

Interféromètre de Michelson

C'est un dispositif interférentiel mis au point par Michelson (physicien américain) en 1885 pour tester l'invariance de la vitesse de la lumière dans le vide. Le résultat négatif de son expérience fut à l'origine du développement de la théorie de la relativité restreinte (Einstein).

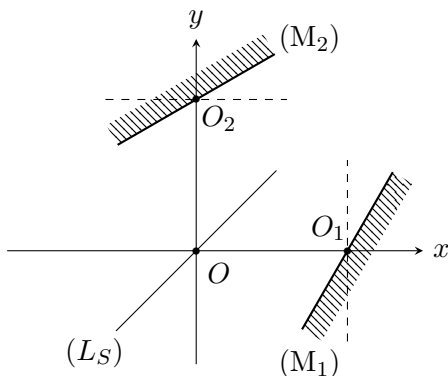
Table des matières

I. Marche des rayons lumineux dans l'interféromètre	2
1) Description du dispositif	2
2) Voies 1 et 2	2
3) Modèles équivalents	3
a) Modèle avec 2 sources ponctuelles fictives	3
b) Modèle du miroir fictif (M'_1)	4
II. Montage en lame d'air	5
1) Montage	5
2) Intensité lumineuse	6
a) Observation à distance finie	6
b) Observation à l'infini	7
3) Observation des interférences en lumière monochromatique	8
III. Montage en coin d'air	9
1) Description du montage	9
2) Marche des rayons lumineux	10
3) Surfaces iso-intensité	11
IV. Nécessité d'une lame compensatrice	12

I. Marche des rayons lumineux dans l'interféromètre

1) Description du dispositif

On commence par décrire l'appareil idéalisé. L'espace est rapporté au repère $(Oxyz)$ et on fait un schéma plan, dans le plan (Oxy) .



L'interféromètre est constitué de :

- Deux miroirs plans (M_1) et (M_2) dont les centres sont O_1 et O_2 avec $O_1 \in Ox$ et $O_2 \in Oy$. Ces deux miroirs peuvent pivoter autour de leurs centres respectifs : rotations repérées par les angles α_1 et α_2 .

En pratique $\alpha_2 \approx 0$: (M_2) quasi $\perp Oy$

- Une lame semi-réfléchissante (L_S) appelée lame séparatrice et inclinée à 45° de Ox et Oy .

Cas idéalisé :

(L_S) est supposée *infinitement mince* : elle ne dévie pas les rayons lumineux qui la traversent et, en réflexion, elle se comporte comme un miroir plan. De plus, (L_S) transmet 50 % de l'intensité et en réfléchit 50 %.

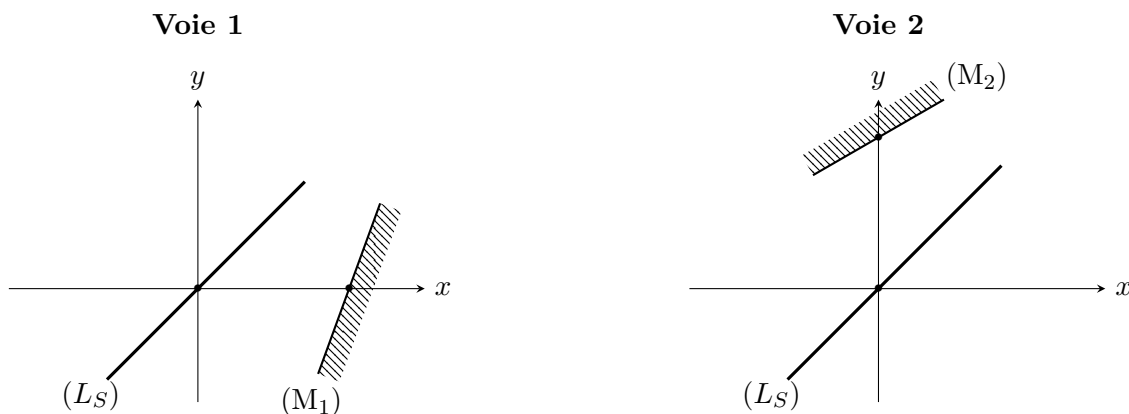
On pose :

$$d_1 = OO_1 \text{ (réglable)} ; d_2 = OO_2 \text{ (fixe)} \text{ et } e = |d_1 - d_2|$$

e est l'**épaisseur optique** de l'interféromètre.

2) Voies 1 et 2

On suppose que l'interféromètre est éclairé par une source ponctuelle S placée dans l'espace d'entrée de l'appareil.



