

CHAPITRE 4 - INTERFEROMETRE DE MICHELSON

Avant : trous d'Young, miroirs de Fresnel
 = division du front d'onde
 Ici : division d'amplitude

I. Présentation

1. Division des rayons et rôle de la compensatrice
 (cf. figure 1)

On obtient par division d'amplitude deux rayons cohérents.
 Comme une source ponctuelle émet de nombreux rayons,
 on obtiendrait même deux familles de rayons cohérents.

La division se fait sur la face avant de la séparatrice.
 La face avant seule est traitée.

Le rayon 1 traverse 3 fois la séparatrice, le rayon 2 une seule fois.

Grâce à la compensatrice, les deux rayons traversent la même épaisseur de verre. (cf. figure 2)

La compensatrice est identique à la séparatrice et est placée parallèlement à celle-ci.

2. Cheminement des rayons
 (cf. figure 3)

Grâce au raisonnement habituel,

$$L_{SM,2} = S_2M \quad \text{et} \quad L_{SM,1} = S_1M.$$

$$\delta = S_2M - S_1M$$

Mais on n'utilise rarement Michelson avec une source ponctuelle

3. Système fictif équivalent

(cf. figure 4)

On parle du rayon 1.

M_1' : symétrique de M_1 par rapport à S_2 .

(= image de M_1 par rapport à S_2).

Le rayon fictif 1' émerge confondu avec le rayon réel 1 et en ayant parcouru le même chemin optique.

Dans la suite, on remplace le rayon 1 par le rayon 1', de même, on remplace M_2 par M_2' .

Le rayon 1' voyage du même côté que le rayon 2 mais 1' se réfléchit sur M_1' et 2 sur M_2 .

Juste après la séparatrice, ils sont confondus.

4. Localisation et projection des fentes

Avec une source ponctuelle, on obtient deux faisceaux cohérents qui donnent des franges dépendant de la position de S_1 et de S_2 .

Elles sont visibles dans tout un champ d'interférences, elles sont non localisées.

On utilise souvent le Michelson avec une source étendue, il y a donc un problème de cohérence spatiale.

Il y a un brouillage des franges parqu'en M donné, δ dépend de S.

Lorsqu'on utilise une source étendue, les franges produites par l'interféromètre de Michelson conservent un bon contraste à condition que l'écran d'observation soit placé dans un plan particulier. On dit que les franges sont localisées. Dans le plan de localisation se rencontrent les couples de rayons cohérents obtenus par la division d'un même rayon issu de la source.

II. Utilisation en lame à faces parallèles

M_1 et M_2 sont parallèles et délimitent une lame d'air d'épaisseur e .



1. Localisation et projection des franges

(cf. figure 5)

Les franges sont localisées à l'infini : on met l'écran très loin, ou mieux, au plan focal image d'une lentille.

2. Différence de marche

(cf. figure 6)

Tout se passe comme si la lumière venait de S_1 ou de S_2 .

$$\delta = \Delta n \cdot d \cdot \cos \theta$$

Grâce au théorème de Malus :

$$\mathcal{L}_{HM} = \mathcal{L}_{S_2H} \quad \text{et} \quad \delta = S_2H$$

On note i l'angle d'incidence ou d'inclinaison.

$$\text{donc } \delta = 2e \cos(i) \quad \text{avec } \tan(i) = \frac{1}{\mu}$$
$$i \approx \frac{1}{\mu}$$

Variante : (cf. figure 7)

$$\mathcal{L}_{HM} = \mathcal{L}_{KM}$$

$$\delta = IS + JK - IH$$
$$= 2IS - IH$$

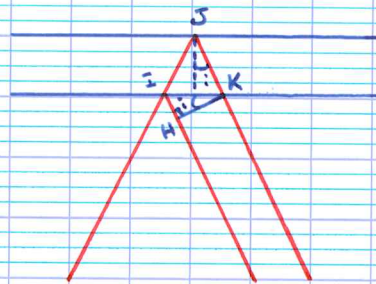
$$IS = \frac{e}{\cos(i)} \quad IK = 2e \tan(i)$$

$$IH = IK \sin(i)$$
$$= 2e \tan(i) \sin(i)$$
$$= 2e \frac{\sin^2(i)}{\cos(i)}$$

$$\delta = \frac{2e}{\cos(i)} - 2e \frac{\sin^2(i)}{\cos(i)}$$
$$= 2e \frac{1 - \sin^2(i)}{\cos(i)} = 2e \cos(i)$$

