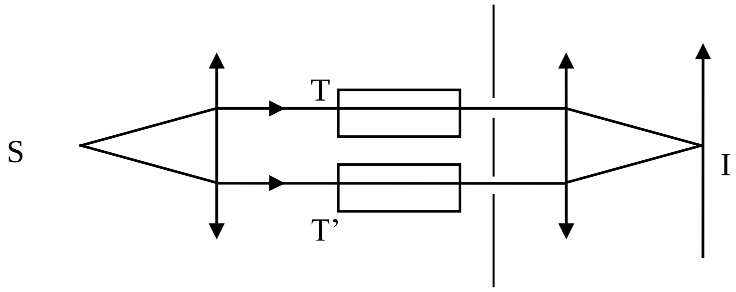
TD – Division du front d'onde – Young

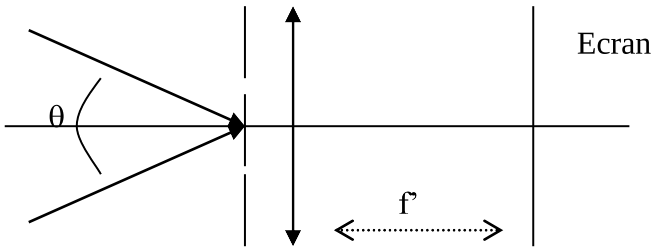
Exercice 1 : Mesure de l'indice de l'air avec l'interféromètre de Rayleigh
Conditions Fraunhofer et application intéressante
Réinvestir cas lame de verre du cours



L'interféromètre de Rayleigh, dérivé du dispositif d'Young, est représenté ci-contre.
Lorsque les tubes T et T' sont remplis d'air dans les conditions normales, le montage est symétrique et l'on observe une frange brillante au centre I de l'écran.
La source S émet la radiation λ = 577 nm, la longueur commune des tubes est L = 0,200 m.
T' étant toujours rempli d'air, on fait progressivement le vide dans T.

1. Dans quel sens est translatée la figure d'interférence ?
2. Pendant le pompage, 101 franges brillantes défilent en I et, lorsque la pression dans T est quasi-nulle, on observe en I une frange sombre. En déduire l'indice de l'air dans les conditions normales.
3. Quelle variation d'indice minimale peut-on détecter avec ce système ?
Réponse : n = 1,000293

Exercice 2 : Interféromètre stellaire de Michelson et Fizeau
Utilisation du brouillage des franges pour mesurer une distance entre deux étoiles
Réinvestir le cas du cours sur les interférences en présence de deux source incohérentes



Un télescope est modélisé simplement par une lentille convergente et un écran, placé à f' de l'acran. On place devant l'objectif du télescope de focale f' = 41,45 m, un écran percé de deux trous S1 et S2 distants de a. On est dans l'air (n=1). On observe avec cet instrument deux étoiles très proches S1 et S2, de même intensité, émettant une vibration quasi-monochromatique de longueur d'onde λ = 550 nm. Le diamètre apparent de ce système d'étoile double est θ.

1. Quelle est l'éclairement E due à l'étoile S1 en un point M du plan focal du téléscope ? Même question pour l'éclairement E' du à l'étoile S2. Quelle est l'intensité totale en M ?

2. On constate, en augmentant a à partir de zéro, que l'éclairement devient uniforme pour la valeur a_1. Montrer qu'il est possible d'en déduire θ. Calculer la valeur minimale de θ qui peut être mesurée, sachant que la distance a peut atteindre la valeur 6,1 m à l'aide d'un système à quatre miroirs.
Réponses : $I = 4I_0\,(1 + \cos(\pi a\theta/\lambda).\cos(2\pi ax/\lambda f'))$; $\theta = 0{,}009''$.

3. En 1920, Michelson a réussi à mesurer un diamètre angulaire de $\varepsilon = 2\,10^{-7} rad$ grâce au dispositif suivant (image ci-après) :
- composé de 4 miroirs plans, les deux des extrémités étant mobiles
- et d'un télescope de Newton (miroir concave + miroir plan + oculaire)

Expliquer qualitativement en quoi ce dispositif est équivalent au dispositif initial. Identifier notamment quelle partie de l'appareil joue le rôle des fentes d'Young.

4. Expliquer qualitativement l'intérêt de cette méthode de mesure interférométrique, sachant que l'observation directe est limitée par les turbulences atmosphériques à une résolution de l'ordre de la seconde d'arc (sans optique adaptative).

