

Leçon n°34 : Interférométrie à division d'amplitude

Niveau	Licence
Prérequis	Notion de chemin optique Superposition d'ondes Optique géométrique
Biblio	Pérez
Plan	I. <u>Principe</u> 1. Avantages du front d'onde 2. Quelques exemples d'interféromètres II. <u>L'interféromètre de Michelson</u> 1. Simplification de l'étude : schéma replié 2. Configuration en lame d'air 3. Configuration en coin d'air

Remarques :

Conclure sur des applications

Cf pouvoir résolution des appareils : différence entre Michelson et Fabry Perrot.

Expliquer le Michelson, en montrant un schéma.

Scilab bien 😊 cf notes de Marie

Questions :

- Sur quoi as-tu axé ta leçon ?

Sur la surface de localisation.

- Qu'est-ce qu'on observe comme figure d'interférence quand on est en monochromatique

Franges Rectilignes

- Qu'est ce qui se passe quand on augmente la longueur d'onde/fréquence ?

Modifie l'espacement

- Qu'est ce qui se passe si on envoie plusieurs longueurs d'ondes en même temps (lumière blanche) ? = regarder sans filtre

On superpose plusieurs systèmes de franges et donc on brouille.

Pour chaque couleur l'interfrange est différente donc au départ on observe une légère irrisation au départ et après brouillage.

- Que se passe-t-il si on décale la fente ? On translate les franges/on décale la figure.

Si la figure se décale d'un demi λ , on observe un brouillage.

- Caractéristique d'un Fabry Perrot ?

Ne laisse passer qu'une série de fréquence

- Interêt ondes multiples par rapport à des interférences à deux ondes?

Meilleur contraste

- Qu'est-ce que tu appelles le contraste ?

- C'est quoi la différence entre les anneaux obtenus avec un Michelson et les anneaux obtenus avec un Fabry-Perrot ?

- Lampe à sodium devant Michelson ou devant Fabry Perrot ?

Avec le Fabry Perrot on pourra observer les deux doublets

Pic d'interférences très fins, donc si on a un doublet, le pic va être coupé en deux.

- Critère de Rayleigh

On mesure du max au min, le min correspond au max de l'autre tâche de diffraction. les tâches sont résolues.

- Qui est Michelson ? Qu'est-ce qu'il a fait ?

Expérience de Fizeau sur les expériences de la vitesse de la lumière (Avec Michelson manip des miroirs tournants, il trouvait 5 chiffres significatifs contrairement à 20% d'erreurs)

- En utilisant la vitesse de la Terre autour du soleil

Il a montré le principe de la relativité des référentiels

- Pourquoi c'est bien d'être localisé ?

Quand on met une fente large,...

- Que se passe il avec les fentes d'Young quand on élargit la fente **?**
brouillage partout, disparition de la figure d'interférences

- Qu'est ce que la spectroscopie par transformée de fourrier ?

C'est de l'interférence : on prend un Michelson avec une source non monochromatique

Spectre d'interférence, on bouge un des deux miroirs d'une distance x , et on relève ce spectre en fonction de Δt (temps de propagation de l'onde sur le décalage)
On peut montrer que $I(\nu)$ prop à $TF(\Delta t)$

Battement : somme de deux sinus, transformée de Fourier de deux diracs.
Transformée de Fourier d'une intensité et pas d'un champ électrique (ici il faut tenir compte en plus du déphasage,... etc)

- Utilisation du Michelson ou du Fabry Perrot ?

Virgo : ondes gravitationnelles

Bras de 3 km

A l'intérieur des bras il y a de Fabry Perrot car 3 km c'est pas suffisant

Dans un F P à la résonance on renvoie tout afin que le rayon lumineux face un gd nombre d'allers retours $\frac{L}{\lambda}$ Bras bcp plus long que 3 km

Même chose dans l'autre bras.

Précision de réglage sur les miroirs pour avoir des interférences ; fraction de λ .

Sy d'asservissement utilise eux-mêmes des FP

Autre ex FP :

Very large telescope au Chili.

