

MP08

Diffraction des ondes lumineuses.

Correcteurs : Arnaud Le Diffon¹ et Etienne Thibierge²**Montage présenté le vendredi 16 novembre 2012**

Extraits des rapports du jury

Je vous rappelle que le rapport 2012 de l'épreuve de montage s'attache à présenter en détails les attentes et exigences du jury. Je vous encourage vivement à le lire.

2012 : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et l'on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer (tant sur l'onde incidente que sur le plan d'observation) sont remplies si l'on utilise les formules associées. 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.

2009 : La diffraction de Fraunhofer est souvent évoquée sans que ses conditions d'obtention soient bien connues. Rappelons que les phénomènes de diffraction peuvent s'observer avec d'autres sources lumineuses que des lasers.

2008 : Dans toute expérience d'optique, les figures sont de bien meilleure qualité quand les appareils sont convenablement alignés.

2004 : Dans ces montages, les mesures de largeurs de fentes mal calibrées, ou dont la largeur est donnée de manière indicative (sans indication de précision), ne peuvent pas constituer le thème central de l'étude. Il serait illusoire d'espérer déterminer avec une précision satisfaisante la longueur d'onde d'un laser He-Ne à partir de l'analyse de la figure de diffraction par une fente, même calibrée. L'utilisation de montages avec réseaux doit être mieux maîtrisée, en évitant de confondre angles et déviations par rapport à l'ordre zéro. Dans les expériences de filtrage spatial de type passe-haut, l'utilisation d'objets de phase serait certainement plus pertinente que celle d'une plume.

Commentaires généraux

Le montage a été préparé avec sérieux, et la présentation était vivante et agréable à suivre. Attention à ne pas trop personnaliser les objets que vous utilisez, pensez à inclure le jury (puis vos élèves) dans la discussion.

Le tableau était très propre, mais attention à ne pas tomber dans l'excès : le temps passe très vite lors d'une préparation de quatre heures ! Ne vous habituez pas à trop écrire, les tableaux de certaines salles du lycée Berthelot sont petits.

Cependant le contrat « montage » n'a été que partiellement rempli. Cécile a beaucoup manipulé, et a installé en direct presque toutes ses expériences en les commentant, ce qui est très appréciable. Néanmoins une seule expérience a donné lieu à une mesure, ce qui n'est pas suffisant. Le rapport 2012 précise que « le temps de la présentation doit être utilisé pour réaliser des mesures quantitatives et analyser les résultats obtenus » et ajoute ensuite que des expériences qualitatives de mise en évidence « peuvent servir d'introduction ».

Il est indispensable de soigner l'alignement des montages optiques. C'est une condition nécessaire pour avoir des images propres et exploitables. L'alignement doit se faire pas à pas, partant de la source puis en passant par chaque élément optique, et pas seulement en regardant approximativement la position de l'image sur l'écran.

De même, la plupart des figures étaient microscopiques. Non seulement vous serez pénalisés si on ne voit plus rien à 50 cm de l'écran, mais en plus vous risquez d'être cerné de toute part par le jury, ce qui est assez désagréable.

Pour avoir des images de taille raisonnable, on utilise une lentille de projection. Il s'agit d'une lentille convergente de courte focale (5 ou 10 cm), servant à former une image sur un écran placé loin (1 ou 2 m). L'écran étant placé à une distance grande devant la focale, le plan objet dont on forme l'image sur l'écran est alors voisin du plan focal objet de la lentille. Déplacer la lentille de projection en gardant l'écran fixe permet d'observer sur l'écran différents plans objets.

Pensez à rendre vos expériences visibles. Il est maladroit de placer l'expérience introductive à l'avant de la paillasse, et qu'elle gêne pendant tout le reste du montage.

Un autre point auquel vous devez être vigilant est la sécurité laser. Cécile a fait très attention par moments, mais s'est aussi retrouvée avec le faisceau sur la monture de ses lunettes.

Enfin, n'hésitez pas à changer de laser si le faisceau est de mauvaise qualité **et à apporter celui qui ne va pas aux techniciens**. Celui utilisé par Cécile donnait une figure d'Airy parasite très visible, c'est dommage.

1. arnaud.le_diffon@ens-lyon.fr

2. etienne.thibierge@ens-lyon.fr, <http://perso.ens-lyon.fr/etienne.thibierge>

Retour sur le montage présenté

Reprenons maintenant quelques points particuliers, sans revenir sur les remarques générales.

I) Le phénomène de diffraction

Critère de Rayleigh

La place de cette expérience dans le plan du montage nous semble un peu surprenante, car elle n'est pas fondamentale. Ce serait sans doute plutôt le genre d'expérience à placer en fin de montage pour faire tampon.

La réalisation doit être plus soignée, la fente était mal choisie et le brouillage n'était pas atteint. Ne pas hésiter à aller voir l'écran de près pour vous assurer qu'on ne distingue plus les deux fentes.

