

## XII : Interféromètre de Michelson (2)

### Objectifs :

- Analyser/Raisonner : Interpréter les différents interférogrammes obtenus.
- Réaliser : Un montage utilisant un capteur optique.
- S'approprier : les réglages pour l'acquisition d'un interférogramme.
- Valider/Communiquer : mesures des longueurs d'onde en comparant aux valeurs théoriques.

### Matériel à disposition :

- 1 interféromètre de Michelson
- 1 jeu de lentilles (100mm, 200mm, 500mm...)
- 6 pieds d'optique de même hauteur
- 1 diaphragme à iris
- 1 écran
- 1 « mètre »
- 1 diode-laser
- Lunettes de protection laser rouge
- Lampe de poche
- 1 Lampe au Na, 1 Lampe au HG, 1 source de lumière blanche
- Filtre interférentiel dans le jaune.
- 1 dépoli
- 1 Spectrophotomètre à fibre optique « thorlabs »
- Sur la moitié des postes :
  - 6 Caliens
  - 6 dispositifs BPW34 + Alim +15/-15 + Sysam SP5

### Mesures et capacités expérimentales

Étudier la cohérence temporelle d'une source.	Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue par une démarche autonome non imposée. Obtenir une estimation semi-quantitative de la longueur de cohérence d'une radiation à l'aide d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.
Mesurer une faible différence de longueurs d'onde : doublet spectral, modes d'une diode laser.	Réaliser la mesure d'un faible écart spectral avec un interféromètre de Michelson.
<b>1.1 Modèle scalaire des ondes lumineuses</b>	
Réception d'une onde lumineuse. Récepteurs. Intensité lumineuse.	Mettre en œuvre un capteur optique.

## I – Interférogrammes et doublet

### I-1) Doublet du sodium

#### a) Réglage de l'IM en lame d'air

En utilisant vos notes du TP11, régler l'IM en lame d'air afin d'observer les franges d'égale inclinaison.

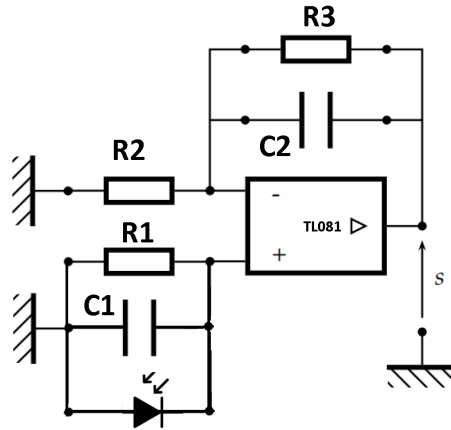
#### b) Acquisition de l'interférogramme

On va utiliser comme capteur optique une photodiode BPW34 qui est sensible aux variations de lumière.

Q1) À l'aide de la fiche technique, expliquer le choix de ce capteur.

L'intensité étant faible, on va amplifier le signal à l'aide d'un montage à base d'un amplificateur non inverseur de gain :  $1 + \frac{R_2}{R_3}$ . Ce montage sera aussi muni d'un filtre passe bas afin de couper le 50Hz qui parasite notre éclairage.

Q2) Donnez la (ou les) fréquences de coupure des filtres passe-bas de ce montage. Justifier ce choix en observant rapidement la fréquence de défilement des anneaux à l'aide du moteur.



On prendra comme valeurs :  $C_1 = 4,7nF$  ;  $R_1 = 4,7M\Omega$  ;  $R_3 = 100k\Omega$  ;  $C_2 = 100nF$  ;  $R_2 = \text{résistance variable}$ .

Suivant l'intensité lumineuse que vous aurez il va falloir adapter le gain du montage en ajustant  $R_2$ . La valeur de  $R_2$  devra être choisie de façon à amplifier le signal sans saturer la sortie de l'ALI.

c) Vérifications des longueurs d'ondes du doublet de Na.

Q3) Démontrer que :

- $\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta e}$  où  $\Delta e$  est la distance entre deux antioincidences.
- $\lambda_m = \frac{2\Delta e}{N}$  où  $\Delta e$  est la distance de chariotage entre N oscillations : nombre d'anneaux ayant défilé.

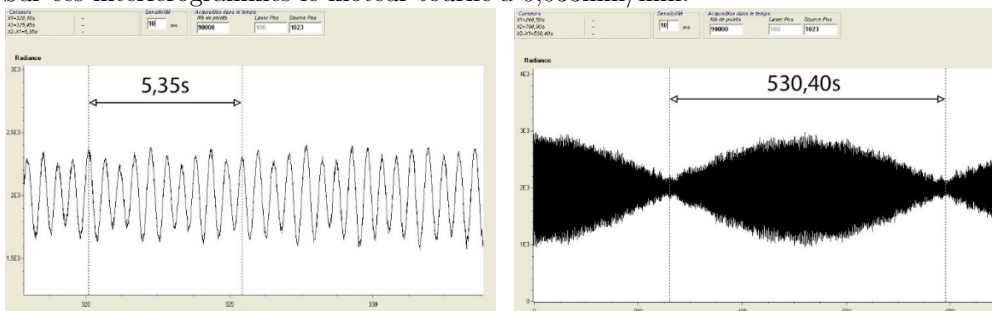
Déterminer la vitesse de chariotage de votre moteur par un protocole que vous préciserez en détail. Vous donnerez cette vitesse notée V en mm/min.

