

# D I F F R A C T I O N

travaux pratiques d'optique  
initiation au calcul scientifique

*document rédigé par Sébastien de Rossi et Julien Villemejeane*

## PREAMBULE

L'objectif de cette activité est de vous familiariser avec une expérience de diffraction « à l'infini ». A l'issue de cette séance vous serez capable d'aligner un banc optique mettant en œuvre une source quasi-ponctuelle, un objectif d'imagerie, une pupille et une caméra pour un traitement sous matlab ou python. Vos acquisitions devront être de qualité. Pensez à relever tous les paramètres utiles et n'oubliez pas les incertitudes. Vous serez évalué sur un compte-rendu (remise par mail aux enseignants) qui devra être une synthèse du travail fait en séance de TP et en séances d'initiation au calcul scientifique où vous ferez le traitement numérique de vos données expérimentales. La méthodologie pour la rédaction de votre document devra s'appuyer sur les modalités disponibles à cette adresse,

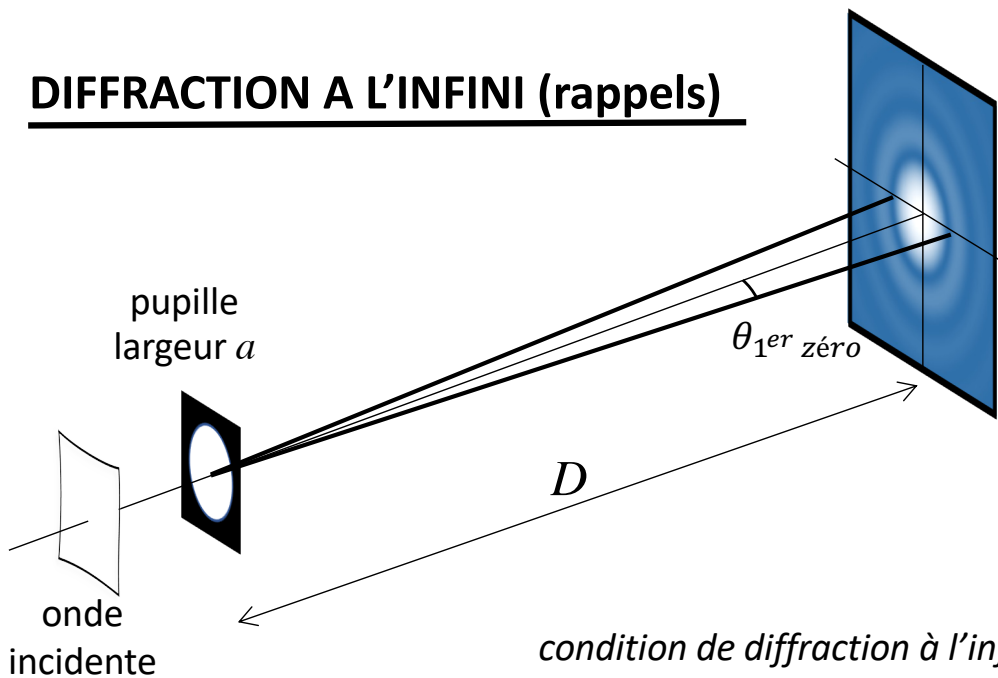
<http://lense.institutoptique.fr/comptes-rendus-de-tp/>

## AUTO-EVALUEZ VOUS !

avant la séance  et après la remise du CR

	Je suis à l'aise	J'y arrive un peu	C'est compliqué	Je n'y arrive pas
Je sais expliquer le phénomène de diffraction de Fraunhofer et je connais les limites de validité pour l'observer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je sais prédire le profil de la figure de diffraction pour une pupille : disque, rectangle, carré, deux disques, deux fentes, disques aléatoires.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je sais expliquer pourquoi je peux obtenir la diffraction de Fraunhofer à distance finie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je sais mettre en place une expérience de diffraction de Fraunhofer à distance finie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je sais expliciter chaque élément dans une expérience de diffraction de Fraunhofer à distance finie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je sais expliquer pourquoi il est nécessaire d'avoir une source la plus ponctuelle possible pour réaliser une expérience de diffraction.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je sais faire l'acquisition d'une image exploitable pour un traitement numérique ultérieur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# DIFFRACTION A L'INFINI (rappels)



