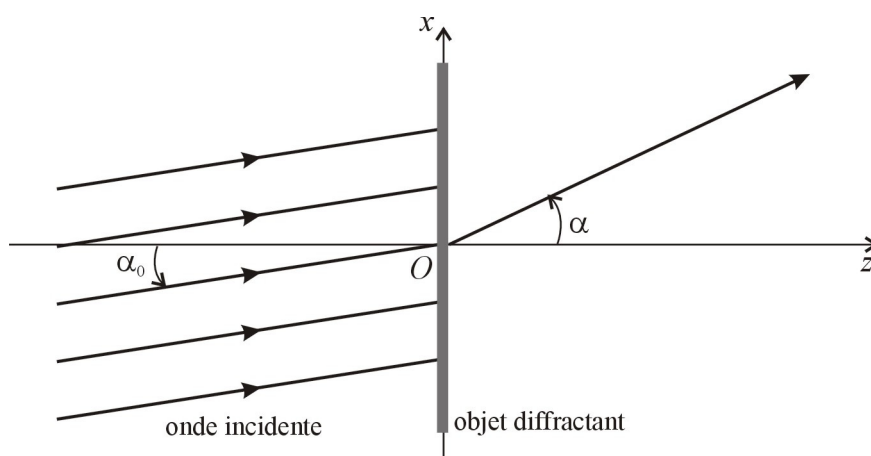


MP 08/09 – D.S. de PHYSIQUE n°2 – le 09/10/08 (4heures)**1^{er} problème****Diffraction**

$$\text{Formule : } \cos p + \cos q = 2 \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

Dans ce problème, on considère la diffraction à l'infini par divers objets placés dans le plan Oxy qui sont éclairés par une onde plane monochromatique de longueur d'onde λ (onde incidente), se propageant, suivant le cas, dans la direction de l'axe Oz ou dans la direction du plan Ozx faisant l'angle algébrique α_0 avec l'axe Oz (voir figure).

1) A quelle condition portant sur l'objet diffractant, peut-on dire que la lumière diffractée se propage uniquement dans des directions contenues dans le plan Ozx ? **Cette condition sera supposée vérifiée par la suite.**



2) Par application du principe de Huygens-Fresnel on établit que l'amplitude de la lumière diffractée dans la direction du plan Ozx faisant l'angle algébrique α avec l'axe Oz s'écrit :

$$\underline{a}(\alpha) = \underline{C} \int_{x=-\infty}^{\infty} t(x) \exp(i\varphi(x, \alpha)) dx,$$

où \underline{C} est une grandeur complexe constante dans tout le problème, $t(x)$ la fonction de transparence de l'objet (dans tout le problème $t(x)$ est une fonction réelle prenant ses valeurs dans $[0,1]$) et $\varphi(x, \alpha)$ le déphasage entre l'onde diffractée dans la direction α au niveau du point M sur l'objet de coordonnées $(x,0)$ et l'onde diffractée dans cette même direction au niveau du point O .

a) Donner un énoncé qualitatif du principe de Huygens-Fresnel.

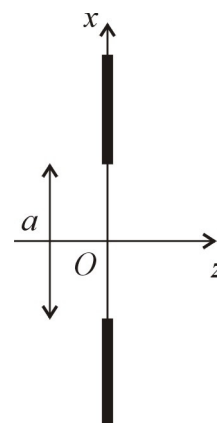
b) Dans le cas où l'onde incidente se propage dans la direction faisant l'angle α_0 avec Oz , montrer que

$\varphi(x, \alpha) = -\frac{2\pi x}{\lambda} (f(\alpha) - f(\alpha_0))$ où f est une fonction trigonométrique que l'on précisera. On s'appuiera sur un schéma clair et dûment commenté.

3) Dans cette question l'objet placé dans le plan Oxy est une fente parallèle à Oy , infiniment longue, symétrique par rapport à l'axe Oy et de largeur a . L'onde incidente se propage suivant Oz .

a) Quelle est la fonction de transparence $t(x)$?

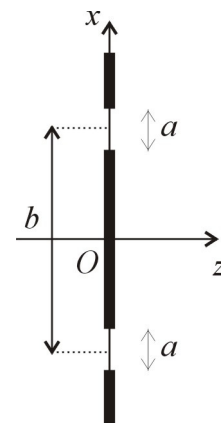
b) Déterminer l'expression de l'amplitude, puis de l'intensité $I_1(\alpha)$ de la lumière diffractée à l'infini dans la direction α . On désignera par $I_{\max 1}$ la valeur du maximum d'intensité.



