

**Rapport sur la LP 19 :
Diffraction de Fraunhofer**

Correcteurs : david.lopes_cardozo@ens-lyon.fr
alain.miffre@univ-lyon1.fr

La leçon présentée avait pour fil rouge la transformée de Fourier, qui lie effectivement transparence de l'objet diffractant et figure de diffraction dans les conditions de Fraunhofer. Toutefois, pour une leçon placée au niveau Licence 2, la transformée de Fourier ne peut être un pré-requis. Les calculs de figure de diffraction pour des objets simples peuvent très bien être menés sans faire appel à la transformée de Fourier. De manière générale, on s'attend à ce que soient dégagées les caractéristiques fortes de la diffraction de Fraunhofer : la figure de diffraction est centrée sur l'image géométrique de la source, invariante par translation de l'objet diffractant dans son plan etc (des propriétés qui sont effectivement celles de la transformée de Fourier).

Ci-dessous le plan qui a été présenté et les commentaires liés. Faire des sous-parties aurait permis de mieux structurer la leçon, les parties II et III ayant des titres très proches le plan ne fait pas apparaître assez clairement le fil de pensée qu'on va suivre dans cette leçon.

En introduction, il aurait été bien d'utiliser le fait qu'internet sera disponible à l'oral et donc une source énorme d'images de diffraction de la lumière mais aussi d'ondes à la surface de l'eau (pour l'introduction seulement). Une manipulation introductive avec un laser est bienvenue. De manière générale, l'introduction était trop vaste (préférer cibler) et proposait des arguments discutables en l'absence de plus de précisions (la limite de diffraction jugée moins intéressante que la TF).

I. Principe d'Huygens-Fresnel (12 minutes)

II. Approximation de Fraunhofer (6 minutes)

Le principe d'Huygens-Fresnel a été présenté de manière claire mais beaucoup trop en détail (12 minutes pour la partie I). Evitez de présenter à nouveau les schémas de la partie I, même en un peu différent, sur transparent dans la partie II, on peut beaucoup gagner en efficacité en évitant ces redondances. Il faut arriver à être rapide et précis dans cette partie, il faut énoncer le principe de manière très simple, chaque point de l'espace pouvant être considéré comme une source secondaire émettant une onde sphérique... et arriver rapidement à une formule, la plus simple possible, exploitable pour la suite de la leçon. Les parties I et II pourraient donc n'en former qu'une, en écrémant au maximum pour éviter les développements théoriques, et arriver rapidement au coeur de la leçon. Les deux parties ont pris ici 18 minutes en tout, ce qui est un peu trop. De plus, l'approche était trop théorique, l'approximation de Fraunhofer étant explicitement prise pour retrouver la transformée de Fourier (ce qui est vrai, c'est même très bien d'avoir cela en tête, un développement limité lorsqu'on prend la limite d'une source à l'infini et d'une observation à l'infini faisant effectivement apparaître différents termes : l'optique géométrique à l'ordre le plus bas, puis le terme de Fraunhofer, puis celui de Fresnel ...). Il aurait ainsi été intéressant de passer du temps à justifier les approximations effectuées et notamment l'origine de la relation $kOP^2/OM \ll 1$, décisive pour discriminer la diffraction dans le régime de Fresnel, de celle dans le régime de Fraunhofer. Veillez également à adopter les conventions habituelles de notation (exemple : a pour la taille de l'objet diffractant). On pourrait avoir une approche plus expérimentale, par exemple le cas de l'observation à l'infini d'une source à l'infini est typique de l'astronomie et survient dans différents montages.

III. Diffraction de Fraunhofer (5 minutes)

Dans cette partie, l'introduction des fréquences spatiales a permis de simplifier les notations, ce qui donne des formules plus simples à discuter. Une discussion trop technique sur le lien avec la TF a été faite sur transparent. On aurait plutôt attendu la discussion de propriétés de la diffraction de Fraunhofer, avec simplement une mention au fait qu'elles viennent de la TF. Une telle discussion aurait d'ailleurs pu être menée expérimentalement.

IV. Expérience d'Abbe (14 minutes)

La première expérience arrive un peu tard ici, la leçon se prêtant bien aux petites manipulations de démonstration. Trois montages ont été abordés : l'expérience d'Abbe, le détramage et la strioscopie. Si on attend de vous une manipulation assez avancée et entièrement exploitée, celles-ci reposaient trop sur la transformée de Fourier encore une fois. Le saut conceptuel entre l'introduction de la diffraction dans les premières parties et ces manipulations était trop grand. Même si ces expériences sont riches et pourraient être présentées dans cette leçon, leur interprétation reposait entièrement ici sur une compréhension excellente de la TF.