Diffraction de Fresnel et de Fraunhofer

Il nous semble dommage de passer si vite sur la diffraction de Fresnel. Duffait en propose une étude expérimentale quantitative, Sextant en parle rapidement, et Bruhat fait une étude théorique. Pour une première approche, vous pouvez vous référer au poly 2011-2012. Le montage proposé enlève une lentille (superflue) par rapport à celui de Duffait. Si vous choisissez de présenter cette expérience, l'alignement est crucial et l'utilisation d'un banc d'optique incontournable.

La définition du nombre de Fresnel F donnée par Cécile n'est pas la plus générale : elle suppose implicitement $a \gg b$, où a est la distance entre le point source et l'objet diffractant et b celle entre l'objet diffractant et le point d'observation (notations Duffait). Pour la diffraction par un trou de rayon ρ , le nombre de Fresnel s'écrit :

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

La définition donnée ici de F correspond à celle de k donnée par Duffait : c'est le nombre de zones de Fresnel dans la pupille diffractante vues depuis le point d'observation. On peut aussi voir F comme l'ordre de grandeur des termes d'ordre deux dans le développement de la phase dans le principe de Huygens-Fresnel.

Dans mon explication improvisée au tableau j'ai dit qu'il était possible d'avoir $a = -b$. Suite à des questions j'ai vérifié, et je confirme. L'explication est donnée par Sextant p. 139, avec des notations légèrement différentes (r et s au lieu de a et b).

Enfin, il est dommage de ne jamais évaluer numériquement le nombre de Fresnel alors que le jury demande que les conditions de Fraunhofer soient testées.

II) Propriétés de la diffraction

Transformation de Fourier

L'étude de la largeur de la tâche de diffraction par une fente de largeur réglable est à mener de façon quantitative, en sortant Caliens pour faire les mesures et Regressi pour faire un ajustement de paramètres. C'est d'autant plus dommage de ne pas présenter cette mesure qu'elle est simple.

Spores de lycopodes

Cette expérience a sa place dans le montage, mais il faut mieux la discuter. On n'observe pas une figure d'Airy bien contrastée en raison de la dispersion en taille des lycopodes : chaque spore produit sa propre figure d'Airy, dont la taille dépend du diamètre du spore. Sur l'écran toutes les tâches se superposent de façon incohérente, donnant une figure d'Airy large. On ne peut donc obtenir qu'un ordre de grandeur de taille typique des spores. Présenter un calcul d'incertitude ici n'a aucun sens.

Si vous présentez cette expérience, il faut savoir mener la discussion en termes de facteurs de forme et de structure. On se reportera alors à Sextant p. 123.

Je pense que cette discussion ouvre alors la porte à des expériences sur les réseaux, qui ont parfaitement leur place dans ce montage, et qui peuvent compléter ou substituer la partie sur le filtrage spatial. Attention à bien distinguer ces expériences de celles du montage de spectrométrie : ce sont les mêmes, mais ce qu'on veut montrer est différent. Ce montage suppose connues les propriétés des raies, et les utilise pour étudier les réseaux. C'est la démarche inverse qui est suivie dans le montage de spectrométrie.

III) Traitement d'image

Ces expériences n'ont pas été très probantes car Cécile n'a jamais montré le plan de Fourier. De façon générale il y a deux plans intéressants à montrer en alternance à l'aide d'une lentille de projection : le plan de Fourier, à l'image géométrique du trou source, où l'on observe la figure de diffraction par l'objet et où on effectue le filtrage, et le plan image géométrique de l'objet, où l'on observe les conséquences du filtrage.

Expérience d'Abbe

Le choix de la grille est important : elle doit avoir un pas suffisamment petit pour que la figure de diffraction soit suffisamment élatée dans le plan de Fourier. Il faut également prendre au moins un support tournant pour pouvoir aligner la fente servant à filtrer avec un des axes de la croix de Mills.

Enfin pour avoir des images plus jolies on pourra utiliser un épurateur de faisceau, ce qu'il faudra commenter car un épurateur ne fait rien de plus que du filtrage spatial.

Strioscopie

L'expérience a échoué en raison d'un mauvais choix de lentille, qui ne se fait pas au hasard ! Le but est de se placer dans les conditions de Fraunhofer : le trou source doit donc être placé dans le plan focal objet d'une lentille convergente, qu'on prend plutôt de courte focale pour minimiser l'encombrement sur la paillasse.

Questions

Les questions à la suite d'un montage portent quasi-exclusivement sur les protocoles expérimentaux, les mesures que vous avez réalisées et l'interprétation que vous en avez faite.

Si jamais vous avez des questions théoriques ou culturelles, on pourra penser ici à l'énoncé exact des conditions de Fraunhofer ou du principe de Huygens-Fresnel. On pourra également s'intéresser aux différences entre régimes de diffractions de Fresnel et de Fraunhofer, au rôle des interférences dans la figure de diffraction de N objets, à détailler le lien entre diffraction et transformation de Fourier ...

Conclusion

Le montage que nous avons vu est positif dans l'attitude face aux expériences et dans la présentation. Néanmoins, la réalisation des expériences doit être plus soignée et plus rigoureuse, et il faut garder en mémoire qu'un montage doit contenir plusieurs expériences quantitatives.

Si vous avez d'autres questions, nous restons à votre disposition par mail, en cours, en TP ou dans de futures séances de correction. N'hésitez pas !