pupille disque

$$\theta_{1er\ zéro} = 1,22 \frac{\lambda}{a}$$

pupille fente

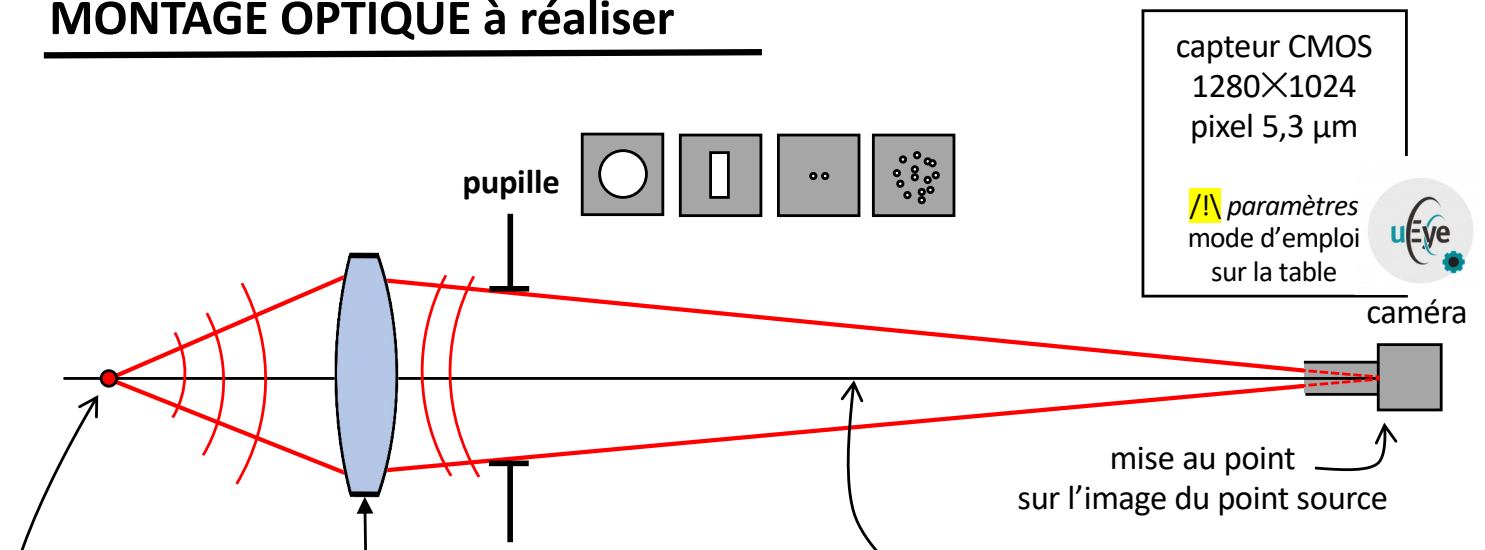
$$\theta_{1er\ zéro} = \frac{\lambda}{a}$$

onde incidente plane  
onde incidente sphérique

$$D \gg a^2/\lambda$$

$D$  = centre de courbure de l'onde incidente

# MONTAGE OPTIQUE à réaliser



paramètres mode d'emploi sur la table

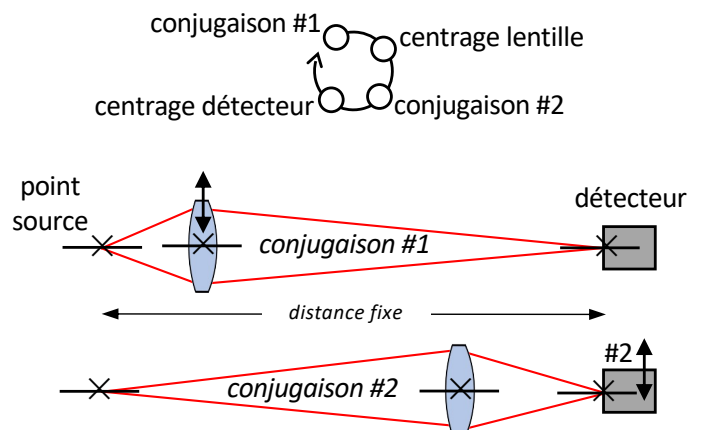


**source quasi ponctuelle**  
à flux variable  $\lambda = 632,8\text{ nm}$

La source quasi ponctuelle est obtenue avec un laser suivi d'un système d'épuration que vous réglerez dans la séance « TP Filtrage ». Un polariseur placé à la sortie du laser permet de régler rapidement le flux lumineux afin d'obtenir un niveau de signal adapté sur la caméra. Une densité optique peut être également utilisée si le flux est encore trop important.

## co-alignement des axes optiques

le point image ne doit pas bouger entre les deux conjugaisons.



# Travail demandé en séance de travaux pratiques d'optique

chaque étape devra être validée par l'enseignant.

- Mettre en place l'expérience de diffraction à l'infini en alignant le mieux possible tous les éléments (voir page précédente). Ne pas toucher au filtrage spatial avec le trou. Mettre la caméra à une distance de l'ordre de 80 cm. La mise au point sera correcte si vous observez, à pleine puissance du laser, la diffraction sur les pixels (matrice de petites taches). Bien régler l'objectif en rotation pour obtenir une tache image la plus symétrique possible (réduire la luminosité).

✓ isa enseignant

- Mettre la barrette de pupille-disque juste après l'objectif doublet à une distance suffisamment grande pour bien observer la figure de diffraction. Cette distance sera fixe pour toutes les mesures faites avec les pupille-disques et devra être mesurée à la règle (évaluer l'incertitude de cette mesure). Pour chaque pupille-disque, acquérir avec la caméra la figure de diffraction. Ajuster le flux lumineux, via le polariseur et éventuellement une densité optique, pour obtenir un signal optimal non saturé (c'est fondamental pour le traitement numérique ultérieur). Vérifier sur un cas que le diamètre de la tache de diffraction est bien celui prévu par la théorie de la diffraction.