Ce résultat s'étend au cas d'un indice n et d'épaisseur e . Dans ce cas :

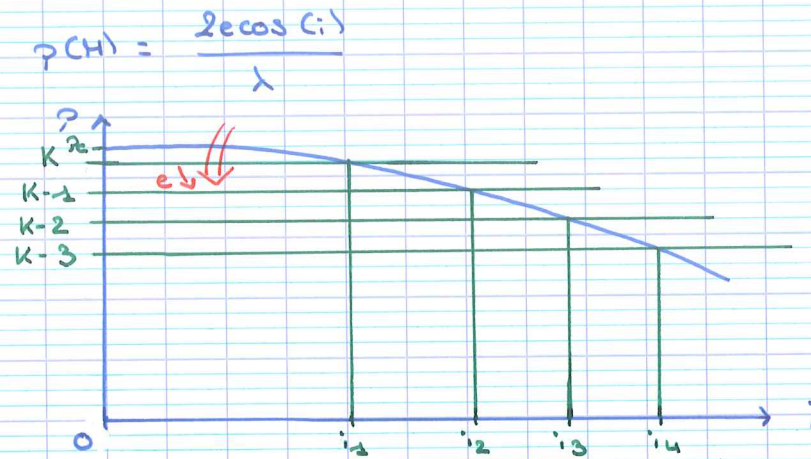
$$\delta = 2ne \cos(r) \quad \text{avec } r : \text{angle de réfraction}$$



3. Etude de la figure d'interférences
(cf. figure 8)

Les franges sont définies par $\delta = \text{cste}$, donc $i = \text{cste}$, donc $r = \text{cste}$. Ce sont des cercles de centre O.

Comme δ est non linéaire en r , les franges ne sont pas équidistantes. Ce sont des anneaux d'égale inclinaison.



$i = 0 : r(0) = r_c = \frac{2e}{\lambda}$ ordre au centre

$r_c = L r_{c1} + \epsilon = K + \epsilon$ avec $K = L r_{c1}$

1^{er} anneau : $r = K$ donc $\frac{2e \cos(i)}{\lambda} = K$
 $i = i_1$

2^{ème} anneau : $r = K - 1$ donc $\frac{2e \cos(i)}{\lambda} = K - 1$

n^{ème} anneau : $r = K - n + 1$ $\frac{2e \cos(i)}{\lambda} = K - n + 1$

et $\frac{2e}{\lambda} = K + \epsilon$

Par différence, $\frac{2e}{\lambda} (1 - \cos(i_n)) = n + \epsilon - 1$



donc $i_n = \sqrt{\frac{\lambda}{e} (n + \epsilon - 1)}$ donc $r_n = f' i_n = f' \sqrt{\frac{\lambda}{e} (n + \epsilon - 1)}$

Quand e diminue, chaque anneau rétréci et l'anneau central disparaît chaque fois que r_c franchit, en décroissant, une valeur entière.

Aussi, e diminue or r est constant, $\cos(i)$ augmente donc i diminue.

Les anneaux restants sont plus espacés et plus gros que les anciens.

Si $e = 0$, $r = 0$ sur tout l'écran (quel que soit i), l'écran est uniformément éclairé : on appelle cela la teinte plate.

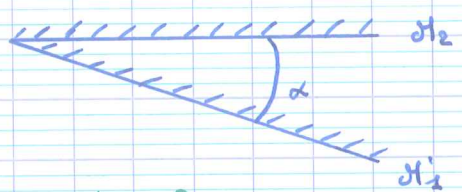
Alors,

$$d_2 = d_1' : \text{contact optique}$$

Remarque : $\delta(H) = 2e \cos(i \sin \theta)$ ne dépend pas de S , donc pas de brouillage lorsqu'on éloigne la source.

III. Utilisation en coin d'air

M_1 et M_2 forment un dièdre d'angle α et délimitent un coin d'air.



$\alpha \approx 10^{-4}$ rad

1. Localisation des franges

(cf. figure 9)

Les franges sont localisées sur les miroirs. C'est une focalisation virtuelle.

