

Figure – Figure de diffraction par un seul trou et interférences par deux trous d'Young

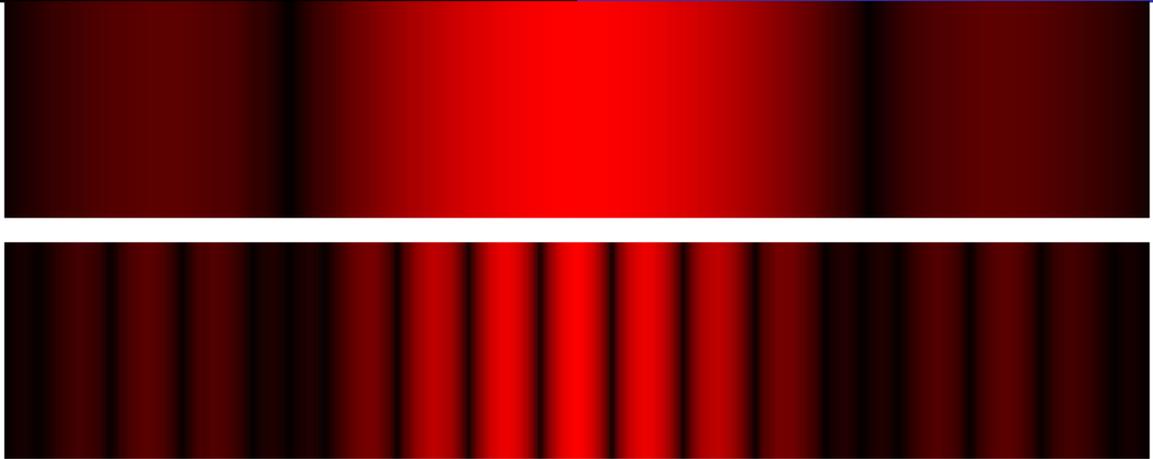


Figure – Figure de diffraction par une seule fente et interférences par deux fentes d'Young



## Définition :

Après passage par un orifice, en raison de la diffraction, la lumière est principalement contenue dans un cône de demi-angle au sommet

$$\theta \approx \frac{\lambda}{b}$$

où  $b$  est la largeur de la fente.

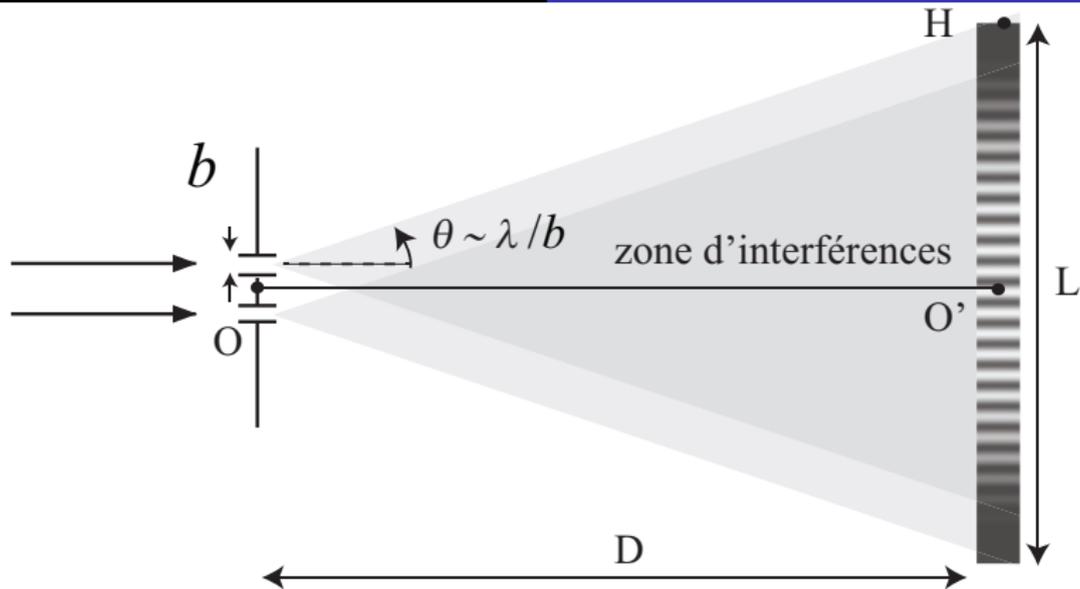
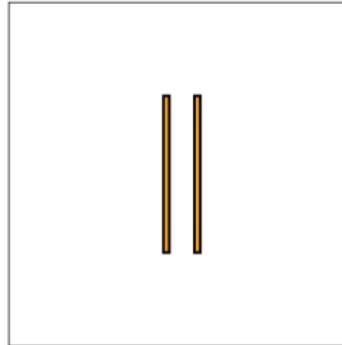
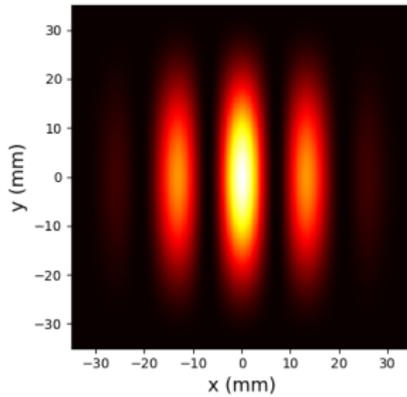


Figure – Illustration du phénomène de diffraction.

$a = 0.10 \text{ mm}$ ,  $b = 0.02 \text{ mm}$



$a = 0.46 \text{ mm}$ ,  $b = 0.02 \text{ mm}$

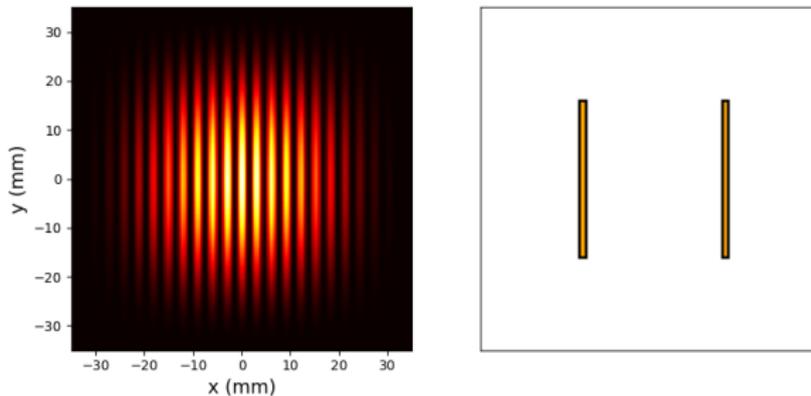
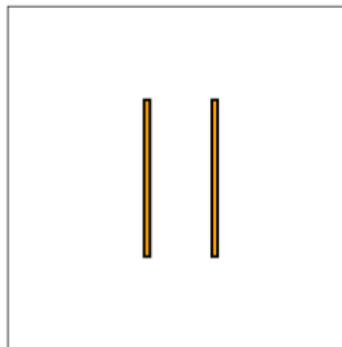
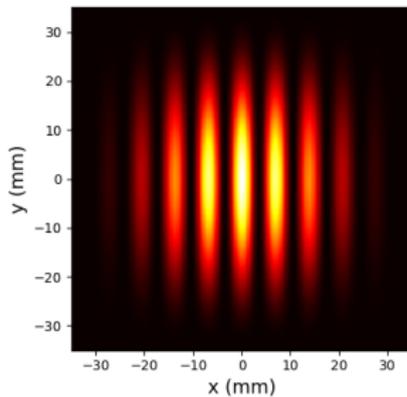


