

LASER - DIFFRACTION - INTERFERENCES

On prendra soin de reporter dans le compte-rendu :

courbes visualisées, mesures et leur incertitude, commentaires et interprétations.

Les graphes et régressions linéaires seront effectuées à l'aide d'un tableur, et imprimées en fin de séance.

Objectifs :

- Mettre en évidence et quantifier le phénomène de diffraction des ondes lumineuses.
- Mettre en évidence et quantifier le phénomène d'interférence des ondes lumineuses.

Capacités expérimentales exigibles :

- Mettre en œuvre le dispositif expérimental des trous d'Young avec une acquisition numérique d'image.

Recommandations :

Tout faisceau laser est **potentiellement dangereux**, même si ceux utilisés en TP sont de faible puissance.

On ne doit **JAMAIS regarder le faisceau en face de sa source**.

Pour la même raison il faut se méfier des **réflexions parasites** qui peuvent se produire sur une surface réfléchissante (montre, bijou métallique, fente réglable et autre instrument). Aussi, on prendra garde à **ne pas manipuler un laser hors de son cavalier de fixation s'il est allumé**.

Utilisation d'une caméra CCD :

Au cours des manipulations, les figures de diffraction et d'interférences seront d'abord observées sur l'écran. Toutefois, pour plus de précision dans les mesures de distances on utilisera la caméra CCD¹ connectée à l'ordinateur, associée au logiciel² CALIENS.

Pour obtenir une acquisition correcte, on prendra soin de bien aligner la figure de diffraction sur la barrette, mais aussi de tourner les deux polariseurs qui la couvrent afin de moduler l'intensité reçue (notamment en cas de saturation). En cas de dépassement de la taille du capteur, on se rabattra sur une mesure sur l'écran.

I. Diffraction

• MANIP 1 : Diffraction par une fente réglable

- Positionner un écran à environ 2 m du laser. Allumer le laser, observer son spot sur l'écran.
- Interposer une fente réglable sur le trajet du faisceau, près du laser.
- Réduire progressivement la largeur de la fente et observer la diffraction du faisceau sur l'écran. Comment évolue la tache centrale en fonction de la largeur de la fente ?

On souhaite maintenant vérifier quantitativement la loi qui relie la taille de la tache centrale de diffraction à la largeur de la fente diffractante. Dans les conditions de diffraction à l'infini, la largeur angulaire de cette tache (vue depuis la fente) dépend de la longueur d'onde λ de la lumière selon

$$\sin \frac{\Delta\theta}{2} = \frac{\lambda}{a}$$

1. Une caméra CCD (Coupled Charge Device) est une matrice de photodiodes qui accumulent des charges électriques proportionnellement au flux lumineux reçu, qui sont ensuite collectées puis converties en signal de tension. Le capteur CCD et le capteur CMOS (une variante) constituent les principales techniques actuelles pour l'imagerie numérique (appareils photos, caméras...).

2. L'icône *Temps réel* permet de visualiser l'évolution en temps réel du signal reçu par la barrette CCD de la camera. L'icône *Acquisition* permet au contraire de figer l'image sur une acquisition unique.

Q1. En notant D la distance entre la fente et l'écran (ou la camera), comment s'exprime la largeur de la tache (en distance) ? Dans la suite on cherche à vérifier cette loi.

• **MANIP 2 : Loi de la diffraction à l'infini par une fente**

- Remplacer la fente réglable par une diapositive comportant des fentes de tailles variées calibrées connues.
- Proposer une démarche pour valider la loi de la diffraction à l'infini par une fente, concernant la taille du lobe central.
La longueur d'onde indiquée pour ce laser correspond-elle à celle mesurée ?
- Changer de LASER puis vérifier rapidement à l'aide d'une mesure que la dépendance en λ est celle attendue.

• **MANIP 3 : Mesure de l'épaisseur d'un cheveu**

- Prélever un de vos cheveux et le fixer tendu sur un support vide. Remplacer la diapositive à fente par cet objet diffractant.
- Choisir un des deux LASER pour l'expérience dans le but d'optimiser la précision.
- Observer la figure de diffraction formée sur l'écran. Que constatez-vous ? Y a-t-il une/des différence(s) avec la figure obtenue précédemment avec une fente ?
- Mesurer la largeur du cheveu.

