

Le réseau de Soret

par Marc CHAPELET
78170 La Celle-Saint-Cloud

Une diapositive ou un négatif représentant un réseau de Soret permet de faire des expériences intéressantes et spectaculaires.

1. DESCRIPTION DU RÉSEAU

Un réseau de Soret est un système d'anneaux concentriques noirs et blancs alternés. Pour cela il suffit de tracer au compas une série de cercles dont les rayons varient comme les racines carrées des nombres entiers successifs ; on noircit ensuite de deux en deux les intervalles compris entre ces circonférences (Figure 1).

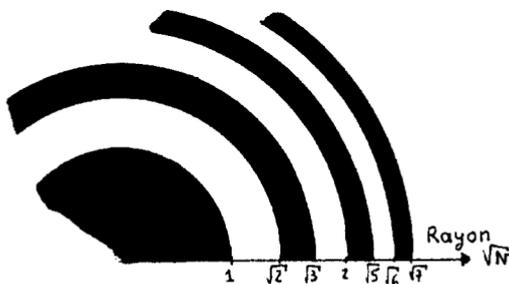


Figure 1 : réseau de Soret à centre noir ; l'unité de rayon choisie est r_0 , si r_0 est le rayon du centre noir (N entier).

Les couronnes noires et blanches ont toutes la même surface :
 $\pi r_N^2 - \pi r_{N-1}^2$
 soit : $\pi r_0^2 (N - (N - 1)) = \pi r_0^2$ qui est l'aire de la zone centrale.

Le réseau peut être à centre noir ou à centre blanc, les résultats étant sensiblement identiques.

2. THÉORIE DU RÉSEAU DE SORET

La figure 2 montre le facteur de transmission en énergie du réseau de Soret à centre noir en fonction de la distance au centre du réseau en unités r_0 .

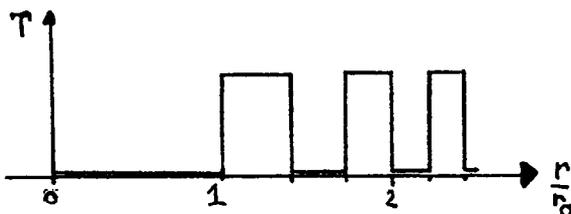


Figure 2 : facteur de transmission en énergie T d'un réseau de Soret en fonction de la distance r en unités r_0 .

Considérons une source lumineuse monochromatique de longueur d'onde λ , située à l'infini. Deux rayons parallèles issus de cette source sont diffractés après la traversée de deux couronnes transparentes consécutives (et de même surface). Ces deux rayons interfèrent constructivement au point F de l'axe optique du réseau (cet axe perpendiculaire au plan du réseau passe par le centre des anneaux) si leur différence de marche δ est un multiple entier de λ (Figure 3).

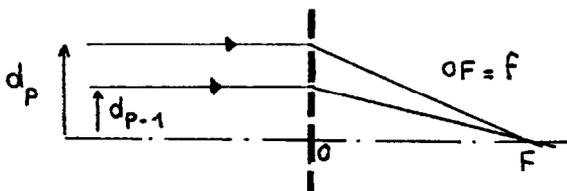


Figure 3 : diffraction de deux rayons parallèles ; l'un traverse la $P - 1$ ième couronne transparente et l'autre la P ième couronne transparente.

$$\delta = \sqrt{f^2 + d_p^2} - \sqrt{f^2 + d_{p-1}^2} = k \cdot \lambda \quad \text{avec } k \text{ entier.}$$

Si $(d_p, d_{p-1}) \ll f$ un développement limité permet d'écrire :

$$\delta \approx \frac{d_p^2 - d_{p-1}^2}{2f}$$

Or la première couronne transparente s'étend de $d_1 = r_0$ à $\sqrt{2} r_0$ (Figure 1)

La deuxième couronne transparente de $d_2 = \sqrt{3} r_0$ à $\sqrt{4} r_0$

la P-1 ième de $d_{p-1} = \sqrt{2P-3} r_0$ à $\sqrt{2P-2} r_0$

la P ième de $d_p = \sqrt{2P-1} r_0$ à $\sqrt{2P} r_0$

En prenant $d_{p-1} = \sqrt{2P-2} r_0$ et $d_p = \sqrt{2P} r_0$, δ s'écrit : $\delta = \frac{r^2}{f} 0$

La condition d'interférences constructives s'écrit donc : $f = \frac{r^2}{k\lambda} 0$
avec k entier.

