

Fresnel - Arago ... et laser

par Marcel SCHMITT,
Lycée Kléber, Strasbourg.

Cet article propose une réalisation des expériences historiques de FRESNEL et ARAGO sur les interférences en lumière polarisée avec des moyens « modernes » commodes : laser et polaroids.

Elles constituent un sujet intéressant de réflexion sur les notions de polarisation et d'interférence en classe de Spéciales et dans le Premier Cycle Universitaire, sans qu'il soit nécessaire de faire les calculs correspondants, au demeurant classiques.

MATERIEL.

- Laser (He-Ne) *non polarisé*.
- 4 polaroids dont deux montés sur supports permettant la rotation.
- Une lame quart d'onde (nécessaire seulement si on veut vérifier que le faisceau laser n'est pas polarisé circulairement).
- Pour réaliser les interférences, on utilise un système qui sépare les deux faisceaux :

* Fentes d'Young : les fentes étant très rapprochées, l'introduction des polaroids séparément devant chacune des deux fentes est difficile.

* Séparateur de faisceau (par exemple réf. 212008 du catalogue JEULIN) :

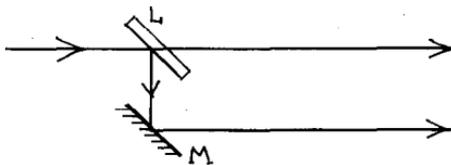


Fig. 1

Sur la fig. 1, L représente une lame semi-transparente et M un miroir. On utilise le faisceau laser directement sans élargis-

(*) On peut se procurer des polaroids en feuille chez : SARRELEC, 86, avenue Jean-Jaurès - B.P. 69 - 91560 Crosne.

sement. Pour écarter les franges et augmenter la surface du champ d'interférence, on place l'écran obliquement par rapport aux faisceaux (distance du séparateur à l'écran de l'ordre de 3 mètres). Avec cet appareil, les faisceaux sont bien séparés, d'où introduction facile des polaroids, mais le réglage est assez critique.

* Biprisme de FRESNEL (fig. 2) :

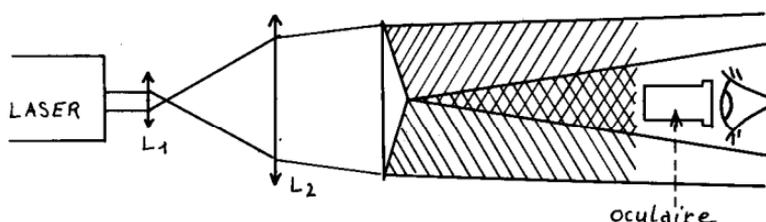


Fig. 2

On éclaire le biprisme avec le faisceau laser élargi (lentilles $L_1 : f_1 \sim 6 \text{ mm}$ et $L_2 : f_2 \sim 150 \text{ mm}$) et légèrement divergent. Les franges étant très fines et relativement peu lumineuses, on les observe à l'aide d'un oculaire micrométrique.

Ce montage est très commode pour ces expériences (il est d'ailleurs également à recommander pour une expérience « ordinaire » d'interférences entre deux ondes planes : éclairer alors le biprisme avec le faisceau laser élargi cylindrique).

* Interféromètre de MACH (fig. 3) :

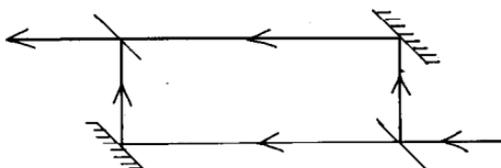


Fig. 3

Eclairer l'interféromètre avec le faisceau laser élargi cylindrique. Théoriquement, cet appareil est bien adapté à ces expériences, mais il est rare dans nos collections et de réglage difficile.

PRINCIPE DU MONTAGE (sur la fig. 4, on a représenté le séparateur de faisceau).

P_1 et P_2 sont deux petits morceaux de polaroid,

P'_1 et P'_2 deux polaroids montés sur supports tournants.

