul alors faire l'approximation de Fraunhofer avant de commencer le calcul d'Huygens-Fresnel et arriver directement sur la formule de Fraunhofer.
- Bien relire tout le corrigé des TD de Clément Sayrin... Y compris pour les questions, notamment sur la diffraction de Fresnel.
- Si on a un diaphragme circulaire assez petit c'est mieux de faire l'expérience avec pour illustrer le II.2) car avec la fente on ne voit pas le croix de Mills, seulement une diffraction horizontale!
- On a diffraction aussi avec les lentilles car ce sont des diaphragmes circulaires : on voit la tâche d'Airy de la lentille en fait. Cela pose des problèmes en astronomie pour la distinction des tâches, et en microscopie : ouverture numérique limitant.

