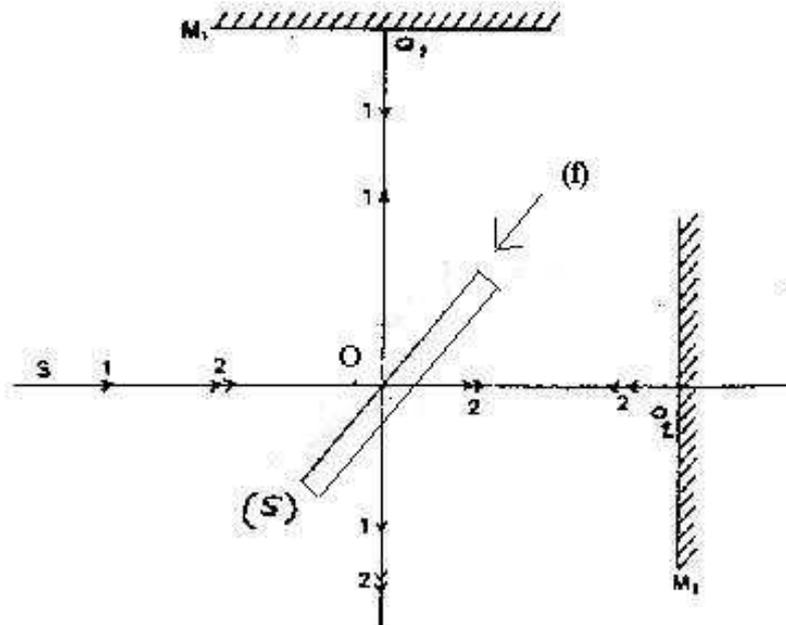
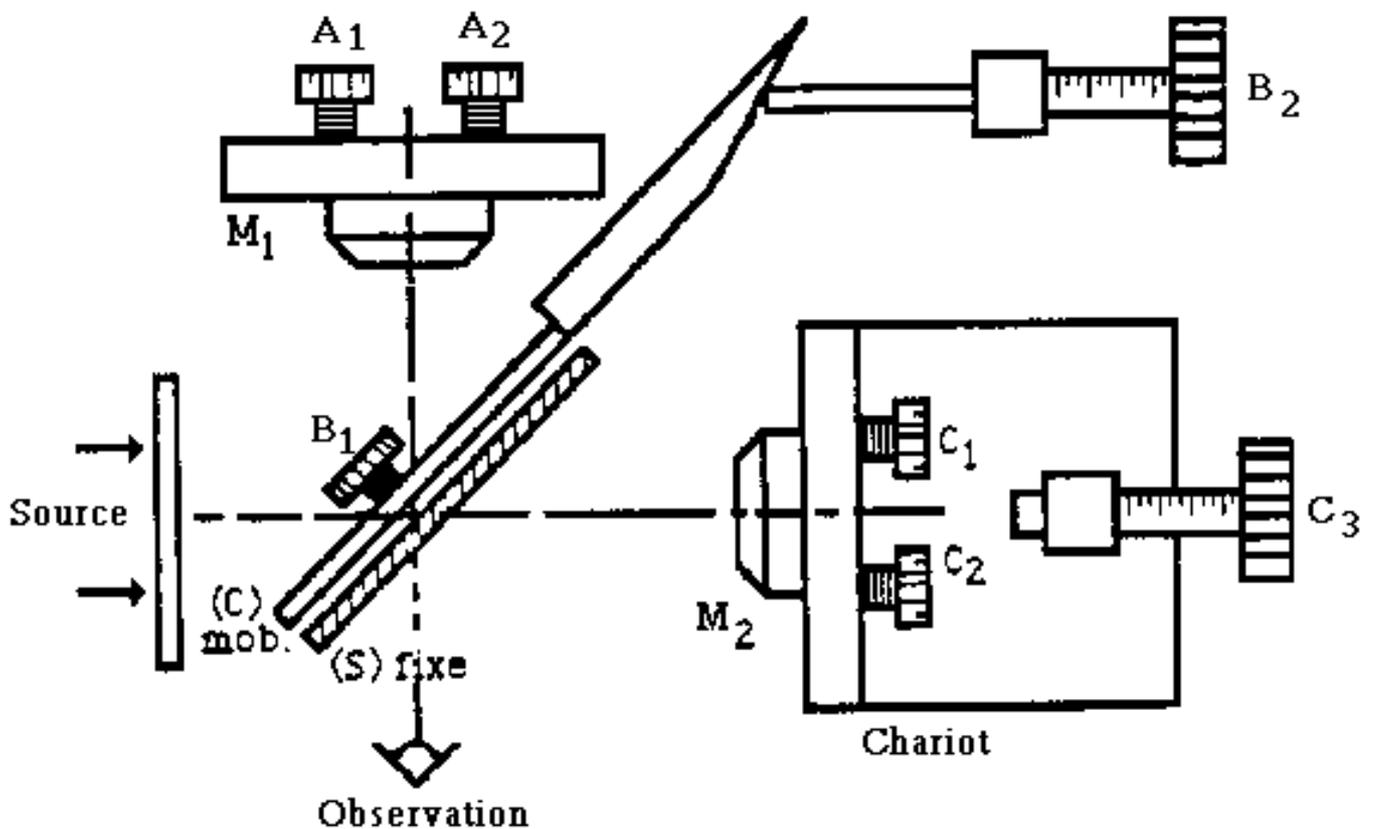


