P 24

Réseaux

24.1 Compétences du chapitre

Notions et contenus	Capacités exigibles
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique. Réseau par transmission.	• Établir l'expression de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. • Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à la valeur de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. • *Réaliser expérimentalement un spectroscope à l'aide d'un réseau optique.*

24.2 Définitions

— Réseau —

Un réseau est une surface sur laquelle un motif est répété un grand nombre de fois.

Typiquement, cela peut être un système constitué d'un grand nombre de fentes fines de dimensions toutes identiques ou encore de traits fins gravés sur une surface plane.

Il existe des réseaux par transmission ou par réflexion.

— Pas d'un réseau —

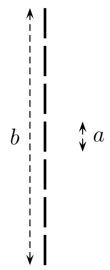
Soit a la distance entre deux fentes ou entre deux traits consécutifs.
a est appelé pas du réseau. Le nombre de motifs (traits ou fentes) par unité de longueur est défini par :

$$\boxed{n = \frac{1}{a}}$$

Les unités :
a s'exprime en mètres (ou en millimètres), n en traits par m (plus souvent par mm).

Les caractéristiques d'un réseau plan sont donc :

- le pas a, distance entre deux fentes voisines (ou traits voisins),
- le nombre total de motifs (traits ou fentes) N,
- le nombre de motifs par unité de longueur $n = \dfrac{N}{b} = \dfrac{1}{a}$.



24.3 Formule des réseaux

24.3.1 Différence de marche

On considère les rayons transmis à l'infini. Lors du passage par un motif, la lumière est diffractée.
L'amplitude transmise (ou réfléchie) résulte des interférences entre les rayons issus de tous les motifs : on parle d'interférences à N ondes.
On observera donc en M (considéré à l'infini) la résultante des interférences de N ondes.
On peut exprimer la différence de marche δ entre deux ondes consécutives, engendrant un déphasage $\varphi = \dfrac{2\,\pi\,\delta}{\lambda_0}$ entre ces deux ondes.

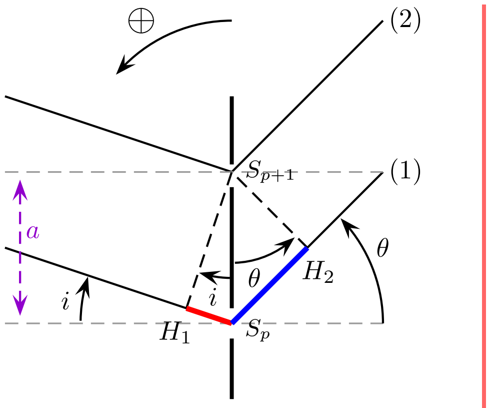


FIGURE 24.1 – Différence de marche 1

ou plus simplement :