Figure – Influence de la distance entre les fentes

$a = 0.20 \text{ mm}$ ,  $b = 0.020 \text{ mm}$



$a = 0.20 \text{ mm}$ ,  $b = 0.074 \text{ mm}$

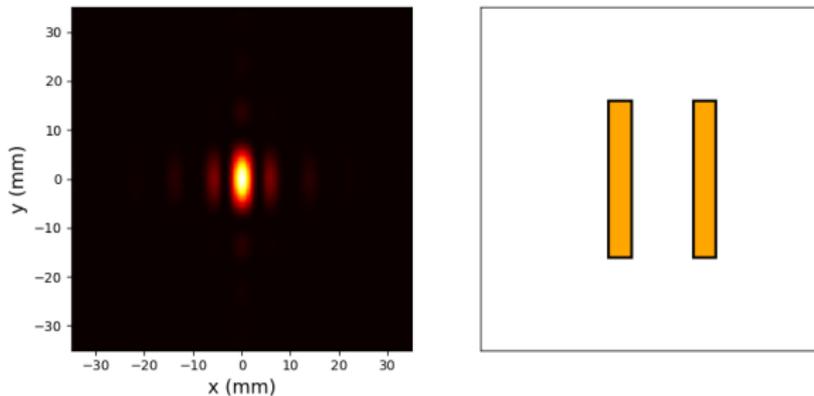
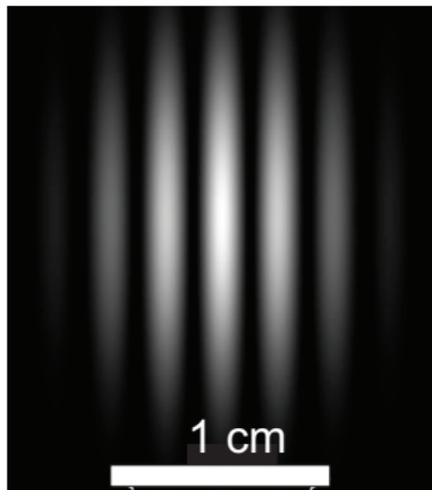


Figure – Influence de la largeur des fentes

## Exemple 1

On considère des fentes d'Young éclairées par une source monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 500 \text{ nm}$ . On note  $a$  la distance entre les fentes et  $b$  la largeur des fentes. L'écran est situé dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale  $f' = 1,0 \text{ m}$ . La figure obtenue est représentée ci-contre.

- 1 - Déterminer la valeur de  $a$ .
- 2 - Estimer la valeur de  $b$ .



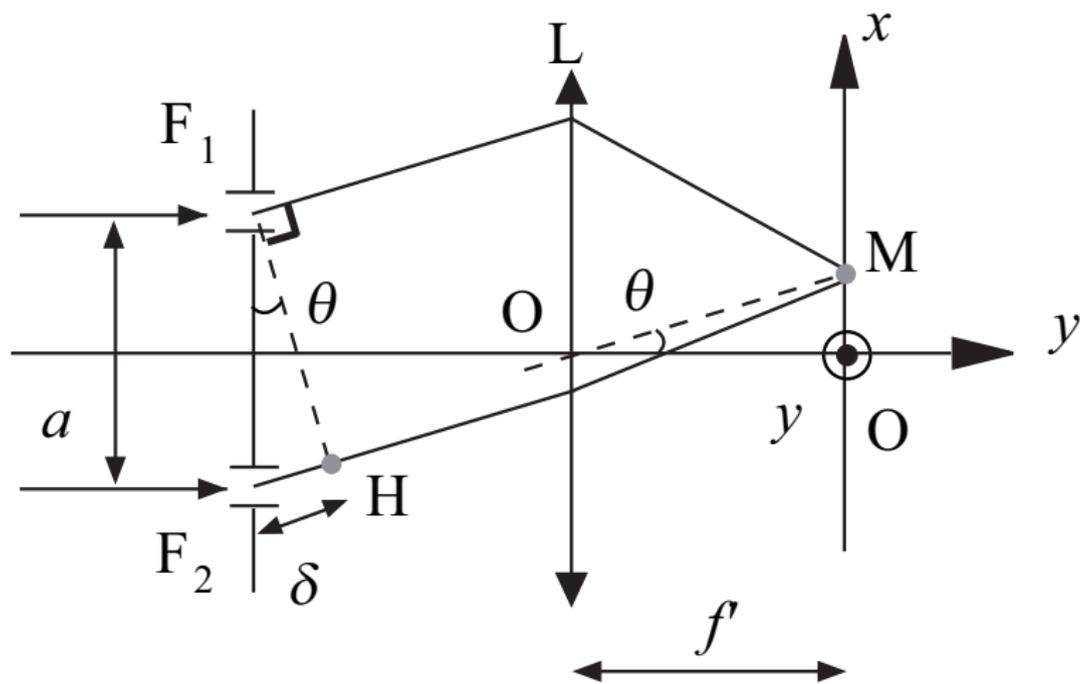


Figure – Utilisation du théorème de Malus avec une lentille convergente.

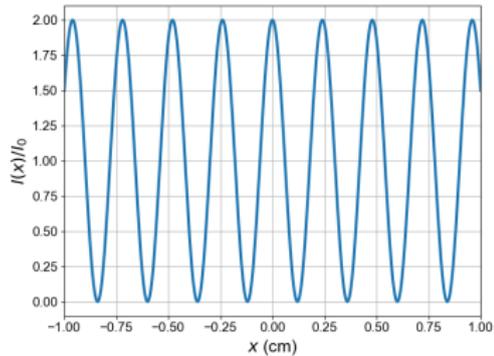
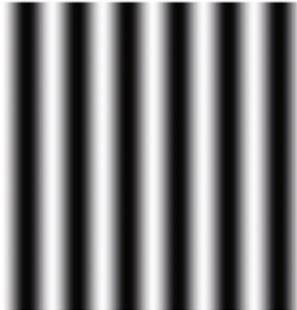


## Définition :

Le contraste ou facteur de visibilité est défini à l'aide des intensités maximales et minimales présentes sur la figure :

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

$C = 1$



$C = 0,5$

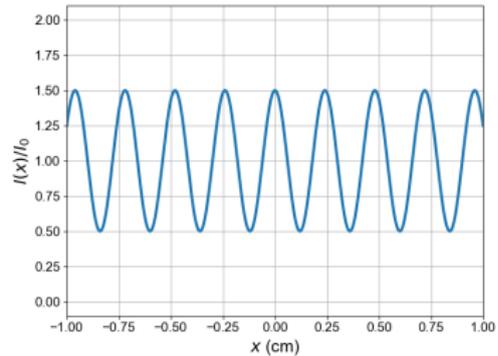


Figure – Exemple de variation de contraste.

**Exemple 2** Le dispositif est constitué d'une source ponctuelle  $S$  monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  placée au foyer objet d'une lentille  $L_1$ , d'une plaque percée de deux trous  $S_1$  et  $S_2$  de petite taille distants de  $a$  et d'un écran d'observation  $E$  placé à la distance  $D$  de la plaque. On note  $A_1$  l'amplitude de la source  $S_1$  et  $A_2$  l'amplitude de la source  $S_2$ .

1 - Justifier que les deux trous  $S_1$  et  $S_2$  sont des sources ponctuelles permettant de faire des interférences.

2 - Déterminer la différence de marche entre deux rayons arrivant sur  $M$

3 - En déduire l'intensité lumineuse sur l'écran, on notera  $I_1 = A_1^2/2$  et  $I_2 = A_2^2/2$ .