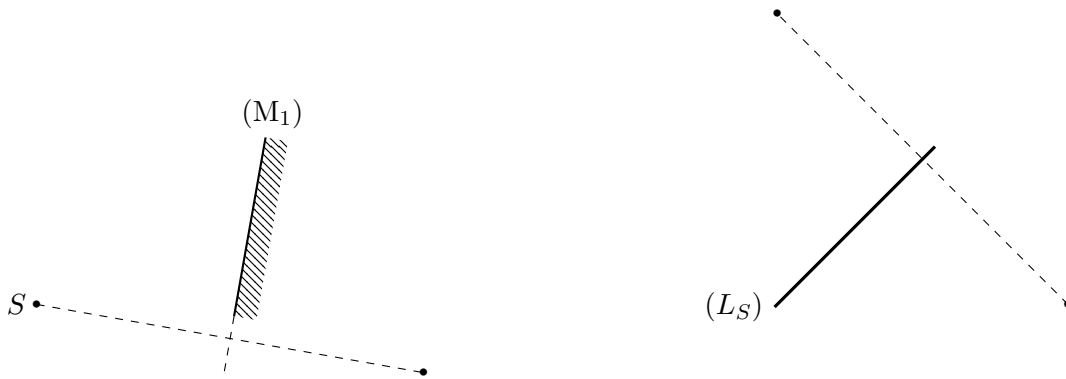
On utilise beaucoup la propriété ci-dessous :



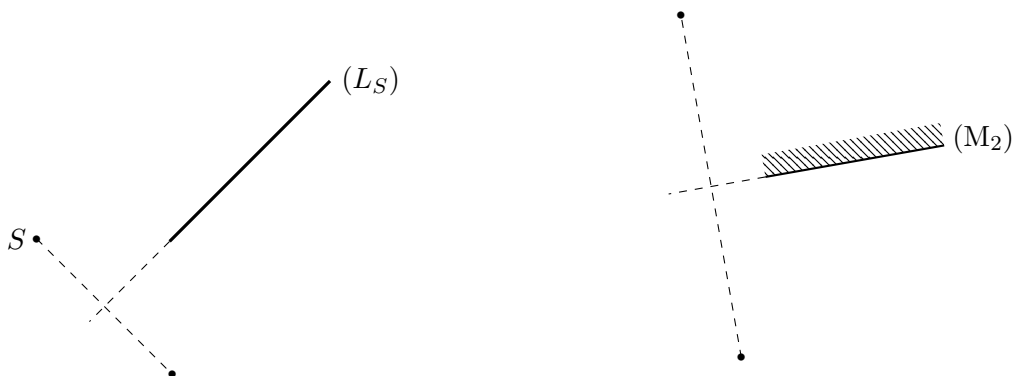
3) Modèles équivalents

a) Modèle avec 2 sources ponctuelles fictives

Voie 1 Le faisceau lumineux réfléchi par (M_1) semble provenir du point $S'_1 = \text{Sym}/M_1(S)$ puis le faisceau réfléchi par (L_S) semble venir de $S_1 = \text{Sym}/L_S(S'_1)$

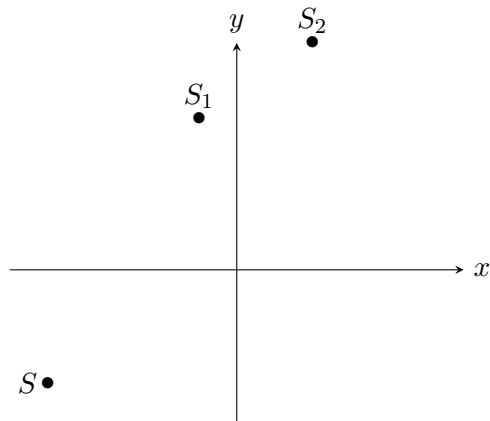


Voie 2 Le faisceau lumineux réfléchi par (L_S) semble provenir du point $S^* = \text{Sym}/L_S(S)$ puis le faisceau réfléchi par (M_2) semble venir de $S_2 = \text{Sym}/M_2(S^*)$

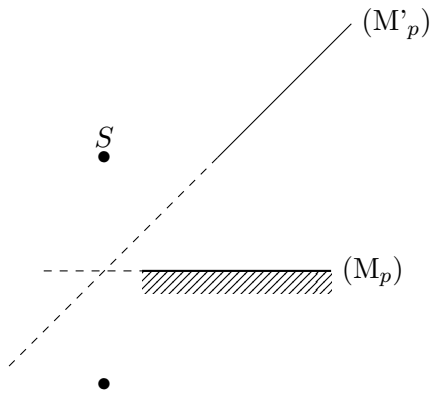


Bilan :

Dans l'espace de sortie, on observe deux faisceaux de lumière : le premier semble provenir de S_1 (voie 1) et le second semble provenir de S_2 (voie 2). Ce sont les deux **sources ponctuelles fictives** associées à S .

