



Exercice 1 Bifentes

Un ensemble de bifentes d'Young F_1 et F_2 infiniment fines et séparées d'une distance $a = 0,1$ mm sont éclairées par une fente source primaire S émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 650$ nm équidistante des deux fentes F_1 et F_2 . On observe la figure d'interférences sur un écran parallèle au plan formé par les bifentes et distant de $D = 1,0$ m de celles-ci.

1. Faire un schéma de la situation
2. Déterminer l'expression de l'éclairement sur l'écran
3. En déduire la valeur de l'interfrange
4. Juste derrière les bifentes on place une lentille convergente de focale $f' = 30$ cm. On observe la figure d'interférences sur un écran placé dans le plan focal image de la lentille. Quelle est maintenant la valeur de l'interfrange?

Exercice 2 Contraste

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'éclairement incident et qui n'introduit aucune différence de marche notable.

1. Écrire la formule de Fresnel dans ce cas.
2. L'interfrange est-il modifié par la présence de la lame ?
3. Calculer la valeur du contraste de la figure d'interférences.

Exercice 3 Translation de la source dans un montage de trous d'Young

Des trous d'Young d'écartement $a = 0,50$ mm sont éclairés par une source ponctuelle de lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 633$ nm équidistante des deux trous et située à une distance $d = 1,6$ m devant eux. La figure d'interférence est observée sur un écran situé à $D = 2,0$ m après les bitrous.

1. Rappeler l'expression de la différence de marche en un point M de l'écran.
2. Calculer l'ordre d'interférences $p(M)$ pour M ayant pour coordonnée $x = 1,5$ cm sur l'écran.
3. Combien y a-t-il de franges sombres entre M et le point O_1 d'ordre $p = 0$?
4. La source S est translatée suivant l'axe (Ox) , dans le sens des x négatifs, d'une longueur $b = 1,1$ cm. Exprimer la nouvelle différence de marche δ' dans ce cas, et calculer la nouvelle valeur de l'ordre d'interférences en M , notée $p'(M)$. Dans quel sens la figure d'interférences a-t-elle été translatée ?

Exercice 4 Introduction d'une lame transparente

Un système de fentes d'Young F_1 et F_2 (parallèles à Ox), éloignées de $a = 1,0$ mm suivant (Oy) est éclairé par une lampe à vapeur de sodium de longueur d'onde $\lambda = 589$ nm, On observe les interférences sur un écran à une distance $D = 1,2$ m de F_1 et F_2 .

1. Déterminer l'expression de la différence de marche sur l'écran.
2. Exprimer puis calculer l'interfrange i .
3. On place devant F_1 une lame mince de verre d'indice $n = 1,5$ et d'épaisseur $e = 5$ μm .



4. Montrer que l'interfrange est inchangée mais qu'il y a un décalage des franges, qu'on exprimera en fonction de e et n . Calculer le décalage des franges.

Exercice 5 Un autre exemple de dispositif diviseur du front d'onde : Miroir de Lloyd

Une fente source S est disposée à une hauteur $h = 1,5 \text{ mm}$ au dessus d'un miroir plan dont les bords rectilignes A et B sont parallèles à la fente. Avec un objectif de microscope de focale $f' = 4 \text{ mm}$, on forme une image du plan (P) passant par B (perpendiculaire au miroir) sur un écran (E) situé à une distance $d = 16 \text{ cm}$ de l'objectif. La fente est éclairée en lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$.