4 - Déterminer le contraste de la figure pour  $A_2 = A_1$  et  $A_2 = A_1/2$ .

*Données* :  $\cos a \cos b = 1/2 \times (\cos(a - b) + \cos(a + b))$

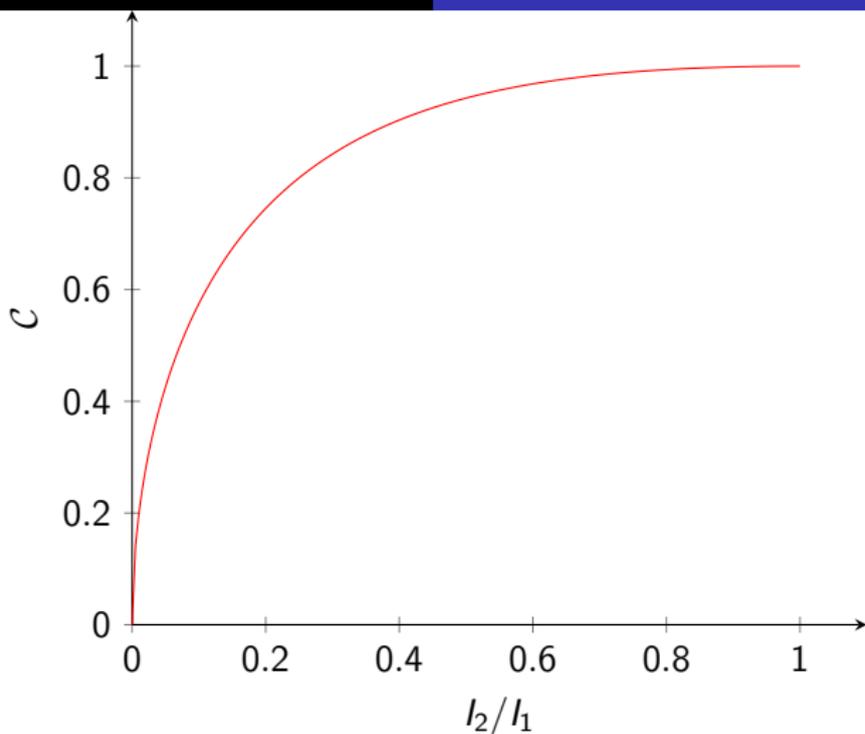
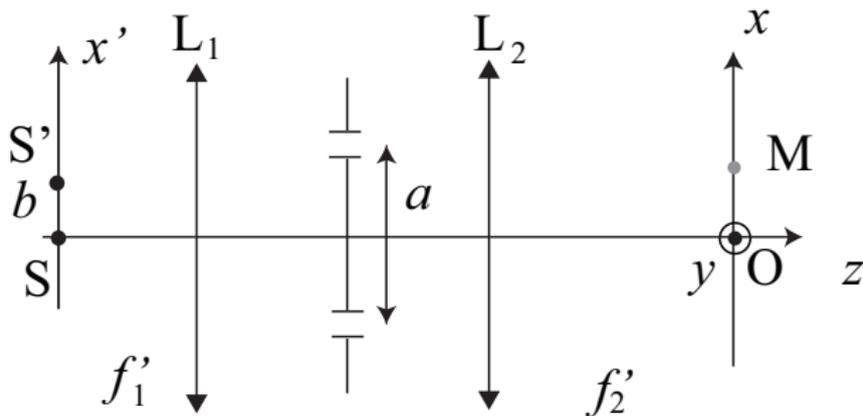


Figure – Influence de l'amplitude sur le contraste d'une figure

**Exemple 3** Le dispositif d'interférence est constitué de deux sources ponctuelles  $S$  et  $S'$  monochromatiques de longueur d'onde  $\lambda = 600 \text{ nm}$  place au foyer objet d'une lentille  $L_1$  de distance focale  $f' = 10 \text{ cm}$ , d'une plaque percée de deux fentes distantes de  $a = 150 \mu\text{m}$ . L'écran est placé dans le plan focal d'une lentille convergente  $L_2$  de distance focale  $f'_2 = 1,0 \text{ m}$ .



1 - Déterminer la différence de marche entre deux rayons arrivant

sur  $M$ , issus de  $S'$  puis de  $S$ .

2 - Exprimer l'ordre d'interférences  $p$  (pour deux rayons issus de  $S$ ) et  $p'$  pour deux rayons issus de  $S'$  en un point  $M$  de l'écran. En déduire la valeur  $\Delta p = p' - p$ .

3 - Justifier que si  $\Delta p = 1/2$ , le contraste s'annule. Évaluer la distance  $b$  correspondant à ce cas.

Largeur maximale d'une figure  
**Contraste d'une figure**  
Cohérence temporelle  
Interférences à N ondes



**Figure** – Principe de superposition des faisceaux lumineux du Very Large Telescope Interferometer sur le site de Cerro Paranal (désert Chilien). *D'après ESO.org*

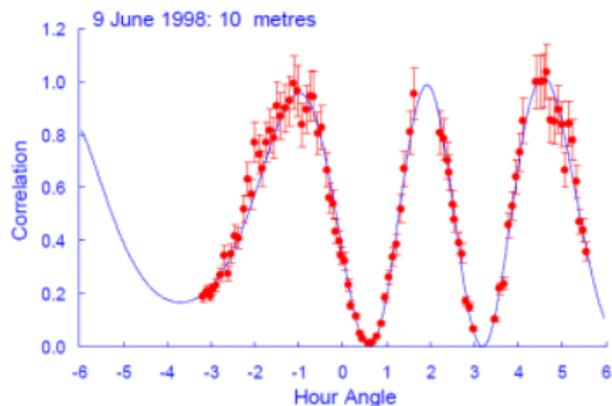
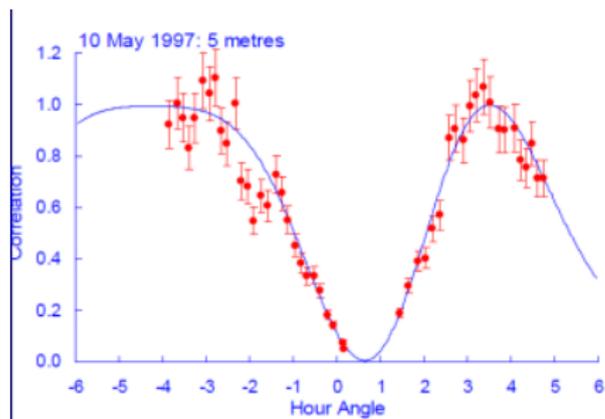


Figure – Examples of SUSI observation of  $\beta$  Centauri. *D'après J. Davis, université de Sydney*



## Définition :

Une source lumineuse dont la taille n'est pas négligeable, est dite **étendue**. On peut la considérer comme un ensemble de sources ponctuelles incohérentes entre elles.