• **MANIP 4 : Loi de la diffraction à l'infini par une ouverture circulaire**

- Reprendre le principe de la MANIP 2 avec des ouvertures circulaires calibrées.
- Observer la figure de diffraction pour un trou suffisamment petit.
- Déterminer par régression linéaire l'expression du diamètre angulaire de la tâche centrale (dite *tache d'Airy*). Comparer avec la loi obtenue pour la diffraction par une fente.

II. Interférences à deux ondes

On utilise maintenant un objet diffractant constitué de deux fentes fines très rapprochées, espacées d'une distance d . En tant qu'objets diffractants, ces deux sources se comportent comme deux sources de lumières synchrones et *cohérentes*³. Par conséquent elles peuvent interférer. En théorie, l'écran étant éloigné d'une distance D très grande devant d , les franges d'interférences sont espacées d'une longueur i appelée *interfrange*, qui vérifie

$$i = \frac{\lambda D}{d}$$

• **MANIP 5 : Figure d'interférence donnée par deux fentes d'Young**

- Placer la double fente et l'écran. Observer la figure d'interférence. Analyser sa structure.
- Mesurer l'écartement d entre les deux fentes.

III. Interférences à N ondes

Un réseau par transmission est constitué d'une succession de traits transparents très fins et parallèles gravés régulièrement avec un espacement a appelé *pas* du réseau. On le caractérise par son nombre de traits par unité de longueur N (par mm...), donc $N = \frac{1}{a}$. La condition d'interférence constructive entre les multiples rayons issus des traits fait intervenir un entier p appelé *ordre de d'interférence*, qui

3. Deux ondes sont dites cohérentes si leurs phases respectives ne varient pas aléatoirement l'une par rapport à l'autre (elles sont liées).

correspond à une différence de marche entre deux rayons consécutifs $\delta = p\lambda$. Ceci conduit à des directions par rapport à l'axe optique notées θ_p , et qui vérifient

$$\sin \theta_p = p N\lambda + \sin i$$

où i est l'angle d'incidence sur le réseau.

- ***MANIP 6 : Diffraction par un réseau***

- Placer un réseau perpendiculairement au banc optique et diriger le faisceau du LASER. Adapter si besoin la position de l'écran et observer les ordres de diffraction.
- Combien voit-on d'ordres d'intéférences ?
Si besoin on utilisera un dispositif d'élargissement de faisceau pour le LASER.
- Effectuer les mesures nécessaires pour vérifier la loi ci-dessus par une régression linéaire.
Comment repère-t-on l'origine des angles (position exacte de l'axe optique) ?
- En déduire la valeur trouvée pour N . Est-ce la valeur attendue ?

S'il reste du temps, on pourra essayer de réaliser l'expérience suivante.

- ***MANIP 7 : Décomposition de la lumière blanche par un réseau***

- Collimateur : à l'aide d'une source blanche de type LED et une fente réglable, former un faisceau parallèle par autocollimation (utiliser un miroir plan).
- A l'aide d'une seconde lentille (de courte focale), faire converger le faisceau sur l'écran.
- Interposer un réseau entre les deux lentilles et observer les ordres d'interférence.
L'ordre de juxtaposition des couleurs est-il celui attendu ?

TP LASER - DIFFRACTION - INTERFERENCES
Liste de matériel - 3 postes

Matériel pour chaque poste :

- 1 banc d'optique
- 1 laser rouge sur support
- 1 laser vert
- 1 fente réglable (qui ferme à peu près, même si graduations peu fiables)
- 1 écran
- un support de fixation diapositive
- 1 diapositive (ou équivalent) à fentes simples calibrées
- 1 diapositive (ou équivalent) à trous simples calibrés
- 1 support vide (à trou) pour fixer un cheveu + scotch ou bague de fixation (si support à piquot)
- 1 diapositive (ou équivalent) à fentes doubles (ou trous d'Young)
- 1 camera CCD + filtre ou polariseurs + ordinateur + logiciel CALIENS
- 4-5 cavaliers (laser vert, diapositive, écran, lentilles)
- 2 réseaux de densité différente + un support pour les poser sur le banc.
- 2 lentilles convergentes
- une source LED.