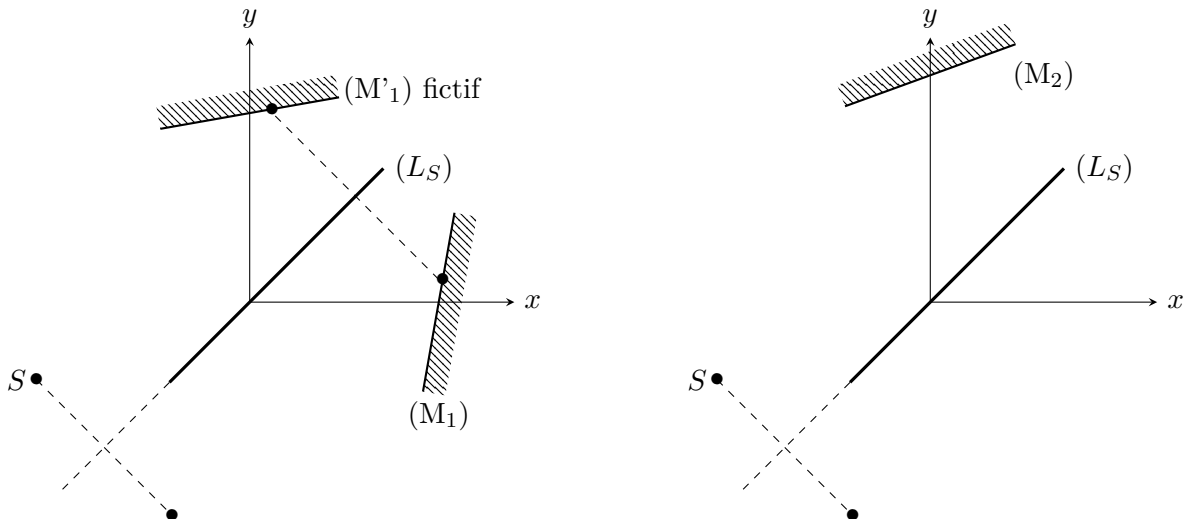


Pour calculer la différence de marche $\delta(M)$ on utilise la propriété suivante du chemin optique :

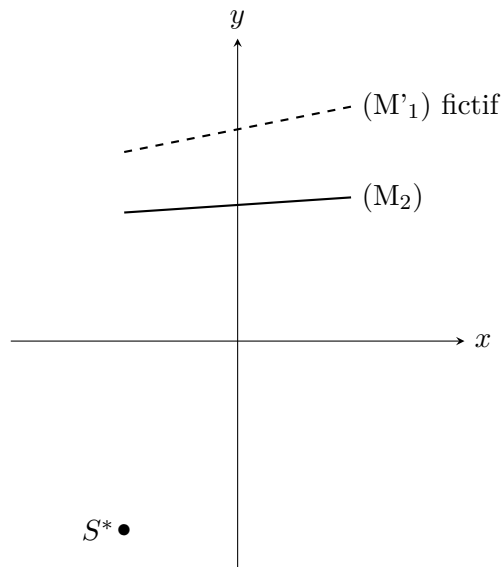


b) Modèle du miroir fictif (M'_1)

Une autre façon de raisonner consiste à introduire un **miroir fictif** (M'_1) pour décrire le chemin emprunté par la lumière dans la voie 1 en symétrisant le trajet de la lumière par rapport à la lame séparatrice (L_S). On symétrise aussi un peu la voie 2.



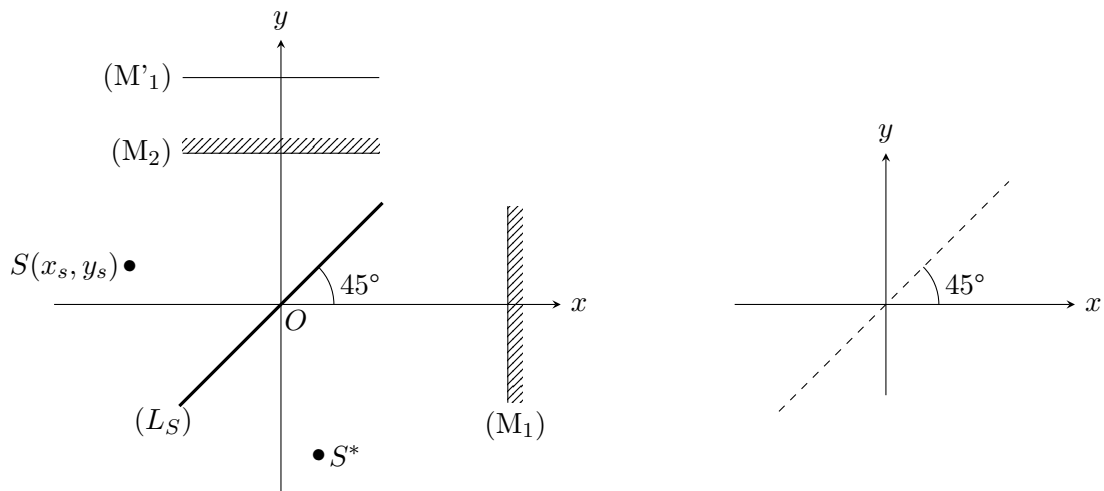
Finalement on a le schéma équivalent suivant. *Tous les rayons lumineux qui entrent dans l'interféromètre semblent venir du point S^* .*