✓ isa enseignant

- Déplacer latéralement la pupille. Fournir une explication de vos observations.
- Déplacer longitudinalement la caméra pour la pupille de 5 mm. Fournir une explication de vos observations.

- Mettre la pupille-fente à la place de la barrette de pupille-disque et régler sa largeur pour qu'elle soit petite devant sa hauteur. Acquérir la figure de diffraction. Mesurer la distance fente-caméra. Faites une mesure de la largeur (la plus petite) de la fente avec un viseur à frontale fixe (ne pas oublier de mesurer précisément le grandissement de l'objectif associé). Vérifier que la largeur de la tache de diffraction est bien celle prévue par la théorie.

✓ isa enseignant

- Mettre la pupille « double trous ». Acquérir la figure de diffraction. Déterminer une mesure de la distance entre les trous et la taille moyenne des trous. Vérifier vos estimations par une mesure au viseur.

✓ isa enseignant

- Mesurer au viseur  $\times 10$  la taille des grains de pollen de lycopodes disposés entre deux plaques de verre (attention c'est fragile). Vous pouvez observer que les grains ont à peu près tous la même taille. De votre mesure au viseur, mettre en place une expérience de diffraction permettant d'observer une tache de diffraction et déterminer la taille moyenne des grains de pollen.

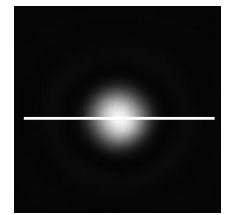
✓ isa enseignant

# Travail demandé en séquence de calcul scientifique

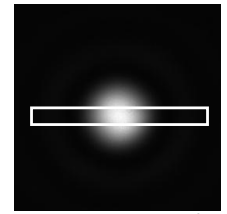
## Pupille disque

- Charger une image acquise en TP et l'afficher en niveaux de gris.
- Afficher une coupe transversale qui passe par le centre de la tache. Mettre l'abscisse en micromètre. Labelliser les axes.
- Faire une sélection rectangulaire de largeur inférieure au diamètre de la tache et sommer les lignes de plus grande longueur pour obtenir une coupe transversale moyenne. Superposer cette coupe à la précédente pour visualiser l'amélioration du signal.
- Mesurer la largeur entre les deux premiers minima de la coupe moyennée (par pointage manuel ou automatiquement) et en déduire le diamètre de la pupille correspondante en utilisant la formule de la tache de diffraction.
- Faire la mesure précédente pour toutes les pupilles mesurées et tracer sur un graphe le diamètre de la tache d'Airy mesuré en fonction du diamètre du trou associé. Faire une régression linéaire (au sens des moindres carrés) et en déduire une mesure de la distance entre la pupille et le capteur. Comparer à votre mesure à la règle.
- Superposer une de vos coupes, moyennée et normalisée à l'unité, avec la courbe théorique  $\mathcal{E}_{disque}$  de la distribution d'éclairement normalisée sur l'écran,

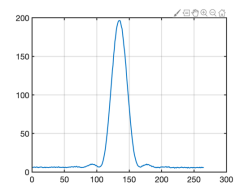
$$\mathcal{E}_{disque} = \left| \frac{J_1(\pi x)}{\pi x} \right|^2 \text{ avec } J_1 \text{ fonction de Bessel d'ordre 1 et } x = \frac{a \times \sin \theta}{\lambda}.$$



coupe centrée



coupe moyennée



profil associé

## Pupille fente

- Effectuer le même traitement pour l'image obtenue avec une pupille fente (affichage, coupe, coupe moyennée et profil théorique).

### Fonctions à utiliser



lire une image

`imread`

conversion image-données

`PIL.Image .open .convert`

afficher une image

`numpy .asarray`

gestion de l'affichage

`image, imagesc,`

`pyplot .imshow`

fonctions de Bessel

`colormap`

`cmap`

traitement simple

`besselj`

`scipy .jv`

produit terme à terme

`max mean`

`numpy .argmax .mean`

manipulation de matrices

`.*`

`*`

`M(indice_ligne, indice_colonne)`

`M(k,n) M(k,:) M(k,j,:)`

`M[k,n] M[k,:] M[k,j,:]`

« : » signifie tous les éléments de la ligne ou de la colonne

Régression linéaire  $y = a \cdot x + b$  sur un nuage de points  $(x_i, y_i)_{1 \leq i \leq n}$

$$\begin{cases} y_1 = ax_1 + b \\ \dots \\ y_n = ax_n + b \end{cases} \leftrightarrow \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & 1 \\ \dots & \dots \\ x_n & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \leftrightarrow Y = X \cdot A \Rightarrow A = X \setminus Y = \text{np.linalg.lstsq}(X, Y)$$

