
Interférences

Théorie générale

- Bruhat : *Optique*, 6ème édition
- Françon : *Vibrations lumineuses*
- Françon : *Optique cohérente*
- Goodman : *Introduction à l'optique de Fourier et à l'holographie*
- Hecht : *Optics* (en anglais)
- Lauterborn, Kurz et Wiesenfeld : *Optique cohérente*
- Born et Wolf : *Principles of Optics* (en anglais)
- Olivier : *Physique PC PC**

Livres d'expériences

- Sextant : *Optique expérimentale*, à utiliser sans modération
- Houard : *Optique* : un livre très bien documenté, à utiliser pour la théorie et la pratique
- Bottineau : *Expériences d'optique*
- Françon, Krauzman, Mathieu et May : *Expériences d'optique physique*
- Henry et Jouanisson : *La lumière du laser*

Il est important de bien différencier les montages ou dispositifs interférentiels utilisant la division d'amplitude (DA) de ceux utilisant la division du front d'onde (DFO).

I) [1P] Franges d'Young – DFO

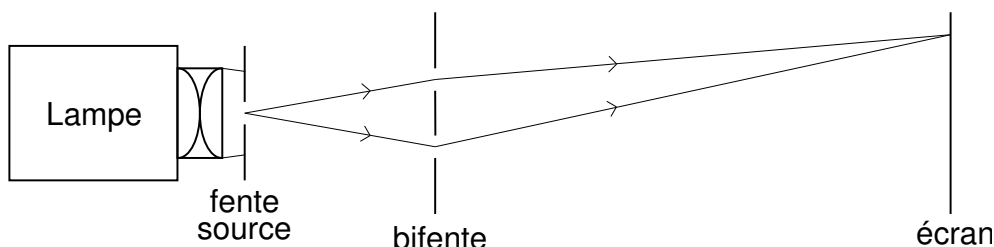


FIG. 1 – Franges d'Young

- Comme le montre la figure 1, on propose l'expérience sous sa forme classique, sans utiliser de lentille après la fente source. Il ne s'agit pas d'une expérience de diffraction de Fraunhofer.
- Choix de la source :
Lampe Quartz-Iode¹. Pourquoi le laser ne permet-il pas de faire l'expérience (importante) de cohérence spatiale ?
- Choix du condenseur :
Comparer la zone éclairée sur l'écran dans le cas d'un condenseur très convergent puis très peu convergent. Si l'on veut que la luminosité sur l'écran soit élevée lequel a-t-on intérêt à choisir² ?
- Choix de la fente source :
Choisir une fente réglable étalonnée (pour l'expérience de cohérence spatiale), s'entraîner à la régler et à lire sa largeur. Le faisceau doit couvrir toute sa surface, et en pratique, afin de réduire la lumière parasite, il est conseillé de placer la fente contre le condenseur. Régler la fente à sa largeur maximum. Constaté que l'on voit sur l'écran l'image indésirable du filament. En déplaçant un petit écran mobile remarquer que cette image est très délocalisée : il s'agit d'un effet de *profondeur de champ*, plus on diaphragme plus le champ en profondeur est grand (cf. poly Instruments d'optique). Remarquer ensuite qu'en réduisant beaucoup la largeur de la fente, l'image du filament sur l'écran devient floue, donc non gênante, à cause de la diffraction. Les expériences qui suivent imposent de travailler avec une fente fine, donc on sera toujours à peu près dans ce cas³.
- Choix de la bifente :
Choisir une bifente photographique dont la distance a entre les deux traits est comprise entre 0,2 et 0,3 mm. Il y a aussi une bifente gravée sur plaque inox mince mais celle-ci n'est pas conseillée ici car $a = 0,6$ mm est un peu trop grand. Placer la bifente à 10-30 cm de la fente

¹La nécessité de mettre un filtre spectral à bande étroite réduit beaucoup la luminosité. On peut tenter d'utiliser une lampe Philora dont les raies verte ou jaunes sont peu atténuées par le filtre, mais cette source est beaucoup moins ponctuelle que la Quartz-Iode, sa luminance est faible. Le bilan s'avère ici défavorable. On peut aussi opter pour les nouvelles lampes LED à lumière blanche.

²L'énergie qui traverse la bifente est surtout contrôlée horizontalement (perpendiculairement à la fente source et à la bifente) par la diffraction au niveau de la fente source donc dépend peu du condenseur, mais plus la figure d'interférence est étendue verticalement moins elle est lumineuse.

³Le réflexe classique qui consiste à changer de condenseur pour éliminer cette image du filament est très inefficace ici.

