

Interféromètre de Michelson

Interféromètre par division d'amplitude ou par partage énergétique

Aspects historiques

Albert Abraham **Michelson** (1852-1931), physicien américain d'origine allemande reçoit le prix Nobel en 1907 pour ses travaux sur les instruments optiques de précision et leurs applications dans les domaines de la métrologie et de la spectroscopie.

La propagation des ondes mécaniques nécessite un milieu de propagation matériel : solides (ondes sismiques, ...), liquides (ondes de surface, ondes sonores, ...), gaz (ondes sonore), milieux déformables (corde vibrante, ...).

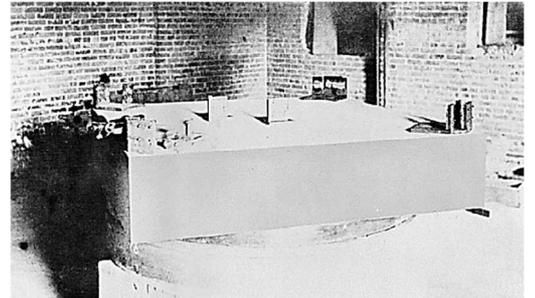
Historiquement, seule la propagation des ondes électromagnétiques (ondes lumineuses, ondes radio) dans le « vide » semblait échapper à la nécessité d'un milieu de propagation : il a donc été imaginé que le vide n'était pas vide mais contenait un « éther luminifère » (littéralement, porteur de lumière).

Jusqu'à l'avènement de la relativité restreinte (1905), les physiciens élaborèrent des théories de cet éther luminifère et cherchèrent à le mettre en évidence.

En notant \bar{c} la vitesse de la lumière par rapport à l'éther et \bar{v} la vitesse de la Terre par rapport à l'éther (vitesse de rotation autour du Soleil de l'ordre de 30 km s^{-1}), la mesure de la vitesse de la lumière par rapport à la terre doit varier au cours de la révolution annuelle de la Terre par rapport au Soleil via la loi de composition des vitesses.

En 1881, Michelson utilisa son interféromètre pour établir que le mouvement relatif de la terre et de l'éther était moindre que ce que les théoriciens prévoyaient.

En **1887**, cette expérience reprise avec Morley, contredisait les prévisions de toutes les théories de l'éther. Il n'était pas possible de déceler le mouvement de la Terre par rapport à l'éther via des mesures de la vitesse de la lumière sur une année. La vitesse de la lumière semblait donc constante puisque indépendante du mouvement de la Terre. Ce qui heurtait de plein fouet la loi de composition des vitesses en mécanique qui semblait « inébranlable » car intuitive...



L'expérience de Michelson et Morley est donc essentielle car elle conduisit à un résultat négatif spectaculaire : l'abandon d'une conception erronée.

En **1905**, Albert Einstein proposa sa **théorie de la relativité restreinte** d'où l'éther est absent et où la vitesse de la lumière est la même pour tout référentiel inertiel (galiléen), déclarant qu'il n'y avait nul besoin en physique de la notion d'éther.

Dans cette théorie, la notion de simultanéité est revisitée en tenant compte de la vitesse, finie, de propagation des informations.

Le temps et l'espace deviennent relatifs au référentiel d'étude et la loi de composition des vitesses prend une forme plus compliquée qui redonne naturellement la relation connue en mécanique classique considérée alors comme une approximation, valable pour les vitesses faibles devant celle de la lumière, de la théorie de la relativité, plus générale.

Description

« Ancien » modèle



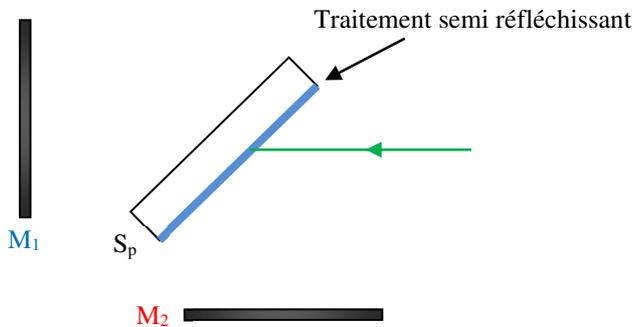
« Nouveau » modèle



Séparatrice seule

La **lame séparatrice** est une lame de verre à faces parallèles dont l'une des faces est traitée pour être **semi-réfléchissante** : elle réalise un **partage énergétique** (i.e. en amplitude) des rayons.