En pratique, pour voir les franges,

- à l'œil : on accomode sur les miroirs
- avec une lentille convergente : on forme l'image des miroirs sur un écran avec

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$$

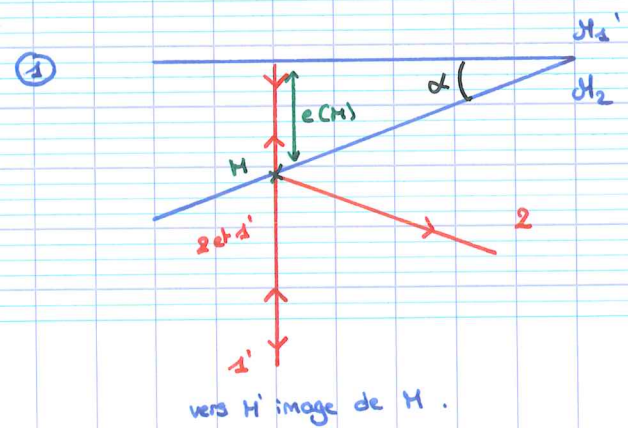
\uparrow écran \uparrow miroir

2. Différence de marche

On éclaire l'appareil de sorte que i soit petit.

Alors : $\delta(CH) = 2e(CH)$

En effet,



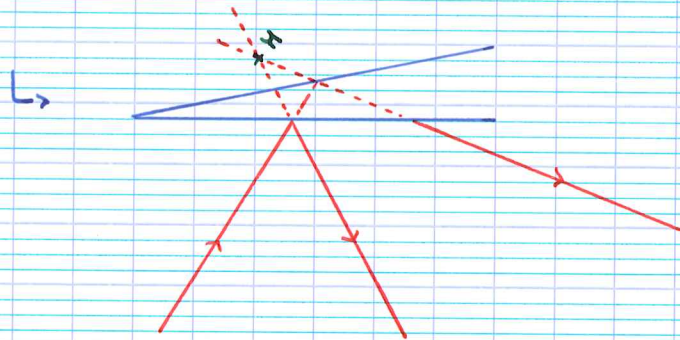
$$\delta = \mathcal{L}_{SH'_2} - \mathcal{L}_{SH'_1}$$

or $\mathcal{L}_{SH_2} = \mathcal{L}_{SH_1}$

et $\mathcal{L}_{HH'_2} = \mathcal{L}_{HH'_1}$ d'après le théorème de stigmatisme.

donc $\delta(H) = 2e(H)$

(La situation n'est pas aussi simple si les rayons sont inclinés.)



② $S_1 S_2 = 2\alpha d = p$

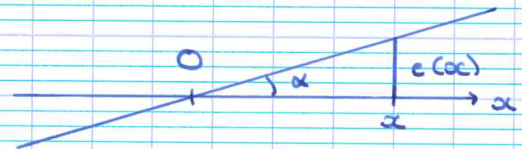
Comme Young,

$$\delta = \frac{p\alpha}{D} = \frac{2\alpha d\alpha}{D}$$

Si l'écran est sur les miroirs, $D = d$.

donc $\delta = 2\alpha\alpha$

$e(\alpha) = \alpha \tan(\alpha) \approx \alpha\alpha$.



donc $\delta = 2\alpha\alpha = 2e(H)$

3. Etude de la figure d'interférences. (cf. figure 10)

On cherche $\delta = \text{cste}$.

Or, $\delta = \text{cste}$

$$\Leftrightarrow \alpha = \text{cste}'$$

$$\Leftrightarrow e = \text{cste}''$$

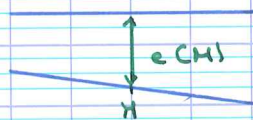
Les franges sont des segments parallèles à l'intersection des plans σ_2 et σ_2' . On les appelle franges d'égal épaisseur.

$$p = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2e}{\lambda} = \frac{2\alpha z}{\lambda}$$

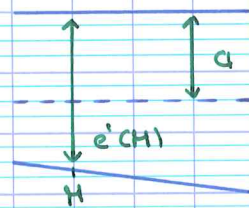
$$x_p = p \frac{\lambda}{2\alpha} \quad i = \alpha_{p+1} - \alpha_p$$

Ainsi, $i = \frac{\lambda}{2\alpha}$

Si l'on fait la translation d'un miroir :



$$\delta(CH) = 2e(CH)$$



$$\begin{aligned} \delta'(CH) &= 2e'(CH) \\ &= 2(e + a) \\ &= \delta(CH) + 2a \end{aligned}$$

$$\text{donc } p'(CH) = p(CH) + \underbrace{\frac{2a}{\lambda}}_{\Delta p}$$

→ Les franges défilent.

