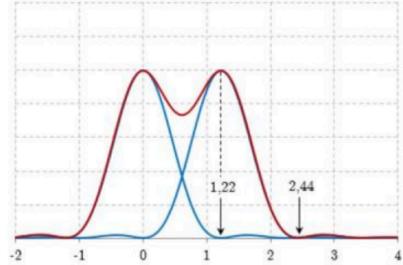


**Définition Diffraction** par le dictionnaire de physique Richard Taillet, De Boeck

Angle min de séparation :  $\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$  avec D diamètre de l'ouverture

**Q: Est-ce que les astronomes de nos jours sont limités par le critère de Rayleigh ?**

R: Le critère de Rayleigh est un critère adapté à un capteur tel que l'œil. On peut dépasser ce critère si l'on a des informations supplémentaires sur les sources (on sait qu'il y a déjà 2 sources donc on fait traitement image etc) ainsi que sur les propriétés diffractantes de l'instrument (donc on inverser mathématiquement l'effet de la diffraction).



**Q: Qu'est-ce-que l'approximation de Fraunhofer ?**

R: Dans la pratique cela signifie que soit :

- Les distances Source-Objet et Objet-Ecran sont très grandes devant  $a^2/\lambda$  où a est la taille caractéristique de l'objet diffractant et  $\lambda$  la longueur d'onde de la radiation incidente (supposée monochromatique). On peut aussi introduire un nombre sans dimension : le nombre de Fresnel  $a^2/(\lambda D)$
- Ces distances sont infinies (image et source à l'infini).
- La somme de ces distances est nulle (possible grâce à une source virtuelle)

**Q: Quelle propriété sur la figure de diffracton permet d'affirmer que l'on est bien en diffracton de Fraunhofer quand il y a des symétries de translation vertcale ?**

R: Pour vérifier que l'on est bien dans les conditions de Fraunhofer, il faut que, dans le plan de Fourier, les épaisseurs soient toutes écrasées selon l'axe de symétrie de la fente.

**Q: Comment fait-on pour élargir un faisceau laser ?**

R: Il faut 2 lentilles disposées selon un montage afocal.

**Q: Incertitude horizontale ?**

R: En première approximation on pourrait prendre la taille d'un pixel et diviser par racine de 3 (loi uniforme).

**Q: Est-ce que les pixels sont bien indépendants les uns des autres ? Comment s'appelle cette dépendance ?**

R: Cela s'appelle la diaphonie. La réponse d'un pixel à un signal est dépendante de l'éclairage sur les pixels adjacents.

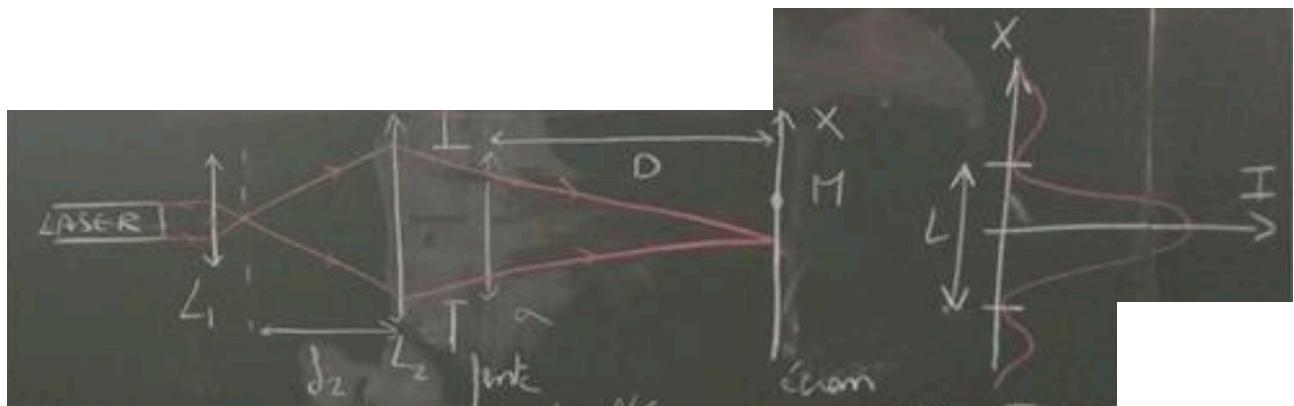
**Manip 1 : Diffraction par une fente**

**But :** Montrer que la figure de diffraction d'une fente est un sinus cardinal donc la TF de la porte à l'aide d'un ajustement

