

## Interféromètre de Mach-Zehnder

### 1. Objectifs

On se propose d'étudier, de monter et d'utiliser un interféromètre à division d'amplitude. L'étude préalable permettra de comprendre l'origine des franges d'interférence.

Le montage mettra en évidence les conditions de réglage permettant le bon fonctionnement de l'interféromètre : s'assurer que le faisceau laser reste toujours dans un plan parallèle au marbre, que tous les composants sont à la même hauteur, que certaines distances doivent être égales au mm près. Ces conditions doivent être vérifiées dans de nombreux montages optiques.

Une fois les franges circulaires obtenues, on les utilisera pour mesurer l'angle au sommet d'un prisme dont on connaît l'indice.

### 2. Etude théorique

#### 2.1 Description

Le montage est représenté sur la figure 1.

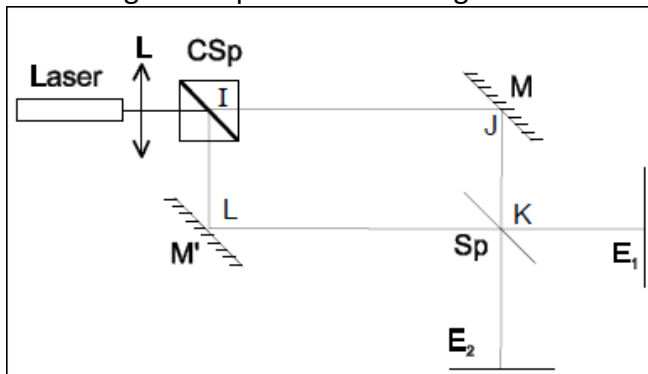


Figure 1 : Schéma du montage

L est une lentille de focale 10 mm. Elle focalise le faisceau laser en son foyer, qui joue le rôle de source primaire quasi-ponctuelle. CSp est un cube séparateur qui envoie la moitié de la lumière vers le miroir M et l'autre moitié vers le miroir M'. Sp est une lame séparatrice qui va superposer les faisceaux issus M et M' et leur permettre d'interférer. On peut observer les interférences sur les écrans E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub>.

On doit avoir  $IJ=LK$  et  $IL=JK$  : IJKL est un rectangle. L'interféromètre possède deux bras : IJK et ILK.

Les franges d'interférences observées sur E<sub>1</sub> sont celles issues des interférences entre les faisceaux émis par deux sources secondaires, images de la source primaire par chacun des bras. Une source

secondaire est issue de la source primaire par réflexions successives sur M et Sp (bras IJK) et l'autre par réflexions successives sur CSp et M' (bras ILK). On rappelle que l'image d'un point par un miroir plan est le symétrique de ce point par rapport au plan du miroir.

#### 2.2 Questions

Sur la figure 2, placer les points suivants : S' image de S à travers CSp, S<sub>1</sub> image de S à travers M, S<sub>2</sub> image de S' à travers M', S'<sub>1</sub> image de S<sub>1</sub> à travers Sp et S'<sub>2</sub> image de S<sub>2</sub> à travers Sp.

A quelle condition S<sub>1</sub> et S'<sub>2</sub> sont-elles confondues ?

Montrer que les franges en E<sub>1</sub> résultent de l'interférence entre S'<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>. De même, montrer que les franges en E<sub>2</sub> viennent de l'interférence entre S<sub>1</sub> et S'<sub>2</sub>.

Quelle forme de franges observe-t-on si S'<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> sont sur la droite (KJ) ?

Même question si (S'<sub>1</sub>S<sub>2</sub>) est perpendiculaire à (KJ) ?

### 3. Montage

Réaliser le montage de la figure 1.

On commencera par vérifier que le faisceau laser est bien horizontal (mesurer la hauteur du faisceau par rapport au marbre à la sortie du laser et en bout de table). Ajuster l'inclinaison du laser si nécessaire.

Placer ensuite CSp, en laissant de la place entre lui et le laser pour insérer plus tard la lentille.

Placer un écran avec une feuille de papier en bout de table, et des feuilles de papier sur le mur à la hauteur du faisceau. Repérer sur ces feuilles les deux positions des spots laser.

Placer M à environ 30 à 35 cm de CSp. Le laser doit arriver en son milieu. Avec les vis de M, faire en sorte que le spot laser issu de M soit à la même hauteur que le repère sur le mur. Puis tourner M de telle sorte que la distance entre ce repère et le spot issu de M sur le mur soit égale au mm près à la distance entre CSp et M. Fixer magnétiquement M et ne plus y toucher.