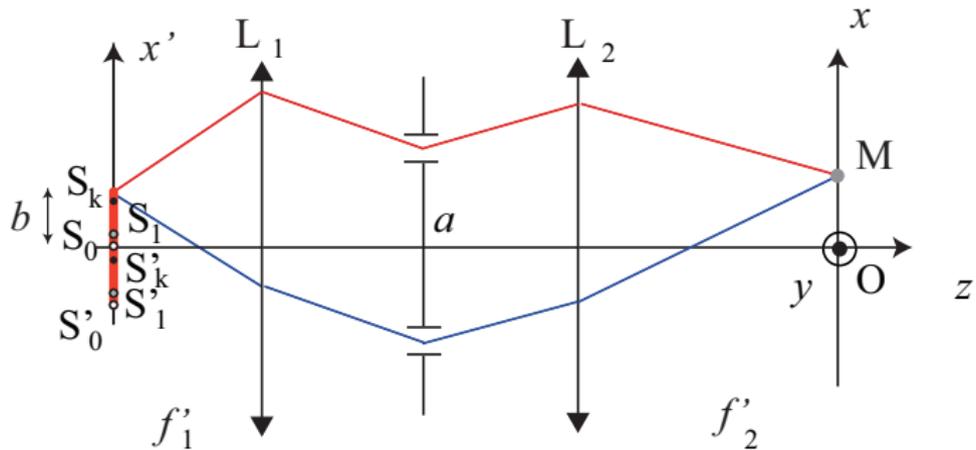


Figure – Décomposition d'une source étendue et critère de brouillage.

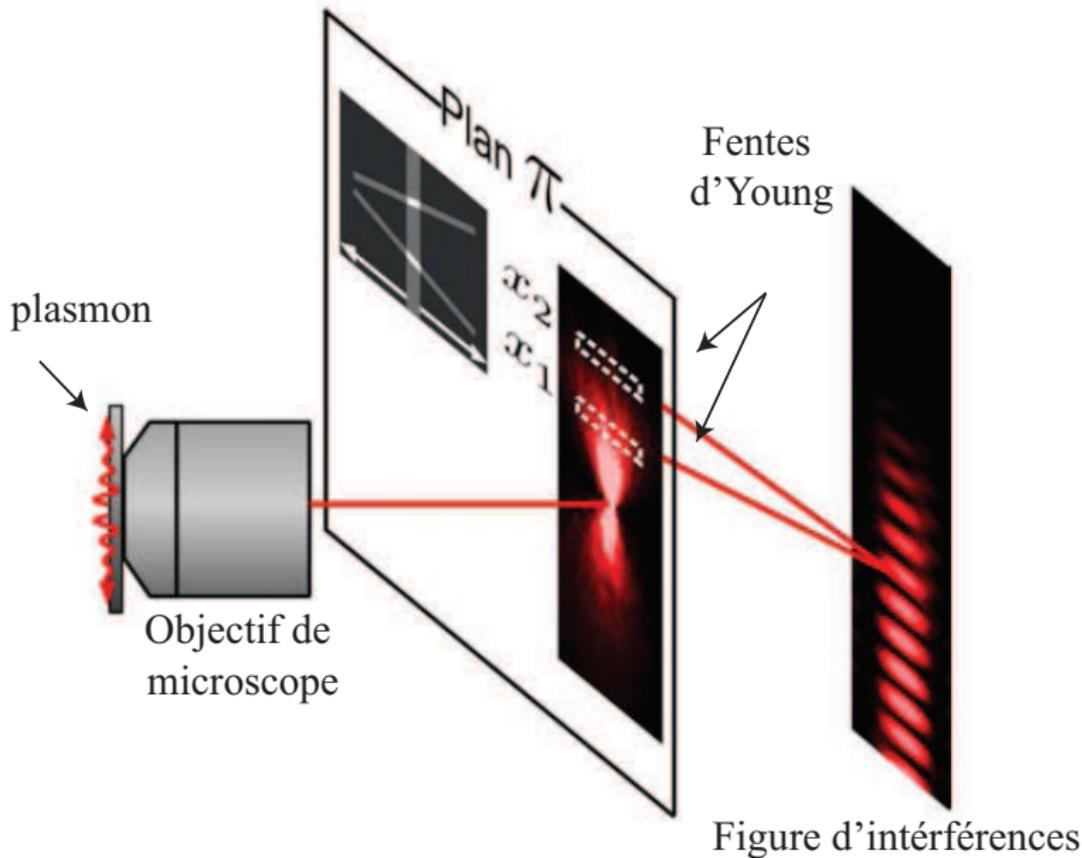
$$\Delta p = 0.062500$$



$$\Delta p = 0.445313$$



Figure – Influence de la largeur de la source



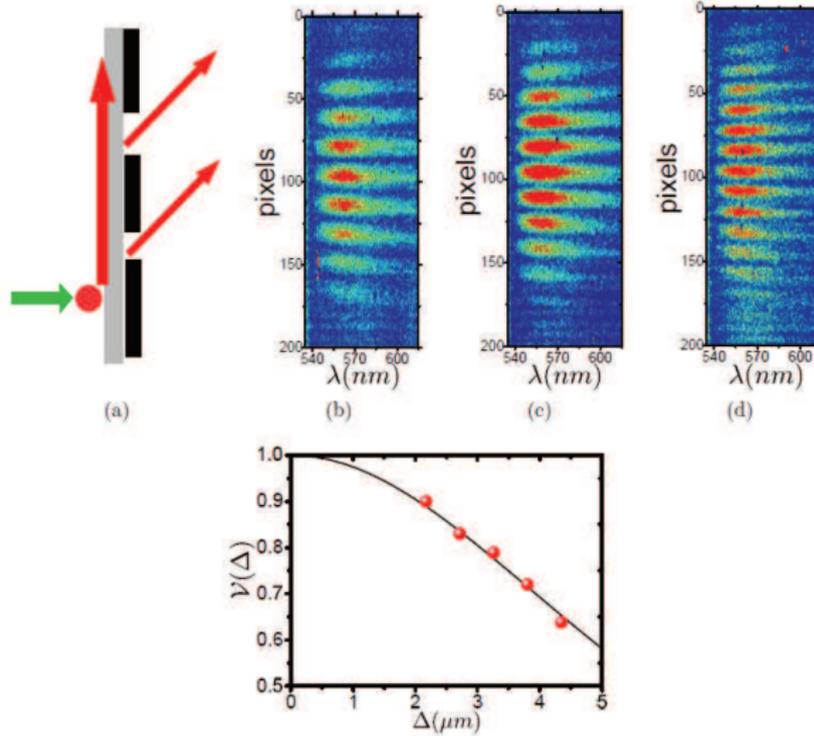


Figure – Influence des plasmons de surface propagatifs sur la cohérence de systèmes optiques, Thèse de S. Guebrou, Février 2014

source	$\lambda(nm)$	$\Delta\lambda(nm)$	$\nu(Hz)$	$\Delta\nu(Hz)$	$t_c$	$L_c$
Laser He-Ne	633	$1.10^{-3}$	$4,74.10^{14}$	$1,5.10^9$	0,67 ns	40 cm
Sodium	590	0,1	$5,08.10^{14}$	$86.10^9$	10 ps	3 mm
Blanche	600	400	$5,0.10^{14}$	$3,7.10^{14}$	3 fs	$1 \mu m$

Table – Largeurs spectrales de sources usuelles

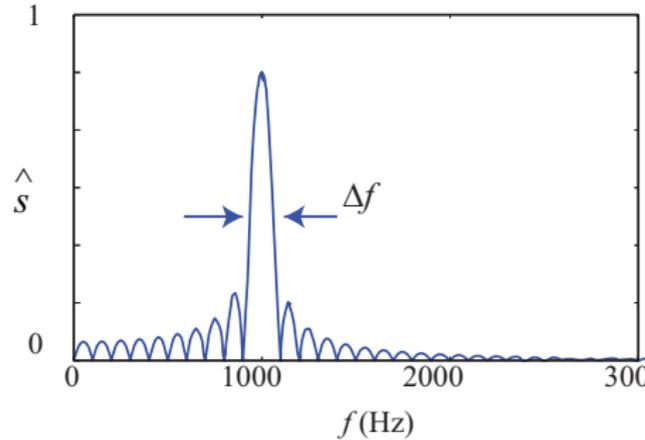
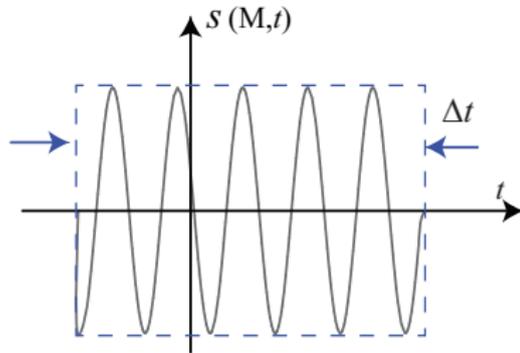


Figure – Cohérence temporelle et largeur spectrale



## Définition :

La largeur spectrale d'une source lumineuse limite dans le temps les vibrations lumineuses, on appelle **temps de cohérence** cette durée notée  $t_C$ . Le modèle associé est celui des train d'onde.



