# Leçon 7 : superposition de N ondes lumineuses

E. Capitaine

TSI 2 - Lycée Charles Coëffin

14 octobre 2026

# Plan


1. Retour sur les trous d'Young
   - Observation à l'infini
   - Fentes d'Young
   - Observation à l'infini
   - Déplacement de la source principale

2. Superposition de N ondes
   - Différence de marche entre deux motifs consécutifs
   - Relation fondamentale des réseaux
   - Spectro-goniomètre à réseau

# Plan

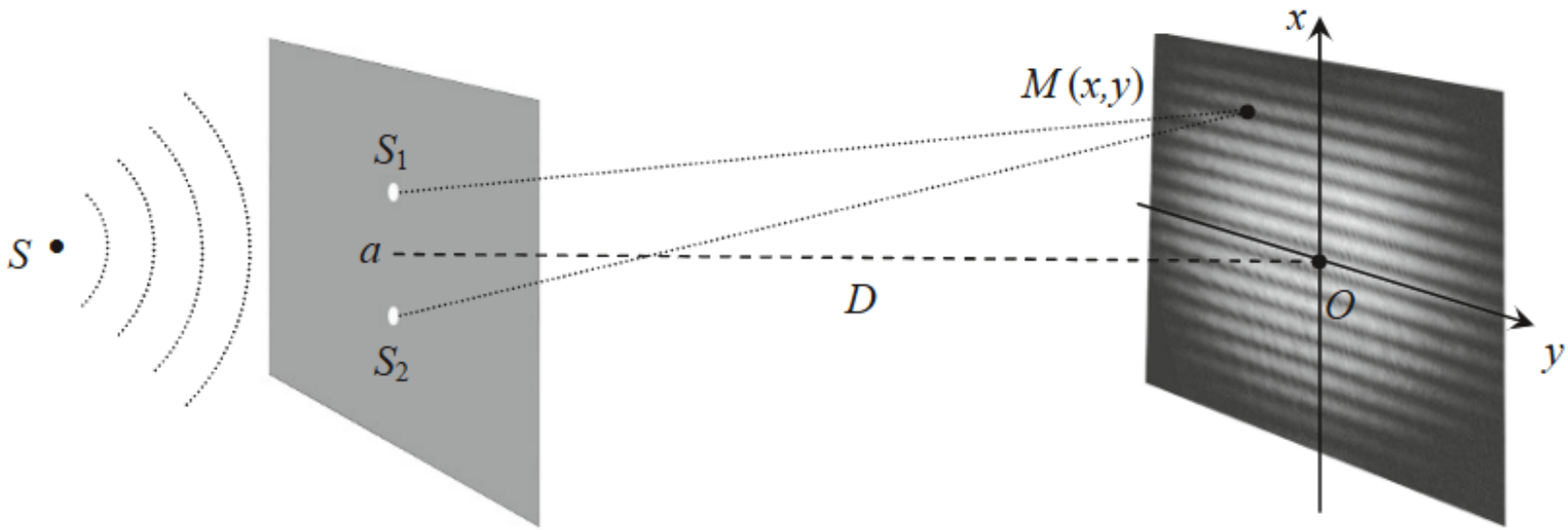

1. Retour sur les trous d'Young
   - Observation à l'infini
   - Fentes d'Young
   - Observation à l'infini
   - Déplacement de la source principale

2. Superposition de N ondes
   - Différence de marche entre deux motifs consécutifs
   - Relation fondamentale des réseaux
   - Spectro-goniomètre à réseau

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini

On revient sur les conclusions de la dernière leçon.



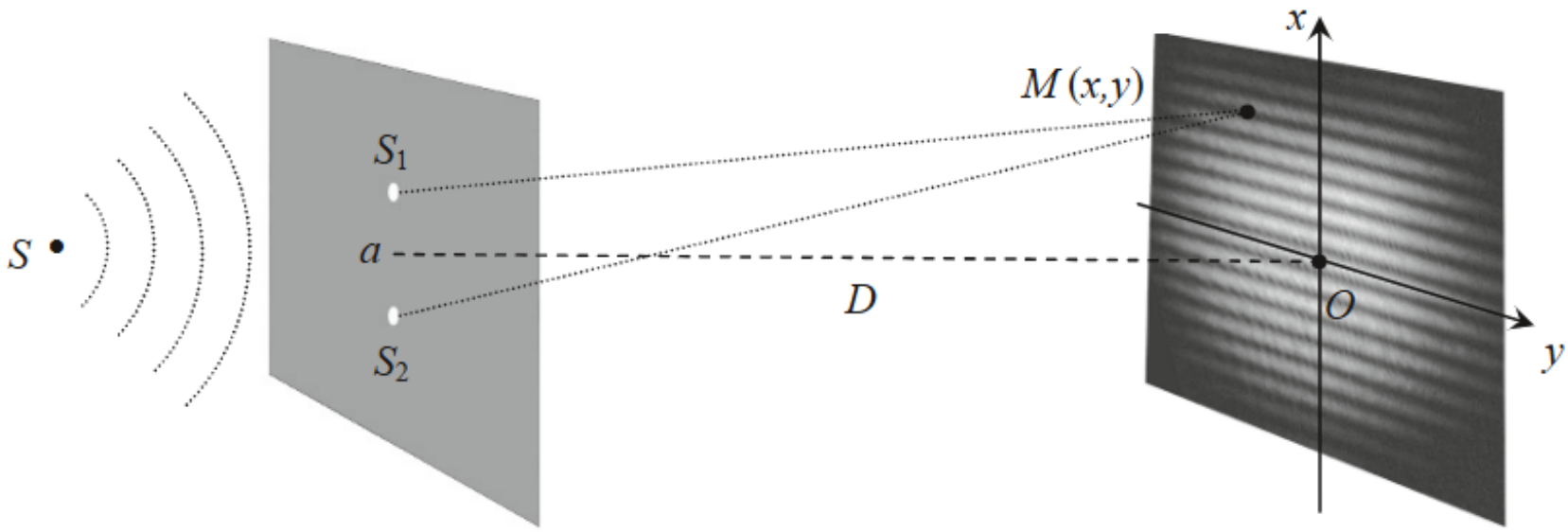

Quelle est l'expression de la différence de marche entre les deux rayons au point $M$ ?

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

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini

On revient sur les conclusions de la dernière leçon.




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

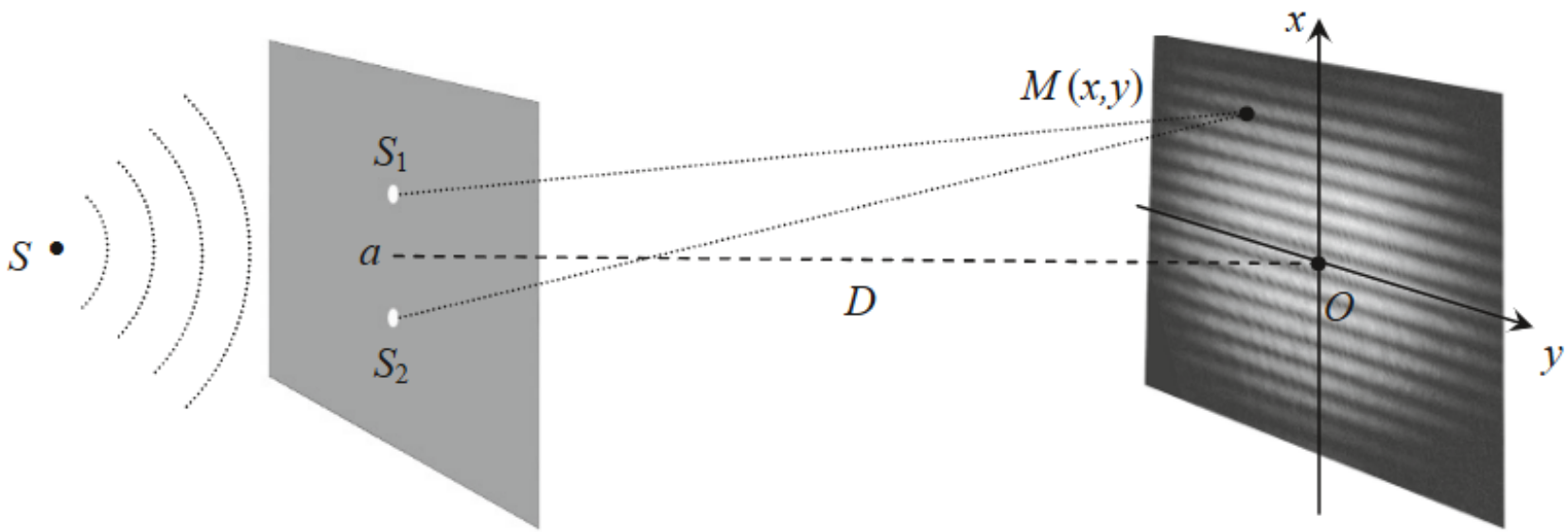
$$\delta(M) = n\frac{ax}{D}.$$

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.



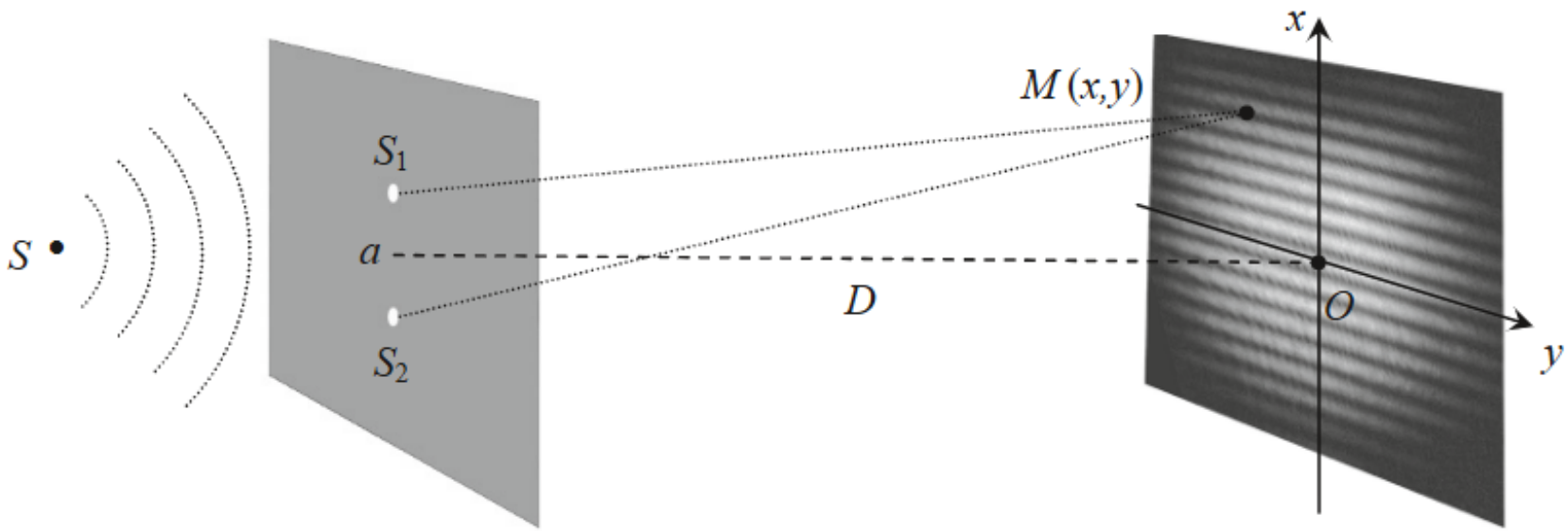

L'interfrange est

$$i =$$

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini

On revient sur les conclusions de la dernière leçon.