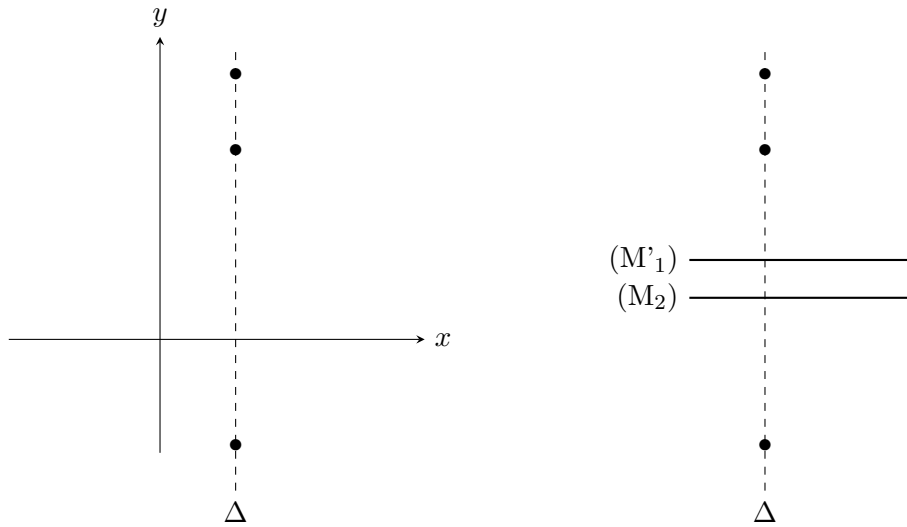


II. Montage en lame d'air

Le montage en lame d'air est le cas particulier où $(M_1) \perp Ox$ et $(M_2) \perp Oy$ (c'est à dire $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$).

1) Montage



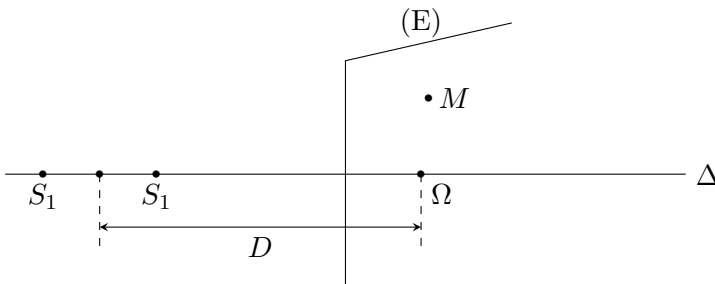


2) Intensité lumineuse

Soit $a(t)$ le signal lumineux émis par la source ponctuelle S . De plus, soient t_s le coefficient de transmission de (L_S) , r_s son coefficient de réflexion et $r_m = -1$ les coefficients de réflexion sur les miroirs (M_1) et (M_2) .

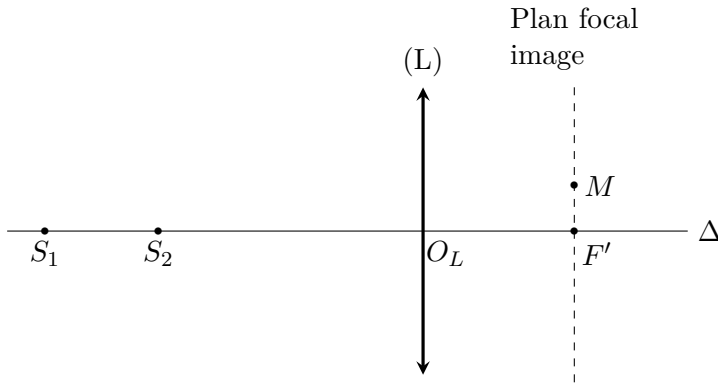
a) Observation à distance finie

On place un écran $(E) \perp Oy$ et à **distance finie** dans l'espace de sortie de l'interféromètre.



