

TRAVAIL PRATIQUE No. 2: Images et diffraction avec un faisceau laser

1 But de l'expérience

Le but de ce TP est de faire plusieurs montages et observations avec un faisceau laser:

- Réaliser un simple *beam expander*
- Diffraction à travers une fente
- Image et diffraction de petits trous circulaires
- Introduction aux réseaux de diffraction, calcul de l'écartement des traits d'un CD et d'un réseau 2D



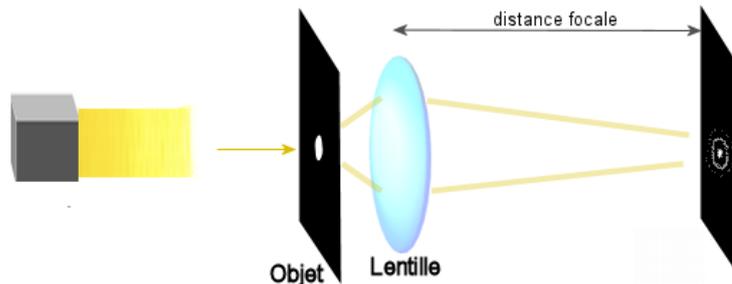
2 Matériel et instrumentation

- Rail pour montage optique et divers supports
- Laser HeNe, **633 nm**
- Pointeurs laser bicolore rouge/vert (A), deux pointeurs vert et bleu (B)
- Ecran
- Lentilles, matériel Microbench
- Lentille asphérique $f=18$ mm
- Fente réglable
- Fente fixe de $100 \mu\text{m}$
- Disque avec petit trous (A), Roue avec éléments troués (B)
- Lentille de focale 1000 mm (A), 600 mm (B)
- Réseaux de diffraction 1000 lignes/mm
- CD rom transparent (un seul à partager entre les manips A et B)
- Réseau de diffraction 2D



3 Procédure

1. Inventorier tout le matériel mis à disposition.
2. Monter l'écran en bout du rail. Y fixer du papier millimétré.
3. Monter le laser, connexion électrique, alimenter, aligner le laser pour que le faisceau soit droit le long du rail et horizontal.
4. Aussi afin d'augmenter la sécurité des opérations en réduisant l'intensité du laser, réaliser un simple *beam expander* avec une lentille divergente ($f = -16$ mm) et une convergente ($f = 80$ mm),
 - Faire un croquis (qui sera mis au propre dans le rapport), calculer la distance nécessaire entre les lentilles, ainsi que l'élargissement obtenu du faisceau.
 - Effectuer le montage. Alignez soigneusement: pour aider à cela on peut insérer un diaphragme avant la première lentille. Vérifier, soit en déplaçant l'écran soit avec une simple feuille, que le faisceau sortant est bien collimaté (parallèle).
5. Monter la fente réglable après le *beam expander*. Observer le profil de diffraction sur l'écran et ses variations en fonction de la largeur de la fente.
6. Afin de ramener un profil de diffraction de Fraunhofer à distance finie on insère une lentille de focale $f = 1000$ mm (A) or 600 mm (B) devant l'écran.



7. Pour vérifier l'exactitude du montage on remplace la fente réglable avec celle fixe de 100 μm .

- On observera des franges de diffractions très nettes. Eventuellement ajuster la position de la grande lentille de 1000 mm afin de bien focaliser sur l'écran.
- Marquer sur le papier millimétré, mesurer ensuite avec une règle les positions de toutes les franges visibles et les noter dans un tableau. Il sera généralement plus aisé et précis de noter les frange sombres (minima d'intensité).
- Calculer (en moyennant - afin d'augmenter la précision - sur les positions des franges mesurées sur l'écran) en la supposant inconnue **la largeur de la fente par les formules de la diffraction.**



Rappel de théorie: pour une fente de largeur D , on a une intensité nulle (**minima d'intensité**) si

$$D \sin \theta_m = m \lambda \quad \text{avec } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3,$$

sauf en $m = 0$ où se produit le maximum le plus fort.

