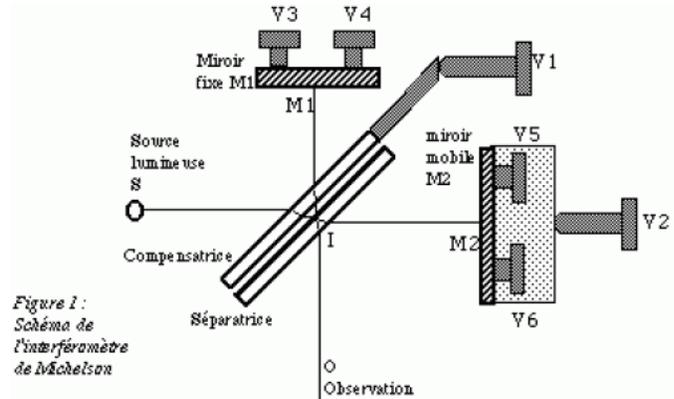


# Chapitre 005: interféromètre de Michelson

## I. Présentation



L'interféromètre de Michelson est un dispositif interférentiel à deux ondes à division d'amplitude. Il est composé de:

V1 sert à

V2 sert à

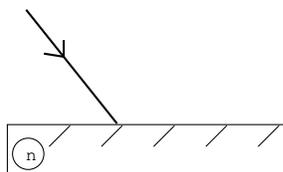
V3 et V4 servent à

V5 et V6 servent à

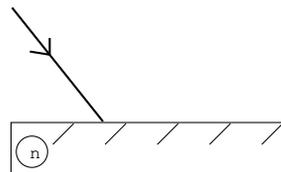
*Qu'est-ce que la séparatrice?*

La séparatrice est une lame de verre à faces parallèles dont l'une des faces a subi un traitement semi-réfléchissant (cette face a des coefficients de réflexion et de transmission en énergie égaux à 0,5).

En toute rigueur:



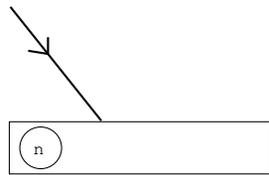
De façon approchée:



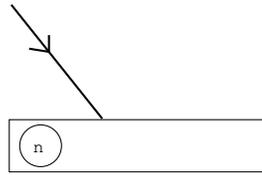
*Qu'est-ce que la compensatrice?*

La compensatrice est une lame de verre à faces parallèles identique à la séparatrice (même verre et même épaisseur) qui n'a subi aucun traitement semi-réfléchissant.

En toute rigueur:

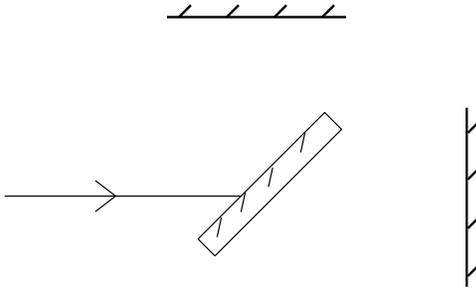


De façon approchée:

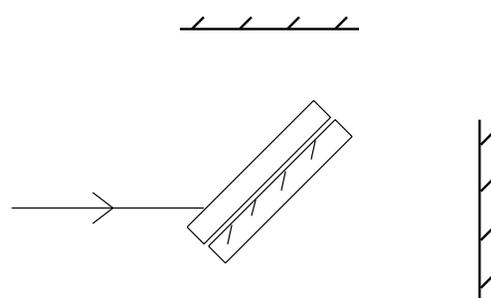


Pour comprendre son rôle, observons le trajet suivi par la lumière en présence et en absence de la compensatrice:

