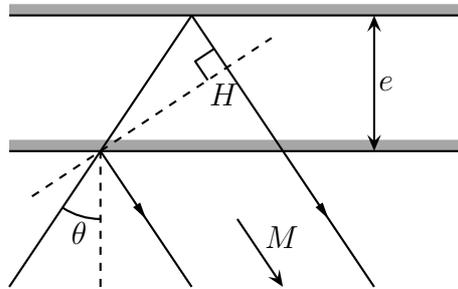


Interférences

Exercice 1 DIFFÉRENCE DE MARCHE AVEC UNE LAME D'AIR

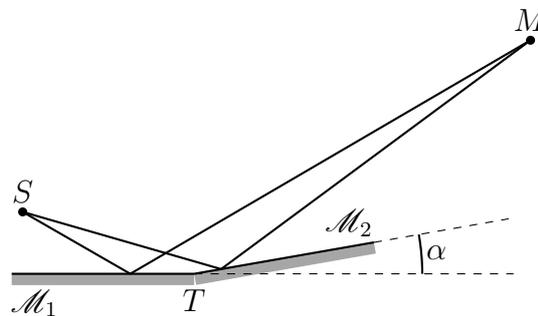
Retrouver à l'aide de la construction géométrique ci-dessous l'expression de la différence de marche au point M situé à l'infini pour un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air.



Exercice 2 MIROIRS DE FRESNEL

On considère le dispositif interférentiel ci-dessous. Les rayons qui interfèrent sont issus de la même source ponctuelle S et sont réfléchis respectivement par le miroir \mathcal{M}_1 et par le miroir \mathcal{M}_2 formant un angle α avec le premier. On place un écran à une distance D de l'arête T .

On prendra : $\alpha = 0,1^\circ$, $D = 1,8$ m, $ST = 0,20$ m, $\lambda = 589$ nm.

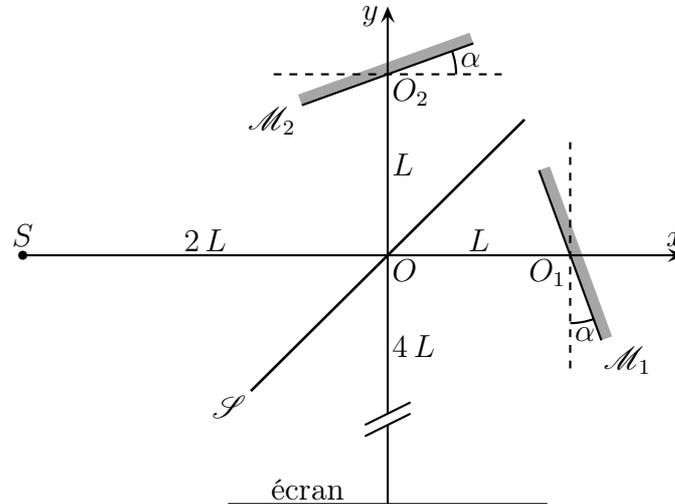


1. Déterminer précisément la position des sources fictives S_1 et S_2 d'où proviennent les rayons qui interfèrent en M .
En déduire le montage équivalent et, notamment la position de l'écran par rapport aux sources fictives puis au dispositif.
2. Calculer la largeur du champ d'interférence sur l'écran.
3. Déterminer la loi de répartition de l'intensité $I(x)$ sur l'écran. On notera I_0 l'intensité maximale et on prendra $x = 0$ pour le point où la différence de marche est nulle.
4. Calculer le nombre de franges brillantes observées et le nombre de franges noires.
Qu'observe-t-on sur l'écran ?
5. La source est maintenant une source de lumière blanche : $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$. On se place en $x = 3,0$ mm.
Quelles sont les longueurs d'ondes éteintes ?

Exercice 3 INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON EN COIN D'AIR

On considère un interféromètre de MICHELSON éclairé par une source ponctuelle. L'appareil étant réglé au contact optique avec $OO_1 = OO_2 = L$, on tourne les deux miroirs du même angle α dans le même sens autour des axes O_1z et O_2z .