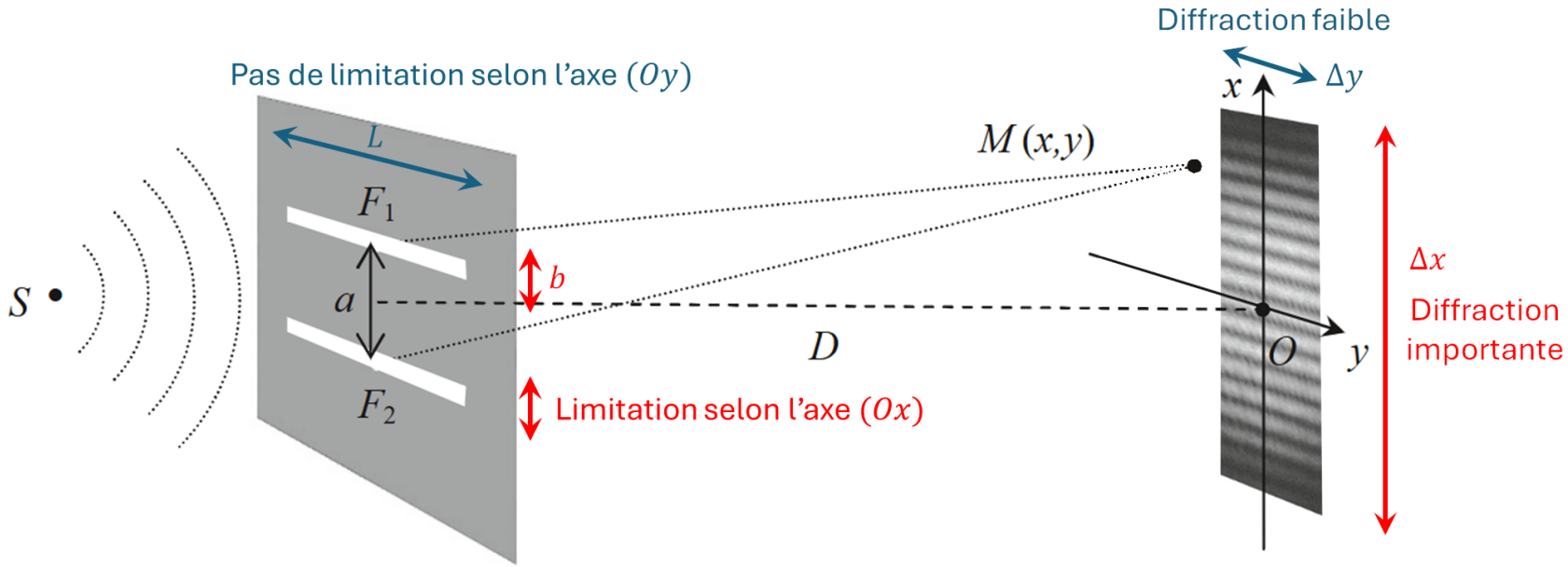

L'interfrange est

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

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini

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

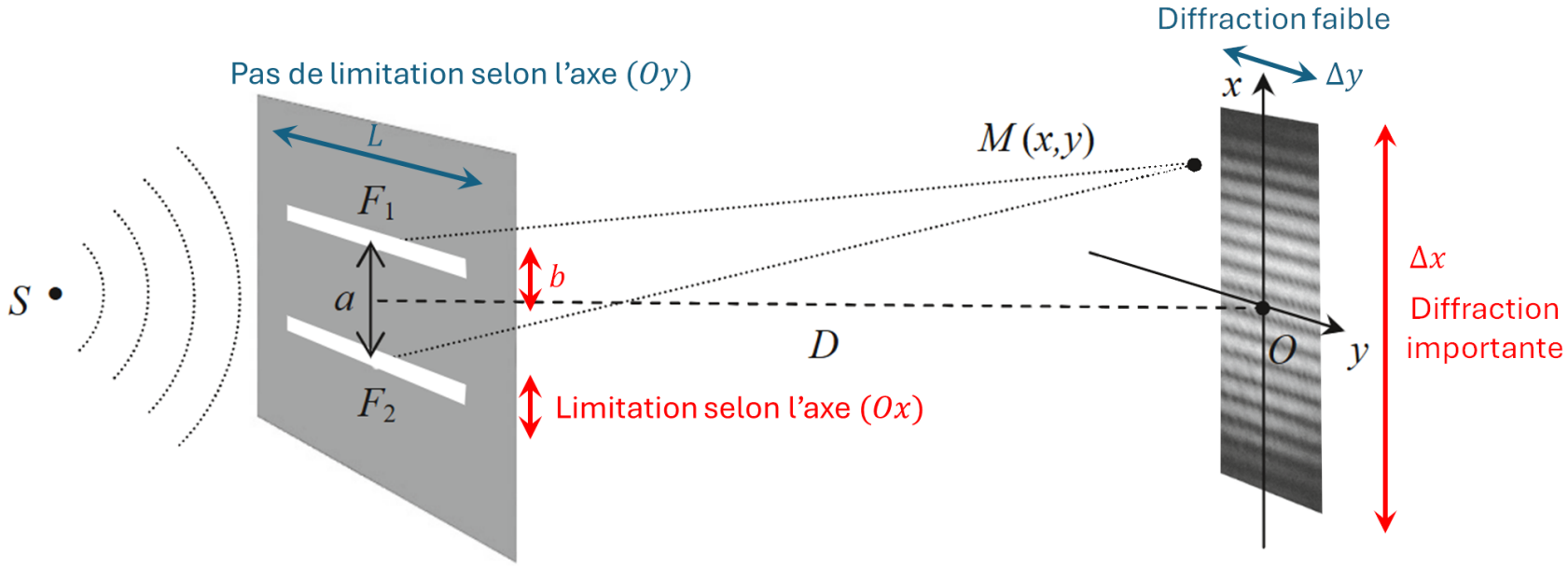



La diffraction est très faible le long de l'axe parallèle à la longueur $L$ des fentes. D'après la formule de la diffraction, la longueur $\Delta y$ de la figure est

$$\Delta y =$$

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini



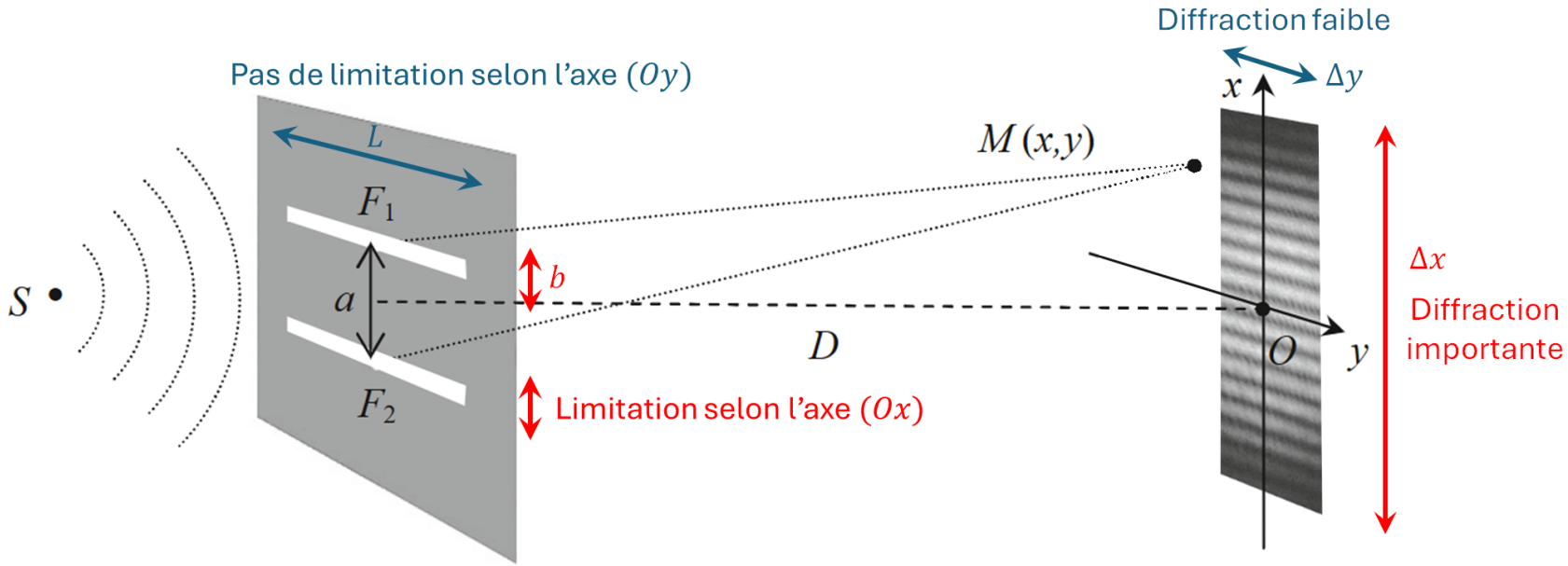

La diffraction est très faible le long de l'axe parallèle à la longueur $L$ des fentes. D'après la formule de la diffraction, la longueur $\Delta y$ de la figure est

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

Comme $L$ est grand, $\Delta y$ est faible : la figure est réduite le long de cette axe.

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini



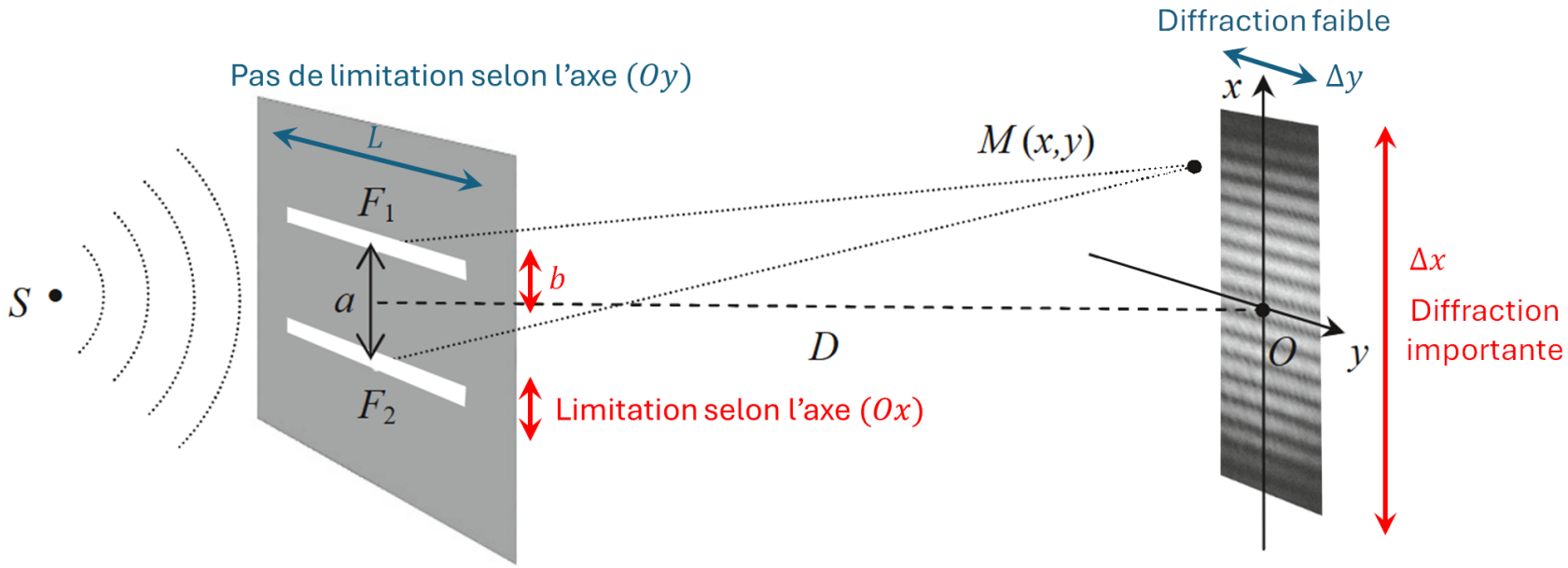

Il y a une forte diffraction le long de l'axe parallèle à la largeur $b$ des fentes. D'après la formule de la diffraction, la largeur $\Delta x$ de la figure est