COMPLÉMENT DE COURS SUR L'INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON

SCHÉMA DE PRINCIPE :



INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON RÉEL :



première étude : interféromètre éclairé par une source ponctuelle S

1. PRÉSENTATION DE L'INTERFÉROMÈTRE : ÉTUDE SIMPLE NE CONSIDÉRANT QU'UN SEUL RAYON LUMINEUX ISSU DE LA SOURCE LUMINEUSE PONCTUELLE S :

- cas où les deux miroirs M_1 et M_2 sont orthogonaux entre eux :

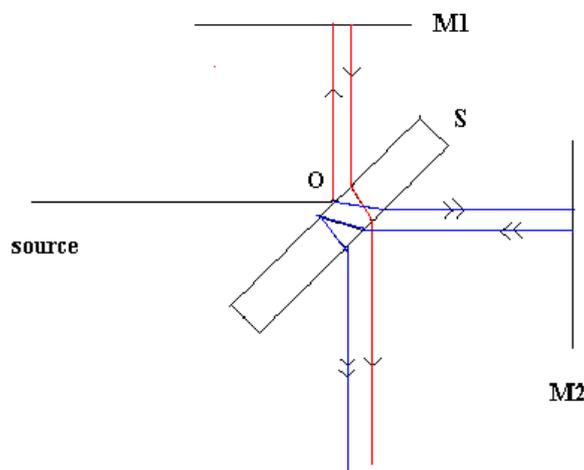
La face (f) de la lame à faces parallèles est semi réfléchissante, de sorte que, si E_0 est l'amplitude (du champ électrique) de l'onde incidente, c'est-à-dire issue de la source S, alors :

- * après réflexion sur (f), l'onde 1 a une amplitude $E_0/2$
- * après réflexion sur le miroir M_1 , l'onde 1 a toujours une amplitude $E_0/2$
- * après transmission à travers (f), l'onde 1 a une amplitude $E_0/4$

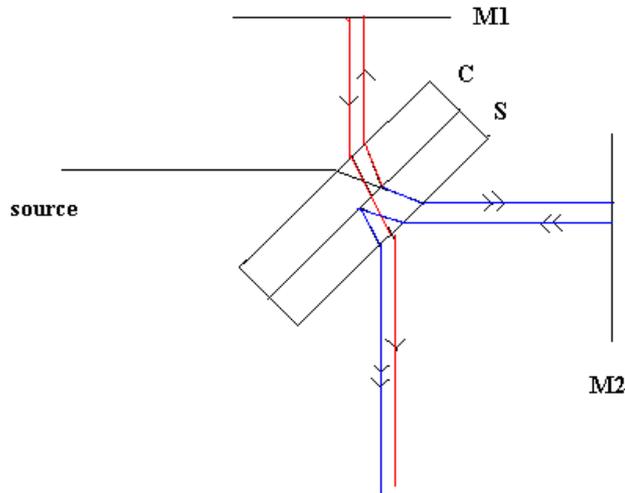
- * après transmission à travers (f), l'onde 2 a une amplitude $E_0/2$
- * après réflexion sur le miroir M_2 , l'onde 2 a une amplitude $E_0/2$
- * après réflexion sur (f), l'onde 2 a une amplitude $E_0/4$