LP 36 : Interféromètre à division d'amplitude

Niveau: Licence

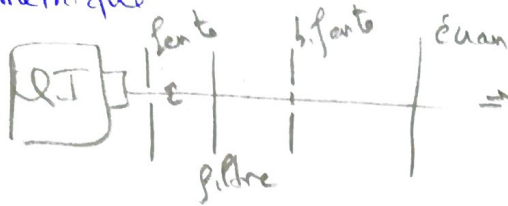
d'amplitude

Biblio:

PR: - Notion de chemin optique

- Superposition d'onde
- Optique géométrique

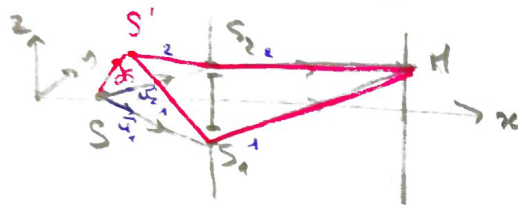
Introduction:



→ si on élargi a alors brouillage.

I. Principe

1. Avantages par rapport à la division du front d'onde



$$\Delta S(M) = \delta_{S_1}(M) - \delta_{S_2}(M) = ((S_1M) - (S_1M_1)) - ((S_2M) - (S_2M_1))$$

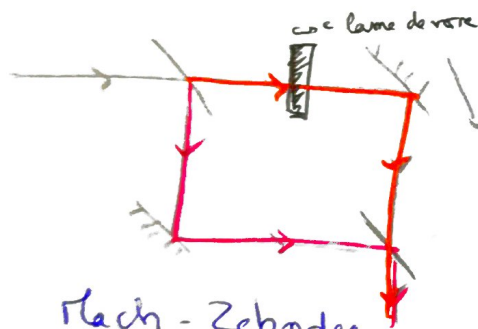
$$d(SM) = n \vec{u} (d\vec{r} - d\vec{S}) \Rightarrow \Delta S(M) = n (\vec{u}_2 - \vec{u}_1) \cdot d\vec{S}$$

on impose: $\vec{u}_1 = \vec{u}_2 \rightarrow$ impossible pour division du front d'onde.

x interférence localisé sur les surfaces d'ondes.

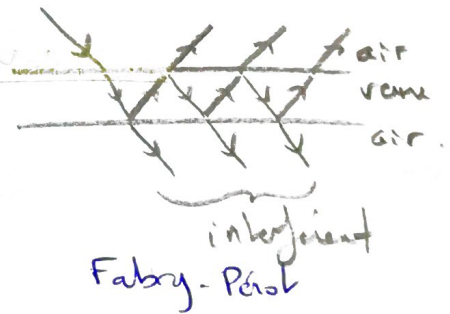
(surface d'onde: l'ensemble des points pour lequel 2 rayons interfèrent.)

2. Quelques exemples d'interféromètres



* 3 exemples:

ou cube pour vide pour mesurer n_{air}



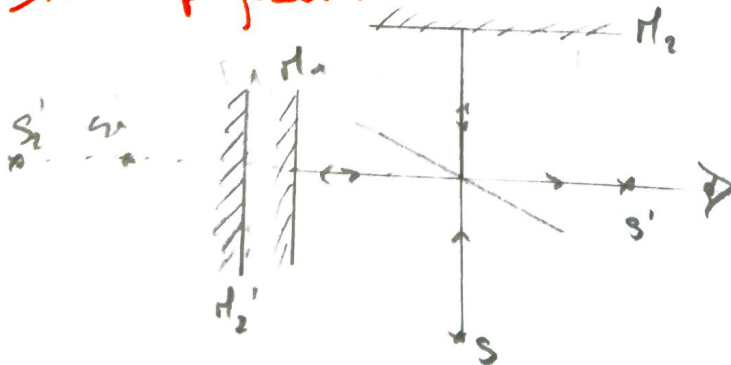
Mach-Zehnder

- Michelson

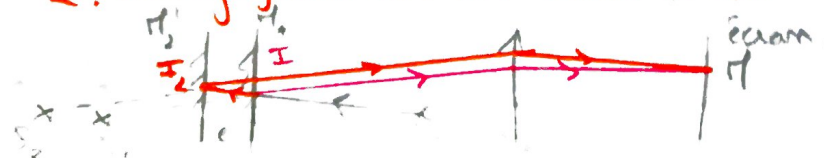
les bras image de l'autre identiques

II. L'interféromètre de Michelson

1. Simplification de l'étude: schéma replié



2. Configuration en lame d'air



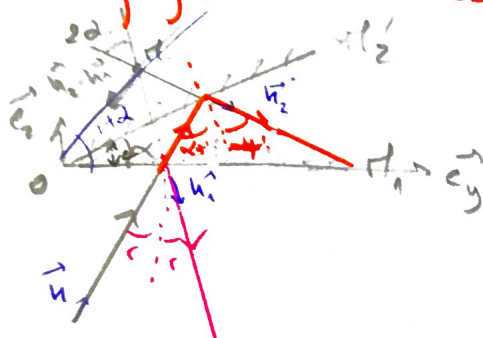
* Différence de marche : $\delta(H) = (S'H)_2 - (S'H)_1$

$$(S'H)_2 = (SI_2) + \frac{\lambda_0}{2} + (I_2'H) = (S_2'H) + \frac{\lambda_0}{2}$$

donc $\delta(H) = (S_2'H) - (S_1'H) = (S_2'H) \Rightarrow$ on a la distance $S_2'H$: $\cos(i) = \frac{S_2'H}{2e}$

donc $\boxed{\delta(H) = 2ne \cos(i)}$

3. Configuration en coin d'air



$$\delta(H) = \frac{\lambda_0}{2\pi} \Delta \varphi(H) = \frac{\lambda_0}{2\pi} (\vec{h}_2 - \vec{h}_1) \cdot \vec{\alpha}$$

$$\vec{h}_2 - \vec{h}_1 = h(\sin(i+\alpha) - \sin(i))\vec{e}_x - h(\cos(i+\alpha) - \cos(i))\vec{e}_y$$

$$= 2h \sin(\alpha) \cos(i+\alpha)\vec{e}_x + 2h \sin(\alpha) \sin(i+\alpha)\vec{e}_y$$

$$\boxed{\delta(H) = \frac{\lambda_0}{\pi} k \sin(\alpha) (x_m \cos(i+\alpha) + y_m \sin(i+\alpha))}$$

\rightarrow on impose : $\frac{\partial \delta(H)}{\partial i} = 0 \Rightarrow x_m \cos(i+\alpha) = y_m \sin(i+\alpha)$

$$\boxed{y_m = x_m \tan(i+\alpha)}$$

$$\delta(H) = 2ne \cos(i) = 2ne \Rightarrow \boxed{e(H) = \alpha x_m}$$

frange obtenue de même inclinaison

Programme de simulation de coin d'air : si $\alpha \nearrow$ on a + de frange d'interférence

$$\Delta \varphi = 2\pi$$

$$\delta(H) = 2n \alpha dx_H = \lambda_0$$

$$\Rightarrow \underline{dx_H = \frac{\lambda}{2n\alpha} = i}$$

La source monochromatique superpose de frange d'interférence.

Les gd faisceaux ont un brouillage par le miroir mais des raies près du miroir.

\rightarrow si α gd alors i + faible et localisé + forte

si α plt alors i gd et - localisé

- + Exemple d'applicat°
- + de chose qualitative
- remplir le legs

- montre verre michelson
 - Compensatrice sert à compenser le passage de la séparatrice
- L'indice dépend de λ
- passer 4 avec 2 pass 3.
- pass 3 fois

→ Vidéo du michelson coin d'air / lame d'air.

→ image illustrative

$$\delta(H) \propto (\vec{h}_1, \vec{h}_2) \cdot \vec{H}$$

Intérêt → localiser des franges interférence

→ pouvoir de résolution : comparer Michelson et Fabry - Perot

→ Pourquoi c'est bien si c'est localisé ? figure nette djs. alors que division d'onde disparaît

Fabry - Perot : ne fait que passer que une série de frq en sélectionne de manière à avoir le visible

→ Spectroscopie par transformé de Fourier $I(x) \sim I(\Delta t)$

Id est monochromatique quelle est la fig d'interférence ? pour fente d'Young ? frange rectiligne. Si on change de fig on modifie l'espace entre les franges.

On observe quoi sans filtre ? irradiation puis brouillage

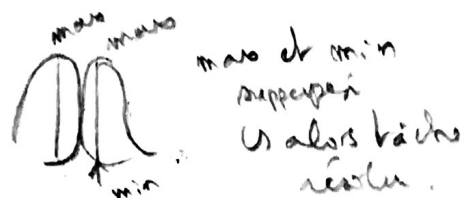
Si on décale la fente ? on translate les franges
décale la figure.