$$\Delta x =$$

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini

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




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

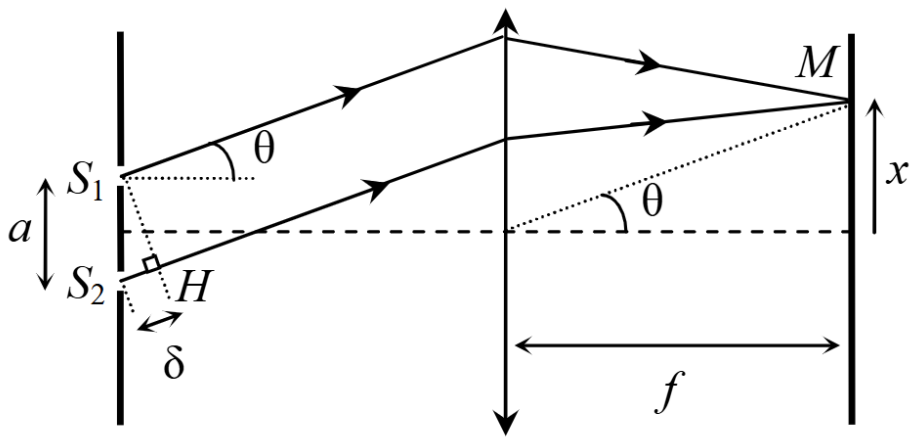
$$\Delta x = \frac{2\lambda D}{b}.$$

Comme $b$ est petit, $\Delta x$ est important.

# Retour sur les trous d'Young

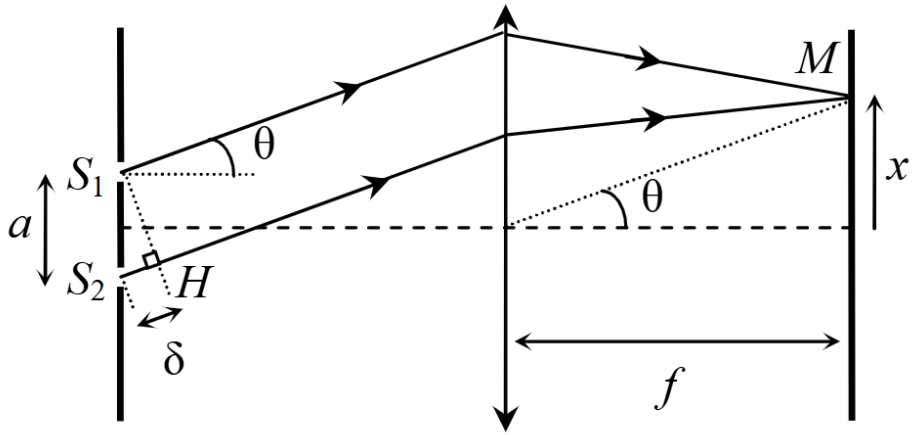
## Observation à l'infini

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

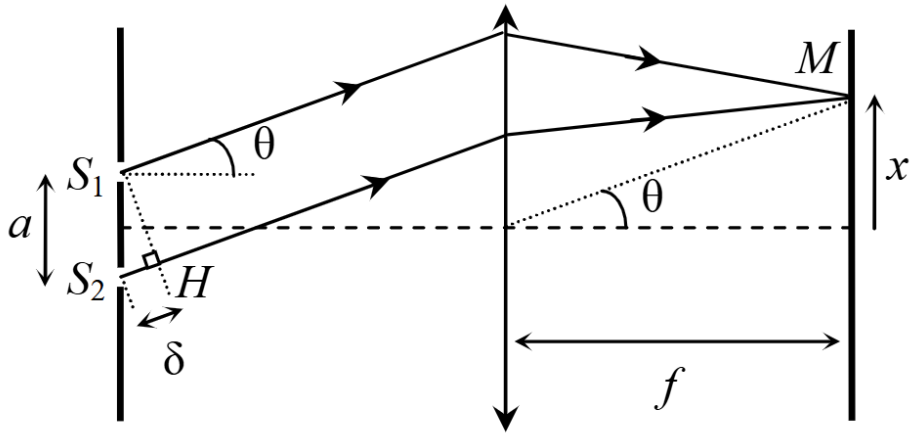
## Observation à l'infini




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

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini

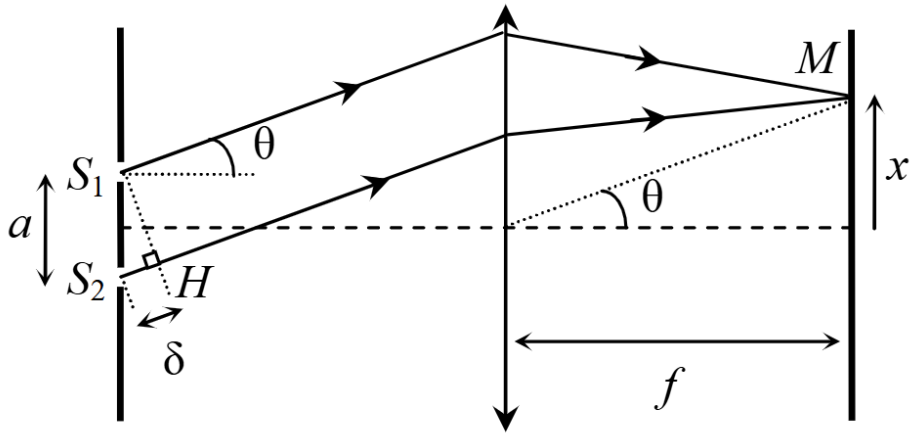



Sans la lentille, deux rayons parallèles issus des sources convergent seulement à l'infini.

Des rayons incidents parallèles entre eux convergent, après la lentille, en un point du plan focal image : le foyer principal image si leur direction est celle de l'axe optique, un foyer secondaire image sinon.

# Retour sur les trous d'Young

## Observation à l'infini



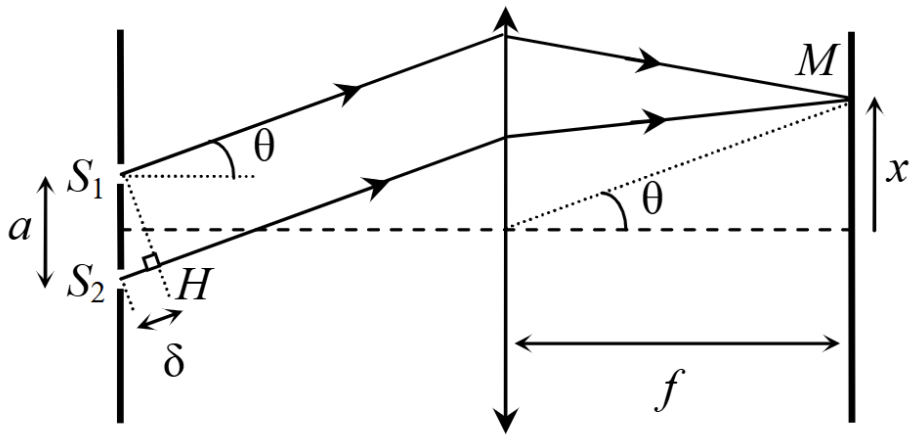

Sans la lentille, deux rayons parallèles issus des sources convergent seulement à l'infini.

Des rayons incidents parallèles entre eux convergent, après la lentille, en un point du plan focal image : le foyer principal image si leur direction est celle de l'axe optique, un foyer secondaire image sinon.

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

# Retour sur les trous d'Young

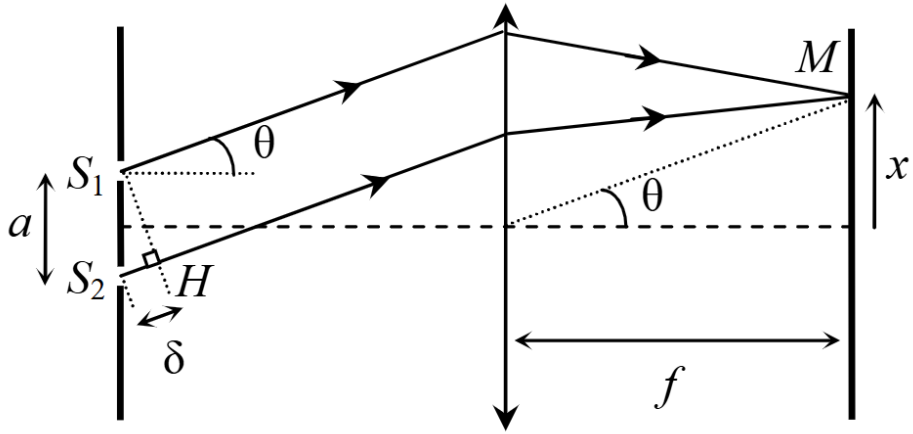
## Observation à l'infini




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 $M$ : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$ ?

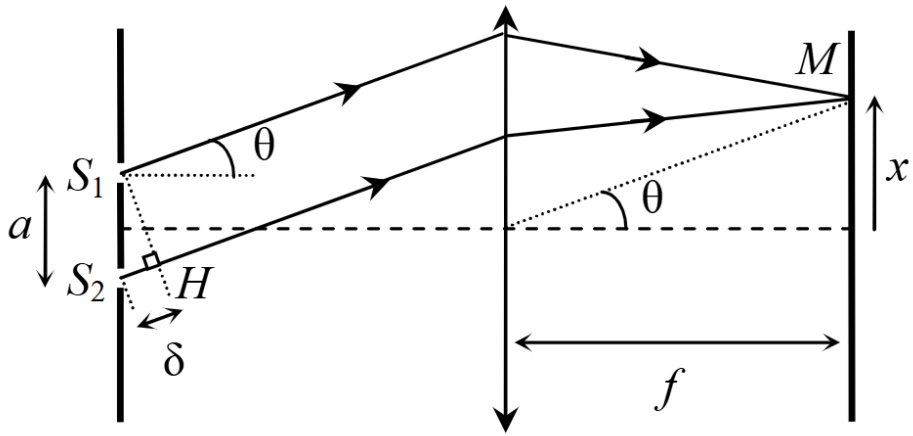
On détaille les deux chemins optiques

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

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



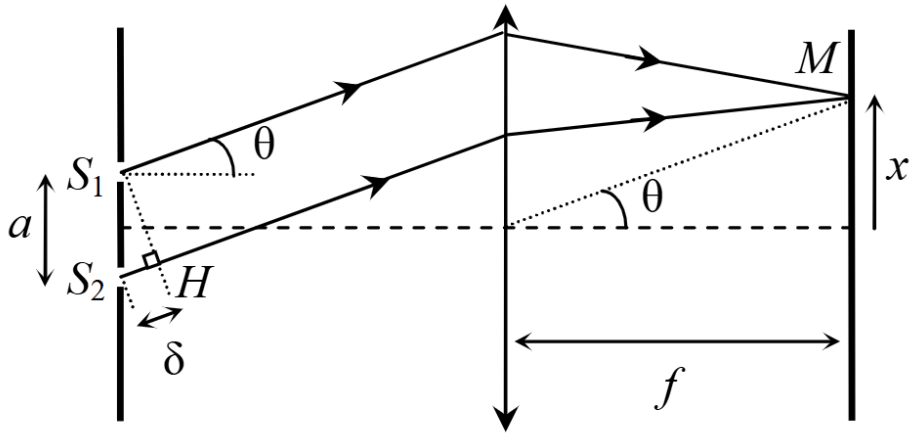

Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point $M$ : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$ ?