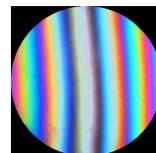
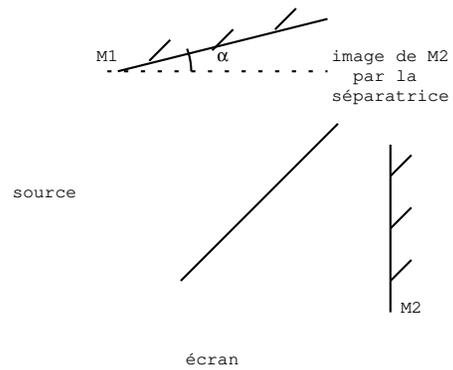
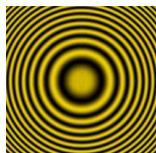
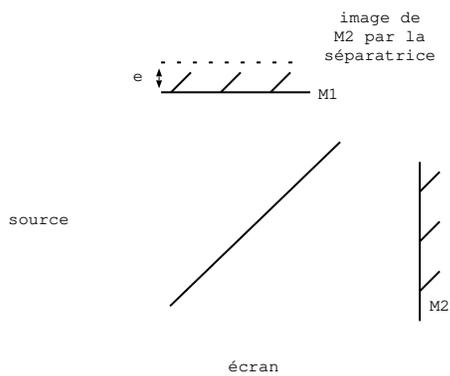
En absence de compensatrice



En présence de compensatrice



Quel type de franges observe-t-on avec un interféromètre de Michelson?



## II. Michelson éclairé par une source étendue et réglé en lame d'air

Les miroirs  $M_1$  et  $M_2$  sont perpendiculaires entre eux soit le miroir  $M_1$  et l'image  $M'_2$  du miroir  $M_2$  par la séparatrice sont parallèles et forment une lame d'air d'épaisseur  $e$ .