- c) Exprimer, en fonction de λ et de a , la plus petite valeur positive de α , notée α_1 , pour laquelle l'intensité s'annule.
- d) Tracer $I_1(\alpha)$ en fonction de $f(\alpha)$ (question 2.b).
- e) *Application numérique* : $\lambda = 0,550 \mu\text{m}$ et $a = 0,01 \text{mm}$, calculer α_1 .

4) Fentes de Young

Dans le plan Oxy se trouve à présent un système de deux fentes parallèles à Oy , disposées symétriquement par rapport à Oy , infiniment longues, de même largeur a dont les centres sont séparés de la distance $b > a$ (fentes de Young). L'onde incidente se propage suivant Oz .



- a) Calculer l'amplitude puis l'intensité diffractées à l'infini dans la direction α . On

mettra l'intensité sous la forme : $I_2(\alpha) = \frac{1}{2} I_{\max 2} \left(\frac{\sin[F(\lambda, a, \alpha)]}{F(\lambda, a, \alpha)} \right)^2 (1 + \cos[G(\lambda, b, \alpha)])$

en précisant les expressions des fonctions $F(\lambda, a, \alpha)$ et $G(\lambda, b, \alpha)$. A quels phénomènes physiques correspondent les deux termes dans l'expression de l'intensité diffractée ?

- b) Exprimer, en fonction de λ et a ou b , la plus petite valeur positive de α , notée α_2 , pour laquelle l'intensité s'annule.

c) *Application numérique* : $\lambda = 0,550 \mu\text{m}$, $a = 0,01 \text{mm}$, $b = 0,05 \text{mm}$. Calculer α_2 .

Représenter la courbe $I_2(\alpha)$ pour $-\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_1$ où α_1 est l'angle déterminé en 3.c). Combien de franges brillantes sont observables pour α compris entre $-\alpha_1$ et $+\alpha_1$?

- d) Tracer $I_2(\alpha)$ en fonction de $f(\alpha)$ (question 2.b).

e) On dispose d'un capteur CCD et d'une lentille convergente de distance focale f' . Comment doit-on s'y prendre pour enregistrer la figure de diffraction pour $-\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_1$? Calculer la largeur minimale que doit avoir le capteur si $f' = 20 \text{cm}$ (et toujours $\lambda = 0,550 \mu\text{m}$ et $a = 0,01 \text{mm}$).

f) Que devient l'expression de l'intensité trouvée en a) dans la limite où a tend vers 0 (en supposant I_{\max} constant) ? Commenter.

5) Les fentes de Young de la question 4) reçoivent maintenant simultanément deux ondes incidentes, se propageant dans des directions faisant respectivement les angles $-\alpha_0$ et $+\alpha_0$ avec l'axe Oz , de même éclairement et incohérentes entre elles.

a) On fait d'abord l'approximation de la question 4.f), donner une expression de l'intensité diffractée que l'on mettra sous la forme $I_3(\alpha) = I_{\text{moy}3} (1 + K(\lambda, b, \alpha_0) \cos[H(\lambda, b, \alpha)])$, en précisant les expressions des fonctions $K(\lambda, b, \alpha_0)$ et $H(\lambda, b, \alpha)$.

b) Montrer que $I_3(\alpha)$ ne dépend plus de α lorsque b prend des valeurs particulières $b_0 < b_1 < \dots < b_n < \dots$ que l'on exprimera en fonction de α_0 et λ . Comment se nomme le phénomène observé ? En donner une interprétation qualitative.

c) *Application numérique* : $\lambda = 0,550 \mu\text{m}$, $a = 0,01 \text{mm}$, $b = 0,05 \text{mm}$. Calculer la valeur de α_0 pour laquelle $b_0 = b$. Calculer la plus petite valeur de n telle que l'angle α_0 pour lequel $b_n = b$ soit supérieur à l'angle α_1 (calculé à la question 3.c).

d) On ne fait plus l'approximation de la question 4.e). Pour simplifier, on considère que la figure de diffraction d'une fente seule est réduite à sa tache centrale. Dans chacun des cas suivants décrire la figure enregistrée par le capteur CCD (utilisé dans les conditions de la question 4.d) en s'intéressant notamment au contraste aux différents points :

i) $b = \frac{b_0 + b_1}{2}$ (alors $\alpha_0 < \alpha_1$) ;

ii) $b = b_0$ (alors $\alpha_0 < \alpha_1$) ;

iii) $b = \frac{b_n + b_{n+1}}{2}$ avec n suffisamment grand pour que $\alpha_0 > \alpha_1$;

iv) $b = b_n$ avec n suffisamment grand pour que $\alpha_0 > \alpha_1$

6) Apodisation

On place maintenant dans le plan Oxy la fente de la question 3) et une diapositive de manière à obtenir la

$$\text{fonction de transparence : } t(x) = \begin{cases} 1 - \frac{2|x|}{a} & \text{si } |x| < \frac{a}{2} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

