

Réseau et interférences à N ondes

Table des matières

I	Définition et exemples	1
II	Expérience	2
III	Formule des réseaux	2
IV	Interprétation	5
V	Utilisation des réseaux en spectroscopie	6

Introduction

Le chapitre précédent était dédié aux interférences à 2 ondes, et nous y avons développé l'interféromètre à division du front d'onde le plus simple : les trous d'Young.

Nous allons voir ici un autre type d'interférométrie à division du front d'onde, mais avec N sources secondaires cette fois-ci : le réseau.

I Définition et exemples

Définition

Un réseau plan est un objet plan dont la transmission ou la réflexion est une fonction périodique de l'espace. Un voilage de rideau, la structure atomique d'un cristal sont par exemple des réseaux (le premier est plan alors que le second est tridimensionnel).

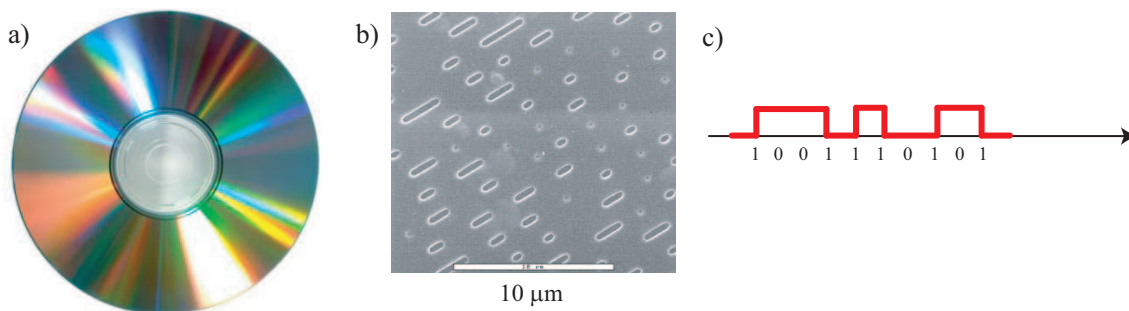


FIGURE 1 – a) Compact disc. b) Vue au microscope à force atomique. c) codage de l'information sous forme binaire.

Nous nous limiterons à l'étude d'un réseau constitué d'un très grand nombre N de fentes fines parallèles ("traits"), identiques et équidistantes. Un tel réseau est caractérisé par sa période spatiale a appelée le **pas du réseau**. Par exemple, si $a = 1 \mu\text{m}$, le réseau possède 1000 traits/mm . Les réseaux usuels possèdent plusieurs centaines de traits par millimètre. Un disque compact (CD) constitue par exemple un très bon réseau par réflexion, comme le montre une vue au microscope à force atomique. Ces disques jouent le rôle de réseaux car l'information est enregistrée en spirale par des creux et des bosses sur des pistes de largeurs très fines régulièrement espacées.

II Expérience

Expérience : Lorsqu'on éclaire un CD ou un DVD sous incidence normale à l'aide d'un faisceau laser, on constate que la lumière n'est réfléchi qu'en quelques points bien définis, c'est à dire que les interférences ne sont constructives qu'en quelques points, et destructives partout ailleurs.

On constate également qu'un CD ou DVD est irisé lorsqu'il est éclairé par de la lumière blanche.

III Formule des réseaux

Afin d'interpréter ces expériences, considérons le réseau par transmission représenté dans la figure ci-dessous, éclairé par un faisceau de rayons parallèles provenant d'une source monochromatique S située à l'infini dans la direction θ_S par rapport à la direction normale aux trous.

Deux rayons provenant de deux trous consécutifs constituent, comme pour le cas des trous d'Young, des sources secondaires mutuellement cohérentes car issues de la même source, et pouvant donc donner lieu à des interférences.

