

Étude des interférences à l'aide d'un biprisme de Fresnel

SUN Jixiang, SAMAIN Luc

18/04/2023

Le biprisme de Fresnel est un dispositif qui permet de créer à partir d'une source lumineuse, deux sources virtuelles et synchrones qui peuvent interférer entre elles. Dans ce TP-TD, nous avons réalisé trois expériences à l'aide d'un biprisme de Fresnel. La première utilise une source monochromatique ponctuelle placée à une distance finie. La seconde utilise la même source mais placée à l'infini. On remarquera que l'influence de la distance biprisme-écran est différente dans ces deux cas. Enfin, nous avons réalisé une expérience sur une source de lumière blanche, soit polychromatique, qui produit des franges d'interférence colorées.

1 Matériel

- Source Laser Nd : YAG type DPSS ($\lambda = 532 \text{ nm}$) équipé d'un objectif de microscope
- Biprisme de Fresnel d'indice $n = 1,537$ et d'angle $\alpha (\approx 1^\circ)$
- Lentille convergente L ($f = 100 \text{ mm}$)
- Écran d'observation
- Détecteur matriciel (1280×1024 pixels, taille du pixel = $5,3 \text{ }\mu\text{m}$)
- 2 polariseurs rectilignes P1, P2

2 Biprisme éclairé par une source ponctuelle à distance finie (ondes sphériques)

2.1 Protocole

On réalise le montage de la Figure 1. Les polariseurs ici servent à diminuer l'intensité de lumière afin que la caméra transmette une image nette. C'est pourquoi, la direction des polariseurs n'a pas d'importance. La source laser crée une onde électromagnétique sphérique et, après le biprisme, elle se comporte comme deux sources virtuelles synchrones, qui créent un champ d'interférence triangulaire dont le sommet se situe au centre du biprisme (voir Figure 2). Les franges d'interférence apparaissent alors sur l'écran ou sur la caméra.

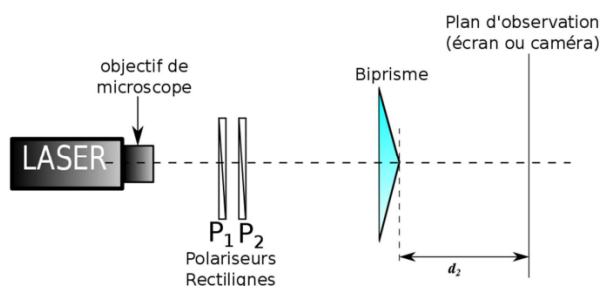


FIGURE 1 – Schéma du dispositif expérimental permettant de visualiser les interférences entre 2 ondes sphériques

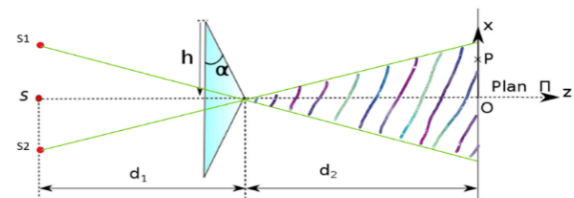


FIGURE 2 – S1, S2 sont deux sources virtuelles et synchrones, créant un champ d'interférence triangulaire (la partie ombragée)

A l'aide de la caméra relié à un ordinateur, on peut mesurer manuellement les distances interfrange en fonction de la distance d_2 .

La partie théorique nous dit que la distance interfrange i est :

$$i = \frac{\lambda_0(d_1 + d_2)}{nS_1S_2} = \frac{\lambda_0(d_1 + d_2)}{2nd_1\beta} = \frac{\lambda_0(d_1 + d_2)}{2nd_1\left(\frac{n}{n_0} - 1\right)\alpha}$$

Où d_1 la distance source-biprisme, d_2 la distance biprisme-écran, β la déviation du rayon, λ_0 longueur d'onde de la source dans le vide, $\alpha \approx 1^\circ$ l'angle du biprisme, $n_v=1,537$ et $n_0=1,0003$ les indices respectifs du verre du biprisme et de l'air.