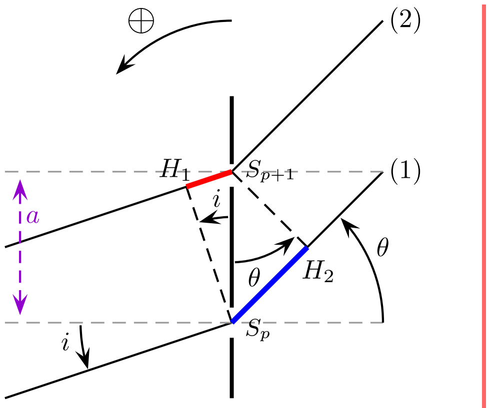


FIGURE 24.2 – Différence de marche 2

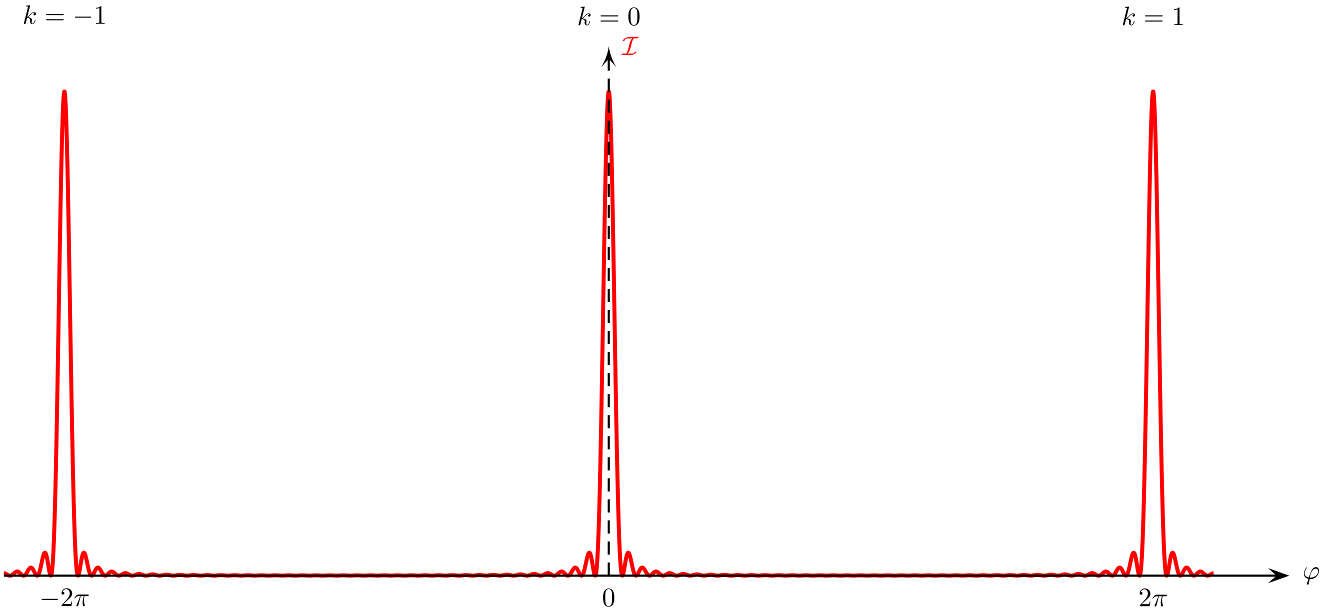
24.3.2 Formule des réseaux

Pour que la lumière transmise (ou réfléchie) dans une direction θ puisse être observée, les interférences entre deux motifs successifs doivent être constructives. Dans ce cas, pour une source de longueur d'onde λ_0, on a :

$$\boxed{a\,(\sin\theta - \sin i) = k\,\lambda_0,\, k \in \mathbb{Z}}$$

24.3.3 Cas de la transmission

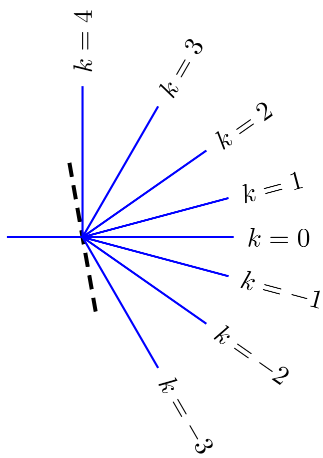
L'intensité lumineuse sur un écran placé après le réseau possède alors l'allure suivante :



avec $\varphi = \dfrac{2\,\pi\,\delta}{\lambda_0}$.

— Interférences constructives —

On considérera l'éclairement non nul pour les seuls états d'interférences constructives des N ondes.
On obtient alors, pour une longueur d'onde λ_0, différents ordres k de diffraction.



24.3.4 Cas de la réflexion

Soit i l'angle incident, et θ l'angle de réfraction. On pose :

$$\theta' = \theta - \pi$$

La formule des réseaux devient :

$$a\,(\sin\theta + \sin i) = k\,\lambda_0$$

k est appelé ordre de diffraction.

Cette formule des réseaux donne la position des maxima principaux (il existe des maxima secondaires de très faible amplitude).

24.4 Observation de la figure d'interférences

24.4.1 En lumière monochromatique

Dans le cas où la source lumineuse n'est composée que d'une seule longueur d'onde λ_0, on observe la figure d'interférences suivante :

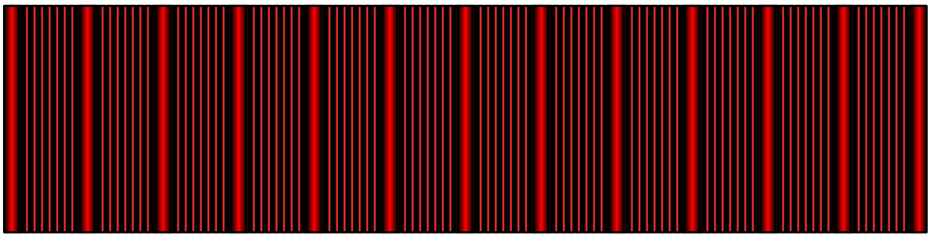


FIGURE 24.3 – Figure d'interférences pour 10 fentes

FIGURE 24.4 – Figure d'interférences pour 100 fentes

On voit que la finesse des raies augmente avec le nombre de fentes du réseau.