Nombre de traversées de verre par la voie 1 :
par la voie 2 :

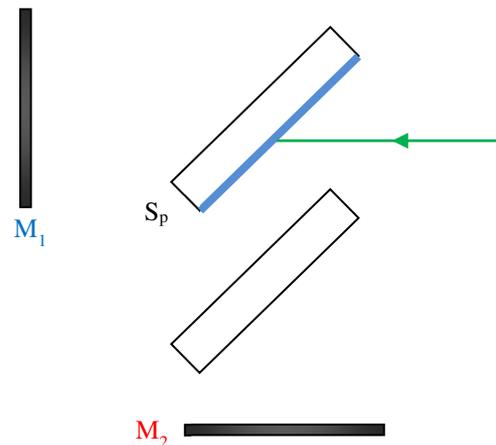


Cette dissymétrie entre les deux voies pose problème car l'indice du verre dépend de la longueur d'onde. Dans cette configuration, il est impossible de repérer une frange centrale (différence de marche nulle) en lumière blanche. D'où la nécessité d'une lame compensatrice.

Séparatrice et compensatrice

La **lame compensatrice** est une lame de verre à faces parallèles **non traitée**.

Nombre de traversées de verre par la voie 1 :
par la voie 2 :

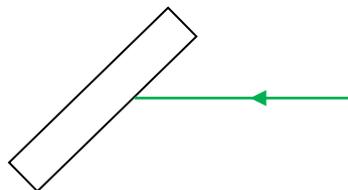


Dans toute la suite, on raisonne donc sur une **séparatrice parfaite** (infiniment mince) et on omet la compensatrice.

(S_p) est alors réduite à une **lame semi-réfléchissante** (supposée infiniment mince) :

- 50% de l'énergie lumineuse qu'elle reçoit est transmise ;
- 50% de l'énergie lumineuse qu'elle reçoit est réfléchi.

Rappel : marche des rayons à travers une lame à faces parallèles et réflexions partielles