La distance interfrange i a alors une relation linéaire avec d_2 .

2.2 Observations et résultats

Après le montage, on observe des franges verticales, parallèles à la ligne médiane du biprisme sur l'écran. Elles sont si denses qu'il est impossible de les mesurer directement par une règle.

L'image est autant plus grande si on augmente la distance d_2 , donc l'interfrange i . On trace alors $i = f(d_2)$ en mesurant i via l'ordinateur.

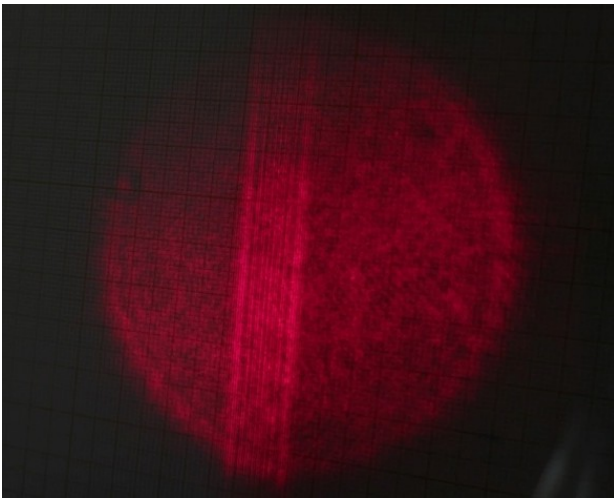


FIGURE 3 – Les franges visibles sur l'écran

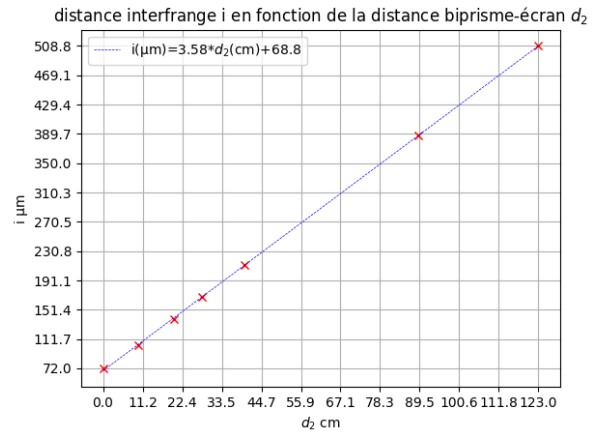


FIGURE 4 – Distance interfrange en fonction de la distance biprisme-écran

Le tracé est bien une droite (évolution linéaire), ce qui est conforme avec à la relation prédit par la théorie reliant i et d_2 .

3 Biprisme éclairé par une source ponctuelle monochromatique placée à l'infini (ondes planes)

3.1 Protocole

Dans cette partie on utilise le même montage que pour l'expérience précédente à la différence où cette fois-ci on insère une lentille devant le biprisme (voir Figure 5) afin de placer la source au foyer de la lentille de sorte que la source se situe comme à l'infini ($d_1 = \infty$) car tous les rayons reçus par le biprisme sont parallèles entre eux (onde plane).

Cette fois, le champ d'interférence est un losange (voir Figure 6), il existe donc une distance maximale d_1 pour observer les franges.

On reprend l'expression théorique de i en faisant tendre d_1 vers l'infini, on obtient :

$$i = \frac{\lambda_0}{2n\left(\frac{n}{n_0} - 1\right)\alpha}$$

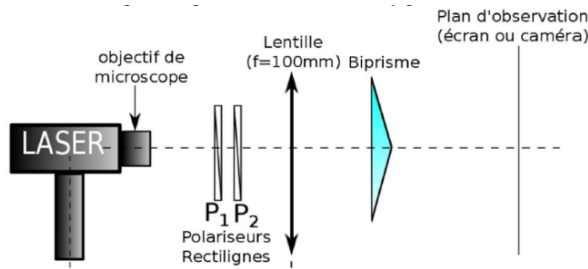


FIGURE 5 – Schéma du dispositif expérimental permettant de visualiser les interférences entre 2 ondes planes