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



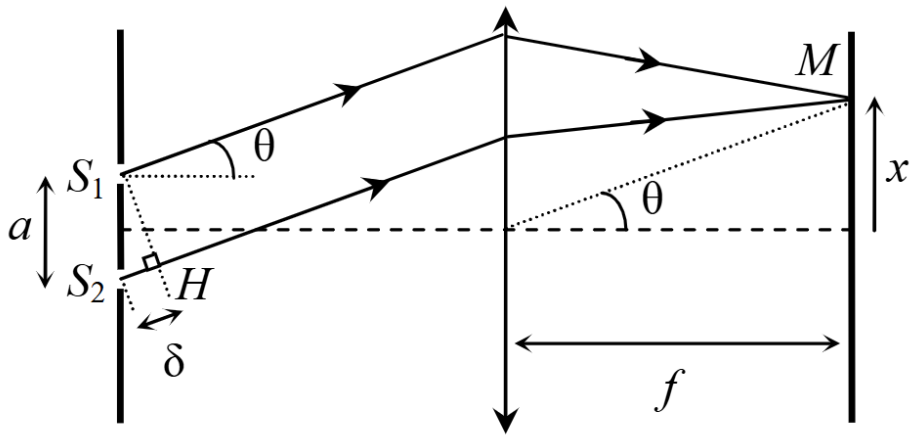

Quelle est la différence de marche entre les deux rayons arrivant au point $M$ : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$ ?

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

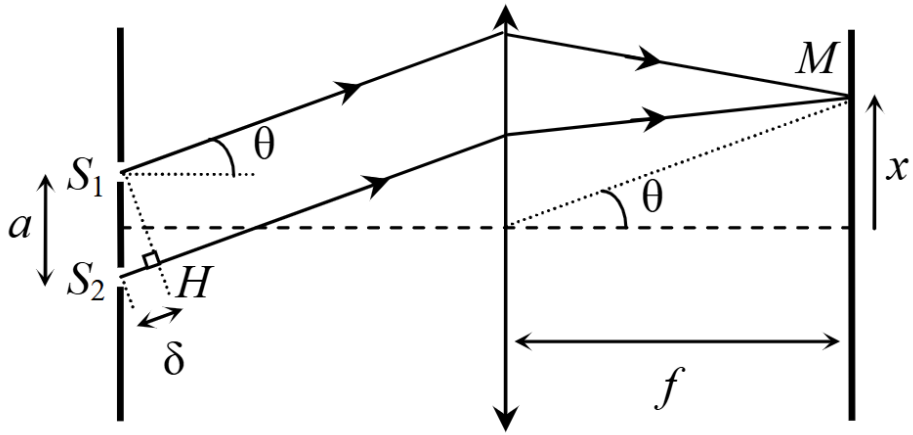
$$\text{si} \quad (MS_1) = (MH)$$
$$\text{alors} \quad (S_1M) = (HM).$$

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 $M$ : $\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$ ?

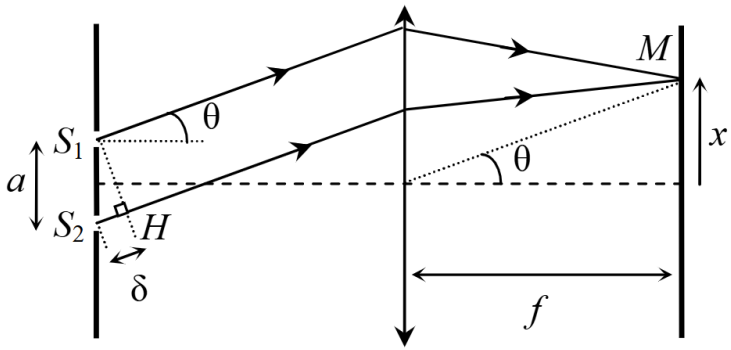
Comme $S_2H$ est le côté opposé par rapport à l'angle $\theta$ du triangle rectangle $S_1S_2H$, il vient que

$$\delta(M) = (S_2H) \quad \text{soit} \quad \delta(M) = nS_2H$$

$$\delta(M) = na\sin\theta.$$

# 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

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

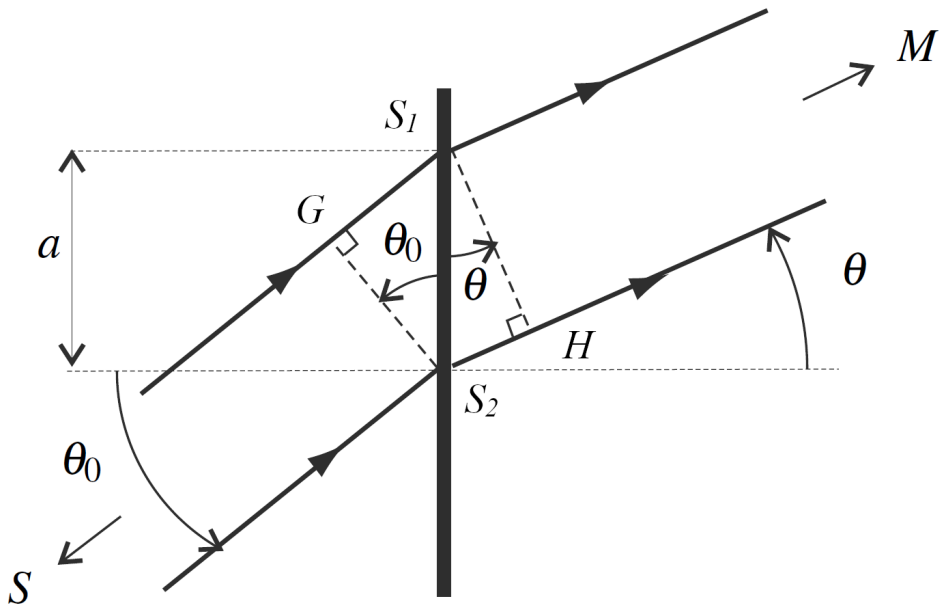
$$\text{soit} \quad \delta(M) = na\sin\theta \approx n\frac{ax}{f'}.$$

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

# Retour sur les trous d'Young

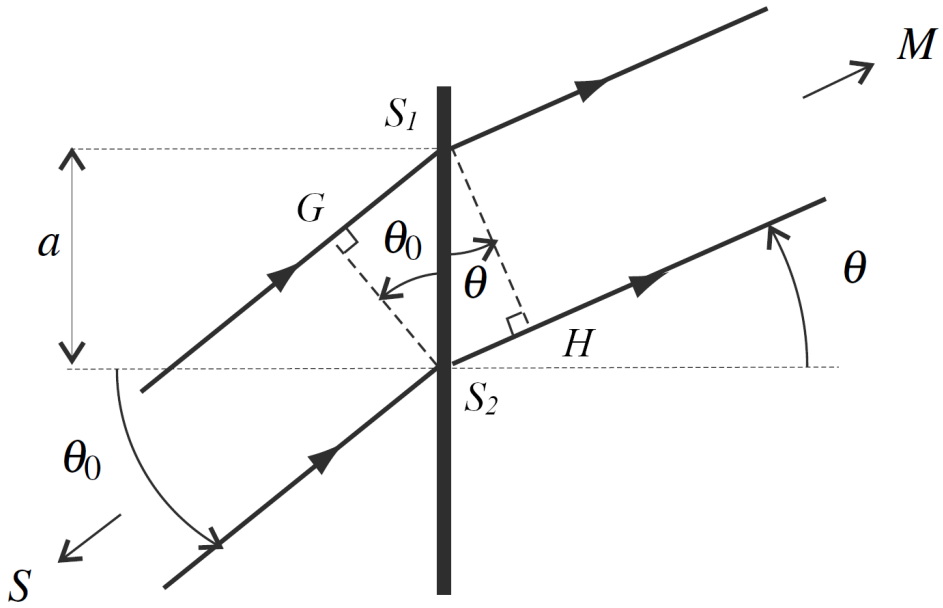
## Déplacement de la source principale

Que se passe-t-il si on déplace la source primaire $S$ ? Considérons une source à l'infini qui fait un angle $\theta_0$ avec l'axe optique.



