Leçon 7 : superposition de N ondes lumineuses

E. Capitaine

TSI 2 - Lycée Charles Coëffin

15 octobre 2025

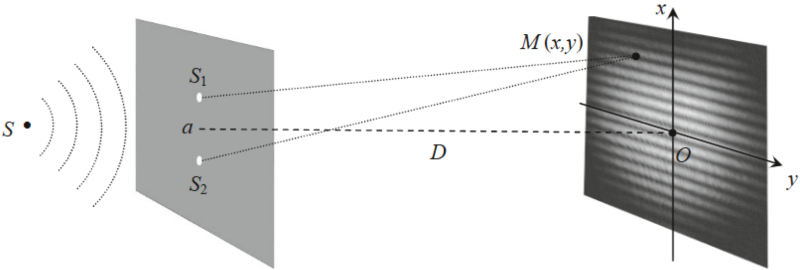
Plan

Plan

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

On revient sur les conclusions de la dernière leçon.



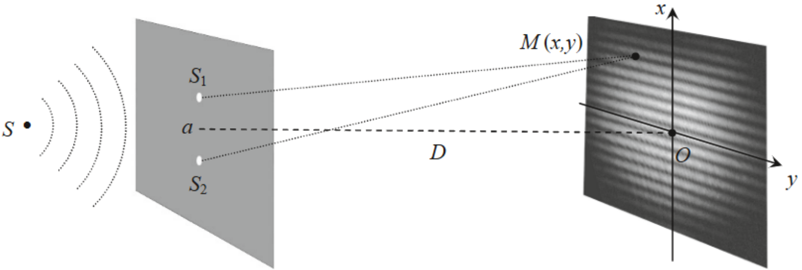
Quel est l'expression de la différence de marche entre les deux rayons au point M ?

$$\delta(M) = \qquad .$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

On revient sur les conclusions de la dernière leçon.



Quel est l'expression de la différence de marche entre les deux rayons au point M ?

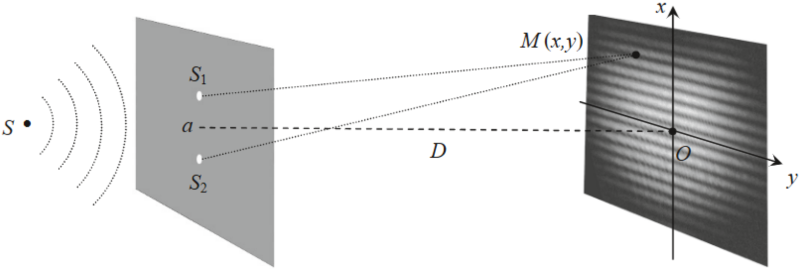
$$\delta(M) = n\frac{ax}{D}.$$

Les franges changent d'intensité le long de l'axe (Ox) perpendiculaire à l'axe des trous.

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

On revient sur les conclusions de la dernière leçon.



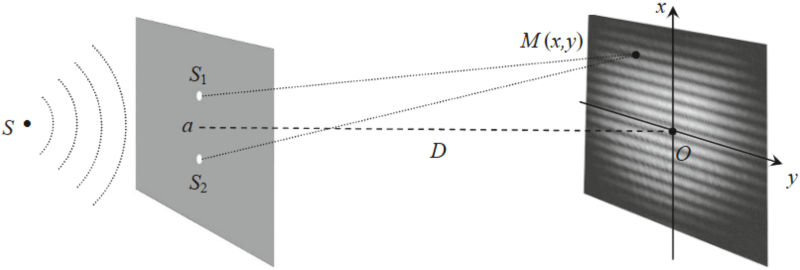
L'interfrange est

$$i =$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

On revient sur les conclusions de la dernière leçon.