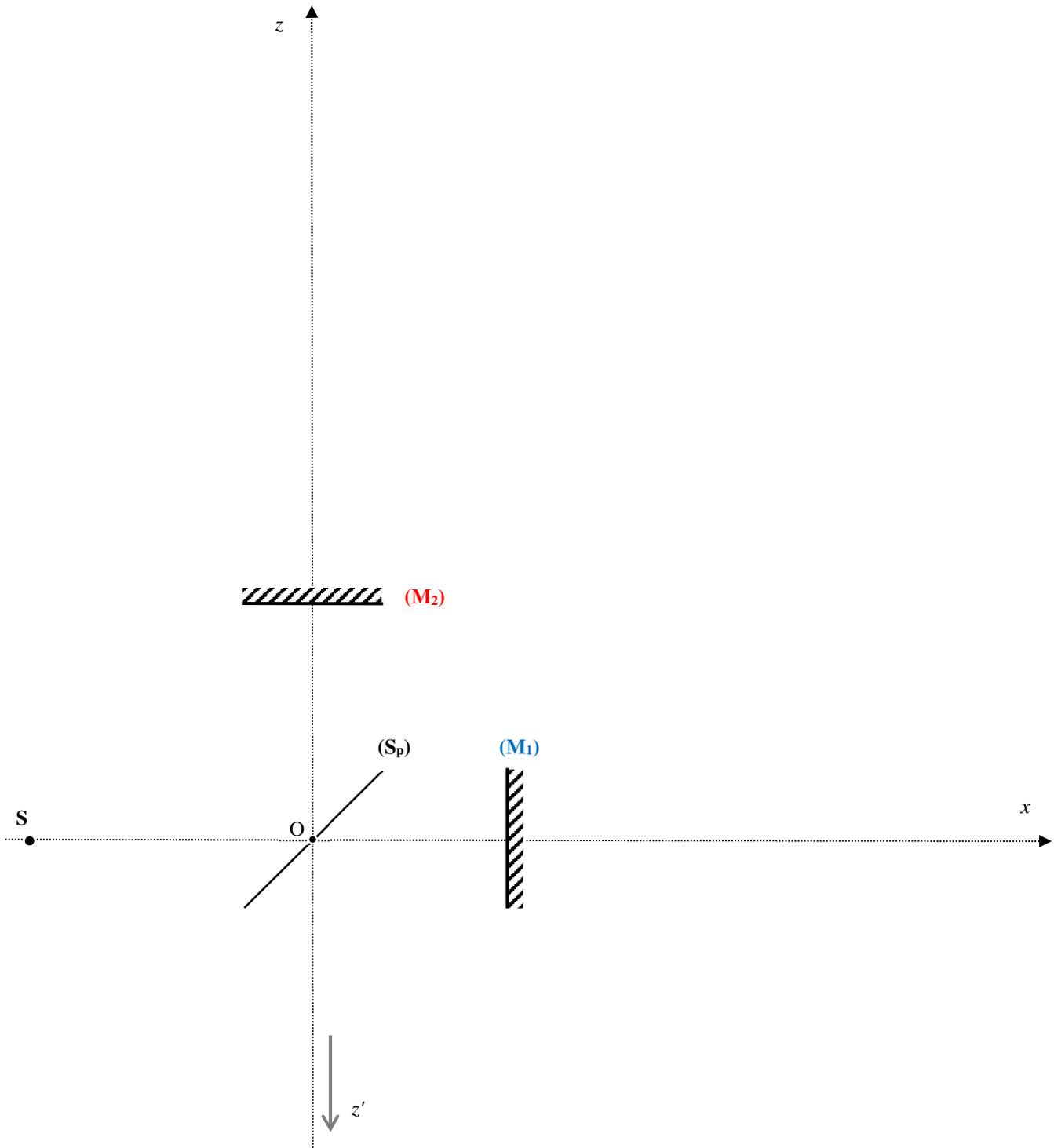


Marche des rayons – Sources secondaires S_1 et S_2

La source S ponctuelle émet de la lumière dans la direction Sx .

