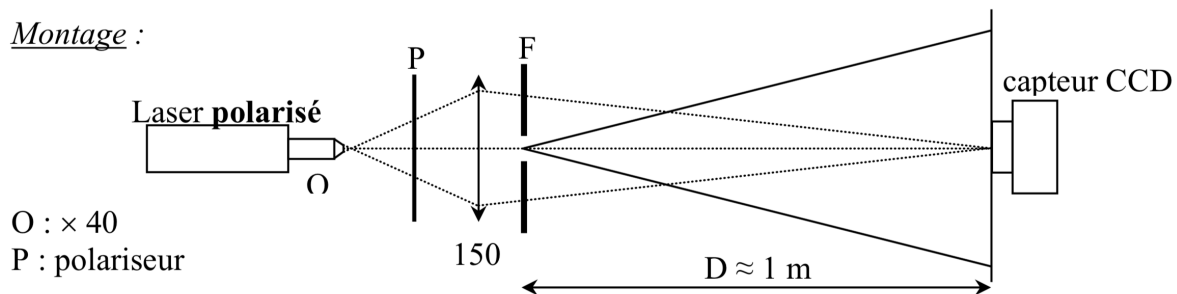


MONTAGE N°09 : DIFFRACTION

I. Diffraction par une fente

Montage :



F : diapositive métallique Leybold réf. 469 91 ; prendre la fente de largeur $a = 0,12 \text{ mm}$.

L'utilisation du capteur CCD présente deux difficultés car il est très sensible et il est très fin. Il faut donc éviter de le saturer par un excès de lumière et bien aligner la figure de diffraction sur la barrette de pixel.

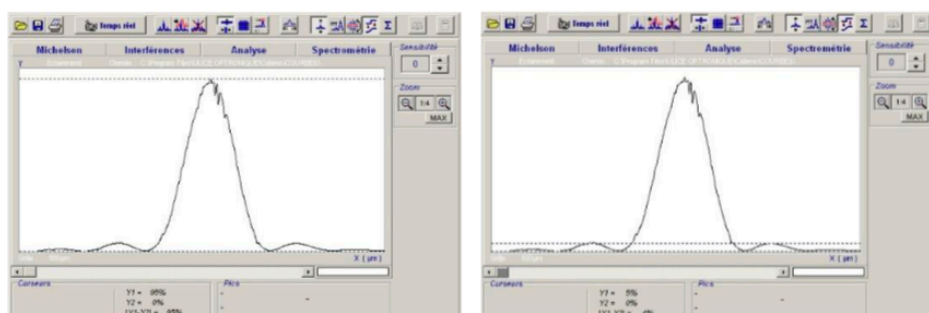
Contrôle de la luminosité :

Travaillez dans le noir le plus complet. Prendre un laser polarisé peu puissant et un objectif de microscope suffisamment divergent pour ne faire passer qu'une petite fraction du faisceau dans la fente. On modulera son intensité lumineuse à l'aide d'un polariseur de bonne qualité placé avant la lentille (si ce n'est pas suffisant, on peut placer contre le capteur CCD

un filtre interférentiel centré sur la longueur d'onde du laser).

Alignement de la figure sur le capteur :

Ajustez la hauteur du capteur CCD de façon à le saturer, jouez sur le polariseur jusqu'à bien voir les pics latéraux et affinez le réglage de la hauteur pour avoir un signal maximum. Ajustez alors l'orientation de la fente de façon à ce que les pics latéraux soient bien symétriques. Ajustez ensuite l'intensité avec le polariseur jusqu'à voir la totalité de la figure sur l'écran. Utilisez la fonction « auto calibration » pour utiliser la totalité de l'écran et la fonction « filtrer » pour améliorer l'allure de la figure. Figez la représentation en appuyant sur « acquérir » puis « temps réel ». Voici à titre indicatif le résultat d'une acquisition :



Exploitation :

Mesurez le rapport de l'intensité du pic secondaire à celle du pic central avec les curseurs (cf. schéma) et comparez à la valeur théorique de 4,44% (les résultats sur notre exemple recoupent cette valeur compte tenu de la précision des curseurs). Mesurez à sa base la largeur du pic central et vérifiez qu'elle vaut le double de la largeur des pics latéraux (on peut augmenter la luminosité pour l'étude des pics secondaires). Mesurez l'interfrange de la figure de diffraction en dilatant l'échelle des intensités et comparez à la valeur théorique $i = \lambda D/a$. Vous pouvez aussi superposer une courbe théorique grâce au mode « interférences » du logiciel. Il suffit de rentrer dans le mode « simulation » la valeur de λ , D et a.