À l'aide de votre interférogramme en déduire les longueurs d'ondes du doublet du sodium. On donnera les valeurs numériques avec leur incertitude.

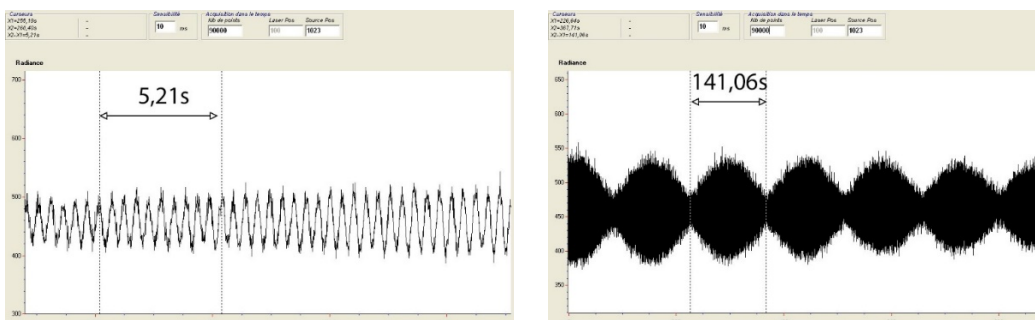
d) Relevé à partir d'interférogramme

À l'aide des interférogrammes suivants obtenus sur le doublet du sodium et du mercure, retrouvez les valeurs des longueurs d'ondes formant le doublet pour chacune des lampes.

Sur ces interférogrammes le moteur tourne à 0,033mm/min.



Interférogrammes obtenues avec le sopra 1 avec une lampe de Sodium



Interférogrammes obtenues avec le sopra 1 avec une lampe de Mercure

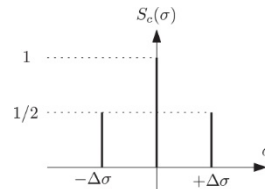
## II – Modes du laser

### I-1) Modélisation de l'émission

Les modes longitudinaux d'une diode LASER correspondent aux fréquences présentes dans le spectre d'une diode LASER présentant un profil Gaussien. Ces fréquences sont distantes les unes des autres d'une même quantité appelée intervalle spectral libre et dépendant de longueur de la cavité  $L$  et de l'indice  $n$  qui dans notre cas vaut **3,5**.

$$\Delta\nu = \frac{2c}{nL}$$

Nous allons modéliser l'émission laser par :  $S_c(\sigma) = \delta_i(\sigma) + \frac{1}{2}\delta_i(\sigma - \Delta\sigma) + \frac{1}{2}\delta_i(\sigma + \Delta\sigma)$  où  $\begin{cases} \delta_i = \text{fonction dirac} \\ \sigma = \frac{1}{\lambda} \end{cases}$



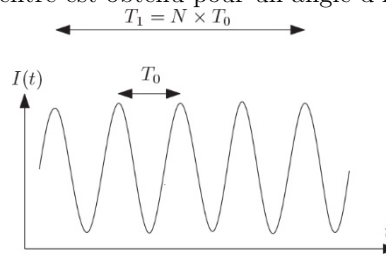
L'éclairement obtenu est de la forme :  $I(M) = 2I_0(1 + V(\delta) \cos(2\pi\delta\sigma_0))$  avec  $V(\delta) = 1 + \cos(2\pi\delta\Delta\sigma)$

### I-2) Mesure de la vitesse de motorisation

Comme pour le doublet du sodium, nous allons déterminer l'intervalle spectral libre séparant les modes longitudinaux du laser à l'aide de l'enregistrement des franges d'égale inclinaison

$$\Delta\nu = \frac{2c}{nL}$$

L'enregistrement des anneaux au centre est obtenu pour un angle d'inclinaison  $i$  nul tel que  $\delta = 2e$ .

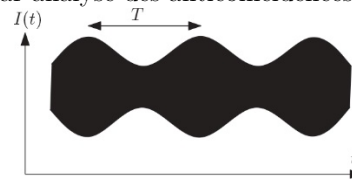


On obtiendra la vitesse de motorisation du Michelson en observant le chronogramme ci-dessus. En effet entre deux anneaux brillants on a :

$$\Delta\delta = \lambda_0 = \frac{1}{\sigma_0} = 2e = 2V T_0 \Rightarrow V = \frac{\lambda_0}{2T_0} = \frac{\lambda_0 N}{2T_1}$$

### I-3) Cavité du laser

On obtiendra l'intervalle spectral libre par analyse des anticoincidence (ou des coïncidences) :



Le facteur de visibilité pris entre deux positions maximales nous permet d'écrire :

$$2\pi\delta\Delta\sigma = 2\pi \Rightarrow \Delta\sigma = \frac{1}{2VT}$$

Or :