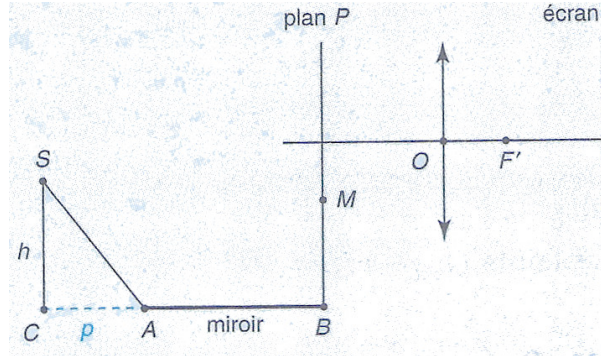


FIGURE 1 – Miroir de Lloyd

Calculer l'interfrange dans le plan (P) puis sur l'écran

Données : $AB = l = 5 \text{ cm}$ $CA = p = 15 \text{ cm}$

Exercice 6 Spectre cannelé en lumière blanche

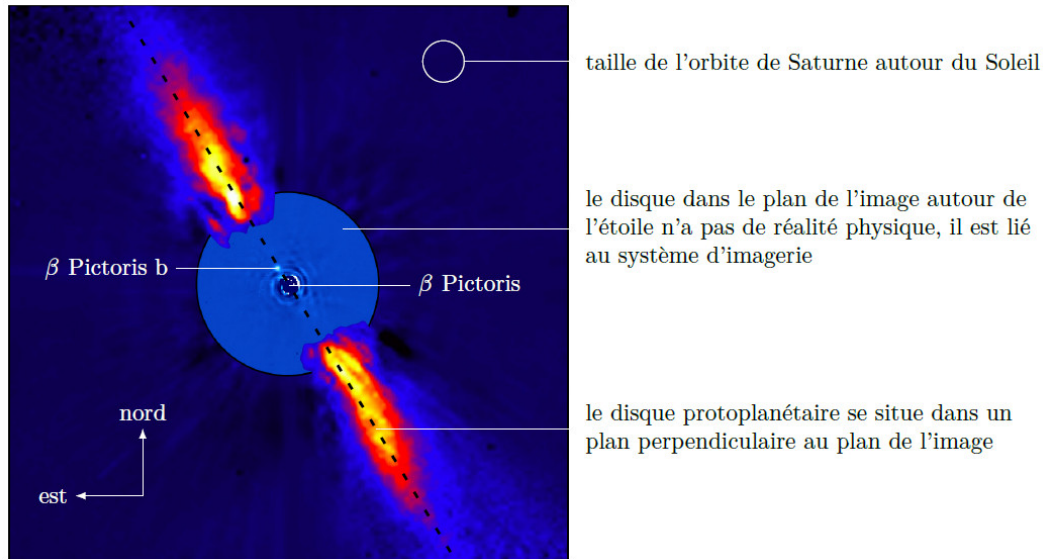
Des trous d'Young d'écartement $a = 1,5 \text{ mm}$ sont éclairés par une source ponctuelle de lumière blanche (de 400 à 800 nm) équidistante des deux trous. La figure d'interférence est observée sur un écran situé à $D = 9,0 \text{ m}$ après les bitrous.

1. Montrer que, pour un point M de l'écran distant de x par rapport à l'axe médiateur des deux trous, certaines longueurs d'ondes sont absentes du spectre de la lumière observée en ce point.
2. Les longueurs d'onde éteintes sont appelée « cannelures ». Déterminer les longueurs d'onde des cannelures dans le spectre observé en $x = 2,0 \text{ cm}$.

Exercice 7 Observation de disques protoplanétaires par interférométrie annulante

Depuis 1995, des milliers d'exoplanètes ont été découvertes et l'étude des mécanismes de formation d'une ou de plusieurs planètes autour d'une étoile est devenue une partie extrêmement prolifique de l'astrophysique. Le scénario actuellement retenu met en jeu un disque protoplanétaire, une couche fine de poussières en rotation autour de l'étoile naissante.

L'observation des disques protoplanétaires est grandement compliquée par la très grande différence de luminosité entre l'étoile centrale et le disque. Cependant, en utilisant plusieurs télescopes du VLT (Very Large Telescope), la méthode de l'interférométrie annulante permet de pallier cette difficulté.


 FIGURE 2 – β Pictoris et son disque vu par la tranche, imagés par le VLT

On modélise le couple de télescopes T_1 et T_2 par deux trous d'Young de même rayon, séparés d'une distance L , éclairant un écran situé dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale f' dont l'axe optique est perpendiculaire au plan des deux ouvertures situées en avant de la lentille et passe par le milieu du segment $[T_1T_2]$. On pointe le dispositif d'observation vers l'étoile β Pictoris (S). Cet objet céleste est considéré à l'infini sur l'axe optique de la lentille équivalente au télescope.

