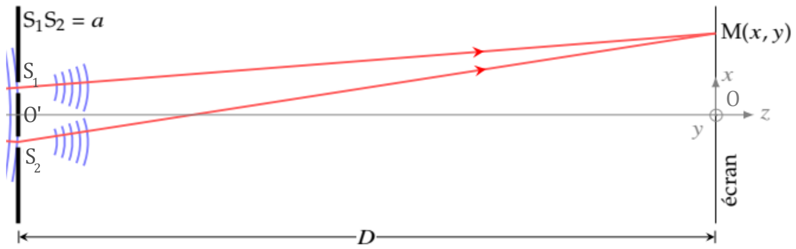
TD CHAP.OPT. 3 : INTERFERENCES PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE

APPLICATIONS DE COURS

Exercice 1. Trous d'Young et différence de marche IMPORTANT | 1 | 2 ou 3

1 - Etablir l'expression de la différence de marche simplifiée dans le cas du dispositif classique des trous d'Young représenté ci-contre, la source primaire monochromatique étant située sur la médiatrice des trous et l'écran d'observation, parallèle au plan percé des deux trous, étant à grande distance D du plan des trous.



2 - En déduire l'expression de l'ordre d'interférence et du déphasage.

3 - Justifier que les franges d'interférences sont des franges rectilignes verticales

4 - Rappeler la définition de l'interfrange et établir son expression dans le cas du dispositif des trous d'Young (voir schéma précédent).

Exercice 2. Exploitation de la figure d'interférence des trous d'Young 1 | 1

1 - C'est à partir d'une mesure de l'interfrange que Thomas Young parvint à évaluer, pour la première fois dans l'histoire des sciences, la longueur d'onde d'une radiation lumineuse. On mesure une interfrange de 0,24 mm avec $a =$ 1,0 mm et D = 40 cm. En déduire la longueur de la lumière utilisée ainsi que sa couleur.

2 - Si l'on veut que le phénomène soit visible à l'œil nu, l'interfrange doit être au moins de l'ordre du millimètre. Comment peut-on modifier le montage afin de se placer dans ce cadre d'observation. Commenter.

3 - Pourquoi perce-t-on en général deux trous de même taille autour de S_1 et S_2 ?

Exercice 3. Trous d'Young et ordre d'interférence IMPORTANT | 1 ou 2 | 1

Une source monochromatique S de longueur d'onde 680 nm éclaire des trous d'Young S_1 et S_2 distants de 0,20 mm. On observe la figure d'interférence sur un écran placé à 1,20 m du plan des sources. La source est sur la médiatrice de S_1 et S_2.

1- La frange centrale est-elle noire ou brillante ? Justifier.

2- À quelle distance de la frange centrale observe-t-on la 4$^{\text{ème}}$ frange sombre ?

Exercice 4. Montage de Fraunhofer IMPORTANT | 2 | 1 ou 2

On étudie le montage dit de Fraunhofer : une lentille convergente de distance focale f' est placée derrière des trous d'Young éclairés par une source ponctuelle et monochromatique située sur la médiatrice des trous. L'écran d'observation est placé dans le plan focal image de la lentille de projection.

1- Faire un schéma du montage en traçant la marche des deux rayons issus des sources secondaires S_1 et S_2.

2- Déterminer l'expression de la nouvelle différence $\delta_{2/1}(M)$ de marche en M en fonction de l'indice n_0, a, f', λ_0 et x. En déduire $I(x)$ et la nouvelle interfrange.

3- Quel peut être l'intérêt d'utiliser un tel montage ?

Exercice 5. Déplacements de la source ponctuelle 1 | 1

Considérons un montage classique de trous d'Young (voir exercice 1)

1- Décrire l'effet d'un déplacement de S selon l'axe (Oz) correspondant à l'axe orthogonal au plan des sources (il s'agit d'éloigner ou de rapprocher S du plan des trous)

2- Quel est l'effet de la translation de S selon la direction $(y'y)$ parallèlement aux franges ?

3- Le montage de Young présente l'inconvénient d'être assez peu lumineux ; pour augmenter la luminosité de la figure d'interférences, on peut remplacer le point source S par une **fente source parallèle à l'axe $(y'y)$**. Expliquer.

Exercice 6. Trous d'Young éclairés par une source décalée par rapport à l'axe optique perpendiculairement aux franges IMPORTANT | 2 | 2

Considérons deux trous d'Young éclairés par une source ponctuelle décalée par rapport à l'axe optique du montage à une abscisse $x = b$. Compte tenu de l'invariance par translation selon (Oy), on suppose pour alléger le calcul que la source, les trous d'Young et le point d'observation sont tous situés dans le plan $y = 0$.

1- Etablir l'expression de l'intensité résultante en un point M quelconque de l'écran.

2- Quelle est la conséquence de cette translation de la source sur la figure d'interférences ? En particulier, à quel endroit se situera la frange brillante centrale ?

3- Etablir l'expression de l'ordre d'interférence en un point M quelconque de l'écran.

4- Comment peut-on expliquer qualitativement le brouillage observé avec une source élargie dans la direction perpendiculaire aux franges ?

Exercice 7. Trous d'Young éclairés par deux sources ponctuelles IMPORTANT | 2 | 2 ou 3

Les trous d'Young sont maintenant éclairés par *deux* sources S et S' ponctuelles et monochromatiques de même longueur d'onde λ, situées respectivement en $x = 0$ et $x = b$. On note $p(M)$ et $p'(M)$ les ordres d'interférence relatifs à chacune des sources en un point M quelconque de l'écran.

1 - Indiquer qualitativement l'effet de la présence des deux sources sur la figure d'interférences.

2 - Exprimer l'éclairement en un point M de l'écran. Interpréter physiquement l'expression obtenue, en identifiant un terme d'interférences et un facteur de contraste.