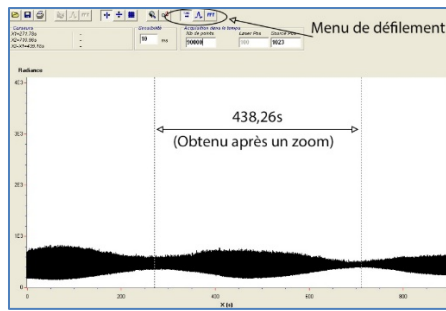
$$\Delta\nu = \frac{2c}{nL} \Rightarrow c \Delta\sigma = \frac{2c}{nL} \Rightarrow nL = \frac{2}{\Delta\sigma} = 4VT$$

Ainsi grâce à l'enregistrement on aura accès à la longueur de la cavité Laser.

### I-4) Résultats obtenus

L'enregistrement est délicat et surtout très long car l'intervalle spectral est faible. Ainsi je vous fournis les résultats obtenus avec un laser vert tel que :

- $\lambda_0 = 543 \text{ nm}$
- $T_0 = 0,534 \text{ s}$



A l'aide de cet enregistrement :

- Déterminez la vitesse de motorisation avec son incertitude :  $U_{V,95\%} = \frac{\lambda_0}{T_0^2} u_{T_0}$ .
- Déterminez l'intervalle spectral libre en nombre d'onde  $\Delta\sigma$  avec son incertitude.
- Déterminez la longueur de cavité et son incertitude sachant que  $n = 3,5 \pm 0,2$

### III – Interféromètre de Michelson en lumière blanche

#### II-1) Passage de lame d'air à coin d'air

Lorsque le Michelson est réglé en lame d'air, placez-vous au contact optique en essayant de faire apparaître le minimum d'anneaux sur l'écran de projection à l'aide de la vis  $V_3$  du miroir  $M_1$ .

- A l'aide de la lentille, éclairez les miroirs entièrement à l'aide de la lampe de sodium.
- Faites l'image des miroirs sur l'écran avec une lentille de 200mm (placer un coin de feuille au niveau des miroirs).
- Jouez sur les vis  $V_1$  et  $V_2$  afin d'observer des franges rectilignes. (Vous pouvez jouer sur la position de la lampe afin d'améliorer l'éclairage des miroirs pour avoir des franges plus contrastées)
- Orientez verticalement vos franges pour la suite des expériences avec les vis  $V_1$  et  $V_2$ . Obtenez une dizaine de franges à l'écran.

#### II-2) Expérience en lumière blanche

##### a) Longueur de cohérence

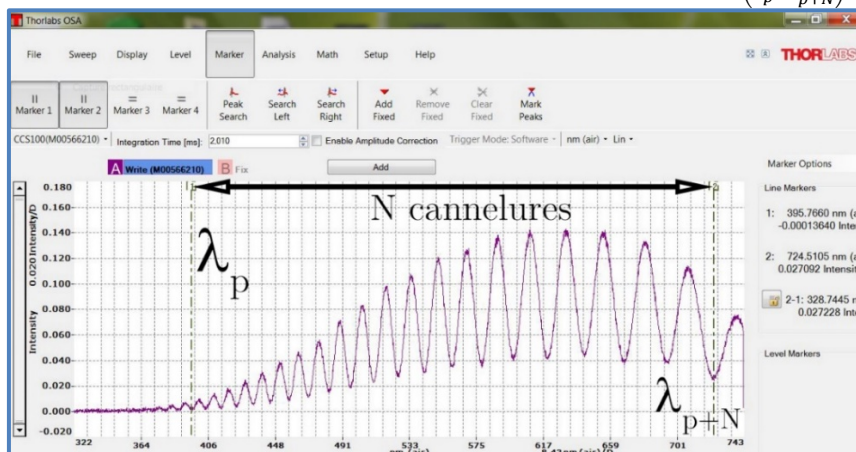
Proposer un protocole permettant de donner un ordre de grandeur de la longueur de cohérence avec la lampe spectrale puis avec la lumière blanche. Avant de passer en lumière blanche n'oubliez pas de relever la valeur du vernier qui vous servira de « bouée de sauvetage ».

À l'aide de votre protocole déterminer cette longueur de cohérence pour la lampe spectrale puis passez en lumière blanche et faites de même.

##### b) Blanc d'ordre supérieur

- Placez le spectrophotomètre à la place de l'écran.
- Déplacer le vernier légèrement jusqu'à obtenir une dizaine de cannelures. On notera la position du vernier  $x_1$ . Constatez que le nombre de cannelures augmente avec l'épaisseur du coin d'air.

- Enregistrer votre spectre et retrouver la valeur  $|x_1 - x_0| = e$  sachant que  $e = \frac{N}{2 \left( \frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_{p+N}} \right)}$ .



Remarque : un spectromètre à fibre optique est un appareil qui utilise comme détecteur de lumière une fibre optique, la fibre optique amène la lumière dans un système dispersif basé sur un réseau. Un capteur CCD permet ainsi de récupérer l'intensité de chaque longueur d'onde sur la plage d'utilisation du spectrophotomètre.