

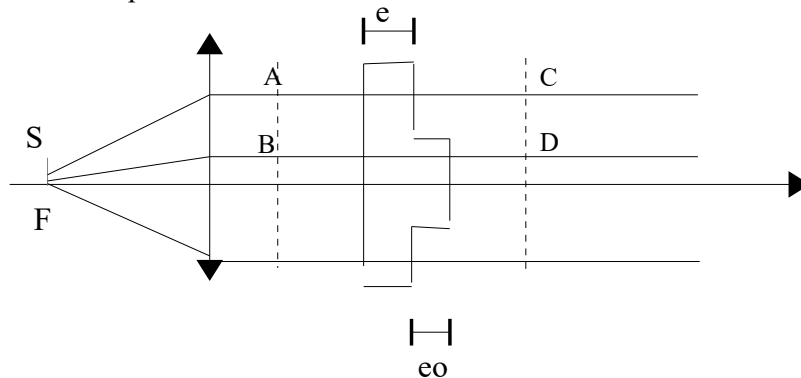
INTERFERENCES PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE .

Exercice 1 : raie quasi-monochromatique .

Une raie spectrale d'une lampe au cadmium a pour caractéristiques : longueur d'onde moyenne $\lambda_{0m} = 643,8 \text{ nm}$ et largeur en longueur d'onde $\Delta\lambda = 1,3 \text{ pm}$.

- 1- Quelle est sa couleur ?
- 2- Calculer la largeur en fréquence $\Delta\nu$, la longueur de cohérence l_c , le temps de cohérence τ_c ainsi que le nombre moyen d'oscillations par train d'onde .

Exercice 2 : lame présentant un défaut .



On place une source ponctuelle S au foyer objet d'une lentille convergente .
On place sur les trajets des rayons sortant de la lentille une lame, d'indice n, présentant un défaut d'épaisseur e_0 .

- 1- Déterminer la différence de chemin optique (SA) - (SB) .
- 2- Déterminer la différence de chemin optique (SC) - (SD) .

Exercice 3 :

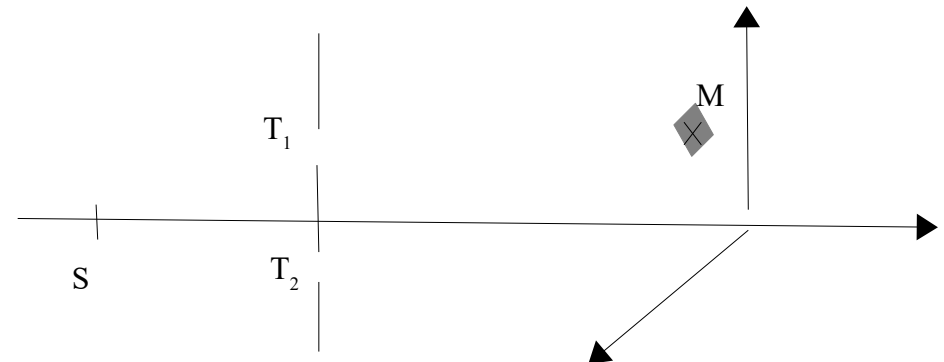
On considère le dispositif des trous d'Young (figure ci-dessous) distants de a, éclairé par une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde λ . Le plan d'observation est situé à une distance D du plan des trous . On assimile l'indice de l'air à celui du vide .

- 1- Après l'avoir définie, établir l'expression de la différence de marche entre deux

vibrations venant interférer en un point M(x , y , 0) de l'écran (M est tel que $|x| \ll D, |y| \ll D$ et $a \ll D$.

2- En supposant que toutes les vibrations sont de même amplitude, établir l'expression de l'intensité au point M . Déterminer la forme des franges, l'interfrange et le contraste .

3- Calculer la puissance P(x) reçue par un capteur de taille b dans la direction x et c dans la direction y et centré au point M de l'écran (on rappelle que l'intensité au point représente la puissance surfacique reçue au point M . Montrer que le calcul de P(x) fait apparaître un facteur de visibilité . Représenter ce dernier en fonction de b . Comment a-t-on intérêt à choisir les dimensions du capteur ?