L'onde incidente se propage suivant Oz . On donne : $\int_{-1/2}^{1/2} (1-2|u|) e^{-imu} du = \frac{8 \sin^2(m/4)}{m^2}$ pour tout réel m .

a) Déterminer l'expression de l'intensité diffractée $I_4(\alpha)$ en notant $I_{\max 4}$ sa valeur maximale.

b) Comparer pour les fonctions $I_1(\alpha)$ (question 3) et $I_4(\alpha)$ la valeur du maximum principal et la largeur du pic principal de diffraction. Interpréter ces résultats.

c) Montrer que les taches de diffraction secondaires sont nettement moins lumineuses pour $I_4(\alpha)$ que pour $I_1(\alpha)$.

7) On souhaite trouver une fonction de transparence $t(x)$ telle que les taches secondaires soient fortement atténuées par rapport au cas de la fente (question 3). On cherche une fonction telle que :

- $t(x) = 0$ pour $x < -a/2$ et pour $x > a/2$
- $t(x)$ est continue et infiniment dérivable sur $]-a/2, a/2[$
- $t(x)$ est une fonction paire de x
- pour tout $n \in \mathbb{N}$ on peut définir : $A_n = \lim_{x \rightarrow a/2} t^{(n)}(x) = (-1)^n \lim_{x \rightarrow -a/2} t^{(n)}(x)$ où $t^{(n)}(x)$ est la dérivée $n^{\text{ième}}$ de $t(x)$.

$t^{(n)}(x)$ est une fonction dont la parité par rapport à x est celle de l'entier n et $t^{(0)}(x) = t(x)$.

Pour simplifier les écritures on pose $a' = a/2$.

L'onde incidente se propage suivant Oz .

a) On pose $\varphi(x, \alpha) = ux$ où u dépend de α et de la longueur d'onde λ . Donner l'expression de u . Montrer que l'amplitude diffractée dans la direction α s'écrit :

$$\underline{a}(\alpha) = 2C \left[\sin(ua') \left(\frac{A_0}{u} - \frac{A_2}{u^3} + \frac{A_4}{u^5} - \dots \right) + \cos(ua') \left(\frac{A_1}{u^2} - \frac{A_3}{u^4} + \frac{A_5}{u^6} - \dots \right) \right]$$

b) Vérifier que cette formule redonne $I_1(\alpha)$. Pourquoi n'est-ce pas le cas pour $I_4(\alpha)$?

c) On fait l'approximation, pour u grand, de ne garder, dans l'expression ci-dessus, que le terme non nul correspondant à la plus faible puissance de $1/u$. A quelle condition sur $t(x)$ a-t-on, dans cette approximation, une intensité décroissant comme $1/u^6$? Donner alors l'allure de la fonction $t(x)$ et proposer une expression pour cette fonction.

2^{ème} problème

Principe de la tomographie par cohérence optique (OCT) (d'après Centrale PSI 2008)

Formulaire : $\sin p - \sin q = 2 \sin\left(\frac{p-q}{2}\right) \cos\left(\frac{p+q}{2}\right), \quad \cos p \cos q = \frac{1}{2}(\cos(p+q) + \cos(p-q))$

Donnée : vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

La tomographie par cohérence optique (OCT) est un procédé interférométrique non destructif permettant de réaliser des images en coupe de tissus biologiques avec une résolution de l'ordre du micromètre. On se propose d'en illustrer le principe.

La base de l'appareil est un interféromètre de Michelson. On raisonnera pour simplifier sur l'interféromètre «théorique», uniquement constitué de deux miroirs (M_1) et (M_2) et d'une lame séparatrice idéale, c'est-à-dire infiniment mince et séparant un faisceau lumineux incident en deux faisceaux d'égale intensité. L'appareil est réglé en lame d'air, c'est-à-dire que (M_2) et l'image (M'_1) du miroir (M_1) par la séparatrice sont parallèles. Les positions de (M_2) et (M'_1) sont repérées sur l'axe Oz (voir figure 1).

(M'_1) est en z , (M_2) en z_0 .

La lumière se propage dans l'air dont l'indice sera pris égal à 1.