Lorsque le miroir M_1 est orthogonal au rayon lumineux issu de la source S représenté sur le schéma et que le miroir M_2 est orthogonal au miroir M_1 , les deux rayons lumineux des ondes 1 et 2, qui cheminent ensemble à partir de O ont une différence de marche non nulle si la distance de O à M_1 est la même que de O à M_2 , ceci à cause du fait que le rayon lumineux de l'onde 1 a traversé deux fois la lame séparatrice alors que le rayon lumineux de l'onde 2 a traversé une seule fois la lame séparatrice.

représentation avec un unique rayon incident issu de S et normal au miroir M_2 :



Pour compenser cela, on place, parallèlement à la lame séparatrice, une lame à faces parallèles identique à la lame séparatrice (mais dont aucune face n'est semi réfléchissante) qui est alors traversée trois fois par le rayon lumineux de l'onde 2 et une seule fois par le rayon lumineux de l'onde 1 : alors, lorsque la distance de O à M_1 est la même que de O à M_2 , les deux rayons lumineux des ondes 1 et 2, qui cheminent ensemble à partir de O ont une différence de marche nulle :

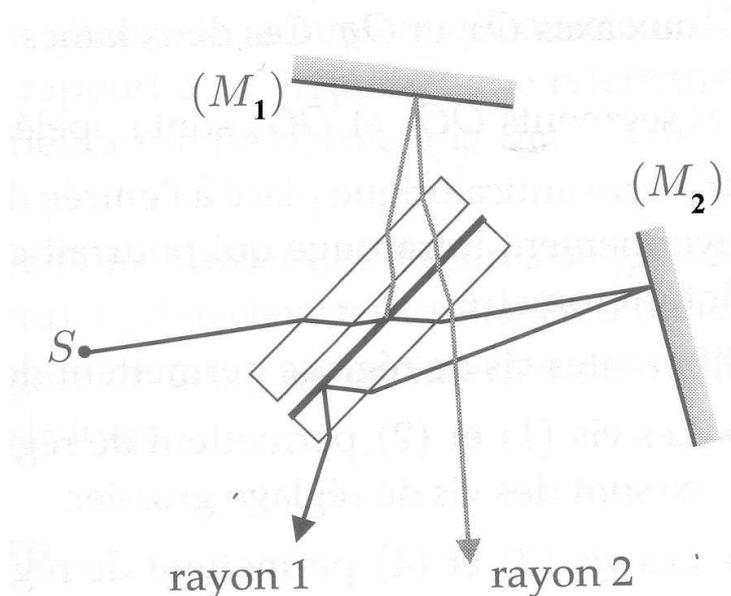


On notera dans la suite (SP) le plan confondu avec la face réfléchissante de la séparatrice.

La position de référence des miroirs est celle pour laquelle ils sont exactement symétriques par rapport au plan constitué par la surface semi réfléchissante de la séparatrice (SP) : on appelle la configuration de l'interféromètre de Michelson correspondant à cette position des miroirs le contact optique

- cas où les miroirs M_1 et M_2 ne sont pas orthogonaux entre eux :

représentation avec un unique rayon lumineux issu de S :



2. ÉTUDE PRENANT EN COMPTE DIFFÉRENTS RAYONS LUMINEUX ISSUS DE LA SOURCE PONCTUELLE S :