La source ponctuelle S est placée à la distance $2L$ de O . On observe les phénomènes d'interférences sur un écran situé à la distance $4L$ de O .



- Déterminer les deux sources secondaires S_1 et S_2 dont semblent provenir les vibrations qui interfèrent en un point M de l'écran.
Exprimer $a = S_1S_2$ ainsi que la distance D entre le milieu I de S_1S_2 et l'écran en fonction de L et α .
A.N. : calculer a et D avec $L = 0,25$ m et $\alpha = 1,0 \cdot 10^{-3}$ rad.
- La source est monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 0,633 \mu\text{m}$.
Qu'observe-t-on sur l'écran ?
Calculer numériquement une distance caractéristique de la figure d'interférence.

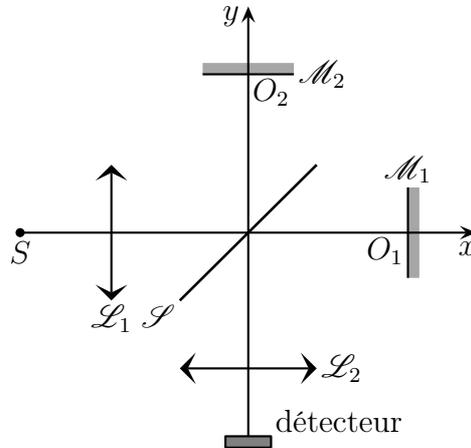
Exercice 4 ANNEAUX D'ÉGALES INCLINAISON

Un interféromètre de MICHELSON est réglé en lame d'air. Il est éclairé par une lampe au mercure devant laquelle on a placé un diaphragme largement ouvert et un filtre interférentiel isolant la raie verte de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 546,1$ nm.

- Où doit-on placer l'écran pour observer des anneaux bien contrastés ?
- La distance entre les miroirs est $e = 1,1$ mm et la lentille de projection a une distance focale $f' = 1,0$ m.
Déterminer l'ordre d'interférence p_0 au centre de la figure.
Calculer les rayons ρ_1 et ρ_2 des deux premiers anneaux brillants.
- On diminue la valeur de e .
Comment les anneaux évoluent-ils sur l'écran ?
Calculer la valeur e' de e pour laquelle le premier anneau disparaît.
En déduire le rayon ρ'_1 du premier nouvel anneau et le comparer au rayon de l'anneau qui a disparu.
- Cherchant à atteindre le contact optique, on diminue la valeur de e jusqu'à voir sur l'écran une tache de diamètre égal à 10 cm dont l'éclairement, maximal au centre, est uniforme à 10 % près.
Quelle est alors la limite supérieure pour la valeur de e ?

Exercice 5 MESURE DE L'INDICE DE L'AIR

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air et éclairé par une source ponctuelle S , monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ_0 , placée au foyer objet d'une lentille convergente \mathcal{L}_1 d'axe optique (Ox) . Un détecteur, placé au foyer image d'une seconde lentille convergente \mathcal{L}_2 d'axe optique (Oy) délivre une tension $U = k \mathcal{E}$ où \mathcal{E} est l'éclairement qu'il reçoit et k une constante.



On installe sur le trajet d'un des faisceaux une cuve parallélépipédique fermée, de longueur inférieure h . Sur le trajet de l'autre faisceau on place une cuve identique dont le rôle est de rétablir la symétrie des chemins optiques. On vide alors la première cuve de l'air qu'elle contient avec une pompe et on enregistre le signal donné par le détecteur. L'enregistrement obtenu fait apparaître N oscillations entre la cuve remplie d'air et la cuve entièrement vidée.

