

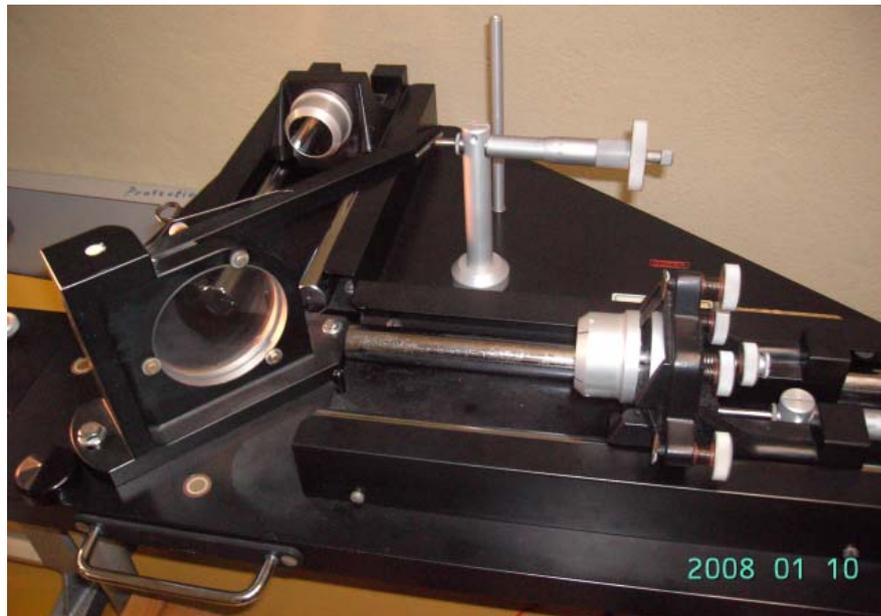
TRAVAIL PRATIQUE No. 6:

Mesures de longueur d'onde et cohérence avec l'interféromètre de Michelson

1 But de l'expérience

L'objectif de ce TP est de comprendre le principe de fonctionnement, de déterminer le rôle de chaque élément et de procéder au réglage d'un interféromètre de Michelson.

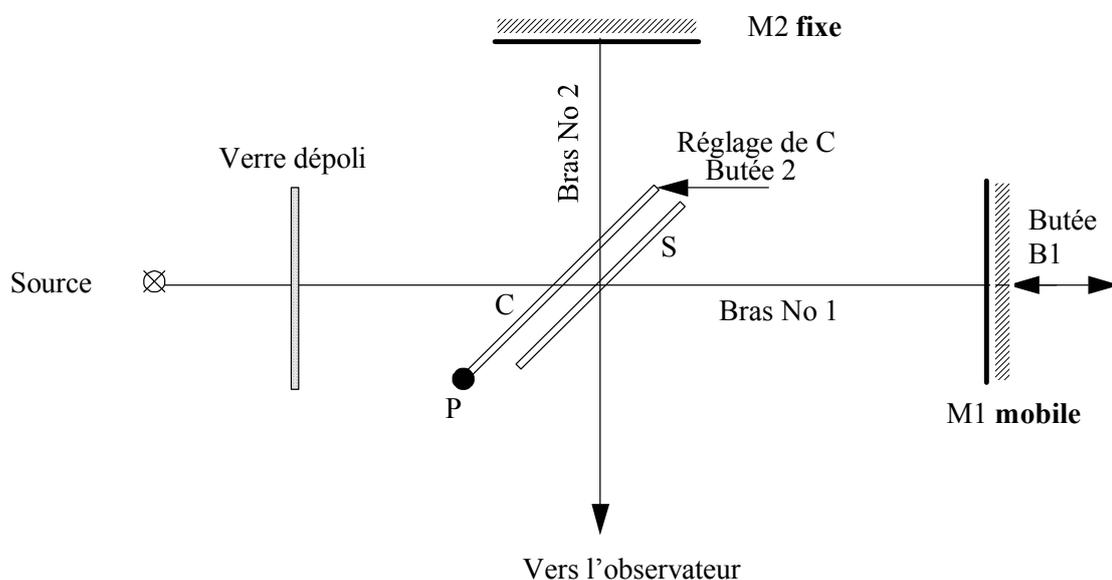
Il permet de mesurer la longueur d'onde d'une raie spectrale et de mettre en évidence le battement des deux rayonnements du doublet du sodium. On montre que l'on peut aussi créer des franges d'interférence en lumière blanche.



