

MP Optiques : 08, 09, 10, 11, 13, et 14.

Elio Thellier.

Session 2021

Commencer par demander une lampe "de chevet", ça rend la vie facile en optique.

Épurateur de faisceau

Étapes du réglage

- On commence par régler l'horizontalité et l'orientation du laser, sans l'objectif de microscope mais avec le diaphragme (il faut le faire passer dans le trou). On vise le trou micrométrique avec le laser et on vérifie qu'il passe bien à travers le trou en utilisant une feuille.
- Ensuite on ajoute l'objectif de microscope entre le laser et le trou. On a une vis de réglage haut/bas et droite/gauche, on essaie d'avoir la tâche la plus lumineuse possible et de la centrer
- Enfin on translate le trou micrométrique en le rapprochant de l'objectif tout en ajustant à chaque mouvement les deux vis de l'objectif. On procède par itération ! Quand on voit de beaux anneaux c'est qu'on n'est pas loin, continuer d'approcher !

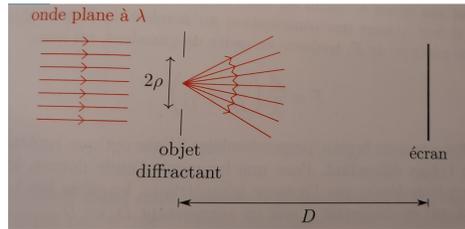
MP 08 : Interférences lumineuses

- Fabbry perrot (+ cavité confocale)
- Michelson (+ avec polariseur dans les bras)
- Babinet
- (trous d'Young)

MP 09 : Diffraction des ondes lumineuses

La diffraction de la lumière est un phénomène caractéristique de sa nature ondulatoire : lorsque la propagation d'une onde est limitée par un obstacle, on observe une figure qui n'est pas prédite par les constructions de l'optique géométrique. On distingue deux régimes limites particuliers de diffraction, Fraunhofer, en champ lointain, et Fresnel, en champ proche. Les propriétés de ces deux

régimes sont différentes et on caractérise le passage de l'un à l'autre par le nombre de Fresnel qui caractérise la géométrie du système :



$$F = \frac{\rho^2}{D\lambda}$$

- De Fresnel à Fraunhofer
- Régime de Fresnel
- Étalonnage fente + lycopes
- Pouvoir de résolution
- (Filtrage de Fourier)

MP 10 : Spectroscopie optique :

- Fabbry perrot + cavité focale
- Michelson
- Réseau gonio
- Illustration spectro commercial

MP 11 : Emission et absorption de la lumière

- Fabbry perrot + cavité focale
- Beer Lambert
- Réseau gonio

MP 13 : Biréfringence

- Compensateur de Babinet
- Methode de la $\frac{\lambda}{4}$
- Polarisation circulaire et cannelures
- (Michelson avec polariseur dans les bras (ALD))

MP 14 : Polarisation des ondes EM

- Angle Brewster gonio
- Méthode de la $\frac{\lambda}{4}$
- Loi de malus
- 2 oscillos + GBF 2 voies illustration polarisations
- Polarisation circulaire et cannelures
- Michelson avec polariseurs dans les bras

1 De Fresnel à Fraunhofer

On observe le passage de la diffraction de Fresnel à Fraunhofer avec une fente placée directement en sortie du laser épuré, et déplace l'écran. En champ proche on est en régime de Fresnel, en champ lointain, régime de Fraunhofer. On peut déjà remarquer une première caractéristique de chacun des deux régimes : en régime de Fresnel on observe une modulation d'intensité lumineuse à l'intérieur de la tâche géométrique de l'objet diffractant, tandis qu'en régime de Fraunhofer elles sont à l'extérieur.

On va s'intéresser à cette figure de diffraction puisque chacune d'elles peuvent nous donner des informations sur l'objet diffractant.