- source (à ajuster, plus cette distance est grande et plus on peut élargir la fente source, mais il ne faut pas trop réduire l'interfrange sur l'écran. Expliquer en termes d'angle de cohérence).
- Observer les franges sur un écran à environ 2 m. Élargir progressivement la fente source en faisant un compromis entre luminosité et contraste. *Bien régler le parallélisme fente-bifente.* Pour rendre l'expérience visible de loin, interposer un petit écran mat fortement incliné vers l'auditoire. Expliquer les irisations.
 - Vérifier la non localisation des franges en déplaçant l'écran.
 - Placer des filtres interférentiels (les filtres colorés ordinaires n'ont pas de longueur d'onde affichée, ils peuvent cependant servir à faire une première présentation sans mesure) et vérifier quantitativement la loi donnant l'interfrange. Le phénomène est très peu lumineux. Pour le rendre plus visible pour l'auditoire on peut utiliser une Webcam avec son objectif dirigé vers l'écran **mat** et observation sur l'écran de l'ordinateur étalonné avec une règle, ou placer une barrette CCD. À tester mais ces techniques risquent de vous prendre pas mal de temps à chaque fois. Avec ces appareils le contraste peut être meilleur si on ajoute un filtre antithermique.
 - Expérience de cohérence spatiale : Étudier l'influence de la largeur de la fente source. En élargissant la fente source on observe le brouillage puis la réapparition des franges avec inversion du contraste⁴. Il faut faire une exploitation quantitative du premier brouillage, mais on ne peut pas en attendre une grande précision, on peut donc opérer rapidement en utilisant un filtre coloré orange (environ 600 nm⁵) à la place d'un filtre interférentiel. Dans ce cas l'expérience est beaucoup plus lumineuse. Elle est visible de loin en inclinant l'écran. Sinon webcam ou barrette CCD.

II) Interféromètre de Michelson – DA

1) [1P] Généralités

a) Principe

L'interféromètre de Michelson est constitué de deux bras à l'extrémité desquels on place deux miroirs M_1 et M_2 (voir schéma ci-après). Le faisceau incident est séparé en deux fractions d'égale intensité dans chacun des deux bras de l'interféromètre au niveau d'une lame semi-réfléchissante (*séparatrice* S). Les deux faisceaux se recombinaient après réflexion au niveau de la séparatrice, et on observe leurs interférences dans la direction transverse à la direction du faisceau incident.

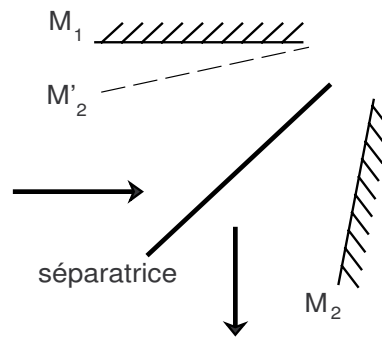
L'association miroirs-séparatrice revient à créer, entre le miroir M_1 et l'image M'_2 du miroir M_2 par S,

- une *lame d'air*, si M_1 et M'_2 sont parallèles : on peut alors observer des *anneaux d'égale inclinaison* ;
- un *coin d'air* dans le cas contraire : on peut alors observer des *franges d'égale épaisseur*.

L'épaisseur finie de la lame séparatrice induit une différence de marche supplémentaire entre les deux bras de l'interféromètre qui dépend de la longueur d'onde, et qu'il faut donc compenser. C'est

⁴Conceptuellement, il s'agit d'étudier une propriété de la fente source, il vaudrait donc mieux opérer sans changer la largeur de celle-ci (cf. *Sextant*). Cependant cela complique un peu la mise en œuvre.

⁵Ce choix est justifié par le fait que l'orange correspond à un intervalle spectral faible 590-610 nm alors que celui du rouge par exemple est 610-780 nm. Par ailleurs c'est un compromis entre le maximum de sensibilité de l'œil 555 nm et celui d'émission de la lampe QI (900 nm environ).



le rôle d'une autre lame dite *compensatrice* C qui ajoute la même différence de marche dans l'autre bras du Michelson.

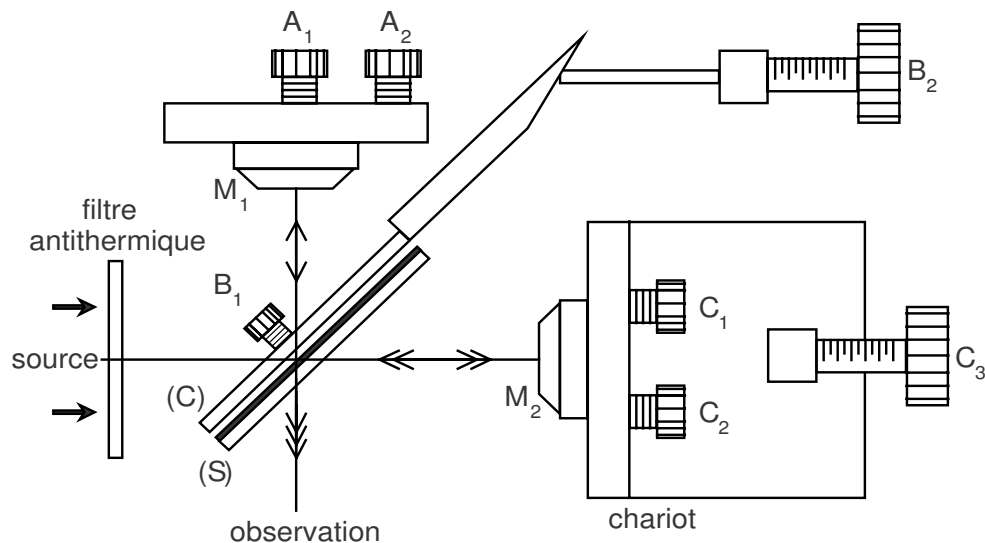
Une des premières choses à faire pour régler l'interféromètre sera donc de rendre parallèles la séparatrice et la compensatrice, on respectera ainsi la symétrie des rôles des bras de M_1 et M_2 .