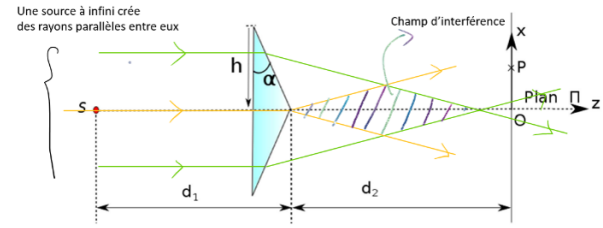


FIGURE 6 – Champ d'interférence d'une source à l'infini après le biprisme de Fresnel

La distance interfrange est alors constante qui est indépendante de d_1 et de d_2 .

3.2 Observations et résultats

Des franges existent toujours comme dans l'expérience précédente, mais l'image est plus petite. On trace i en fonction de d_2 et on obtient :

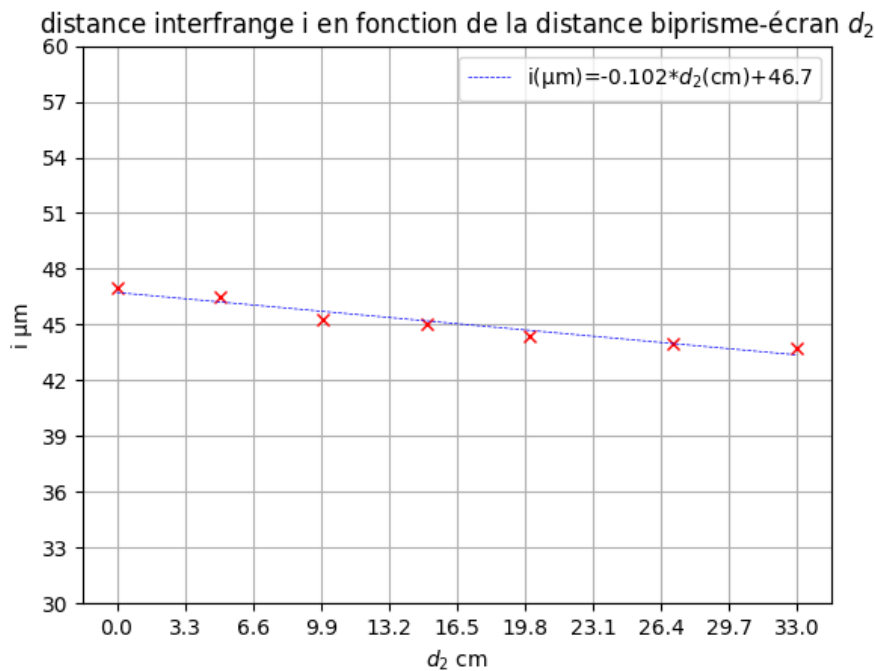


FIGURE 7 – Distance interfrange en fonction de la distance biprisme-écran pour la source à l'infini

On observe que i est presque constante mais légèrement décroissante en fonction de d_2 . On peut en déduire que la source n'est pas parfaitement au foyer de la lentille mais un peu plus loin.

De plus, lors de l'expérience, nous avons constaté que le nombre de franges augmente puis diminue à mesure que d_2 augmente et, au moment $d_2=42$ cm, il n'y a plus de franges. Cela correspondait au fait que le champ d'interférence est un losange.

4 Interférences en lumière blanche (étude facultative)

On réalise le montage de la Figure 8 et observe le champ. Comme auparavant, les franges d'interférences sont verticales, mais présentent cette fois un spectre de plusieurs couleurs. Cela est dû au fait

que la lumière blanche est composée des lumières de différentes couleurs dans un spectre continu, qui, n'ayant pas la même longueur d'onde les unes des autres, n'interfèrent pas entre elles.

