Fosca Al Roumi Germain Lesoeur

Interférences à deux ondes: Conditions d'obtention.

Bibliographie: Sextant, Duffait.

1 Introduction

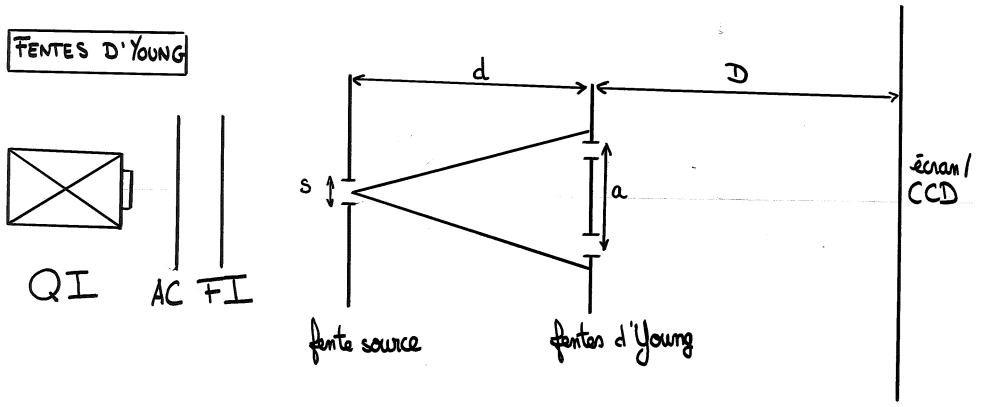
Il y a interférences si l'éclairement résultant de la superposition de plusieurs ondes n'est pas la somme de l'éclairement de chaque onde. Nous avons vu que de telles ondes ne peuvent en pratique interférer que si elles proviennent d'une même source ponctuelle monochromatique. Une source réelle a une extension spatiale et fréquentielle. Cependant, lorsque l'on observe une bulle de savon, les irisations qui apparaissent à sa surface sont des interférences en lumière blanche.

Dans les expériences qui vont suivre, nous tenterons de déterminer à quelles conditions il est malgré tout possible d'observer des interférences. Nous traiterons donc de cohérence spatiale et temporelle de la source. Notre dernière partie visera à mettre en évidence l'influence de la polarisation de la lumière sur l'obtention d'interférences.

2 Influence de l'extension spatiale de la source: division du front d'onde. *Les fentes d'Young*

Nous préferrons les fentes d'Young aux trous d'Young car la figure d'interférence est alors plus lumineuse. Dans un premier temps, nous considérons une source monochromatique (filtre interférentiel dans le vert $\lambda_{FI} =$ nm) pour nous affranchir des problèmes de cohérence temporelle.

2.1 Dispositif expérimental



Pour qu'il y ait interférences, les deux fentes d'Young doivent être des sources cohérentes entre elles. Dans ce dispositif à division du front d'onde, c'est la **diffraction** par la première fente (source) qui assure la cohérence de la phase de l'onde arrivant aux fentes secondaires. C'est aussi par diffraction que les ondes issues des deux sources secondaires créent un champ d'interférences.

⇒ Influence de la taille de la source primaire relativement aux fentes d'Young.

2.2 Mesure de l'angle de cohérence spatiale de la source

$s =$, la largeur de la fente source mesuré au pied à coulisse,
$a =$, distance entre les deux fentes d'Young et

$D =$, distance entre les fentes d'Young et le capteur CCD.

Mesures: On fait varier d, distance entre la fente source et les fentes d'Young et on mesure avec *Caliens* le contraste γ à partir de l'éclairement ξ

$$\gamma = \frac{\xi_{1er\ max} - \xi_{1er\ min}}{\xi_{1er\ max} + \xi_{1er\ min}}$$

Pour $d =$, $\gamma =$.

Observations:
* Le contraste diminue puis s'inverse. Il redevient positif puis s'annule.
*L'éclairement en un point M à la distance x de l'image géométrique de la fente source mesuré par le capteur CCD a pour expression:

$$\xi(x) = 2\,\xi_0 \times \left(1 + \gamma(\theta)\, cos(\frac{2\pi\, a\, x}{\lambda_{FI}\, D})\right) \quad ; \quad \gamma(\theta) = sinc(\frac{\pi\, s}{\lambda_{FI}}\,\theta) \quad \text{où} \quad \theta = a/d$$

*On ne peut pas faire d'ajustement sur une telle fonction, on lit donc directement la valeur approximative de l'angle de première annulation du contraste $\theta_c =$.