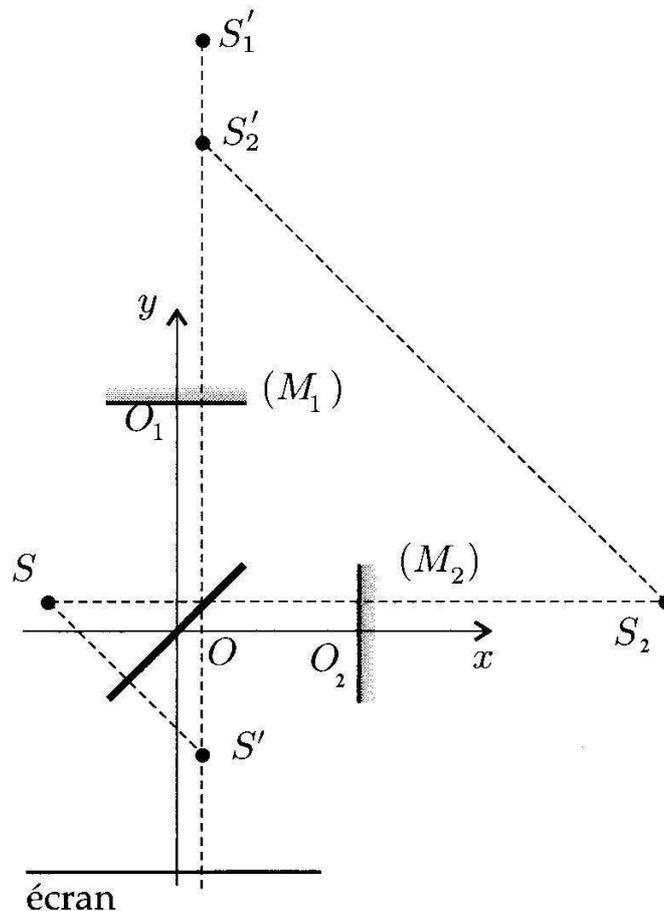
1) Cas où les miroirs M_1 et M_2 sont orthogonaux entre eux :

Si on appelle S_2 l'image de S par le miroir M_2 , puis S'_2 l'image de S_2 par la face semi réfléchissante (f), alors tous les rayons lumineux issus de S et s'étant réfléchis successivement sur M_2 puis (f) semblent provenir de S'_2

De même, si on appelle S' l'image de S par la face semi réfléchissante (f), puis S'_1 l'image de S' par le miroir M_1 , alors tous les rayons lumineux issus de S et s'étant réfléchis successivement sur (f) puis M_1 semblent provenir de S'_1

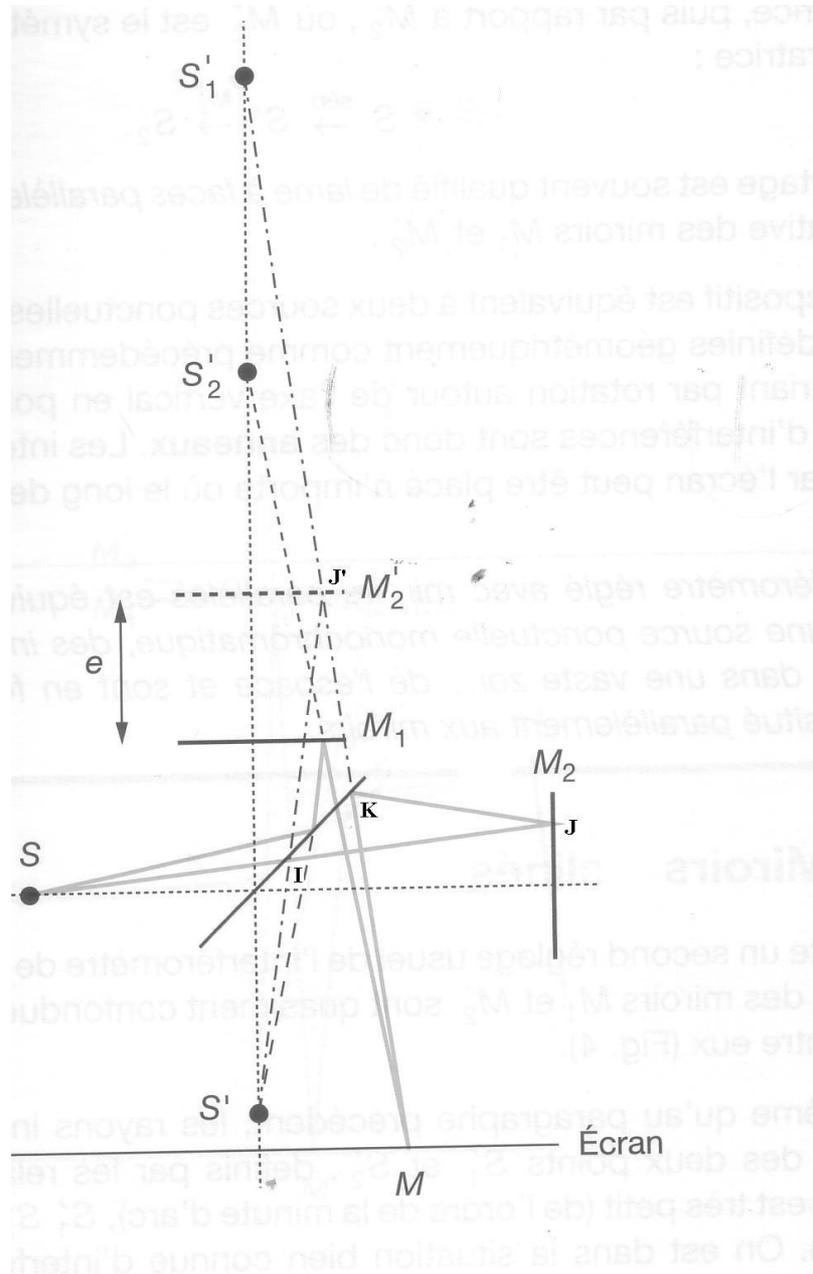
L'interféromètre de Michelson éclairé par une source ponctuelle S se ramène donc à un ensemble de deux trous d'Young S'_1 et S'_2 . On pourra donc observer des interférences délocalisées dans toute une région de l'espace. Les surfaces d'iso-éclairage sont alors des hyperboloïdes de révolution de foyers S'_1 et S'_2