Attention si δ augmente trop, elle risque de dépasser P_c , ce qui provoque un brouillage.

INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON

I Présentation

1. Division des rayons et rôle de la compensatrice
2. Cheminement des rayons
3. Système fictif équivalent
4. Localisation et projection des franges

II Utilisation en lame à faces parallèles

1. Localisation et projection des franges
2. Différence de marche
3. Étude de la figure d'interférences
4. Teinte plate

III Utilisation en coin d'air

1. Localisation des franges
2. Différence de marche
3. Étude de la figure d'interférences

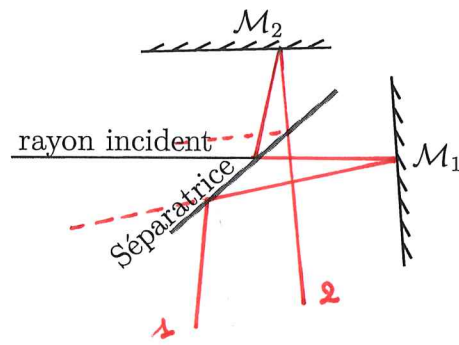


FIGURE 1 – Division d'un rayon dans un interféromètre de Michelson

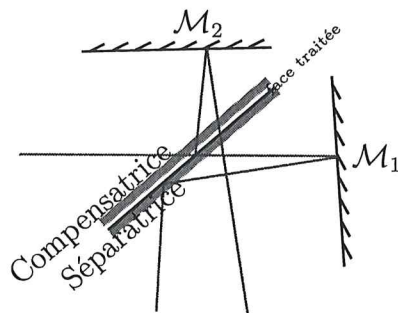


FIGURE 2 – Rôle de la compensatrice dans un interféromètre de Michelson

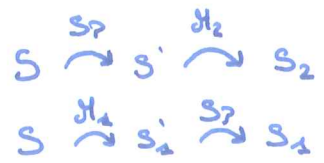
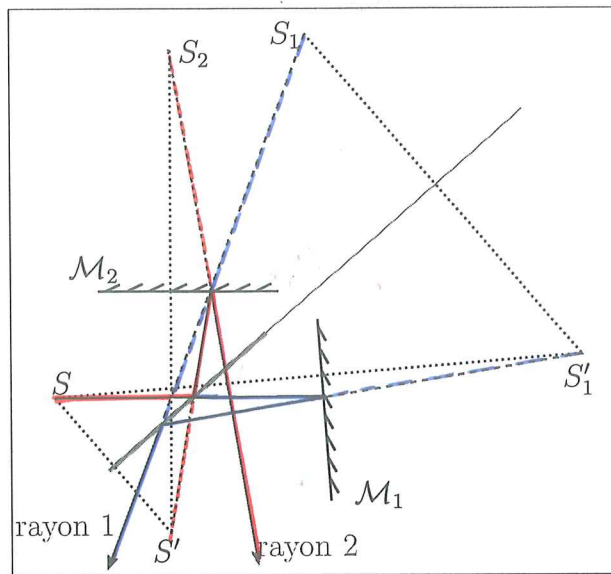