Il y a donc interférences constructives dues aux couronnes transparentes aux points F tels que $OF = f = r^2_0 / k\lambda$ avec $k = 1, 2, 3, \dots$. A un point lumineux situé à l'infini correspondent plusieurs points images réelles aux distances $r^2_0/\lambda, r^2_0/2\lambda, r^2_0/3\lambda, \dots$ du plan du réseau. Le réseau de Soret équivaut donc à une lentille à multiples foyers.

Cependant il existe aussi des images virtuelles d'un objet situé à l'infini ; en effet le même raisonnement et les mêmes calculs s'appliquent aux deux rayons de la figure 4. Il y a interférences constructives dues aux couronnes transparentes aux points G ; mais la nature des points images G (distance OG : $r^2_0/\lambda, r^2_0/2\lambda, r^2_0/3\lambda, \dots$) est virtuelle, puisque les rayons diffractés semblent être issus des points G.

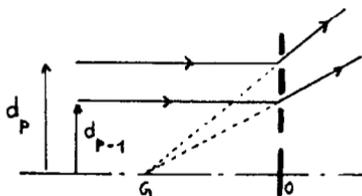


Figure 4 : réseau de Soret, images virtuelles G.

3. RÉALISATION DU RÉSEAU

Le plus fastidieux consiste à prendre un compas et de tracer des cercles dont le rayon varie comme \sqrt{N} (on s'en lasse vite).

Le plus simple est de reproduire la figure 5 sur un film négatif noir et blanc à grain fin (sensibilité de 25 à 50 ASA) qui est donc contrasté.

Il faut photographier la figure 5 avec un grandissement tel que l'anneau central ait un diamètre de 0,2 à 1 mm. On obtient donc un réseau à centre noir.

Ce cliché représente un système d'anneaux à l'interféromètre de Fabry-Pérot correspondant au rayonnement monochromatique émis par un laser à colorant. On rappelle (voir l'annexe) qu'en incidence quasi normale la dimension des anneaux obtenus à l'interféromètre de Fabry-Pérot varie approximativement comme \sqrt{N} .

A la sortie de cet interféromètre, le facteur de transmission en énergie T , à une longueur d'onde donnée, n'a pas l'aspect de la figure 2 : T est représenté par une fonction d'Airy. Pour cette raison, en jouant sur les divers réglages du laser à colorant, la raie laser a été élargie. De plus, le noircissement d'une émulsion saturée (il faut prendre un film contrasté). En jouant sur ces deux points, on obtient facilement un système d'anneaux très contrasté, le réseau ainsi obtenu a un facteur de transmission dont la forme est analogue à celle qui est représentée figure 2.