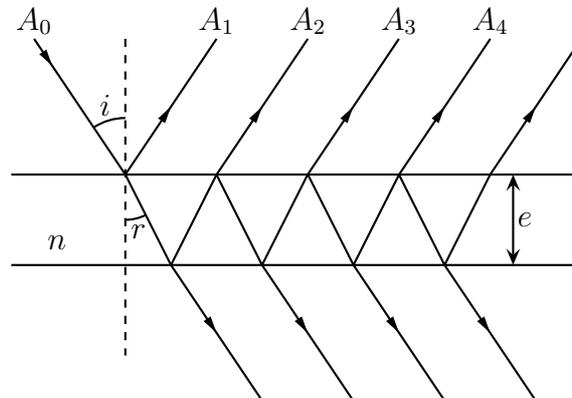
Exprimer l'indice de l'air en fonction de N , h , et λ_0 .

A.N. : $N = 46 \pm 0,5$; $h = 5,0$ cm ; $\lambda_0 = 632,8$ nm.

Exercice 6 INTERFÉRENCES AVEC UNE LAME DE VERRE

On rappelle qu'au voisinage de l'incidence normale, lorsqu'une onde monochromatique passe d'un milieu d'indice n_1 à un milieu d'indice n_2 , le coefficient de réflexion r (rapport de l'amplitude de l'onde réfléchie à l'amplitude de l'onde incidente) est $r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$ et le coefficient de transmission (rapport de l'amplitude de l'onde transmise à l'amplitude de l'onde incidente) est $t = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$.

On considère une lame à faces parallèles, d'indice $n = 1,55$ et d'épaisseur e plongée dans l'air d'indice 1. Un rayon incident donne des réflexions et transmissions successives (voir figure ci-dessous).



- On appelle A_0 l'amplitude de l'onde incidente et A_i l'amplitude du i -ième rayon réfléchi.

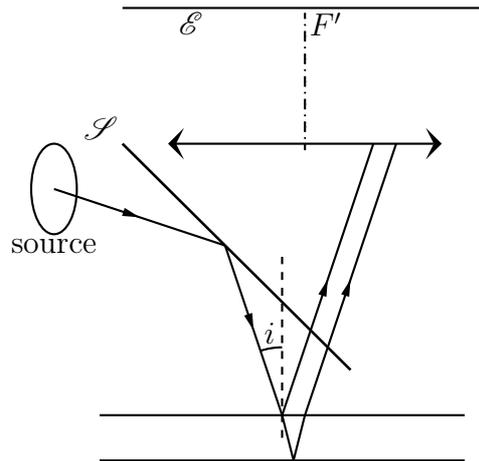
Calculer numériquement $\frac{A_i}{A_0}$ pour i variant de 1 à 4.

Que remarque-t-on pour l'amplitude des deux premiers rayons réfléchis ?

2. Compte tenu du résultat numérique précédent, on s'intéresse aux interférences des ondes véhiculées par les deux premiers rayons réfléchis.

Exprimer le déphasage à l'infini de ces deux ondes en fonction de n , e , r et λ_0 . On remarquera que les deux rayons subissent des réflexions de natures différentes.

On considère le dispositif expérimental de la figure ci-dessous. Une source étendue monochromatique émet de la lumière qui frappe une lame semi-transparente \mathcal{S} renvoyant une partie du faisceau lumineux sur la lame à faces parallèles précédente. La lumière réfléchi par cette lame traverse \mathcal{S} et rencontre une lentille convergente \mathcal{L} de distance focale f' . On place un écran \mathcal{E} dans le plan focal image de \mathcal{L} .



3. En quel point de \mathcal{E} se rencontrent les deux rayons réfléchis par la lame à face parallèle, issus d'un même rayon incident ?

Faire la construction géométrique.

4. Montrer qu'on observe un système d'anneaux concentriques sur l'écran.

Exprimer l'ordre d'interférence p_0 au centre du système d'anneaux en fonction de n , e et λ_0 puis l'ordre d'interférence correspondant à un angle d'incidence i (et donc à un angle de réfraction r).

5. On suppose le centre sombre et les angles faibles.

Déduire de ce qui précède le rayon R_k du k -ième anneau sombre en fonction de f' , n , λ_0 , e et k .

A.N. : déterminer e sachant que $R_1 = 3,0$ mm et avec $\lambda_0 = 0,59$ μm ; $f' = 20$ cm ; $n = 1,55$.