3 - À quelle condition sur p et p' la figure d'interférences est-elle totalement brouillée ?

4 - Retrouver ce résultat à partir de l'expression de $I(x)$ et du calcul du contraste $\mathcal{C}$ de la figure d'interférences.

Exercice 8. Trous d'Young éclairés par une source large 2 | 2

Considérons deux trous d'Young éclairés par une fente source de largeur b centrée sur l'axe optique.

1 - Exprimer les ordres d'interférences $p_0(x)$ et $p_{b/2}(x)$ au point de l'écran d'abscisse x créés par les points de la source situés respectivement en $X = 0$ et $X = b/2$. En utilisant le critère de brouillage, en déduire la largeur de cohérence spatiale de la source.

2 - Un calcul exact permet de montrer que l'intensité au point M s'écrit

$$I(M) = I_0 \left[1 + \frac{\lambda d}{\pi a b} \sin\left(\frac{\pi a b}{\lambda d}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{a x}{D}\right)\right]$$

Identifier un terme d'interférences et un facteur de contraste. Déterminer la valeur de b correspondant à la première annulation du facteur de contraste. Comparer les deux approches.

Exercice 9. Fentes d'Young éclairées par un doublet spectral IMPORTANT | 2 | 2 ou 3

Considérons le montage des trous d'Young symétriques éclairé par un doublet spectral de longueurs d'onde λ et λ'. On supposera pour simplifier que les deux trous sont identiques et éclairés de manière similaire et que chacun des doublets a la même intensité : $I_1 = I_2 = I_0$ et $I_{0\lambda} = I_{0\lambda'} = I_0$. On posera $\lambda_{moy} = \frac{\lambda+\lambda'}{2}$ et $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$.

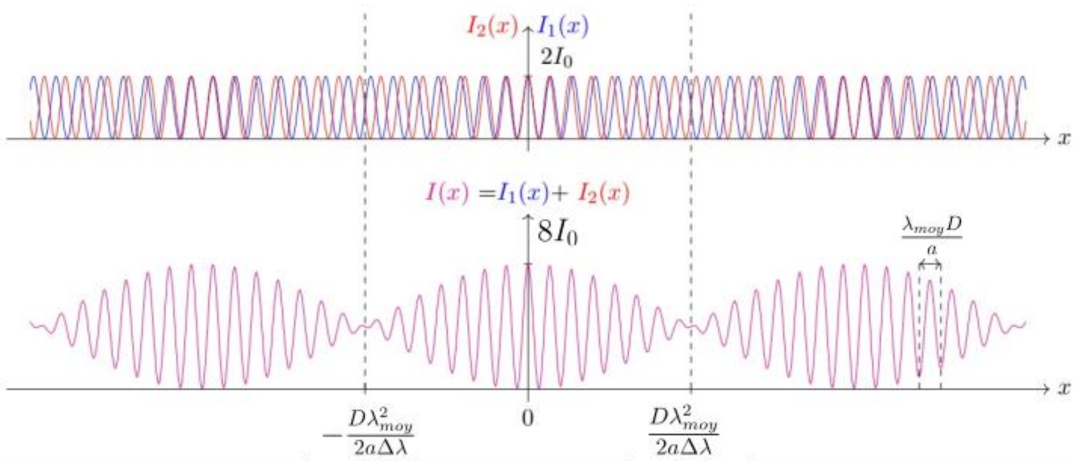
1- Montrer que l'intensité totale $I(x)$ peut se mettre sous la forme suivante :

$$I_{totale}(M) = 4I_0\left(1 + \cos\left(\pi \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{moy}^2 - \left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)^2}\frac{n_0 ax}{D}\right).\cos\left(2\pi\frac{\lambda_{moy}}{\lambda_{moy}^2 - \left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)^2}\frac{n_0 ax}{D}\right)\right)$$

2- Simplifier cette expression dans les conditions usuelles où $\lambda_{moy} \gg \frac{\Delta\lambda}{2}$ et la mettre sous la forme

$$I_{totale}(M)4I_0(1 + f(x)g(x)) \quad \text{avec} \quad f(x) = \cos\left(2\pi\frac{n_0 ax}{\lambda_{moy} D}\right) \quad g(x) = \cos\left(\pi\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{moy}^2}\frac{n_0 ax}{D}\right)$$

On obtient une variation de l'intensité de la forme ci-dessous



3- Justifier que $f(x)$ varie plus rapidement que $g(x)$ en comparant leurs périodicités spatiales. Interpréter l'expression obtenue permettant d'expliquer le phénomène de battements observé

4- Exprimer le contraste local autour d'un point M et montrer que $\mathcal{C}(x) = |g(x)|$. $g(x)$ est alors appelé degré de cohérence temporelle de la source

5- En quel point a-t-on annulation du contraste ? Calculer la variation d'ordre des deux longueurs d'onde en ce point. Commenter.

6- Retrouver que le brouillage correspond bien à une différence de marche qui devient de l'ordre de la longueur de cohérence ℓ_c de la source.

EXERCICES

Exercice 10. Trous d'Young 1 | 1 ou 2

1 - Une source monochromatique S éclaire deux trous fins S_1 et S_2 distants l'un de l'autre de 3 mm et distants de S de 50 cm. La source est sur la médiatrice de S_1 et S_2. On observe des interférences sur un écran E placé à 3 m du plan des trous S_1S_2 et on compte 6 franges brillantes de part et d'autre de la frange centrale O, occupant dans leur ensemble une longueur $\ell = 7{,}2$ mm. Calculer la longueur d'onde λ de la radiation émise par S.