On conseille ici de prendre une fente métallique car les fentes sur plaque de verre ou diapositive n'ont pas une opacité suffisante lorsqu'on utilise un laser (surtout si on les éclaire sans élargisseur) → la figure de diffraction obtenue est « moins bonne ». On déconseille aussi les fentes réglables graduées car on peut avoir des problèmes de parallélisme entre les deux bords et la mesure de la largeur peut être faussée si le mécanisme a été abîmé.

NB pour régler le logiciel :

-On augmente le temps d'intégration

-On lisse en pixels 17

Si on ne voit pas les minima, bien cacher le capteur CCD sous un voile noir et éclairer à côté avec une lampe de bureau. Ça évitera que le 0 soit vraiment à 0.

Incertitude de a → $\Delta a = a \sqrt{(\Delta D/D)^2 + (\Delta i/i)^2}$

II. Diffraction par un motif à répétition aléatoire :

Les figures de diffraction se superposent + terme d'interférence qui se rajoute (les motifs se mettent à interférer les uns avec les autres).

1) Diffraction par un trou

Eclairez directement un trou à l'aide d'un faisceau laser et observez la figure de diffraction sur un écran relativement éloigné pour se placer au mieux dans les conditions de Fraunhofer. L'idéal est d'utiliser un trou suffisamment fin pour avoir une figure de diffraction suffisamment grande ; on peut réaliser cette expérience avec le nettoyeur de faisceau laser ($\varnothing = 30 \mu\text{m}$) mais faire passer le faisceau dedans s'avère délicat (on peut utiliser la platine de translation) et la tâche de diffraction est peu lumineuse (la majeure partie du faisceau est arrêtée). A défaut, on peut mener cette expérience avec des trous de 0,2 et 0,3 mm. Eloignez alors suffisamment le

laser du trou pour l'éclairer de manière \approx uniforme. Faire la mesure en éloignant au max l'écran afin de diminuer l'incertitude sur la mesure.

Vérifier :

$$\sin\theta = \frac{1,22\lambda}{a} \approx \text{tg}\theta = \frac{R_{ANNEAU}}{D_{TROU-ECRAN}}$$

2) Diffraction par les lycopodes (cf théorème de babinet ?)

Les lycopodes sont une sorte de mousse dont les spores, grossièrement sphériques, ont surtout une très faible dispersion de taille. Elles permettent donc d'observer le résultat d'une diffraction par un très grand nombre d'objets identiques mais répartis cette fois-ci de façon aléatoire.

Manipulation :

On dispose de deux lames de microscope accolées entre lesquelles on a déposé des spores de lycopode. Eclairez directement ce dispositif par un faisceau laser non élargi et observez la figure de diffraction sur un écran éloigné. Vous devez observer une tache d'Airy modulée par une « granularité » assez importante.

(sinon élargi avec une lentille convergente)

Mesures :

Quel que soit le montage réalisé, mesurez le rayon du premier anneau noir et en déduire la taille moyenne des spores de lycopodes. On peut comparer cette mesure à celle réalisée avec un microscope. On peut utiliser la caméra Didacam reliée à un téléviseur pour rendre cette mesure visuelle. Remplacez l'oculaire standard par l'oculaire $\times 10$ « spécial Didacam » (celui fourni avec la caméra) et montez la caméra sur cet oculaire. Un objectif $\times 60$ permet d'obtenir un grandissement optimum des spores de lycopodes mais il faut alors déposer directement des spores sur une lamelle, le dispositif à deux lames avec les spores en sandwich étant trop épais pour assurer la mise au point. Placez une lampe au-dessous de la lame et intercaler un morceau de calque pour diffuser la lumière. Mesurez la taille des spores directement sur le téléviseur (on peut en mesurer plusieurs pour faire une exploitation statistique). Pour tenir compte du grossissement, le plus simple consiste à remplacer la lamelle de spores par une mire micrométrique et comparer l'espacement des graduations sur le téléviseur à la taille réelle (les plus petites graduations de la mire à Rennes sont espacées de $10\ \mu\text{m}$). La recherche directe des graduations sur la mire peut s'avérer délicate avec l'objectif $\times 60$. On conseille donc de commencer par un objectif de plus faible grandissement ($\times 10$ par exemple) pour centrer la plus petite partie de la mire.