## Définition :

À partir de cette durée de cohérence, correspondant au temps « de vie » de la vibration lumineuse, il est possible de définir son étendue spatiale appelée **longueur de cohérence** définie par :

$$L_C = c \times t_C$$

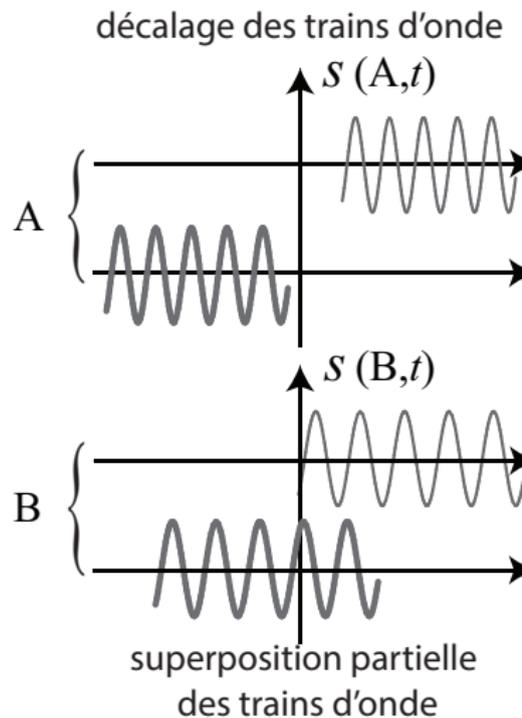
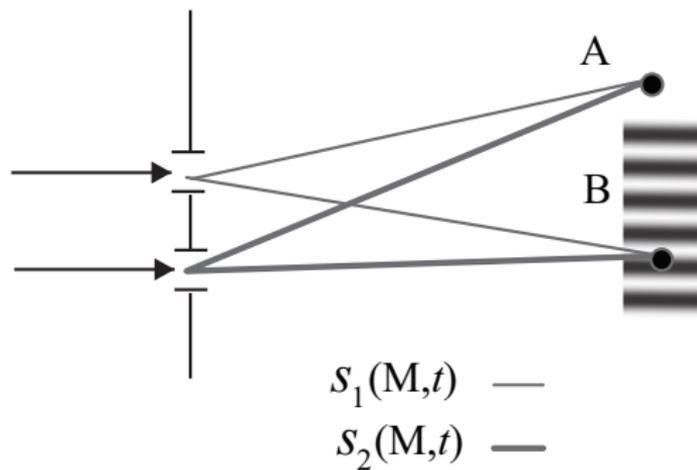


Figure – Cohérence temporelle et train d'onde



## Définition :

La superposition de deux figures d'interférences peut conduire à

- une **coïncidence** : les franges claires et sombres de chaque figure se superposent, le contraste est maximal ;
- une **anti-coïncidence** : les franges claires d'une figure se superposent à une frange sombre d'une autre figure, on observe un brouillage.

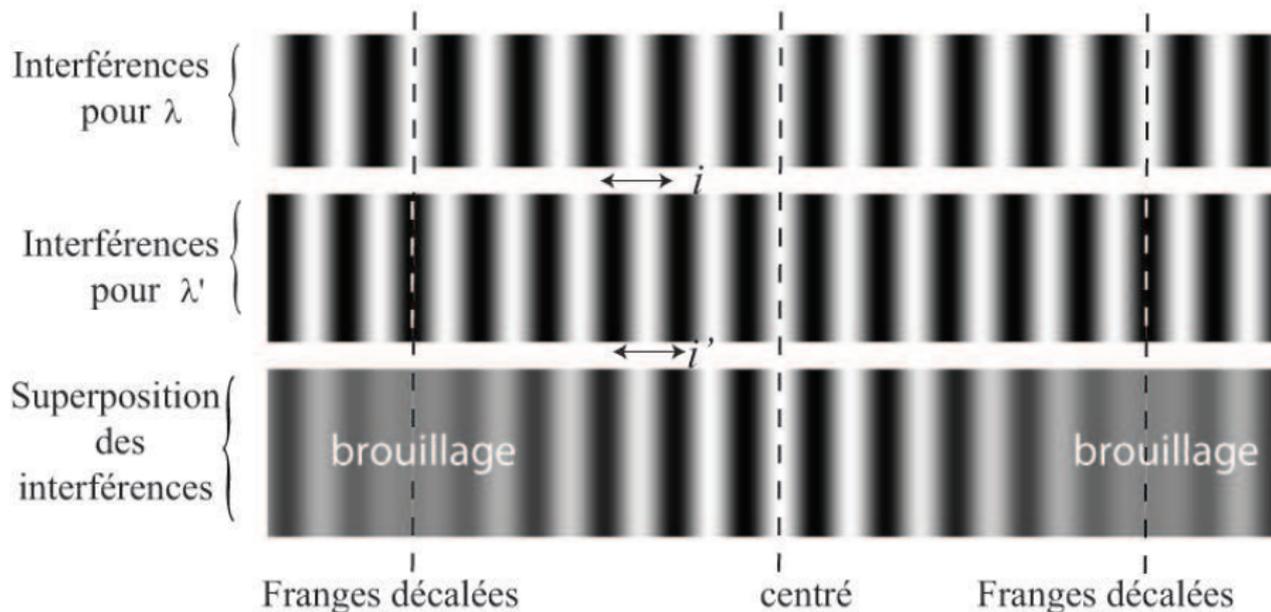
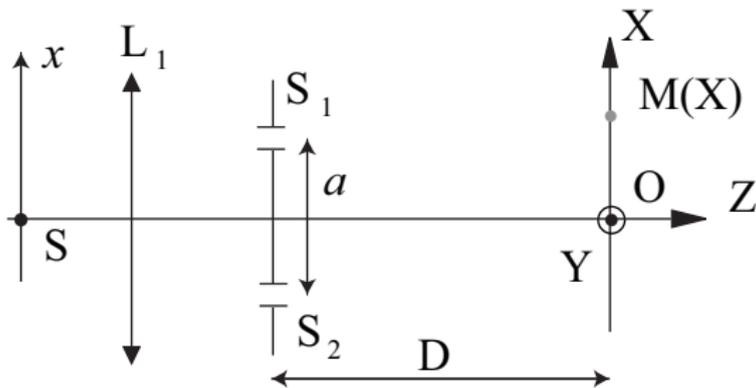


Figure – Illustration du phénomène de brouillage locale avec une source bichromatique

**Exemple 4** Le dispositif d'interférence est constitué d'une source ponctuelle  $S$  monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  place au foyer objet d'une lentille  $L_1$ , d'une plaque percée de deux trous  $S_1$  et  $S_2$  de petite taille séparés de  $a = 500 \mu\text{m}$  et distant de  $D = 1,0 \text{ m}$  d'un écran d'observation  $E$ .