Placer ensuite M' à 20 ou 25 cm de CSp. Ajuster les vis de M' pour que le spot laser issu de M' soit à la même hauteur que le repère sur l'écran.

Tourner ensuite M' de sorte que la distance entre

ce repère et le spot issu de  $M'$  soit égale au mm près à la distance entre  $CSp$  et  $M'$ . Fixer  $M'$ . Placer ensuite la séparatrice. Les deux faisceaux issus de  $M$  et  $M'$  doivent se joindre en son milieu, et il faut superposer les deux spots issus des bras sur  $E_1$  (si le montage est bien fait, cela entraîne la superposition des deux spots sur  $E_2$ ). Placer enfin la lentille  $L$ . On doit observer des franges. Avec un peu de chances, elles sont larges et centrées, de forme elliptique ou hyperbolique. Sinon elles sont rectilignes et serrées : il faut ajuster les vis de  $M$  ou  $M'$  pour les élargir et les centrer.

**Montrer votre montage à un professeur.**

#### 4. Mesure de l'angle d'une lame prismatique

La lame prismatique est composée de deux moitiés : une en forme de prisme et l'autre est une lame à faces parallèles. La fixer sur un support à déplacement micrométrique et l'introduire sur le bras  $LK$ , perpendiculairement au faisceau.

Ce faisant, il y a une différence de marche supplémentaire entre les bras  $IJ$  et  $LK$ , et les franges défilent. On observe sur les écrans que les franges apparaissent sur une moitié de l'écran seulement. Cette zone correspond à la partie « lame à faces parallèles » de la lame prismatique. La partie prismatique dévie les rayons lumineux et il n'y a plus de superposition des faisceaux issus de  $M$  et  $M'$ . Pour y remédier,

on ajuste les vis de  $M$  ou  $M'$  afin de faire passer les franges de la zone « faces parallèles » à la zone prismatique. On touchera une vis à la fois. Si lorsque les franges disparaissent de la première zone, elles n'apparaissent pas dans la deuxième zone, on tournera la vis en sens inverse pour retrouver les franges dans la première zone. On essaiera alors de tourner la vis dans l'autre sens ou de changer de vis.

Une fois les franges obtenues dans la zone prismatique, on observe que les franges défilent si on déplace la lame prismatique. Cela vient de ce qu'on fait varier l'épaisseur de la lame d'une valeur  $\Delta e = LA$  où  $L$  est la longueur dont on déplacé la lame et  $A$  l'angle au sommet du prisme en radians. On fait alors varier la différence de chemin optique entre les bras ( $IJK$ ) et ( $ILK$ ) de  $\delta = (n - 1)\Delta e$  où  $n=1,52$  est l'indice de la lame. Lorsqu'une frange complète défile, cela correspond à une différence de marche d'une longueur d'onde  $\lambda = 633$  nm.

- Montrer que si  $N$  franges défilent pour un déplacement  $L$  de la lame, alors on a 
$$A = \frac{N\lambda}{(n-1)L}.$$
- Faires des mesures pour différentes valeurs de  $L$  et  $N$ , et rentrer les valeurs de  $A$  correspondantes dans un tableau Excel.
- Donner la valeur de  $A$  et son incertitude élargie correspondant à vos mesures en utilisant les fonctions d'Excel.
- Convertir  $A$  en degrés.

#### 5. Conclusion

Le montage de l'interféromètre de Mach-Zehnder résume les conditions dans lesquelles doit être effectué un montage d'optique : il faut respecter scrupuleusement les conditions d'alignement, de parallélisme, de hauteur et de centrage des éléments optiques.

L'interféromètre de Mach-Zehnder dispose de deux bras sur lesquels on peut facilement disposer des objets que l'on souhaite étudier. La différence de marche qu'ils introduisent entre les bras entraîne un défilement des franges. En comptant les franges qui défilent, on en déduit des propriétés de l'objet étudié. Ici, nous avons mesuré l'angle d'un prisme. En TP de mise en œuvre, le même montage est utilisé pour mesurer l'indice de l'air. De manière générale, on peut mesurer des différences de chemin optique liés à une variation d'indice ou d'épaisseur.

NOMS : .....

DATE :

.....

.....