Si figure décalée d'un demi-i alors brouillage

- intérêt interférence à onde multiple par rapport à 2 ondes ? meilleur contraste

Fabry - Perot permet de voir le 2 doublet de la lampe de sodium.
Un car pic très fin.

→ Pouvoir de résolution : Critère de Rayleigh



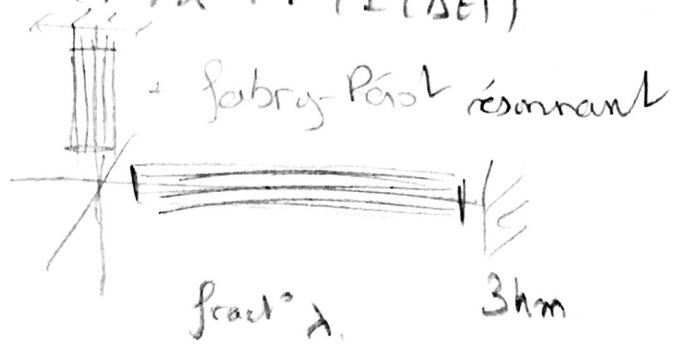
→ intérêt du Michelson : permet de comparer 2 ondes

- Qui c'est Michelson ? Histoire : mesure de la lumière : \rightarrow il

(On peut montrer que $I(\nu) \propto TF(I(\Delta t))$

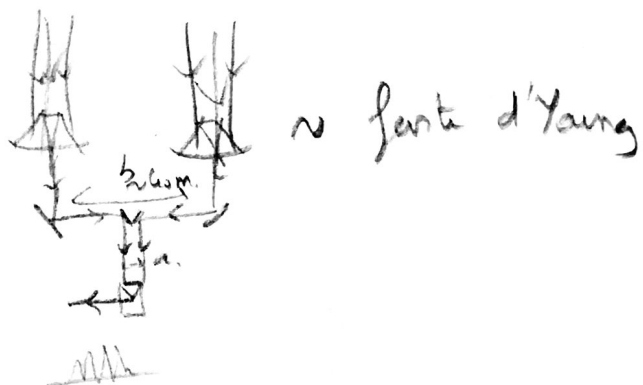
- Virgo

onde gravitationnelles



S. d'asservissement

- Very large telescope Chili



~ fente d'Young

LP-34 : Interférométrie à division d'amplitude

BRAUD Valentin

U. de Rennes 1

27 mars 2020

Niveau : Licence

Prérequis :

- Optique géométrique
- Optique ondulatoire
- Interférométrie à division du front d'onde

Experience introductive :

- * Bi fente d'Young éclairée par une source polychromatique (La source passe d'abord par une fente simple réglable afin de simuler une source quasi ponctuelle et une source étendue).[1]
- * Montrer qu'il y a brouillage lorsque l'on étend la source.

1 Qu'est ce que l'interférométrie à division d'amplitude

1.1 Les avantages par rapport à l'interférométrie à division du front d'onde

- * Repartir de l'expérience précédente et montrer quelle est la condition pour avoir $\Delta\delta(M) = 0$ (absence de brouillage) est :

$$\mathbf{u}_1 = \mathbf{u}_2$$

\mathbf{u}_1 et \mathbf{u}_2 sont les vecteurs unitaires qui portent les rayons vers chacune des fentes.[1]

1.2 Quelques exemples d'appareils utilisant l'interférométrie à division d'amplitude.

- * L'interféromètre de Fabry - Perot[1]
- * L'interféromètre de Mach - Zender[1]
- * L'interféromètre de Michelson (Etude dans la partie suivante)

2 Etude de l'interféromètre de Michelson

Il est possible d'utiliser l'interféromètre de Michelson par division du front d'onde. Ce n'est cependant pas le but ici. On utilise une source étendue.

2.1 Simplification de l'étude : Schéma replié

- * On commence par expliquer le fonctionnement de l'interféromètre ainsi que le rôle de chaque composants (séparatrice, compensatrice, miroirs, verrier...) (FIG 1)

*On présente ensuite le schéma schéma complet (

- * A partir du schéma complet, on présente le schéma replié (FIG 3) par rapport à la lame séparatrice en faisant disparaître celle-ci et faisant apparaître les sources secondaires S_1 et S_2 .[2]

2.2 Etude de la configuration en lame d'air

* C'est la configuration lorsque les miroirs M1 et M2 sont parallèles.