FIGURE 3 – Cheminement des rayons dans un interféromètre de Michelson

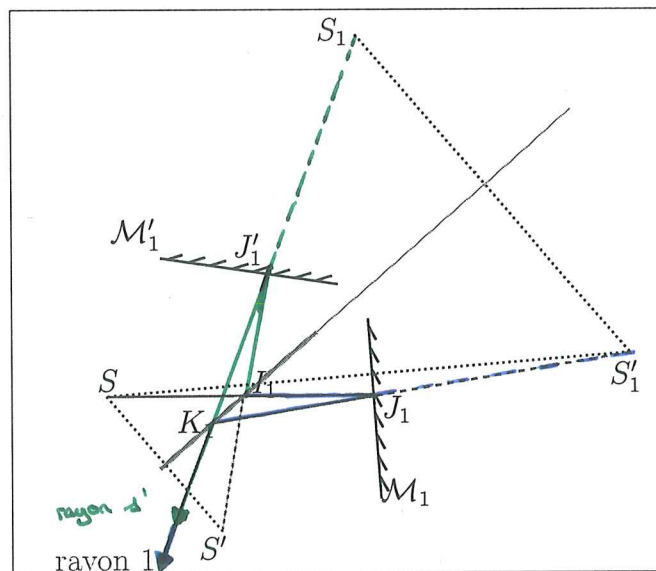


FIGURE 4 – Équivalence du miroir \mathcal{M}_1 et de son image virtuelle dans la séparatrice \mathcal{M}'_1

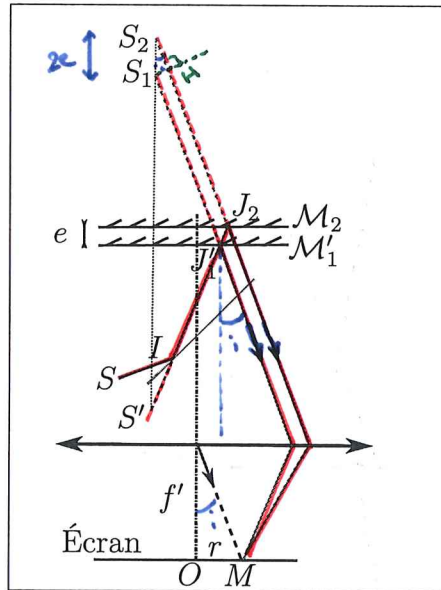


FIGURE 5 – Localisation à l'infini des franges dans le montage en lame d'air

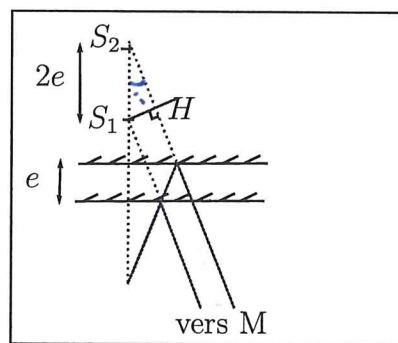


FIGURE 6 – Calcul de δ en lame d'air. Les rayons interfèrent à l'infini.

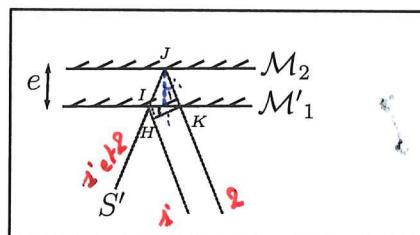


FIGURE 7 – Variante pour le calcul de δ en lame d'air. Les rayons interfèrent à l'infini.

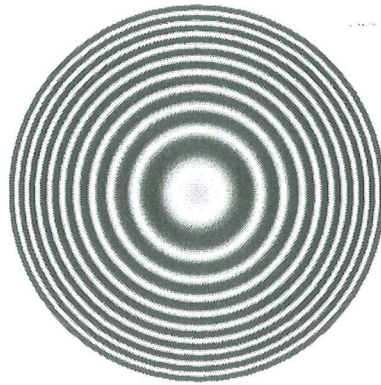


FIGURE 8 – Anneaux d'égal inclinaison obtenus dans le montage en lame d'air

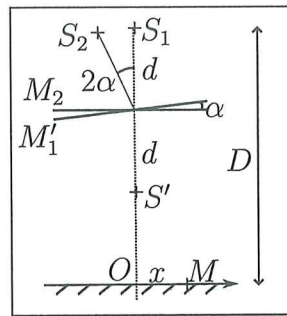


FIGURE 9 – Analyse de la différence de marche en coin d'air

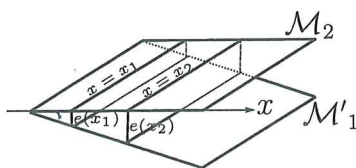


FIGURE 10 – Représentation en perspective du coin d'air.