### 1. Construction des deux rayons qui interfèrent

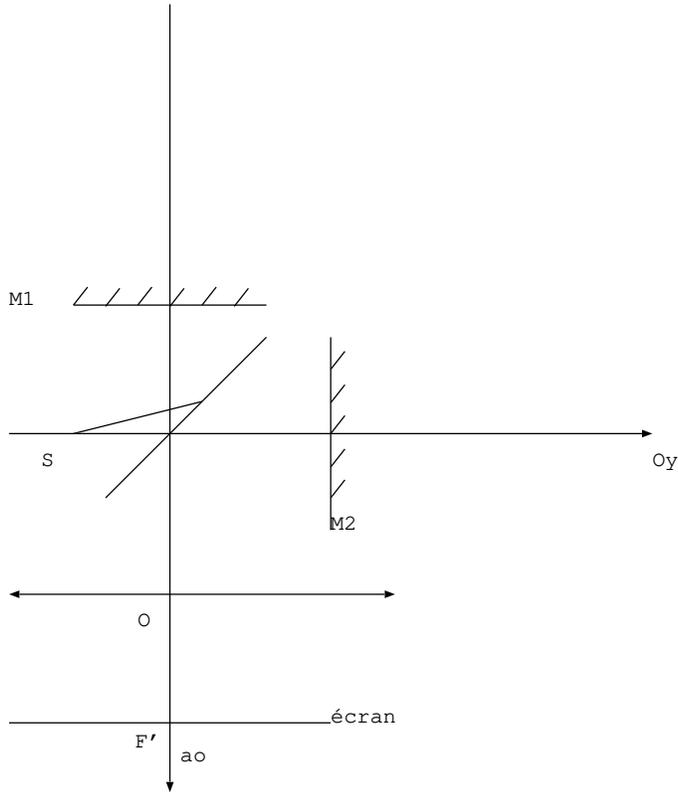


Schéma équivalent avec utilisation des sources secondaires

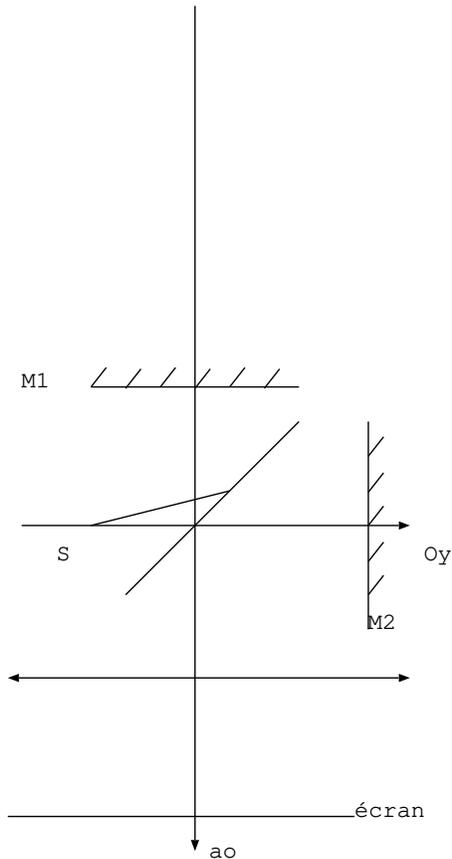
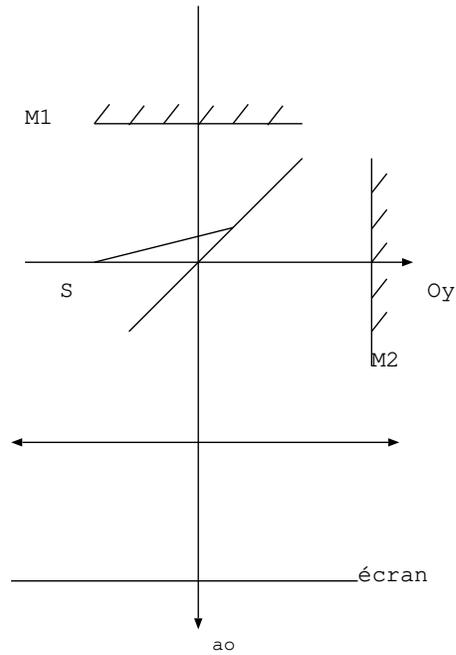


Schéma équivalent sans utilisation des sources secondaires



## 2. Calcul de la différence de marche

Vérification pour  $i = 0$ :

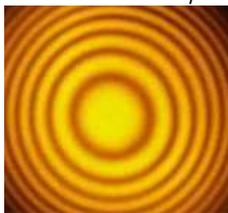
## 3. Ordre d'interférences

Expression de l'ordre d'interférences

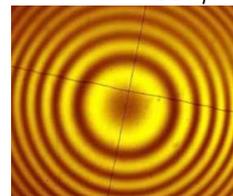
Forme des franges

Variation de  $p$  sur la figure d'interférences

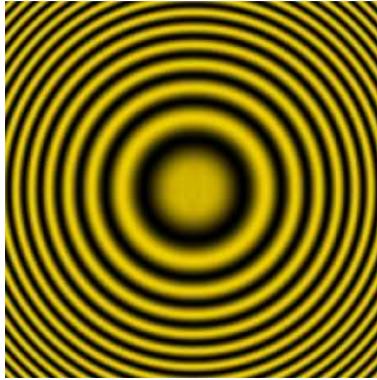
Pour  $\lambda = 589 \text{ nm}$  et  $e = 579 \text{ }\mu\text{m}$ :  $p_0 = 1966,0$



Pour  $\lambda = 589 \text{ nm}$  et  $e = 148 \text{ }\mu\text{m}$ :  $p_0 = 502,5$



Cas général:



*Rayon de l'anneau d'ordre  $p$ :*

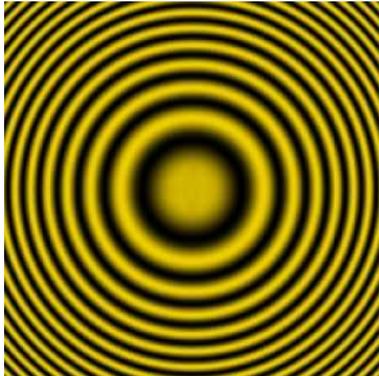
#### 4. Exercices

*Exemple 1* : Calculer l'ordre d'interférences au centre de l'écran et calculer  $r_4$ , le rayon du 4<sup>ième</sup> anneau brillant. Données : épaisseur de la lame d'air  $e = 0,80 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 632 \text{ nm}$  et  $f' = 50 \text{ cm}$ .