**Référence :** TP Diffraction

$$I(M) = I_0 \operatorname{sinc}^2 \left( \frac{\lambda \pi}{aD} x \right) \text{ et } L = \frac{aD}{2\lambda}$$

Mesure de la taille de la fente, à partir de la largeur de la frange centrale de diffraction.



**Q: Est-ce que la distance lentille fente a une importance ?**

R: Oui pour pouvoir faire une preuve simple du fait que l'on est dans le cas de la diffraction de Fraunhofer mais en fait on reste dans cette approximation même en éloignant la fente de la lentille (voir cours Agnès Maître).

**Q: Un ajustement à l'aide de la fonction  $\text{sinc}^2$  a été effectué, mais qu'aurait-on pu également observer sur cette fonction pour vérifier que c'était bien un  $\text{sinc}^2$  ?**

R: Le premier lobe secondaire a une intensité 20 fois moins importante que le lobe principal, et tous les lobes secondaires sont 2 fois moins larges que le lobe principal

**Q:  $\text{sinc}^2$  correspond à la TF que l'on attend ?**

R: Oui une fente correspond à une fonction de transmission porte selon son axe  $\perp x$ . De plus l'intensité de la figure de diffraction décroît en  $1/x^2$  ce qui correspond à un spectre qui décroît en  $1/x$ . On vérifie bien que la décroissance du spectre est lié à la régularité de la fonction (spectre riche car signal porte discontinu).

## **Manip 2 : Diffraction par une ouverture circulaire (Tâche d'Airy)**

**But :** Déterminer la taille d'un trou diffractant (et comparer à la valeur constructeur) à l'aide d'un ajustement à partir d'une acquisition avec une barrette CCD

**Référence :** Optque, Sylvain HOUARD, De boeck

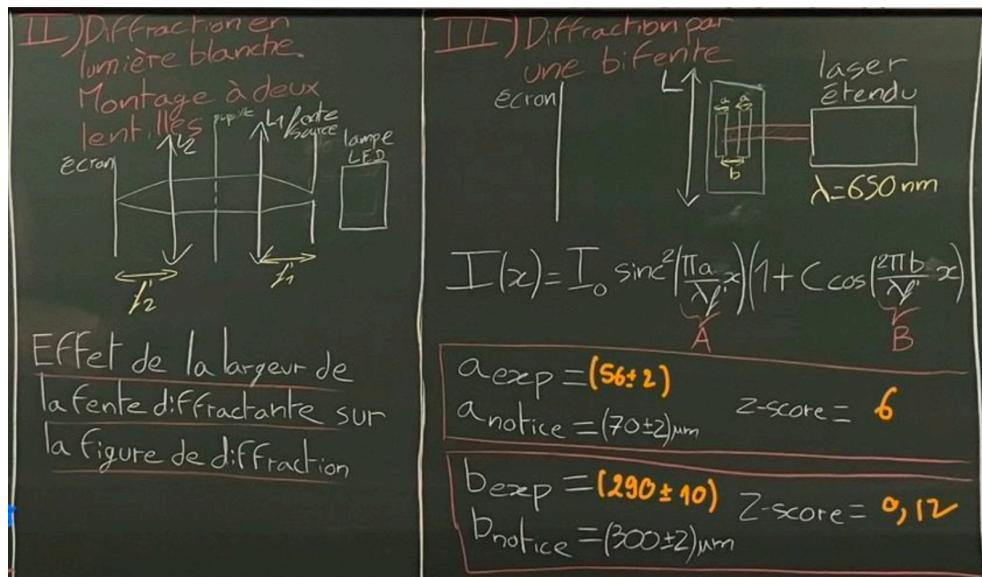
Après avoir montré qualitativement la tâche d'Airy, la barrette CCD permet de déterminer la valeur de  $a$  par un ajustement par une fonction de Bessel