Théoriquement, $\theta_c = \frac{s}{\lambda_{FI}}$. Pour $s =$ et pour $\lambda_{FI} =$ on calcule $\theta_c^{theorique} =$.

Conclusion: Nous avons mis en évidence l'existence d'un angle caractéristique de cohérence spatiale délimitant deux situations: si $\theta < \theta_c$, la figure d'interférences est bien visible. Si $\theta >> \theta_c$, les interférences se brouillent.
Nous avons aussi illustré le théorème de Zernike Van Cittert sur l'exemple des fentes d'Young. $\gamma(\theta)$ correspond à la transformée de Fourier de la distribution spatiale d'intensité de la source, ici une fonction porte.

L'éclairement dépend aussi de λ à $\gamma(\theta)$ fixé.

2.3 Influence de λ sur l'interfrange

On mesure l'interfrange i pour notre λ_{FI}. On reporte dans le tableau fait en préparation de $i = f(\lambda)$. Ajustement linéaire $i = \alpha\lambda$ où $\alpha =$

Conclusion: Chaque λ génère une figure d'interférences avec un interfrange différent. Ces figures d'interférences se superposent (sources incohérentes) et se brouillent. ⇒ Critère sur la composition spectrale de la source pour observer des interférences.

3 Influence de la composition spectrale de la source. *Interféromètre de Michelson*

Dans un dispositif à division d'amplitude, l'étendue spatiale de la source localise la figure d'interférences mais celle-ci reste observable. Avec un tel dispositif on peut donc s'affranchir de la question de la cohérence spatiale en gardant une source raisonnablement étendue qui va donner une figure d'interférence plus lumineuse.

3.1 Détermination de la longueur de cohérence temporelle d'une lampe spectrale Hg haute et basse pression. *Michelson en lame d'air*

Nous pouvons considérer qu'une source polychromatique est la superposition d'une infinité de sources monochromatiques de longueur d'onde λ_0^j incohérentes entre elles. Tout comme dans le cas de la cohérence spatiale, le critère d'obtention d'interférences portera sur les conditions de

brouillage des figures d'interférence créées par l'ensemble de sources incohérentes. En effet, si la différence de marche entre les deux voies de l'interféromètre est supérieure à la longueur de cohérence temporelle de la source, les interférences se brouilleront.

Dispositif: Michelson en lame d'air éclairé par une source étendue que l'on fait converger avec un condenseur (donc beaucoup d'inclinaisons i). Tous les rayons avec l'angle un angle d'incidence i sont divisés (grâce à la séparatrice) et interfèrent à l'infini. Nous projettons la figure d'interférence sur l'écran grâce à une lentille de focale $f' = 25cm$.

Mesures: On chariote pour faire varier la différence de marche entre les rayons interférant. De chaque coté du contact optique, on note les positions des miroirs pour lesquels le contraste s'annule.

Pour Hg basse pression[1]: $\delta_{brouillage} =$

Pour Hg Haute pression[2]: $\delta_{brouillage} =$

Conclusion: En accord avec le théorème de WIENER KINTCHINE: le contraste modulant la figure d'interférence correspond à la transformée de Fourier de la distribution spectrale de la source. Ici, l'étendue spectrale augmente avec la pression (chocs) ce qui diminue la longueur de cohérence.

3.2 Longueur de cohérence temporelle de la lumière blanche. *Michelson en coin d'air*

Dispositif: Diaphragme éclairé par Quartz-Iode dans le plan focal d'une lentille pour incidence $\simeq$ normale sur miroirs.

Mesures: On observe les franges de Newton; elles sont limitées spatialement et n'occupent pas toute la largeur de l'écran. On intercale un filtre vert de $\lambda_v =$. Les franges occupent tout l'écran (amélioration de la cohérence). On fait une échelle en λ_v avant d'enlever le filtre. La figure en lumière blanche réapparait. On repère les annulations du contraste sur le même papier. La graduation en λ_v nous permet de remonter à la longueur de cohérence de la lumière blanche.

