

# Superposition d'ondes lumineuses

## Applications directes du cours

- [1] Soit les deux signaux :  $s_1(t) = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$  et  $s_2(t) = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$ .
1. Déterminer l'amplitude  $A$  du signal  $s(t) = s_1(t) + s_2(t)$  à l'aide de la méthode de Fresnel.
  2. Supposons dans le cas précédent  $A_1 = A_2$ . Calculer l'amplitude résultante  $A$  dans ce cas. Retrouver ce résultat de façon analytique à l'aide de formules trigonométriques.
- [2] On éclaire un réseau ayant 500 traits par millimètre par un faisceau parallèle d'incidence normale ( $\theta_0 = 0$ ) et de longueur d'onde  $\lambda_0 = 600$  nm. Combien de pics de diffraction peut-on observer au maximum ?

Réponses : [1]  $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ ,  $A = 2A_1 \cos\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right)$ ; [2] Formule des réseaux :  $\sin \theta_k - \sin i = k \frac{\lambda_0}{a}$ , avec  $i = \theta_0 = 0$ , on a  $\sin \theta_k = k \frac{\lambda_0}{a} \leq 1$  soit  $k \leq \frac{a}{\lambda_0}$ ; ordre max = 3, 7 pics.

## Exercices

### 1. Film de savon

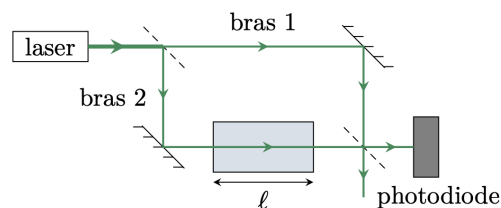
Les longueurs d'onde extrêmes du spectre visible sont 400 nm et 800 nm. À quelles couleurs correspondent-elles ?

Un film de savon peut localement être considéré comme une lame à faces parallèles constituée d'eau d'indice  $n = 1,33$ . Ce film est éclairé sous incidence quasi-normale par une source lumière blanche. La lumière subit de multiples réflexions à l'intérieur du film.

Envisager un film d'épaisseur  $e = 2 \mu\text{m}$  et calculer les longueurs d'onde pour lesquelles on peut observer des interférences constructives en réflexion sur le film (aide : exprimer la différence de marche entre deux rayons réfléchis consécutifs).

### 2. Mesure de l'indice optique du méthane

Un interféromètre de Mach-Zehnder, schématisé ci-contre, est composé de deux miroirs et de deux lames semi-réfléchissantes, qui transmettent la moitié de l'intensité lumineuse et réfléchissent l'autre moitié. L'interféromètre est éclairé par un laser de longueur d'onde  $\lambda = 532$  nm, et une photodiode mesure l'intensité dans l'une des voies de sortie de l'interféromètre.



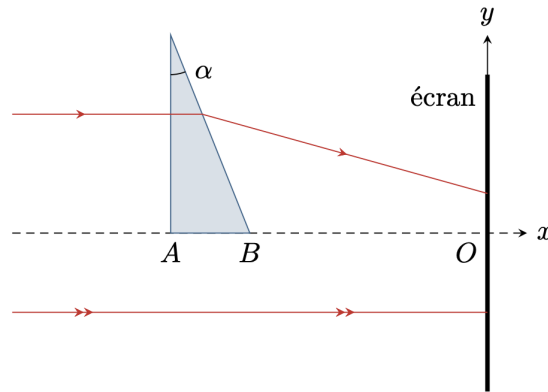
Une cuve fermée de longueur  $\ell = 10,0$  cm est placée dans l'un des bras. Cette cuve contient initialement de l'air, d'indice optique  $n_{\text{air}}$ , progressivement remplacé par du méthane d'indice  $n_m > n_{\text{air}}$ . Au cours de l'opération, la photodiode permet d'observer le défilement de 32 franges.

1. Exprimer l'ordre d'interférence  $p_{\text{air}}$  lorsque la cuve est remplie d'air en fonction des longueurs géométriques  $L_1$  et  $L_2$  des bras de l'interféromètre.