2 - On réalise une figure d'interférences sur un écran placé à $D = 2{,}5$ m de 2 fentes d'Young S_1 et S_2 éclairées par une source monochromatique située sur la médiatrice de S_1 et S_2 à $d = 20$ cm de celles-ci. La distance entre S_1 et S_2 vaut $a = 0{,}5$ mm. Sur la figure des interférences, on compte 11 franges brillantes dans une largeur $L = 32$ mm centrée sur la frange centrale. Calculer la différence de marche en un point d'abscisse $x = 4{,}8$ mm. Est-il situé sur une frange particulière ?

3 - On réalise une expérience d'interférences avec deux trous d'Young dans l'air. On obtient une interfrange $i_0 = 2{,}0$ mm. Le dispositif est alors immergé totalement dans l'eau, d'indice $n = 1{,}33$. Quelle est la nouvelle valeur de l'interfrange ?

4 - On considère le dispositif des trous d'Young. Les deux trous sont identiques mais l'un des deux trous est recouvert d'une lame qui ne laisse passer que 50 % de l'intensité incidente, mais qui n'introduit aucune différence de marche notable. Quelles sont les modifications par rapport au montage usuel pour lequel les deux trous sont identiques ?

Exercice 11. Mesure de longueur d'onde par comparaison IMPORTANT | 1 | 2

L'appareil laser utilisé pour les expériences décrites est une source de lumière S monochromatique de longueur d'onde dans l'air $\lambda = 632{,}8$ nm qui émet un faisceau cylindrique de faible diamètre. Il éclaire des trous d'Young formant deux sources cohérentes pratiquement ponctuelles S_1 et S_2, distantes de a.

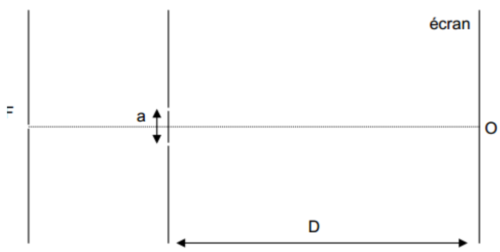
On observe des franges d'interférence sur un écran E, parallèle à P et distant de celui-ci de $D = 4$ m.

1 - La distance qui sépare le milieu de la frange centrale (comptée zéro) du milieu de la vingtième frange brillante est $L = 2{,}26$ cm. Calculez la distance a des deux sources S_1 et S_2.

2 - Le laser est utilisé pour la mesure de la longueur d'onde λ' de la lumière pratiquement monochromatique émise par une lampe à vapeur de sodium S'. Le dispositif optique précédent est éclairé simultanément par le faisceau laser et par la lampe S'. On constate que les franges centrales pour les deux radiations sont superposées et que la première coïncidence entre les deux systèmes de franges se produit pour la 14$^{\text{ème}}$ frange brillante de λ et la 15$^{\text{ème}}$ frange brillante de λ'. Calculer λ' dans l'air.

Exercice 12. Dispositif d'Young et doublet du sodium 1 | 1

F est une fente éclairée par une lumière monochromatique de couleur jaune (lampe à vapeur de sodium), venant éclairer un dispositif de trous d'Young. On donne : $a = 1{,}5$ mm et $D = 1{,}78$ m.



1- Qu'observe-t-on sur l'écran ?

2- On mesure sur l'écran, une largeur $d = 10{,}5$ mm pour les 15 interfranges. En déduire la longueur d'onde λ de la lumière.

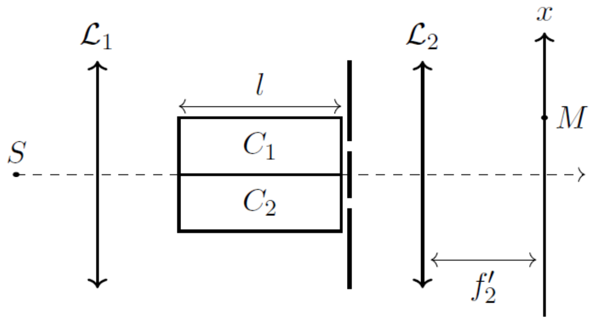
La fente F est maintenant éclairée par une lumière constituée de deux radiations monochromatiques de longueurs d'onde $\lambda_1 = 0{,}588$ µm et $\lambda_2 = 0{,}686$ µm.

4- Qu'observe-t-on sur l'écran ? À quelle distance de la frange centrale se produit la première coïncidence entre deux franges brillantes ?

Exercice 13. Interféromètre de Rayleigh – mesure de l'indice d'un gaz IMPORTANT | 2 | 1

On considère le montage ci-contre appelé interféromètre de Rayleigh, et destiné à mesurer l'indice d'un gaz.

Une source S ponctuelle et monochromatique est placée au foyer objet d'une lentille $\mathcal{L}_1$ convergente en amont des trous d'Young.



On place sur chacune des deux voies de l'interféromètre des cuves C₁ et C₂, transparentes et de même longueur l. Ces cuves sont initialement remplies d'air dans les mêmes conditions.

Une lentille $\mathcal{L}_2$ convergente de focale f_2' permet de projeter la figure d'interférence obtenue sur un écran ou un détecteur fixe placés au foyer image.