- 1 - Justifier que les deux sources  $S_1$  et  $S_2$  sont des sources ponctuelles permettant de faire des interférences.
- 2 - Déterminer la différence de marche entre deux rayons arrivant

sur M

- 3 - En déduire l'intensité sur l'écran et déterminer l'interfrange.
- 4 - Si  $S$  émet également une longueur d'onde  $\lambda'$  justifier que le contraste de la figure est altéré.
- 5 - Pour une lampe à vapeur de mercure  $\lambda = 577,0 \text{ nm}$  et  $\lambda' = 579,1 \text{ nm}$ . Combien de franges sont visibles entre deux brouillages ?

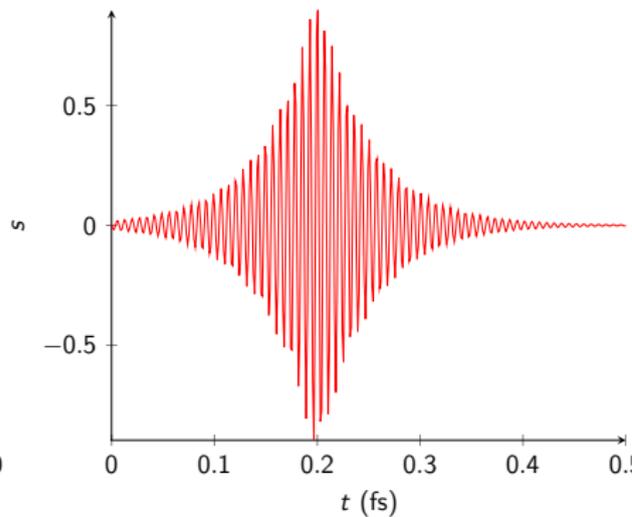
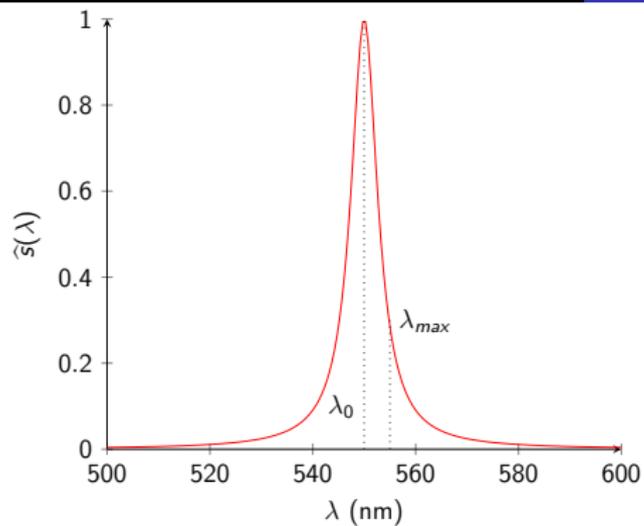
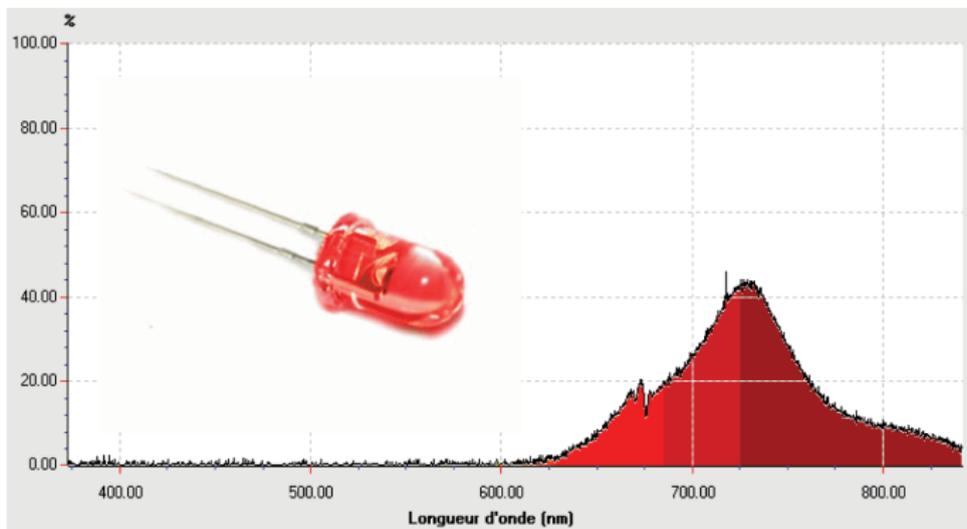


Figure – Profil spectral lorentzien et vibration associée.



Figure – Influence de la largeur spectrale de la source

**Exemple 5** On éclaire des fentes d'Young par une LED rouge dont le spectre est représenté ci-dessous. La source est supposée ponctuelle et disposée devant des fentes distantes de  $a = 200 \mu\text{m}$ . L'écran est situé à une distance  $D = 1,00 \text{ m}$  des fentes.



1 - Effectuer un schéma du montage d'optique et le tracé de rayons

qui interfèrent.

2 - Déterminer l'ordre maximale d'interférence visible en raison de la largeur spectrale de la source. On pourra considérer pour simplifier que  $\Delta\lambda \ll \lambda$ , et poser  $p_{max} = \delta_{max}/\lambda$ .



## Définition :

Un réseau de diffraction est un dispositif optique composé d'une série de fentes parallèles (réseau en transmission), ou de rayures réfléchissantes (réseau en réflexion). Ces traits sont espacés de manière régulière, l'espacement est appelé le « pas » du réseau.

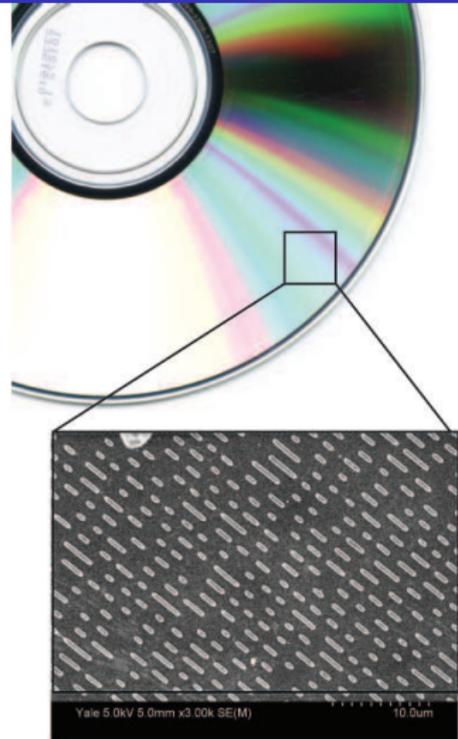
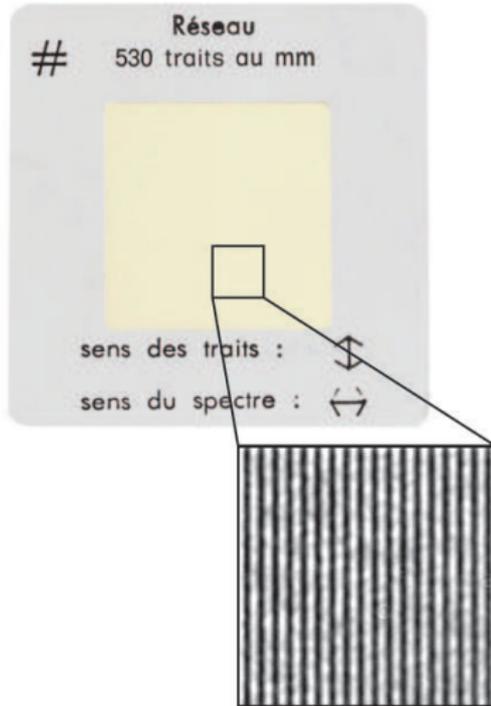