Si on place un écran dans un plan parallèle à M_1 , les franges observées seront des anneaux, si on place un écran dans un plan parallèle à M_2 (cas irréaliste), les franges observées seront des hyperboles



2) Système équivalent à l'interféromètre lorsque les miroirs M_1 et M_2 sont orthogonaux entre eux

autre interprétation de l'interféromètre de Michelson lorsque les miroirs M_1 et M_2 sont orthogonaux entre eux :



On constate sur ce schéma que le chemin optique suivi par le rayon lumineux IJK (se réfléchissant sur M_2) est exactement le même que le chemin optique suivi par un rayon lumineux virtuel $IJ'K$. Ce dernier rayon lumineux semble s'être réfléchi sur un miroir virtuel M'_2 , image de M_2 par rapport à (SP) . On peut donc dire que l'ensemble des deux miroirs réels M_1 et M_2 est équivalent à l'ensemble des miroirs M_1 et M'_2 . Ces deux derniers miroirs définissent une lame d'air à faces parallèles fictive (située dans de l'air !). La configuration de l'interféromètre est alors dite en lame d'air (à faces parallèles). On peut alors raisonner sur l'interféromètre en utilisant le système équivalent : lame d'air (à faces parallèles) située entre M_1 et M'_2 .

3) Cas où les miroirs M_1 et M_2 ne sont pas orthogonaux entre eux :