b) Construction de l'appareil

Le miroir M_2 est monté sur un chariot, ce qui permet de faire varier la différence de marche en tournant une vis micrométrique. On dispose d'autre part de tout un lot de vis destinées à régler l'orientation des lames et des miroirs.

c) Rôle des différentes vis de réglage

- B_1 fait basculer la compensatrice autour d'un axe horizontal,
- B_2 fait tourner la compensatrice autour d'un axe vertical,
- C_1 et C_2 permettent un réglage grossier (donc rapide) de l'orientation du miroir M_2 ,
- A_1 et A_2 commandent le réglage fin de l'orientation du miroir M_1 ,
- C_3 permet le réglage de translation du miroir M_2 (*chariot*).



Notations utilisées par la suite :

- e = distance moyenne entre M_1 et M'_2 ;

- α = angle entre M_1 et M'_2 ;
- i = angle d'incidence de la lumière sur les miroirs.

d) Rappel des conditions d'observation des diverses figures

Quand les miroirs M_1 et M'_2 sont rigoureusement parallèles ($\alpha = 0$), on obtient des anneaux d'égale inclinaison localisés à l'infini. Pour les observer, il faut utiliser un faisceau de lumière non parallèle (afin d'avoir "le plus d'inclinaisons" possible en entrée). Ils sont nets quelle que soit la largeur de la source (insensibilité des anneaux à la cohérence spatiale). Quand la différence de marche s'approche de zéro, le rayon des anneaux tend vers l'infini et le champ prend une couleur uniforme appelée *teinte plate*.

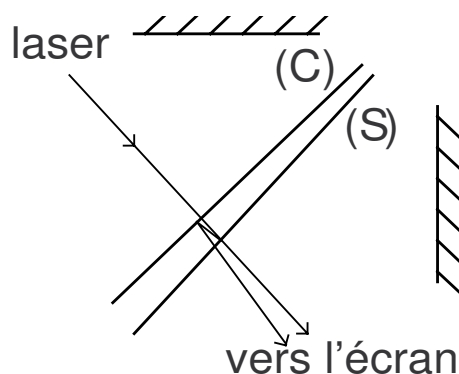
Quand les miroirs M_1 et M'_2 ont un petit angle ($\alpha \neq 0$), on observe des franges d'égale épaisseur localisées au voisinage des miroirs. Il faut en toute rigueur utiliser un faisceau de lumière parallèle construit à partir d'une source quasi ponctuelle. Cependant, on peut employer une source d'autant plus large que la différence de marche est faible (le justifier à partir de la formule : $\delta = 2e \cos i$). L'interfrange ne dépend pas de la différence de marche, mais le contraste est maximum autour de l'ordre zéro (cohérence temporelle et spatiale)⁶.

Note : la localisation n'intervient que pour les sources conventionnelles. Avec une source ponctuelle ou un laser, les interférences ne sont pas localisées.

2) [1P] Réglages avec un laser He-Ne

a) Réglage approché du parallélisme entre compensatrice et séparatrice

Envoyer le faisceau laser perpendiculairement à l'ensemble compensatrice-séparatrice (ajuster grossièrement l'orientation du laser pour que le faisceau réfléchi revienne sur lui-même) et observer sur un écran assez éloigné. Agir sur les vis B_1 et B_2 pour faire coïncider les 2 images les plus intenses.



⁶On retrouve ces propriétés en prenant la différentielle de la différence de marche, on obtient :

$d\delta = 2 \cos i de - 2e \sin i di$. Le premier terme correspond aux franges rectilignes d'égale épaisseur et l'autre aux anneaux d'égale inclinaison. Lorsque e tend vers zéro, il ne reste plus que le paramètre de , associé au parallélisme, à régler. Noter aussi que cette méthode de réglage n'est possible qu'avec un laser sinon les franges sont localisées et inobservables sur l'écran tant que le Michelson n'est pas réglé.

b) Réglage approché des miroirs

- Mettre les vis A_1 et A_2 en position moyenne.
- Envoyer le faisceau laser sur la face d'entrée du Michelson de façon à éclairer les deux miroirs. Observer sur un écran assez éloigné. Agir sur C_1 et C_2 pour superposer les deux taches les plus lumineuses.