Figure – Structure de type réseau, (gauche : modèle commercial, droite : CD)

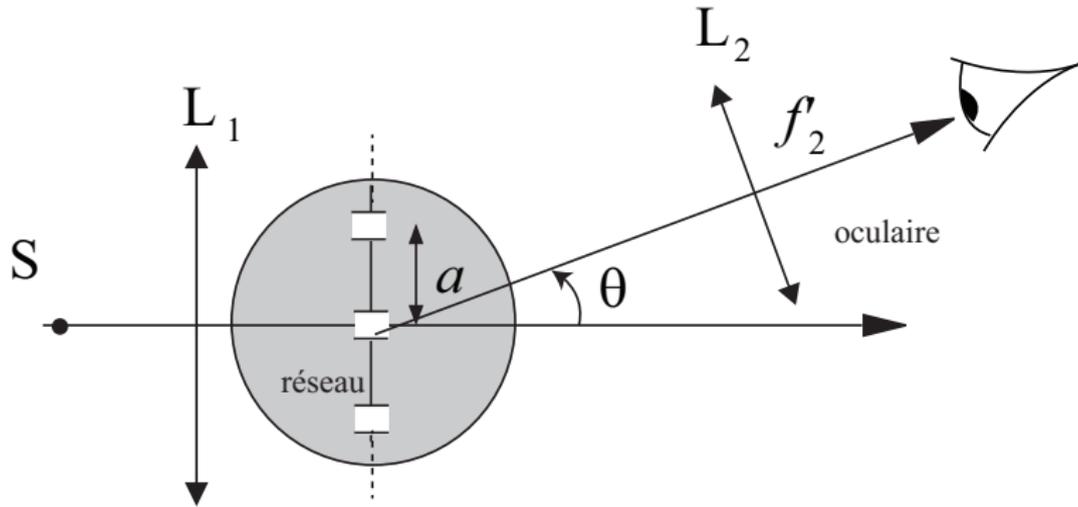


Figure – Montage expérimental, spectroscopie à réseau en incidence normale.

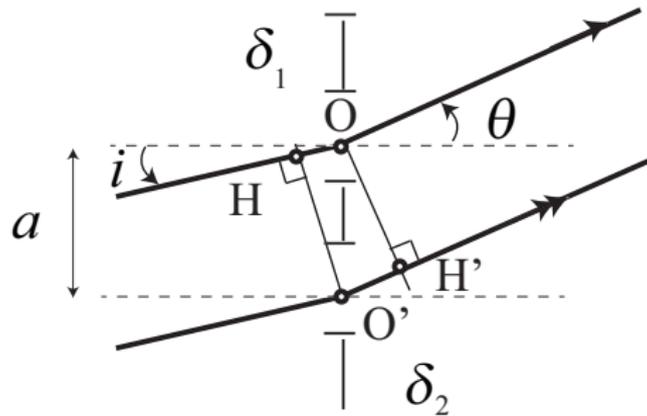


Figure – Trajets de deux rayons passant par deux fentes consécutives

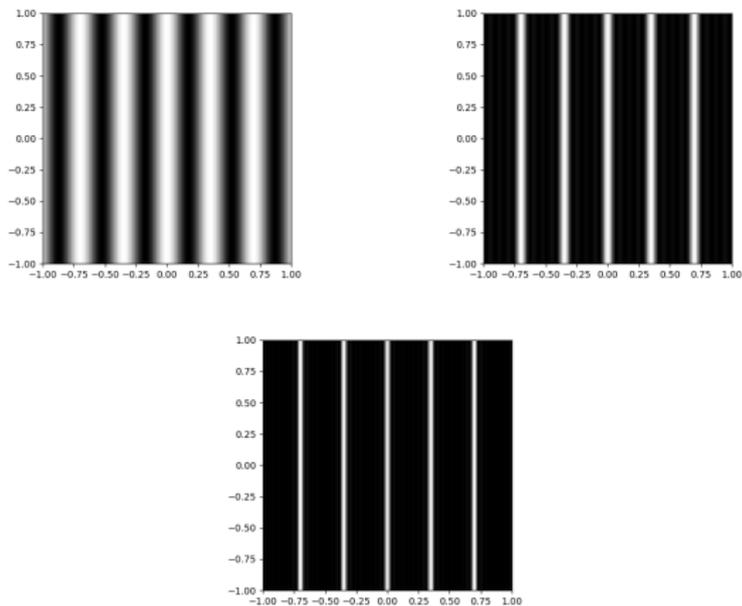


Figure – Simulation d'intensité lumineuse avec 2, 5 puis 9 fentes éclairées.

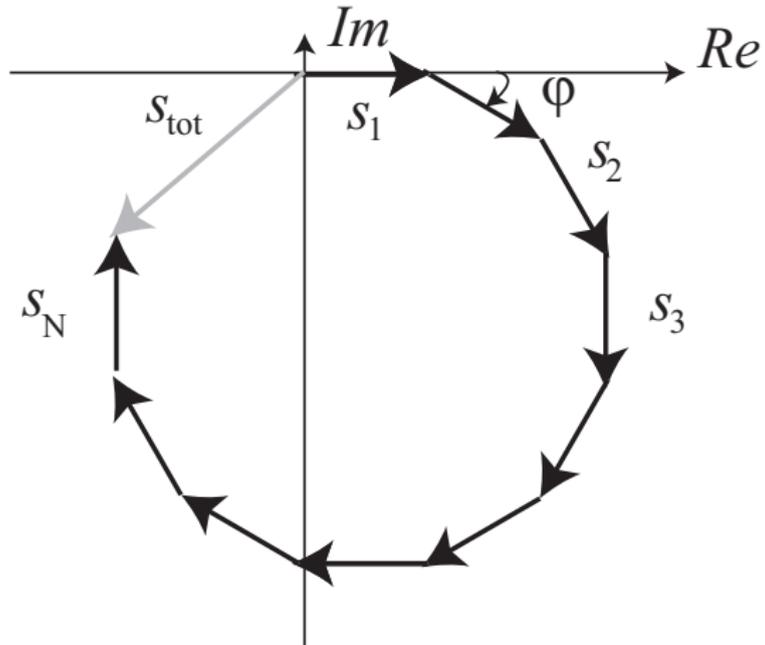


Figure – Construction de Fresnel

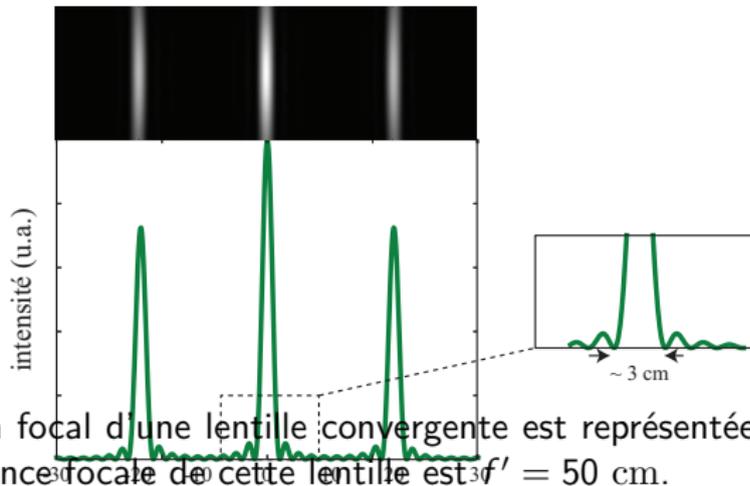
 **Exemple 6** Déterminer la largeur angulaire  $\delta_p$  d'un pic d'interférences à l'ordre  $p$ . On considérera un réseau éclairé en incidence normale.



