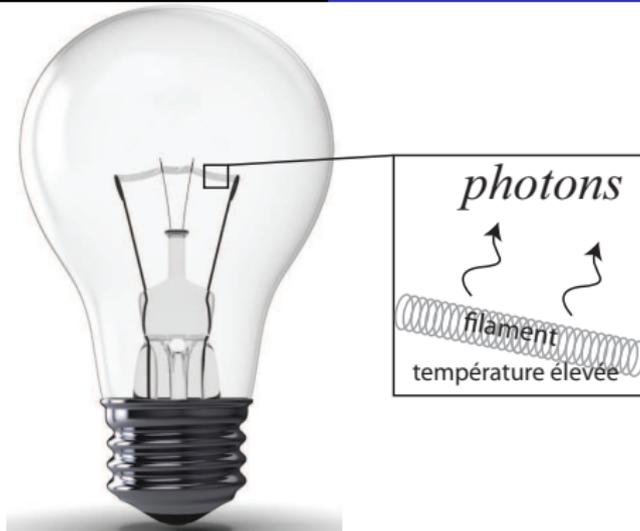




## Définition :

Le **rayonnement d'un corps noir** est un modèle idéal où le rayonnement électromagnétique d'un corps ne dépend que de sa température.



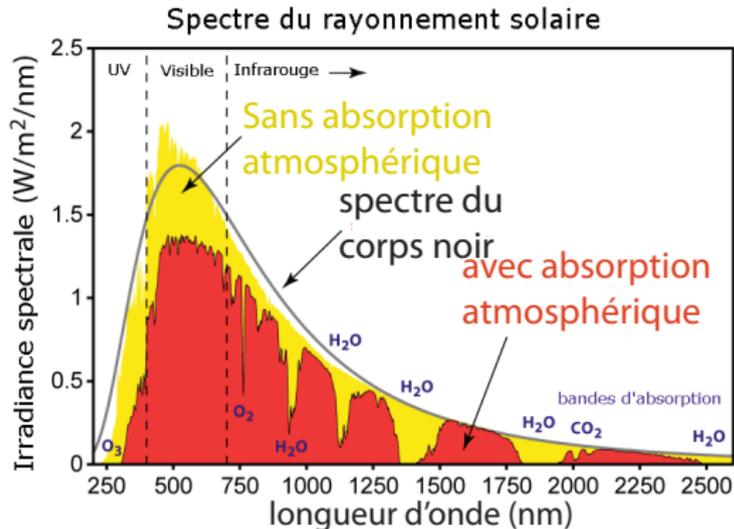


Figure – Principe d'émission de type corps noir et spectre d'émission du soleil

 **Exemple 1** Déterminer à partir de la loi de Wien l'intervalle de température correspondant au domaine visible.



Figure – Aspect des ampoules éclairées en fonction de la température de référence.