— Rappel —

Figure d'interférences obtenue pour 2 fentes d'Young :

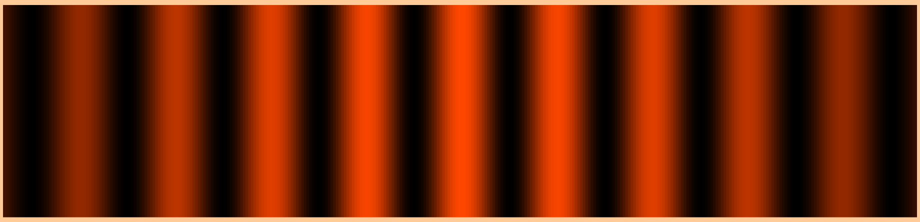


FIGURE 24.5 – Interférences à 2 ondes

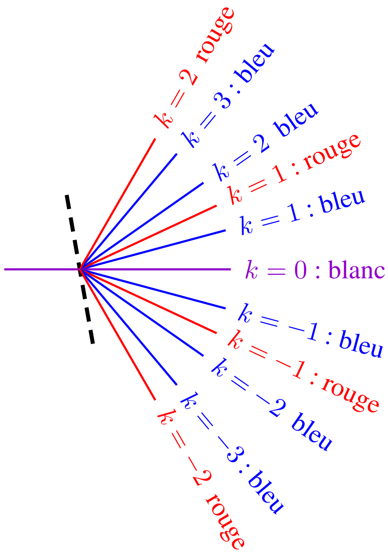
24.4.2 En lumière blanche

Si on remplace la source monochromatique précédente par une source polychromatique, par exemple une lumière blanche, la formule des réseaux s'écrit toujours :

$$\boxed{a\,(\sin\theta - \sin i) = k\,\lambda,\, k \in \mathbb{Z}}$$

L'angle d'incidence i est bien sûr le même quelle que soit la longueur d'onde λ.

Nous pouvons illustrer le phénomène de dispersion en considérant par exemple 2 couleurs : le rouge (de longueur d'onde $\lambda_R = 0{,}8\,\mu m$) et le bleu (de longueur d'onde $\lambda_B = 0{,}4\,\mu m$).



— Remarque —

Le prisme est également un dispositif qui disperse la lumière mais dans le cas du prisme, ce sont les longueurs d'onde les plus petites qui sont le plus dévié alors que dans le cas du réseau, ce sont les plus grandes qui le sont.