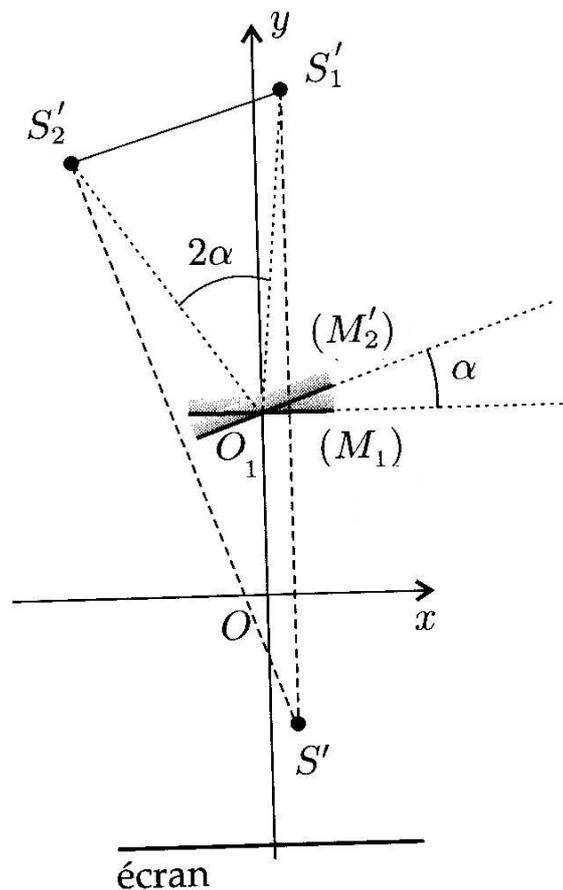
Si les miroirs M_1 et M_2 ne sont pas rigoureusement orthogonaux entre eux, tous les rayons lumineux issus de l'interféromètre semblent toujours être issus de S'_1 et S'_2 , ce qui va théoriquement permettre d'observer des franges d'interférence aux différents points M d'intersection des rayons issus de S'_1 et S'_2 ; avec une source S ponctuelle, on devrait donc observer des franges d'interférence dans tout l'espace, chaque point de l'espace étant l'intersection d'un rayon issu de S'_1 et d'un rayon issu de S'_2 .

Les surfaces d'iso-éclairage sont alors des hyperboloïdes de révolution de foyers S'_1 et S'_2 , la seule différence avec le cas précédent étant la position des points S'_1 et S'_2 , donc l'orientation dans l'espace des hyperboloïdes de révolution. Mais, dans la pratique, l'angle α étant très faible, la droite $S'_1S'_2$ est pratiquement parallèle à Ox et on observe donc les interférences fournies par les deux trous d'Young S'_1 et S'_2 dans un plan parallèle à $S'_1S'_2$. Les franges correspondant à ces interférences sont donc des portions d'hyperboles et, si on reste au voisinage de Ox , ces portions d'hyperboles sont assimilables à des droites. L'interfrange est donc, si d' est la distance de O_1 à l'écran et d la distance approximative des points S'_1 et S'_2 au miroir M_1 :

$$\Delta = \frac{\lambda_0(d+d')}{S'_1S'_2} = \frac{\lambda_0(d+d')}{2d \sin \alpha} \approx \frac{\lambda_0(d+d')}{2d\alpha}$$

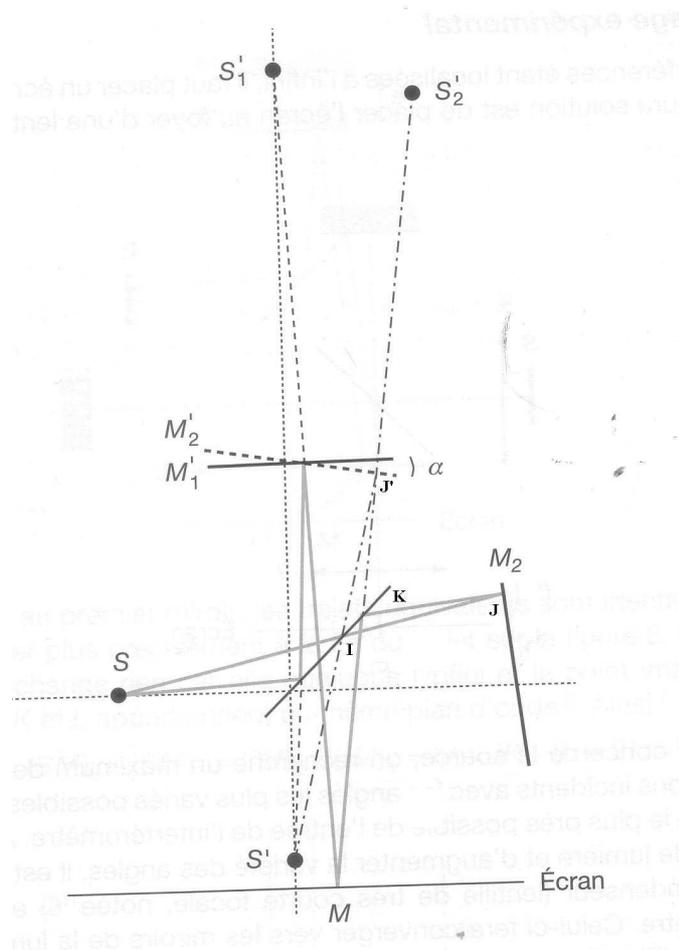
AN typique : $d=50 \text{ cm}$; $\alpha=10^{-3} \text{ rad}$; $S'_1S'_2=1 \text{ mm}$; $d'=1 \text{ m}$; $\lambda_0=600 \text{ nm}$