Exercice 4 : Couleur des papillons et autres insectes

Certains papillons exotiques ont des couleurs iridescentes, c'est-à-dire changeant avec l'angle sous lequel on les éclaire. Ceci est souvent dû à un phénomène d'interférences se produisant sur une couche mince à la surface de leurs ailes. Ces interférences font que la réflexion de la lumière n'est importante que pour certaines longueurs d'onde particulières dans le spectre de la lumière visible. Ainsi, les ailes du Papilio Ulysses, papillon indonésien, passent du bleu-violet quand il est éclairé en incidence rasante à une couleur verte quand il est éclairé en incidence normale. Le but de cet exercice est de proposer une modélisation simple de ce phénomène.

1. Tracer le trajet d'un rayon lumineux arrivant au point A sous incidence θ sur une lame d'indice n et d'épaisseur constante entourée d'air, en tenant compte du phénomène de réfraction à l'intérieur de la lame. On notera θ_r l'angle de réfraction, qu'on reliera à l'angle d'incidence θ . Montrer qu'une division d'amplitude sur la face avant, suivie d'une réflexion sur la face arrière, produit deux rayons réfléchis par la lame, parallèles entre eux.
2. Démontrer que la différence de marche à l'infini entre ces deux rayons s'écrit

$\delta = 2n \cos \theta r$ (sans tenir compte d'éventuels déphasages dus à la réflexion sur la surface de la lame).

3. Expliquer comment les interférences entre ces deux ondes peuvent donner une couleur iridescente. Vérifier qualitativement que ce modèle est compatible avec le changement de couleur observé pour le *Papilio Ulysses*.

4. Le casside est un coléoptère de couleur verte (éclairé en incidence normale) qui peut devenir rouge lorsqu'il est effrayé un fluide pénètre à l'intérieur d'une couche mince à la surface de sa carapace et augmente son épaisseur optique. Vérifier qualitativement que ce changement de couleur peut aussi s'interpréter par le modèle de la lame mince.

Exercice 5 : résolution interférométrique d'une étoile double

1- Une étoile E_1 se trouve dans la direction de l'axe optique d'une lentille convergente de centre optique C, de distance focale f_0 et de foyer image F_0 . On place devant la lentille d'une part un filtre (non représenté sur la figure) qui ne laisse passer que les radiations de longueur

d'onde λ et d'autre part un écran percé de deux trous T_1 et T_2 distants de a . On repère

les points du plan focal par leur abscisse x le long d'un axe parallèle à la direction des trous et d'origine F_0 . Décrire ce qu'on observe dans le plan focal et calculer l'interfrange pour

$f_0 = 1 \text{ m}$, $a = 0,6 \text{ mm}$ et $\lambda = 600 \text{ nm}$.

Que se passe-t-il si a varie ?

2- En réalité, l'étoile est double, constituée de deux étoiles E_1 et E_2 distantes angulairement de α , supposées de même intensité. Où se forme l'image de la seconde étoile à travers la lentille ? Quel système d'interférences observerait-on s'il n'y avait que la seconde étoile ? Quel éclairement observe-t-on avec l'étoile double et pour quelle(s) valeur(s) de a les franges disparaissent-elles ?

Expérimentalement, la plus petite valeur est $a_1 = 0,52 \text{ mm}$; calculer α .

3- En réalité pour $a = a_1$, les franges ne disparaissent pas, mais leur contraste est minimal

et vaut alors $C_{\min} = 0,1$. Quelle hypothèse faut-il remettre en question ? Que peut-on en déduire quantitativement ?

4- Comment, dans le contexte de la question 3, calculer le contraste pour $a \neq a_1$?