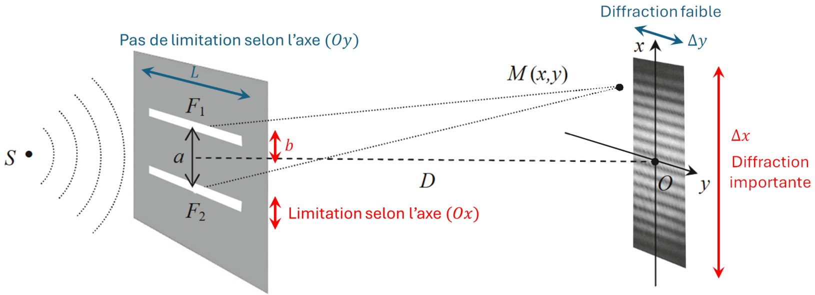
L'interfrange est

$$i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda_0 D}{na}.$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

Que se passe-t-il si on remplace les trous par des fentes ?

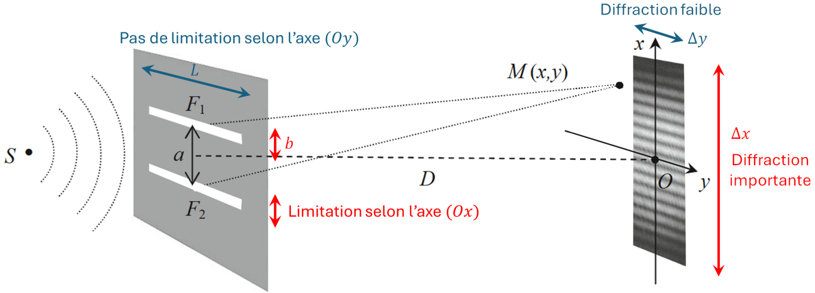


Il n'y a pas de diffraction le long de l'axe parallèle à longueur L des fentes. D'après la formule de la diffraction, la longueur Δy de la figure est

$$\Delta y = \qquad .$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



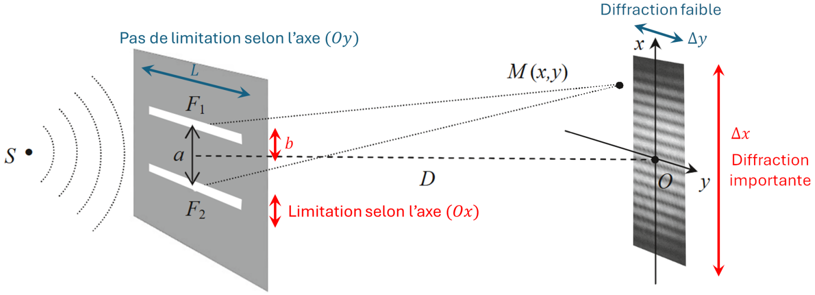
Il n'y a pas de diffraction le long de l'axe parallèle à longueur L des fentes. D'après la formule de la diffraction, la longueur Δy de la figure est

$$\Delta y = \frac{2\lambda D}{L}.$$

Comme L est grand, Δy est faible.

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

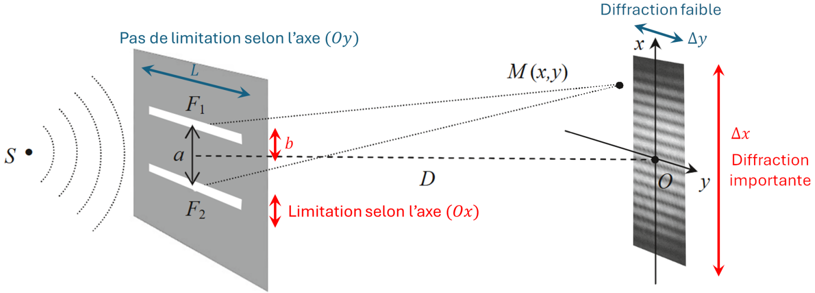


Il y a une forte diffraction le long de l'axe parallèle à largeur b des fentes. D'après la formule de la diffraction, la largeur Δx de la figure est

$$\Delta x = \qquad .$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



Il y a une forte diffraction le long de l'axe parallèle à largeur b des fentes. D'après la formule de la diffraction, la largeur Δx de la figure est