Pour une incidence θ_S donnée, la différence de marche entre deux rayons consécutifs émergents dans la même direction θ_M en un point M situé à l'infini à droite de la figure est donnée par :

$$\delta =$$

La différence de marche ne dépend pas du couple de points consécutifs choisis, et le déphasage φ entre deux ondes successives est donc lui aussi indépendant de n et vaut :

$$\varphi =$$

de sorte que le retard de phase de l'onde émise par O_n vaut $\varphi_n = (n - 1)\varphi$ en fixant une origine des phases pour l'onde émise par O_1 . Toutes les ondes sont cohérentes puisqu'elles sont issues de la même source S . Nous obtenons ainsi un phénomène d'**interférences à N ondes cohérentes**. L'amplitude complexe résultante est donc la somme de chacune des amplitudes émises par chaque source secondaire :

$$\underline{s}(M, t) =$$

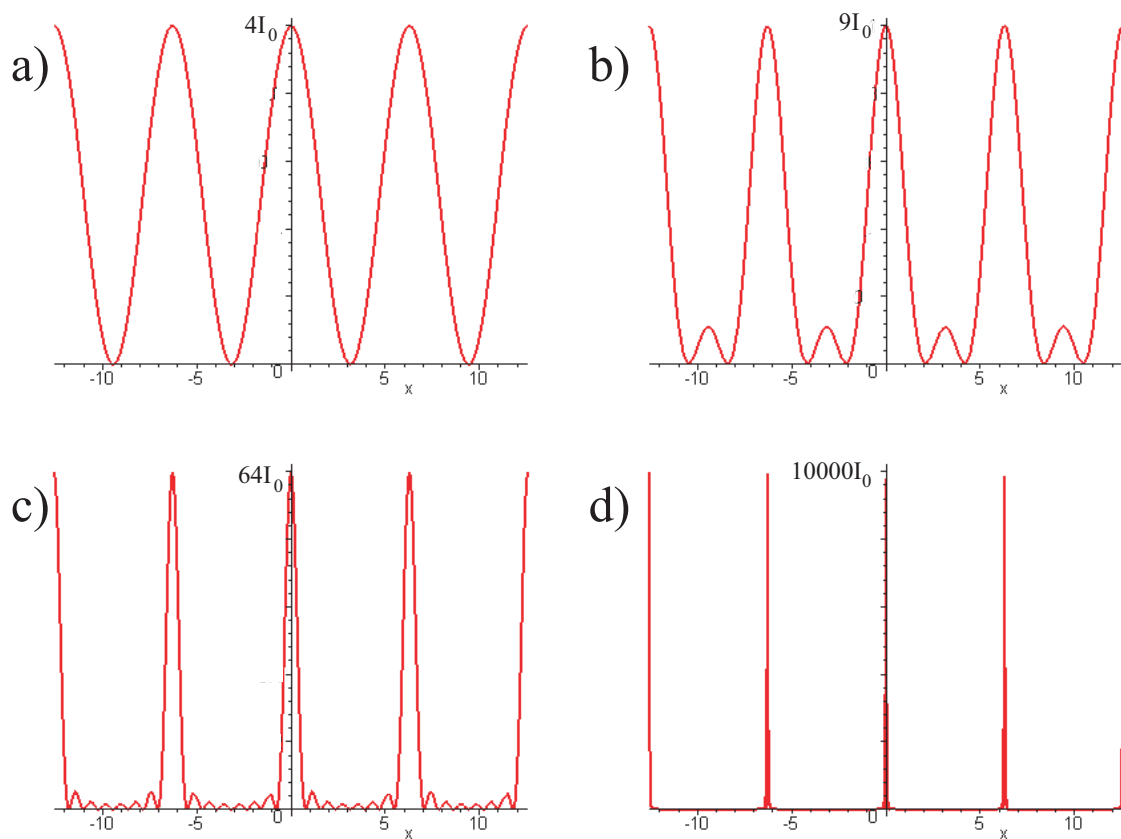


FIGURE 2 – *Eclairement normalisé à l'infini dans le cas de diffraction à l'infini par a) 2 fentes, b) 3 fentes, c) 8 fentes et d) 100 fentes.*

On peut obtenir les résultats principaux de ces courbes en raisonnant avec la représentation de Fresnel (voir figure ci-dessous). L'intensité est en effet maximale lorsque les N ondes interfèrent en phase, donnant des pics d'amplitude $I_{max} = N^2 A_0^2$. En effet :

La construction de Fresnel permet en outre de trouver la plus petite variation $\Delta\varphi$ au voisinage de $\varphi = 2p\pi$ permettant d'avoir une intensité nulle. En effet, dans ce cas, la représentation de Fresnel de la ligne brisée correspondant à l'amplitude complexe totale doit être fermée. On obtient immédiatement :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N}$$

Ceci permet de comprendre la finesse des traits dès que le nombre de trous devient important.