2 Caractérisation d'un objet diffractant : régime de Fresnel

- Doublet de 50mm
- Petit miroir plan pour les autocollimations
- Ecran NON métallique pour pas avoir de réflexions parasites. Prendre un écran random sinon et placer une feuille de papier blanche dessus. Commode d'ailleurs pour régler l'horizontalité
- Laser épuré

- Doublet de 200mm pour faire le faisceau parallèle en sortie du laser épuré
- Trou de 2mm de diamètre
- Pied à coulisse pour vérifier la taille du trou

Protocole

- Après avoir réglé comme il faut l'épurateur de faisceau, être très rigoureux avec l'alignement des optiques et du banc : commencer par le banc. Il faut que lorsque mon écran est très proche du laser et très loin la tâche reste centrée autour du même point. Ne pas hésiter à faire des croix sur la feuille. Et à chaque optique que j'ajoute vérifier que c'est toujours le cas, que le faisceau est toujours centré.
- Autocollimater le doublet de 200 avec la sortie de l'épurateur de faisceau.
- On éclaire ensuite l'objet diffractant avec cet éclairage parallèle.
- On place l'écran à une distance D de l'objet. Cette distance **ne doit PLUS** changer tout le long de l'expérience.
- Ensuite j'intercale une lentille de 50mm entre l'objet et l'écran de sorte à faire l'image sur l'écran d'un certain plan d'observation situé après l'objet diffractant.
- Je déplace la lentille jusqu'à observer un nombre F de zones de Fresnel. Je relève alors la valeur de y, distance entre la lentille et l'écran, que je relie à b par des formules de conjugaison : $b = D - y - \frac{yf^2}{(f^2 - y)}$
- Je considère que je n'ai aucune incertitude sur F mais que toute l'incertitude est sur le repérage de la position donc sur y : je relève les positions extrêmes auxquelles je peux considérer que j'ai bien F zones de Fresnel. Je prends pour y la valeur moyenne et pour incertitude **LA MOITIE DE (MODIFIER LE PROGRAMME PYTHON !)** l'écart entre les deux valeurs extrêmes de position. Ensuite j'en déduis l'incertitude sur $\frac{1}{b}$ à l'aide d'une méthode de Monte Carlo : sur chaque point de mesure on simule un certain nombre de valeurs de y dispersés par une loi normale autour de la valeur que j'ai mesurée, avec pour écart type l'incertitude sur y, et renvoie à chaque fois la valeur de b correspondante, qui a alors la forme d'une gaussienne autour de la valeur moyenne de b et d'écart type qui me donne directement l'incertitude sur b.
- Enfin on trace $F\lambda$ en fonction de $\frac{1}{b}$, on effectue une régression linéaire, et le coefficient directeur nous donne directement le rayon du trou au carré.
- On compare avec la mesure au pied à coulisse, on vérifie qu'elles se recoupent.

Quelques petits compléments théoriques

[PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE, DE BOECK] Pour l'explication du découpage de la surface d'onde sphérique en zones de Fresnel.

On a vu ainsi comment la figure de diffraction de Fresnel dépendait des caractéristiques de l'objet diffractant et nous permettait de remonter à des informations sur celui-ci. Qu'en est-il pour les figures de diffraction de Fraunhofer ?

3 Étalonnage d'une fente réglable (Diffraction de Fraunhofer exacte).

Il existe un montage qui plutôt que d'obtenir un nombre de Fresnel petit devant 1, nous permet d'obtenir un nombre de Fresnel STRICTEMENT égal à 0. On parle de diffraction de Fraunhofer exacte. Ce régime a des caractéristiques particulières : invariance de la figure de diffraction par translation de l'objet diffractant notamment. En fait on peut montrer par le calcul que la figure de diffraction de Fraunhofer exacte est la transformée de Fourier de l'objet diffractant. Donc traduire l'objet revient simplement à multiplier sa TF par une phase globale qui n'affecte pas l'éclairement. Bon et on voit bien que la TF d'un objet donne beaucoup d'informations sur l'objet. Ça peut par exemple permettre d'étalonner une fente !