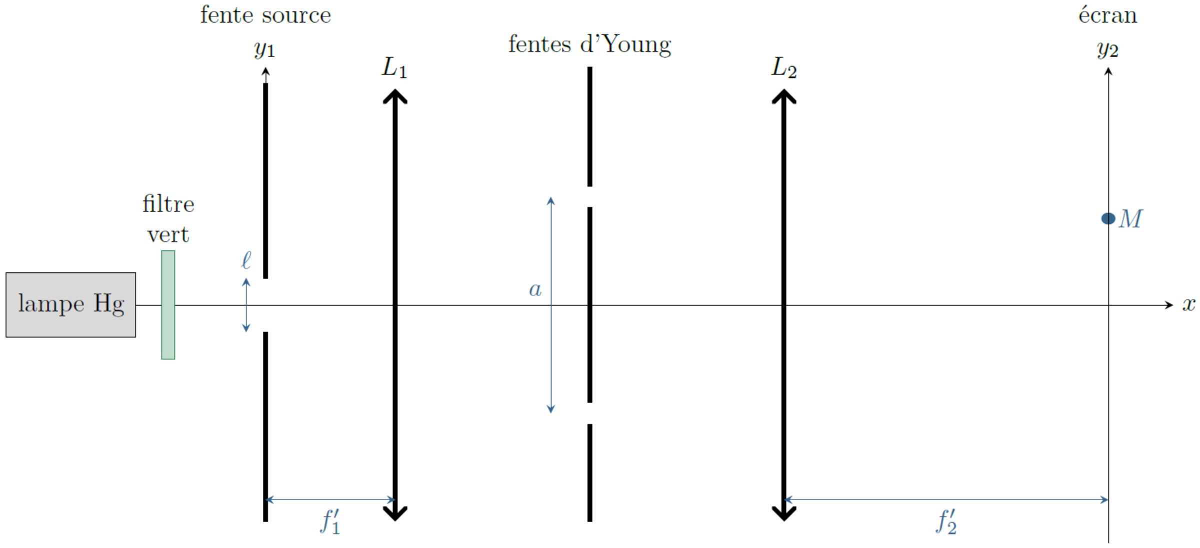
1- On fait progressivement le vide dans la cuve C_2, ce qui entraine un déplacement des franges d'interférence ; dans quel sens se déplacent les franges sur l'écran ? établir l'expression de la nouvelle position x_0 de la frange centrale en fonction des caractéristiques du système.

2- On remplit ensuite C_2 par du gaz ammoniac. Le déplacement total des franges (après vide + remplissage) est de 17 franges vers le bas. Déterminer la différence des indices de l'air et du gaz.

Données : $l = 10$ cm; $\lambda = 589$ nm

Exercice 14. Fentes d'Young en éclairage parallèle *(E. Thibierge)* IMPORTANT | 1 | 2

On étudie le dispositif schématisé figure 1, dans lequel une lampe au mercure suivie d'un filtre vert éclaire un dispositif de fentes d'Young de grande hauteur dans la direction z. La taille apparente de la lampe source est imposée par une fente de largeur réglable ℓ : l'ensemble lampe, filtre et fente source est équivalent à une source étendue monochromatique de longueur d'onde λ_0. Cette source est placée dans le plan focal objet d'une lentille L_1, ce qui permet d'éclairer les fentes d'Young en lumière parallèle. Les interférences sont observées dans le plan focal image d'une lentille L_2. Le dispositif est supposé invariant par translation le long de l'axe z. On définit deux axes y_1 dans le plan de la fente source et y_2 dans le plan de l'écran.



1- Tracer sur la figure 1 la marche des deux rayons issus de l'extrémité haute de la source qui interfèrent au point M.

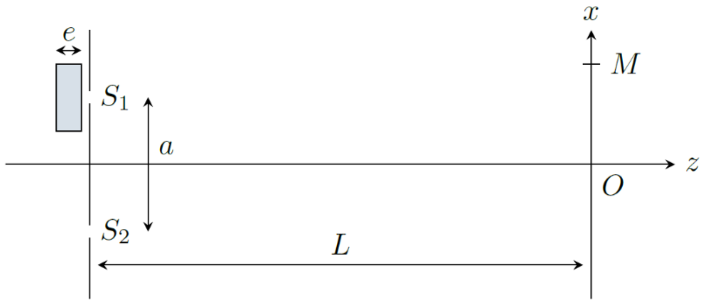
2- Etablir l'expression de l'ordre d'interférence pour les rayons issus d'un point d'ordonnée y_1 de la fente source et qui interfèrent au point d'ordonnée y_2 de l'écran en fonction des différentes grandeurs caractéristiques du système.

3- En déduire l'expression de la largeur de cohérence spatiale de la fente source.

Exercice 15. Homogénéité d'un indice (Oral Banque PT) IMPORTANT | 2 | 2

Un dispositif de trous d'Young est utilisé afin de vérifier la qualité de l'homogénéité d'une lame mince transparente.

Le dispositif est éclairé en incidence normale par une onde plane, monochromatique, de longueur d'onde λ, issue d'une source ponctuelle S placée au foyer objet d'une lentille mince convergente. Les deux trous sont distants de a. L'observation se fait sur un écran parallèle au plan des trous situé à grande distance de ceux-ci.



1 - En l'absence de la lame, tracer la marche des deux rayons lumineux issus de la source et interférant en $M(x, y, 0)$ puis déterminer la différence de marche $\delta = (SM)_2 - (SM)_1$. En déduire l'interfrange i, rappeler l'expression de l'éclairement $E(x)$ sur l'écran, ainsi que la figure d'interférences observée.

2 - La lame d'indice n, supposée pour l'instant homogène, est à présent placée devant le trou S_1 : déterminer la nouvelle différence de marche en M.

3 - La lame n'est plus supposée homogène. On constate expérimentalement en déplaçant la lame parallèlement aux trous de telle sorte que chaque point de la lame ait été éclairé le défilement en O de quatre interfranges au maximum (défilement entre les valeurs minimale et maximale de l'indice). Déterminer, en fonction de λ et e, l'écart $\Delta n = n_{max} - n_{min}$ entre les valeurs extrêmes de l'indice de réfraction de la lame. Calculer $\frac{\Delta n}{n}$ et conclure.

Données : $\lambda = 579{,}0\ \mathrm{nm}$, $e = 2{,}000\ \mathrm{mm}$ et $n = 1{,}598$.