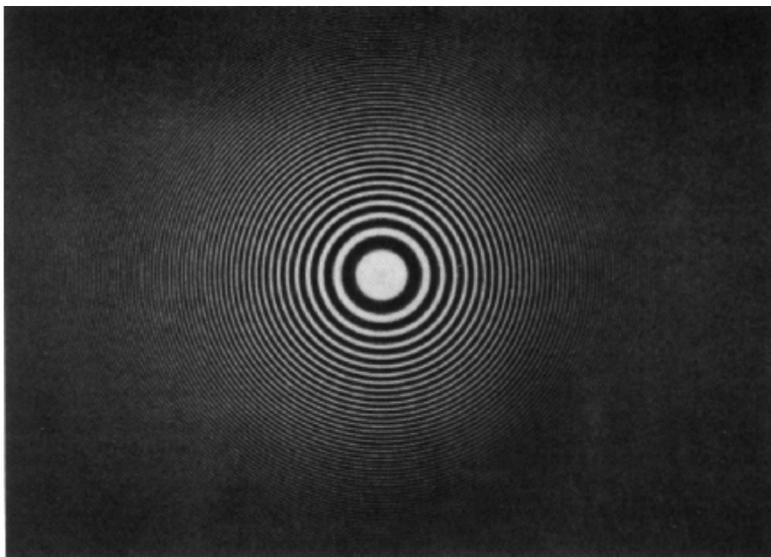


Figure 5 : système d'anneaux au Fabry-Pérot permettant par reproduction ou inversion de réaliser un réseau de Soret.

4. EXPÉRIENCES

Dans le faisceau d'un laser He-Ne étendu à l'aide d'un objectif de microscope, placer le réseau de Soret et déplacer une feuille de papier derrière le réseau, on observe alors plusieurs petits points lumineux, de moins en moins espacés et de moins en moins lumineux au fur et à mesure que l'on se rapproche du réseau (figure 6).

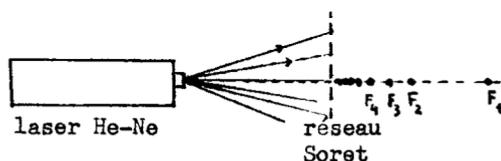


Figure 6 : observation des images réelles.

– Il est plus spectaculaire d'observer les images du soleil avec le réseau en projection sur un papier blanc ; on observe alors une succession de disques solaires entourés de jolis anneaux colorés. Ces effets sont dûs au chromatisme considérable du réseau de Soret puisque les diverses focales varient comme $1/\lambda$ (rappelons que l'indice du verre varie approximativement comme $n_0 + \frac{\alpha}{\lambda^2}$).

– On peut aussi observer une lampe puissante à travers ce réseau, on voit plusieurs images virtuelles de dimensions différentes.

– Avec 2 réseaux de Soret (dont la dimension de l'anneau central est différente) on peut se construire une lunette très chromatique à multiples grossissements.

BIBLIOGRAPHIE

G. BRUHAT - Optique, (éd. Masson 1954).

M. FRANÇON - Holographie, (éd. Masson 1969).

M. FRANÇON - Vibrations lumineuses, optique cohérente (éd. Dunod 1970).

ANNEXE : Anneaux réalisés au Fabry-Pérot

A la sortie d'un interféromètre de Fabry-Pérot, le déphasage Δ entre 2 rayons parallèles successifs (un des deux rayons a subi 2 réflexions supplémentaires sur les lames semi-réfléchissantes) a pour expression : $\Delta = 2e \cos \theta$, si e est l'épaisseur d'air séparant les 2 lames semi-réfléchissantes (on prend l'indice de l'air égal à 1) et si θ représente l'inclinaison des rayons par rapport à la normale à la lame en sortie (figure 7).

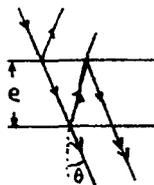


Figure 7 : trajets des rayons dans un interféromètre de Fabry-Pérot.

Aux petits angles on peut remplacer $\cos \theta$ par $1 - \frac{\theta^2}{2}$; il y a interférences constructives si Δ est un nombre entier P de longueur d'onde λ_0 , c'est-à-dire si $P\lambda_0 = 2e \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right)$.

La photographie derrière l'interféromètre, avec un objectif de focale F_0 montre un système d'anneaux de rayon $d_p \sim \theta F_0$ soit :

$$d_p^2 \approx \left(2 - \frac{P\lambda_0}{e}\right) F_0^2 \quad (\text{dépendance en } P).$$

La différence des carrés des rayons de deux anneaux transparents successifs, pour des maximums d'intensité lumineuse, a pour expression :

$$d_{p-1}^2 - d_p^2 = \frac{\lambda_0 F_0^2}{e} (P - (P-1)) = \frac{\lambda_0 F_0^2}{e}.$$

Si on pose cette constante égale à $2r_0^2$ on retrouve l'expression de δ pour un réseau de Soret (§ 2).