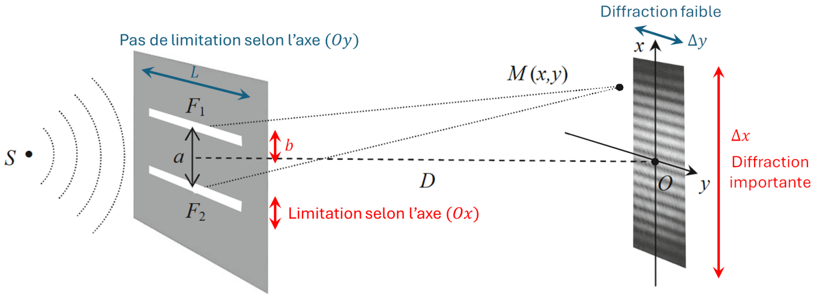
$$\Delta x = \frac{2\lambda D}{b}.$$

Comme b est petit, Δx est important.

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

Que se passe-t-il si on remplace les trous par des fentes ?

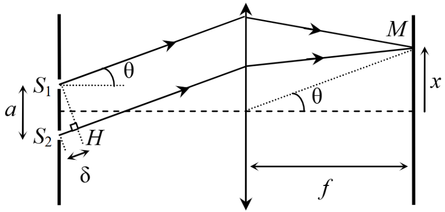


Il n'y a pas de diffraction le long de l'axe parallèle à longueur L des fentes : la figure est réduit le long de cette axe.

Retour sur les trous d'Young

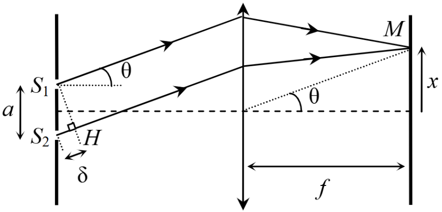
Observation à l'infini

Que se passe-t-il si on place une lentille mince convergente sur le trajet des rayons issus des fentes ?



Retour sur les trous d'Young

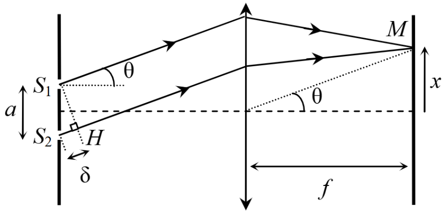
Observation à l'infini



Sans la lentille, deux rayons parallèles issus des sources convergent seulement à l'infini.

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini

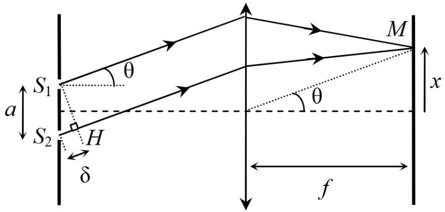


Sans la lentille, deux rayons parallèles issus des sources convergent seulement à l'infini.

Grâce à la lentille, ces rayons parallèles convergent vers un des foyers secondaires images ou vers le foyer principal image de la lentille.

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



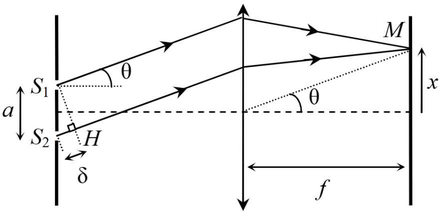
Sans la lentille, deux rayons parallèles issus des sources convergent seulement à l'infini.

Grâce à la lentille, ces rayons parallèles convergent vers un des foyers secondaires images ou vers le foyer principal image de la lentille.

Grâce à la lentille les deux rayons qui convergent en un point M sont **les deux rayons ayant le même angle d'inclinaison** θ en sortie des sources par rapport à l'axe optique.

Retour sur les trous d'Young

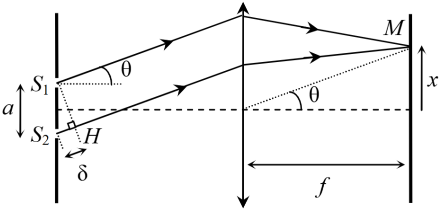
Observation à l'infini



Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point M : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$?