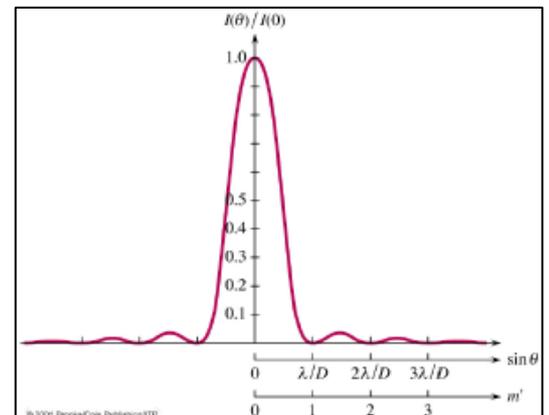
Par ailleurs on a des **maxima d'intensité** pour

$$\theta = 0 \quad \text{et} \quad D \sin \theta_m = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$\text{avec } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Aussi, le profil d'intensité lumineuse relative du motif de diffraction (franges) enregistré sur un écran est donné par

$$I(\theta) = I(0) \text{sinc}^2 \left(\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \theta \right)$$

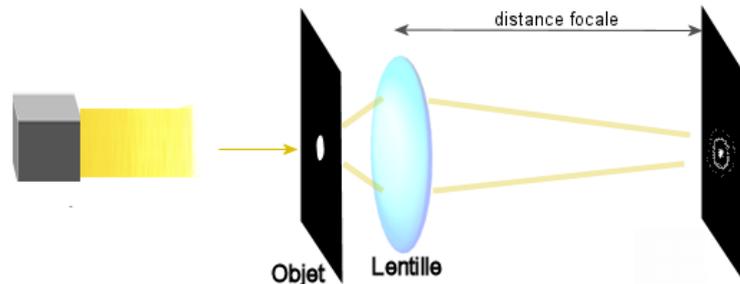


- Comparer le résultat avec la dimension nominale de 100 μm . S'il diffère de peu, justifier ensuite la différence par un calcul d'incertitude.
- S'il diffère beaucoup ($\sim > 5\%$, probablement le montage n'est pas précis - par exemple, le faisceau sortant du *beam expander* n'est pas bien collimaté ...). Dans ce cas on peut calculer d'abord la position *exacte* des franges sur l'écran et ajuster le montage pour la retrouver au mieux dans la réalité.

8. **Le trou mystérieux.** Une fois qu'on est bien assuré de la précision de notre montage enlever la fente and monter le disque avec les petits trous circulaires (de taille différente) (A) ou la roue avec deux éléments à trous (B) à la suite du *beam expander*. Bien aligner le laser et le *beam expander* pour que le faisceau illumine bien le trou sélectionné.

- Observer sur l'écran au bout du rail la diffraction circulaire et les disques de Airy. Avec les grands trous on ne verra rien de particulier, mais les trous les plus petits vont produire une tache de diffraction bien évidente.
- le rayon de la tache (disque) de Airy (strictement le rayon de la première frange sombre) correspond à la formule:

$$r_a = 1.22 \frac{f \lambda}{d}$$



- Noter au crayon sur le papier millimétré la taille de la tache de Airy pour le trou le plus petit qui donne une tache de diffraction bien évidente.
 - Mesurer ainsi les rayons de Airy et calculer **le diamètres** du trou avec la formule citée.
9. Laisser le disque avec le plus petit de ces trous, dont on va maintenant en mesurer le diamètre par une autre méthode. Pour cela on va faire une **image agrandie** de ce trou illuminé sur l'écran au moyen d'une lentille de focale 18 mm. En mesurant la taille de l'image et connaissant le grandissement on aura la mesure du trou.