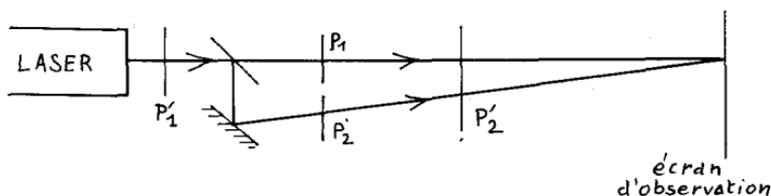


Fig. 4

EXPERIENCES.

Expériences préliminaires.

— Vérifier que la lumière émise par le laser n'est pas polarisée :

Le faisceau laser traversant un polaroid garde la même intensité quelle que soit l'orientation de celui-ci. Il n'est donc polarisé ni rectilignement, ni elliptiquement.

Pour vérifier qu'il n'est pas polarisé circulairement, on utilise la lame quart d'onde suivie par un polaroid. On constate que l'intensité reste constante quelle que soit l'orientation du polaroid, le quart d'onde restant fixe.

On en conclut que la lumière du laser ne possède aucune forme de polarisation.

Par conséquent, si on considère cette lumière comme la superposition de deux ondes polarisées rectilignement dans deux directions perpendiculaires, ces deux ondes sont nécessairement incohérentes.

— Vérifier que le système séparant les deux faisceaux n'introduit pas de polarisation.

Expérience 1.

- Réaliser les interférences en absence de tout polaroid.
- Puis mettre les polaroids P_1 et P_2 .

Observations :

- Quand P_1 et P_2 sont parallèles, les interférences sont visibles.
- Quand ils sont croisés, il n'y a pas d'interférences.

Interprétation :

- Quand P_1 et P_2 sont parallèles, les vibrations des deux ondes sont cohérentes et parallèles et peuvent donc interférer.

- Quand elles sont croisées, les deux vibrations ne peuvent interférer pour deux raisons :

Les faisceaux ayant traversé les polaroids P_1 et P_2 correspondent à deux composantes perpendiculaires du faisceau laser et sont, par conséquent, incohérents.

D'autre part, les deux vibrations arrivant sur l'écran sont perpendiculaires. Même si elles étaient cohérentes, la vibration résultante serait elliptique (circulaire ou rectiligne) et dans tous les cas l'intensité serait la somme des deux intensités.

On peut réaliser la superposition de deux vibrations cohérentes perpendiculaires dans l'expérience suivante :

Expérience 2.

- Laisser les deux polaroids P_1 et P_2 croisés et ajouter le polaroid P'_1 orienté à 45° par rapport à P_1 et P_2 .
- P_1 et P_2 laissent passer les composantes suivant leurs directions de l'onde polarisée par P'_1 .
- Les deux ondes arrivant sur l'écran sont donc bien cohérentes et polarisées dans deux directions perpendiculaires (elles ont en plus même amplitude).
- L'expérience montre effectivement une absence totale d'interférences.

Expérience 3.

- Enlever P'_1 , laisser P_1 et P_2 croisés et ajouter P'_2 orienté à 45° par rapport à P_1 et P_2 .

Observation :

- Il n'y a pas d'interférences.

Interprétation :

- Après passage dans P'_2 , les deux faisceaux sont polarisés rectilignement dans la même direction.
- P'_2 a laissé passer la composante suivant sa direction des vibrations polarisées par P_1 et P_2 (fig. 5).

On n'observe pas d'interférences parce que les faisceaux $P_1 P'_2$ et $P_2 P'_2$ ne sont pas cohérents. En effet, ces faisceaux sont les composantes polarisées dans deux directions perpendiculaires du faisceau émis par le laser.

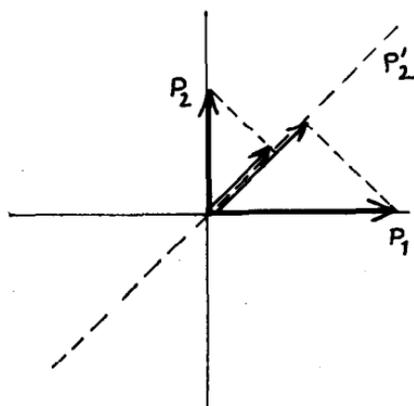


Fig. 5

Expérience 4.