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point M : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$?

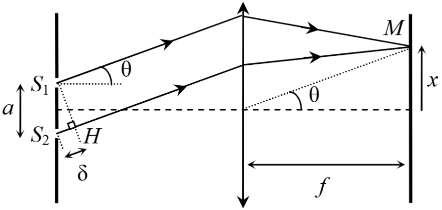
On détaille les deux chemins optiques

$$\delta(M) = (SS_2) + (S_2M) - (SS_1) - (S_1M) = (S_2M) - (S_1M)$$

car $(SS_2) = (SS_1)$, la source S étant équidistante de S_1 et S_2.

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



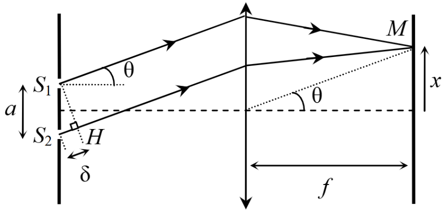
Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point M : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$?

On voit que

$$\delta(M) = (S_2M) - (S_1M)$$
$$\delta(M) = (S_2H) + (HM) - (S_1M).$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



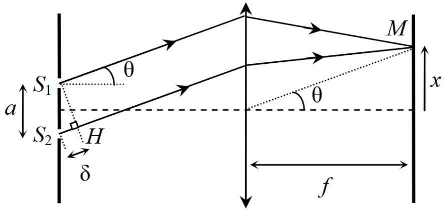
Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point M : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$?

Comparons les chemins optiques (HM) et (S_1M) à l'aide du principe de retour inverse de la lumière : on considère que c'est le point image M qui émet les rayons. D'après le théorème de Malus S_1 et H sont sur un plan d'onde car c'est un plan perpendiculaire aux rayons. Donc les ondes en S_1 et en H ont le même retard de phase : elles arrivent du point M aux points H et S_1 au même moment, ainsi

$$(MS_1) = (MH).$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point M : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$?

D'après le principe de retour inverse de la lumière

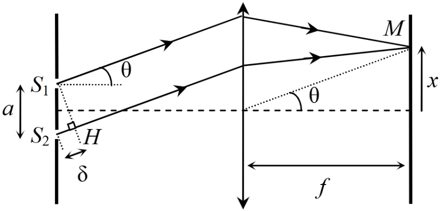
$$\begin{aligned} \text{si} \quad & (MS_1) = (MH) \\ \text{alors} \quad & (S_1M) = (HM). \end{aligned}$$

Ainsi

$$\delta(M) = (S_2H) + (HM) - (S_1M) = (S_2H).$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



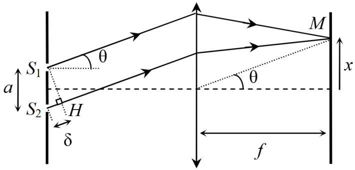
Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point M : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$?

Comme S_2H est le côté opposé par rapport à l'angle θ du triangle rectangle S_1S_2H il vient que

$$\delta(M) = (S_2H) \quad \text{soit} \quad \delta(M) = nS_2H$$
$$\delta(M) = na\sin\theta.$$

Retour sur les trous d'Young

Observation à l'infini



Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point M : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$?

On peut exprimer $\sin\theta$ en fonction de x et f' la distance focale image de la lentille dans le cas de l'approximation des petits angles

$$\tan\theta = \frac{x}{f'} \quad ; \quad \tan\theta \approx \theta \quad ; \quad \sin\theta \approx \theta$$

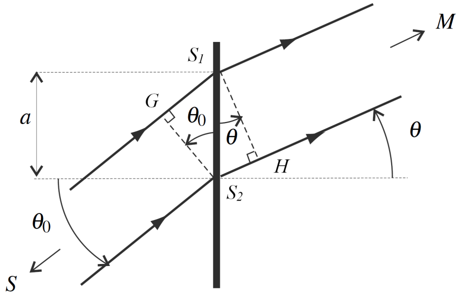
$$\text{soit} \quad \delta(M) = na\sin\theta \approx n\frac{ax}{f'}.$$

Soit une expression similaire à celle trouvée sans lentille : $\delta(M) = n\frac{ax}{D}$.