Figure – Pyromètre commercial

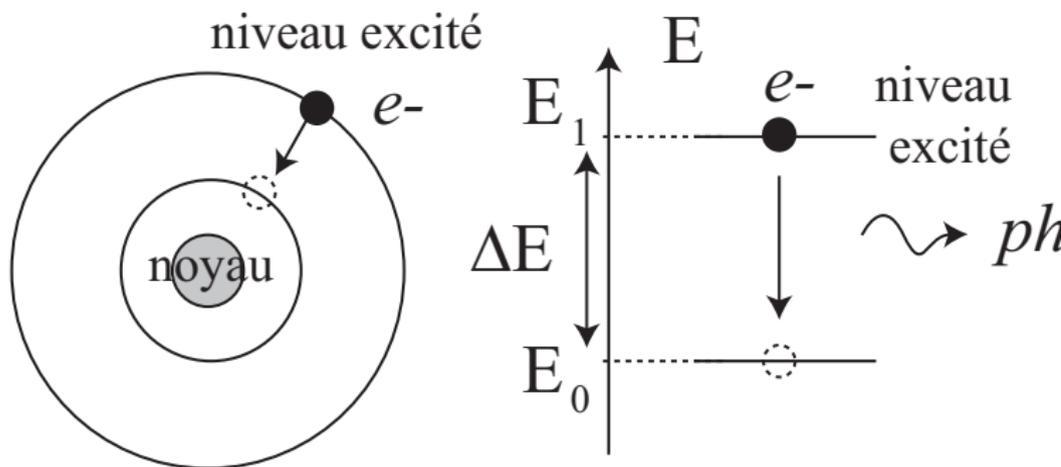


Figure – Emission par transition électronique

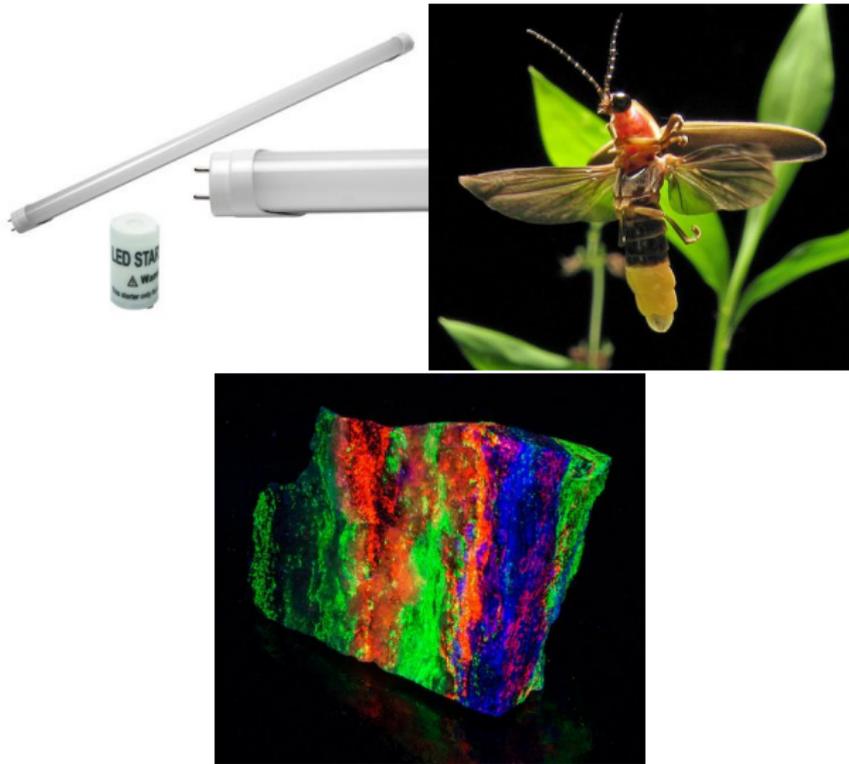


Figure – Source de lumière par fluorescence

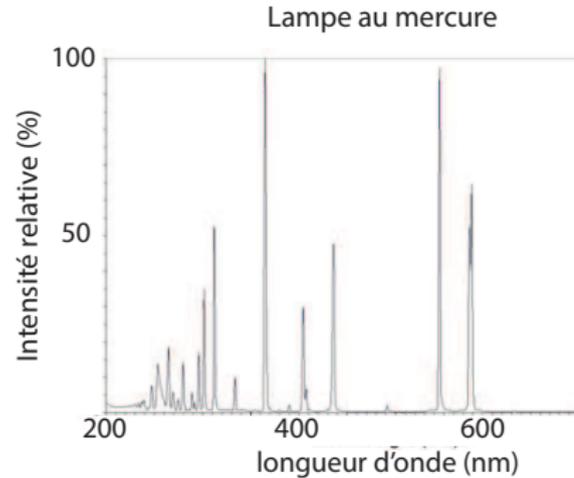
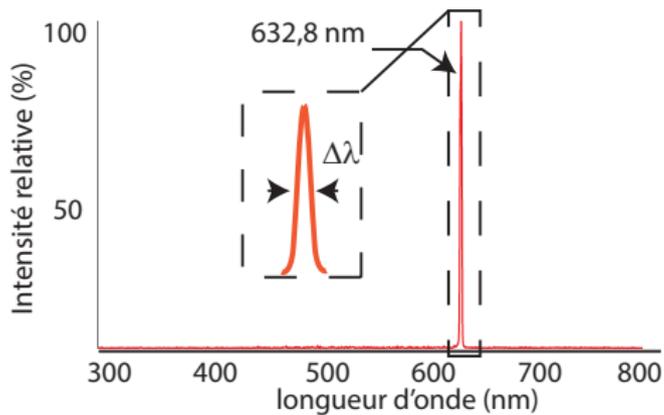


Figure – Spectres discrets d'un laser (gauche) ou d'une lampe à mercure (droite)

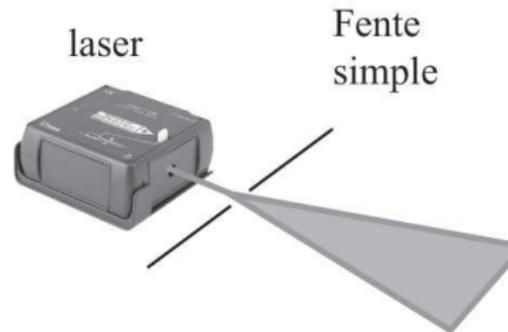
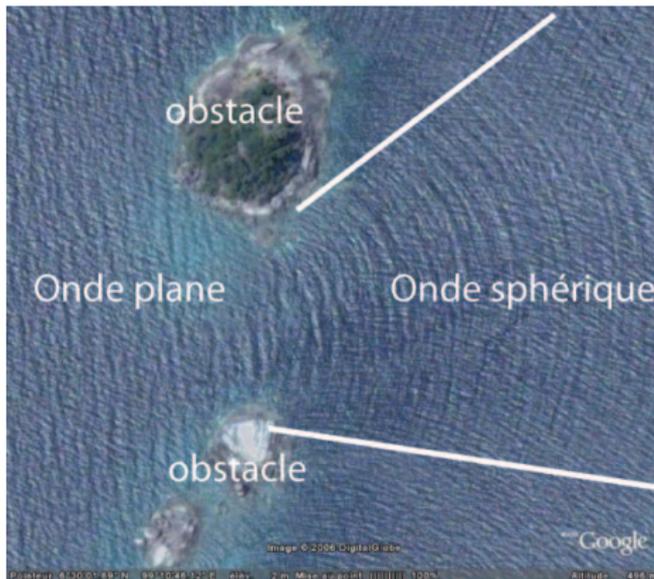


Figure – Illustration du phénomène de diffraction



## Définition :

On associe à une lumière monochromatique, une vibration lumineuse dépendant du point d'émission  $S_0$  (la source), du point  $M$  d'observation et de l'amplitude  $A$  de la vibration :

$$s(M, t) = A(M) \cos(\omega t - \Phi(M)) \quad \text{avec} \quad \Phi(M) = \omega t_{S_0 M}$$

où  $A(M)$  est l'amplitude de l'onde au point  $M$  et  $t_{S_0 M}$  est le temps que mets la lumière pour aller de  $S_0$  à  $M$ .

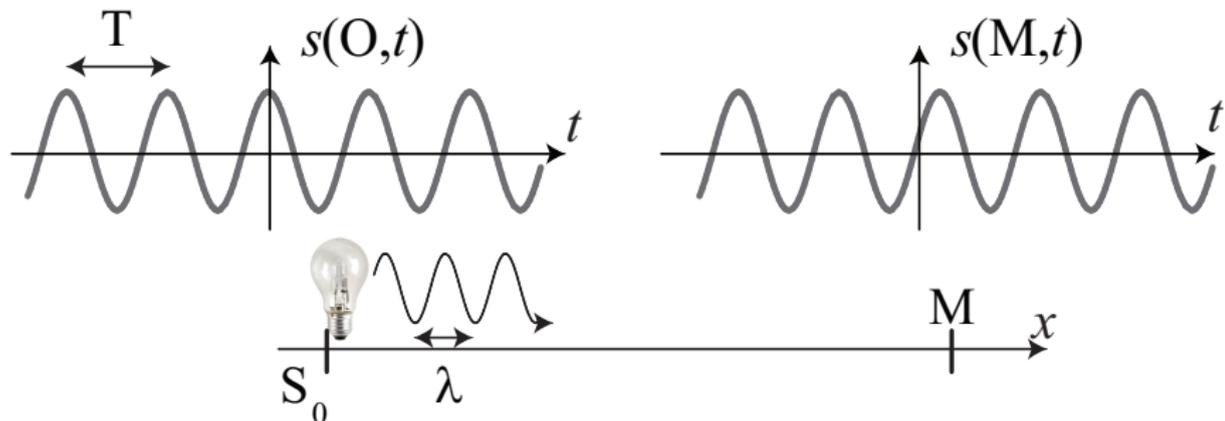


Figure – Modèle de vibration lumineuse, périodicité temporelle et spatiale.