b) Observation à l'infini

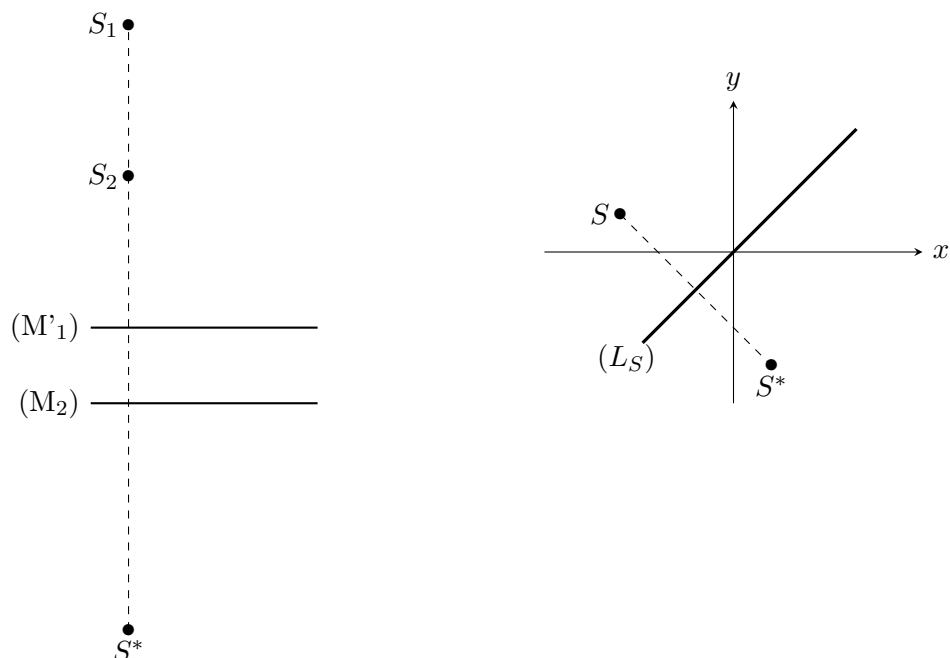
Cela correspond au cas où D est très grand ou bien lorsqu'on place l'écran (E) dans le plan focal image d'une lentille convergente (L).



Conclusion :

Tous les points M du plan focal image de (L) repérés par le même angle i auront la même intensité lumineuse. Ces points d'égale i sont situés sur des cercles de centre F' : les franges d'interférences sont donc des **anneaux** (cercles) de centre F' : on parle de *franges d'égale inclinaison*.

Comment sont émis les deux rayons lumineux qui semblent provenir de S_1 et S_2 ?



Calcul de $\delta(M)$ en utilisant le modèle du miroir fictif (M'_1).