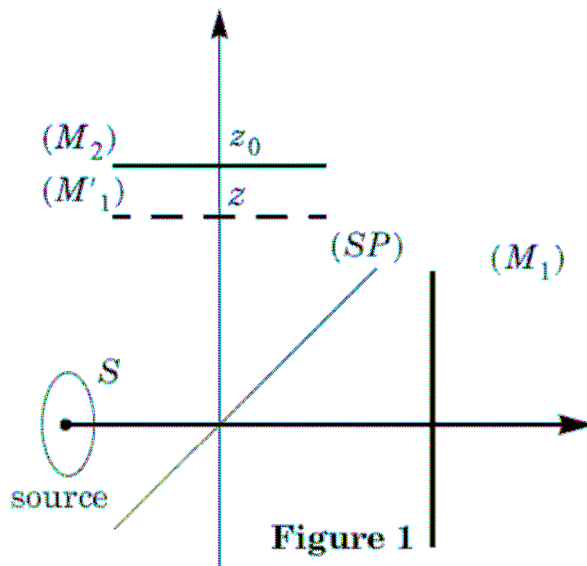


Figure 1

A - Préliminaire

A.1) Quelle condition doivent satisfaire deux ondes lumineuses pour produire des interférences ? Comment réaliser expérimentalement cette condition ?

A.2) Qu'est-ce qu'une onde monochromatique ? Donner deux exemples de dispositifs permettant, au laboratoire, de produire une onde quasi-monochromatique.

A.3) L'interféromètre, réglé en configuration lame d'air, est éclairé par une source quasi-monochromatique ponctuelle située à distance finie.

a) Comment réaliser concrètement une source (quasi) ponctuelle à distance finie à partir des dispositifs du A.2. ?

b) On observe les franges d'interférences sur un écran parallèle à (M_2). Où peut-on placer l'écran ? Décrire en quelques mots la figure d'interférence.

c) On remplace la source ponctuelle par une source monochromatique étendue autour du point S . Comment évolue la figure d'interférence ? Où peut-on voir des franges ? Comment les nomme-t-on ?

A.4) La source étant toujours étendue, on place l'écran dans le plan focal image d'une lentille convergente (L) de distance focale f' , dont l'axe optique est perpendiculaire à (M_2).

a) Tracer la marche des rayons lumineux issus d'un point S_1 et interférant en un point de l'écran. En considérant un second point S_2 de la source, justifier la position de la surface de localisation.

b) Donner l'expression de la différence de marche au point M en fonction de $r = F'M$ (F' foyer image de (L)), de f' , et de l'épaisseur e de la lame d'air. Il est demandé de démontrer cette expression. On supposera que les rayons lumineux font des angles faibles avec l'axe optique.

c) On suppose que $z_0 - z = m \frac{\lambda_0}{2}$ où λ_0 est la longueur d'onde de la source monochromatique utilisée et m un entier positif. Exprimer, en fonction de f' , m et n , le rayon r_n du $n^{\text{ième}}$ anneau brillant sur l'écran et le rayon r'_n du $n^{\text{ième}}$ anneau sombre.

B – OCT - Domaine temporel

L'interféromètre est utilisé dans la configuration de la question A.4, éclairé par une source étendue.

B.1) Comment nomme-t-on la position particulière $z = z_0$? Que voit-on alors sur l'écran ?

B.2) On place au foyer image F' de (L) , un photodétecteur quasi ponctuel. La source primaire est une source monochromatique de longueur λ_0 . On appelle nombre d'onde la quantité $\sigma = 1/\lambda$ ($\sigma = \nu/c$ est donc proportionnel à la fréquence ν de la radiation lumineuse). Donner l'expression de l'intensité lumineuse $I(z)$ reçue par le photodétecteur, en fonction de z , z_0 , σ_0 et de l'intensité lumineuse I_0 , qu'il recevrait si l'on masquait le miroir (M_2) .

B.3) La source primaire n'est plus monochromatique. L'intensité que produirait l'interféromètre en F' dans l'intervalle de nombres d'onde $[\sigma, \sigma + d\sigma]$ si l'on masquait l'un des deux miroirs est $G(\sigma)d\sigma$, où $G(\sigma)$

est la fonction définie par :

$$\begin{cases} G(\sigma) = G_0 & \text{si } \sigma \in [\sigma_0 - \Delta\sigma/2, \sigma_0 + \Delta\sigma/2] \\ G(\sigma) = 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

a) Chaque intervalle spectral élémentaire $[\sigma, \sigma + d\sigma]$ pouvant être assimilé à une source monochromatique, que dire de deux intervalles spectraux différents ? Exprimer l'intensité dI en F' pour l'intervalle spectral $[\sigma, \sigma + d\sigma]$.

b) Calculer $I(z)$. On exprimera le résultat sous la forme : $I(z) = 2I_0 [1 + V(z - z_0) \cos(4\pi\sigma_0(z - z_0))]$ où I_0 est une constante et $V(z - z_0)$ le facteur de visibilité, grandeurs que l'on déterminera.