1280*720 / 15 IMAGES (aller dans les paramètres pin) prendre la plus grosse résolution

Au microscope, grossissement 40 ou 60 :

Prendre une lame étalon et [?] Analyze Set scale

Puis prendre lame avec lycopode [?] Image J prendre un trait sur un diamètre

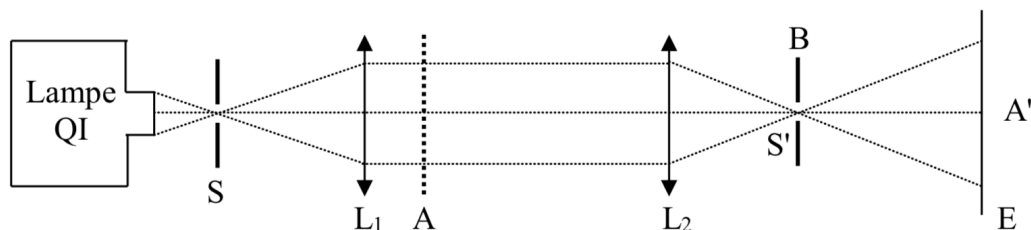
Et faire contrôle M

En prendre plusieurs et moyenner

III. Application :

1) Filtrage des fréquences spatiales avec l'expérience d'Abbe.

IV.2.1 Expérience d'Abbe



A : toile métallique

B : fente fine

L1 : 15 cm → permet d'obtenir un faisceau parallèle (réglage par auto collimation)

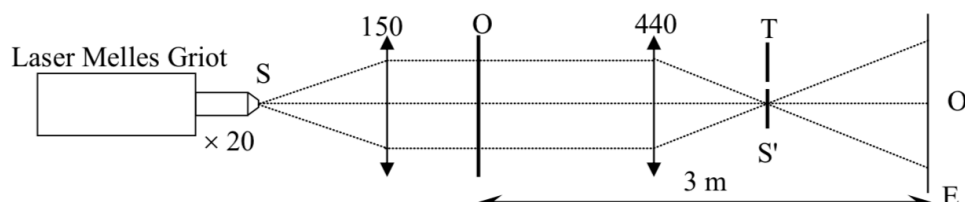
L2 : 25 cm → forme l'image de A sur l'écran

On a en S' (plan focal de L2) l'image de S sous forme de figure de diffraction due à A (dans le plan de S', on est dans l'espace transformé de Fourier du plan de A). Si on place une fente B dans le plan de S', on modifie la figure de diffraction de A, et, sur l'écran E (où on est repassé dans l'espace réel, E étant le plan conjugué de A par rapport à L2), on observe une modification de l'image A' de A. Si B est verticale, on ne voit en A' que les traits horizontaux et vice-versa. Dans la transformée de Fourier de la grille, qui est une croix en première approximation, on supprime la branche horizontale. En A' ne subsistent alors que les traits dont la figure de diffraction est verticale, c'est-à-dire les traits horizontaux.

2) Détramage d'une photo :

IV.2.3 Détramage d'une photo

Réalisez le montage suivant en utilisant pour objet la diapositive avec la photo tramée d'un dragon asiatique.



Formez un faisceau de lumière parallèle avec la lentille de 150. Placez la diapositive derrière cette lentille et formez l'image du dragon sur un écran placé à trois mètres de la diapositive → l'image est tramée. Recherchez à l'aide d'un écran le point S' ; vous devez observer une succession de traces lumineuses :



Sélectionnez un seul point lumineux à l'aide d'un trou T
→ Conséquence sur l'image ?

☐ Disparition de la trame.

Explication :

On est dans l'espace de Fourier en S' . Le spectre des fréquences spatiales de l'objet est convolué par une trame spatiale qui est la TF de la trame de la diapositive (celle-ci équivaut à un échantillonnage de la photo d'origine). Il y a une forte analogie avec ce que l'on observe en électronique avec les oscilloscopes numériques ou les systèmes d'acquisition (le spectre fréquentiel calculé est convolué par le peigne de Dirac de l'échantillonnage). Se reporter au montage sur l'acquisition de signaux.

On a refait la même manip avec un laser, et on pouvait bien voir la transformée de Fourier de l'image ! (mieux qu'en lumière polychromatique)

Photo (on a ajouté une lentille après notre montage afin de voir la TF sur l'écran (motifs qui se répètent)

L'idée serait de sélectionner un seul point lumineux afin de voir l'image sans trame de la même manière que précédemment.

