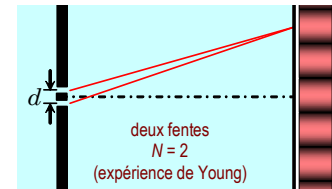


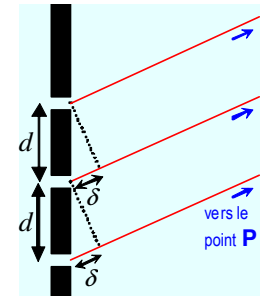
Chapitre 3.4 – Les réseaux

Interférence à plusieurs fentes

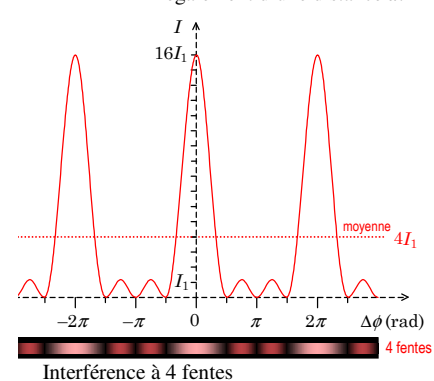
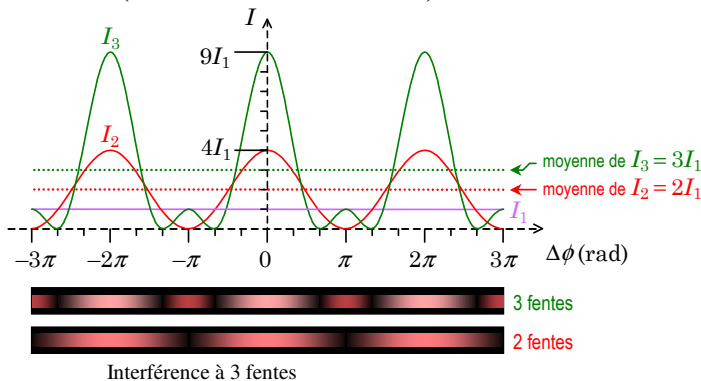
Lorsqu'on réalise l'expérience de Young (interférence à deux fentes), on observe sur l'écran plusieurs maximums de même intensité maximale I_2 espacés par des zones sombres lié à de l'interférence destructive entre les fentes 1 et 2.



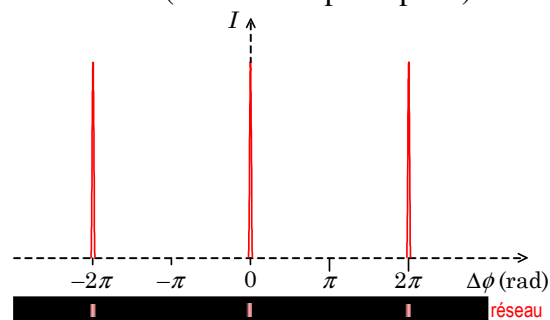
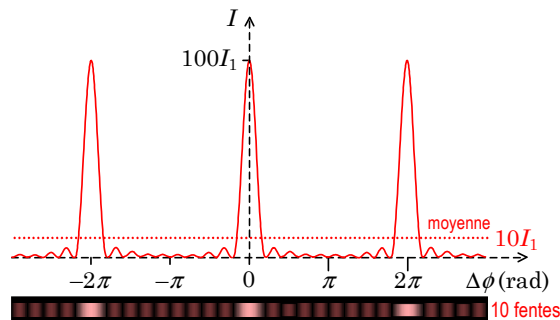
Si l'on produit une expérience d'interférence à trois fentes, on observe sur l'écran plusieurs maximums principaux de même intensité maximale I_3 localisés au même endroit que s'il n'y avait que deux fentes en raison d'une différence de marche δ identique pour deux fentes consécutives séparées par une distance d . Ces maximums principaux sont espacés par des zones où l'on retrouve des maximums secondaires de plus faible luminosité I_1 . Ces maximums secondaires correspondent à des interférences destructives entre deux fentes auxquels on ajoute la contribution de la troisième fente (voir schéma ci-dessous).



Les maximums principaux sont localisés au même endroit que s'il n'y avait que deux fentes si les fentes sont tous espacées également d'une distance d .