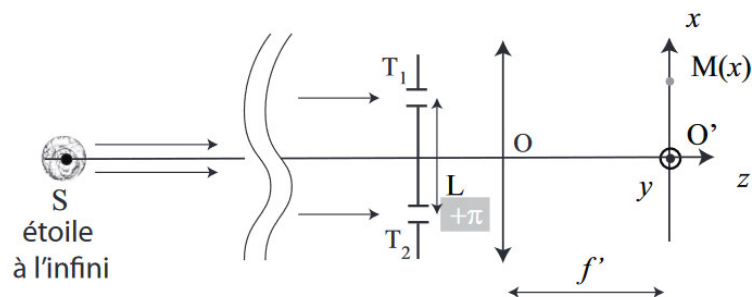


FIGURE 3 – Modélisation des télescopes par des trous d'Young

On s'intéresse dans un premier temps au rayonnement issu de l'étoile centrale. On place en entrée du système un filtre qui sélectionne uniquement le rayonnement associé à la longueur d'onde λ_0 . Ainsi, on considère un rayonnement monochromatique à cette longueur d'onde.

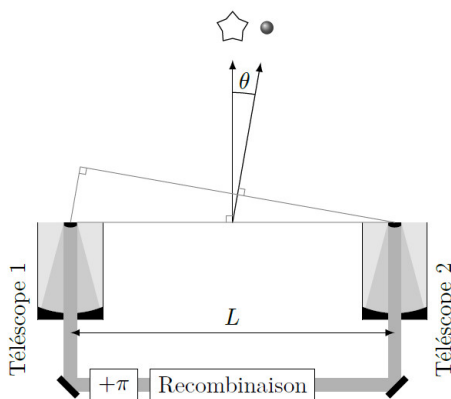


FIGURE 4 – Principe d'un réseau à deux télescopes

1. Effectuer le tracé de deux rayons lumineux qui interfèrent en M .
2. Lors de la traversée de l'ouverture T_2 , la vibration lumineuse est déphasée de π . Exprimer, au niveau du point M , la différence de marche entre les rayons passant par T_1 et T_2 et provenant de l'étoile et en déduire l'expression de l'interfrange sur l'écran en fonction de f' , L et λ_0 .
3. Faire de même pour des rayons provenant de la planète.
4. On note I_0 l'intensité lumineuse d'un seul des télescopes et on suppose de plus que cette intensité est la même pour les deux télescopes. En déduire l'éclairement $I(x)$ et tracer son allure.
5. Que constate-t-on si on place un détecteur quasi ponctuel en $x = 0$? En déduire une condition sur L pour obtenir un maximum d'éclairement sur le détecteur.

Exercice 8 Interférométrie radar à synthèse d'ouverture

L'observation de la Terre et de sa topographie peut être réalisée grâce à des techniques interférométriques. Un satellite survole la même région à deux instants différents. À l'instant t_1 , le satellite occupe la position S_1 (figure 6). Il émet alors des ondes électromagnétiques, de longueur d'onde λ_0 , vers un point P de la surface terrestre, où ces ondes sont réfléchies. Le satellite enregistre la durée de l'aller-retour entre S_1 et P , proportionnelle au double du chemin optique (S_1P). La mesure est effectuée à l'instant $t_2 > t_1$ où le satellite occupe la position S_2 .

Le point P a une altitude de référence choisie nulle par convention, et se trouve en x sur l'axe (Ox) . On pose $\vec{S_1S_2} = a\vec{u}_x + b\vec{u}_y + d\vec{u}_z$. On se place dans des conditions telles que $\|\vec{S_1S_2}\| \ll \|\vec{S_1P}\|$. On pose $R = \|\vec{S_1P}\|$ et n l'indice de l'air.