Retour sur les trous d'Young

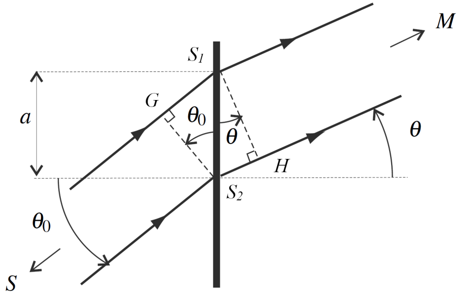
Déplacement de la source principale

Que se passe-t-il si on déplace la source primaire S ? Considérons une source à l'infini qui fait un angle θ_0 avec l'axe optique.



Retour sur les trous d'Young

Déplacement de la source principale

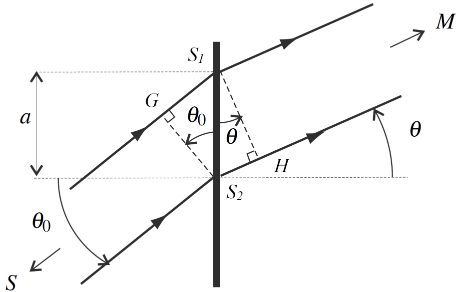


La différence de marche entre les deux rayons est

$$\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M) = (SS_2) + (S_2M) - [(SS_1) + (S_1M)]$$
$$\delta(M) = (SS_2) + (S_2H) + (HM) - [(SG) + (GS_1) + (S_1M)]\,.$$

Retour sur les trous d'Young

Déplacement de la source principale



Comme G et S_2 sont sur le même plan d'onde : $(SS_2) = (SG)$. Comme H et S_1 sont sur le même plan d'onde : $(S_1M) = (HM)$. Ainsi

$$\delta(M) = (SS_2) + (S_2H) + (HM) - [(SG) + (GS_1) + (S_1M)]$$

$$\delta(M) = (S_2H) - (GS_1) \quad \text{soit} \quad \delta(M) = na\sin\theta - na\sin\theta_0$$

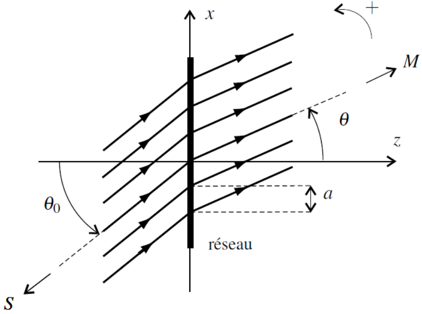
$$\delta(M) = na\left(\sin\theta - \sin\theta_0\right).$$

Plan

Superposition de N ondes

Différence de marche entre deux motifs consécutif

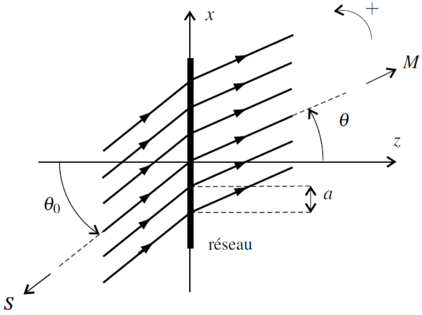
On considère une assemblée de N trous ou N fentes alignés et séparés par une distance a.



Superposition de N ondes

Différence de marche entre deux motifs consécutif

On considère une assemblée de N trous ou N fentes alignés et séparés par une distance a.