2. Matériel et instrumentation

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Interféromètre de Michelson • Sources (Lampes halogène et au sodium) • Deux filtres passe bande | <ul style="list-style-type: none"> • Encodeur linéaire Heidenhain |
|---|--|

3. L'interféromètre



Présentation générale de l'interféromètre de Michelson.

L'interféromètre est constitué de deux miroirs plans, d'une séparatrice S, d'une lame compensatrice C réglable angulairement par la butée B2.

L'interféromètre de Michelson fait partie de la classe des interféromètres à division d'amplitude.

Le rayonnement diffusé par le verre dépoli est partagé par réflexion partielle sur la lame séparatrice S. Une partie (50% de l'énergie) se dirige vers le miroir M2 et l'autre qui a traversé S se dirige vers le miroir mobile M1, positionné sur l'axe par la butée micrométrique B1.

Pour obtenir le partage d'amplitude de 50%, la face de S qui se trouve du côté de la lame compensatrice est métallisée. La lame compensatrice C est réglable angulairement autour du point P par la butée micrométrique B2, elle est faite avec le même verre et a la même épaisseur que la séparatrice. Elle n'intervient que pour obtenir des interférences en lumière blanche. La compensatrice est placée de telle façon qu'il y ait égalité exacte des chemins optiques entre les deux bras de l'interféromètre.

Les miroirs sont munis de quatre vis de réglage: deux pour un réglage grossier et deux qui poussent des lames de ressort pour le réglage fin.

La position du miroir M1 peut être lue par un encodeur linéaire Heidenhain avec une résolution de 1 μm .

4. Procédure

1. Identifier tout le matériel mis à disposition.
2. Illuminer l'interféromètre avec la lampe au sodium.
3. Régler l'interféromètre pour observer des franges. En déplaçant le miroir M1 avec l'aide de la butée micrométrique (mouvement de translation), faire apparaître des franges les plus contrastées possibles. En effet, avec les deux raies spectrales du Na, le contraste varie périodiquement (effet de battement).
4. Le défilement des franges est très sensible au mouvement de la butée micrométrique du M1 (B1). Si on bouge le miroir mobile axialement au moyen du micromètre différentiel on voit les franges défiler selon la relation :

$$\Delta d = \frac{\Delta m \cdot \lambda}{2}$$

ou Δd est le déplacement imposé au miroir mobile, Δm le nombre de franges qui on défilé, et λ la longueur d'onde. De plus le spectre de la lampe au sodium présente deux raies très proches en longueur d'onde, donc un phénomène de **battement**.

5. Essayez d'abord d'estimer la longueur d'onde de la lampe au sodium en comptant le nombre de franges qui défilent pour un Δd mesuré à l'aide de l'encodeur Haidenhain.
6. En effet la lumière de la lampe au sodium peut être considérée presque monochromatique, mais en fait elle comporte **deux raies spectrales** très proches et d'intensité presque égale qui se situent à **589 nm** environ. Ce fait provoque un phénomène de battement dans le contraste des franges. Calculer le $\Delta\lambda$ **entre ces deux raies** en mesurant la **distance de battement** de l'interféromètre. La méthode est décrite dans l'**annexe A**.
 - Trouver une région de minimum de contraste puis avancer le miroir mobile jusqu'à obtention d'un nouveau minimum. On peut aussi traverser plusieurs régions de battements afin d'améliorer l'estimation de la distance de battement mesurée.
 - Relever les distances et ensuite calculer la valeur de $\Delta\lambda$.
 - Répéter cette mesure **quelques fois** afin d'améliorer la maîtrise de l'instrument et d'affiner la précision.

7. Franges en lumière blanche

On veut maintenant observer des franges en lumière blanche. Une astuce pour trouver plus facilement les franges consiste à avoir une partie du champ éclairé en lumière blanche filtrée par un filtre à bande étroite (par exemple un de ceux à disposition) et l'autre au sodium. Illuminer donc partiellement le champ de l'interféromètre par la lampe halogène.

- En observant les franges du sodium, s'approcher de l'ordre 0 en essayant de diminuer le nombre de franges concentriques au minimum et trouver les interférences en lumière blanche. Il faut déplacer le miroir dans le sens où on voit le nombre de franges dans le champ diminuer et leur largeur augmenter.
- Quand très peu de franges apparaissent, c'est que l'ordre zéro n'est pas loin. Il faut alors se déplacer très lentement et on devrait voir apparaître les franges en lumière blanche dans la partie du champ éclairé en lumière blanche.
- On constatera que les franges restent visibles sur une **très petite** course du miroir M1. Cela indique que la longueur de cohérence est très petite.