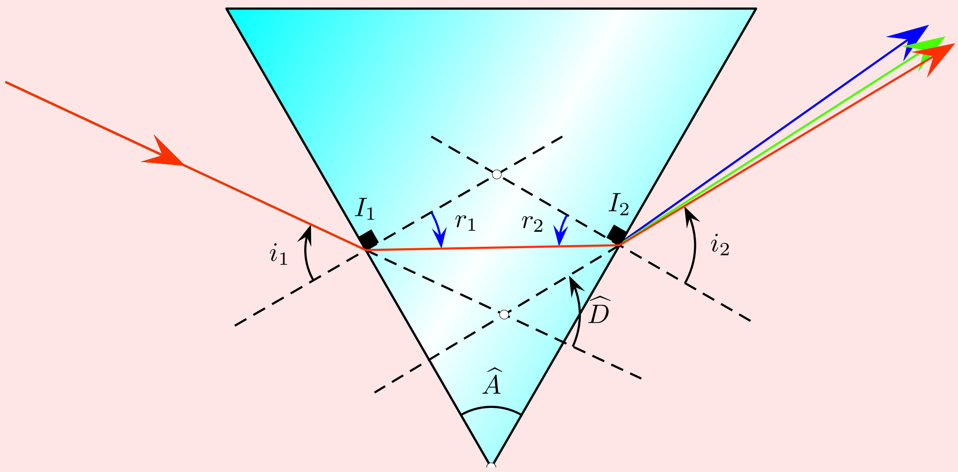


FIGURE 24.6 – Dispersion par un prisme : principe

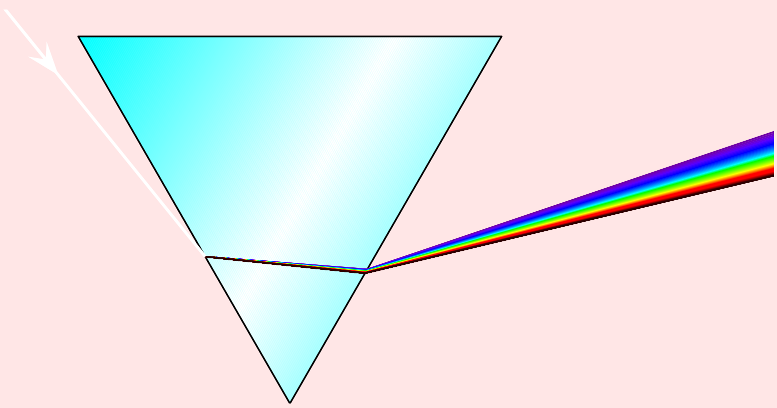


FIGURE 24.7 – Dispersion par un prisme

24.4.3 Empiètement des spectres

À partir d'une certaine valeur de k (entre 2 et 3 pour les premiers), il y empiétement des spectres les uns sur les autres : l'ordre 3 commence alors que l'ordre 2 n'est pas encore achevé.

24.5 Mesure d'une longueur d'onde

24.5.1 Minimum de déviation

La déviation est définie par :

$$D = \theta - i$$

L'extremum (ici le minimum) est donné par :

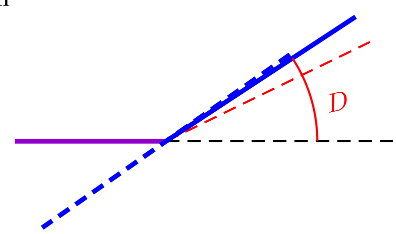
$$\frac{dD}{di} = \frac{d\theta}{di} - 1 = 0$$

Soit :

$$d\theta = di$$

En différenciant la formule du réseau, à k, a et λ_0 constants, il vient :

$$\cos\theta \, d\theta = \cos i \, di$$



D'où, en tenant compte de $d\theta = di$:

$$\cos\theta = \cos i$$

La solution $\theta = i$ ne présente aucun intérêt car elle correspond à la transmission dircet de la lumière sans dispersion et on obtient donc :

$$\theta = -i$$

La déviation minimale vaut alors :

$$D = D_m = 2\,\theta = -2\,i$$

En remplaçant θ et i dans la formule des réseaux, on obtient :

$$a\left(\sin\frac{D_m}{2} + \sin\frac{D_m}{2}\right) = k\,\lambda_0$$

Soit :

$$\boxed{2\,a\,\sin\left(\frac{D_m}{2}\right) = k\,\lambda_0}$$

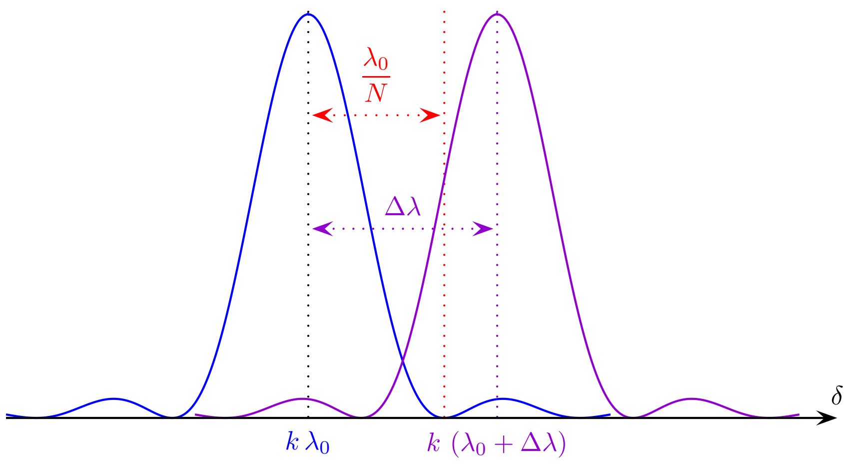
— Minimum de déviation —

On peut relier, pour un ordre k, le minimum de déviation et la longueur d'onde par la relation :

$$\boxed{\sin\frac{D_m}{2} = \frac{k\,\lambda_0}{2\,a}}$$

24.5.2 Application : mesure de longueur d'onde

24.6 Pouvoir de résolution



— Critère de Rayleigh pour le réseau —

Deux longueurs d'onde séparées de $\Delta\lambda$ pourront être séparées à l'ordre k par un réseau comportant au total N traits si :

$$\frac{\lambda_0}{\Delta\lambda} \leqslant kN$$