Mesure simple et très reproductible, belle droite où on peut comparer le coefficient directeur avec 1 (parce que le pas de vis est supposé bon, l'usure affecte juste le zéro), bien pour se mettre en confiance.

J'ai là une fente réglable avec un vernier, mais le vernier ne correspond pas à l'épaisseur de la fente. Si je veux l'utiliser plus tard j'ai besoin de connaître précisément ses dimensions, pour cela je vais utiliser sa figure de diffraction de Fraunhofer exacte. En effet je sais que la transformée de Fourier est un sinus cardinal.

- Laser épuré
- Miroir plan
- Fente à étalonner
- Caméra CCD Ovio + logiciel Evastudio
- Lentille de 200 pour collimater le faisceau laser
- Lentille de 1000 pour la projection (comme f_2 intervient dans la formule si il y a le temps (impossible, je préfère filtrage fourrier) on peut la mesurer avec incertitudes. cf ALD

Protocole

Largeur de la tâche centrale de diffraction : $\frac{2\lambda_0 f_2}{a}$ avec a la largeur de la fente. Incertitudes sur f_2 et a_{vernier} .

On trace a_{reel} en fonction de a_{vernier} .

4 Taille moyenne d'un lycopode (Diffraction de Fraunhofer exacte).

- Tout comme avant.

- Écran avec feuille blanche dessus
- Lycopodes saupoudrés entre deux lamelles de microscopes

Protocole

- Réaliser un montage de Fraunhofer exact : venir placer l'objet ponctuel créé par l'épurateur au foyer d'un doublet de 200mm par autocollimation. Placer un doublet de 1000 sur le chemin du faisceau parallèle et placer un écran dans le plan focal.
- Introduire la lamelle de lycopode entre les deux lentilles et observer la tâche d'Airy. Cette tâche d'Airy résulte de la diffraction de N pupille aléatoires. Par théorème de Babinet et quelques calculs on obtient en fait la même figure de diffraction que pour une pupille circulaire.
- Bien **expliquer ici que on utilise la propriété importante de la diffraction de Fraunhofer** qui est que la figure de diffraction ne bouge pas si on translate l'objet le long du plan : **c'est pour ça que les figures de diffraction de chacun des spores se superposent !**
Remarque : en faisant une TF on pourrait remonter à la distribution de la taille des grains autour du rayon moyen. C'est de la granulométrie, très utilisée dans l'industrie des poudres !
- Mesurer le rayon de la tâche d'Airy avec une règle sur un écran. Du fait de la figure d'interférence de N pupilles aléatoirement réparties on ne peut pas utiliser une caméra car on a un trop mauvais contraste. Figure N fois plus brillante au centre.

Exploitation

La mesure du rayon donne $R_{mes} = f'\theta$ or $\theta = \frac{1,22\lambda}{D_{lyc}}$ d'où $D_{lyc} = \frac{1,22\lambda}{\theta}$. On obtient quelque chose de l'ordre de $40\mu m$.