* Surface de localisation : Localisation à l'infini (Utilisation d'une lentille pour projeter les anneaux sur un écran)

* Calcul de la différence de marche[2] :

$$\delta(M) = 2.n.e. \cos(r)$$

Il s'agit de franges d'égales inclinaisons
avec n l'indice optique, e la distance entre M_1 et M_2'

* Détails sur la géométrie des figures d'interférences (interfrange, rayon des anneaux...)[2] :

$$r = f' \sqrt{\frac{2(P_0 - P(M))}{P_0}}$$

En posant : $P(M) = P_0 - N$ avec N le numéro du N_{eme} anneaux, on a :

$$r_N = f' \sqrt{\frac{2N}{P_0}}$$

On a tout intérêt à utiliser une lentille avec f' pour avoir de grands anneaux.

2.3 Etude de la configuration en coin d'air

* C'est la configuration lorsque les miroirs M1 et M2 forment un angle α .

* Détermination de la surface de localisation par le calcul (FIG 4) : Localisation au voisinage des miroirs.[2]

$$y_M = x_M \tan(i + \alpha)$$

* Calcul de la différence de marche[2] :

$$\delta(M) = 2n\alpha x_M$$

Il s'agit de franges d'égales épaisseurs.

* Détails sur la géométrie des figures d'interférences (Interfranges...)

$$i = \frac{\lambda_0}{2n\alpha}$$

* Illustration de la partie 2.3 avec une simulation python de la configuration en coin d'air (disponible sur le site de la prépa agreg de Rennes).

3 Conclusion

L'interférométrie à division d'amplitude possède de nombreuses applications. L'une d'elles est l'interféromètre stellaire de Michelson. Il permet l'observation en détails d'une étoile ou d'un groupe d'étoiles non distinguables sans celui-ci.

Historiquement, l'interféromètre de Michelson a été utilisé pour l'expérience de Michelson et Morley. Ils ont avec cette expérience essayé de démontrer l'existence de l'éther en mesurant la vitesse de la lumière dans les deux bras perpendiculaires de l'interféromètre et à deux moments différents (6 mois d'intervalle).

Références

- [1] J.P Pérez. *Optique : Fondements et applications*. Dunod.
- [2] Dominique Chardon François Vandenbrouck, Bernard Salamito. *J'intègre, Physique PC*. Dunod.