On obtient alors : $\Delta=1 \text{ mm}$



Système équivalent à l'interféromètre lorsque les miroirs M_1 et M_2 ne sont pas orthogonaux entre eux

autre interprétation de l'interféromètre de Michelson lorsque les miroirs M_1 et M_2 ne sont pas orthogonaux entre eux :



sur le schéma ci-dessus, M'_2 est l'image par (SP) du miroir M_2 . On constate alors sur le schéma que le chemin optique suivi par le rayon IJK est le même que le chemin optique suivi par le rayon $IJ'K'$. Autrement dit les deux rayons lumineux qui vont arriver et interférer en M semblent arriver après s'être réfléchis sur les deux plans M_1 et M'_2 , c'est-à-dire qu'ils semblent être issus d'une lame d'air à faces non parallèles, constituée par les deux plans M_1 et M'_2 . On appelle généralement cette lame à faces non parallèles non pas « lame à faces non parallèles » (le terme lame étant en général plutôt réservé aux lames à faces parallèles) mais coin d'air. La configuration de l'interféromètre est alors dite en coin d'air. On peut alors raisonner sur l'interféromètre en utilisant le système équivalent : coin d'air situé entre M_1 et M'_2 .

4) Conclusion :

Lorsqu'on éclaire un interféromètre de Michelson avec une source ponctuelle on s'attend à observer des interférences délocalisées (fournies par le dispositif équivalent de trous d'Young S'_1 et S'_2) dans toute une région de l'espace : soit des anneaux sur un écran parallèle à M_1 lorsque M_1 et M_2 sont orthogonaux entre eux soit des branches d'hyperbole (pratiquement assimilables à des franges rectilignes) sur un écran parallèle à M_1 lorsque M_1 et M_2 ne sont pas orthogonaux entre eux.