\bullet
 S^*

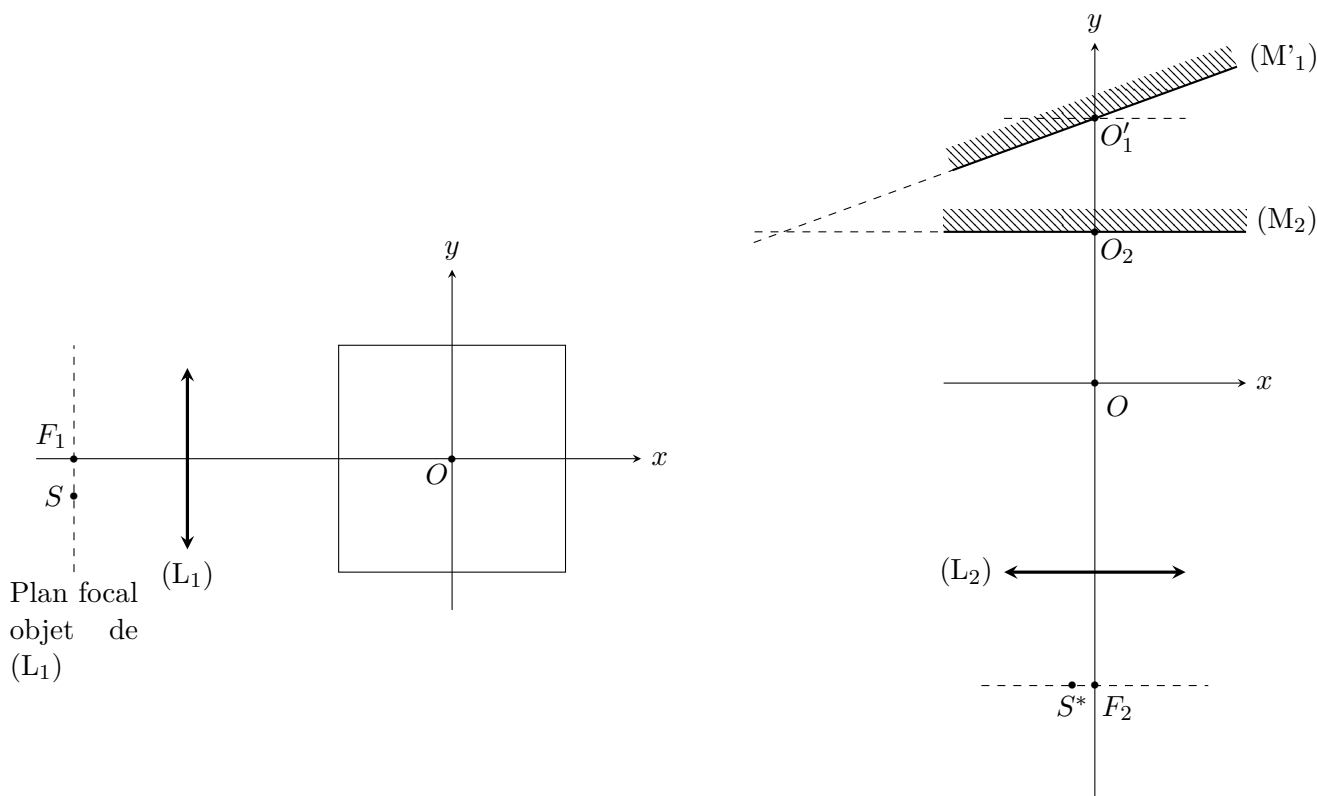
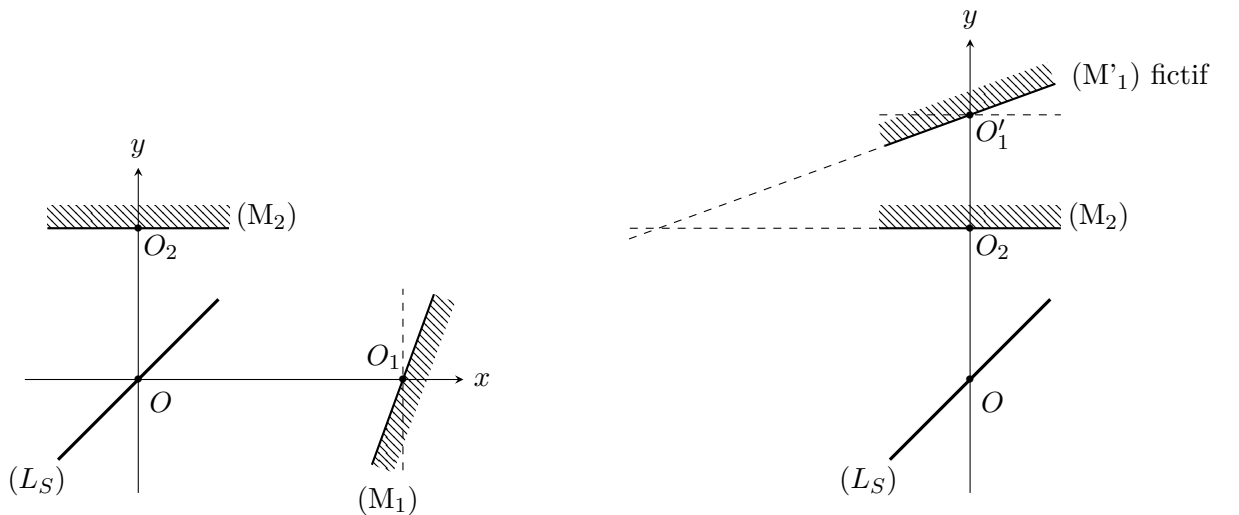
3) Observation des interférences en lumière monochromatique

Très important. À faire sur feuille à part.