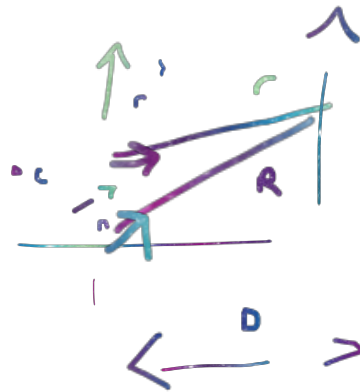
QUESTIONS :

- Quelle est la condition pour avoir une diffraction de Fraunhofer ?

Diffraction d'une onde plane à l'infini

- Quels sont les problématiques qui empêchent d'observer la diffraction de Fraunhofer ?
- Chaque point de l'écran diffractant est de nature ? Sphérique
- En Fresnel on fait quelle hypothèse simplificatrice ?

Huygens-Fresnel :



$$E(x') = \int E(x) \cos(\mathbf{n} \cdot \mathbf{r}) e^{i k r / r} dx$$

Quand on fait une addition de champ on fait une addition vectorielle.

Aspect vectoriel, il faudrait tenir compte suivant l'orientation du rayon.

Fresnel, on considère qu'on est sur des distances assez grandes afin de pouvoir passer en scalaire.

$$\cos = 1$$

$r = \text{cte}$ sur $1/r$ mais pas dans l'exponentiel.

$$E(x') \propto \int E(x) e^{i k r} dx$$

Fraunhofer : phase linéaire en x

$$E_F(x') \propto \int E(x) e^{-i k x x' / D} e^{i k x^2 / 2 D} dx$$

$$\text{Fraunhofer} \rightarrow k x^2 / 2 D \ll 1 = D + (x' - x)^2 / 2 D$$

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

$$E_F(x') \propto \int E(x) e^{-i k (x' - x)^2 / 2 D} dx$$

- Critère d'évaluation en terme de distance pour être en Fraunhofer ?

Quand on a un écran de 1 mm : $D \gg x^2 / \lambda$ $\lambda = 600 \text{ nm} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

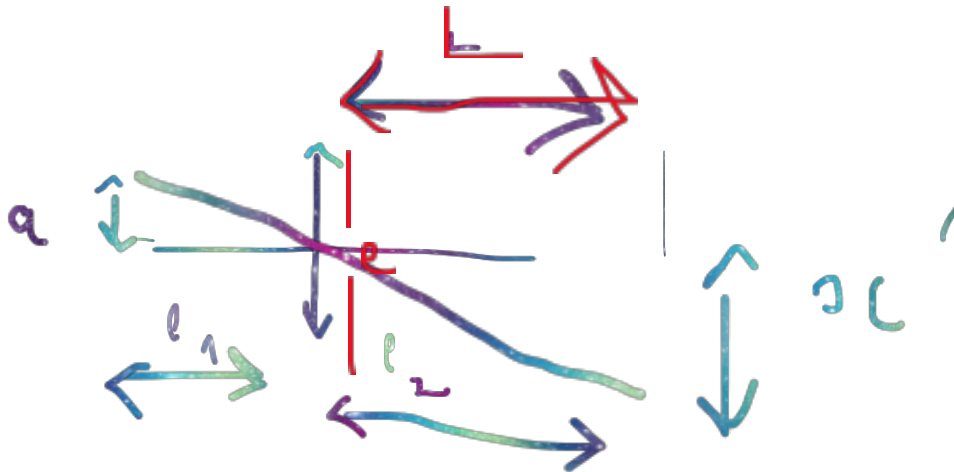
La limite c'est 1,6m (au delà on peut observer une figure de Fraunhofer)

D'où vient la formule du critère de Rayleigh ?

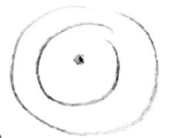
Tang $\alpha = a/l_1 = x'/l_2$ $\Rightarrow x' = l_2/l_1 \cdot a$

$x' = \lambda L/e$

Rayleigh $\Rightarrow x'g = x'$ diff $\Rightarrow l_2/l_1 \cdot a = \lambda L/e \Rightarrow e = \lambda L l_1 / a \cdot l_2$



19 : Diffraction des ondes lumineuses



I. Diffraction par une fente

évaluer r_{min} r_{max}
puis prendre moy.