10. Elever la grande lentille de 1000 mm (A) ou 600 mm (B). Monter la lentille asphérique de 18 mm toute proche (quelques mm) du trou qu'on veut imager:

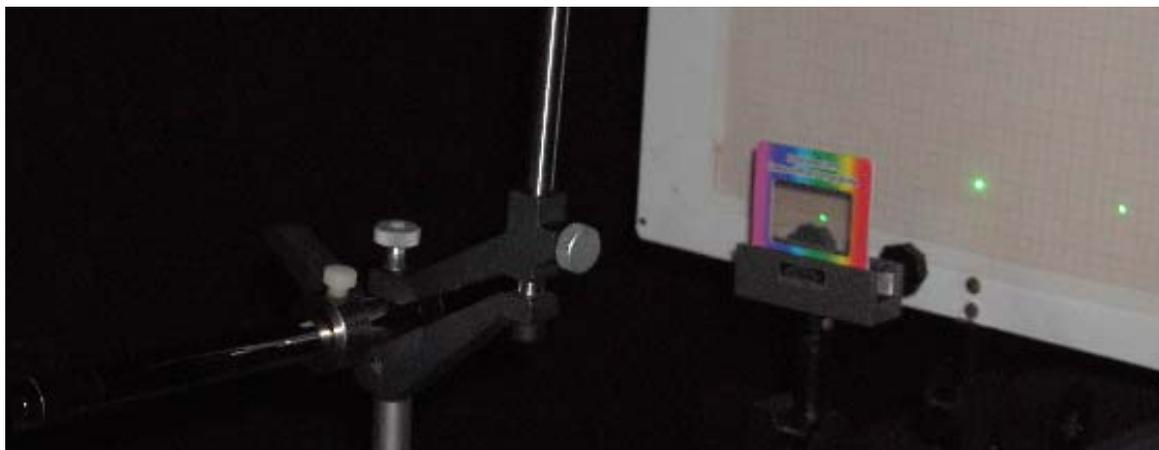
- Aligner la lentille et règle la distance à l'écran (toujours placé à environ 1 m) pour avoir l'**image la plus nette** du trou. Il sera nécessaire de mettre la lentille très proche de la fente. L'image sera nette quand on y distingue bien les défauts du contour trou.
- **Mesurer la distance lentille—écran- p'** en prenant comme référence un plan moyen de la lentille. Calculer ainsi la distance objet-lentille p .
- On calcule ensuite le **grandissement**, ce qui permet d'évaluer **le diamètre du trou** en mesurant la taille de l'image sur l'écran. Noter que cette procédure est plus précise d'une mesure directe de p (pourquoi ?).
- Comparez cette valeur à celle estimée avec la tache de Airy précédemment. Noter tous les paramètres qui pourraient affecter la précision de cette évaluation.

Mettre au propre dans le rapport les schémas et les calculs, y compris les calculs d'incertitude.

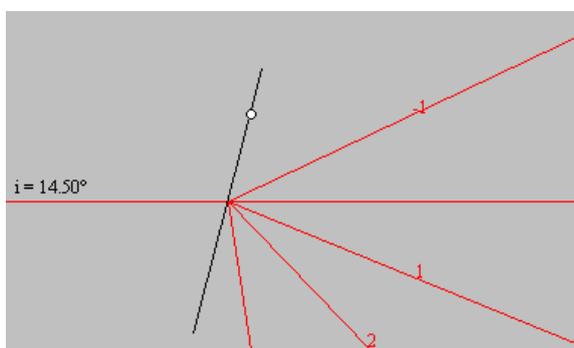


11. Eteindre le laser.

12. Prendre le pointeur laser bicolore rouge/vert (A) ou le pointeur vert (B). Noter ses longueurs d'onde écrites sur l'étiquette. Notez que la longueur d'onde rouge est donnée avec un écart assez large. Monter le laser quelques 30-40 cm devant l'écran.



13. Interposer quelques centimètres devant l'écran la diapositive avec le réseau de diffraction marqué **1000 lignes/mm**.