# Retour sur les trous d'Young

## Déplacement de la source principale

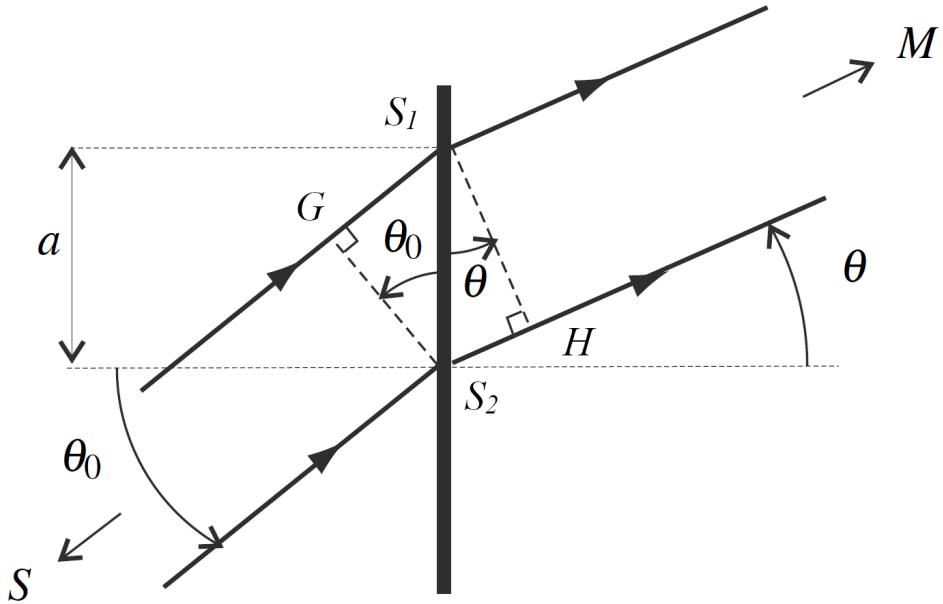



La différence de marche entre les deux rayons est

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

# 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

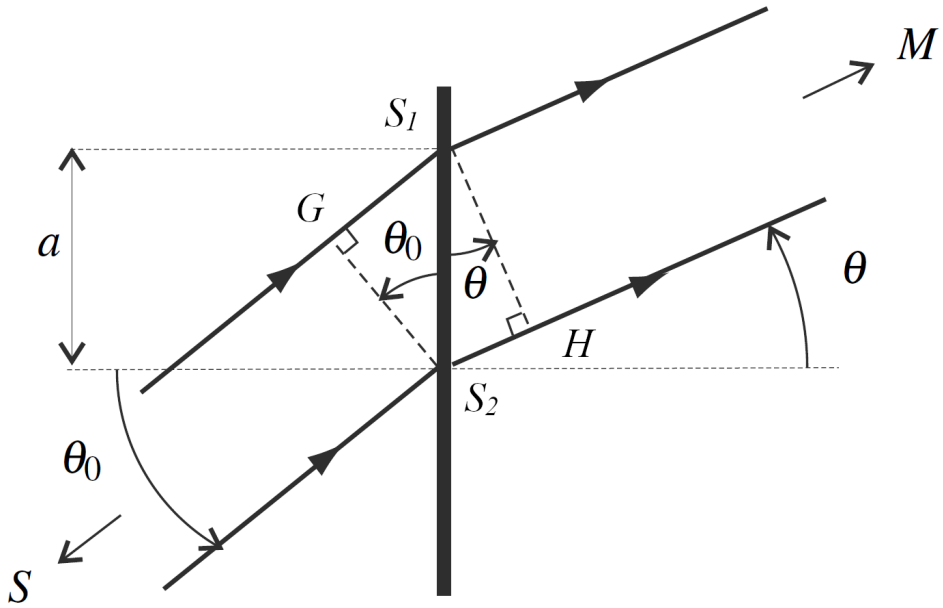
$$\delta(M) = (SS_2) + (S_2H) + (HM) - [(SG) + (GS_1) + (S_1M)]$$

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

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

# Retour sur les trous d'Young

## Déplacement de la source principale




Lorsque la source primaire est déplacée dans le sens direct d'un angle $\theta_0$, la figure d'interférences est décalée : le maximum central, correspondant à une différence de marche nulle, est observé dans la direction $\theta = \theta_0$.

# Plan

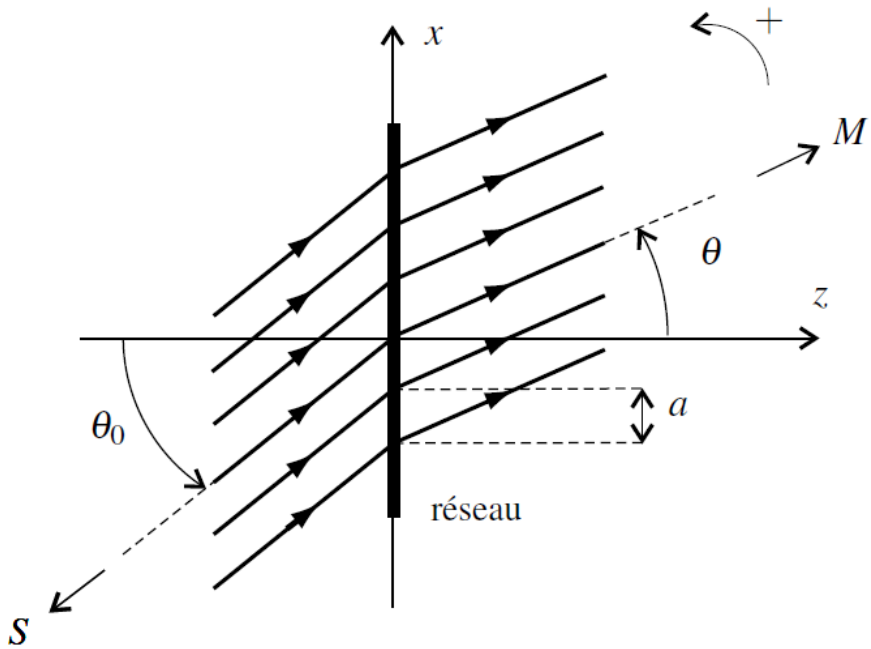

1. Retour sur les trous d'Young
   - Observation à l'infini
   - Fentes d'Young
   - Observation à l'infini
   - Déplacement de la source principale

2. Superposition de N ondes
   - Différence de marche entre deux motifs consécutifs
   - Relation fondamentale des réseaux
   - Spectro-goniomètre à réseau

# Superposition de N ondes

## Différence de marche entre deux motifs consécutifs

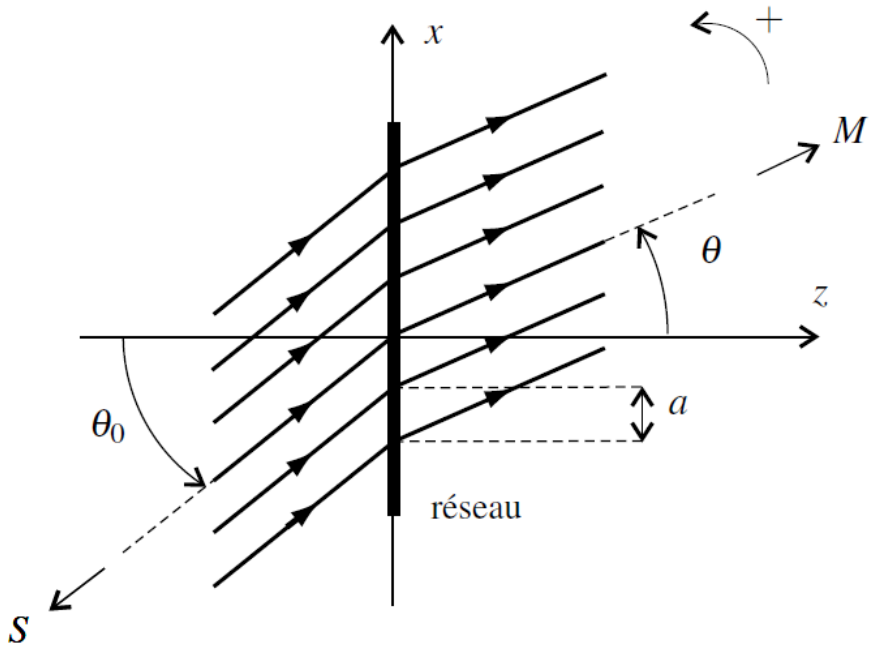
On considère une assemblée de $N$ trous ou $N$ fentes alignés et séparés par une distance $a$.



# Superposition de N ondes

## Différence de marche entre deux motifs consécutifs

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 :**

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

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

# Superposition de N ondes

## Différence de marche entre deux motifs consécutifs

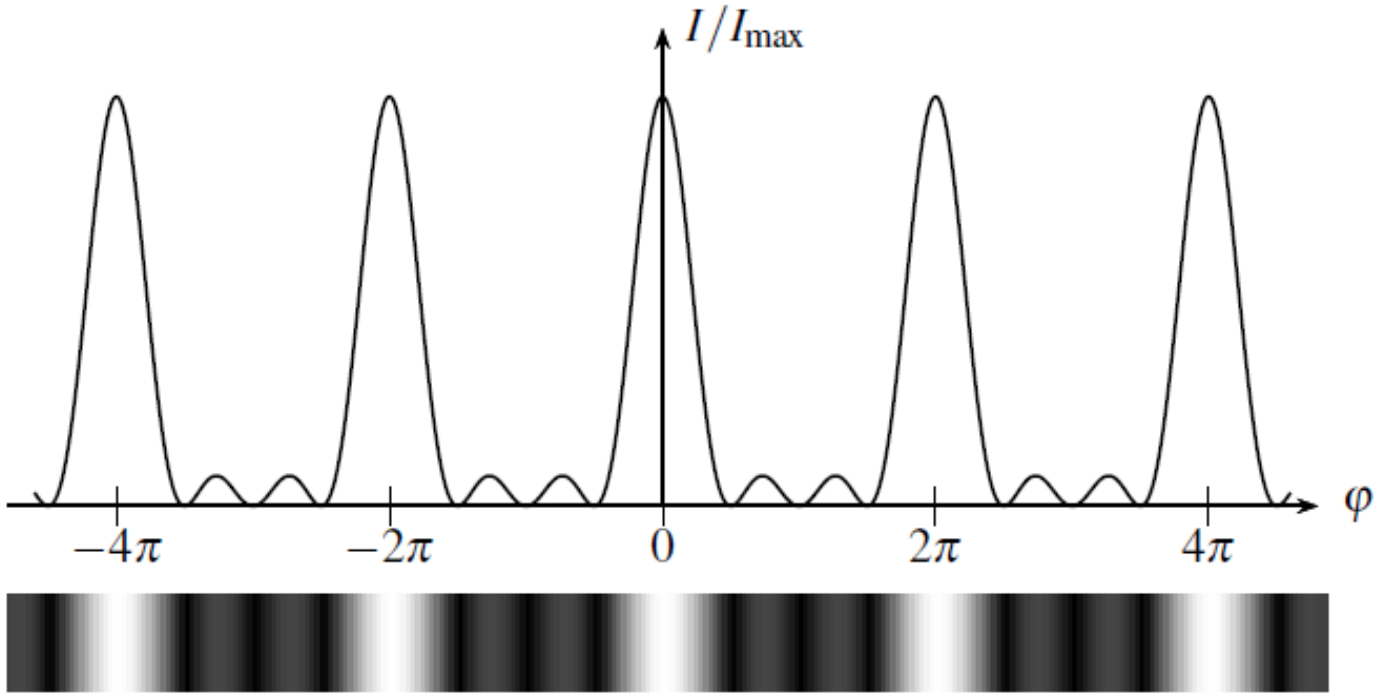
Les directions vérifiant $na(\sin\theta - \sin\theta_0) = p\lambda_0$, $p \in \mathbb{Z}$ correspondent aux maxima principaux d'interférences, pour lesquels les $N$ ondes arrivent en phase. Des maxima secondaires plus faibles peuvent exister entre ces directions.

# Superposition de N ondes

## Différence de marche entre deux motifs consécutifs

Les directions vérifiant $na(\sin\theta - \sin\theta_0) = p\lambda_0$, $p \in \mathbb{Z}$ correspondent aux maxima principaux d'interférences.