## Définition :

On note  $(SM)$  le chemin optique défini par :

$$(SM) = c \times t_{SM}$$

Dans un milieu homogène d'indice  $n$  le chemin optique est défini par :

$$(SM) = n \times SM$$

où  $SM$  est la distance géométrique de  $S$  à  $M$



## Définition :

Dans un milieu isotrope, les surfaces d'ondes sont perpendiculaires aux rayons lumineux.

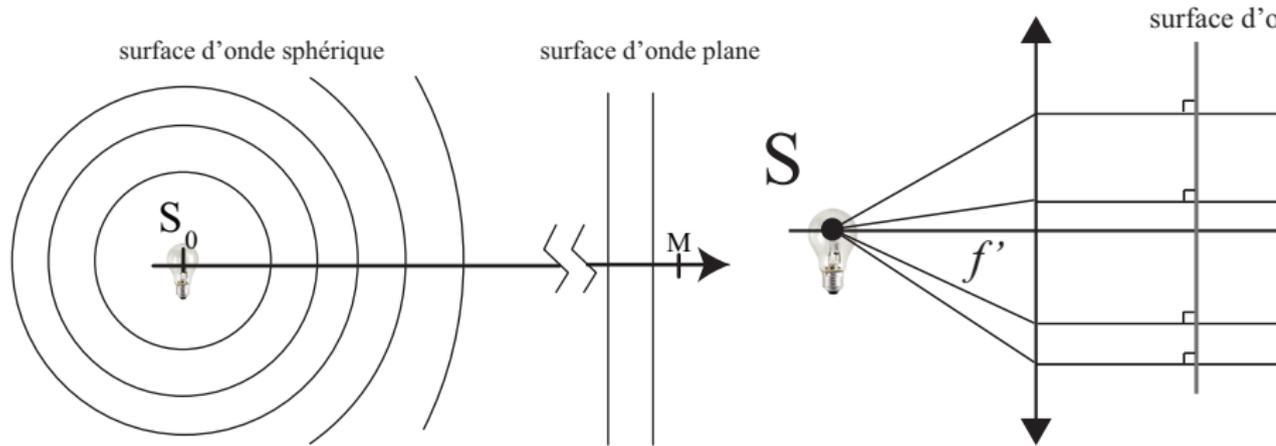


Figure – Surfaces d'onde sphérique et plane



## Définition :

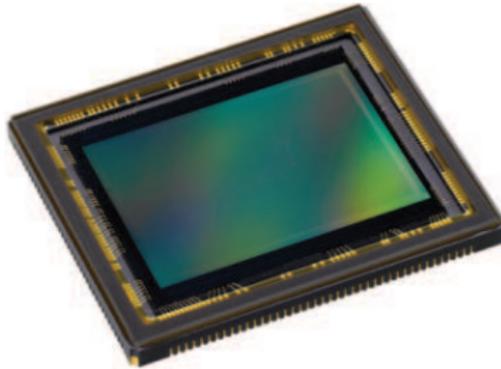
L'intensité lumineuse s'exprime en fonction de la vibration lumineuse par :

$$I(M) = \langle s(M, t)^2 \rangle = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} s(M, t)^2 dt$$

avec  $\tau$  une constante de temps dépendant du capteur, très grande devant la période de l'onde lumineuse.



photodiode



CCD



oeil

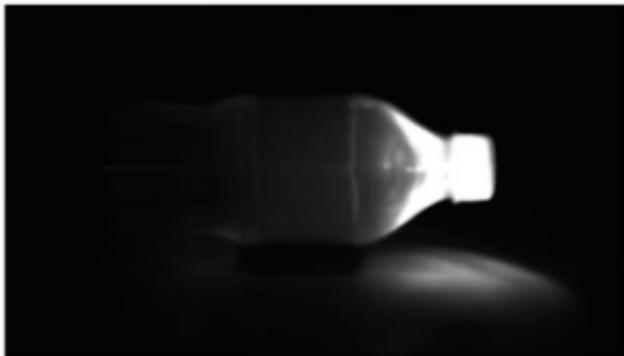
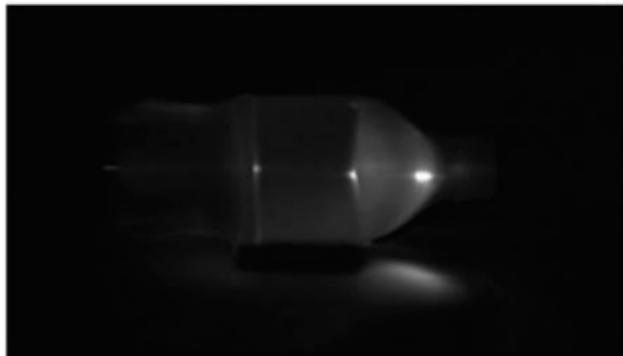
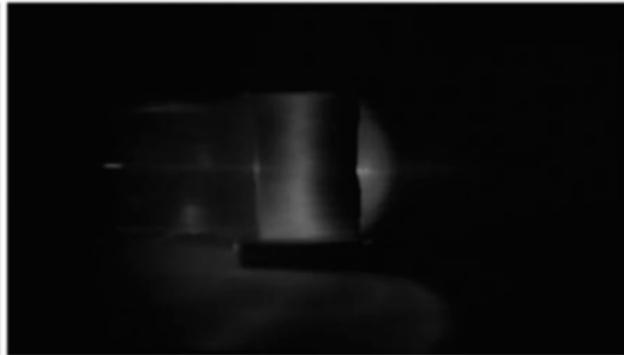
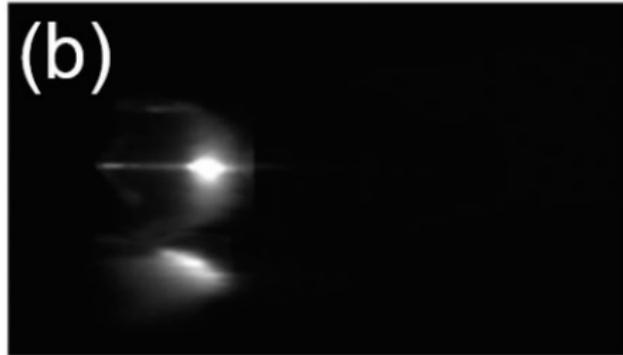
Figure – Capteurs optiques usuels.

récepteur	photodiode	CCD	oeil
$\tau$	1 ns	1 $\mu$ s	40 ms

Table – Temps de réponse de différents capteurs optiques

Type d'onde	Radio	I.R.	visible	UV
Fréquence type	100 MHz	$3 \cdot 10^{13}$ Hz	$5 \cdot 10^{14}$ Hz	$3 \cdot 10^{15}$ Hz
$\lambda$ type	3 m	10 $\mu\text{m}$ .	600 nm	100 nm
période	10 ns	30 fs	2 fs	0.3 fs