III. Montage en coin d'air

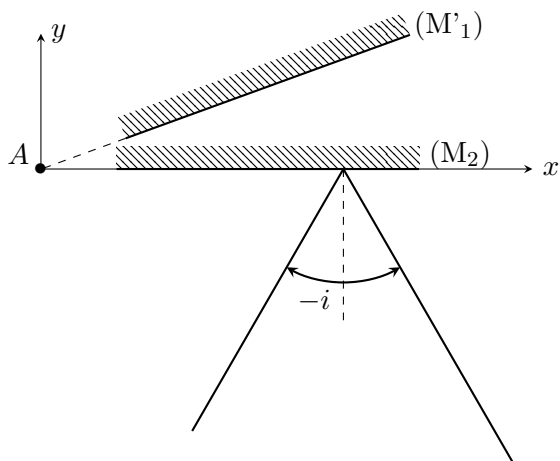
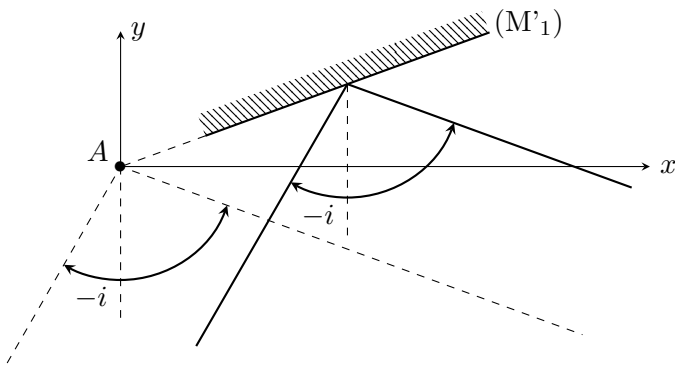
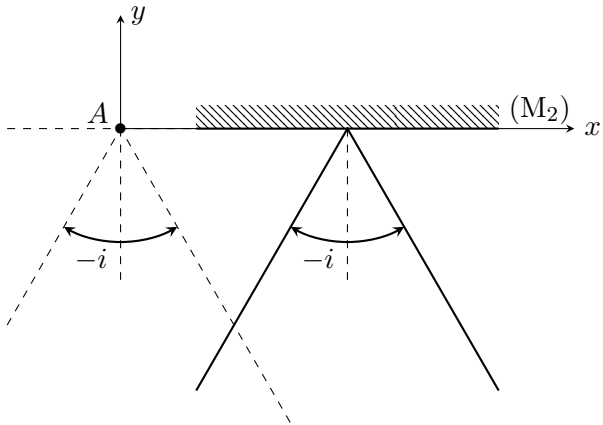
1) Description du montage

Dans le montage en *coin d'air* les deux miroirs (M_1) et (M_2) ne sont pas perpendiculaires à leurs axes respectifs Ox et Oy . Cependant, pour simplifier, comme α_2 reste toujours très proche de zéro, on va supposer qu'il est rigoureusement nul. Dans ce cas, seul $\alpha_1 \neq 0$ et on le note α .



2) Marche des rayons lumineux

L'espace est rapporté au repère orthonormal $(Axyz)$ avec origine A sur l'arête du dièdre du coin d'air : $A \in \Delta$. Tous les schémas seront faits dans le plan (Axy) avec orientation des angles dans le sens trigonométrique.



3) Surfaces iso-intensité

Quel que soit le type de la lumière utilisée les surfaces iso-intensité sont définies par $\tau(M) = \text{Cste}$ c'est à dire $\delta(M) = \text{Cste}$ (ce qui assure que $g_n(\tau) = \text{Cste}$). Cela équivaut à :