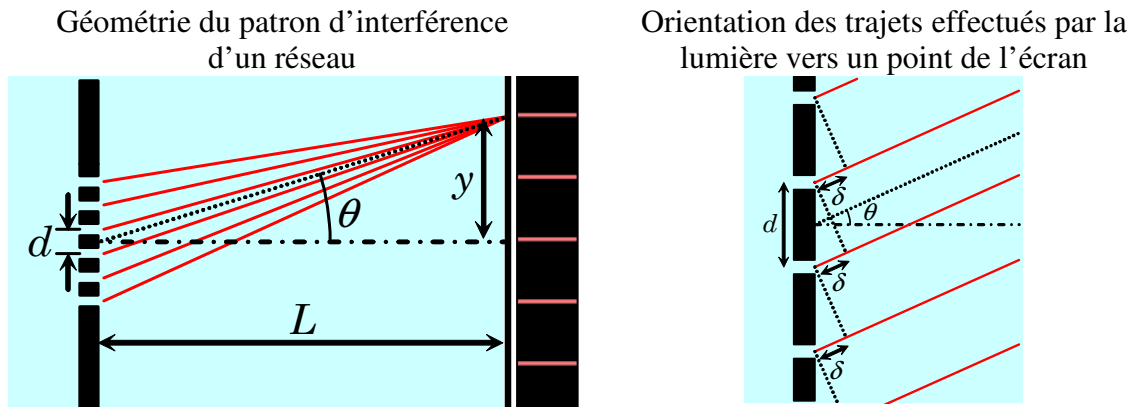


Si on augmente le nombre de fentes à N , les maximums principaux deviennent de plus en plus minces en raison des multiples possibilités de créer de l'interférence destructive entre les N fentes et augmente d'intensité en raison de la conservation de l'énergie. On remarque que les maximums secondaires réduisent d'intensité, car l'intensité d'une fente devient négligeable comparativement à la contribution de toutes les fentes en un lieu d'interférence constructive totale (maximums principaux).



Géométrie du patron d'interférence d'un réseau

La géométrie du patron d'interférence d'un réseau est semblable à la géométrie de l'expérience de Young. Il faut seulement ajouter un nombre N de fentes plutôt que seulement deux :



Interférence constructive :

$$\delta = m\lambda$$

où d : Distance entre deux fentes consécutives (pas du réseau) (m)
 N : Nombre de fentes
 δ : Différence de marche de deux fentes consécutives
 L : Distance entre le réseau et l'écran (m)
 y : Position verticale sur l'écran par rapport à l'axe central (m)
 θ : Angle formé à l'aide de la relation $\tan(\theta) = y / L$
 λ : Longueur d'onde de la source (m)

et Nd : Taille du réseau (m)

Approximation dans les réseaux

Puisque la taille du réseau Nd est généralement beaucoup plus petite que la distance L entre le réseau et l'écran, nous pouvons approximer tous les trajets effectués par la lumière entre une fente et un point sur l'écran comme étant parallèle. La différence de marche δ de deux fentes consécutives peut alors être évaluée de façon approximative de la façon suivante :

Approximation :

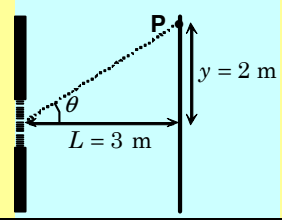
$$Nd \ll L$$

Différence de marche :

$$\delta \approx d \sin(\theta)$$

Remarque : Puisque d est très petit, les angles θ pour localiser les maximums sont très rarement petit. Ainsi, il ne faut pas utiliser l'approximation des petits angles.

Situation 1 : Le réseau. On utilise un laser pour éclairer un réseau de 1 cm de largeur qui comporte 1000 fentes parallèles. Sur un écran situé à 3 m de distance, on observe que le huitième maximum (à partir du centre de l'écran et sans compter le maximum central) est situé à 2 m du maximum central. On désire déterminer la longueur d'onde de la lumière.



Évaluons la distance entre deux fentes du réseau (pas du réseau) :

$$Nd = 0,01 \text{ m} \Rightarrow d = \frac{0,01 \text{ m}}{N} = \frac{0,01 \text{ m}}{(1000)} \Rightarrow \boxed{d = 1 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

Évaluons la position angulaire du 8^{ième} maximum : (sans compter le maximum central)

$$\tan(\theta) = \frac{y}{L} \Rightarrow \tan(\theta) = \frac{(2)}{(3)} \Rightarrow \boxed{\theta = 33,69^\circ}$$

Utilisons l'expression de l'interférence constructive afin d'évaluer la longueur d'onde de la lumière provenant du laser :

$$\begin{aligned} \delta &= m\lambda &\Rightarrow d \sin(\theta) &= m\lambda && \text{(Approximation des trajets parallèles)} \\ &&\Rightarrow \lambda &= \frac{d \sin(\theta)}{m} && \text{(Isoler } \lambda \text{)} \\ &&\Rightarrow \lambda &= \frac{(1 \times 10^{-5}) \sin(33,69^\circ)}{(8)} && \text{(Remplacer valeurs num., } m = 8 \text{)} \\ &&\Rightarrow \boxed{\lambda = 693 \text{ nm}} \end{aligned}$$

Situation 2 : Le dernier maximum. À la situation 1, on suppose que l'écran s'étend indéfiniment vers le haut et vers le bas et on désire déterminer la valeur de m pour le maximum le plus éloigné du centre que l'on peut y observer.