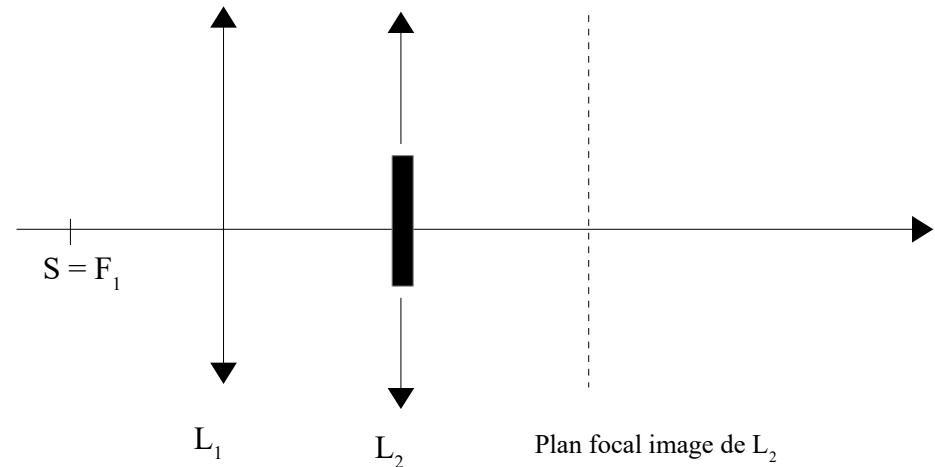
Exercice 6 : bilentille de Billet

Une source S monochromatique de longueur d'onde λ_0 est placée au foyer objet F_1 d'une lentille convergente L_1 pour éclairer un système appelé bilentille de Billet. Ce dispositif interférentiel, constitué par deux demi-lentilles identiques séparées par un cache opaque, est disposé symétriquement par rapport à l'axe optique du système. Les deux demi-lentilles fonctionnent comme des lentilles normales et le centre optique de chaque demi-lentille est au contact du cache optique. Si on retire le cache optique et que l'on « recolle » les deux demi-lentilles, on reforme une lentille L_2 classique.

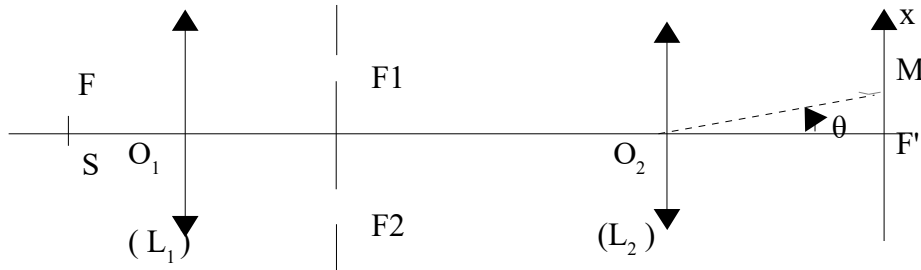
1- Par une construction géométrique, montrer que ce dispositif permet l'obtention de deux sources secondaires cohérentes et synchrones s . Préciser le domaine d'interférences.

2- On place à un écran à une distance $D = 2 \text{ m}$ du plan focal de L_2 dans la zone où la largeur du champ d'interférence est constante. L'écartement e des lentilles peut-être réglé grâce à une vis micrométrique. L'indice du milieu sera pris égal à un.

Un expérimentateur souhaite observer 10 franges sombres sur l'écran, les limites du champ d'interférences étant brillantes. Quelle valeur doit-on donner à e pour une source S monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$?



Exercice 7: fentes d'Young et lame



F est le foyer objet de la lentille (L_1), F' est le foyer image de la lentille (L_2)

On prendra l'indice de l'air égal à un.

1- Soit un dispositif d'Young où les deux fentes F_1 et F_2 sont distantes de $a = 0,1$ mm. La source est monochromatique de longueur d'onde λ . Exprimer l'éclairement dans le plan focal image de L_2 de distance focale $f'_2 = 1$ m. Qu'observe-t-on sur l'écran ?

2- On déplace la source S le long d'un axe vertical. Que se passe-t-il ? Montrer que pour certaines positions (à déterminer) de la source le système de frange semble inchangé.

3- On éclaire le dispositif avec le doublet du sodium ($\lambda_1 = 589$ nm, $\lambda_2 = 589,6$ nm), la source étant sur l'axe du système. Pour quel ordre d'interférence obtient-on le premier brouillage ? Combien y a-t-il de franges brillantes entre deux brouillages consécutifs ?

4- On désire avoir un brouillage en $x = 0$, pour cela on ajoute une lame d'épaisseur e et d'indice n devant F_1 , quelle doit être l'épaisseur minimale de la lame si $n = 1,5$.

Exercice 8 : miroir de Lloyd

Le dispositif interférentiel du miroir de Lloyd est constitué d'un miroir plan AB de longueur $l_1 = 10$ cm de long, et d'un écran qui lui est orthogonal en B. Une source ponctuelle située à une hauteur $h = 1$ mm au dessus du plan du miroir et à $l_2 = 20$ cm de A, émet une radiation de longueur d'onde $\lambda = 0,546$ μ m.

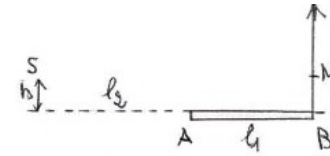
1- Expliquer pourquoi ce dispositif permet d'observer des interférences sur l'écran.

Quelles sont les sources secondaires S_1 et S_2 associées à ce dispositif ? Les sources secondaires sont-elles cohérentes ? On représentera le champ d'interférences.