*Exemple 2* : Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air d'épaisseur  $e$ . Calculer l'épaisseur de la lame d'air  $e$  sachant que l'ordre d'interférence du cinquième anneau brillant est de 1513 et que l'éclairement au centre de l'écran est nul.

*Exemple 3* : On considère un Michelson réglé en lame d'air d'épaisseur  $e = 100 \mu m$ . La source lumineuse ( $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$ ) éclaire l'interféromètre avec un angle d'ouverture maximale  $\theta_{max} = 10^\circ$  (soit  $10^\circ$  de part et d'autre de l'axe optique) . Calculer le nombre  $N$  de franges brillantes que l'on peut observer.

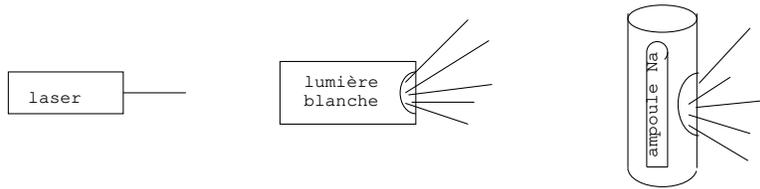
*Exemple 4* : mesurer sur la photo les rayons du premier et du cinquième anneaux brillants. En déduire l'épaisseur de la lame d'air. Données :  $\lambda = 632 \text{ nm}$  et  $f' = 60 \text{ cm}$ .



## 5. Utile pour les TP

### Montage expérimental

On classe les sources de lumière utilisées en deux catégories: les sources ponctuelles et les sources étendues.



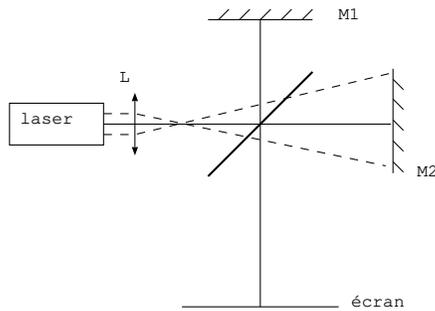
On appelle *localisation des franges*, la zone où on peut placer un écran pour observer des franges d'interférences. C'est-à-dire la zone où les rayons sortant du dispositif (et issus du même rayon incident) se croisent.

Résultat admis:

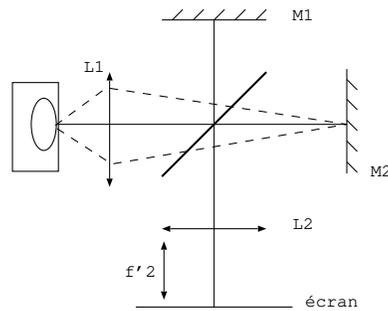
Avec une source ponctuelle comme

Avec une source étendue comme

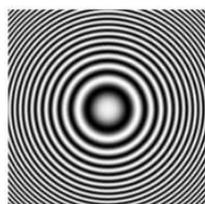
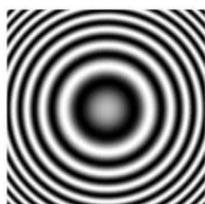
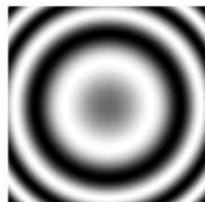
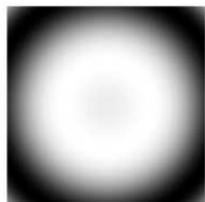
Montage expérimental avec le laser:



Montage expérimental avec une source étendue:



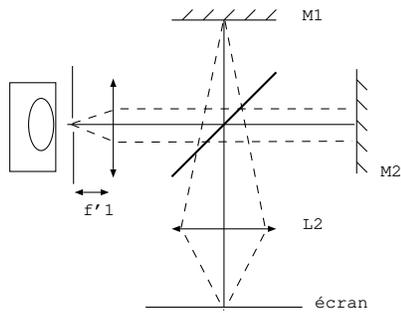
Qu'observe-t-on quand on modifie l'épaisseur de la lame d'air?