## **Manip 3 : Montage à 2 lentilles**

**Référence :** Optque, Sylvain HOUARD, De boeck + TP Diffraction

Présenter le montage à deux lentilles avec une fente simple, en lumière blanche et montrer qualitativement l'influence de la largeur de la fente diffractante. Puis en repassant en lumière laser et en replaçant la fente par une bifente, on réalise un ajustement à partir d'une acquisition via la barrette CCD. Via l'ajustement, on peut revenir à  $a$  (largeur des fentes) et  $b$  (écart entre les fentes)

Commentaire : L'ajustement n'est pas vraiment pertinent ici, on trouve un chi\_carré



énorme et il y a trop de paramètres d'ajustement. Il aurait mieux valu utiliser les pseudo-périodes du signal pour remonter aux paramètres a et b.

**Q: Comment aurait-on pu trouver a et b (largeur et écartement de la bifente) sans passer par un ajustement ?**

R: Mesurer les paramètres de la bi-fente à l'aide d'un microscope (microscope USB par exemple)

**Q: Tu as dit qu'en lumière blanche il y avait un problème de résolution, est-ce que tu peux détailler ?**

R: Il y a trop peu d'intensité lumineuse en lumière blanche.

**Q: Pourquoi faut-il une petite fente source ?**

R: Pour avoir un bon contraste, problème de cohérence spatiale

**Q: Comment doit être orientée la fente (ou la bifente) par rapport aux pixels de la barrette CCD pour avoir une figure en sinus cardinal ?**

R: Il faut que la barrette soit perpendiculaire à la fente.

**Q: Sur ton acquisition en lumière blanche, on ne voit pas bien les lobes latéraux du sinus cardinal, comment peut-on améliorer le protocole pour mieux les voir ?**

R: Faire le noir et augmenter le temps de capture quite à saturer le pic central.

**Q: Pourquoi faut-il une petite fente source ?**

R: Pour avoir un bon contraste, problème de cohérence spatiale

## Manip 4 : Diffraction par des spores disposés aléatoirement

**But :** Illustrer le théorème de Babinet. Observer la figure d'interférence de N motifs disposés aléatoirement (juste la somme des intensités, valeur moyenne du terme d'interférence nul).

**Référence :** TP Diffraction + TP instruments d'optique

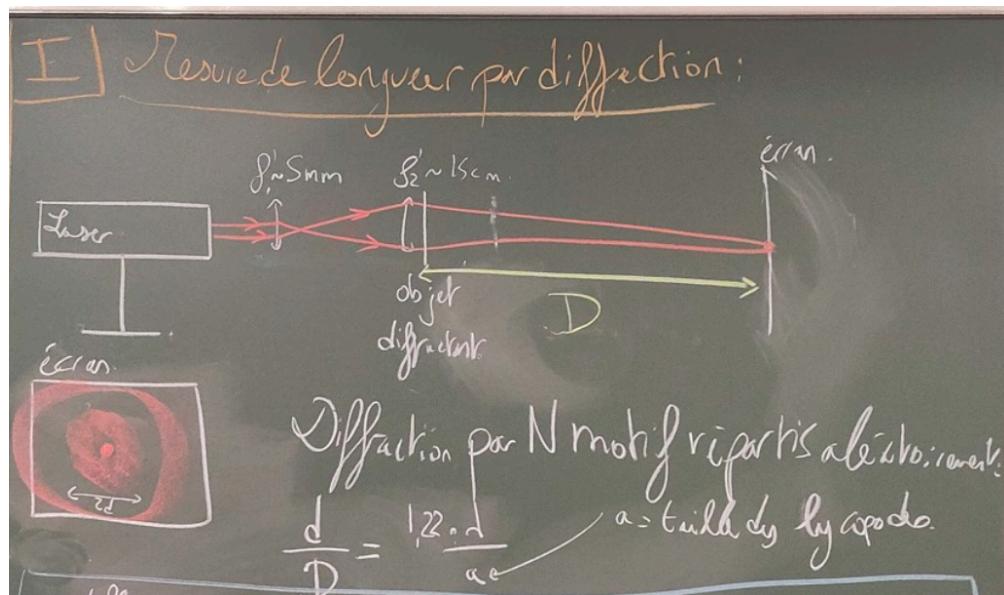
$$\text{Tache d'Airy : } R = 1.22 \frac{\lambda D}{d_{moy}}$$

Mesure du diamètre moyen des spores à partir du diamètre de la tache d'Airy.  
On peut comparer la valeur à celle mesurée au microscope.