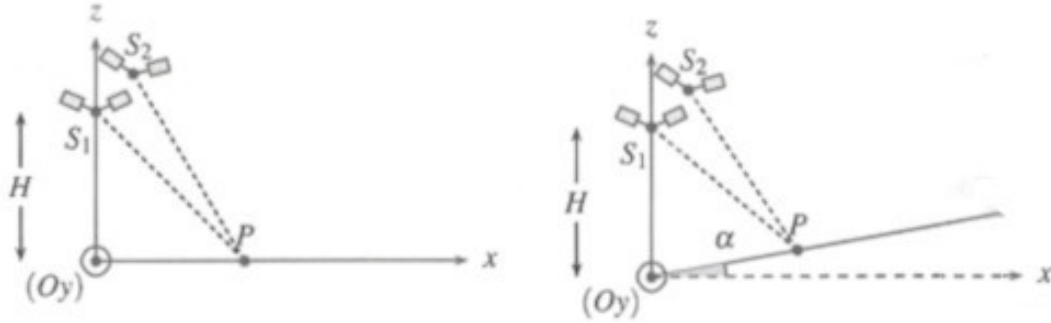


FIGURE 5 – Positions du satellite à t_1 et t_2

1. Montrer que la différence de marche entre les deux signaux réfléchis en P et reçus par le satellite aux instants t_1 et t_2 s'écrit (au signe près) : $\delta \approx \frac{2n}{R} \vec{S_1S_2} \cdot \vec{S_1P}$.
2. À partir des signaux reçus, on réalise une figure d'interférences à deux ondes dont l'intensité vibratoire est donnée par la formule de Fresnel. Exprimer cette intensité. Quelle est la forme géométrique des franges d'interférences observées? Exprimer l'interfrange en fonction de n , a , λ_0 et R .
3. Calculer l'interfrange pour $\lambda_0 = 28,0$ mm, $n = 1,00$, $R = 832$ km et $a = 250$ m.

Cette technique est utilisée pour mesurer la topographie du sol. Considérons la situation où le sol est incliné d'un angle α par rapport à un plan horizontal de référence. On pourra considérer que $\alpha \ll 1$.

4. Exprimer la différence de marche définie comme précédemment.
5. Montrer que la variation relative de l'interfrange par rapport au sol permet d'accéder à l'angle α .