B.4) La source primaire est une source de lumière blanche dont on modélise la composition spectrale par la fonction $G(\sigma)$ de la question B.3).

a) Donner des valeurs approchées des longueurs d'ondes limites du spectre visible, λ_1 et λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$).

b) En déduire les valeurs appropriées de σ_0 et $\Delta\sigma$.

La figure 2a donne le graphe de $I(z)$ tel qu'on peut l'enregistrer en déplaçant le miroir (M_1) avec un moteur. La figure 2b donne une représentation simplifiée de ce graphe qui sera utilisée dans la suite.

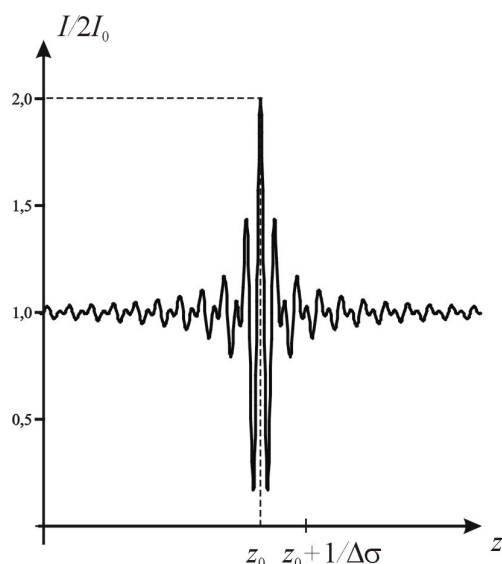


Figure 2a

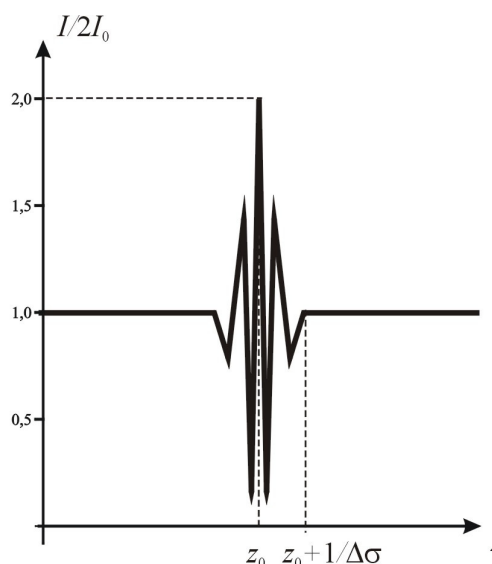


Figure 2b

B.5) Le miroir (M_2) est remplacé par une surface plane semi-réfléchissante de coefficient de réflexion pour l'amplitude ρ réel. On ne tiendra pas compte d'un éventuel déphasage lié à la réflexion de l'onde sur (M_1) ou sur la surface plane. On suppose la source monochromatique de nombre d'onde σ_0 . Comment est modifiée l'expression de du B.2 ? Comment est modifiée la figure d'interférence ?

B.6) (M_2) est maintenant remplacé par N surfaces semi-réfléchissantes de positions $z_1 < z_2 < \dots < z_N$ et de coefficients de réflexion pour l'amplitude ρ_1, \dots, ρ_N tous réels (figure 3). On pourra considérer que

les coefficients ρ_i sont tous des infiniment petits de même ordre de sorte que les coefficients de transmission pour l'amplitude sont tous égaux à 1. On limitera les calculs au premier ordre.

a) Dans le cas de la source monochromatique de nombre d'onde σ_0 , montrer que : $I(z) \approx I_0 \left(1 + 2 \sum_{i=1}^N \rho_i \cos \varphi_i \right)$, en

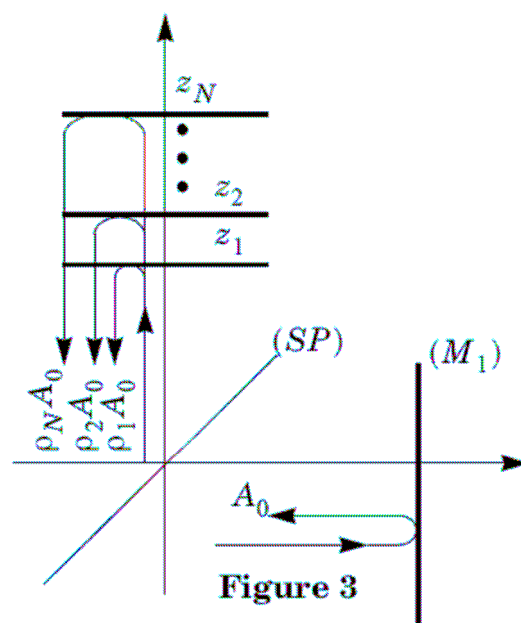
précisant l'expression des φ_i en fonction de z , z_i et σ_0 .