Utilisons notre expression de l'interférence constructive afin d'évaluer l'ordre du maximum situé à l'infini sur l'écran :

$$\begin{aligned} \delta &= m\lambda &\Rightarrow d \sin(\theta) &= m\lambda && \text{(Approximation des trajets parallèles)} \\ &&\Rightarrow m &= \frac{d \sin(\theta)}{\lambda} && \text{(Isoler } m \text{)} \\ &&\Rightarrow m &= \frac{(1 \times 10^{-5}) \sin(90^\circ)}{(693 \times 10^{-9})} && \text{(Remplacer valeurs num., } \theta = 90^\circ \text{)} \\ &&\Rightarrow \boxed{m = 14,43} \end{aligned}$$

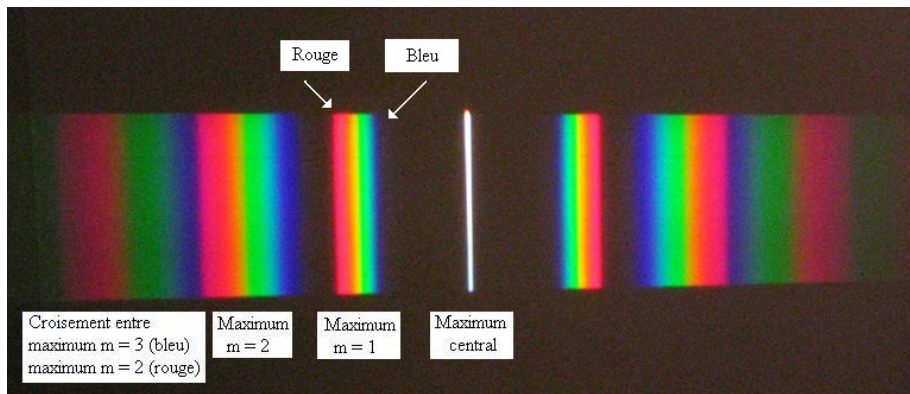
Ainsi, nous pouvons observer le **14^e maximum** (sans compter le maximum central) sur un écran de taille infinie. L'écran comportera alors **29 franges** de lumière à 693 nm (14 franges à $y > 0$, 14 franges à $y < 0$ et la frange centrale à $y = 0$).

Spectre de la lumière et les réseaux

Les réseaux sont souvent utilisés pour analyser la composition de la lumière. Puisque l'interférence constructive dépend de la longueur d'onde λ , chaque longueur d'onde sera en interférence constructive à une position précise sur l'écran. Ainsi, une lumière composée de N longueurs d'onde distinctes formera un patron d'interférence avec N couleurs positionnées à N endroits différents.

Lorsque l'ordre des maximums augmente, il est possible que plusieurs longueurs d'onde soit en interférence constructive au même endroit.

Exemple : Spectres d'une lampe à incandescence



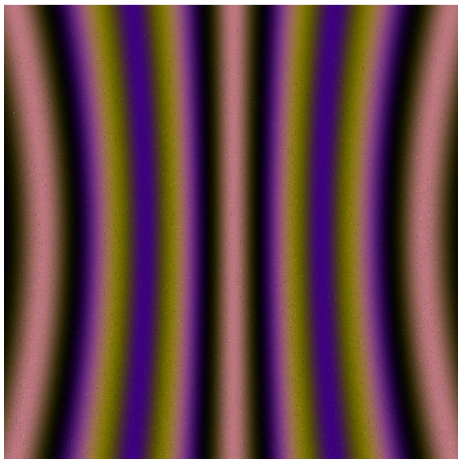
La précision d'un réseau

Il est préférable d'analyser un spectre de lumière avec un réseau ayant **un maximum de fentes** afin d'augmenter l'interférence destructive entre les sites où il y aura interférence constructive ce qui permettra d'amincir les zones d'interférence constructive ce qui réduit la possibilité d'un chevauchement de raie lumineuse.