Table – Caractéristiques des ondes électromagnétiques



**Figure** – Visualisation de la propagation de la lumière par caméra ultra rapide. L'intervalle entre chaque cliché est de 2 ps. D'après *Advances in Ultrafast Optics and Imaging Applications*, Satat et al. , SPIE 2016





## Définition :

On parle d'interférences à 2 ondes lorsque l'éclairement résultant de deux sources en un point  $M$  n'est pas la somme des éclairements de chacune des sources :

$$I_{tot}(M) \neq I_1(M) + I_2(M)$$

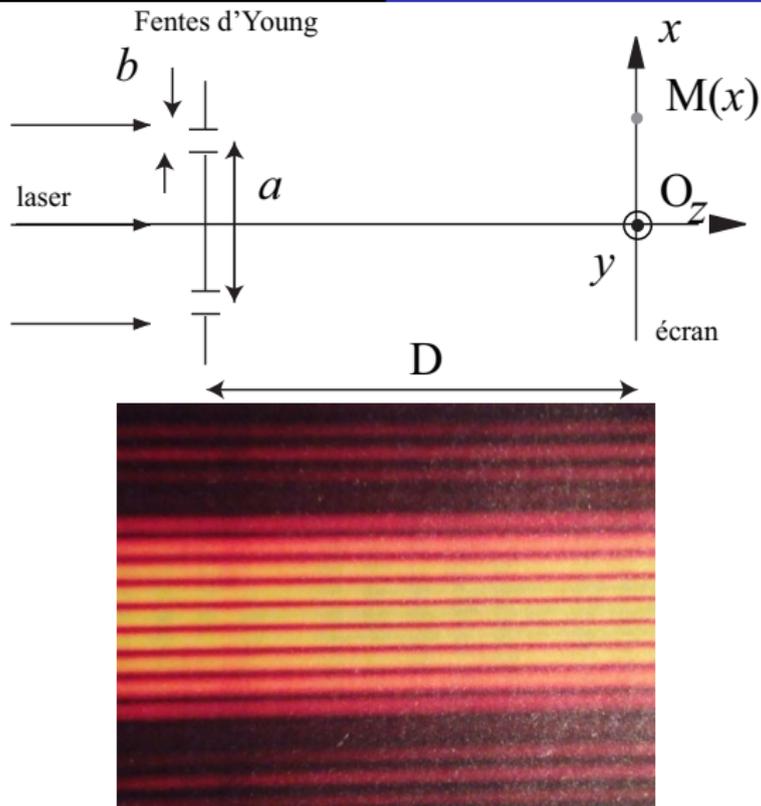
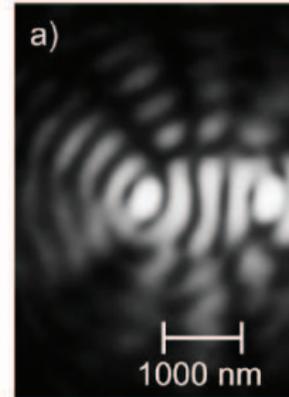
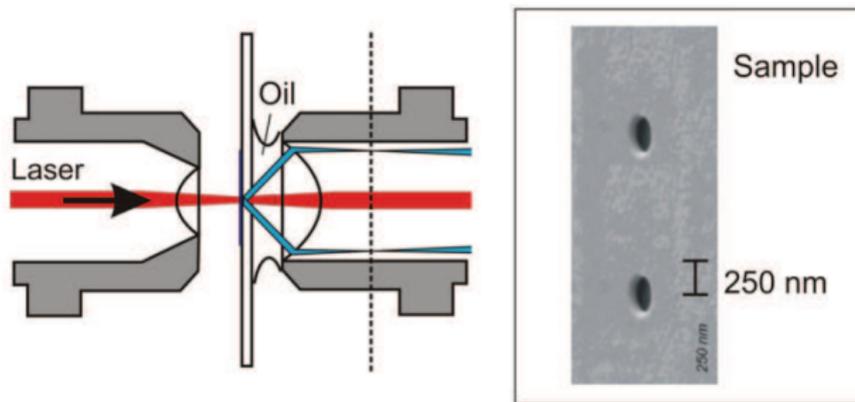


Figure – Schéma expérimental et Observation.



**Figure** – Figure d'interférence par excitation de deux trous dans un film d'or.  
 D'après A. Leitner et al., Interference of surface plasmon polaritons excited at hole pairs in thin gold films. Applied Physics Letters 2012

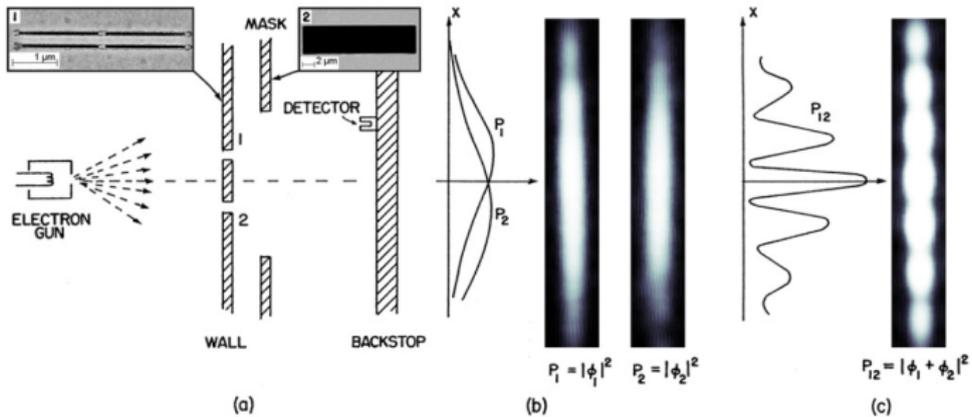


Figure – Expériences des Fentes d'Young avec des électrons, *Controlled double-slit electron diffraction*, NJP 2013



## Définition :

La **zone ou champ d'interférences** est la portion de l'espace dans laquelle est visible la figure d'interférences.