Méthode rapide (Utilisateurs confirmés !) On peut effectuer les deux réglages approchés ci-dessus en une seule étape : envoyer le faisceau laser sur la face d'entrée du Michelson et placer une lentille (de grande distance focale, 1 à 2 m, pour rendre le réglage visible de loin) à la sortie du Michelson avec un écran dans son plan focal. Lorsque les 2 réglages sont effectués il n'y a plus qu'une seule tache sur l'écran.

c) Réglage interférentiel des miroirs

But La méthode proposée conduit à obtenir une géométrie où M_1 et M'_2 sont rigoureusement parallèles et une différence de marche presque nulle. Il est alors aisé d'obtenir les figures d'interférences classiques.

Explication Pour comprendre ce réglage, il faut avoir à l'esprit les points suivants :

- Quand la différence de marche diminue, les anneaux d'égale inclinaison défilent vers leur centre (le démontrer à partir de la formule $2e \cos i = k\lambda$ avec k constant pour un anneau donné).
- Quand la différence de marche diminue, les anneaux se transforment progressivement en franges d'égale épaisseur si les miroirs ne sont pas rigoureusement parallèles (en effet pour une faible épaisseur les variations d'inclinaison di des rayons changent beaucoup moins la différence de marche que lorsque l'épaisseur e est grande).
- Quand l'épaisseur moyenne e est nulle et que l'on diminue l'angle entre les miroirs, l'interfrange augmente et tend vers l'infini (teinte plate lorsque les miroirs sont parallèles).

Mise en oeuvre Interposer entre le laser et le Michelson une lentille de très courte distance focale ($f \sim 5\text{mm}$), vous observez des anneaux dont le centre n'est pas nécessairement visible. Charioter (vis C_3) de façon à faire défiler les anneaux vers leur centre de courbure (la différence de marche diminue – cf. 1). Lorsque les franges sont devenues rectilignes (cf. 2) cesser le chariotage et jouer sur l'angle des miroirs (vis C_1 et C_2) de façon à augmenter l'interfrange (cf. 3). Pour cela agir sur C_1 dans le sens qui accroît l'interfrange jusqu'au maximum, puis faire de même avec C_2 , puis recommencer avec C_1 . Si lors de ce réglage une courbure apparaît charioter à nouveau en priorité.

Lorsqu'il n'y a plus que quelques franges rectilignes sur l'ensemble du champ, agir sur les vis de réglage fin du parallélisme (A_1 et A_2) pour obtenir une teinte plate : le champ a une teinte et une luminosité uniformes, on est au voisinage du contact optique avec des miroirs parallèles. *Noter la valeur repérant la position du chariot.*

En résumé

- quand on voit des anneaux, on les fait défiler vers leur centre de courbure en chariotant (donner la priorité à cette opération) ;
- quand on voit des franges bien rectilignes, on joue sur l'angle des miroirs pour augmenter l'interfrange.

La suite indique comment obtenir les figures classiques avec projection sur un écran. Leur exploitation est proposée plus loin.

d) Franges d'égale inclinaison

Accoler une lampe à vapeur de mercure avec un condenseur très convergent contre la face d'entrée⁷. Les anneaux étant localisés à l'infini, placer *contre* la face de sortie du Michelson une lentille de grande distance focale (1 à 2 m) et placer l'écran dans son plan focal (contrôler la distance avec une règle). Charioter légèrement (expliquer pourquoi) pour observer des anneaux sur l'écran. Ajuster les vis A_1 et A_2 pour optimiser le contraste.

On remarquera probablement que très près de l'ordre zéro, les anneaux deviennent elliptiques ou hyperboliques : ceci est dû à un **réglage imparfait de la compensatrice**. Pour l'améliorer, chariotier pour obtenir des ellipses. Agir sur la vis B_1 pour rendre le grand axe des ellipses horizontal ou vertical, puis sur la vis B_2 pour obtenir des cercles. Ce réglage n'est pas critique, il a peu d'effet sur les expériences proposées dans ce polycopié.

e) Passage aux franges du coin d'air

Charioter jusqu'à obtenir une teinte plate. Placer après la lampe un condenseur peu convergent et éclairer toute la surface des miroirs. Enlever la lentille de projection et la remplacer par une lentille de courte distance focale. Former l'image des miroirs sur l'écran (expliquer pourquoi). Donner un petit angle aux miroirs en jouant sur une des vis de réglage fin. Vous observez des franges rectilignes. Charioter...

Revenir aux anneaux.

3) Manipulations possibles

Elles sont nombreuses, il faut donc choisir parmi trois catégories :

– Paragraphes a) à c) : «Les anneaux»

Ils ne sont sensibles qu'à la cohérence temporelle, ils sont donc adaptés à **l'étude spectrale d'une source**.

– Paragraphes d) à f) : «Les franges d'égale épaisseur»

Elles sont sensibles à la cohérence spatiale autrement dit à la structure spatiale de la source⁸. Elles sont surtout utilisées pour **l'étude d'épaisseurs optiques** en lumière cohérente.