On mesure le rayon  $(4,5 \pm 0,2)/2 \text{ mm}$ .

On mesure une distance  $1,08 \pm 0,05 \text{ m}$  écran objet-diffractant.

Par python On obtient  $a=36 \pm 4 \mu\text{m}$ . On a déjà obtenu une mesure de  $31 \pm 2 \mu\text{m}$  au microscope. On obtient un  $Z_{score}=1,2$



**Q: Quelle condition pour que la première lentille permette de créer une source ponctuelle ? C'est quoi proche ici ?**

R: Il faut pouvoir considérer que la lumière émise par le laser est parallèle. C'est le cas si le laser est suffisamment proche. Il faut que la distance laser-lentille soit petite devant la longueur de Rayleigh.

**Q: Quel est le principe du montage à une lentille ?**

On projette l'image géométrique de la source sur un écran. On colle ensuite la figure diffractante à la lentille.

**Q: C'est quel type de diffraction ? Est-ce que c'est une diffraction de Fraunhofer exacte ?**

C'est une diffraction de Fraunhofer. Si on avait collé la figure diffractante à la lentille oui. Sinon on peut utiliser le montage à deux lentilles pour être plus proche de la réalité.

**Q: Pourquoi on observe un grain sur l'image ?**

C'est le speckle : le laser a une très grande longueur de cohérence et on observe des interférences entre les différentes sinuosités de l'écran.

**Q: C'est quoi la figure de diffraction d'un disque ?**

Par le théorème de Babinet c'est la même chose en dehors de l'image géométrique qu'un trou. C'est donc une tache d'Airy avec en plus une tâche lumineuse au centre.

**Q: Pourquoi on obtient la même figure ici que pour un disque ?**

En général quand on a une figure diffractante qui est un motif répété spatialement : la figure de diffraction est le produit d'un facteur de forme (qui vient du motif) et d'un facteur de structure (qui vient de la répétition spatiale). Dans le cas d'une répartition spatiale, le facteur de structure sera alors juste une multiplication globale.

**Q: Comment qualifiez vous la densité de lycopodes ? Que se passe-t-il si c'est trop dense ?**

Plutôt dense (Le problème c'est que si la densité est trop élevée, les corrélations de position modifient le facteur de structure... )

On peut avoir des obstacles qui se superposent et donc on ne verrait plus la figure de diffraction d'une sphère. Par ailleurs, on va avoir de la répulsion de sphères dures et donc plus une répartition qui va devenir périodique (dans le cas d'un empilement compact) En particulier, le facteur de structure risque d'être affecté.

**Q: Que se passe-t-il si les rayons des spores ne sont pas tous identiques ?**

On va avoir brouillage de la figure de diffraction où les différentes figures vont s'ajouter.

Typiquement, si la dispersion des rayons est de l'ordre du rayon moyen, on ne distinguera plus la tâche d'Airy.