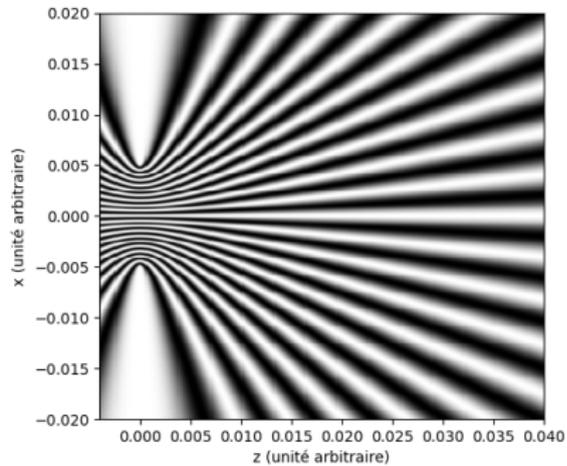


Figure – Simulation d'interférences à partir de deux points sources  $S_1$  et  $S_2$ .

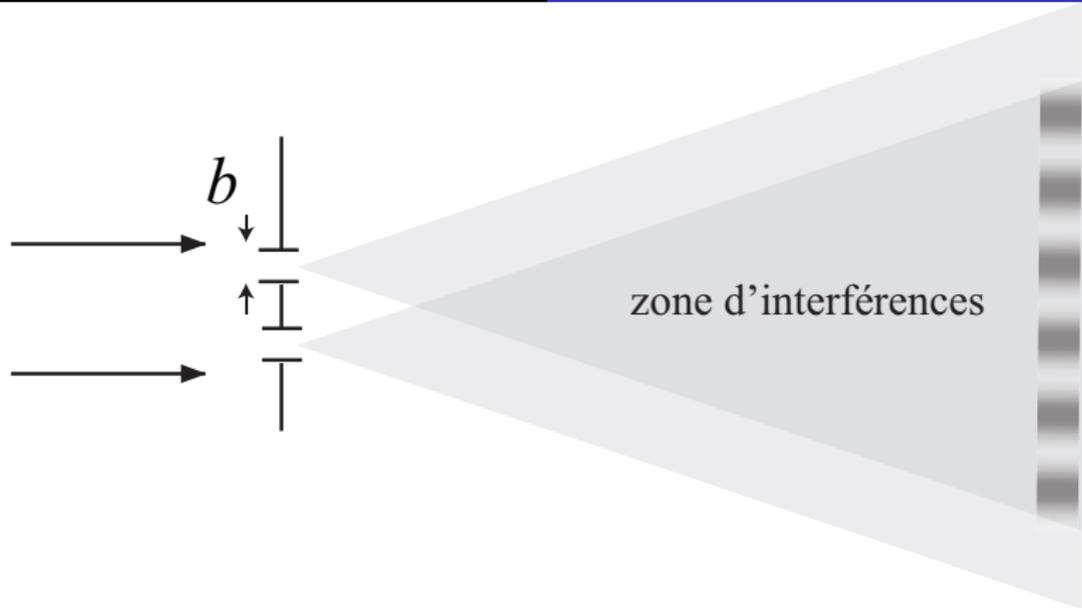


Figure – Zone d'interférences.



## Définition :

Le système des fentes d'Young produit des interférences dites **non-localisées** car elles sont présentes sur toute la zone d'interférences.



## Définition :

Dans les fentes d'Young, les sources secondaires sont obtenues par **division du front d'onde**.

 **Exemple 2** Calculer l'intensité lumineuse obtenue par la somme de deux ondes dans les cas suivants : (1)  $s_1(M, t) = A \cos(\omega_1 t - \Phi)$  et  $s_2(M, t) = A \cos(\omega_2 t - \Phi)$

(2)  $s_1(M, t) = A \cos(\omega t - \Phi_1)$  et  $s_2(M, t) = A \cos(\omega t - \Phi_2)$

(3)  $s_1(M, t) = A_1 \cos(\omega t - \Phi_1)$  et  $s_2(M, t) = A_2 \cos(\omega t - \Phi_2)$

Dans chacun des cas, on exprimera le résultat en fonction de  $I_0 = A^2/2$ ,  $I_1 = A_1^2/2$  ou  $I_2 = A_2^2/2$ . On indiquera une situation physique qui correspond à chaque situation.



## Définition :

Dans la zone d'interférences et lorsque les sources ont *même amplitude*, l'intensité lumineuse est donnée par la formule de Fresnel

$$I(M) = 2I_0 \left( 1 + \cos (\Phi_2(M) - \Phi_1(M)) \right)$$

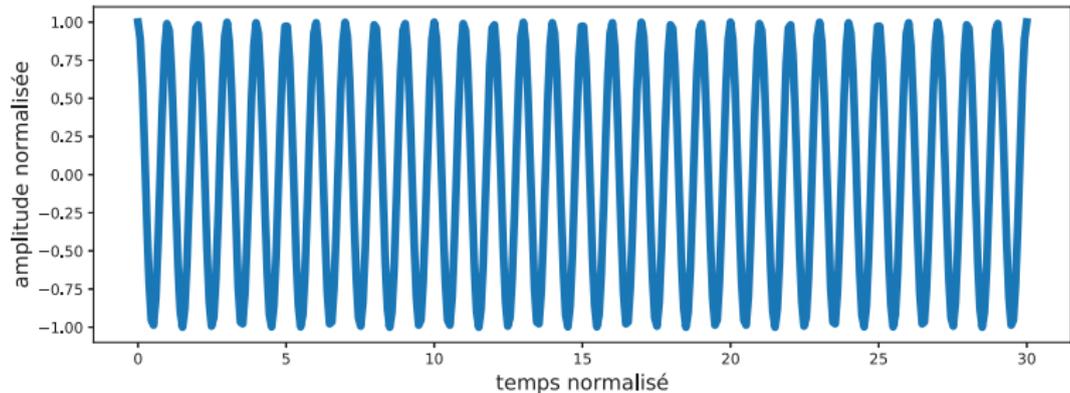
où  $I_0$  représente l'intensité lumineuse donnée par une seule source au point  $M$ . Si les amplitudes sont différentes, alors :

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos (\Phi_2(M) - \Phi_1(M))$$