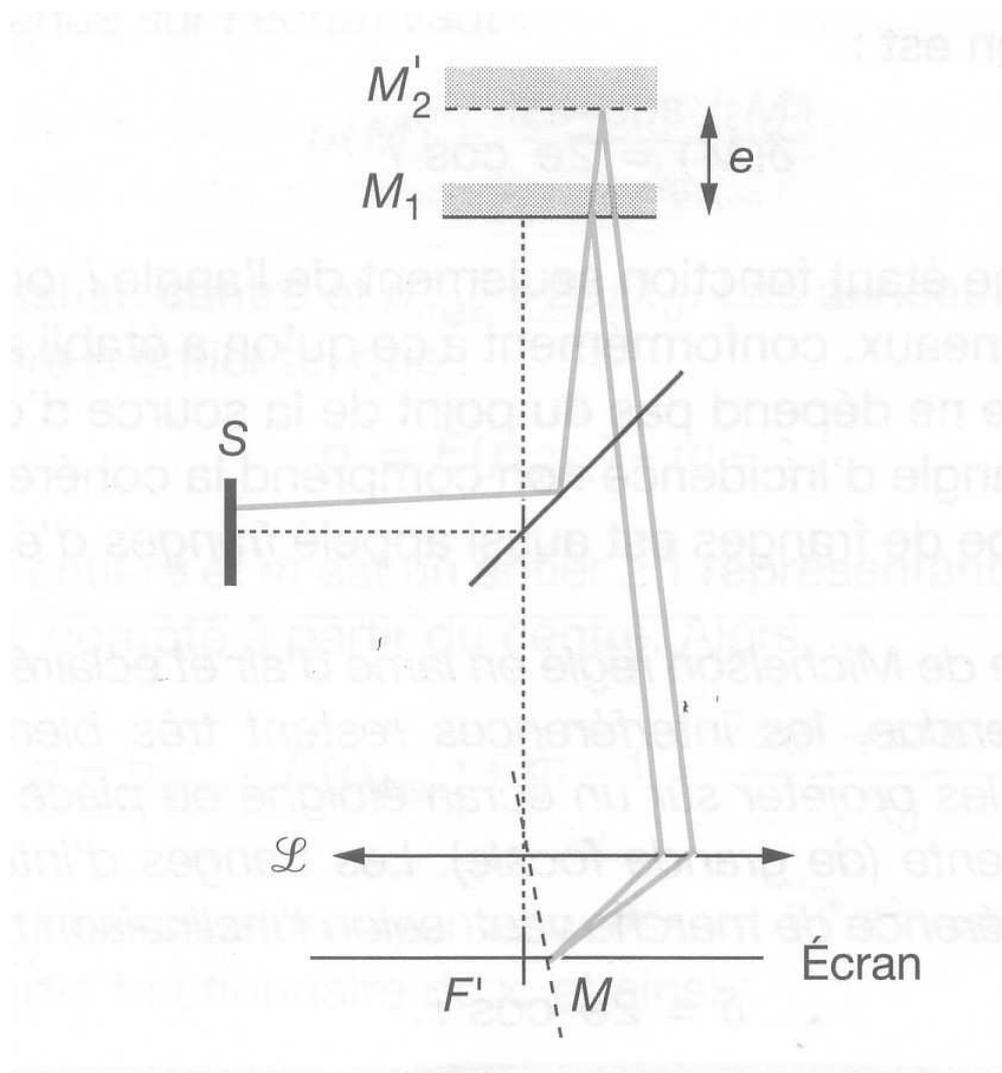
deuxième étude : interféromètre éclairé par une source étendue

1) Cas où les miroirs M_1 et M_2 sont rigoureusement orthogonaux (interféromètre équivalent à une lame d'air à faces parallèles) :

Dans ce cas, en un point de l'espace situé à distance finie de l'interféromètre, il y aura brouillage des franges d'interférences données par les différentes sources ponctuelles incohérentes constituant la source étendue.

La seule façon d'éviter ce brouillage est d'observer les interférences à l'infini. En effet, dans ce cas, les deux rayons lumineux interférant à l'infini, donc parallèles, proviennent nécessairement d'un même rayon lumineux incident (issu d'une source ponctuelle S quelconque appartenant à la source étendue utilisée) : l'un s'est réfléchi successivement sur M_2 puis (f) et l'autre sur (f) puis M_1 . La position de S , donc de S'_1 et S'_2 n'ayant aucune conséquence pour le calcul de la différence de marche due à la lame d'air à laquelle est équivalente l'interféromètre (cette différence de marche ne dépendant que de la direction du rayon lumineux incident, donc des rayons lumineux émergents), on observe des interférences à l'infini ou dans le plan focal d'une lentille convergente : franges d'égale inclinaison

Ceci correspond tout simplement au fait que l'interféromètre est alors équivalent à une lame d'air à faces parallèles



2) Cas où les miroirs M_1 et M_2 ne sont pas rigoureusement orthogonaux (interféromètre équivalent à un coin d'air) :

Pour chaque source ponctuelle, il existe un couple d'images S'_1 et S'_2 différentes ; en un point quelconque de l'espace, il existe alors un couple de rayons issus de chaque couple (S'_1, S'_2) , les différences de marche pour ces différents couples de rayons étant variables : il y a alors brouillage sauf, lorsqu'on éclaire l'interféromètre par un faisceau incident parallèle et lorsque l'angle entre les miroirs M_1 et M_2 est très voisin de $\pi/2$, pour les points situés au voisinage du coin d'air (c'est-à-dire de l'ensemble (M_1, M_2)), pour lesquels la différence de marche est stationnaire, en un point donné, par rapport à l'ensemble des couples (S'_1, S'_2) . On observe donc les franges d'égal épaisseur du coin d'air auquel est alors équivalent l'interféromètre, ces franges étant localisées au voisinage du coin d'air