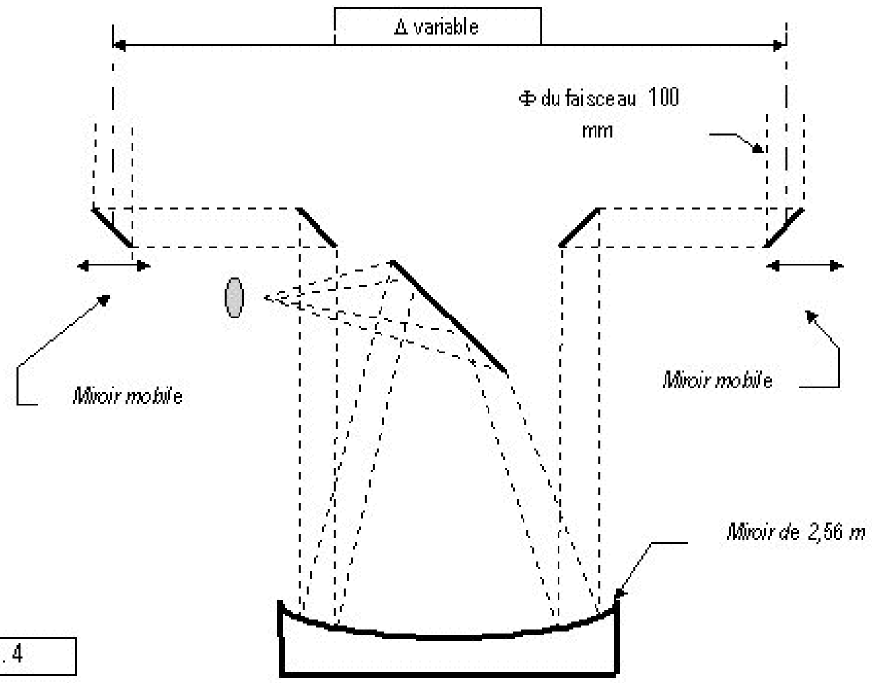
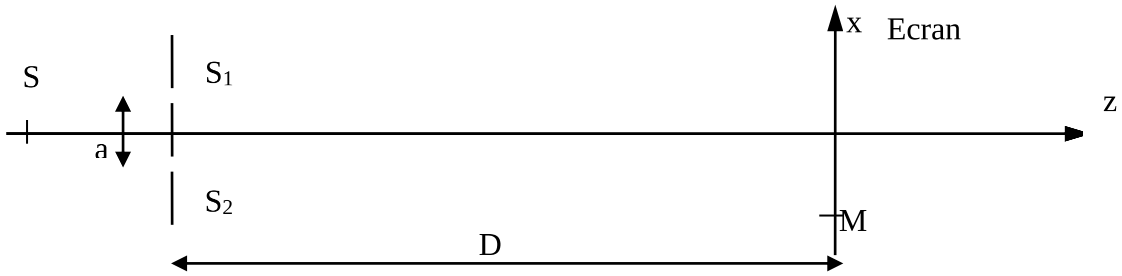


Fig. 4

<u>Exercice 3 : Brouillage des franges par extension spatiale de la source</u>

Calcul complet des conditions de brouillage par extension spatiale

On réalise une expérience d'interférences avec des trous d'Young. La source est une fente de largeur 2b (selon verticale sue schéma, position d'un point de la source repérée par coordonnée x_S). Elle est infiniment longue dans la direction y. Le milieu de la fente source est situé au point S de la figure. La fente source est située à la distance d du plan des deux trous distants de a. La lumière monochromatique a pour longueur d'onde λ. On observe le phénomène sur un écran placé à la distance D du plan des trous.



On découple la fente en un ensemble de fentes élémentaires, de largeur dx_S. Chaque fente élémentaire émet un éclairement élémentaire $dI = i_0^2\ dx_S$. On rappelle que les différents points de la source émettent de façon incohérente.

AN : d = 10 cm ; λ = 0,5 µm ; a = 1 mm.

1. Exprimer en M sur l'écran l'éclairement dû à la fente source élémentaire située en x_S

2. En déduire l'éclairement en un point $M(x, y)$ de l'écran, dû à la totalité de la fente source. On cherchera à faire apparaître la fonction $\sin_c(\boldsymbol{X}) = \frac{\boldsymbol{sin(X)}}{\boldsymbol{X}}$

3. Exprimer le contraste (à l'échelle d'une alternance frange brillante / frange sombre) en fonction de la largeur de la fente source : $C(b)$.

4. En partant de $b = 0$, on élargit progressivement la fente source. Quelle est la valeur de b provoquant la première annulation du contraste (« 1^{er} brouillage ») ? Retrouve-t-on le critère $\Delta p = \frac{1}{2}$?