– Paragraphe g) : Problèmes de cohérence

a) [1P] Écart du doublet du sodium

Prendre une lampe à vapeur de sodium⁹ avec un condenseur de 70 mm et **travailler en anneaux**. Charioter. Observer que pour certaines différences de marche le contraste s'annule (anti-coïncidence). Mesurer le chariotage Δe correspondant au passage d'une anti-coïncidence à la suivante (s'entraîner à lire correctement les indications de chariotage). En déduire $\Delta\lambda$ par la formule :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta e}$$

⁷L'idéal est de couvrir la plus petite surface possible des miroirs. Pourquoi ?

⁸sensibilité au 2ème ordre, donc faible

⁹Ne pas étudier le doublet jaune du mercure dans cette expérience avec chariotage à la main car les anti-coïncidences sont trop proches pour être facilement repérables.

Que faire pour améliorer la précision ?

En fait cette manipulation est un exemple élémentaire de spectroscopie par transformée de Fourier étudiée dans le paragraphe suivant.

b) [2P] Spectroscopie par transformée de Fourier

Remarque : Cette manipulation est longue, délicate et nécessite **une obscurité totale**. On utilisera la carte d'acquisition National Instrument USB 6212, à interfacier avec le pc pour acquérir le signal de la photodiode autonome avec le logiciel Interface Agreg. Le logiciel de traitement des données Qtiplot sera utilisé pour analyser les données (FTT).

On utilise le montage qui permet l'observation des anneaux d'égale inclinaison dans le plan focal d'une lentille de grande distance focale. L'interféromètre sera éclairé par une lampe à Hg¹⁰ (HP ou philora), éventuellement une lampe Hg – BP. Il s'agit, en déplaçant le chariot, d'observer la variation de l'intensité lumineuse au centre (pourquoi au centre ?) de la figure d'interférence.

- **Principe théorique** Dans ce qui suit : $\sigma = 1/\lambda$ est le *nombre d'onde*. Il représente une fréquence spatiale.

Source monochromatique Si la source émet une intensité $B(\sigma)$, on obtient pour une différence de marche δ l'éclairement :

$$I(\delta) \propto B(\sigma)(1 + \cos 2\pi\sigma\delta).$$

Par défilement d'un miroir on fait varier δ (au centre des anneaux $\delta = 2e$) et on observe la variation $I(\delta)$ représentée sur le panneau a) de la figure ci-après.

Doublet Si la source émet deux raies monochromatiques de même intensité et de nombres d'onde σ_1 et σ_2 , la partie variable de l'éclairement est la somme de deux sinusoides de périodes voisines et donne des «battements» :

$$I(\delta) \propto B_\sigma \left\{ 1 + \cos \left[2\pi \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \delta \right] \times \cos [\pi(\sigma_1 - \sigma_2)\delta] \right\}.$$

Par défilement, on observe une succession régulière de brouillages des anneaux pour $\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots$. Leur périodicité est $\delta_2 - \delta_1 = \frac{1}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$; voir panneau b) de la figure.

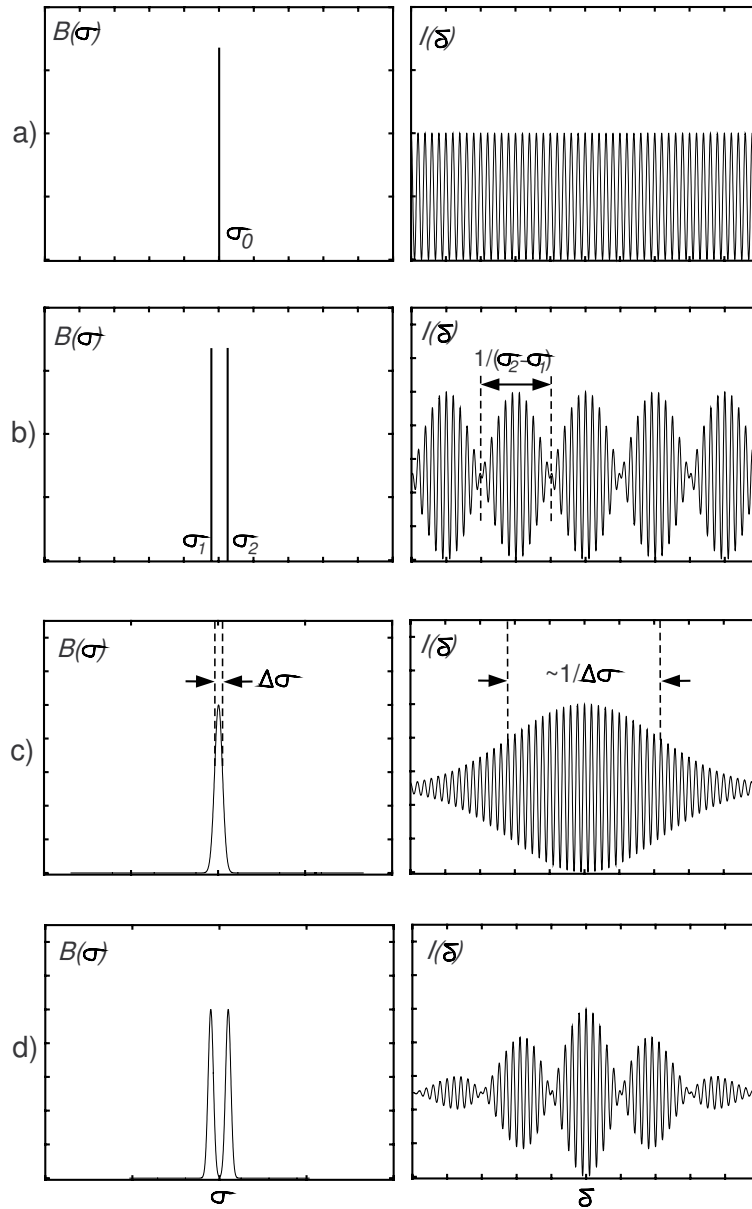
Raie large Si la source émet de la lumière dans un intervalle spectral qui s'étend de σ_1 à σ_2 , avec la répartition d'intensité $B(\sigma)$, l'éclairement est alors :