**FEUILLE A RENDRE AVEC LE COMPTE-RENDU**

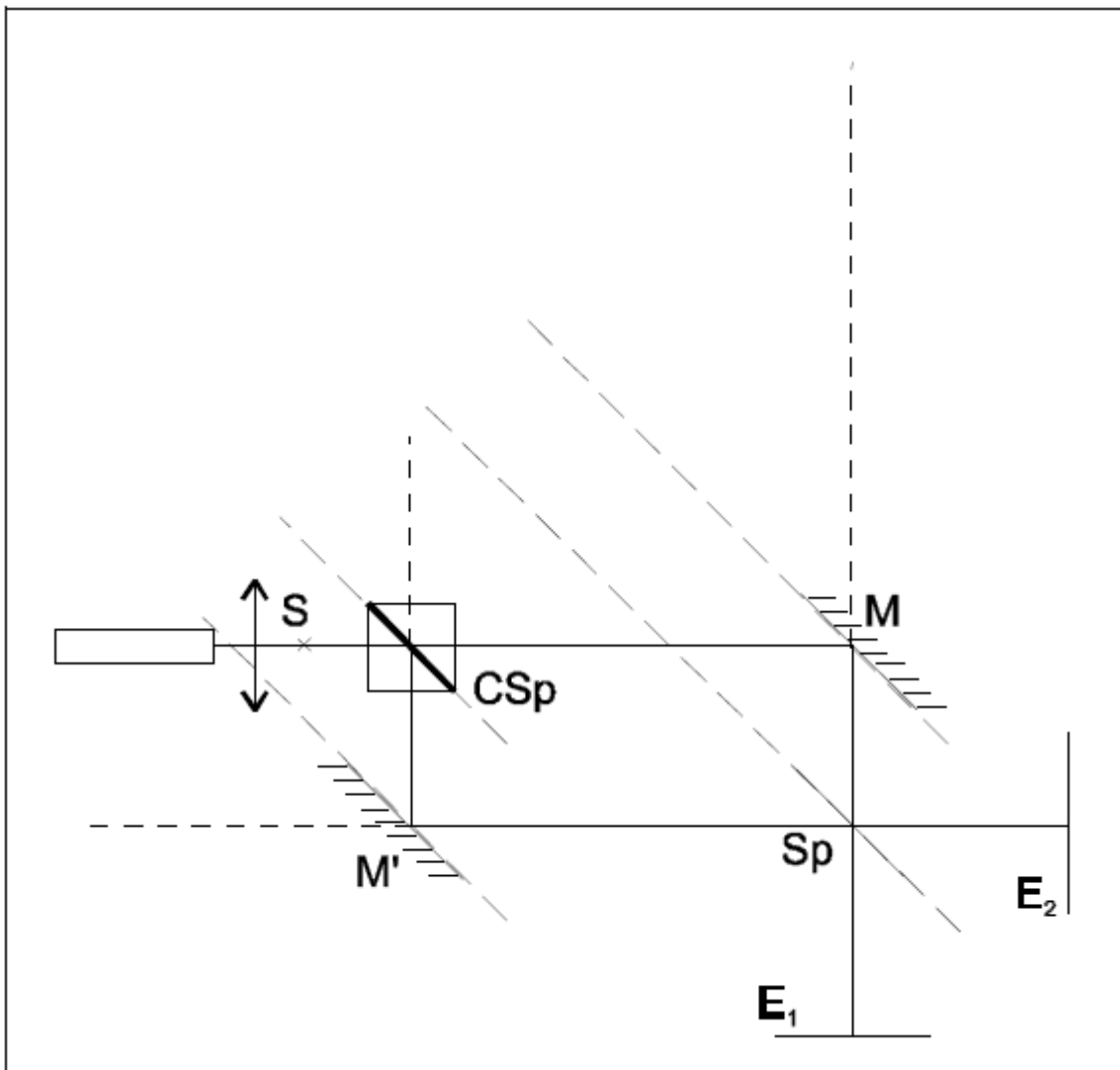


Figure 2 : Schéma à compléter et à rendre avec le compte-rendu

NOMS : .....

DATE :

.....

.....

**FEUILLE A RENDRE EN FIN DE SEANCE**

§	Travail à faire	A noter sur place	A noter à l'écrit
2	Etude théorique		
	Schéma		____ / 3
	Réponses aux questions		____ / 2
3	Montage	____ / 6	
4	Mesure de A		
	Montage	____ / 3	
	Tableau de mesures		____ / 2
	Expression de A		____ / 2
	Valeur de A (en rad et degrés) avec incertitude		____ / 2

TOTAL : \_\_\_\_\_ / 20

**Les comptes-rendus sont à rendre une semaine après le TP, le même jour de la semaine.**

**Un jour de retard : -2 points**

**Deux jours de retard : note / 2**

**Au-delà : points sur place / 2**