Dans ce cas, **seule la condition d'interférences constructives est la même que pour des interférences à deux ondes**

$$\delta(M) = p\lambda_0 \quad \text{avec } p \in \mathbb{Z}$$

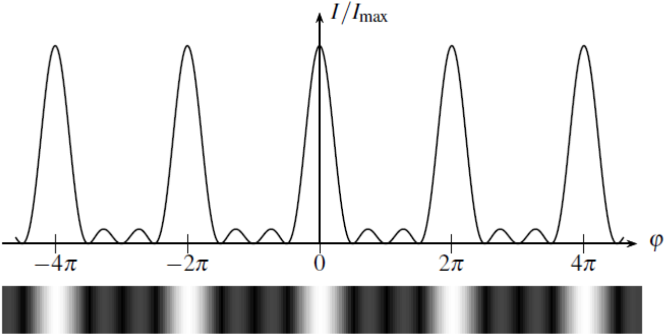
$$\text{soit} \quad \delta(M) = na\left(\sin\theta - \sin\theta_0\right) = p\lambda_0.$$

Superposition de N ondes

Différence de marche entre deux motifs consécutif

Seules les directions pour lesquelles la relation $\sin\theta = p\frac{\lambda_0}{na} + \sin\theta_0$, avec $p \in \mathbb{Z}$, est respectée, présentent des maxima d'intensité.

Profil d'intensité pour $N = 4$

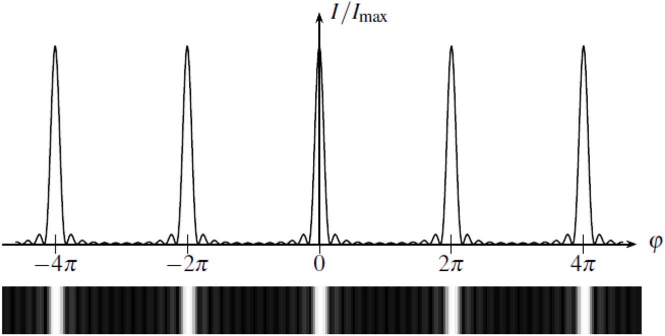


Superposition de N ondes

Différence de marche entre deux motifs consécutif

Seules les directions pour lesquelles la relation $\sin\theta = p\frac{\lambda_0}{na} + \sin\theta_0$, avec $p \in \mathbb{Z}$, est respectée, présentent des maxima d'intensité.

Profil d'intensité pour $N = 12$



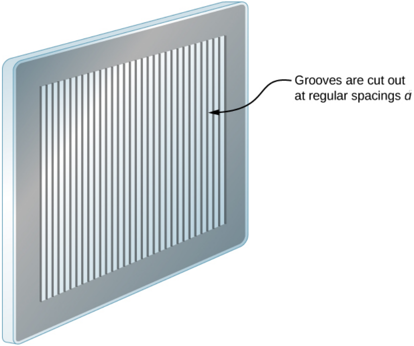
Plus le nombre de trous N est important et plus les franges brillantes sont fines.

Superposition de N ondes

Relation fondamentale des réseaux

On nomme **réseau de diffraction** un objet plan présentant une structure périodique avec une période spatiale a de l'ordre de grandeur des longueurs d'onde de la lumière visible qui est appelée **pas du réseau**.

Un réseau correspond à une assemblée de N fentes séparées par une distance a.



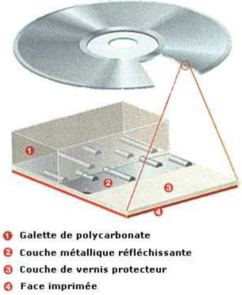
Superposition de N ondes

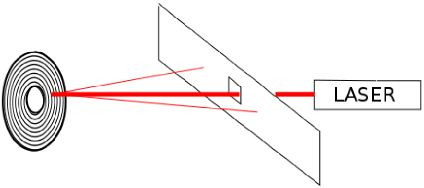
Relation fondamentale des réseaux

On retiendra **la relation fondamentale des réseaux**

$$\delta(M) = na\left(\sin\theta - \sin\theta_0\right) = p\lambda_0 \quad \text{avec } p \in \mathbb{Z}.$$

À partir de cette relation on peut obtenir la valeur du “pas du réseau” d’un disque optique. En effet, le disque présente des motifs espacés de manière régulière qui réfléchissent la lumière (réseau en réflexion) ($a = 1{,}6\,\mu\text{m}$, $740\,\text{nm}$ et $320\,\text{nm}$ pour un CD-ROM de 650 Mo, un DVD et un Blu-Ray).