$$I(\delta) = \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} B(\sigma) [1 + \cos(2\pi\sigma\delta)] d\sigma.$$

Soit $I(\delta) = I_{moyen} + \Delta I(\delta)$, avec $\Delta I(\delta) = \int B(\sigma) \cos 2\pi\sigma\delta d\sigma$. On retrouve la propriété générale des interférences à deux ondes : la variation d'intensité autour de la valeur moyenne $\Delta I(\delta)$ est donnée par la transformée de Fourier (en cosinus) de la répartition spectrale $B(\sigma)$.

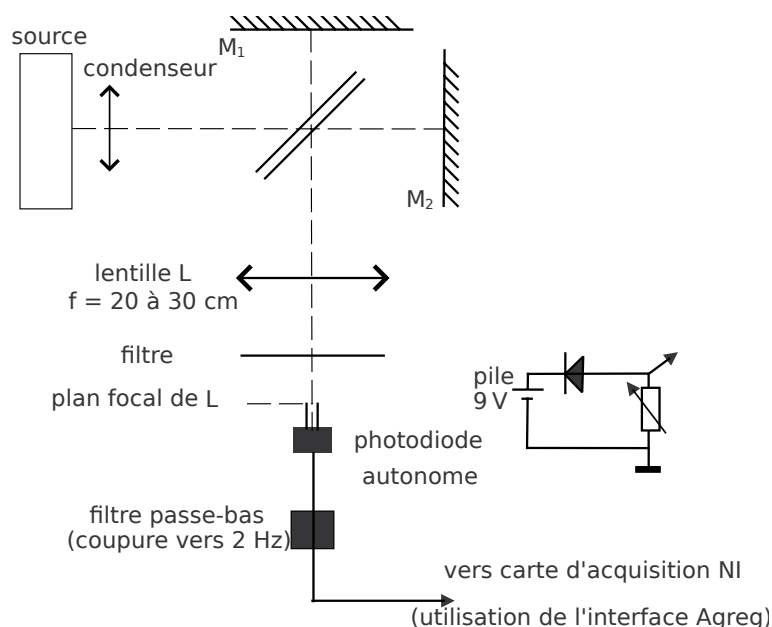
On considère le cas d'une raie large à $\sigma_0 = 1/\lambda_0$, avec un profil de largeur à mi-hauteur $\Delta\sigma$. La transformée de Fourier est le produit d'une sinusoïde de période $\delta_0 = 1/\sigma_0 = \lambda_0$, par une enveloppe de largeur à mi-hauteur $\Delta\delta \approx 1/\Delta\sigma$ (cf. longueur de cohérence). Voir panneau c) de la figure.

¹⁰Pour cette expérience qui est déjà bien longue, ne pas travailler avec la lampe au sodium : l'écart en longueur d'onde y est 3 fois plus petit, il faudrait charioter 3 fois plus longtemps.



Deux raies larges (supposées proches et de même largeur $\Delta\sigma$) On observe le produit des résultats précédents. On peut en déduire : $\sigma_{\text{moy}} \approx \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$, $\sigma_2 - \sigma_1$ et $\Delta\sigma$. Voir panneau d) de la figure. C'est ce type de figure que l'on obtient avec les deux raies jaunes du mercure.

- **Manipulation avec enregistrement** Au centre des anneaux, on place une photodiode autonome¹¹. Le moteur permet un déplacement très lent du chariot et on enregistre le signal $I(\delta)$. Typiquement, le déplacement du miroir au cours d'une expérience est de l'ordre de 0,5 mm, ce qui correspond à une durée de 15 min. Le signal de la photodiode est envoyé dans un filtre passe-bas construit pour cet usage, puis récupéré via la carte d'acquisition d'un PC et géré par le logiciel Acquisition Agreg. La source étant une lampe Hg haute pression (dite philora), un filtre interférentiel jaune ($\lambda = 576 \text{ nm}$) isole le doublet jaune du mercure (voir le schéma du montage ci-après). Attention, la raie verte du mercure est proche du doublet (cf. Sextant), choisir par conséquent un filtre très sélectif pour éviter la présence de battements supplémentaires.