Exercice 7 SPECTROMÉTRIE PAR TRANSFORMATION DE FOURIER

On reprend le montage de l'exercice « Mesure de l'indice de l'air ».

Dans un premier temps, l'interféromètre est éclairé par un laser de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8$ nm pouvant être considéré dans les conditions de l'expérience comme une source parfaitement monochromatique.

1. On translate le miroir \mathcal{M}_1 à vitesse constante V le long de l'axe Oy .

Montrer que la tension u délivrée par le détecteur varie sinusoidalement dans le temps.

Quelle doit être la vitesse V pour avoir une période $T = 0,10$ s ?

On éclaire maintenant l'interféromètre par une lampe à vapeur de mercure dont on isole la raie verte, de longueur d'onde moyenne λ_{0m} à l'aide d'un filtre interférentiel. Cette source n'est pas monochromatique : la puissance qu'elle émet se répartit suivant les différentes radiations de fréquences ν voisines de $\nu_m = \frac{c}{\lambda_{0m}}$. On définit la densité spectrale de puissance $P_\nu(\nu)$ par la relation : $dP(\nu) = P_\nu(\nu) d\nu$ où $dP(\nu)$ est la puissance rayonnée par la source dans l'intervalle de fréquence $[\nu, \nu + d\nu]$.

D'autre part, lorsqu'une voie de l'interféromètre est occultée (pas d'interférences), l'éclairement $d\mathcal{E}_0(\nu)$ reçu par le détecteur, dans la bande de fréquence $[\nu, \nu + d\nu]$ s'écrit : $d\mathcal{E}_0(\nu) = K dP(\nu)$ où K est une constante de proportionnalité indépendante de ν , dépendant de la géométrie et de la transmission de l'interféromètre. On définit la densité spectrale d'éclairement $\mathcal{E}_{0\nu}(\nu)$ par la relation $d\mathcal{E}_0(\nu) = \mathcal{E}_{0\nu} d\nu$.

2. Montrer que $\mathcal{E}_{0\nu}(\nu)$ est proportionnel à $P_\nu(\nu)$.
3. Lorsque les deux voies de l'interféromètre fonctionnent, montrer que l'éclairement du détecteur s'écrit :

$$\mathcal{E} = 2 \int_0^\infty \mathcal{E}_{0\nu}(\nu) [1 + \cos(2\pi \nu \tau)] d\nu$$

avec $\tau = \frac{\delta}{c}$ où δ est la différence de marche au niveau du détecteur et c la vitesse de la lumière dans le vide.

4. Nous supposons que la raie a un profil gaussien (cas d'une lampe basse pression, l'élargissement de raie étant principalement dû à l'effet Doppler provenant de l'agitation thermique) :

$$\mathcal{E}_{0\nu}(\nu) = A \exp\left(-\frac{(\nu - \nu_0)^2}{a^2}\right)$$

où a et A sont des constantes et $a \ll \nu_0$.

Représenter $\mathcal{E}_{0\nu}(\nu)$ en fonction de ν .

Donner l'expression de la largeur spectrale de la source $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_2$ où ν_1 et ν_2 sont les fréquences pour lesquelles $\mathcal{E}_{0\nu} = \frac{A}{2}$.

5. Mettre l'éclairement sous la forme $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m [1 + \gamma(\tau) \cos(2\pi \nu_0 \tau)]$ et donner les expressions de \mathcal{E}_m et de $\gamma(\tau)$. On utilisera les formules suivantes :

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-u^2} du = \sqrt{\pi}, \quad \int_{-\infty}^{\infty} e^{-u^2} \cos(\alpha u) du = \sqrt{\pi} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{4}\right), \quad \int_{-\infty}^{\infty} e^{-u^2} \sin(\alpha u) du = 0$$

et, compte tenu de la décroissance très rapide de la fonction $\mathcal{E}_{0\nu}$ lorsque ν s'écarte de ν_m , on pourra étendre l'intégration à l'intervalle $[-\infty, \infty]$.