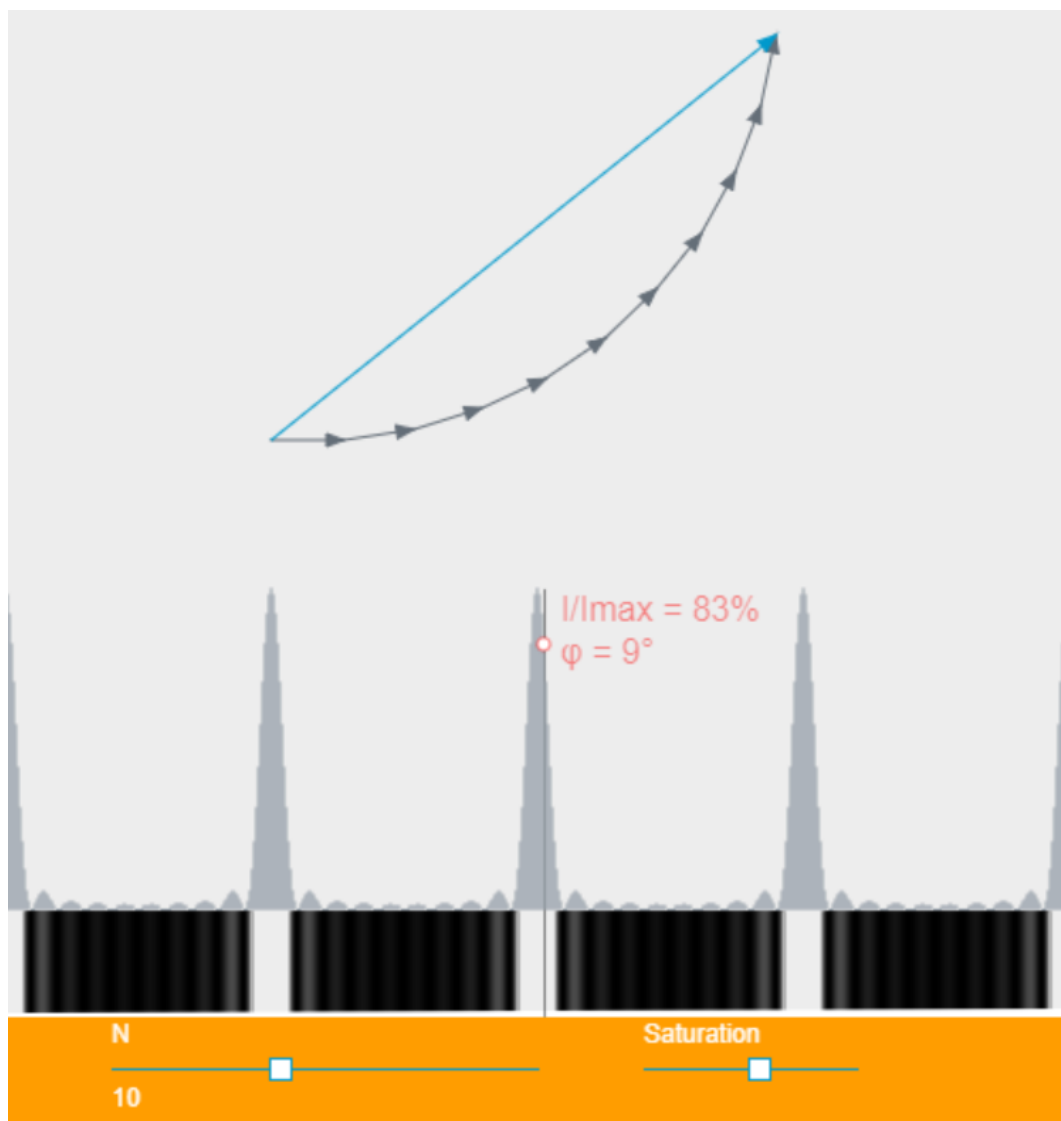


FIGURE 3 – Lien entre la représentation de Fresnel et l'intensité pour des interférences à N ondes. Figure tirée du site : <http://femto-physique.fr/simulations/reseaux-construction-de-fresnel.php>

IV Interprétation

D'après la formule des réseaux, on observe ainsi des points lumineux pour chacune des directions θ_k correspondant aux ordres k pour lesquels :

$$-1 \leq \sin\theta_k = \sin\theta_S + k \frac{\lambda}{a} \leq 1$$

On observe donc davantage d'ordres lorsque a est grand.