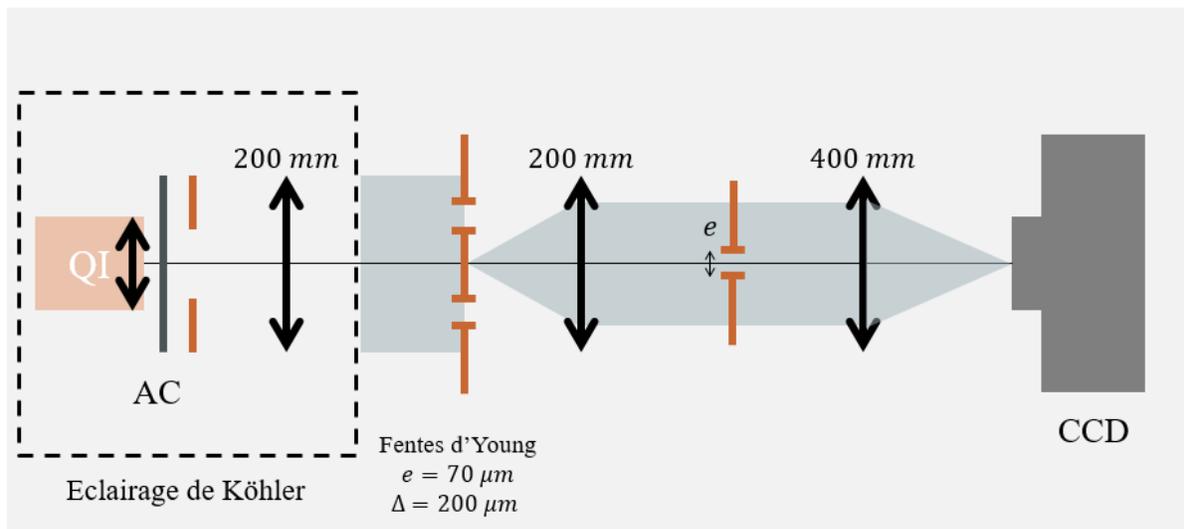
Estimation des incertitudes : incertitude sur la mesure du rayon, sur la mesure de f' . Biblio, d'où vient le 1.22 dans la formule ?

5 Pouvoir séparateur en fonction de lambda

Matériel dans l'ordre du banc

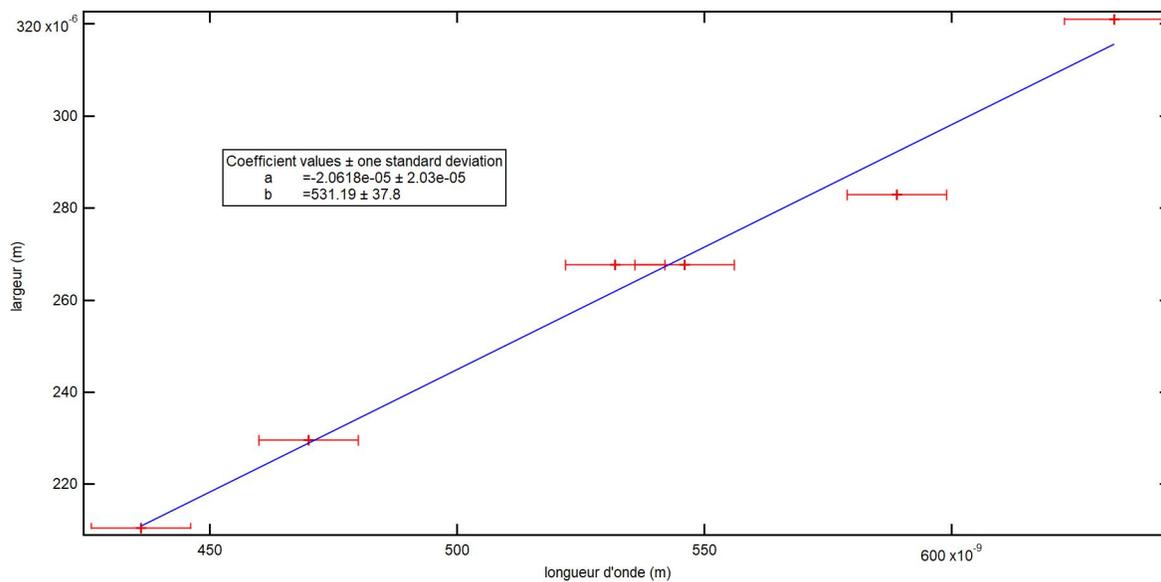
- Lampe blanche + condenseur
- Filtre anticalorique
- Diaphragme (on y fait l'image du filament, comme éclairage de Köler)
- Rosace de filtre interférenciels
- Lentille $f = 200$ pour faire un faisceau parallèle (fin éclairage de Köler)
- Fentes d'Young (objet initial)

- Lentille $f = 200$ pour mettre les bifentes à l'infini (début Fraunhofer exacte)
- Fente réglable avec vernier
- Lentille $f = 500$ pour faire l'image des bifentes sur la CCD (fin Fraunhofer exacte)
- Camera CCD osios, avec lunettes de soleil aimantées