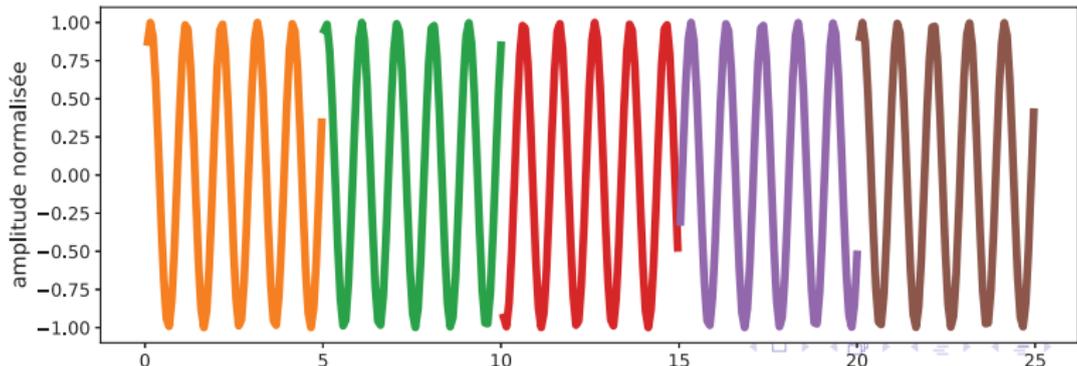


Figure – Absence d'interférences avec deux sources différentes

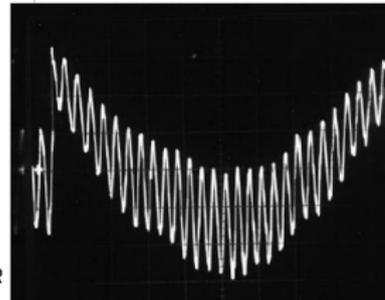
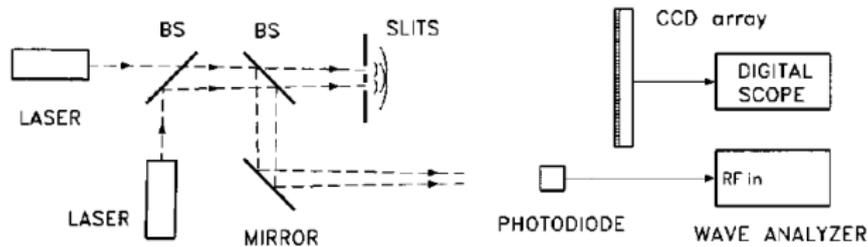
## Onde monochromatique stable



## Emission spontanée par trains d'onde



## Figure – Emission spontanée par trains d'onde



**Figure** – Dispositif interférentiel avec deux diodes lasers stabilisés et figure d'interférences. *D'après Interference fringes from stabilized diode lasers, AM. J. Phys. 2000.*



## Définition :

Une vibration de type  $s(M, t) = A(M) \cos(\omega t - \Phi(M))$  peut s'écrire en notation complexe sous la forme :

$$\underline{s}(M, t) = A(M) \exp i(\omega t - \Phi(M)) = \underline{A}(M) e^{i\omega t}$$

avec  $\underline{A}(M) = A(M) e^{i\Phi(M)}$

 **Exemple 3** Retrouver la formule de Fresnel en utilisant la notation complexe à partir de deux ondes écrite sous la forme suivante :

$$s_1(M, t) = A_1 \cos(\omega t - \Phi_1) \quad \text{et} \quad s_2(M, t) = A_2 \cos(\omega t - \Phi_2)$$



## Définition :

Le déphasage entre deux ondes est relié à l'**ordre d'interférence** par la relation :

$$\Phi_2 - \Phi_1 = 2\pi p$$

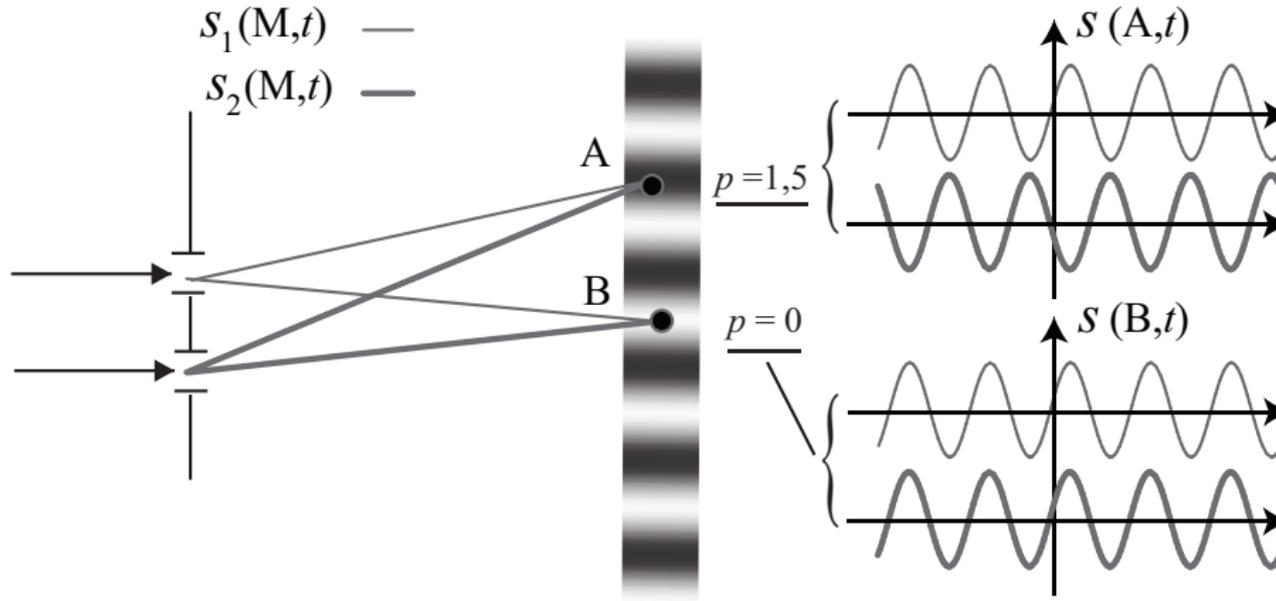


Figure – Interprétation des franges par l'ordre d'interférence



## Définition :

On définit la différence de marche en un point  $M$  notée  $\delta(M)$  entre deux sources  $S_1$  et  $S_2$  comme la différence de chemin optique pour parvenir des sources jusqu'à  $M$  :