2. Exprimer de même l'ordre  $p_m$  lorsque la cuve est remplie de méthane.
3. En déduire l'indice optique du méthane, sachant que  $n_{\text{air}} = 1 + 2,78 \cdot 10^{-4}$ .

### 3. Interférences créées par un prisme

On dispose d'un prisme d'indice  $n$  et d'angle au sommet  $\alpha$  éclairé par un faisceau de rayons parallèles monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ . On observe la figure produite sur un écran placé derrière le prisme. Dans tout l'exercice, on se placera dans l'hypothèse d'un angle au sommet petit.



1. En pratique, comment peut-on réaliser un faisceau de rayons parallèles ?
2. Exprimer l'angle de déviation des rayons en sortie du prisme.
3. Justifier que l'on peut considérer les ondes associées aux rayons déviés et aux rayons non déviés comme deux ondes planes.
4. Exprimer leur vecteur d'onde.
5. On pose  $\varphi(A) = 0$ . Exprimer la différence de phase entre les deux ondes au point  $B$  puis en tout point  $M$  de l'écran.
6. Qu'observe-t-on sur l'écran ? Justifier.
7. En déduire une méthode de mesure de l'angle  $\alpha$ .

### 4. Mesure du pas d'un réseau

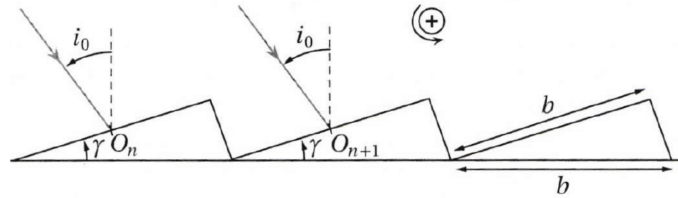
On éclaire en incidence normale un réseau constitué de  $n$  traits par unité de longueur, avec une source monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 630$  nm. On place en sortie parallèlement au réseau une lentille  $f' = 25$  cm. On observe l'ordre 1 à une distance  $d = 2,4$  cm du foyer image. Déterminer la valeur de  $n$ .

### 5. Minimum de déviation d'un réseau par transmission

Soit un réseau par transmission de pas  $a$  éclairé sous une incidence  $i$ .

1. Donner l'expression de la déviation  $D_k$  du rayon correspondant à la longueur d'onde  $\lambda$  dans l'ordre  $k$ .
2. Montrer que, si l'on fait tourner le réseau autour d'un axe parallèle aux traits, cette déviation passe par un minimum  $D_{kmin}$ .
3. On mesure  $D_{kmin} = 19^\circ$  pour  $\lambda = 550$  nm à l'ordre 3. En déduire le pas du réseau.

Les réseaux des spectromètres sont en général constitués de motifs en « échelottes » où les rayons sont réfléchis par une surface métallique. Les triangles de la figure sont isocèles de grand côté  $b$ , le plus petit angle est  $\gamma$ . On note  $O_n$  le milieu du grand côté de la  $n^e$  échelotte. Le réseau est éclairé par une onde plane monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  sous un angle  $i_0 > 0$  par rapport à la normale du support.



1. Donner une première raison pratique qui explique pourquoi les spectromètres contiennent plutôt un réseau en réflexion qu'en transmission ?
2. On considère deux rayons parallèles réfléchis par deux échelettes voisines en faisant un angle  $i < 0$  par rapport à la normale du support. Ils peuvent ensuite interférer par focalisation par une lentille convergente. Calculer la différence de marche entre ces deux rayons.
3. En déduire la formule des réseaux en réflexion correspondant à la condition d'interférence constructive.
4. On admet que l'intensité est maximum dans la direction donnée par la loi de Snell-Descartes de la réflexion. Donner son angle  $i_{\max}$  en fonction de  $i_0$  et  $\gamma$ .
5. On considère un réseau de 100 traits/mm éclairé sous  $i_0 = 2\gamma$ . Déterminer  $\gamma$  pour que le maximum de réflexion corresponde à l'ordre 5 pour  $\lambda = 550 \text{ nm}$ .
6. Pour un réseau en transmission, quel ordre correspond nécessairement au maximum d'intensité ? En quoi un réseau en réflexion peut être plus intéressant dans ce cadre ?