Exemple : Simulation d'un patron d'interférence d'un réseau ($d = 4 \mu\text{m}$, $L = 3 \mu\text{m}$) avec

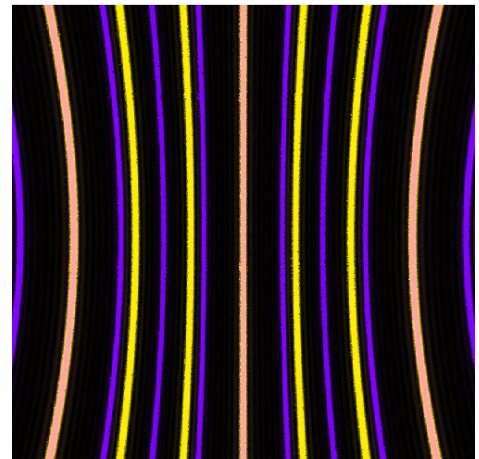
$$\lambda_1 = 432 \text{ nm (mauve)}$$

$$\lambda_2 = 576 \text{ nm (jaune)}$$



Réseau à 2 oscillateurs

Superposition à $m_1 = 1$ et $m_2 = 1$, car les maximums sont trop larges.



Réseau à 10 oscillateurs

Superposition uniquement à $m_1 = 4$ et $m_2 = 3$, car les maximums sont positionnés au même endroit.

Situation A : Un seul maximum. On éclaire un réseau de N fentes séparées par une distance d avec une lumière blanche dans le visible ($\lambda = 400 \text{ nm}$ UV à $\lambda = 700 \text{ nm}$ IR). On désire évaluer la distance d minimum afin de voir uniquement le maximum central.

Supposons que le maximum $m = 1$ est situé à un angle de 90° . Évaluons la distance d requise pour les deux couleurs extrêmes du spectre du visible :

$$\begin{aligned} \delta = m\lambda &\Rightarrow d \sin(\theta) = m\lambda && \text{(Approximation des trajets parallèles)} \\ &\Rightarrow d = \frac{m\lambda}{\sin(\theta)} && \text{(Isoler } d \text{)} \\ &\Rightarrow \boxed{d = \lambda} && \text{(Remplacer } m = 1 \text{ et } \theta = 90^\circ, \sin(90^\circ) = 1 \text{)} \end{aligned}$$

Nous pouvons affirmer que si la distance $d < 400 \text{ nm}$, alors il n'y aura **aucun maximum observable autre que le maximum central** pour toutes les longueurs d'onde entre $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$. Il n'y aura qu'une tâche lumineuse blanche au centre de l'écran, car toutes les couleurs sont en interférence constructive au centre de l'écran.

Si l'on répète l'exercice précédent avec une lumière dans les **micro-ondes** ($f = 1 \text{ GHz}$, $\lambda = 30 \text{ cm}$), alors la distance $d = 30 \text{ cm}$. C'est pourquoi une coupole à onde-radio n'est pas une feuille métallique, car l'espace dans le grillage est suffisant petit pour rendre la surface réfléchissante avec qu'un seul angle de réflexion (optique géométrique).



Coupole à onde radio

Réseau de diffraction optique

Un réseau de diffraction est un objet constitué d'un très grand nombre de fentes minces (réseau en transmission) ou de rayures minces réfléchissantes (réseau en réflexion) dont la distance qui les séparent est très petite. La distance d entre les traits du réseau et la longueur d'onde λ de la lumière interagissant avec le réseau détermine les angles de transmissions et de réflexions de la lumière.



Le disque compact est un réseau de diffraction avec plusieurs angles de réflexion. Ce n'est pas un miroir.