b) L'appareil est maintenant éclairé avec la source de profil spectral rectangulaire défini en B.3). Calculer $I(z)$. On fera apparaître dans son expression le facteur V du B.3.b).

c) L'appareil est éclairé en lumière blanche. En partant du graphe simplifié de la figure 2b, tracer $I(z)$ dans le cas $N=2$ avec $\rho_1 = 4 \cdot 10^{-2}$, $\rho_2 = 2 \cdot 10^{-2}$, $z_1 = z_0$, $z_2 = z_0 + 5/\Delta\sigma$.

d) L'appareil est toujours éclairé en lumière blanche. Dans le cas général, montrer que la mesure de $I(z)$ permet de déterminer tous les couples (z_i, ρ_i) à condition que les quantités $z_{i+1} - z_i$ soient supérieures à une valeur que l'on précisera (limite de résolution).

e) Améliore-t-on le pouvoir de résolution en utilisant un rayon laser plutôt que de la lumière blanche ?



C - OCT - Domaine fréquentiel

Dans la méthode précédente, l'enregistrement de la fonction $I(z)$ est obtenu par translation du miroir (M_1). On va montrer qu'il est possible d'obtenir les mêmes informations en gardant (M_1) fixe. On part de la même situation qu'au B : l'interféromètre est réglé en lame d'air, la position de (M_2) est repéré par sa coordonnée $z_0 > 0$, (M_1) est fixe en $z=0$. À l'aide d'un dispositif approprié, on fait l'analyse spectrale de la lumière émergente, c'est-à-dire que l'on détermine la fonction $f(\sigma) = dI/d\sigma$ où dI est l'intensité pour l'intervalle spectral $[\sigma, \sigma + d\sigma]$ (cf. B.3)

C.1) Donner l'expression de $f(\sigma)$ en fonction notamment de z_0 et $G(\sigma)$.

C.2) A partir de $f(\sigma)$, on calcule la fonction : $R(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\sigma) \cos(4\pi\sigma u) d\sigma$.

a) Calculer $R(u)$ pour une source de profil spectral rectangulaire définie au B.3. Montrer que $R(u)$ peut se mettre sous la forme : $R(u) = F(u) + \frac{1}{2}F(u - z_0) + \frac{1}{2}F(u + z_0)$ où $F(u)$ est une fonction dépendant des paramètres G_0 , σ_0 et $\Delta\sigma$ dont on donnera l'expression.

b) En utilisant la figure 2b, donner une représentation simplifiée de $F(u)$ lorsque les caractéristiques σ_0 et $\Delta\sigma$ sont celles de la lumière blanche déterminées en B.2.

c) On pose $d = 1/\Delta\sigma$. Montrer que pour $z_0 > d$, on peut écrire : $R(u > d) \approx \frac{1}{2}F(u - z_0)$.

C.3) On remplace (M_2) par les N surfaces semi-réfléchissantes décrites au B.6.

a) Que vaut dans ce cas $f(\sigma)$ (en limitant toujours les calculs au premier ordre) ? On pourra s'aider de la question B.6.

b) Dans le cas de la source à profil spectral rectangulaire de B.3, donner la nouvelle expression de $R(u)$ en fonction des z_i et des ρ_i .

c) On travaille en lumière blanche modélisée comme au B.2. On suppose que $z_1 > d$. Simplifier l'expression de $R(u > d)$. Tracer l'allure de $R(u > d)$ dans le cas $N=2$ avec $\rho_1 = 4 \cdot 10^{-2}$, $\rho_2 = 2 \cdot 10^{-2}$, $z_1 = z_0$, $z_2 = z_0 + 5/\Delta\sigma$.

- d) Donner l'ordre de grandeur du pouvoir de résolution de l'instrument défini comme la distance de deux surfaces adjacentes en dessous de laquelle la méthode utilisée ne permet plus de les discerner.
- e) Quels sont les avantages et inconvénients de cette méthode par rapport à la précédente ?

D - Mesure du spectre avec un réseau

Pour l'analyse spectrale on utilise un réseau par transmission de largeur utile L , comportant n traits par unité de longueur, éclairé en incidence normale.

D.1) À quelle condition sur les nL ondes diffractées par le réseau observe-t-on un maximum d'intensité lumineuse ? En déduire la formule des réseaux donnant les directions d'émergence θ correspondant aux pics d'intensité. Définir l'ordre d'un pic.