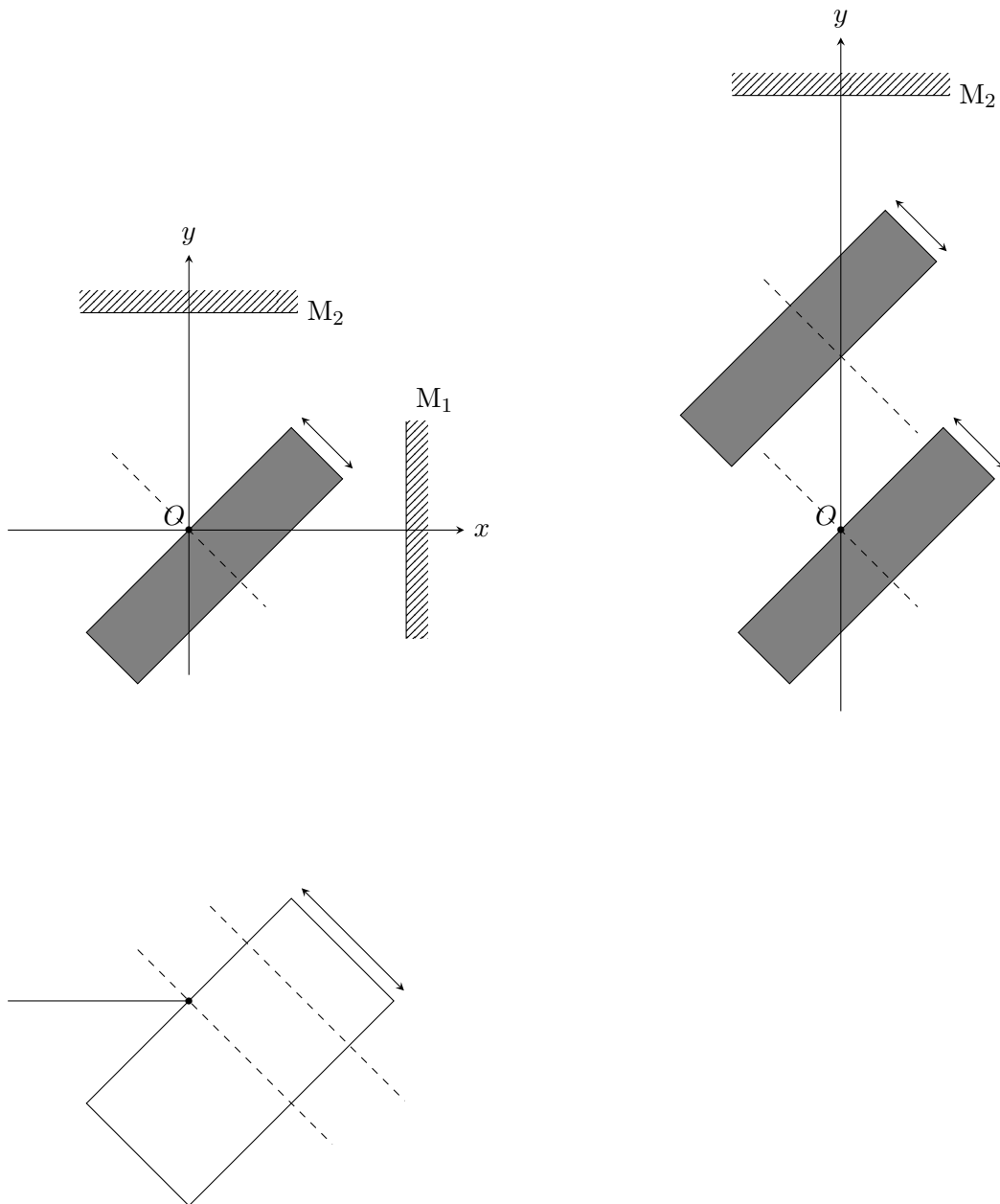
$$\boxed{(\vec{u}_1 - \vec{u}_2) \cdot \vec{AM} = C}$$

Les surfaces iso-intensité sont les plans perpendiculaires au vecteur $\vec{u}_2 - \vec{u}_1$.

IV. Nécessité d'une lame compensatrice

Dans un interféromètre de Michelson réel (non idéalisé) la lame séparatrice (L_S) possède une épaisseur L qui n'est pas négligeable. Cela introduit une différence de marche entre les voies 1 et 2 au contact optique (c'est à dire lorsque $d_1 = d_2$) qu'il est nécessaire de compenser : c'est le rôle de la *lame compensatrice* (L_C).

L'étude générale de l'interféromètre avec deux lames (L_S) et (L_C) est assez difficile : on se contente ici d'étudier la marche d'un rayon lumineux qui arrive le long de l'axe Ox . On suppose que l'interféromètre est réglé en lame d'air et que $d_1 = d_2$.



Bilan de ce chapitre

Points du cours à connaître

- Réglage du Michelson en lame d'air : avec une source ponctuelle $S(x_s, y_s)$, connaître la position des deux sources fictives S_1 et S_2 (alignement vertical à la distance y_s sur Ox , distance $2e$).
- Michelson en lame d'air : savoir calculer la différence de marche $\delta(M)$ lorsque le point M est dans le plan focal image d'une lentille convergente. Calcul avec le modèle équivalent des deux sources S_1 et S_2 . Calcul avec le modèle équivalent des miroirs (M_2) et (M'_1) fictif.
- Connaître la démarche pour calculer les rayons des anneaux brillants : ordre au centre p_0 , excédent fractionnaire ε . Savoir étudier l'évolution des rayons si on modifie l'épaisseur optique e .
- Lorsque la source est étendue : les franges nettes sont localisées à l'infini ou dans le plan focal image d'une lentille.
- Réglage du Michelson en coin d'air : connaître la définition. Avec une source ponctuelle S dans le plan focal objet d'une lentille convergente, connaître la démarche pour établir la différence de marche :

$$\delta(M) = n_a (\vec{u}_1 - \vec{u}_2) \cdot \overrightarrow{AM}$$

- Interféromètre en coin d'air : savoir que si la source est étendue les franges sont localisées sur la surface de (M'_1) et savoir calculer rapidement la différence de marche $\delta(M) = 2n_a e(x) \approx 2n_a e \alpha$ en un point $M \in (M'_1)$. Interfrange $i = \frac{\lambda}{2\alpha}$ en lumière monochromatique.

Exercices à travailler :

- En priorité : 1, 3 et 4
- S'il y a le temps : 5