6. On translate le miroir \mathcal{M}_1 à vitesse constante V le long de l'axe Ox ; à l'instant $t = 0$ la position de ce miroir correspond au contact optique.

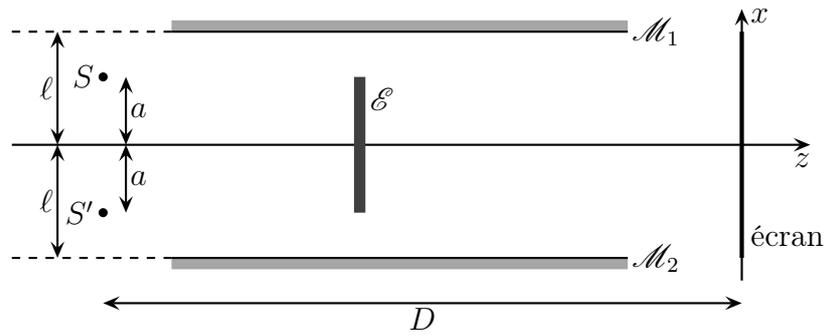
Quelle est la relation entre t et τ ?

Représenter l'allure de la tension $u(t)$ délivrée par le détecteur.

Exercice 8 INTERFÉRENCES AVEC DEUX MIROIRS PARALLÈLES

On considère le montage représenté ci-dessous.

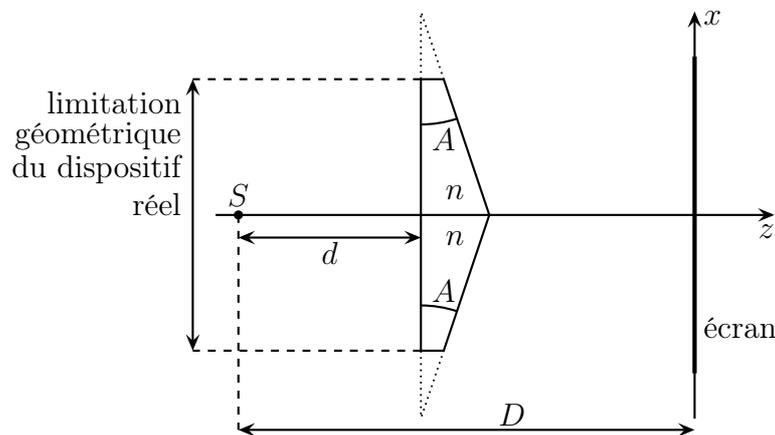
\mathcal{M}_1 et \mathcal{M}_2 sont des miroirs plans distants de 2ℓ . S et S' sont des sources ponctuelles monochromatiques, distantes de $2a$, de même longueur d'onde λ et de même intensité. L'écran opaque \mathcal{E} supprime la lumière directe.



Déterminer l'intensité lumineuse $I(x)$ sur l'écran ainsi que le contraste des franges.

Exercice 9 BIPRISME DE FRESNEL 🔍

Un biprisme est éclairé par une fente fine de centre S située dans le plan de symétrie des deux prismes. La lumière est monochromatique de longueur d'onde λ .



1. Montrer que, lorsque l'angle A est petit et l'angle d'incidence faible, tout rayon arrivant sur la face d'entrée est dévié de $\alpha = (n - 1) A$.

En déduire la position des sources secondaires S_1 et S_2 et leur écartement a .

2. Dessiner le champ d'interférence.

3. Décrire le système de franges observées sur l'écran.

4. Combien de franges peut-on espérer voir ?

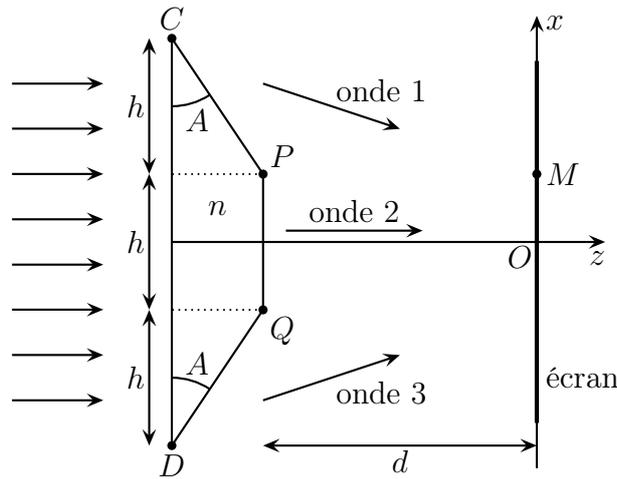
Comment peut-on les observer directement ?