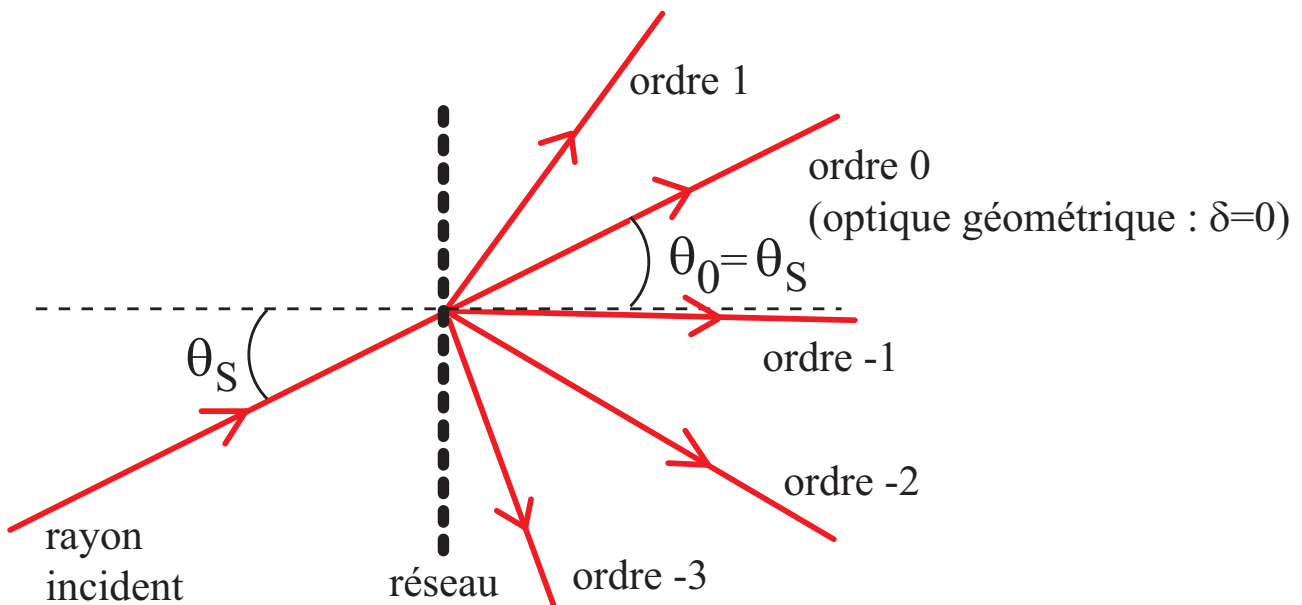


FIGURE 4 – Ordres de diffraction pour un réseau.

Retour sur l'expérience : Ceci permet d'expliquer l'expérience avec le CD, et également de comprendre pourquoi seulement 3 taches lumineuses - correspondant à 3 ordres - sont visibles avec un DVD alors qu'on peut en voir 5 dans le cas du CD puisque le pas d'un DVD est plus faible que celui d'un CD.

V Utilisation des réseaux en spectroscopie

Les directions θ_p dépendent de la longueur d'onde λ , et le réseau est donc un **élément dispersif**. Ceci explique que de tels réseaux soient utilisés comme les prismes pour la **spectroscopie**.