D.2) Le détecteur est une barrette *CCD* constituée d'un alignement de cellules photosensibles identiques, de largeur a , délivrant chacune une tension proportionnelle à l'intensité lumineuse qu'elle reçoit. Il est placé dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale f' , traversée par le faisceau émergent du réseau (figure 5). On prend : $f' = 10 \text{ cm}$, $a = 100 \mu\text{m}$, $n = 500 \text{ traits} \cdot \text{mm}^{-1}$, $L = 2 \text{ cm}$. Pour

la radiation de longueur d'onde λ , la largeur angulaire d'un pic du réseau est donnée par : $\Delta(\sin \theta) = 2\lambda/L$. Calculer la largeur sur le détecteur de la tache associée à la longueur d'onde la plus grande du domaine visible (préciser cette longueur d'onde). Conclure. En pratique, la taille de la tache est plus grande que la valeur trouvée. Pourquoi ?

D.3) Déterminer la largeur $\delta\lambda$ de l'intervalle $[\lambda, \lambda + \delta\lambda]$ des radiations reçues par une des cellules du capteur en fonction de a , n , f' et λ . En déduire la largeur correspondante en nombre d'onde $\delta\sigma$. Évaluer numériquement $\delta\sigma$ pour la longueur d'onde la plus grande et la longueur d'onde la plus courte du domaine visible (préciser ces longueurs d'onde).

D.4) Il peut être intéressant, pour certaines mesures spectrales, d'avoir une largeur $\delta\lambda$ identique pour toutes les cellules du capteur. Comment pourrait-on utiliser le dispositif, sans le modifier, pour obtenir cette propriété ?

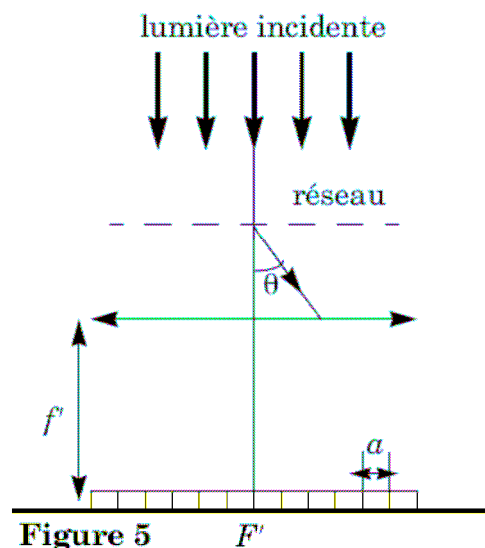


Figure 5

E - Mise en oeuvre. Réglage de l'interféromètre

Une des implémentations de l'*OCT* fait appel à un interféromètre de Linnik. Il s'agit d'un interféromètre de Michelson sur les deux bras duquel on a placé des objectifs de microscope identiques (figure 6), que l'on assimilera dans toute la suite à deux lentilles minces convergentes (L_1) et (L_2) de distance focale f' .

L'interféromètre est éclairé par une source de lumière blanche spatialement étendue placée dans le plan focal objet d'une lentille d'éclairage (L_E). La figure d'interférence est enregistrée par un capteur *CCD* plan situé en sortie de l'instrument dans le plan focal image d'une lentille achromatique (L_P) de distance focale f'_P . L'un des bras de l'interféromètre comporte le miroir (M_1), l'autre la lame semi-réfléchissante dont on veut mesurer la position et le coefficient de réflexion. Elle sera assimilée ici au miroir (M_2). Un des intérêts de ce dispositif est d'améliorer la résolution sur la mesure de la position.

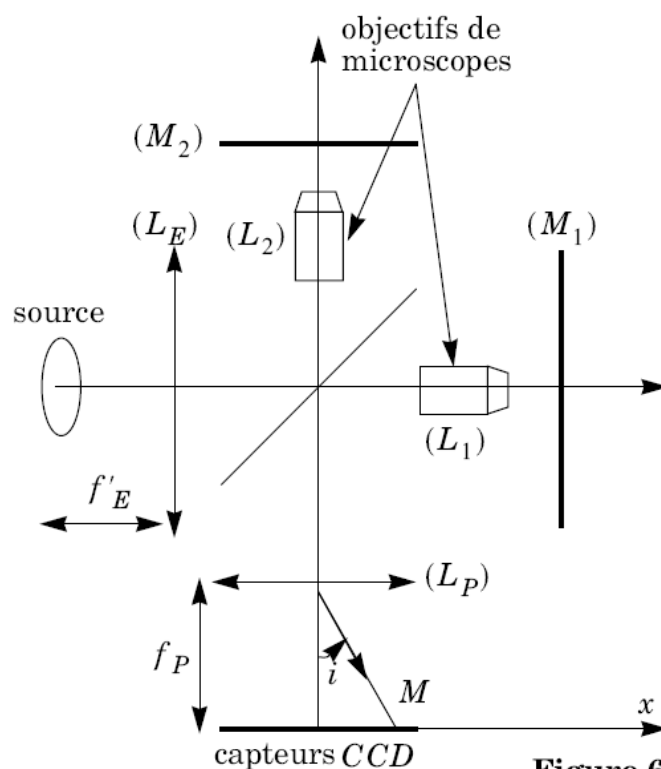


Figure 6

On s'intéressera uniquement ici au réglage de l'instrument. Dans un premier temps, on retire les objectifs et on règle l'interféromètre au contact optique.