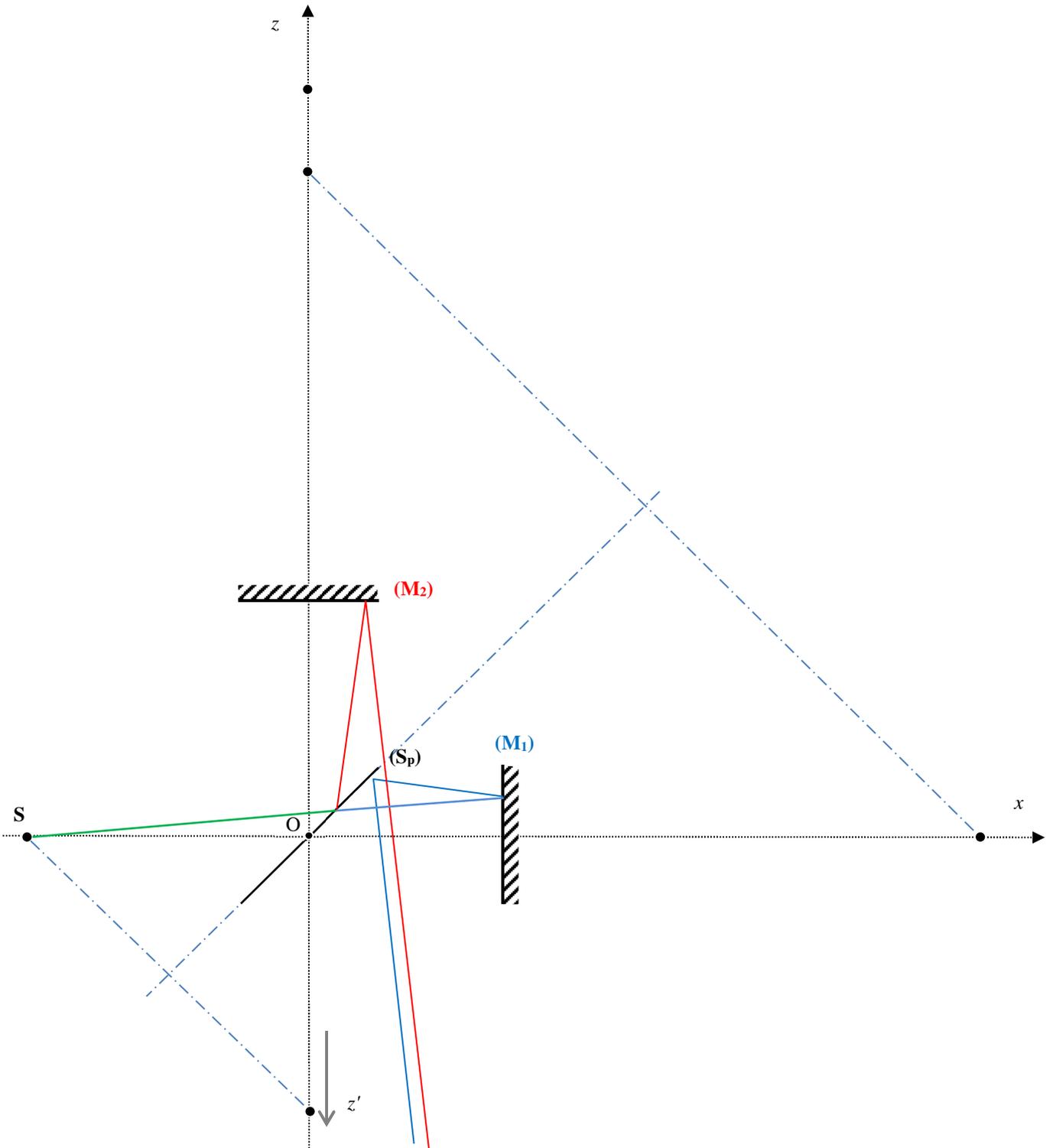
Les miroirs M_1 (translatable) et M_2 (fixe) sont orthogonaux entre eux.

Montrer, en complétant la construction ci-dessous, que les rayons qui sortent de l'interféromètre semblent provenir de deux sources S_1 et S_2 images de S par l'interféromètre selon les deux voies (réflexion sur M_1 ou sur M_2).