Rôle du filtre passe-bas La vitesse du chariotage est de 1 mm en 30 min d'où une fréquence de 2 Hz (pour $\lambda = 556 \text{ nm}$). Cependant le flux lumineux des lampes spectrales (vapeur Hg ou Na, ...) est modulé à 100 Hz (et un peu à 50 Hz) avec un taux de modulation voisin de 100%. Ceci a pour effet de modifier notablement l'apparence du signal et impose d'effectuer l'échantillonnage à fréquence élevée suivant le critère de Shannon. Pour l'éviter on place à la sortie de la photodiode un filtre passe-bas du 2ème ordre qui transmet le 2 Hz et coupe le 100 Hz et le 50 Hz¹².

¹¹En principe il faut utiliser une lentille de grande distance focale pour former les anneaux afin que le capteur ne reçoive qu'une faible fraction d'anneau, sinon il moyenne et le contraste s'annule. Mais pour des questions de luminosité il ne faut pas dépasser 30 cm de distance focale : ce n'est pas gênant ici car on se limite à des différences de marche assez faibles, donc les anneaux restent de grande taille.

¹²Il existe un filtre passe-bas construit pour cet usage (notice N. 113). Néanmoins on peut se passer du filtre en échantillonnant à 1 kHz puis en lissant la courbe à l'aide de la fonction Smooth du menu Analysis dans Igor. Choisir une zone de moyennage glissante de 101 points (les nombres pairs sont refusés.)

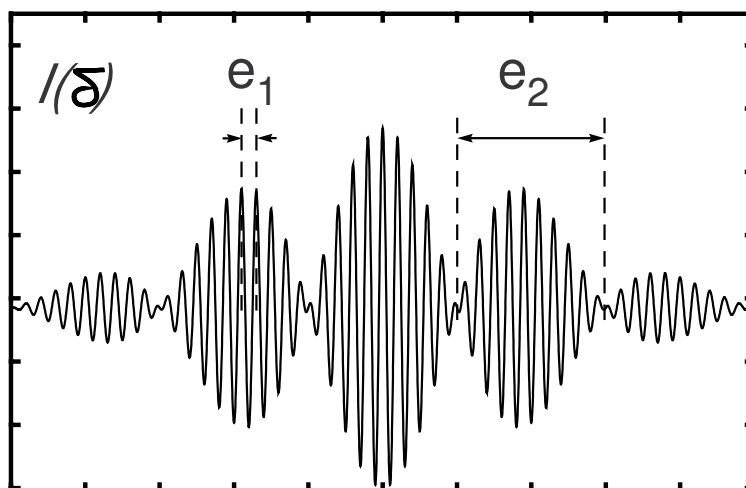
Acquisition du signal Il faut utiliser le nouveau logiciel Interface Agreg, développé par Pierre Cladé pour prendre les données (créant une sortie .txt).¹³

Avant tout réglage, vérifier avec le logiciel NI MAX que la carte est bien détectée et installée. Vous pouvez aussi utiliser le mode "panneaux de test" de National Instruments, pour vérifier que l'on observe bien un signal avec la photodiode connectée à un port I.

Les réglages de l'échantillonnage doivent répondre à certains critères :

- Fréquence d'échantillonnage : d'après le critère de Shannon elle doit être supérieure à 2 points par période. On pourra choisir 10 points par période (ou un peu plus, ce qui améliore la précision des repérages), soit une fréquence de $2\text{Hz} \times 10 = 20\text{Hz}$.
- Nombre total de points d'échantillonnage : la durée typique d'enregistrement est 1000 s ce qui conduit à 20 000 points d'échantillonnage¹⁴.

Effectuer un enregistrement de quelques lobes autour (ou à partir) de $\delta = 0$. Mesurer e_2 , durée entre deux minima de contraste, et mesurer e_1 , durée entre deux maxima d'oscillation (cf. figure ci-après). On a $\frac{e_1}{e_2} = \frac{\Delta\sigma}{\sigma} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$. En déduire $\Delta\lambda$ connaissant λ ¹⁵.



c) [2P] Mesure des rayons des anneaux

En travaillant en lumière monochromatique, vérifier que les carrés des rayons sont en progression arithmétique. En déduire l'épaisseur optique.

d) [1P] Défaut de planéité d'une lamelle de microscope

Régler le Michelson en coin d'air. Opérer en lumière monochromatique. Régler le parallélisme entre les miroirs de façon à avoir une teinte plate. Placer la lamelle devant le miroir fixe M_1 et,

¹³Le logiciel Interface Agreg ne présente pas encore la possibilité de réglage de l'échantillonnage comme le logiciel d'acquisition IGOR-sYnchroniX, utilisé dans le passé et qui est obsolète à présent. Mais ceci est en cours de développement.