- Laisser P_1 et P_2 croisés et P'_2 suivant leur bissectrice.
- Introduire P'_1 .

Observations :

- Quand P'_1 et P'_2 sont parallèles, on observe des interférences.
- Quand on tourne P'_1 , les interférences disparaissent complètement pour une rotation de 45° (P'_1 parallèle à P_1 ou P_2), puis elles réapparaissent et redeviennent nettes pour une rotation de 90° (P'_1 croisé par rapport à P'_2), mais les franges lumineuses ont pris la place des franges sombres et inversement.

Interprétation :

- Après passage dans P'_1 , le faisceau est polarisé rectilignement.
- P_1 et P_2 laissent passer les composantes polarisées suivant leurs directions (donc cohérentes et de même amplitude).
- Après passage dans P'_2 , les deux ondes sont polarisées parallèlement et de même amplitude, donc susceptibles d'interférer.
- A une même différence de marche due au système interférentiel s'ajoute un déphasage de 0 ou de π suivant que P'_1 et P'_2 sont parallèles ou croisés, d'où l'obtention de deux systèmes de franges complémentaires (voir fig. 6 a et 6 b).

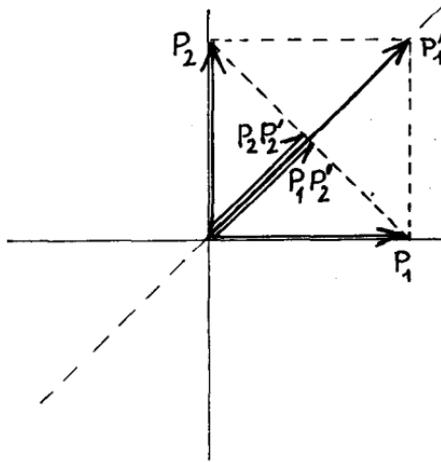


Fig. 6. a. — Quand P'_1 est parallèle à P'_2 , les vibrations des faisceaux $P'_1P'_2$ et $P_2P'_2$ sont en phase.

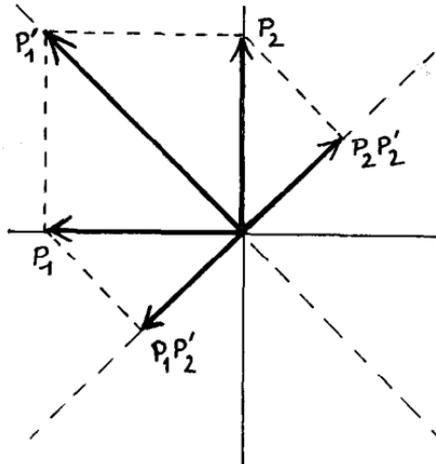


Fig. 6. b. — Quand P'_1 est croisé par rapport à P'_2 , les vibrations des faisceaux $P_1P'_2$ et $P_2P'_2$ sont en opposition.

— Quand on a tourné P'_1 de 45° , il est croisé par rapport à P_1 ou P_2 et la vibration correspondante est éteinte. Il est donc normal de n'observer aucune interférence.

Remarque.

On pourrait aussi laisser P'_1 fixe et tourner P'_2 .

On observe alors un échange entre les franges claires et les franges sombres moins net. Ceci est dû au fait que l'épaisseur optique de P'_2 n'étant pas constante sur toute sa surface, on introduit un déphasage variable entre les deux faisceaux qui interfèrent en tournant P'_2 (ce qui n'est pas le cas en tournant P'_1).

Je tiens à remercier le professeur attaché de laboratoire du lycée Kléber, M. ZIMMERLIN, pour l'aide qu'il m'a apportée dans la réalisation de ces expériences, M. DEBEAUVAIS (Université Louis-Pasteur) qui m'a donné l'idée d'approfondir cette question, ainsi que M. MOSSER (Lycée Kléber) avec qui j'ai discuté de l'interprétation des observations.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUHAT-KASTLER. — « *Optique* ». Chapitre 15, III.
- FLEURY-MATHIEU. — « *Images optiques* ». Chapitre 14.
- M. HENRY. — B.U.P. n° 632, p. 803.