Profil d'intensité pour $N = 4$

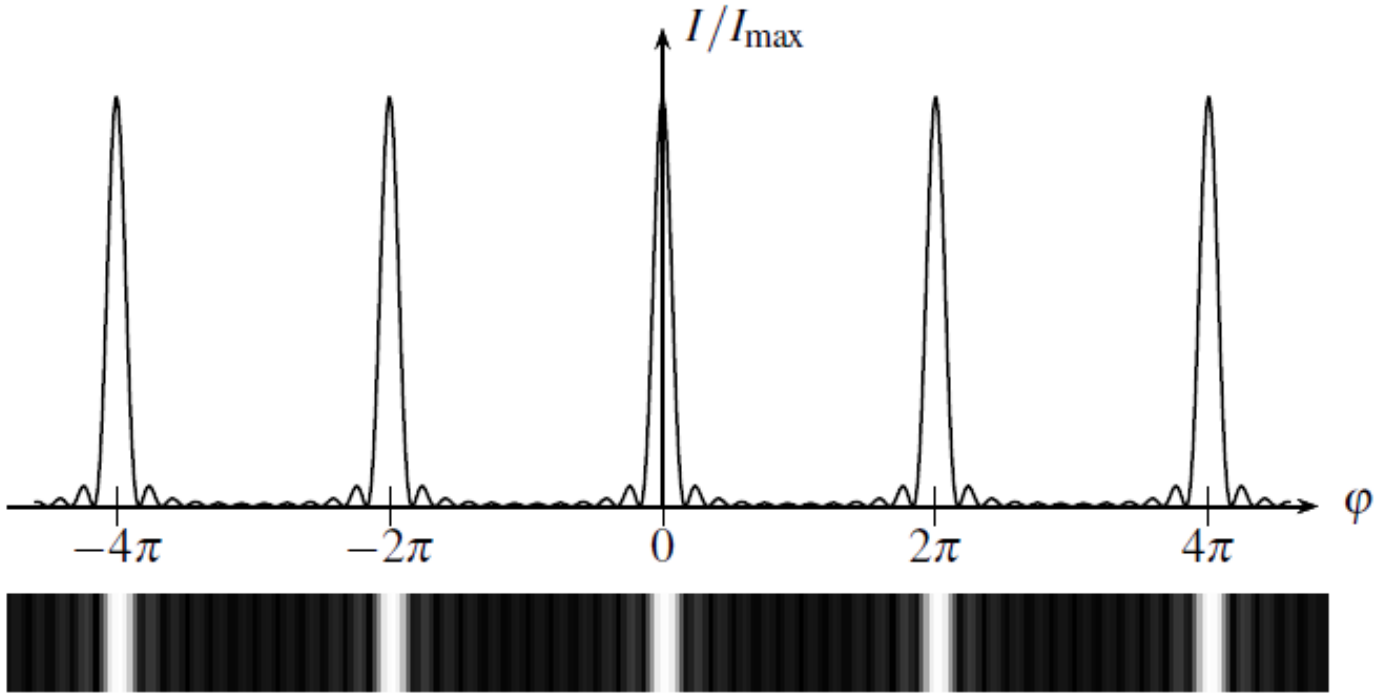


# Superposition de N ondes

## Différence de marche entre deux motifs consécutifs

Les directions vérifiant $na(\sin\theta - \sin\theta_0) = p\lambda_0$, $p \in \mathbb{Z}$ correspondent aux maxima principaux d'interférences.

Profil d'intensité pour $N = 12$



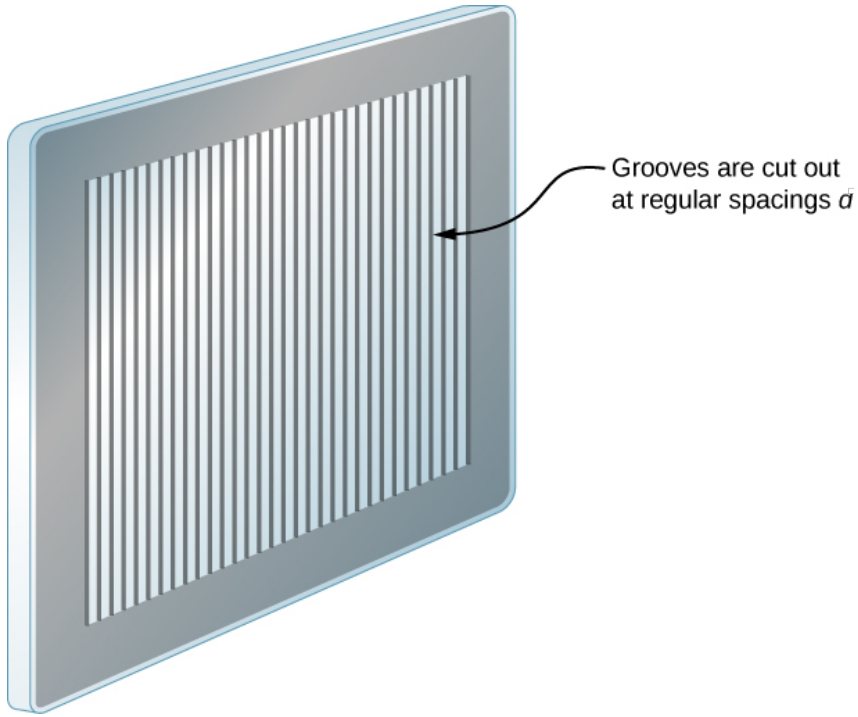

**À pas $a$ fixé, plus le nombre $N$ de motifs éclairés augmente, plus les maxima principaux deviennent étroits.**

# 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**.

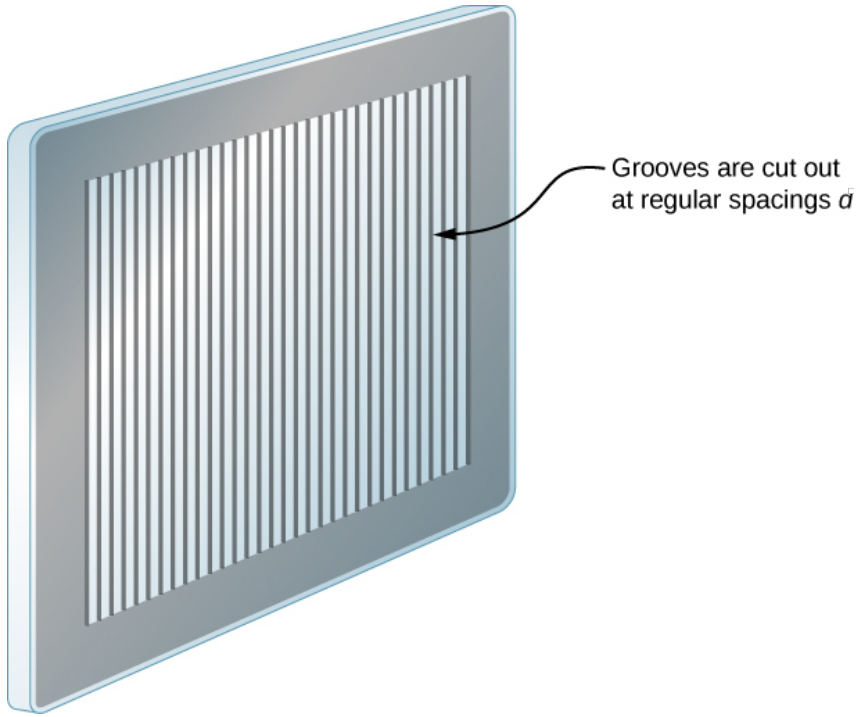
Un **réseau en transmission** peut être modélisé par une succession de $N$ fentes parallèles, régulièrement espacées d'une distance $a$.



# Superposition de N ondes

## Relation fondamentale des réseaux

Le plus souvent, plutôt que le pas du réseau $a$, on donne **le nombre $N$ de fentes ou de sillons par** mm qui composent le réseau.
Il est tel que $a = \frac{1}{1000N}$ avec le pas du réseau exprimé en m.



# Superposition de N ondes

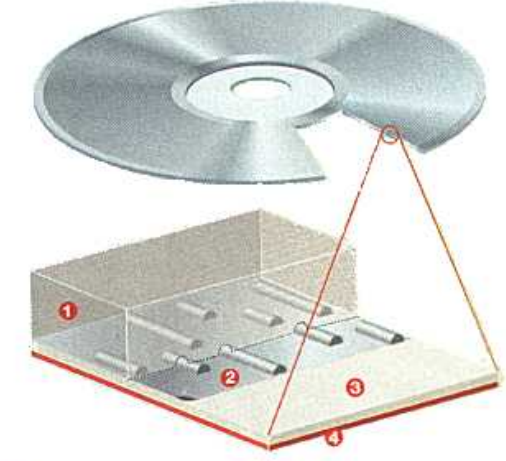
## Relation fondamentale des réseaux

On retiendra **la relation fondamentale des réseaux**

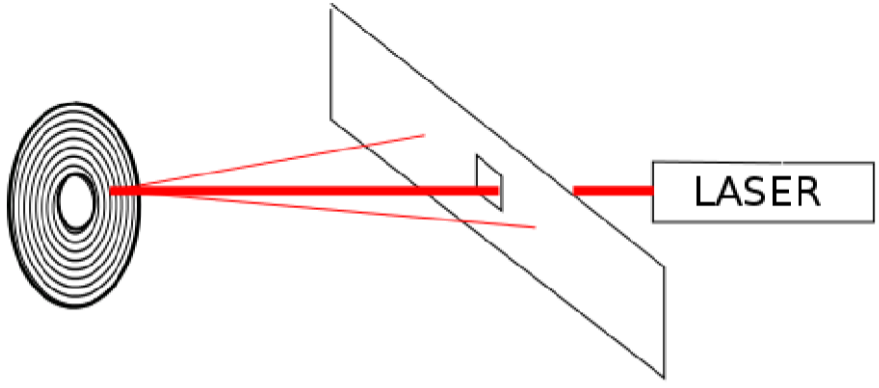
$$\delta(M) = na\,(\sin\theta - \sin\theta_0) = p\lambda_0 \quad \text{avec } p \in \mathbb{Z}.$$