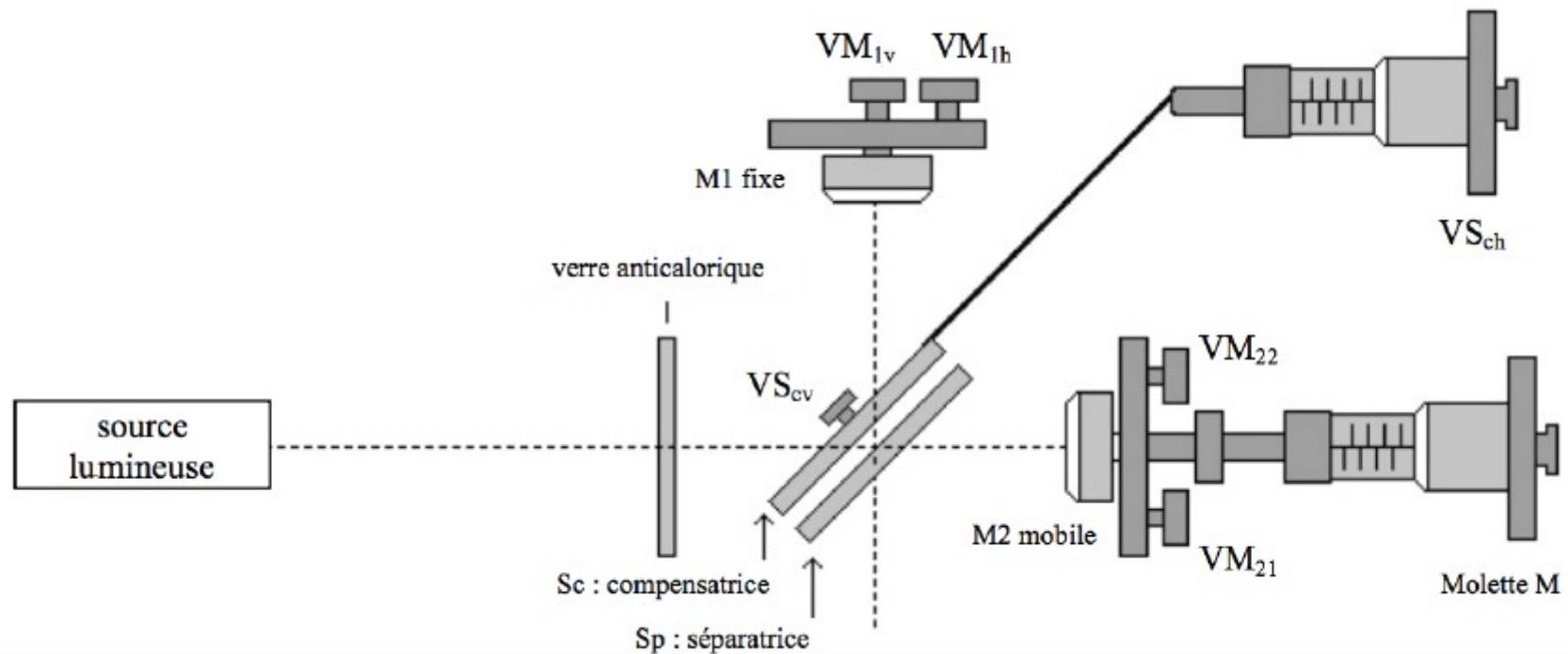


Fig 1 : L'interféromètre de Michelson

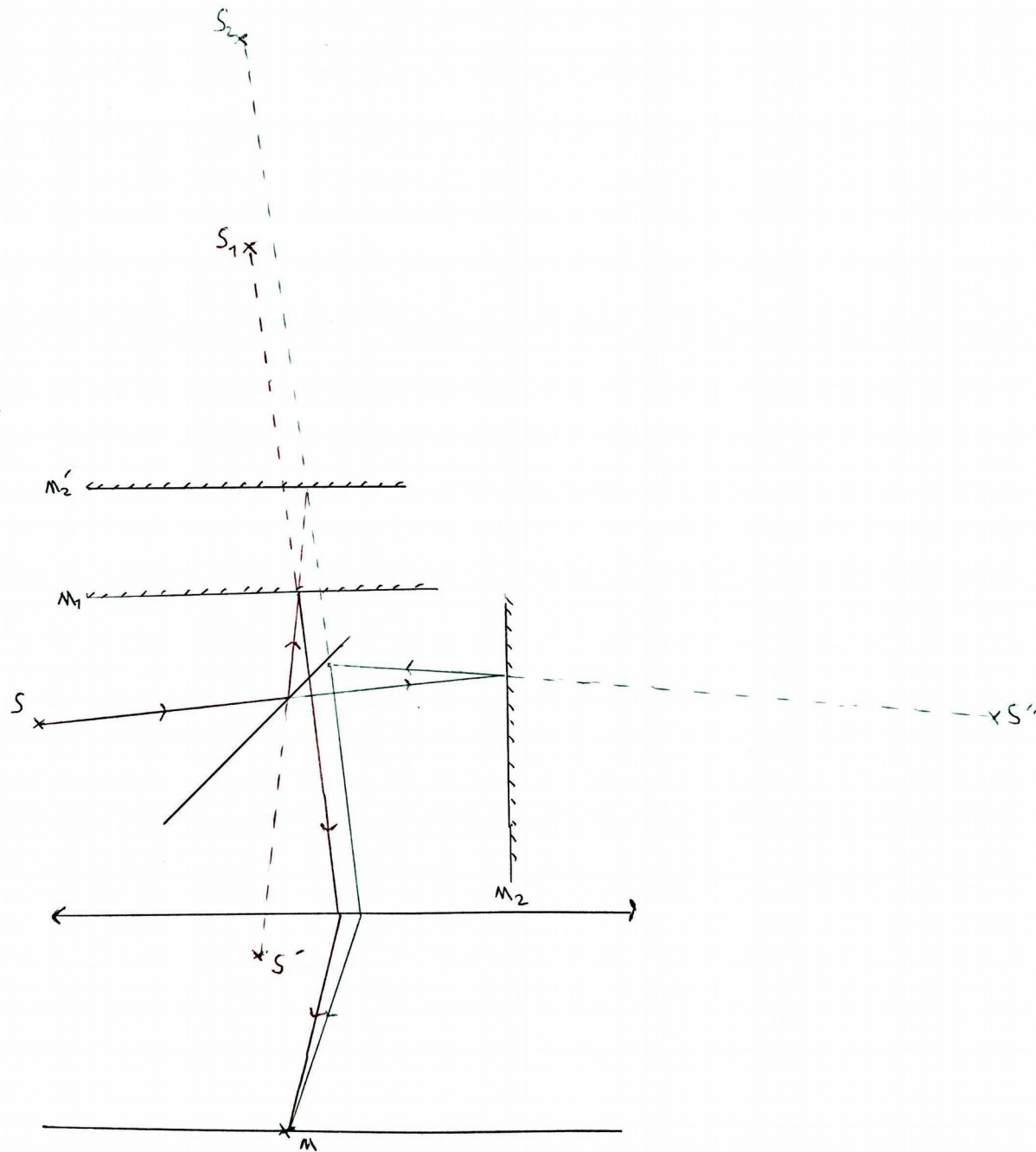


Fig 2 : Configuration en lame d'air de l'interféromètre