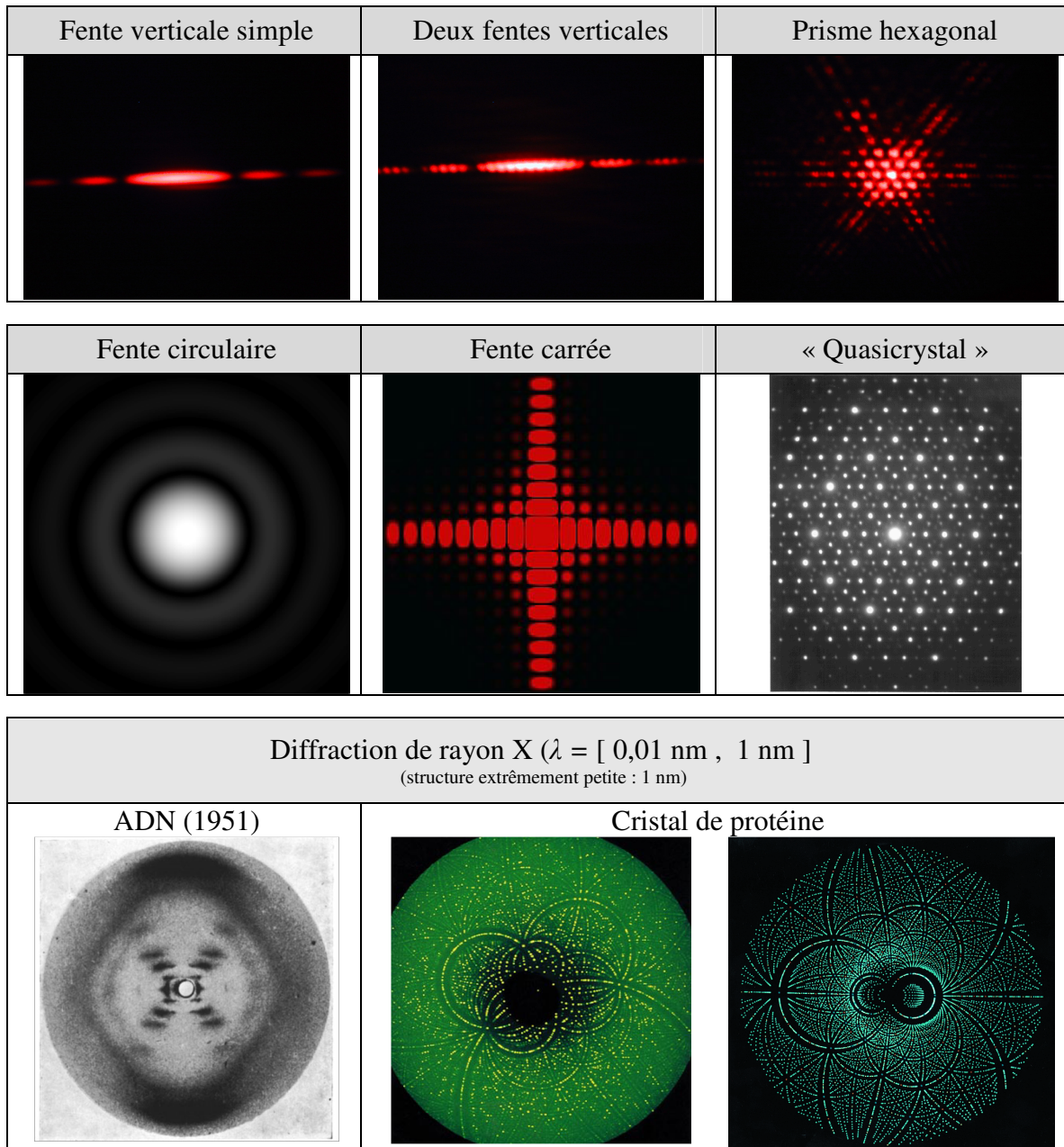
- Si la distance $d < \lambda$ (exemple : miroir et porte de four à micro-ondes)
Il n'y a qu'un seul angle de transmission ou angle de réflexion. Il y a de l'interférence destructive dans toutes les directions sauf pour $m = 0$. Dans cette condition, on respecte l'**optique géométrique**.
- Si la distance $d > \lambda$ (exemple : réflexion sur un disque compact)
Il y a plusieurs angles de transmission ou angles de réflexion. Nous devons respecter les lois de l'**optique ondulatoire**.
- Si la distance $d \gg \lambda$ (exemple : Une coupole à onde radio pour la lumière dans le visible)
Il n'y a qu'un seul angle de transmission ou angle de réflexion. Il n'y a pas de diffraction donc impossibilité de recombiner la lumière pour causer de l'interférence. Dans cette condition, on respecte l'approximation de l'**optique géométrique**.

Géométrie et symétrie

La **forme d'un patron d'interférence** d'un **réseau** dépend de la **géométrie** et de la **symétrie** de **l'obstacle** rencontrée par la lumière. Sur une structure microscopique, plus le patron est complexe, plus l'obstacle possède de symétries. Cette technique est utilisée en **cristallographie** pour étudier la forme des cristaux et en **microbiologie** pour analyser la forme des protéines et de l'ADN lorsque le microscope traditionnel ne permet pas d'atteindre cette résolution.

Cependant, il faut choisir adéquatement le type de lumière pour analyser une structure. Pour avoir une figure bien détaillée, il faut avoir une longueur d'onde telle que $\lambda < d$.

Voici quelques exemples :



La réflexion spéculaire sur un réseau d'atome

En construction ...

Spectroscopie

En construction ...