Données : $d = 10 \text{ cm}$; $D = 1,0 \text{ m}$; $A = 1,0^\circ$; $n = 1,50$; $\lambda = 589 \text{ nm}$.

Exercice 10 INTERFÉRENCE DE TROIS ONDES 🔍

On considère le dispositif ci-dessous pour lequel :

- le prisme est taillé dans un verre d'indice n , A est très petit ;
- l'onde incidente est plane et monochromatique de longueur d'onde λ ;
- l'incidence est normale sur la face d'entrée ;
- les intensités des trois ondes sont égales.



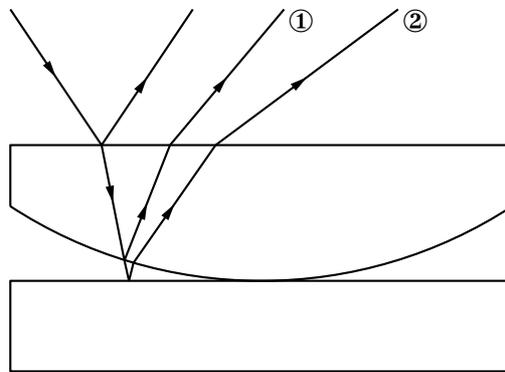
- Déterminer, en un point P quelconque, les rapports des amplitudes complexes $\frac{s_1(M)}{s_2(M)}$ et $\frac{s_3(M)}{s_2(M)}$.
- Déterminer l'intensité en un point de l'écran.

Exercice 11 ANNEAUX DE NEWTON 🔍

Une lentille de rayon de courbure R est posée sur une lame de verre plane. Ce système est éclairé par une lumière monochromatique, sous une incidence proche de la normale.

On cherche à observer les interférences entre l'onde réfléchie sur le dioptre sphérique, et l'onde réfléchie sur la lame de verre.

À chaque réflexion, les intensités réfléchies sont de l'ordre de 5 % de l'intensité incidente. Le schéma ne représente ni la source, ni le dispositif de visée.



- Pourquoi peut-on, en pratique, ne pas tenir compte des ondes issues des autres réflexions ?
- Quel plan faut-il viser pour observer ces interférences ?
- Décrire, dans ce plan, le système de franges.

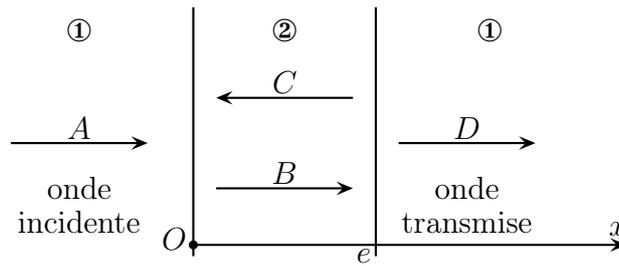
Exercice 12 INTERFÉROMÈTRE DE PERROT-FABRY 🔍

Un interféromètre de PERROT et FABRY est constitué de deux lames de verre, dont le facteur de réflexion est augmenté par le dépôt d'une couche réfléchissante. Pour une étude simplifiée, nous négligeons les effets liés à l'épaisseur de ces lames.

En notant ① le milieu extérieur et ② le milieu intérieur, on pose ;

- t_{12} et t_{21} : coefficients de transmission en amplitude, de ① vers ② et de ② vers ① ;
- r_{12} et r_{21} : coefficients de réflexion en amplitude ;
- $R = |r_{12}|^2 = |r_{21}|^2$ et $T = t_{12} t_{21}$. On admet que $R + T = 1$.