8. Evaluer la largeur spectrale de **deux filtres** par une mesure de la **longueur de cohérence** – méthode décrite dans l'**annexe B**.
- Noter la longueur d'onde des deux filtres.
 - On pose une lentille de focale ~ 50 mm devant la lampe en ensuite le filtre afin d'y amener le faisceau lumineux.
 - **Attention: les filtres sont très sensibles à la chaleur.** N'exposez chaque filtre à la lumière focalisée (donc à un maximum d'énergie) **que pour le temps strictement nécessaire à la mesure.** Durant tout **moment de pause ou réflexion, svp enlevez le filtre**, ou la lentille.
 - En déplaçant le miroir M1 avec l'aide de la butée micrométrique (mouvement de translation), faire apparaître des franges les plus contrastées possibles. Continuez le mouvement de M1 jusqu'à trouver la limite à laquelle où le contraste des franges est quasiment nul. Renverser le mouvement – **très lentement** – un tout petit peu jusqu'à la situation où le contraste semble être la moitié du maximum. Noter cette position sur l'encodeur.
 - Inverser le mouvement et voir défiler les franges à partir de cette limite jusqu'à retrouver un contraste minimal de l'autre côté. En principe on aura ainsi indentifier la largeur à mi-hauteur (*FWHM* en anglais) de la longueur de cohérence: mais il y a toujours un **facteur 2** entre la distance mesurée et la longueur de cohérence.
 - Répéter cette mesure quelques fois afin d'en affiner la précision.
 - Effectuer ensuite la même mesure avec le deuxième filtre.
 - Dans le rapport donner aussi la **démonstration** de la relation (B.2).

A la fin, rangez svp tous les composants utilisés et remettez la manip dans l'état d'avant son début.

5. Compte rendu

Le compte rendu doit inclure :

- Toutes les **mesures demandées et réponses motivées** (avec schémas et calculs le cas échéant) aux questions posées.
- Vos conclusions et suggestions.

6. Distribution du travail

Ce TP sera généralement réalisé en équipe de 2 ou 3 personnes.

Chaque groupe est évidemment libre de s'organiser: toutefois on suggère que:

- au moins une personne se dédie déjà durant la manip aux calculs théoriques de support et compréhension des résultats trouvés ;
- au moins une personne vérifie que toute la procédure est bien suivie, soigne particulièrement le montage et les mesures, prend des photos, des notes des croquis exhaustifs durant la manip.

Le rapport peut être rédigé en se partageant le travail mais il devra être revu et corrigé avant livraison par tous les membres. Il est en tout cas primordial que **tous les membres de l'équipe maîtrisent tous les aspects**, à la fois pratique et théoriques, de la manip. **On rappelle que l'examen final d'optique inclura des questions en rapport avec les TP effectués.**

ANNEXE A

Phénomène de battement

Dans le cas de la lampe au sodium qui est utilisée dans cette manip, on peut voir apparaître un phénomène de battement. Ceci est dû au fait que la lampe n'est pas monochromatique mais émet deux raies spectrales très proches l'une de l'autre.