$$\frac{I_{secondaire}}{I_{central}} = \dots = 4,6\%$$

La théorie 4,4%

I_s = intensité pic secondaire
 I_c = centrale

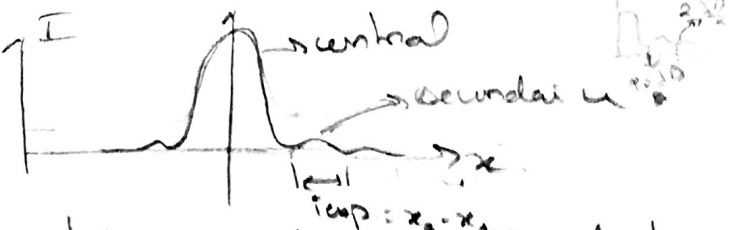
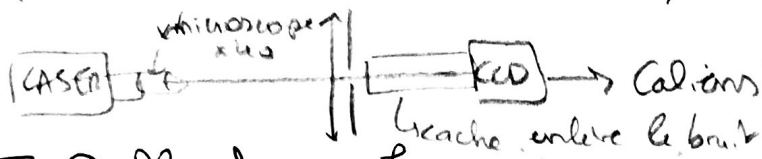
Interférence : $\lambda = \frac{\Delta D}{a}$
 x_{sep} = distance entre deux noirs

$$\lambda = 638,8 \text{ nm}$$

$$D = 136,8 \pm 9,5 \text{ cm}$$

$$a = 9,24 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} x_{sh} = 3,55 \pm 9,02 \text{ mm} \\ x_{sep} = 3,33 \pm \dots \text{ mm} \end{array} \right\} e = 9\%$$



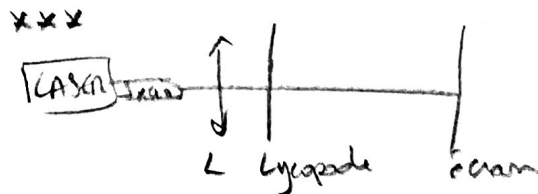
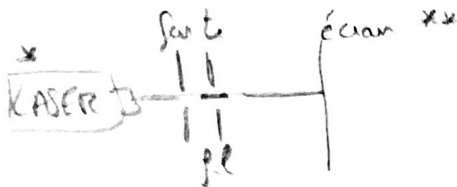
II. Diffraction - Lycopodes

Théorème de Babinet \rightarrow écran complémentaire, même tâche si fil ou fente

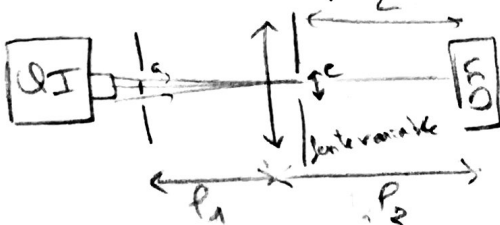
Fluore au microscope - d_{eye} = moy stat μm
utilisation de image S.

Fluore par diffraction - $r = 1,22 \frac{\lambda D}{d}$
tâche d'Airy

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = 631,8 \text{ nm} \\ D = 61,6 \pm 0,5 \text{ cm} \\ r = \dots \mu m \end{array} \right\} d_{diff} = \dots \mu m$$



III. Pouvoir séparateur - Rayleigh



note I_{min} et I_{max} .
 \hookrightarrow plusieurs
pour \neq longueur de
la fente variable
 \hookrightarrow pourcentage
d'écart.

$$\text{Critère de Rayleigh : } x = \frac{\lambda L}{e} \text{ soit } e = \frac{\lambda L}{a b_2}$$