**Q: Qu'observerait-on si la répartition des spores de lycopodes avait une certaine « structure » ?**

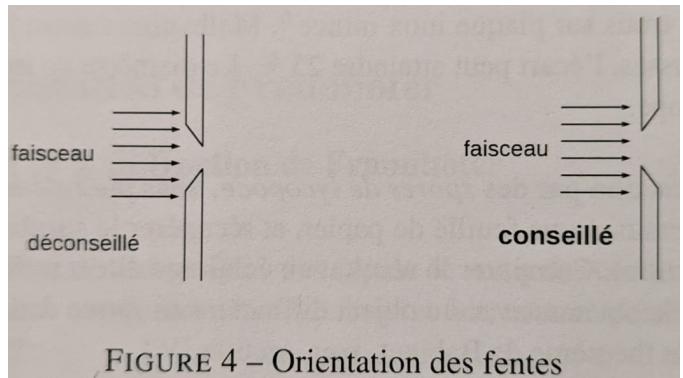
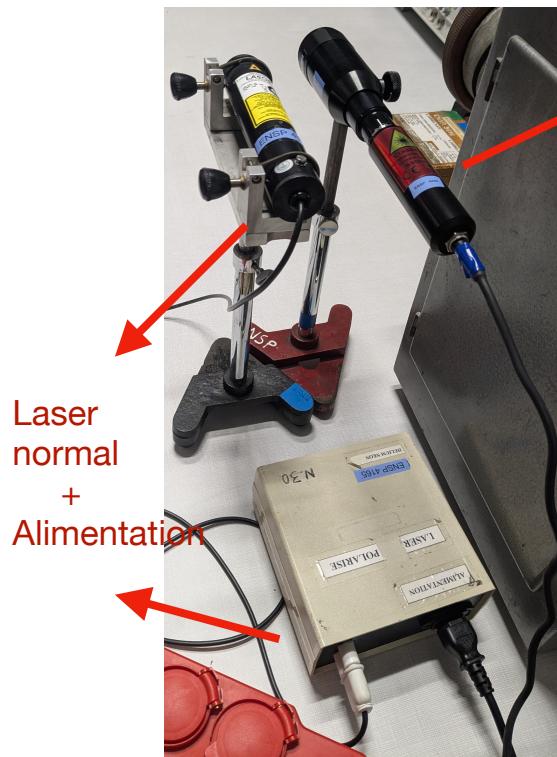
R: On aurait alors des interférences et non la somme des intensités des différentes figures de diffraction.

**Q: Comment l'incertitude sur le diamètre de la tache d'Airy a été déterminée ?**

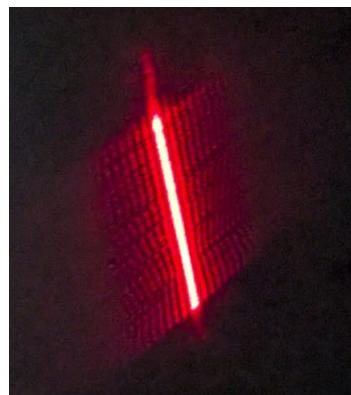
R: Dans la frange sombre entourant la tache centrale il est difficile de bien discerner le minimum d'intensité. C'est la largeur de cette frange qui a été prise comme incertitude sur le diamètre de la tache.

## TP 1 : Qualitatif

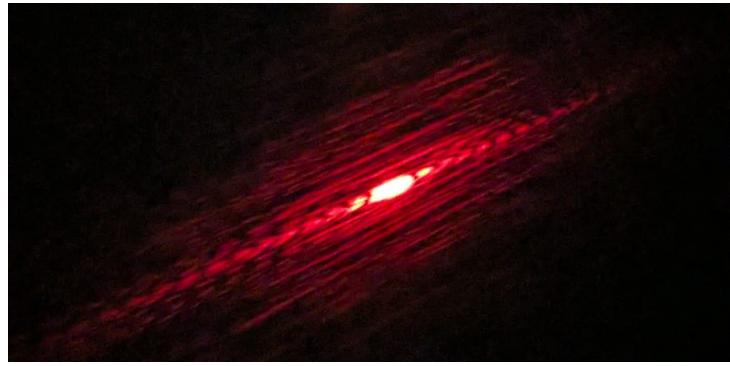
Utiliser un laser + Fente réglable pour montrer l'effet diffraction quand la fente est petite



D'abord j'utilise un laser élargie. Pas tout le faisceau passe par la fente donc on perd de l'énergie et la figure est moins claire (on voit moins les ailes). Mais le laser couvre toute la fente donc la frange centrale est toute la fente.