Si on regarde l'expression de la distance interfrange, on peut voir que i est autant plus grande si la longueur d'onde est grande. Cela exprime que pour la première frange colorée (celle la plus proche du centre), le rouge se trouve à l'extérieur et le violet à l'intérieur.

Afin de constater un maximum de couleurs différentes, il est cependant important de noter que les franges doivent être assez fines pour éviter que les différentes couleurs ne se superposent. Enfin, sur l'axe optique, la lumière est blanche car pour tout le spectre visible cette portion est constructive (la différence de marche est nulle). Nous obtenons ainsi ce qu'on appelle 'les teintes de Newton'.

5 Exploitation de données

A partir de nos mesures, on peut calculer quelques valeurs. Si on injecte la moyenne de i mesurée ($45,13 \mu m$) dans la partie onde plane dans son expression pour la source à l'infini, on peut retrouver l'angle α de la base.

$$\alpha = \frac{\lambda_0}{2n \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) i} = 0.63^\circ$$

Ceci est conforme à la donnée que α est à peu près 1 degré. La déviation est alors $\beta = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \alpha = 0.34^\circ$.

De plus, si on utilise cette valeur de β et la pente de la figure 4 dans la formule de la première partie, nous pouvons retrouver la valeur de d_1 que nous ne pouvions pas mesurer.

$$d_1 = \frac{\lambda_0}{2n\beta p} = 12.6 \text{ cm}$$

avec $p = 3.58 \frac{\mu m}{cm}$ la pente de la figure 4.

6 Incertitudes et imprécisions expérimentales

Dans ce TP, l'objectif principal était d'observer le phénomène d'interférence. Il n'y a pas de grandeur physique à déterminer. Le calcul d'incertitude n'est alors pas nécessaire. Cependant, on peut quand même évaluer les sources d'incertitude et imprécisions expérimentales afin d'obtenir des résultats plus satisfaisant(notamment vis-à-vis de la 7).

Les sources d'incertitude de mesure de d_2 sont :

- Graduation de la règle à 1mm près
- Lecture de valeur par opérateur

Il est à noter que l'alignement des dispositifs optiques à la flèche sur le cavalier n'est pas une source d'incertitude car on peut choisir arbitrairement une position comme l'origine de d_2 afin de tracer $i = f(d_2)$.

Les sources d'incertitude de mesure de la distance d'interfrange sont :

- La précision de la caméra
- La netteté de l'image des franges

Pour diminuer l'incertitude de i , on a mesuré la distance entre plusieurs franges et divisé par son nombre. Pour que l'image soit le plus nette (non surexposée ou sous-exposée), il faut bien régler les polariseurs pour avoir une intensité de lumière modérée. Le premier polariseur rend le rayon polarisé rectilignement, et on peut ensuite changer l'angle du deuxième polariseur pour régler luminosité.

7 Conclusion

En conclusion, au cours de ce TP-TD, nous avons étudié les interférences lumineuses à l'aide d'un biprisme de Fresnel. Nous avons réalisé trois expériences différentes, en utilisant des sources

monochromatiques ponctuelles à distance finie et à l'infini, ainsi qu'une source polychromatique. Nous avons observé et analysé les franges d'interférence produites dans chacun des cas.

Nos résultats expérimentaux sont en accord avec les prédictions théoriques. Nous avons réussi à mettre en évidence les relations entre la distance interfrange, la distance biprisme-écran, et les caractéristiques du biprisme de Fresnel, telles que son angle α et son indice de réfraction. De plus, nous avons étudié les interférences en lumière blanche et observé les teintes de Newton.

Malgré les sources d'incertitude et les imprécisions expérimentales mentionnées, les expériences ont permis de bien illustrer le phénomène d'interférence et d'en comprendre les mécanismes sous-jacents. Ce TP-TD a été une excellente occasion d'approfondir nos connaissances sur les interférences lumineuses et de mettre en pratique les concepts théoriques relatifs à ce domaine de la physique.