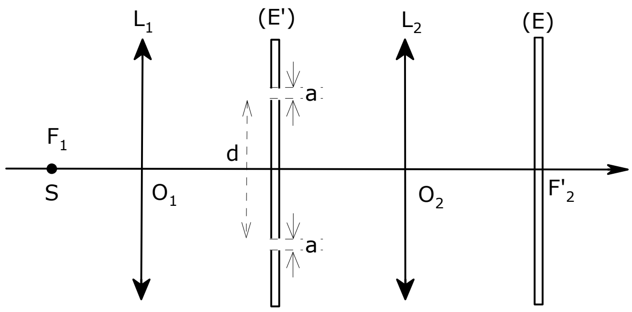
Exercice 1

On considère le dispositif expérimental ci-dessous des fentes d'Young baignant dans l'air assimilé à du vide :



S est une source ponctuelle, monochromatique (de longueur d'onde λ_0 dans le vide) et placée au foyer objet d'une lentille convergente L1.

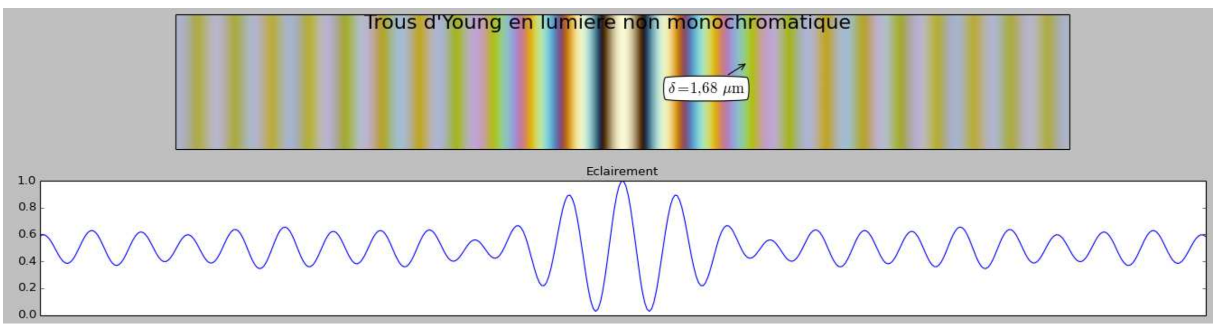
L'écran (E') est percé de deux fentes fines de largeur a supposées infinies, distantes de d, le dispositif étant centré sur l'axe optique des lentilles.

L'écran (E) est placé dans le plan focal image de L2 de distance focale f'.

1) Dessiner un exemple de deux rayons interférant en un point M de l'écran (E).
2) Exprimer la différence de marche $\delta(M)$ entre ces deux rayons en fonction, entre autres, de la côte verticale x du point M sur l'écran (E).
3) Exprimer l'éclairement $\varepsilon(M)$ observable sur (E).
4) Définir et exprimer l'interfrange i.
5) Estimer le nombre d'interfranges visibles en tenant compte du phénomène de diffraction.

La source n'est pas monochromatique mais de profil spectral rectangulaire centrée sur $\nu_0 = 5 \times 10^{14} Hz$ et de largeur $\Delta\nu = 18 \times 10^{13} Hz$. On observe alors un nombre de franges brillantes bien contrastées plus faible que ce que prévoit le calcul précédent.

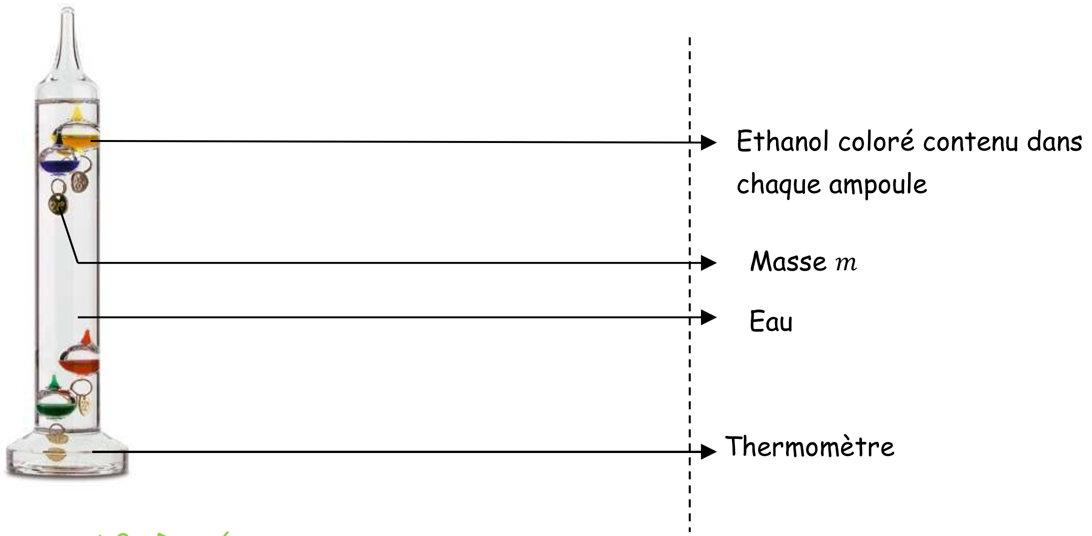
6) En utilisant l'analyse de Fourier et la notion de train d'onde expliquer la figure d'interférence obtenue avec cette source. $f' = 1m, d = 0{,}5mm$ et $a = 0{,}1mm$



Exercice 2 : Thermomètre de Galilée

Après avoir expliqué le principe de fonctionnement du thermomètre de Galilée, donner la résolution de ce dispositif si la masse m (voisine de 25g) est connue avec une précision de l'ordre de 10 milligrammes ?