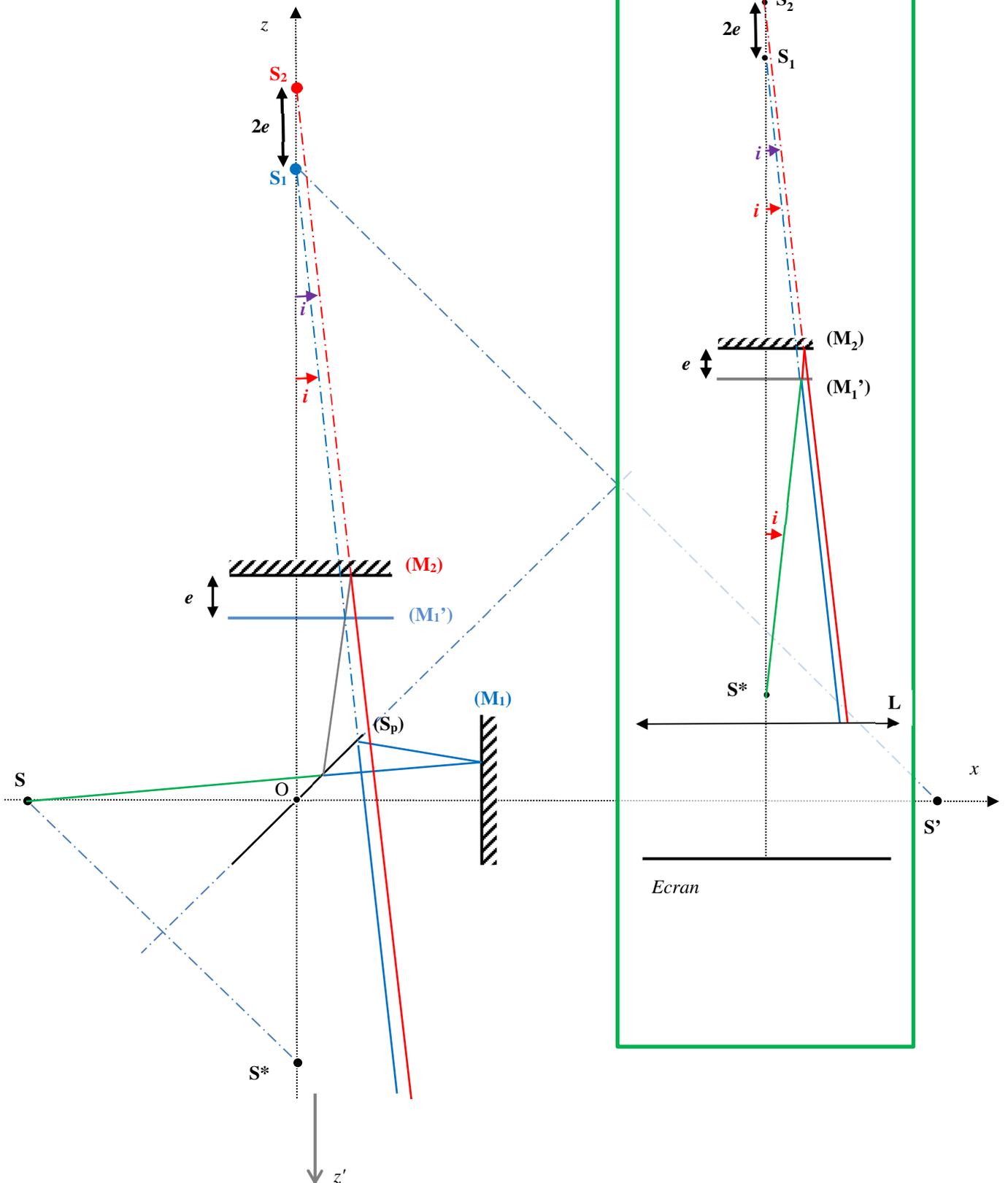


Marche des rayons – Sources secondaires S_1 et S_2 (suite)

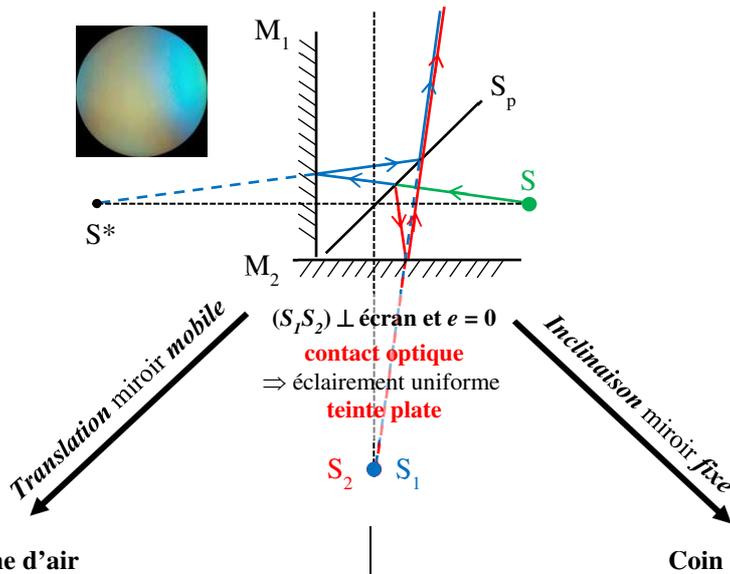
On a représenté deux rayons émergents. Compléter la marche de ces rayons à travers les deux voies de l'interféromètre depuis le point source S en utilisant les sources secondaires S_1 et S_2 déterminées précédemment.