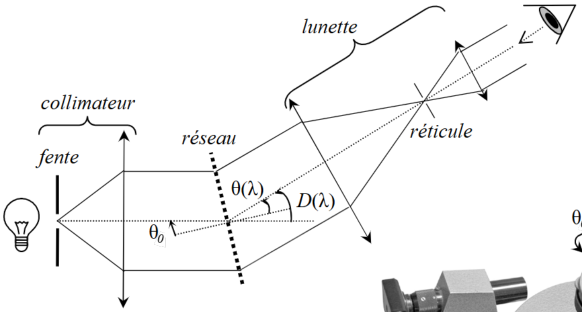




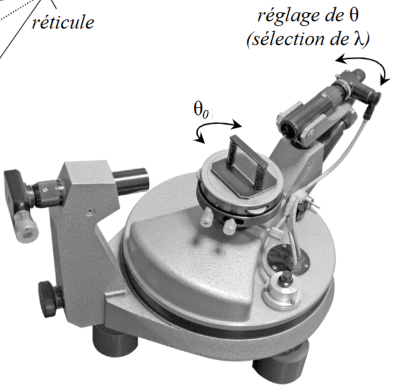
Superposition de N ondes

Spectro-goniomètre à réseau

Les réseaux peuvent être employés avec des **spectro-goniomètre**.



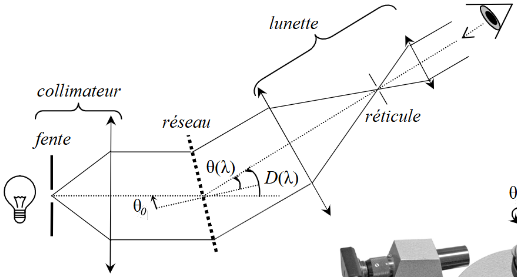
principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)



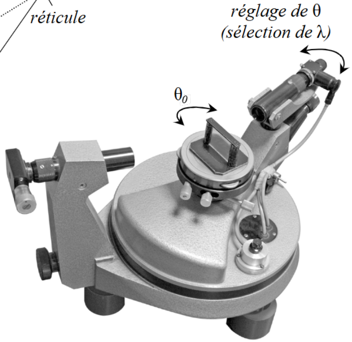
Superposition de N ondes

Spectro-goniomètre à réseau

Le collimateur permet d'obtenir une source ponctuelle à l'infini.



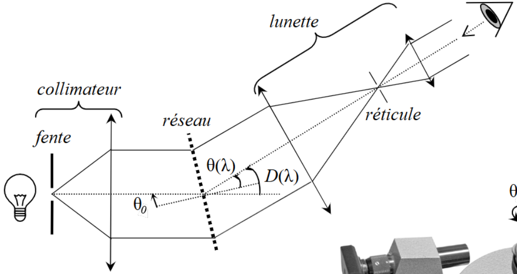
principe d'un
spectro-goniomètre à réseau
(vue du dessus)



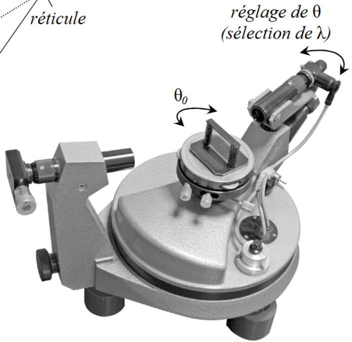
Superposition de N ondes

Spectro-goniomètre à réseau

Le plateau tournant du réseau permet de régler θ_0 (négatif sur le schéma) angle entre la normale du réseau (axe optique) et la direction de la source.