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



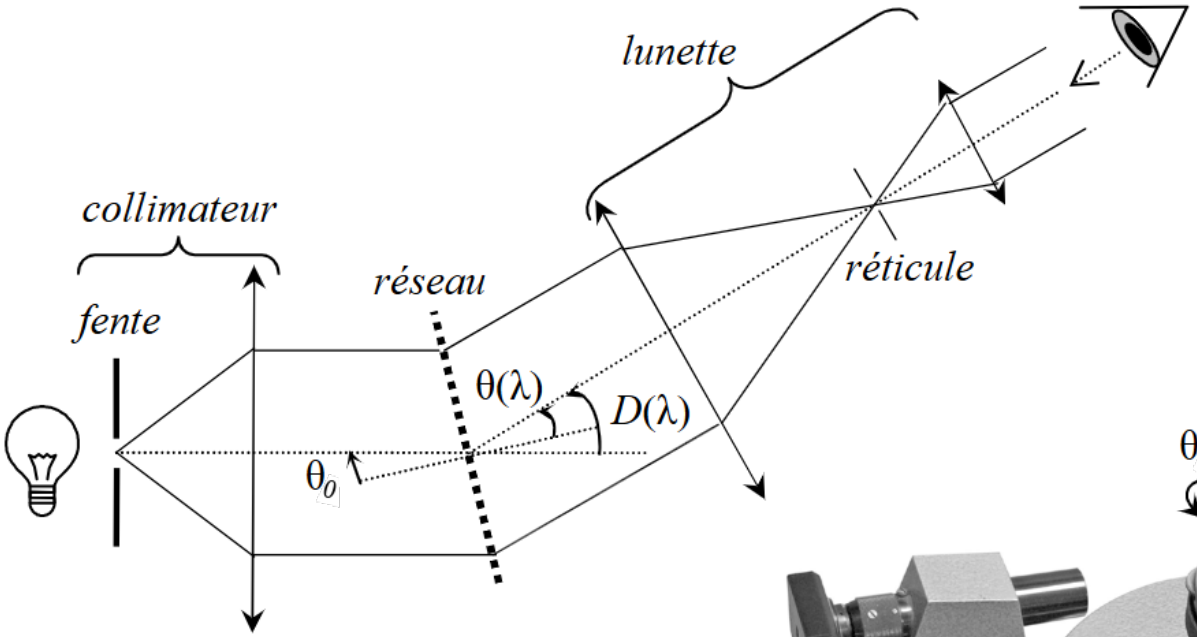

1. Galette de polycarbonate
2. Couche métallique réfléchissante
3. Couche de vernis protecteur
4. Face imprimée



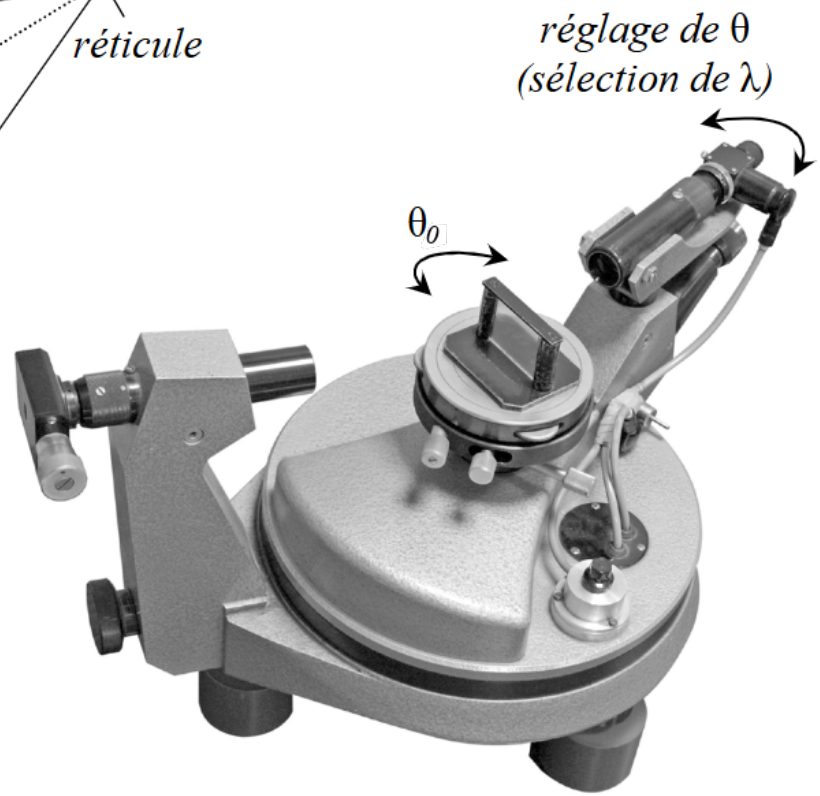
# Superposition de N ondes

## Spectro-goniomètre à réseau

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



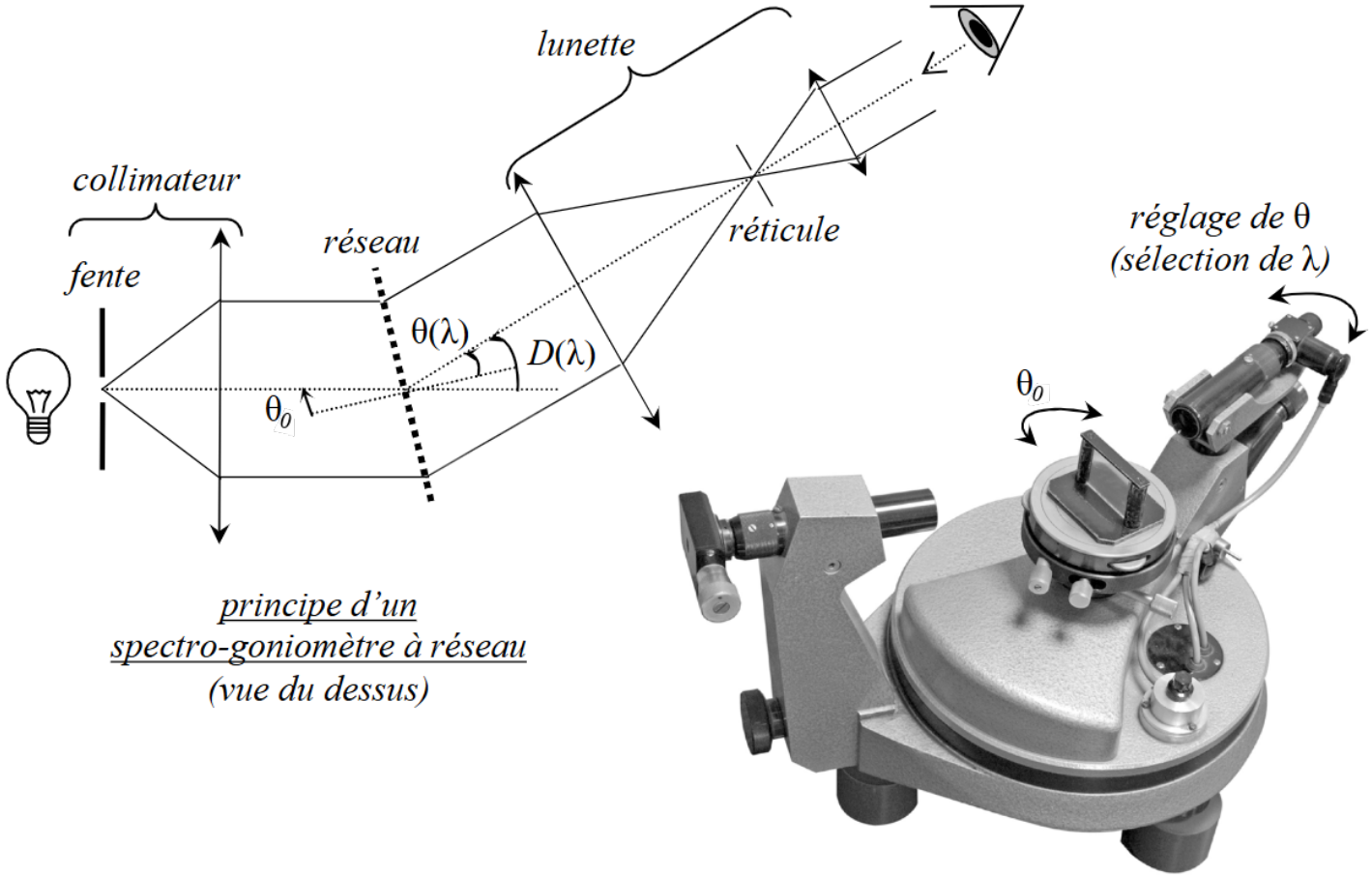

*principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)*



# Superposition de N ondes

## Spectro-goniomètre à réseau

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

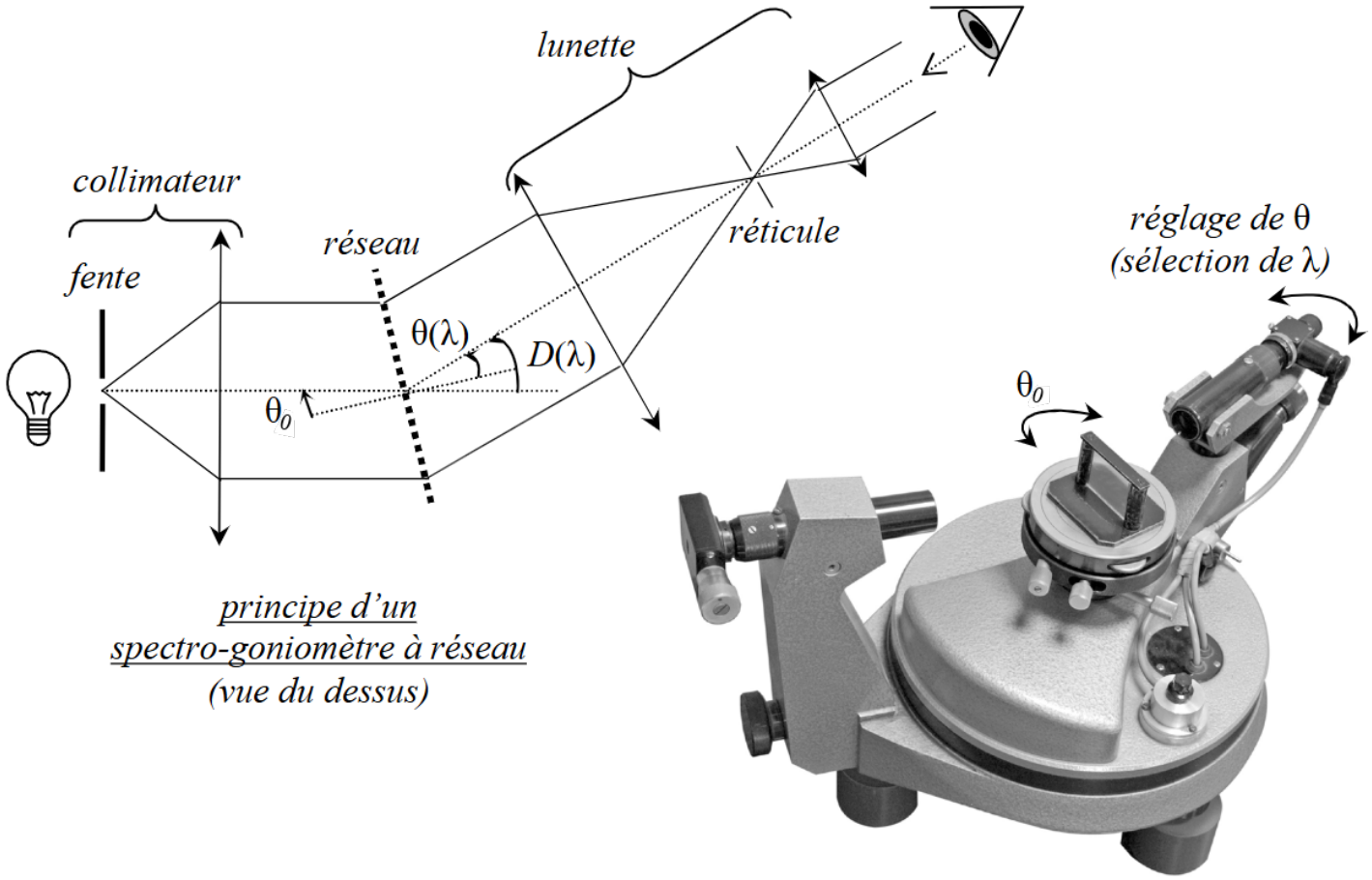



*principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)*

# Superposition de N ondes

## Spectro-goniomètre à réseau

Le plateau tournant du réseau permet de régler $\theta_0$ (négatif sur le schéma), angle entre la normale du réseau (axe optique) et la direction de la source.