Calculons le pouvoir dispersif d'un réseau afin de comprendre pourquoi de tels éléments sont généralement préférés aux prismes. On le définit par :

$$\text{Pouvoir dispersif} = \frac{d\theta}{d\lambda} =$$

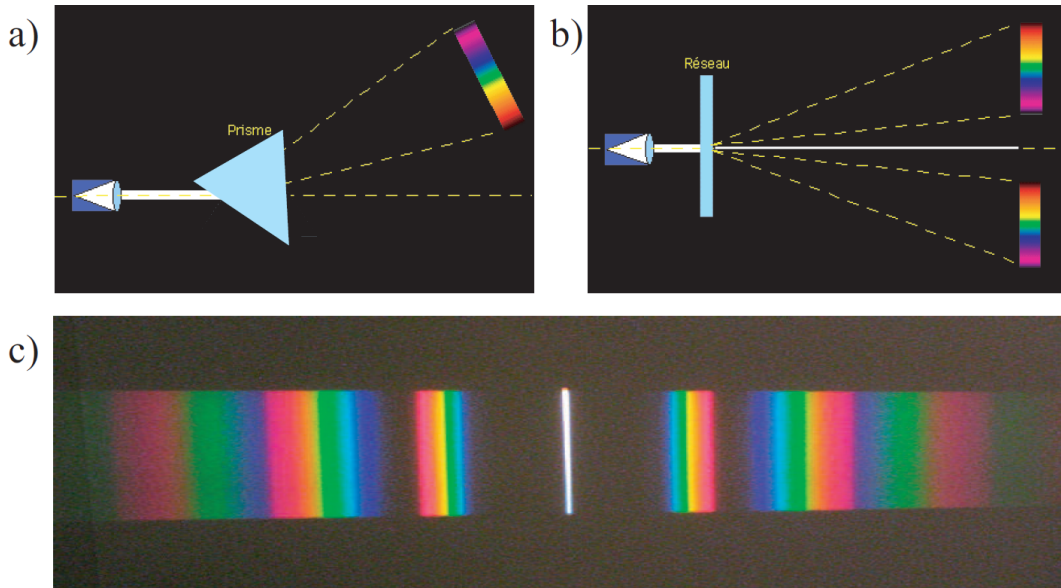


FIGURE 5 – Spectroscopie avec a) un prisme et b) un réseau. c) Spectre de la lumière blanche obtenu avec un réseau. Ce réseau n'est pas assez dispersif pour séparer complètement les spectres de la lumière blanche dans les différents ordres, et on observe donc des superpositions de spectres. On dit qu'il y a "recouvrement d'ordres".

Ceci permet d'expliquer les irisations constatées lorsqu'on observe un CD éclairé en lumière blanche. On notera que c'est un phénomène similaire qui produit les irisations produites à la surface des ailes de certains papillons, qui présentent elles-aussi des détails très fins qui jouent le rôle de réseau.

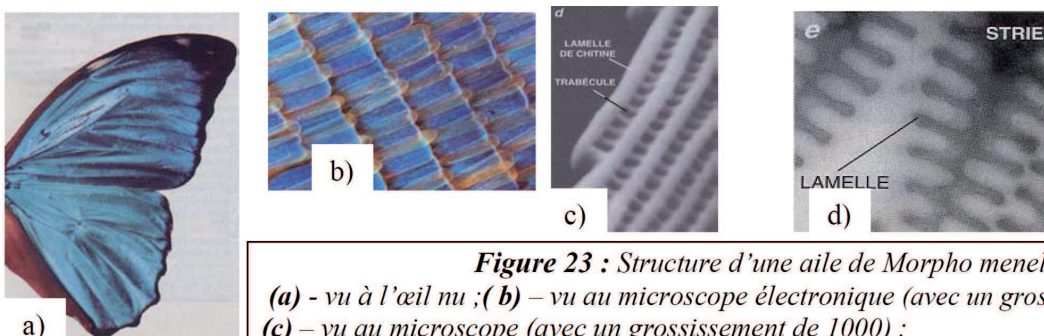


Figure 23 : Structure d'une aile de *Morpho menelaus*.

(a) - vu à l'œil nu ; (b) – vu au microscope électronique (avec un grossissement de 100) ;
 (c) – vu au microscope (avec un grossissement de 1000) ;
 (d) – vu au microscope (avec un grossissement de 50000, vue de profil)

Conclusion

On constate également la présence d'irisations à la surface des bulles de savon. Cependant, il paraît difficilement concevable que cela soit dû au même effet... Nous allons voir comment expliquer ce phénomène qui correspond en fait à des interférences par division d'amplitude.