Exercice 16. Mesure de l'épaisseur d'une lame IMPORTANT | 2 | 1

On considère le dispositif des trous d'Young, éclairé en incidence normale par une source ponctuelle de lumière blanche, suivie d'un filtre coloré permettant de sélectionner finement une composante spectrale de longueur d'onde $\lambda_0 = 500\ \mathrm{nm}$ (qu'on supposera monochromatique). La distance entre les trous S_1 et S_2 est $a = 2{,}00\ \mathrm{mm}$ et l'écran d'observation se trouve à distance $D = 3{,}00\ \mathrm{m}$ du plan contenant les deux trous. L'ensemble du dispositif est placé dans l'air, dont on suppose l'indice égal à 1. Un point M de l'écran est repéré par ses coordonnées (x, y), l'axe (Ox) étant dans la direction des deux trous et le point O, origine des coordonnées, situé à égale distance des deux trous.

1 - Quelle est l'expression de la différence de marche $\delta = (S_2M) - (S_1M)$ entre les ondes interférant en un point M de l'écran? En déduire l'allure de la figure d'interférences observée sur l'écran. Calculer la valeur numérique de l'interfrange. Où se situe la frange d'ordre $p = 0$, correspondant à $\delta = 0$?

2 - On rajoute devant le trou S_1 une lame d'indice $n = 1{,}4$ et d'épaisseur constante e. On considère que la lumière traverse cette lame en incidence normale et on néglige toute réflexion de la lumière sur ses faces. Exprimer la nouvelle différence de marche en M.

3 - Où se situe maintenant la frange d'ordre $p = 0$? Exprimer son déplacement en unité d'interfrange. Vérifier que cela revient à exprimer la variation Δp de l'ordre d'interférences p due à l'introduction de la lame.

4 - On retire à présent le filtre coloré pour éclairer en lumière blanche. On observe sur l'écran des franges irisées. Expliquer pourquoi. Justifier l'intérêt d'utiliser momentanément une source de lumière blanche dans cette expérience.

5 - On estime le décalage de la frange d'ordre $p = 0$ égal à 6 interfranges, l'interfrange étant mesurée en présence du filtre coloré, donc en lumière monochromatique à $\lambda_0 = 500$ nm. En déduire une mesure de l'épaisseur e de la lame.

---

6 - Interférométrie stellaire inspiré oraux banque PT *(E. Thibierge)* IMPORTANT | 1 | 2 ou 3

Le Très Grand Télescope de l'Observatoire européen austral (ESO), en anglais Very Large Telescope (VLT), est un ensemble de quatre télescopes principaux et quatre auxiliaires. Il est situé à l'Observatoire du Cerro Paranal dans le désert d'Atacama, au nord du Chili, à une altitude de 2635 m.

En combinant deux télescopes, il est possible de le faire fonctionner comme un interféromètre. Par un complexe jeu de miroirs et de fibres optique, les ondes issues de l'étoile observée captées par les deux télescopes sont recombinées dans le laboratoire central de l'installation, où elles interfèrent. L'étude de la figure d'interférences générée donne alors accès à diverses informations sur l'étoile étudiée. Pour faire varier la différence de marche, les deux télescopes peuvent coulisser sur des rails longs de 65m et rectilignes à mieux que 25 µm, ce qui permet de les séparer d'une distance allant jusqu'à 200 m.

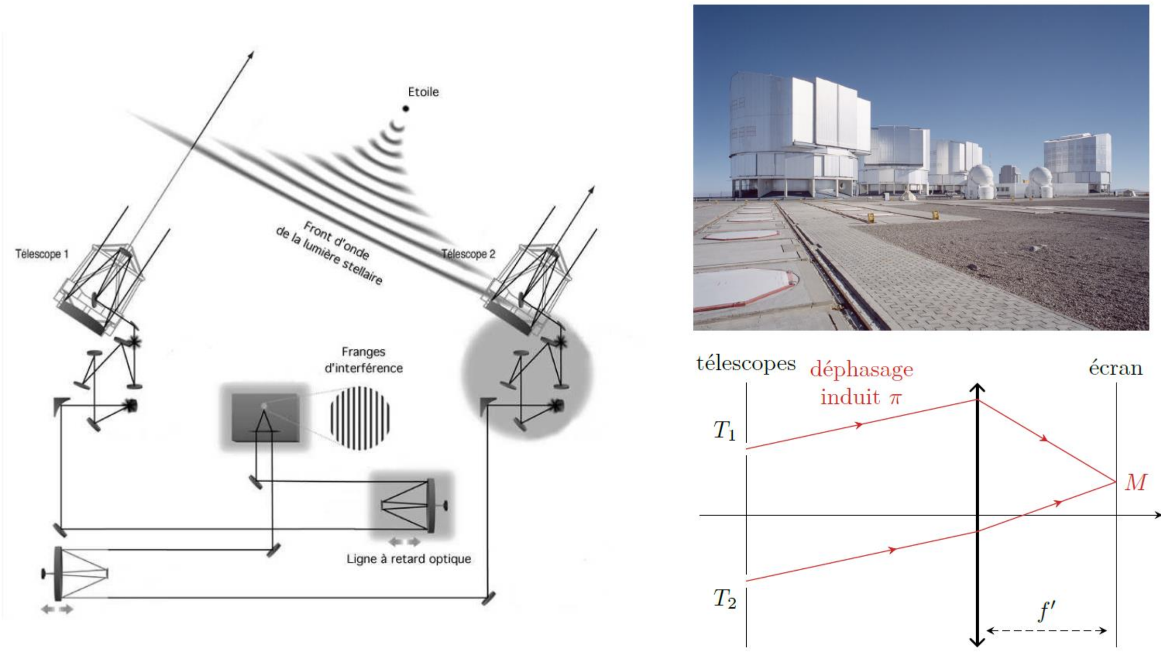


Figure 2 – **Schéma de principe et photo du VLT.** Figure de gauche extraite de la thèse de Pierre Kervella.