(schéma complet)

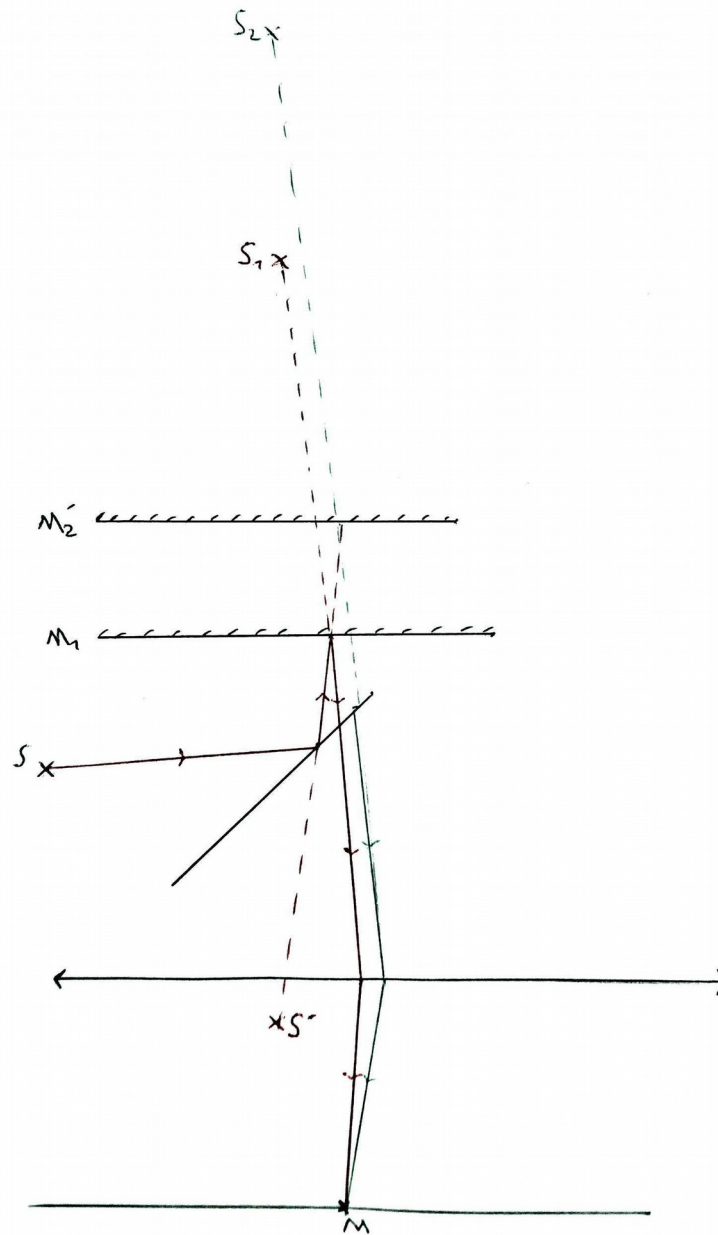


Fig 3 : Configuration en lame d'air de l'interféromètre
(schéma replié)