Document 1 : Présentation générale



Document 2 : Données :

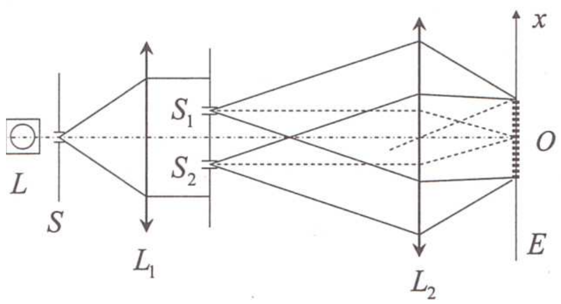
- Masse volumique de l'eau à 25°C : 0,997 g·cm^{-3}
- Densité l'alcool à 25°C : 0,789
- Coefficient de dilatation isobare de l'eau : $\alpha = 2{,}62 \times 10^{-4} K^{-1}$
- Coefficient de compressibilité isotherme de l'eau : $\chi_T = 4{,}9 \times 10^{-10} Pa^{-1}$

Document 3 : Notions sur les coefficients thermoélastiques

Système thermoélastique	**Système thermoélastique réel**
Propriétés	On décrit localement la phase au voisinage d'un état de référence V_0, P_0, T_0. On définit le coefficient de dilatation $\alpha_0 = \frac{1}{V_0}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)(T_0; P_0)$ et le coefficient de compressibilité isotherme $\chi_{T_0} = -\frac{1}{V_0}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)(T_0; P_0)$ autour de cet état de référence
Equation d'état $\boldsymbol{V(T,P)}$	$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right) dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right) dP$ La description locale permet d'écrire : $dV \approx V_0 \alpha_0 dT - V_0 \chi_{T_0} dP$ $V(T,P) - V_0 = V_0 \alpha_0 (T - T_0) - V_0 \chi_{T_0} (P - P_0)$

Exercice 2 : corrigé

On peut apprécier l'effet de la diffraction est donc la zone de recouvrement et donc d'interférence.



Il faut se souvenir que le stigmatisme de la lentille n'impose aucune différence de chemin optique entre les rayons qui interférent sur l'écran ! Dans les conditions de Gauss :

$$\theta \approx \frac{\delta}{d} \approx \frac{x}{f'} \text{ donc } \delta(x) = \frac{dx}{f'}$$

Donc l'interfrange est donnée par $p(x+i) - p(x) = 1$ soit $i = \frac{\lambda_0 f'}{d}$

Le nombre de d'interfranges observables est limité par la diffraction dont l'ouverture angulaire et est donnée à l'infini par $\frac{\lambda}{a} = \frac{x_{max}}{f'}$ et est donné par : $2 \times \frac{\frac{\lambda f'}{a}}{\frac{\lambda_0 f'}{d}} = 2 \times \frac{d}{a}$.

Ce résultat annonce donc $2 \times \frac{d}{a}$ franges brillantes et $2 \times \frac{d}{a} + 1$ franges sombres

Avec la source « réelle », l'analyse de Fourier donne l'extension temporelle de ce signal $\tau \approx \frac{1}{\Delta\nu}$ et donc le train d'onde associé est de longueur $l_c \approx \tau c \approx \frac{c}{\Delta\nu} \approx 1{,}6\mu m$. Donc si la différence de marche dépasse cette valeur, on recouvre des vibrations non cohérentes entre elles : on a alors brouillage de la figure d'interférence.

Ici $f' = 1m, d = 0{,}5mm$ et $a = 0{,}1mm$ alors $x_{max} = \frac{\lambda}{af'}$ et $\delta(x_{max}) = \frac{d\lambda}{af'^2} = 3\mu m$: donc c'est la cohérence temporelle qui limite la figure d'interférence

Exercice 2 : Thermomètre de Galilée (corrigé)

Principe : la masse volumique de l'eau est fonction de la température, ainsi le maintien en surface d'une ampoule (système fermé dont la masse est fixée) dépendra aussi de la température.

Considérons une ampoule à l'équilibre et entièrement immergée dans l'eau:

$$m_0 g = \rho_f(T_0) g V_{ampoule}$$

Si on compare ensuite l'effet de la température et de la pression sur le volume, on peut écrire dans nos conditions que $dV_f \approx V_{f0}\alpha_0 dT$.

On a donc $\rho_f = \frac{m_f}{V_f}$ et $\frac{d\rho_f}{\rho_f(T_0)} \approx \frac{dV_f}{V_{f0}}$ donc $d\rho_f \approx \rho_f(T_0)\alpha_0 dT$

A partir de la relation d'équilibre, on a :

$$\frac{dm}{m_0} = \frac{d\rho_f}{\rho_f(T_0)}$$

On obtient donc l'incertitude sur la valeur des températures :

$$\Delta T \approx \frac{\Delta m}{\alpha_0 m_0} \approx 2°C$$

A noter que l'on peut repérer des ampoules en équilibre au milieu du thermomètre. En effet, le thermomètre n'utilise pas de l'eau mais une solution utilisant deux fluides miscibles de densité bien différente qui permettent une graduation verticale de la masse volumique : ce qui permet une lecture plus fine de la température.