Une modélisation équivalente du dispositif est celle d'un dispositif de trous d'Young, séparés d'une distance a variable, produisant des interférences observées dans le plan focal image d'une lentille équivalente. Les miroirs rencontrés sur le chemin des rayons réels induisent un déphasage additionnel de π entre les deux rayons.

Considérons dans un premier temps que l'interféromètre observe une étoile E_1 ponctuelle située à l'infini sur l'axe optique du montage, qui émet une radiation infra-rouge monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 2{,}0$ µm.

1 - Les rayons reçus par les deux télescopes sont-ils cohérents ? Etablir l'expression de la différence de chemin optique entre les deux rayons.

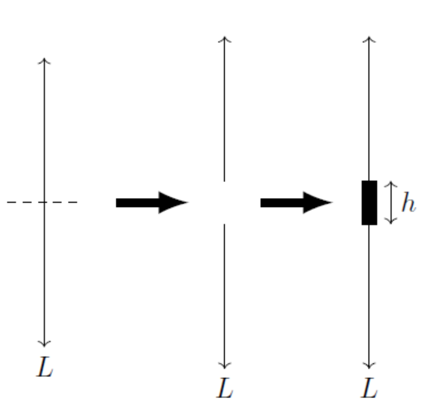
2 - En déduire l'intensité en tout point de l'écran, dont on notera I_0 la moyenne.

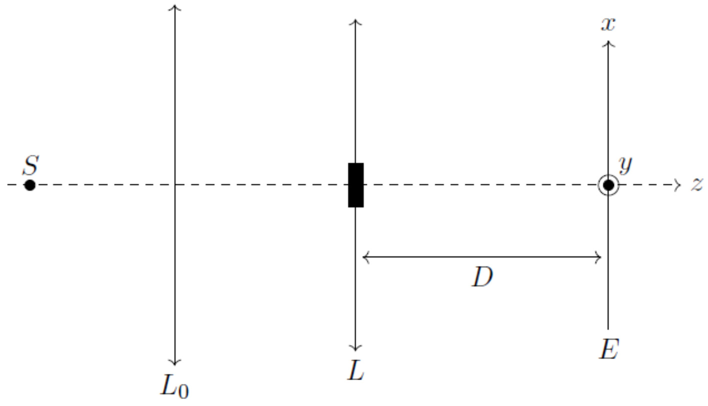
Cette étoile est en fait l'une des composantes d'une étoile double, c'est-à-dire d'une paire d'étoiles en orbite l'une autour de l'autre. Les étoiles E_1 et E_2 sont supposées identiques, les rayons issus de E_2 arrivant sur l'interféromètre en formant un angle α avec l'axe optique.

3 - Les rayons issus de E_1 et E_2 sont-ils cohérents ? Calculer l'intensité en tout point de l'écran. Commenter.

4 - Proposer une méthode de détermination de l'angle α reposant sur les brouillages de la figure d'interférences. En appliquant cette méthode, quelle serait la limite de résolution angulaire du télescope, c'est-à-dire le plus petit écart α_{min} qu'il serait en mesure de détecter ?

Exercice 17. Bilentille de Billet ***d'après Mines*** IMPORTANT **| 2 | 1 ou 2**





Une bilentille est composée d'une lentille coupée sur un diamètre, à laquelle on ajoute un cache opaque de hauteur $h = 2\ mm$ (voir figure 1). Dans le montage de la figure 2, une source lumineuse S de longueur d'onde $\lambda = 589{,}3$ nm est placée au foyer d'une lentille L_0. On ajoute ensuite la lentille L de focal $f_0 = 20$ cm, située à une distance $D = 50$ cm d'un écran E.

1) Reproduire le schéma du montage en ajoutant le trajet de l'ensemble des rayons passant par la partie supérieure de la bilentille. Faire de même pour les rayons passant par la partie inférieure. En déduire la largeur du domaine d'interférence.

2) Exprimer $I(x)$ l'intensité lumineuse en un point M situé sur l'écran dans le domaine d'interférence à l'abscisse x, en fonction de I_0 une grandeur que l'on définira. Donner le nombre d'interfranges visibles dans le domaine d'interférence.

3) En réalité, la source émet un doublet de longueurs d'ondes $\lambda_1 = 589{,}0$ nm et $\lambda_2 = 589{,}6$ nm. Discuter des conséquences en introduisant des grandeurs appropriées

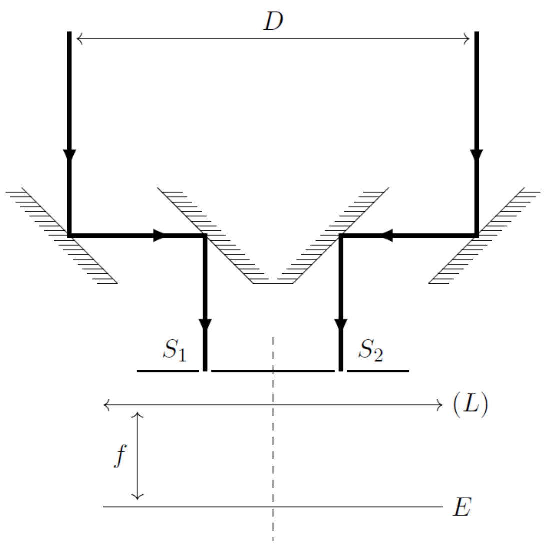
---

Exercice 18. Mesure interférométrique du diamètre d'une étoile **2 ou 3 | 2**

1 - Une étoile éclaire deux trous d'Young distants de d, munis d'un filtre sélectionnant la longueur d'onde $\lambda = 0{,}5$ µm. On observe les interférences dans le plan focal d'une lentille convergente de distance focale $f' = 1$ m. Quelle est l'interfrange si $d = 20$ cm?