On veut montrer que plus la fente est fine, plus elle diffracte les objets, jusqu'à ce qu'on ne puisse plus discerner les deux fentes initiales. **Attention** : Le logiciel avec la CCD ne se lance qu'une fois qu'on la branche à l'ordinateur. Quand on voit les deux pics (fente bien ouverte), avant toute mesure translater la fente (objet diffractant) et montrer que l'image (sur la CCD donc sur l'écran d'ordi) ne bouge pas : Fraunhofer exact bien fait. Ensuite on mesure à quelle valeur du vernier on atteint le critère de discernement fixé, à chaque longueur d'onde.

On mesure la longueur d'onde au spectro, avec incertitude.



MESURE MERIDIQUE NE PAS y sacrifier trop de temps (en préparation et en présentation). Bon après l'avoir refais calmement ça va, mais quand même à faire en dernière priorité.

6 Michelson (+polariseurs)

- Michelson
- Condenseur
- Doublet de 1000 et de 150/200
- Lampe à vapeur de sodium (Na)
- Lampe blanche + filtre anticalorique
- Filtre interférentiel
- Spectro
- lame de microscope
- Diode laser
- Dépolis
- Mire graduée pour aligner le Michelson

Protocole : Brouillages doublet Na :

$$x_p = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta\lambda} p + cste$$

avec $\lambda_0 = 589.2937nm$ supposé connu. cf ALD p218

Pour la lame de microscope cf MP 26 de Tom

$$e = \frac{N - 1}{2 \left(\frac{n(\lambda_2) - 1}{\lambda_2} - \frac{n(\lambda_1) - 1}{\lambda_1} \right)}$$

7 Fabry Perot

A mettre en place sur une table isolée de toute vibration (autres tables, ordinateur, souffleries...) On pourra mesurer la finesse via l'épaisseur des anneaux, mais pas via le coefficient de réflexion car on ne sait pas si les deux miroirs ont un R égaux.

$$F = \frac{\delta}{\Delta}$$

où δ est la largeur d'un pic à mi hauteur.

- Fabry Perot
- Écran
- Diode laser nulle
- Laser épuré
- Lampe à vapeur de sodium (Na)
- Dépolis
- Doublet de 1000
- Caméra CCD

8 Compensateur de Babinet

- Lampe blanche + condenseur
- Filtre anticalorique
- diaphragme + doublet de 150 (image du filament sur le diaphragme dans le plan focal objet du doublet, puis on retire le diaphragme, faisceau parallèle et "homogène" pour éclairer la suite)
- Polariseur
- Compensateur de Babinet
- lame de Quartz taillée parallèlement dont on cherche l'épaisseur ou Δn (en connaissant l'autre)
- Analyseur
- Doublet de 150 ou 200 (image du compensateur de Babinet sur l'écran, voir la mire)
- écran
- Filtre interférentiel pour l'étalonnage du compensateur de Babinet
- Spectro (pour l'étalonnage)

Protocole : étalonner le Babinet : à une longueur d'onde connue λ_0 (filtre interférentiel, puis mesure au spectro) on fait défiler N franges, ce qui correspond à une différence de marche de $N\lambda_0$, et on relève le chariotage qui correspond Δe . Si on a du temps et que ça à foutre on trace une droite du chariotage en fonction du nombre de franges qui ont défilé.

On repasse en lumière blanche, on centre la frange noire (c'est l'intérêt de la lumière blanche, avoir une frange différente des autres) sur la mire du Babinet. On intercale la lame de quartz,

elle ajoute une différence de marche $\delta = e\Delta n$ et donc la frange noire c'est décallée. On relève la valeur de chariottage nécessaire à la ramener au centre : ce chariottage correspond une différence de marche connue grâce à l'étalonnage.

8.1 Un peu de théorie

[SEXTANT OPTIQUE EXPÉRIMENTALE III.1.7] : à lire en détail notamment la partie sur le microscope.