4 Les limites du modèle scalaire: interférences en lumière polarisée.

Pour que deux ondes interfèrent, il faut qu'elles soient cohérentes temporellement, spatialement et qu'elles soient polarisées dans la même direction. Cette dernière condition n'est pas prévue par le modèle scalaire de la lumière. En effet, l'éclairement issu de la superposition des deux champs $\mathbf{E}_i = \mathbf{E}_{0i}\, cos(\omega\, t - \phi_i)$ s'écrit

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + 2\sqrt{\xi_1}\sqrt{\xi_2}\,\frac{\mathbf{E}_{01}}{||\mathbf{E}_{01}||}\cdot\frac{\mathbf{E}_{02}}{||\mathbf{E}_{02}||}\,cos(\underbrace{\phi_2 - \phi_1}_{2\pi\frac{\delta}{\lambda}})$$

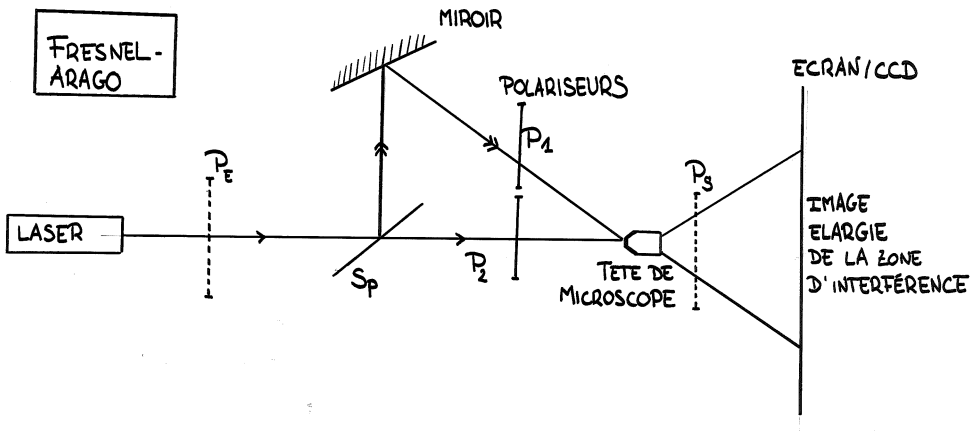
Il fait donc intervenir la polarisation des deux ondes E.M. incidentes.

Observations

$P_1 = 0^\circ\, P_2 = 0^\circ$	**Franges**: pas de problèmes de cohérence temporelle et spatiale
$P_1 = 0^\circ\, P_2 = 90^\circ$	**Pas de franges**: polarisation orthogonale
$P_1 = 0^\circ\, P_2 = 90^\circ\, P_s = 45^\circ$	**Pas de franges**: même polarisation mais incohérence temporelle
$P_e = 45^\circ\, P_1 = 0^\circ\, P_2 = 90^\circ\, P_s = 45^\circ$	**Franges:** cohérence temporelle entre les 2 ondes

[1] Une étude spectroscopique par transformée de Fourier nous donnerait un profil de raie plutôt gaussien (largeur des raies affectée par l'effet Doppler).

[2] Le profil de raie est lorentzien car ce sont alors les collisions qui déterminent le profil spectral.



Dans notre situation, nous ne sommes pas en lumière non polarisée (notre laser a des modes polarisés). Les deux derniers points ne peuvent être traités.

Conclusion

Dans les expériences que nous avons effectué nous avons que pour observer des interférences, il faut **adapter le système interférométrique à la source** que l'on utilise. Même si les conditions de cohérence temporelle et spatiale sont réalisées, nous avons vu que la polarisation peut être source d'incoherence. Cependant, les résultats que nous avons établi dépendent fortement de la **sensibilité et du temps de réponse des capteurs utilisés** (oeil: $\tau = 10^{-1}s$, CCD $\tau = 10^{-1}s$).

En réalité, des détecteurs de très haute résolution temporelle pourraient mesurer des interférences entre deux lasers de longueur d'onde très proches.