2 - L'étoile a en réalité un diamètre angulaire α. On fait croître d. Quelle est la première valeur d_1 de d qui permet d'observer un brouillage des franges ? (On fera un raisonnement qualitatif tenant compte de la largeur de l'étoile sans se soucier de son caractère circulaire).

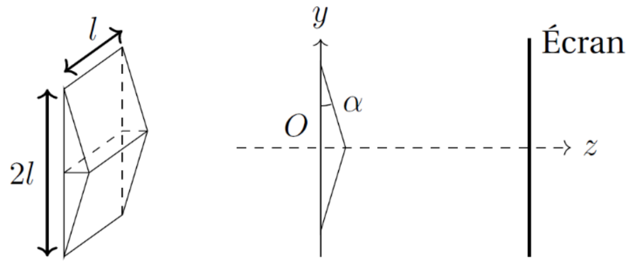
A.N. : pour Bételgeuse, on a $\alpha = 2{,}3.10^{-7}$rad. Calculer d_1 et commenter.



3 - Michelson utilisait le dispositif ci-contre, les miroirs étant orientés à 45° par rapport à l'axe optique. Que devient l'interfrange ? Pour quelle première valeur D_i de D observe-t-on le brouillage des franges ? Commenter.

Exercice 19. Biprisme de Fresnel 2 | 2 ou 3

On appelle biprisme de Fresnel le dispositif constitué de deux prismes identiques accolés par leur base commune de dimension $2l$ et l, d'angle au sommet α très faible (de l'ordre de quelques minutes d'arc) et d'indice n pour la longueur d'onde utilisée.



Le biprisme est éclairé par un faisceau de lumière parallèle à Oz et de longueur d'onde λ_0 dans l'air.

On donne : $\lambda_0 = 0{,}6$ µm, $\alpha = 0{,}6°$, $n = 1{,}5$ et $l = 1$ cm

La largeur de base du biprisme est négligeable devant les autres dimensions du système.

1) Montrer qu'un faisceau incident parallèle à Oz subit de la part de chaque prisme une déviation de $(n-1)\alpha$.

2) Représenter le domaine d'interférence et déterminer ses dimensions selon Oz et Oy.

3)**a**) Déterminer l'interfrange i dans un plan d'observation (E) parallèle à Oy.

On pourra écrire les vibrations scalaires sous la forme : $s(M,t) = A\cos(\omega t - \vec{k}.\vec{r})$ avec $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda}\vec{u}$

3.**b**) Quel est le nombre maximum de franges que l'on peut observer; préciser la position correspondante sur (E)

Exercice 20. Largeur d'une raie spectrale IMPORTANT | 2 | 1

Soit une raie spectrale centrée sur $\lambda = 589{,}3$ nm. Avec un dispositif interférentiel, la plus grande différence de marche permettant d'observer les interférences est $\delta = 0{,}58$ mm.

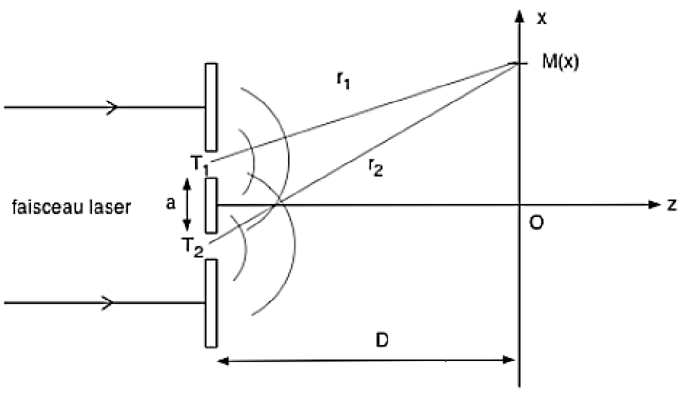
1) Évaluer la largeur de la raie.

2) Quel est l'ordre d'interférence maximal ?

Exercices complémentaires

Exercice 21. Trous d'Young et expression de l'interfrange 1 | 0

La lumière rouge d'un laser He-Ne ($\lambda = 632{,}8\ nm$) éclaire un écran muni de deux petits trous T_1 et T_2 séparés par la distance $a = 0{,}50$ mm.



Une figure d'interférence apparaît sur un écran situé à $D = 2{,}0\ m$.

1) Au point O, la frange est-elle brillante ou sombre ?

2) Les franges brillantes sont équidistantes. La distance qui les sépare est appelée interfrange et notée i. On cherche à connaître les paramètres dont peut dépendre i (nature de la source, distances a, D) et à donner une expression parmi les propositions suivantes :

1. $i = \frac{\lambda D}{a}$ **2.** $i = \lambda D^2$ **3.** $i = \frac{aD}{\lambda}$ **4.** $i = \frac{\lambda a}{D}$

a) Par analyse dimensionnelle, éliminer une ou plusieurs propositions.

b) En réalisant plusieurs expériences, où l'on fait varier un seul paramètre en laissant les autres identiques, on effectue les constatations suivantes :

• L'utilisation d'un laser vert montre que l'interfrange diminue.

• Si on éloigne l'écran, l'interfrange augmente.

• Les deux trous étant rapprochés de l'axe, les franges s'écartent les unes des autres.