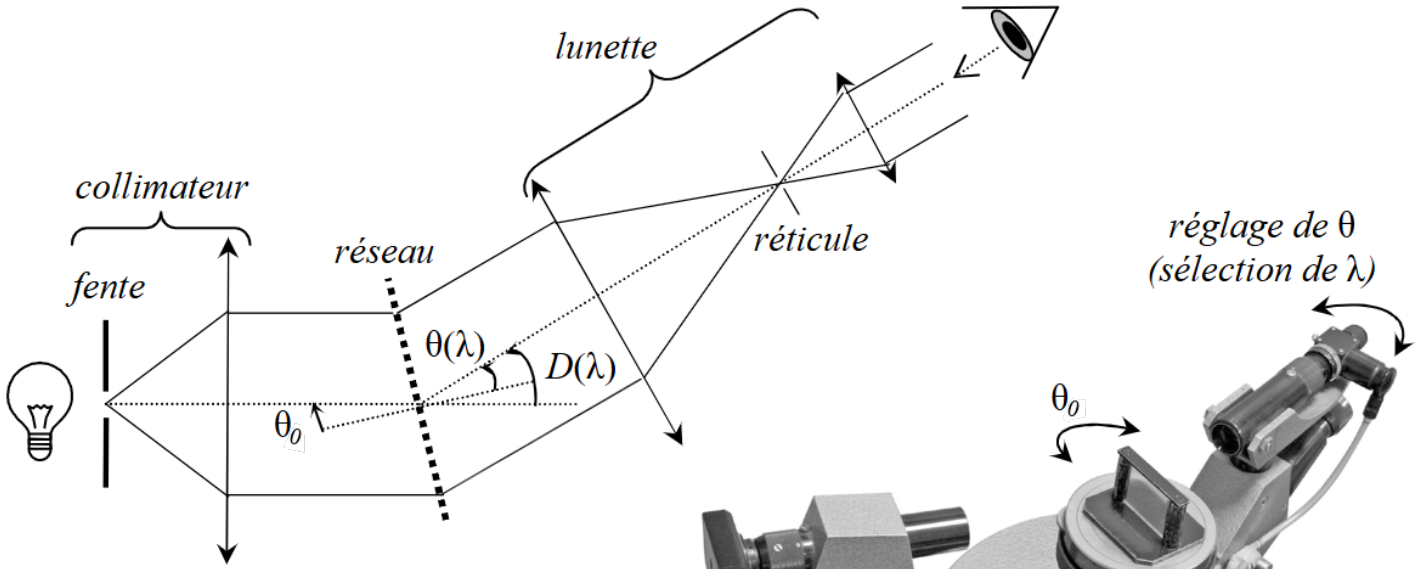



*principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)*

# 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).

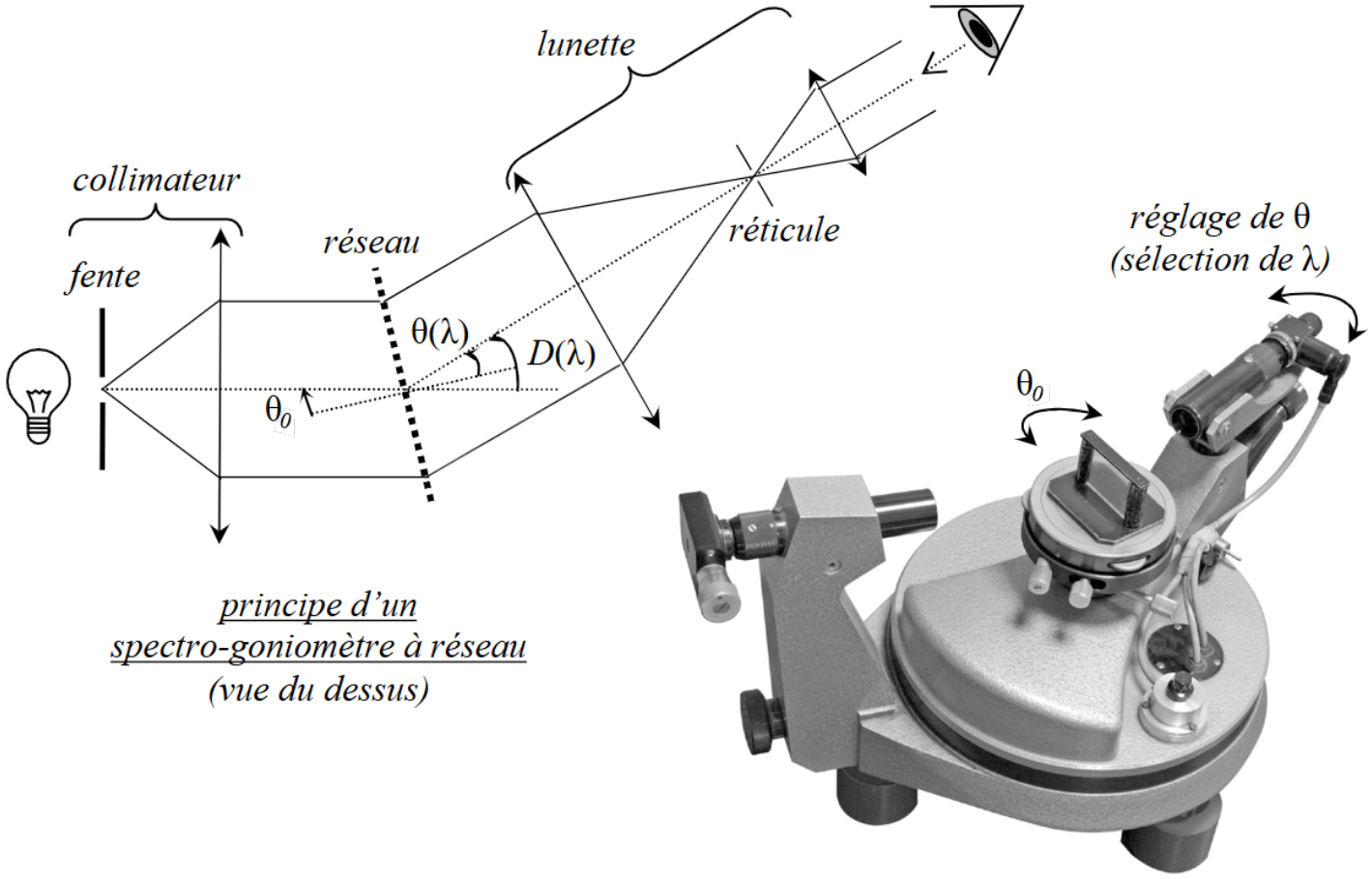



*principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)*

# Superposition de N ondes

## Spectro-goniomètre à réseau

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

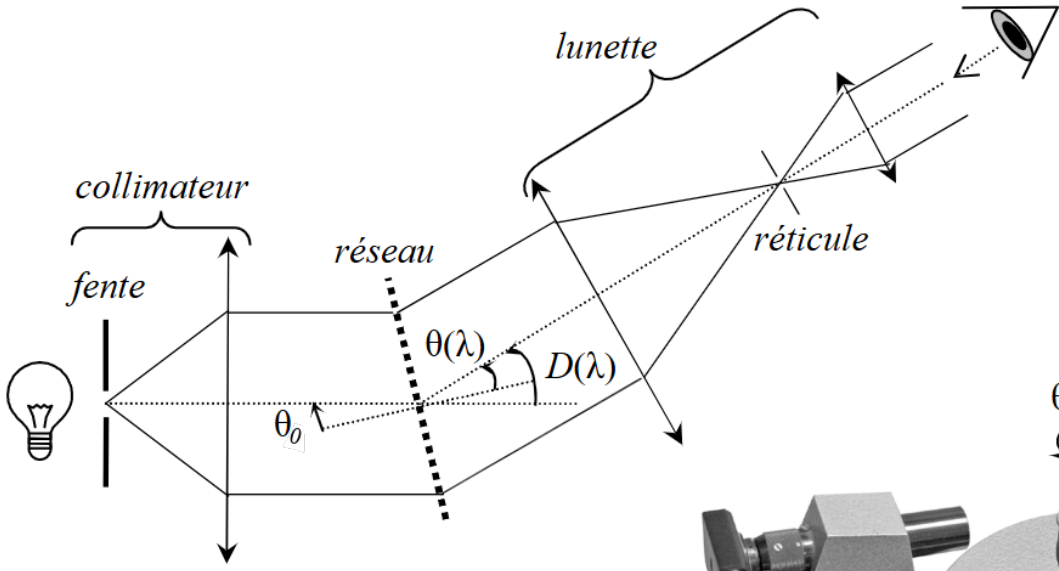



*principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)*

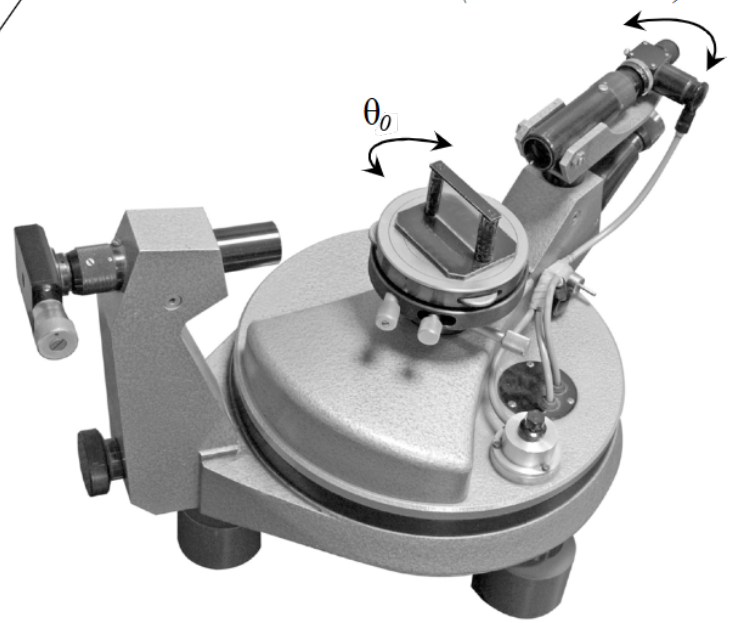
# Superposition de N ondes

## 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.



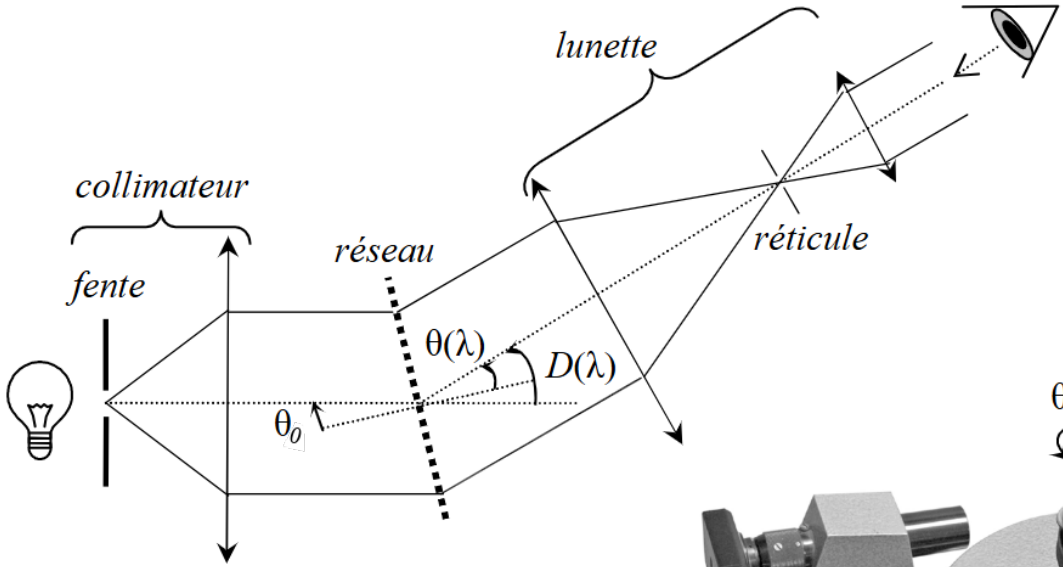

*principe d'un spectro-goniomètre à réseau (vue du dessus)*



# 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 $a$ et de $\theta_0$, **le spectrogoniomètre permet de mesurer précisément les longueurs d'onde $\lambda$ des différentes composantes lumineuses qui composent la source**.




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