Quelques remarques sur la présentation des montages :

Il ne faut pas hésiter à prendre le temps d'expliquer l'utilité de chaque élément du montage (même en un mot). Si cela est possible, faire le montage en direct permet justement d'expliquer pas-à-pas pourquoi on ajoute tel et tel élément. De plus, si vous rencontrez des difficultés sur un montage, n'abandonnez pas trop vite, il vaudra toujours mieux avoir présenté une seule manipulation qu'on a finalement réussi à faire marcher et qu'on a complètement exploitée, plutôt que trois montages dont on sabre un peu les conclusions.

S'il est louable de vouloir faire une manipulation avancée et éviter de donner l'impression de faire une mesure quantitative de manière trop artificielle, comme tracer l'évolution de la largeur de la tache centrale de diffraction en fonction de la largeur d'une fente et en faire une régression linéaire (ce qui n'est pas inintéressant en soi, mais peut sembler un peu « forcé » si cela est mal présenté), il n'est pas nécessaire de chercher des manipulations complexes et difficiles à interpréter. Des mesures simples peuvent être très riches. Par exemple, une mesure discutant du critère de Rayleigh peut permettre de discuter divers aspects de la diffraction de Fraunhofer, du brouillage, d'applications concrètes de la diffraction mais aussi d'utiliser un capteur CCD et de discuter de l'influence de la taille des pixels sur la mesure : la manipulation est simple mais riche et ancrée dans le présent (on oublie trop souvent de parler des capteurs et d'utiliser des caméra ou barrettes CCD plutôt que du papier millimétré).

De plus, nous vous invitons à vous poser la question de ce qu'est une manipulation quantitative. Ce n'est pas forcément le schéma habituel « je fais une mesure, j'estime les barres d'erreur, je compare à une valeur tabulée, je conclus », qui peut être très rébarbatif et artificiel. Une approche « je souhaite mettre en place tel montage/mesurer tel effet, j'ai besoin de telle résolution, j'ai tels éléments à disposition, tel montage devrait donc permettre de faire ce que je veux, je le mets en place et montre que cela marche » est tout aussi quantitatif et plus proche de la démarche scientifique.

Questions :

- **La diffraction de Fraunhofer est forcément obtenue avec une source et une observation à l'infini** ? Non, on peut aussi faire un montage à une lentille, conjuguant source et écran, donnant Fraunhofer approché (on rend le terme de Fresnel négligeable, mais pas le terme d'ordre supérieur).
- **Que se passe-t-il si on prend, au lieu d'un objet de transparence t , un objet de transparence $1-t$** ? Même figure, sauf pour l'image géométrique.
- **Comme, expérimentalement, peut-on dire si on est plutôt proche des conditions de Fraunhofer ou de Fresnel** ? Dans le cas de la diffraction de Fraunhofer, la diffraction ajoute à l'image géométrique des structures en dehors de celle-ci, alors que la diffraction de Fresnel ajoute des structures dans l'image géométrique.
- **Donner une idée simple du phénomène de diffraction à un élève néophyte.** Dans le cadre de l'optique géométrique, un rayon, définit par une seule direction de propagation, peut être dévié ou réfléchi par un objet, il reste un rayon, définit par une nouvelle direction de propagation. Dans le cadre de l'optique ondulatoire, un seul vecteur d'onde incident sur un objet peut donner en réflexion ou transmission une onde qui ne peut plus être décrite par un seul vecteur d'onde.
- **Quand survient la diffraction** ? Lorsque la taille caractéristique des objets se rapproche de la longueur d'onde de la lumière. Attention, une fente diffractante de la taille de la longueur d'onde de la lumière va donner une ouverture pour la tache centrale d'environ 60° , ce qui est déjà un effet très notable : pour une observation à 1 m de distance, on aura une tache centrale de l'ordre de la dizaine de centimètres. Dire que si la longueur d'onde est négligeable devant la taille de la fente la diffraction est négligeable est par trop simpliste : si on prend une fente dix fois plus grande que la longueur d'onde, on observera très bien une tache de diffraction, par exemple à 1 m de distance, mais celle-ci aura effectivement une taille très petite devant la distance d'observation, ce qui ne la rend pas forcément négligeable pour autant.
- **Quelle différence faites-vous entre diffraction et réflexion** ? Pour répondre à cette question, on peut, par exemple, revenir à la définition de la diffraction par Sommerfeld : Tout écart à la propagation rectiligne qui ne peut s'expliquer ni par une réflexion, ni par une réfraction.