Le milieu ② est rempli d'un gaz d'indice n_2 , que l'on peut faire varier en jouant sur la pression. L'épaisseur e est constante.



1. L'onde incidente A est monochromatique, de longueur d'onde dans le vide λ_0 (on note $\sigma = \frac{1}{\lambda_0}$) et l'incidence est normale.

(a) Exprimer les relations entre les amplitudes complexes :

$$\underline{s}_A(x,t), \quad \underline{s}_B(x,t), \quad \underline{s}_C(x,t), \quad \underline{s}_D(x,t)$$

En déduire la fonction de transfert $G(\varphi) = \frac{I_D}{I_A}$ en posant $\varphi = 4\pi n_2 e \sigma$.

(b) Décrire sans calcul la figure d'interférence observée à l'infini si la lumière est une onde monochromatique avec une certaine ouverture angulaire.

(c) En faisant varier n_2 , on enregistre un interférogramme. Le détecteur n'est éclairé que par les rayons normaux aux lames.

Tracer l'allure de $G(n_2)$ dans le cas où $T \ll 1$. On calculera la largeur à mi-hauteur des pics, ainsi que leur écartement.

2. L'onde incidente est constituée d'un doublet de deux radiations de longueurs d'onde voisines, λ_0 et $\lambda_0 + \Delta\lambda$.

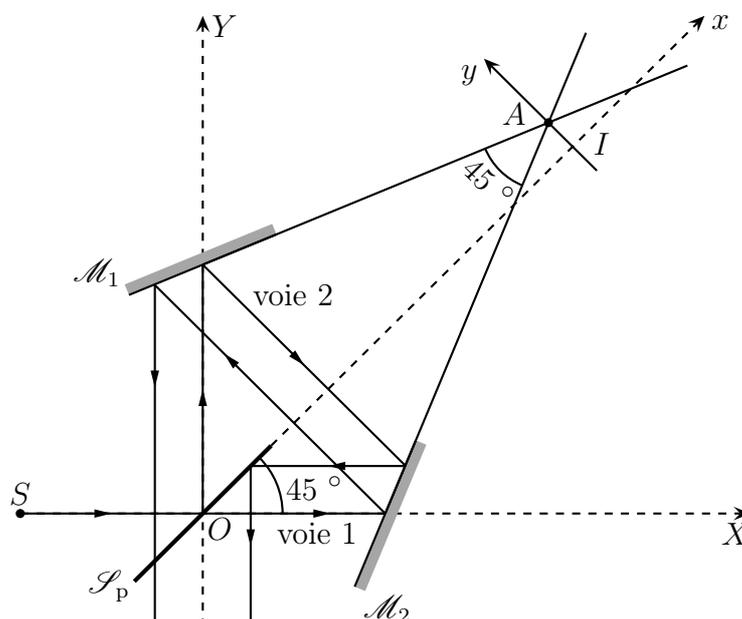
À quelle condition les pics correspondant à ces deux radiations sont-ils distincts ?

Citer une application de cet interféromètre.

Exercice 13 INTERFÉROMÈTRE DE SAGNAC

Il est constitué d'une séparatrice \mathcal{S}_p et de deux miroirs plans \mathcal{M}_1 et \mathcal{M}_2 .

Les deux miroirs sont inclinés de $22,5^\circ$ sur les axes. On sait les régler très précisément de telle sorte que l'angle entre les deux soit exactement de 45° .



1. Y a-t-il division de front d'onde ou division d'amplitude ?
Que peut-on en déduire quant à l'utilisation d'une source large ?
2. Faut-il une compensatrice ?
3. Déterminer les sources secondaires S_1 et S_2 par une translation que l'on définira.
On posera $a = AI \sqrt{2}$, AI étant la distance de A au plan de la séparatrice.
On peut faire varier a par translation d'un miroir.
4. Quelle est la forme des franges d'interférences observées sur un écran placé perpendiculairement à (OY) ?
5. Montrer que, si on observe les franges à l'infini, il est possible d'utiliser une source aussi large que l'on veut.