## Exemple

7

Un laser de longueur d'onde  $\lambda = 600 \text{ nm}$  éclaire en incidence normale un réseau en transmission de pas  $a$  inconnu. La figure obtenue sur un



écran dans le plan focal d'une lentille convergente est représentée ci-contre. La distance focale de cette lentille est  $f' = 50 \text{ cm}$ .

- 1 - Déterminer le pas  $a$  du réseau.
- 2 - Estimer le nombre de fentes éclairées.

 **Exemple 8** Un réseau plan, utilisé par transmission, est formé de  $n$  traits parallèles équidistants de  $a$ , gravés sur un support en verre. Le pinceau incident fait l'angle variable  $i_0$  avec la normale au réseau qui peut tourner autour d'un axe parallèle aux traits. On mesure avec ce réseau la déviation minimale  $D_{m0} = 31^\circ 42'$  de la raie verte du mercure ( $\lambda_0 = 546,1 \text{ nm}$ ) pour le spectre d'ordre 2, puis la déviation minimale  $D_{m1} = 18^\circ 32'$  pour la raie rouge du cadmium au premier ordre. On admet qu'à la déviation minimale, l'angle du spectre d'ordre  $p$  vaut :  $i_p = -i_0$ .

- 1 - Exprimer  $\sin i_p$  en fonction de  $i_0$ ,  $\lambda$ ,  $a$  et  $p$  l'ordre du spectre.
- 2 - Calculer l'angle d'incidence  $i_0$  correspondant à la déviation minimale de la raie verte ;
- 3 - Déterminer le nombre  $n$  de traits par millimètre et le pas  $a$  du réseau utilisé.
- 4 - Calculer la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium ;

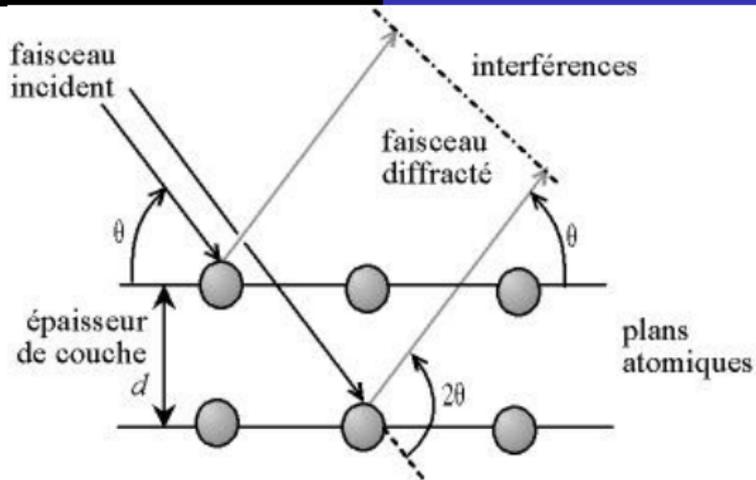


Figure – Principe de diffraction atomique

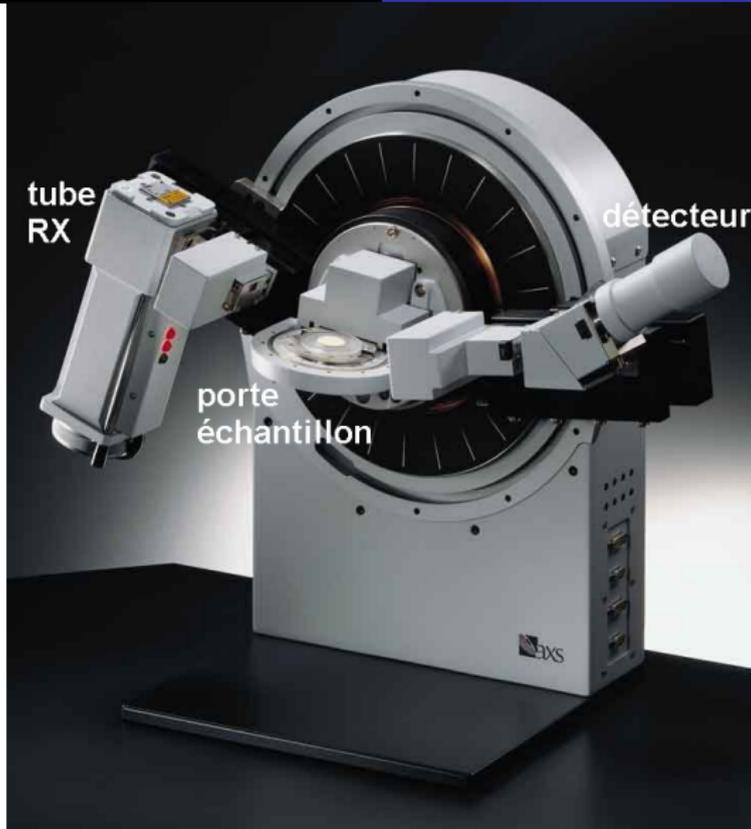


Figure – Goniomètre de la marque Bruker-AXS, type D8

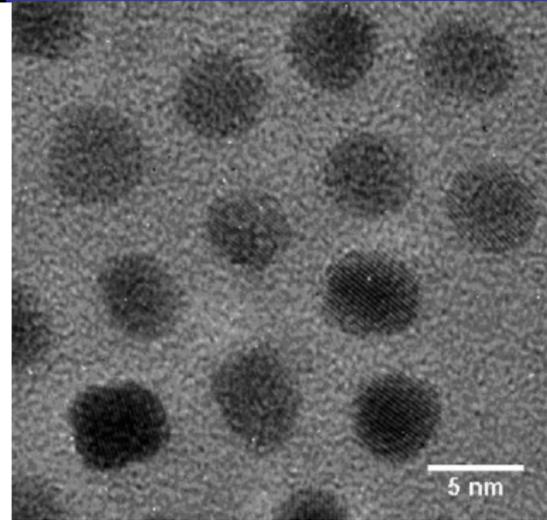
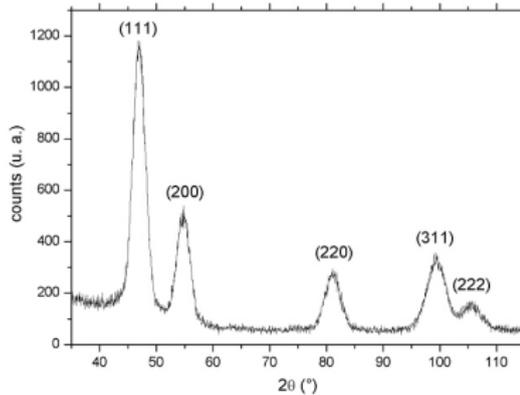


Figure – Diagramme de diffraction des rayons X pour des particules de FePt de 5 nm de diamètre, Image, en microscopie à balayage, de nanoparticules FePt