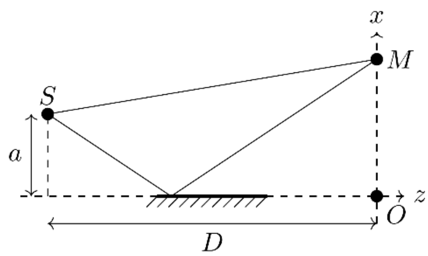
En utilisant ces résultats expérimentaux, trouver l'expression correcte de l'interfrange en justifiant le raisonnement. Faire l'application numérique.

c) Déterminer les positions $x_{S,m}$ des franges sombres en fonction de i et d'un entier relatif m.

Exercice 22. Franges d'Young avec une source étendue **2 | 2 ou 3**

On réalise l'expérience des franges d'Young en lumière parallèle à l'aide de deux fentes diffractantes infiniment fines distantes de $2a = 0{,}5$ mm. La fente source, de largeur $2s = 1$ mm, est placée dans le plan focal d'une lentille de distance focale f', placée devant les fentes d'Young. Une deuxième lentille, placée derrière, permet d'observer les franges sur un écran placé dans le plan focal image. Calculer la valeur minimale de f pour que la visibilité $V(\delta)$ des franges soit supérieure à 0,9 pour une longueur d'onde $\lambda = 0{,}663$ µm.

Exercice 23. Etude des franges du miroir de Loyd **2 ou 3 | 3**



On réalise l'expérience du miroir de Lloyd. La source lumineuse S est située à la distance a du plan du miroir. On réalise une observation en un point M situé sur un écran placé à grande distance D de S, repéré par la coordonnée x.

1) La source S est monochromatique (de longueur d'onde λ) et ponctuelle. On admet que la réflexion de la lumière sur le miroir s'accompagne, dans les conditions de polarisation utilisées ici, d'un déphasage de π.

1.a) Déterminer l'éclairement et le contraste en M. Déterminer l'interfrange i et la nature de la frange en O. Pourquoi cette frange est-elle fictive ?

1.b) Montrer qu'on peut remplacer S par une fente très fine mais assez longue sans changer la nature de l'interférogramme. On précisera la disposition de cette fente. Quel est l'intérêt d'utiliser une fente ?

2) On remplace S par une telle fente, très longue mais de largeur finie s. Déterminer l'éclairement et le contraste en M. Commenter.

3) S est à nouveau très fine mais émet dans un spectre continu de longueurs d'onde λ ou de nombres d'onde σ avec l'intensité lumineuse émise par unité de nombre d'onde $\frac{dI}{d\sigma} = I_0$ si $\sigma \in \left[\sigma_0 - \frac{\Delta\sigma}{2} ; \sigma_0 + \frac{\Delta\sigma}{2}\right]$ et $\frac{dI}{d\sigma} = 0$ sinon. Déterminer l'éclairement et le contraste en M.

Exercice 24. Couleurs interférentielles **2 | 2**

La vision des couleurs par l'œil humain se fait grâce à la présence sur la rétine de trois types de photorécepteurs (les cônes) sensibles dans trois gammes spectrales différentes (la gamme du bleu, du vert et du rouge). On parle de vision trichromique.

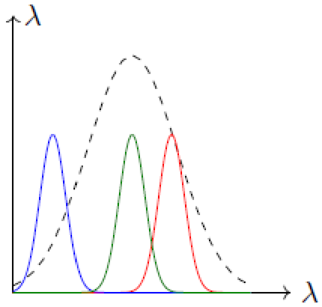


FIGURE 1 – Sensibilité de l'œil humain (pointillés) et des trois types de cônes

Toute teinte est interprétée par le cerveau en fonction de la quantité de lumière perçue par ces trois types de photorécepteurs. Par exemple, une lumière à 650 nm n'excite quasiment que les cônes sensibles au rouge et est ainsi perçue rouge. Une lumière à 570 nm excite essentiellement les cônes sensibles au vert et au rouge, ce qui est interprété comme une couleur jaune. Une lumière qui contient suffisamment de composantes de longueurs d'ondes différentes pour exciter les trois types de cône de façon équivalente est perçue blanche, que son spectre soit continu ou non.

1) Rappeler la condition d'interférences destructives reliant la différence de marche δ à la longueur d'onde dans le vide λ_0.

2) Déterminer les valeurs de λ_0 appartenant au domaine du visible et vérifiant cette relation pour une différence de marche $\delta = 3$ µm.

3) En considérant que l'œil ne perçoit pas de teinte sensible (c'est-à-dire voit du blanc) dès que le spectre de la lumière contient plus de trois cannelures (longueurs d'onde éteintes par interférences) dans la gamme du visible, en déduire que la différence de marche maximale permettant d'obtenir une teinte interférentielle sensible à l'œil est proche de 3 µm.

En identifiant cette différence de marche à la longueur de cohérence temporelle L_c de la lumière blanche, en déduire l'élargissement spectral $\Delta\lambda$ correspondant.

Pourquoi est-il plus faible que la largeur spectrale totale du spectre visible ?

4) En incidence normale, soit sous un angle d'incidence $\theta \approx 0$, les interférences sur une bulle de savon d'épaisseur e et d'indice n se font avec une différence de marche $\delta = 2ne + \frac{\lambda_0}{2}$; cette différence de marche tient compte d'un déphasage de π dû à la réflexion vitreuse sur la face avant de la bulle. Donner l'ordre de grandeur de l'épaisseur e maximale donnant un reflet coloré visible à sa surface.

Donnée : l'indice de l'eau savonneuse est légèrement supérieur à celui de l'eau, avec $n \approx 1{,}4$.

Exercice 25. Fentes d'Young et spectre cannelé ***d'après Mines Telecom*** **2 ou 3 | 1**

On éclaire le dispositif suivant par de la lumière blanche. Un trou se situe au point M, à x = 4 mm de l'axe des fentes. On place un prisme en sortie du dispositif.

Combien y a-t-il de raies sombres à la sortie du prisme ?

On donne $L = 1$ m et $b = 6$ mm.