$$\delta(M) = (S_2M) - (S_1M)$$

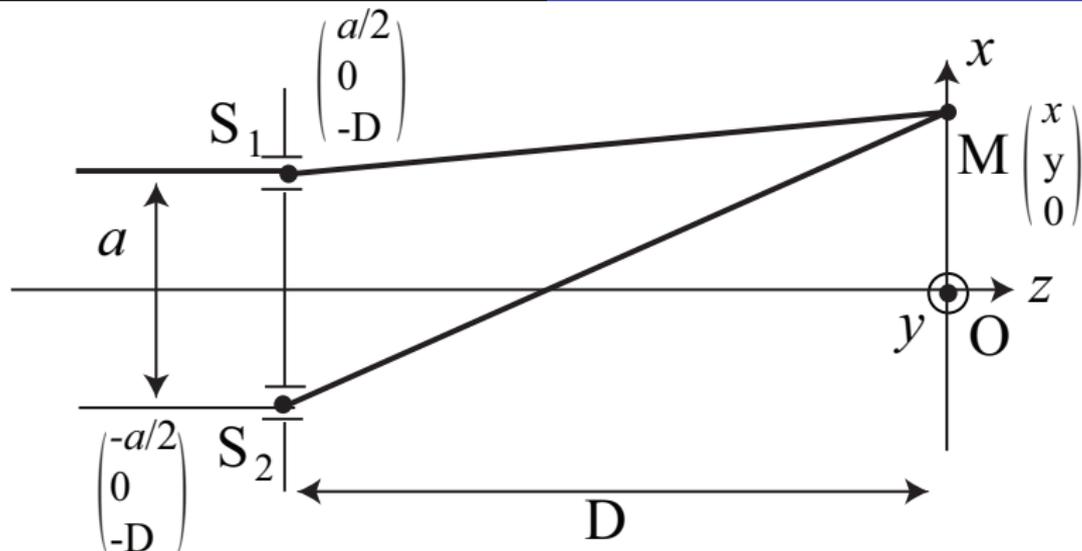


Figure – Illustration du calcul direct de la différence de marche.



## Définition :

Le chemin optique suivi par la lumière entre deux points situés sur un même rayon lumineux est indépendant du sens de propagation de la lumière entre ces deux points.

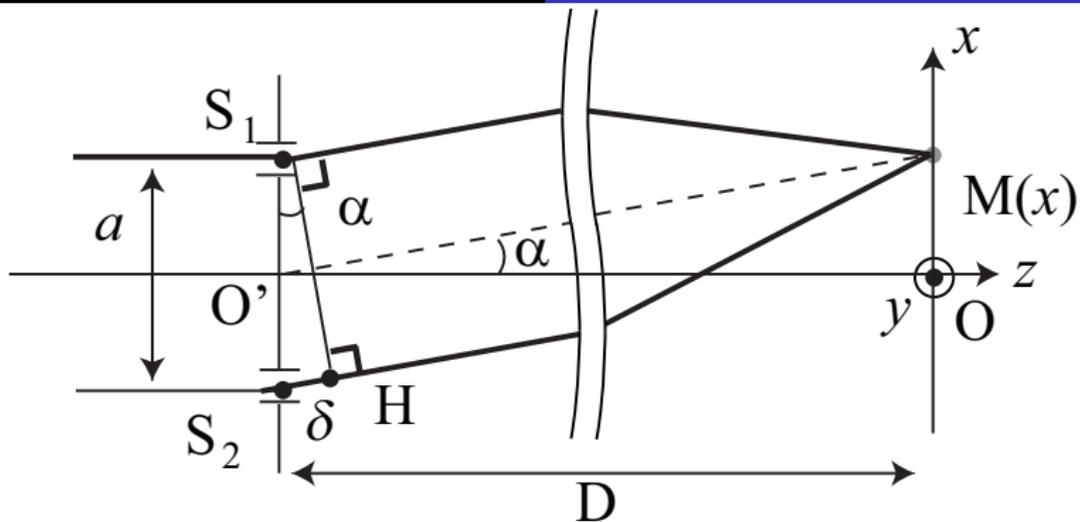


Figure – Illustration du calcul de la différence de marche d'après le théorème de Malus.



## Définition :

Pour une figure d'interférences possédant une alternance périodique de franges claires et sombres, l'interfrange est définie comme la distance entre deux franges de même nature.

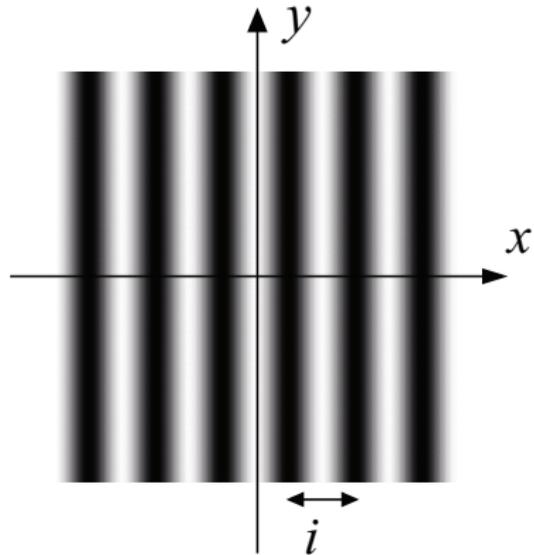
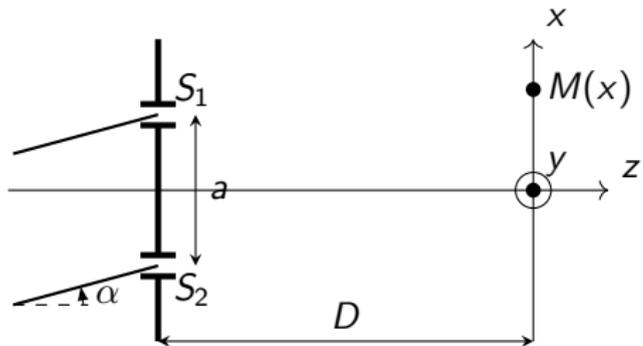


Figure – Interfrange pour un éclairage périodique

## Exemple 4

*D'après CCP 07*

Un laser, de longueur d'onde dans le vide  $\lambda$ , émet un faisceau lumineux cylindrique incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe  $Oz$ . Il éclaire entièrement et de manière uniforme les



deux ouvertures de faibles dimensions et distantes de  $a$ . Cette distance est très petite par rapport à la distance d'observation  $D$ , et le point  $M$  est proche du point  $O$ . On peut considérer que  $a$ ,  $x$ ,  $y$  sont très petits devant  $D$ .

- 1 - Calculer la différence de chemin optique  $\delta(M)$  au point  $M$  entre deux rayons issus du laser et passant par chacune des ouvertures, en fonction de  $\alpha$ ,  $a$ ,  $x$  et  $D$ .
- 2 - En déduire, l'expression de l'intensité lumineuse  $I(M)$  et représenter graphiquement  $I(x)$ .

3 - Déterminer la position de la frange d'ordre 0. Dans quel sens se déplace la figure d'interférences en fonction de  $\alpha$  ?