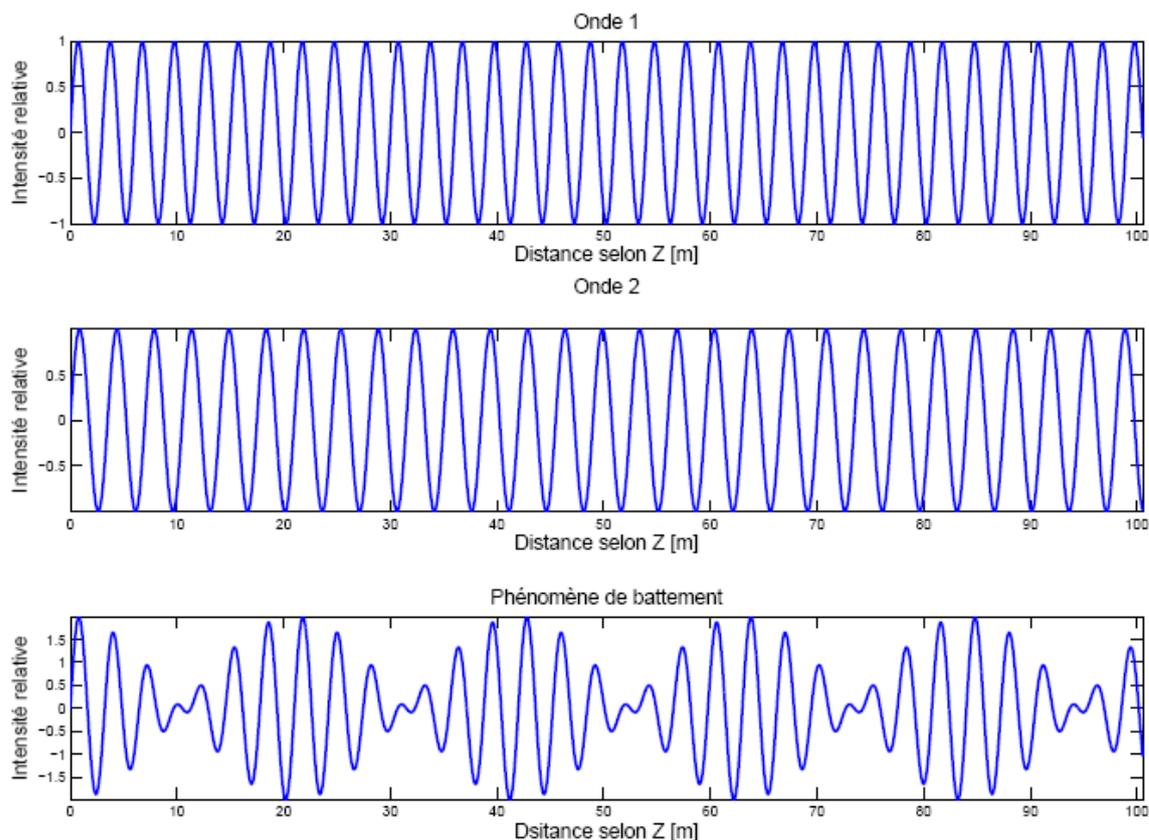


Illustration d'un phénomène de battement dû à la superposition de deux ondes de longueur d'onde légèrement différente.

On peut mesurer avec l'interféromètre la distance de battement, qui sera fonction des deux longueurs d'ondes proches mais néanmoins distinctes λ_1 et λ_2 : Dans le cas général on peut montrer que la distance correspondante à la période de battement (en quelque sorte la *longueur d'onde du battement* est donnée par :

$$\lambda_{\text{battement}} = \frac{\bar{\lambda}^2}{\Delta\lambda} \quad (\text{A.1})$$

Où $\bar{\lambda}$ est la valeur moyenne des deux longueurs d'ondes et $\Delta\lambda$ est leur différence.

Ainsi en déplaçant spatialement une onde, on peut voir une atténuation du contraste des franges d'interférences qui est périodique en fonction de la différence de longueur d'onde de deux raies spectrales.

Il faut par contre noter que puisque le rayon lumineux effectue deux fois le trajet, une fois pour aller jusqu'au miroir de l'interféromètre et une fois pour y revenir, on a la relation suivante pour la distance d mesurée sur l'interféromètre:

$$\lambda_{\text{battement}} = 2 \cdot d$$

ANNEXE B

Cohérence spatiale et longueur de cohérence

Si une source était parfaitement cohérente, on pourrait la faire interférer avec elle-même sur une distance infinie. Or n'importe quelle source, même monochromatique, possède en fait une largeur de bande finie.

La **différence de chemin optique** sur laquelle on peut observer des franges d'interférence et en fait aussi la longueur de cohérence de source :

$$\ell_c = c\tau_c = \frac{c}{\Delta\nu} \quad (\text{B.1})$$

où τ_c est le temps de cohérence, $\Delta\nu$ est la largeur de bande (en Hz !) à laquelle correspond une largeur spectrale en termes de largeur spectrale de la longueur d'onde $\Delta\lambda$.

On peut facilement aussi prouver que

$$\Delta\lambda \cong \frac{\lambda_0^2}{\ell_c} \quad (\text{B.2})$$

où λ_0^2 est la longueur centrale de la bande spectrale : cette relation est autant plus exacte si cette bande est étroite.

Plus la largeur de bande est importante, plus la longueur de cohérence est faible.

On comprend donc aussi pourquoi il n'est pas aisé de trouver des franges d'interférence en lumière blanche.