Pour un tel réseau la figure de diffraction comporte, autre qu'un pic central de lumière, une série de pics diffractés orientés selon la formule générale suivante:

$$a \cdot (\sin \theta_m - \sin i) = m\lambda \quad \text{pour } m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

- avec a = largeur entre deux traits
- λ = longueur d'onde
- i = angle d'incidence au réseau
- m = ordre du pic de diffraction
- θ = orientation du rayon diffracté

Avec notre réseau on verra très bien, en plus du rayon central, les deux rayons d'ordre 1 pour chaque couleur.

14. Notez que la formule indique que si l'angle d'incidence au réseau est zéro les pics sont disposé symétriquement, mais que ce n'est pas le cas pour $i \neq 0$. Les mesures demandées seront donc facilitées si on approche $i = 0$ autant que possible. Avec le pointeur bicolore (A) vous noterez que les faisceaux rouge et vert ne sortent pas parallèles du laser. Il sera donc nécessaire d'aligner et faire le point 14. suivant **séparément pour le rouge et ensuite pour le vert**. Dans le cas (B) on répétera l'opération avec l'autre pointeur bleu.

15. Donc bien aligner le faisceau **droit et horizontal, perpendiculaire au réseau** (un critère en sera la **symétrie des pics** de diffraction). Marquer la position des taches lumineuses et les mesurer sur le papier millimétré. Si vous considérez que $i = 0$, on peut moyenner entre les valeurs de droite et gauche et diminuer ainsi l'incertitude de votre mesure brute. Afin de trouver les angles θ_m vous devrez aussi mesurer ou fixer avec précision la distance entre le réseau et l'écran. Noter également dans ce cas l'incertitude de votre mesure. Répétez l'opération avec l'autre couleur ou l'autre pointeur (B) bleu.
16. A partir des mesures de distance des pic de diffraction, calculer la longueur d'onde pour chaque type de lumière. Comparer votre résultat avec la valeur donnée sur chaque pointeur. Dans votre rapport estimer l'incertitude de votre calcul.
17. Un CD auquel on a enlevé la couche réfléchissante se comporte à cause de la fine structure des pistes comme un réseau de diffraction. Monter le CD et faire passer le faisceau d'un pointeur laser proche du bord externe à la hauteur du centre du CD.
 - Approcher l'écran afin de bien observer les rayons d'ordre 0, 1, 2.
 - Mesurer sur l'écran ces positions
 - **Calculer ainsi l'espacement des traits sur le CD**, avec son incertitude.
18. Enlever le CD, monter le réseau 2D et faire passer le faisceau du pointeur laser proche du centre de l'élément.
 - Mesurer les positions des rayons diffractés sur l'écran.
 - **Calculer l'espacement du réseau 2D selon les deux axes**, avec son incertitude.
19. A la fin, rangez svp tout les composants utilisés et **remettez tout le matériel de la manip soigneusement dans l'état d'avant son début.**

4 Rapport

Le rapport doit inclure :

- La description de toutes les configurations testées: objets, lentilles, fentes, distances, etc. (avec les schémas mis au propre, photos à l'appui bienvenues).
- Toutes les vérifications, ajustements, mesures, calculs, analyses effectués pour **répondre aux questions posées**.
- Vos conclusions et suggestions.

5 Distribution du travail

Ce TP sera généralement réalisé en équipe de 2 ou 3 personnes.

Chaque groupe est évidemment libre de s'organiser: si le groupe est constitué de 3 personnes on suggère que :

- au moins une personne **se dédie déjà durant la manip aux calculs théoriques** de support et compréhension des résultats trouvés ;
- au moins une personne **vérifie que toute la procédure est entièrement et bien suivie** et prend des notes et des croquis exhaustifs durant la manip ;
- au moins une personne **soigne particulièrement le montage et les mesures**, prend des photos, etc..

Le rapport peut être rédigé en se partageant le travail mais il devra être revu et corrigé avant livraison **par tous les membres**. Il est en tout cas primordial que **tous les membres de l'équipe maîtrisent tous les aspects**, à la fois pratique et théoriques, de la manip.

On rappelle que l'examen final d'optique inclura des questions en rapport avec les TP effectués.