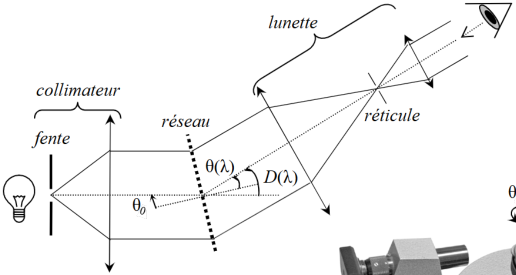
principe d'un
spectro-goniomètre à réseau
(vue du dessus)



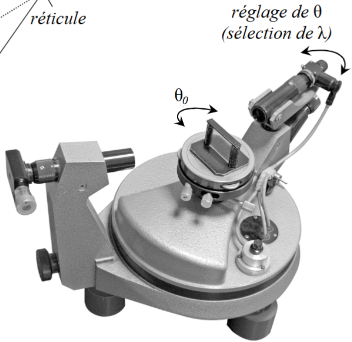
Superposition de N ondes

Spectro-goniomètre à réseau

La lunette permet d'observer la figure d'interférence à l'infini (l'œil n'accommode pas : il ne se fatigue pas).



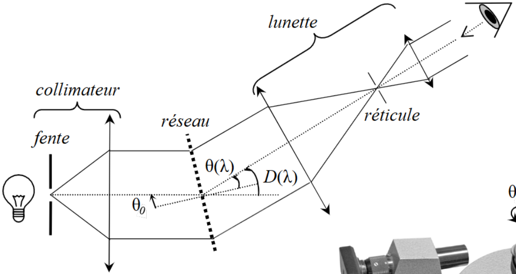
principe d'un
spectro-goniomètre à réseau
(vue du dessus)



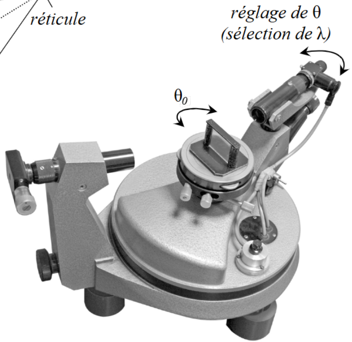
Superposition de N ondes

Spectro-goniomètre à réseau

La lunette peut tourner ce qui permet de régler l'angle θ, angle entre l'axe optique et la direction d'observation.



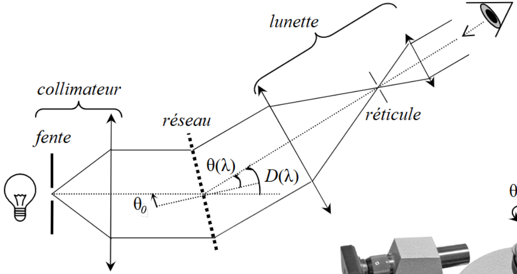
principe d'un
spectro-goniomètre à réseau
(vue du dessus)



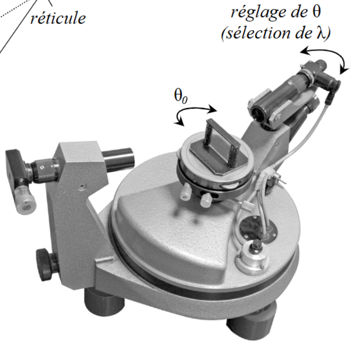
Superposition de N ondes

Spectro-goniomètre à réseau

On utilisera l'angle de **déviation** D tel que $D = \theta - \theta_0$ (ici $\theta_0 < 0$ donc $D > \theta$). Il correspond à l'angle entre la direction de la source et la direction d'observation.



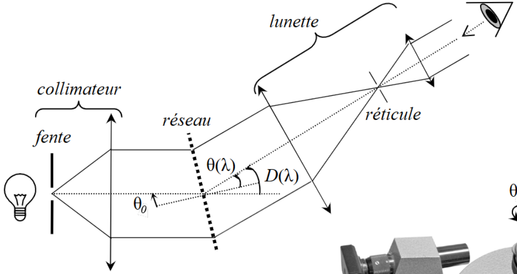
principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)



Superposition de N ondes

Spectro-goniomètre à réseau

À partir de la mesure de D, de la formule des réseaux, de la connaissance du pas du réseau a, **le spectro-goniomètre permet de mesurer précisément les longueurs d'onde λ des différentes composantes lumineuses qui composent la source**.



principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)