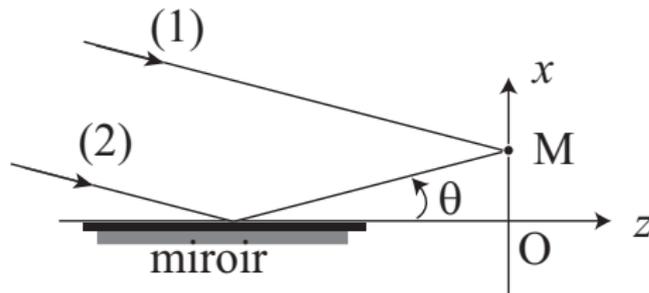


Figure – Miroir de Lloyd commercial et schéma optique

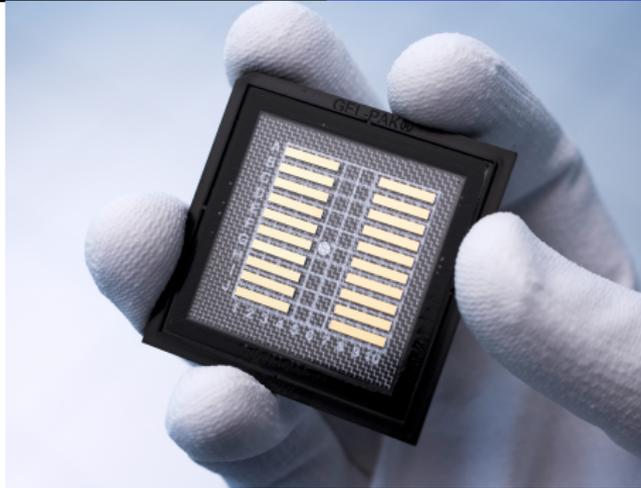
 **Exemple 5** On considère un faisceau parallèle de lumière parvenant sur un miroir plan idéal avec un angle  $\theta$ . La source est monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 500 \text{ nm}$ . Un détecteur (M), placé sur un axe (Ox) perpendiculaire au plan du miroir, peut donc superposer une onde directe (rayon 1) et une onde réfléchie (rayon 2), tout en donnant une détection quadratique.

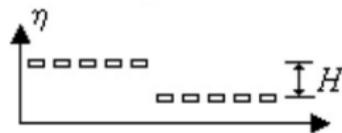
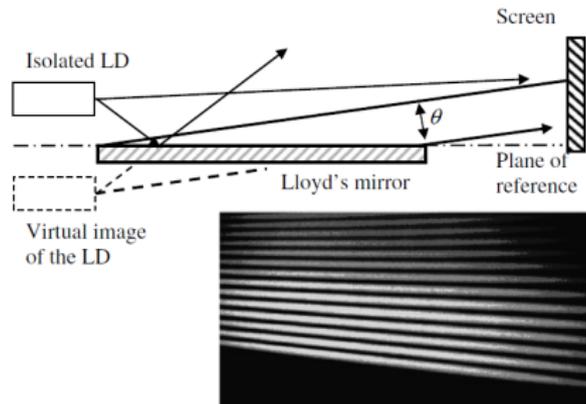
1 - Déterminer la différence de marche géométrique entre deux rayons interférant au point M.

2 - On admet que l'onde subit un déphasage de  $\pi$  lors de la réflexion. Exprimer la différence de marche supplémentaire induite par la réflexion.

3 - Exprimer l'ordre d'interférence et justifier la forme des interférences. Quelle est la différence avec un dispositif de type fentes d'Young

4 - Calculer l'interfrange pour un angle  $\theta = 10^\circ$ .





**Figure** – Ligne de diodes laser de puissance (500 W)(Jenoptik) et technique de mesures de l'alignement des lasers par interférences (*D'après Interferometric method for characterizing the smile of laser diode bars, 2007, Opt Com*)

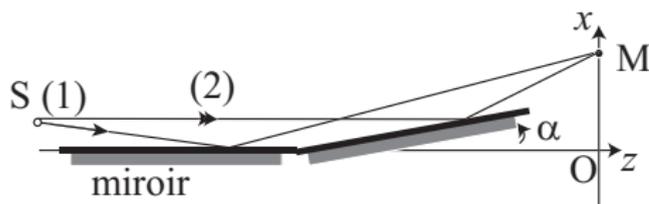


Figure – Miroirs de Fresnel

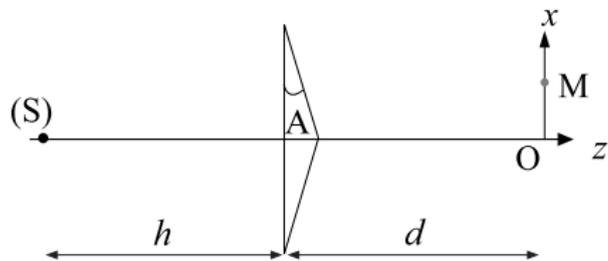


Figure – Biprisme de Fresnel

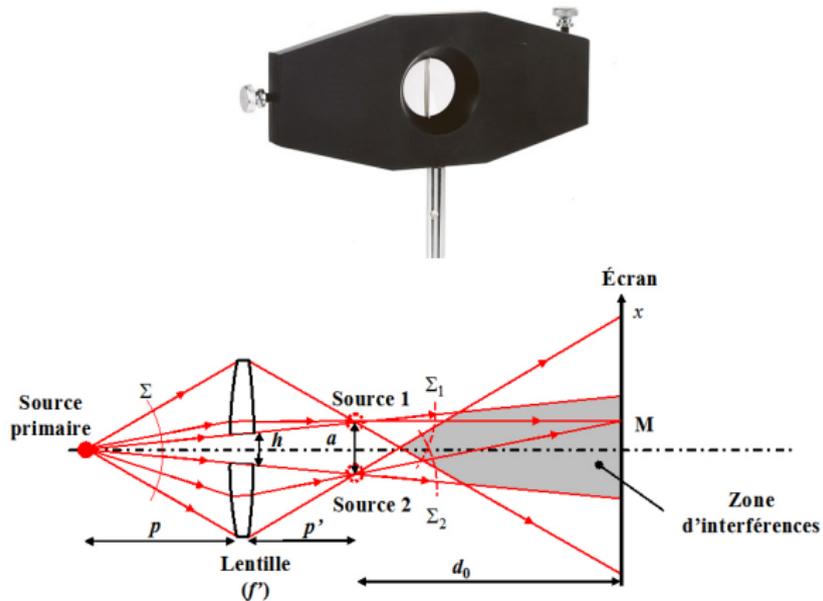


Figure – Bilentille de billet