$$\lambda = 480 \text{ nm}$$

$$L = 123,8 \pm 9,5 \text{ cm}$$

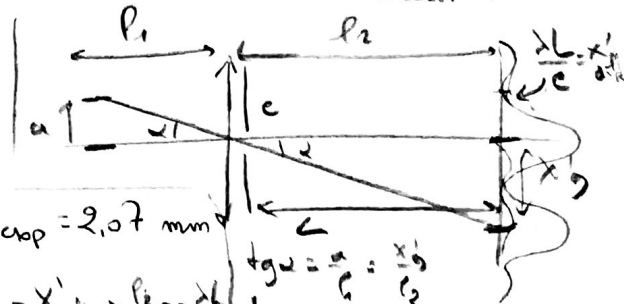
$$b_1 = 33,8 \pm 9,5 \text{ cm}$$

$$b_2 = 129,2 \pm 9,5 \text{ cm}$$

$$a = 9,12 \text{ mm}$$

$$e_{sh} = 1,30 \pm 9,02 \text{ mm}$$

$$e_{sep} = 9,29 \text{ mm}$$



Par 80% on a

Protéger la CCD cache et projecteur éteint ou passage caché

avec e dément des tâches

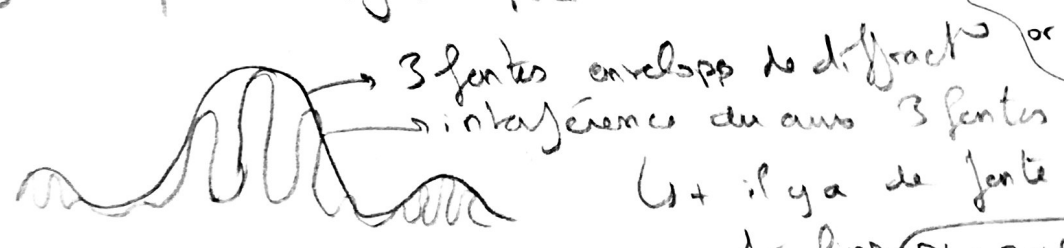
Remarques :

- intérêt III, m si l'objet d'abord l'objet la diffraction au limite translation de la fente \rightarrow passage de Fraunhofer à Fresnel.
- Le concept de justifier intérêt de juste étude F.
- si on est pas droit pas l'atténuation d'asymétrie
- Ecant type.
- Au lieu de s'intéresser à revenir à a (pour donner un structurel) invariant.
- Fraunhofer diffraction onde plane à l'iso.
- Ne pas oublier les schémas !
- Huygens - Fresnel
- Faire ds le val par les Lycopodes $a = 1.22 \frac{\lambda D}{d}$
- loin pour avoir grande tâche d'Airy centrale.
- Sans élargir \rightarrow granularité \rightarrow saleté laser
- Interférence qd un motif se répète.

$$E(x') = \int_{-D/2}^{D/2} E(x) e^{i k r} dx$$

$$r \approx \frac{D^2}{2z} + \frac{x'^2}{2z}$$

$$E(x') \approx \int_{-D/2}^{D/2} E(x) e^{i k \frac{x'^2}{2z}} dx$$

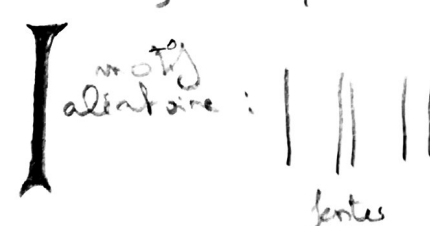
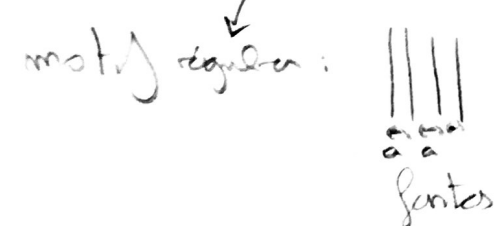


et si y a de fente + les pres

$$DL = R \approx D \left(1 + \frac{(x'-x)^2}{2D^2} \right)$$

$$E(x') \approx \int_{Fes} E(x) e^{i k \frac{(x'-x)^2}{2D}} dx$$

terme d'interférence + fins si y en a bq.

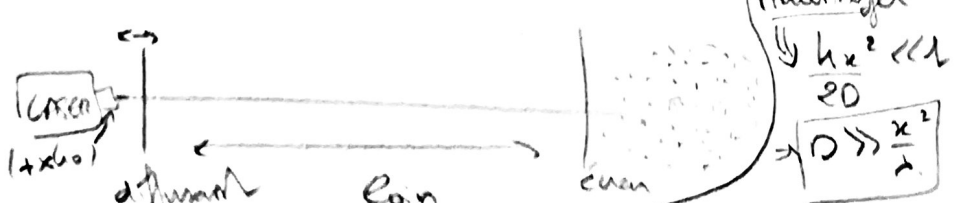


$$(x'-x)^2 = x'^2 - 2x'x$$

$$\Rightarrow E(x') \approx \int_{Fes} E(x) e^{-i k \frac{x'x}{D}} e^{i k \frac{x^2}{2D}} dx$$

$\rightarrow I = I_1 + I_2$ + de granularité si 2 sources
Figure non structurée proche

- Divergence faisceaux laser :



on approche petit spectre
on s'éloigne gal

Fraunhofer

$$\frac{k x^2}{2D} \ll 1$$

$$D \gg \frac{x^2}{\lambda}$$

ϕ linéaire entre *
idem pour la source.

III \rightarrow influence de la diffraction sur restauration op