### III. Interféromètre de Michelson réglé en coin d'air

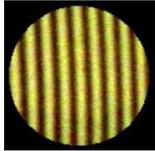
Le miroir  $M_1$  et l'image  $M_2'$  du miroir  $M_2$  par la séparatrice font un angle  $\alpha$  **petit** entre eux.

#### 1. Montage expérimental

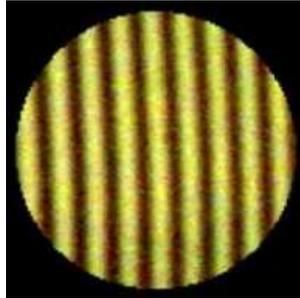


*Lien entre ce que l'on voit sur les miroirs et ce que l'on voit sur l'écran:*

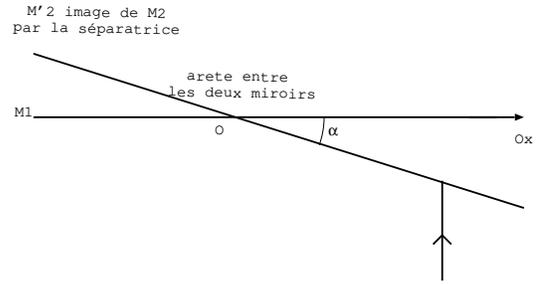
Sur les miroirs:



Sur l'écran:



## 2. Différence de marche et interfrange pour des rayons en incidence normale sur les miroirs



AN: calculer  $\alpha$  pour  $i = 1 \text{ mm}$  et  $\lambda = 500 \text{ nm}$

### 3. Exercices d'application

On rappelle que  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$  et  $\gamma = \frac{OA'}{OA}$ .

*Exercice 1 :* Un Michelson est réglé en coin d'air avec  $\alpha = 20''$  d'arc. Les miroirs plans ont pour diamètre  $d = 2 \text{ cm}$ . On place à  $35 \text{ cm}$  de  $M_1$  une lentille convergente de focale image  $30 \text{ cm}$ . La source monochromatique a pour longueur d'onde  $\lambda = 500 \text{ nm}$ .

Déterminer la distance entre  $M_1$  et l'écran. Calculer l'interfrange sur  $M_1$  et l'interfrange sur l'écran. Combien de franges peut-on observer?

*Réponses :* sur le miroir  $i = 2,58 \text{ mm}$  sur l'écran  $i_e = 1,55 \text{ cm}$

*Exercice 2 :* On observe des franges rectilignes avec un interféromètre de Michelson. On utilise une lentille de focale image  $f' = 20 \text{ cm}$  qui donne un grandissement de  $-4$ . Où faut-il placer l'écran pour observer les franges? On mesure un interfrange  $i_e = 1 \text{ mm}$  sur l'écran pour  $\lambda = 589 \text{ nm}$ . En déduire  $\alpha$  en rad et en minute d'angle. On introduit une lame de verre d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n = 1,5$  devant et parallèlement au miroir  $M_1$ . On observe un déplacement de 25 franges. En déduire l'épaisseur de la lame.

*Réponses :* distance miroir écran  $1,25 \text{ m}$ ,  $\alpha = 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$ ,  $e = 14,7 \mu\text{m}$

*Exercice 3:* Le Michelson est éclairé par une source de longueur d'onde  $\lambda = 589 \text{ nm}$ . On projette la figure d'interférences à l'aide d'une lentille de focale image  $f' = 40 \text{ cm}$  sur un écran placé à la distance  $D = 2 \text{ m}$  de  $M_1$ . On donne la photo de l'écran. Calculer la valeur de  $\alpha$ , angle du coin d'air.

*Aide:* on peut poser  $\overline{AO} = x$  (distance entre  $M_1$  et la lentille) et montrer que  $x$  vérifie l'équation  $x^2 - Dx + Df' = 0$ . On en déduit  $x$  puis le grandissement de la lentille.

*Réponses:*  $x = 0,6 \text{ m}$  et  $\alpha = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$