2- On admet que la réflexion d'une onde sur un milieu plus réfringent s'accompagne d'un déphasage de π . Déterminer la différence de marche géométrique et la différence de phase en un point M de l'écran.

3- En déduire l'expression de l'éclairement sur l'écran. Quelle est la forme des

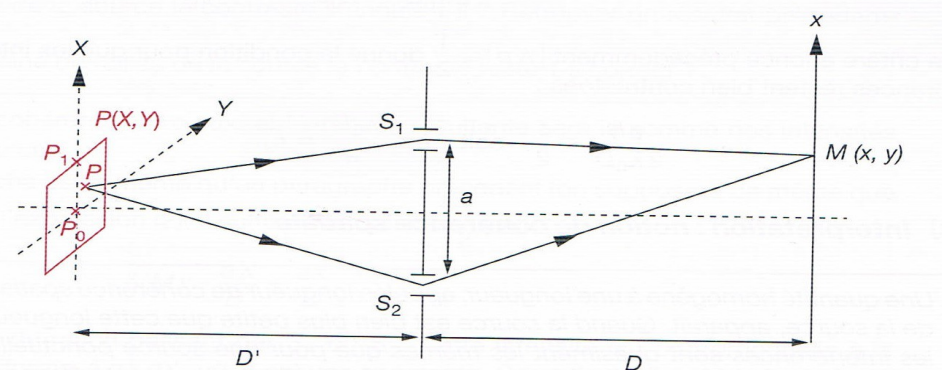
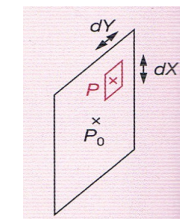
franges obtenues ? Que dire de la frange située en B. Calculer l'interfrange. Déterminer le nombre de franges brillantes et sombres visibles sur l'écran.



Exercice 9: Trous d'Young éclairés par une source étendue: calcul de l'intensité

On se propose d'effectuer le calcul précis de l'intensité observée sur l'écran pour une source

étendue (monochromatique) de dimensions h selon les directions x et y . On découpe par la pensée la source carrée en petites sources quasi ponctuelles de taille $dX \times dY$.



1- Les différentes sources ainsi considérées sont incohérentes, qu'en déduire pour le calcul de l'intensité ?

2- Soit $P(X, Y)$ un point de la source. Quelle est la différence de marche en un point $M(x, y)$ de l'écran pour un rayon issu de P ?

3- Montrer que l'intensité élémentaire $dI(M)$ créée au point M par le morceau situé entre

$[X, X + dX]$ et $[Y, Y + dY]$ est de la forme:

$$dI(M) = 2A dX dY \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \left(\frac{aX}{D'} + \frac{ax}{D}\right)\right) \right]$$

où A est une constante. On supposera que l'intensité d'un rayon issu d'un morceau d'une source lumineuse est proportionnelle à la surface de source considérée.

4- En intégrant sur toute la source, en déduire l'expression de l'intensité $I(x)$ sur l'écran.

On rappelle la formule de factorisation de fonctions sinusoidales:

$$\sin p - \sin q = 2 \sin \frac{p-q}{2} \cos \frac{p+q}{2} .$$
 On posera $Ah^2 = I_0$ et on définit la

fonction sinus cardinal $\text{sinc}(x) = \frac{\sin x}{x} .$

5- Interpréter le résultat obtenu : identifier la visibilité et le terme d'interférences.

6- Tracer les variations du contraste en fonction de la taille h de la source.

7- Pour quelle valeur h_0 de la taille de la source le contraste s'annule-t-il? Retrouver un résultat établi dans le cours .

Plus généralement, dans quel domaine de tailles de la source le contraste reste-t-il correct ?

Exercice 10: ex ouvert

Une source de lumière ponctuelle S présentant un profil spectral de largeur $\Delta \lambda$ et de longueur moyenne $\lambda_0 = 688 \text{ nm}$ éclaire un dispositif de trous d'Young dont la distance a varie à vitesse constante $V_0 = 100 \mu\text{m.s}^{-1}$ avec $a = 0$ à $t = 0 \text{ s}$. S est à égale distance des deux trous . L'écran est à une distance $D = 5,00 \text{ m}$, on place un capteur de lumière en un point M d'ordonnée $y = 1,0 \text{ cm}$. On obtient le graphe suivant, donnant l'intensité lumineuse en fonction de la date t exprimée en secondes .

Donner une estimation de la largeur spectrale $\Delta \lambda$.