Interféromètre simplifié équivalent

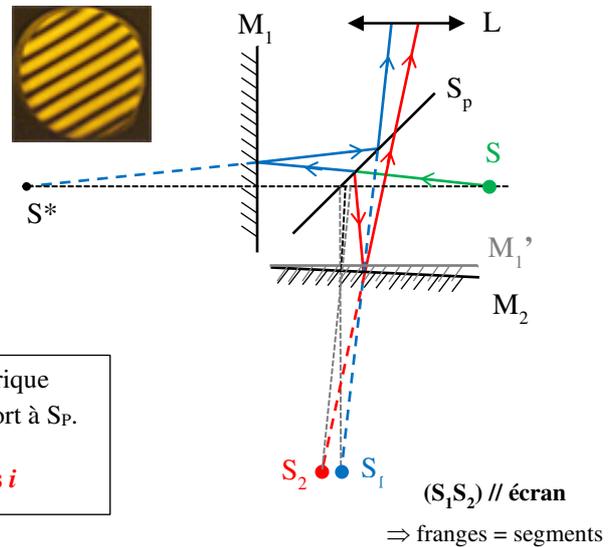
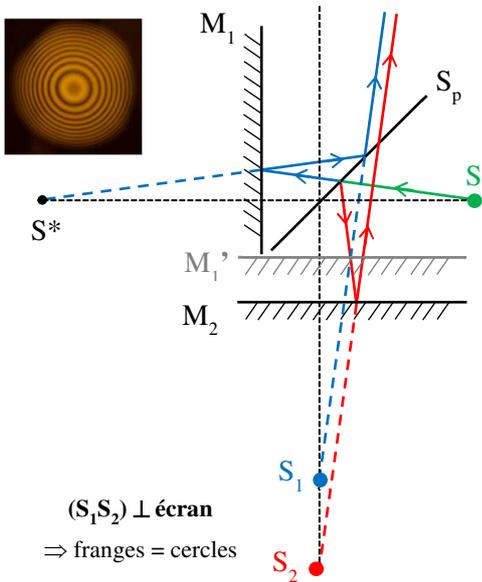


Repliement de l'interféromètre = Interféromètre équivalent à 2 sources



Anneaux = franges d'égal inclinaison

Franges rectilignes = franges d'égal épaisseur



$M_1' = \text{symétrique de } M_1 \text{ par rapport à } S_p$

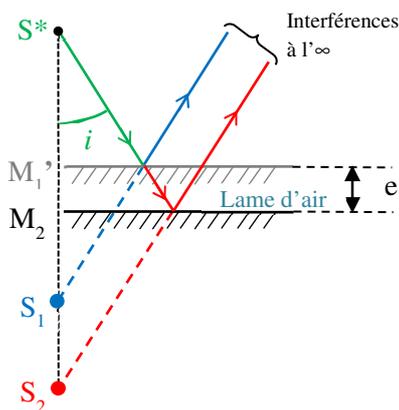
$$\delta = 2e \cos i$$

Tout se passe comme si les rayons issus de la source fictive S^* se réfléchissaient sur une lame d'air d'épaisseur e constante formée par M_1' et M_2 : $\delta(i) = 2e \cos i$

⇒ $I = I(i) \Rightarrow$ cercles

Tout se passe comme si les rayons issus de la source fictive S^* se réfléchissaient en incidence quasi normale $i \approx 0$ sur un coin d'air d'angle α formé par M_1' et M_2 : $\delta(e) \approx 2\alpha x$

⇒ $I = I(x) \Rightarrow$ droites // arête dièdre



S^* (source fictive) = symétrique de S par rapport à S_p