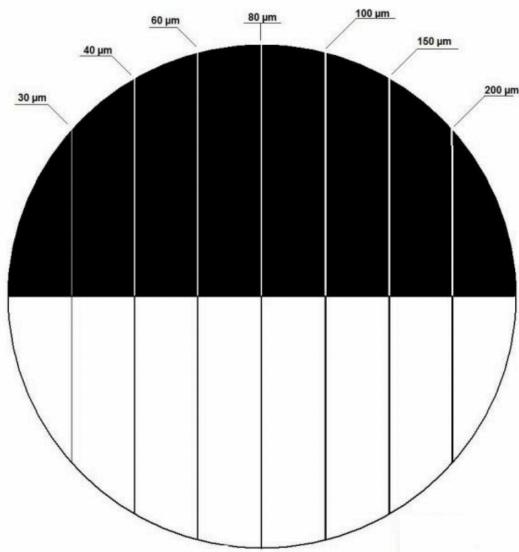


Maintenant avec un laser normal je forme un point très énergétique qui passe par la fente presque en totalité donc j'ai toute l'énergie pour voir plus les ailes.



Au lieu de la fente variable, on peut aussi utiliser des fentes simples de diffraction

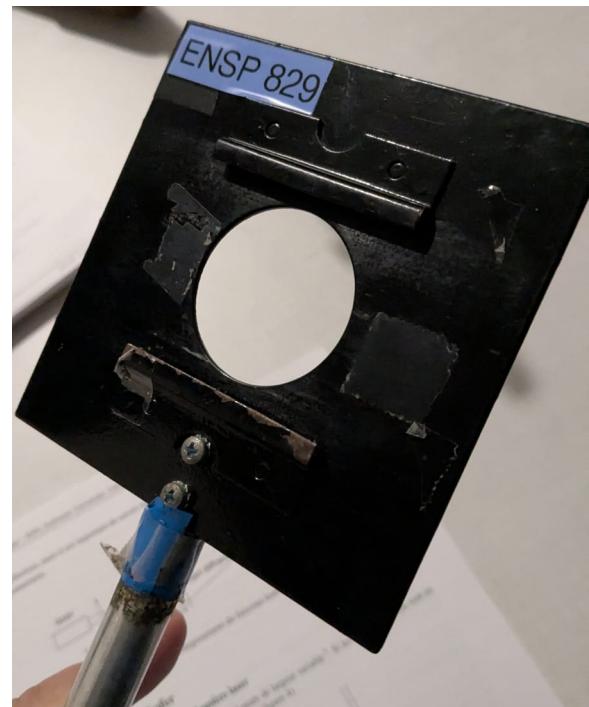
### Fentes et fils de diffraction : 202331



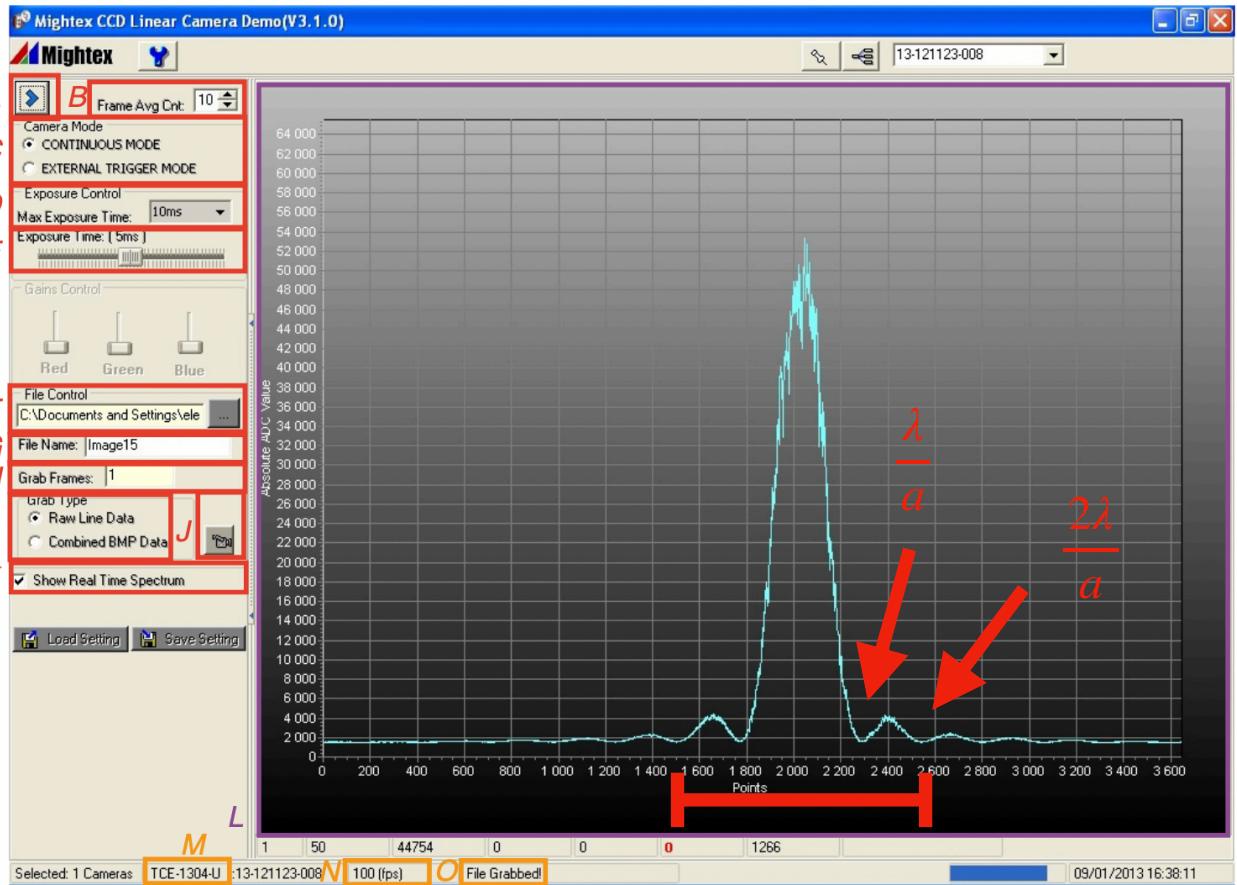
De même on peut remplacer la fente par d'autres fentes ou trous qui se trouvent dans la boîte laser et les déposer sur un “support de diapositive”