E.1) On place ensuite un objectif devant (M_1) , puis, après avoir occulté (M_2) , on règle la position de l'objectif de façon à obtenir l'image de (M_1) sur le capteur CCD. On procède de la même manière pour le second objectif (occultation de (M_1) et image de (M_2) sur le capteur). Quelles sont alors les positions des deux objectifs par rapport aux miroirs ?

E.2) Que devrait-on observer sur le détecteur lorsque les deux miroirs sont démasqués ? (les deux objectifs sont supposés rigoureusement identiques).

E.3) En pratique, on observe des franges rectilignes dont le contraste diminue rapidement lorsqu'on s'éloigne du centre de la figure d'interférence. On veut montrer que ce phénomène peut s'expliquer par un défaut d'alignement latéral des axes optiques des objectifs. On considère pour cela le schéma équivalent du dispositif dans lequel (L_1) et (M_1) et ont été remplacés par leurs symétriques (L'_1) et (M'_1) par rapport à la séparatrice (SP) (figure 7). On note d la distance des deux axes optiques supposés parallèles. Pour des raisons de clarté de la figure, la distance d a été exagérée.

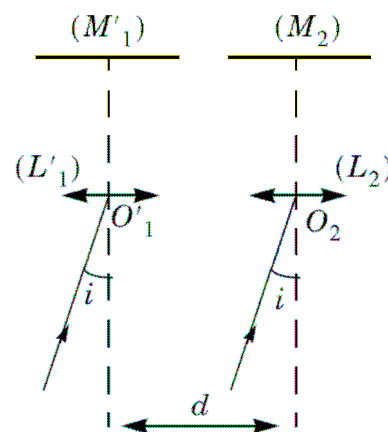


Figure 7

a) Reproduire le schéma et tracer le cheminement, dans chacune des voies, de deux rayons lumineux interférant au point M d'abscisse $x = f'_p i$ (voir figure 6) sur le détecteur et passant par les centres O'_1 et O_2 de (L'_1) et (L_2) . On suppose que l'angle i reste faible et on se place dans l'approximation de Gauss.

b) En utilisant le théorème de Malus que l'on énoncera, calculer la différence de marche $\delta(x)$ en M . Montrer que l'interfrange vaut : $\Delta x = \lambda f'_p / 2d$. Comment doit-on procéder pour réaliser l'alignement des axes ?

E.4) La figure 8 montre un enregistrement de l'intensité $I(x)$ obtenue sur le capteur CCD à partir d'une source de lumière blanche. L'échelle des abscisses a été volontairement omise.

a) Évaluer la longueur de cohérence de la source.

b) La largeur de l'interférogramme, c'est-à-dire l'intervalle des valeurs de x pour lesquelles on peut voir des franges est de 0,6 mm. Évaluer d . On prendra $f'_p = 20$ cm.

c) Dans le cas où il subsiste un défaut de parallélisme (faible) entre les miroirs (M'_1) et (M'_2) , l'expression de la différence de marche devient $\delta' = \delta + 2\alpha f'_p i$ où δ est la différence de marche précédente. Expliquer à l'aide d'un schéma l'origine du terme supplémentaire.

Pourquoi la première étape du réglage (obtention du contact optique) doit-elle être réalisée très soigneusement ?

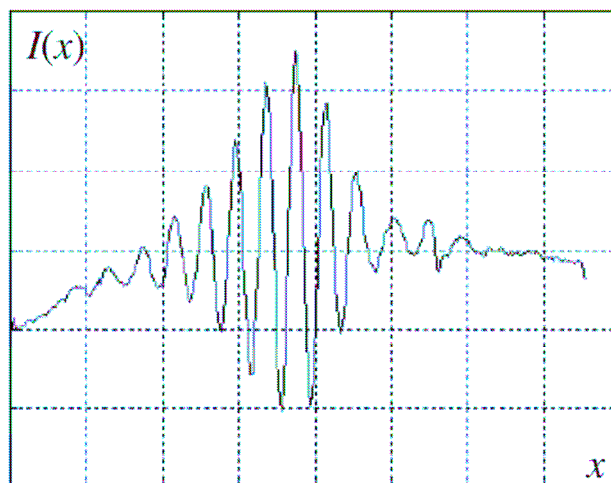


Figure 8