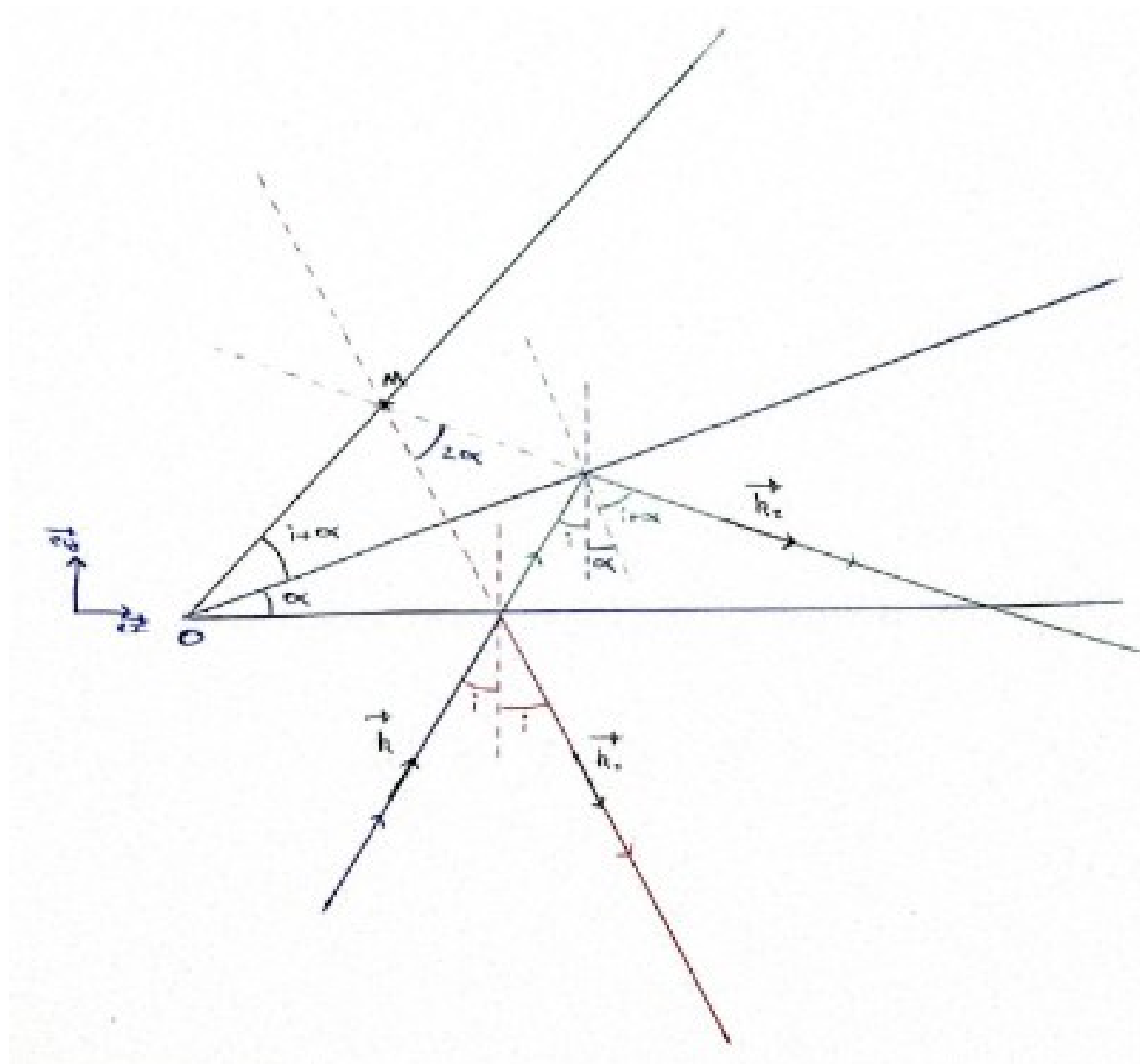


Fig 4 : Configuration en coin d'air de l'interféromètre.