## TP 2 : Mesure

- On utilise une lumière blanche par **lampe Quartz-lode**.
- On ajoute un **collimateur** (là j'ai utilisé 12 cm).
- On ajoute une fente collée à la source pour l'utiliser comme un **diaphragme**.  
On obtient sur l'écran une image de la source (la lampe).
- Pour annuler ça, on ajoute une **lentille** (ici 15cm) de façon à obtenir une image nette à l'infini (sur l'écran)



- J'ajoute l'**objet diffractant** (des fentes simples) et on cache les fentes non désirées par du scotch noir. L'objet diffractant vaut mieux être collé à la lentille
- J'utilise une **camera CCD** à la place de l'écran, sans ajouter des densités. La CCD a un capteur horizontal donc ne capte que le sinus cardinal horizontal. Il faut que l'image soit nette sur la camera.
- **Logiciel “CCDCameraapp”** ENSP 4323  
C continuous / D et E pour échelle saturation / F et G pour nom et localisation save / K pour voir en direct / I en raw line Data  
Puis A pour lancer puis arrêter
- J'obtiens des figures où c'est dur de voir les autres pics (à part le pic central). Donc je sature à fond le pic central pour essayer de voir les autres pics. On peut ajouter **des densités à la CCD**.
- On peut augmenter B (frame avg cnt) donc diminuer le bruit car c'est = nb de comptage moyen à prendre par bin. Comme ça on peut augmenter E beaucoup plus.
- J'utilise **un filtre couleur** pour choisir une seule longueur d'onde et je le dépose n'importe où même devant la CCD.
- On peut prendre nombre de points entre — donc cela fait  $\frac{4\lambda}{a}$  et on a la taille du pixel de la CCD par la notice. Il y a 3648 pixel de largeur  $8 \mu m$  et largeur totale du capteur 29,2 mm.
- Par notice des fentes,  $a = 30 \mu m$



Ou

- Appuyer sur J sur le logiciel (en vérifiant que l est coché en raw line data)
- Pour le fichier dans le dossier, faire rename et ajouter .txt
- Mettre ce fichier sur **Qtiplot** et j'aurai une colonne des intensités (axe y)
- Ajouter une colonne comptage (axe x) en faisant "Fixer les valeurs de la colonne à" puis mettre "i" et là on aura 1 2 3 ... 3648.