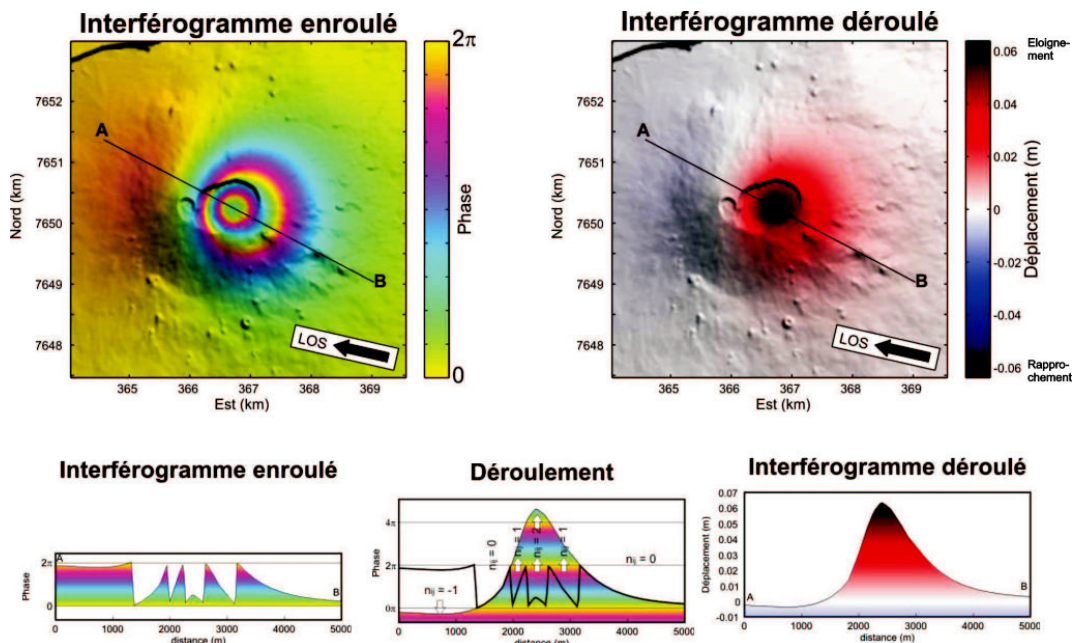


FIGURE 6 – Exemple d'analyse par interférométrie radar

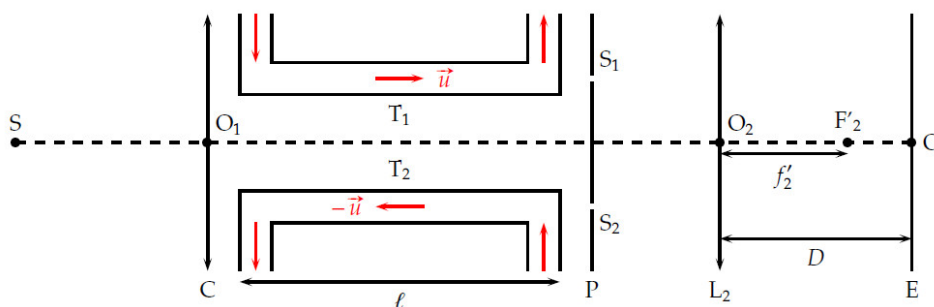
**Exercice 9** Expérience de Fizeau

En 1851, FIZEAU étudie la vitesse de la lumière dans l'eau en mouvement, afin de tester l'hypothèse de l'éther lumineux comme médium de propagation de la lumière (hypothèse qui fut mise en échec par les expériences de Michelson et Morley à la fin du 19^e siècle).

D'après la théorie dominante à l'époque, l'éther était entraîné par le milieu de propagation et se déplaçait avec lui. En conséquence, dans un fluide en mouvement, la lumière devait avoir une vitesse qui était la somme de sa vitesse de propagation dans le fluide et de la vitesse du fluide.

Le dispositif de FIZEAU se compose d'un collimateur C, constitué d'une lentille mince convergente L_1 , d'un plan P percé de deux fentes S_1 et S_2 très fines telles que la distance S_1S_2 soit égale à $a = 0,80$ mm, de deux tubes T_1 et T_2 de même longueur $\ell = 2,94$ m, tous les deux remplis d'eau d'indice optique $n = 1,33$, et d'une lunette L_2 de distance focale image $f'_2 = 1,00$ m de même axe optique que L_1 .

Le collimateur est éclairé avec une source S monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 435,8$ nm dont le centre est placé en son foyer principal objet F_1 . On observe la figure d'interférence sur un écran E, orthogonal à l'axe optique, situé à la distance D de L_2 .



Dans un premier temps, l'eau dans les deux tubes est au repos dans le référentiel du laboratoire.

- Où doit-on placer l'écran pour observer à l'infini la figure d'interférence ?
- Dans ces conditions, tracer deux rayons issus de S et interférant en un point M de l'écran, l'un passant par S_1 , l'autre par S_2 .
- Exprimer la différence de marche en M entre ces deux rayons. En déduire l'interfrange i .

On met maintenant en mouvement les liquides dans les deux tubes. On suppose que l'écoulement est unidimensionnel et l'eau dans les tubes T_1 et T_2 se meut parallèlement à l'axe optique aux vitesses constantes \vec{u} et $-\vec{u}$. La vitesse du liquide dans le référentiel du laboratoire est très inférieure à la célérité c de la lumière dans le vide. On se place dans le cadre des lois de la cinématique non relativiste.

- Exprimer en fonction de c , n , ℓ et u la différence de marche en O de deux ondes qui ont traversées respectivement T_1 et T_2 .
- Calculer la vitesse minimale u_0 de la vitesse du liquide pour observer une frange sombre en O.
- L'expérience de FIZEAU est réalisée avec une vitesse d'écoulement $u = 7,07$ m/s. Une fois l'eau mise en mouvement, l'ordre d'interférence en un point de l'écran a varié de $0,23 \pm 0,05$. Interpréter ce résultat expérimental.

Dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte, la vitesse de la lumière dans le référentiel du laboratoire vaut

$$v_1 = \frac{\frac{c}{n} + u}{1 + \frac{u}{nc}} \text{ dans le tube 1 et } v_2 = \frac{\frac{c}{n} - u}{1 - \frac{u}{nc}} \text{ dans le tube 2.}$$

- Quelle est la variation d'ordre d'interférence attendue en un point de l'écran selon la théorie de la relativité restreinte ? Est-ce en accord avec les observations expérimentales ?