¹⁴La carte NI USB 6212 peut aller jusqu'à 400 kS/s (kilo-échantillon par second) ! Le logiciel Synchronie, très courant en lycée, peut aller jusqu'à 10^4 points, il est donc utilisable.

¹⁵On peut être tenté de demander courtoisement à Qtiplot, grâce au fichier txt obtenu avec Acquisition Agreg, de calculer la FFT du signal, mais l'expérience montre qu'ici le bruit qui accompagne chaque raie est plus large que la distance entre deux raies, rendant impossible leur séparation. C'est probablement dû à des irrégularités de vitesse du moteur (il suffit de 0,3%). Dans les systèmes perfectionnés, la vitesse est contrôlée par un faisceau laser.

si nécessaire, charioter pour optimiser le contraste. Observer les franges d'un bord à l'autre de la lamelle ; en déduire (avec réserve) la variation d'épaisseur (prendre $n \simeq 1,5$). Pour repérer le sens de variation de l'épaisseur et *vérifier que cette variation est monotone*, charioter très doucement en éloignant le miroir M_2 : les franges se déplacent dans le sens des épaisseurs croissantes (quand on suit une frange donnée, les variations de chemin optique se compensent).

e) [1P] Franges du coin d'air en lumière blanche – Application

Cette expérience est délicate.

Il est nécessaire d'être *très* près du contact optique (donc cette expérience est impossible en anneaux). En lumière peu convergente du mercure régler le chariotage de façon à avoir des franges rectilignes dont le contraste est maximum (il y a malheureusement plusieurs positions qui donnent cette impression). Noter la position du chariot. Remplacer la lampe spectrale par une lampe quartz-iode et interposer un filtre interférentiel (expliquer son rôle), puis si les franges n'apparaissent pas, charioter *très doucement* autour de la position initiale repérée (sur environ 1/100 mm). Lorsqu'elles apparaissent charioter jusqu'au maximum de contraste. Ôter le filtre. En cas d'échec reprendre la dernière étape.

Application Mesure de l'épaisseur moyenne d'une lamelle de microscope

Partir de l'expérience ci-dessus. Noter la position du chariot. Interposer devant le miroir fixe une lamelle de microscope. Les franges disparaissent. Charioter très lentement *dans le bon sens* à l'aide du moteur jusqu'à leur réapparition. En déduire l'épaisseur de la lamelle (prendre $n \simeq 1,5$). Si la détermination du chemin optique est très précise, celle de l'épaisseur est grossière car on ne connaît pas précisément l'indice du verre utilisé. Prudence donc sur le choix des mots si vous présentez cette manipulation en montage.

Pourquoi faut-il opérer en lumière blanche pour faire cette mesure ?

f) [2P] Interférences en lumière polarisée (expérience de Fresnel-Arago)

Cette expérience est importante dans la théorie des interférences. Régler le Michelson en coin d'air de manière à observer des franges rectilignes. On pourra utiliser le laser auto-collimaté pour avoir un maximum de luminosité et un bon éclairage en lumière parallèle.

Notations utilisées pour la suite :

- P_e : polariseur placé avant la face d'entrée du Michelson ;
- P_s : polariseur placé après la face de sortie du Michelson ;
- P_1 : polariseur placé entre la séparatrice et M_1 ;
- P_2 : polariseur placé entre la séparatrice et M_2 .

P_1 et P_2 sont des petites plaques de polaroïd, montées dans des manchons, que l'on place devant les miroirs (attention, les miroirs sont très fragiles, ne pas les toucher). Les plaques n'étant pas optiquement planes, les franges sont très déformées¹⁶. De plus, il faut penser à compenser éventuellement la différence de marche supplémentaire induite par les polaroïds.

Réaliser les situations indiquées dans le tableau qui suit :

¹⁶Pourquoi l'expérience est-elle impossible en anneaux ?

P_e	P_1	P_2	P_s	resultat
45°	90°	0°	45°	
absent	90°	0°	45°	
45°	90°	0°	absent	

Observation : Il n'y a pas d'interférences dans les cas 2 et 3. Expliquer.

Après utilisation, ôter les supports de polariseurs (ils nuisent gravement au chariotage).

g) [AP] Un problème de cohérence

Certains aspects de la cohérence temporelle ont été rencontrés précédemment (franges en lumière blanche, spectroscopie par transformée de Fourier). On propose ici une expérience qualitative sur la cohérence spatiale.

Se placer en franges du coin d'air au voisinage de l'ordre zéro et éclairer le Michelson avec une lampe philora et un condenseur *moyennement* convergent. Charioter jusqu'à forte diminution du contraste. Cette diminution est-elle liée à un effet de cohérence spatiale ou de cohérence temporelle ? Réponse : passer en anneaux sans charioter (ni toucher à la source)...

III) [AP] Interférences localisées – DA (franges d'égale épaisseur d'une lame de savon)

Réf : Bottineau

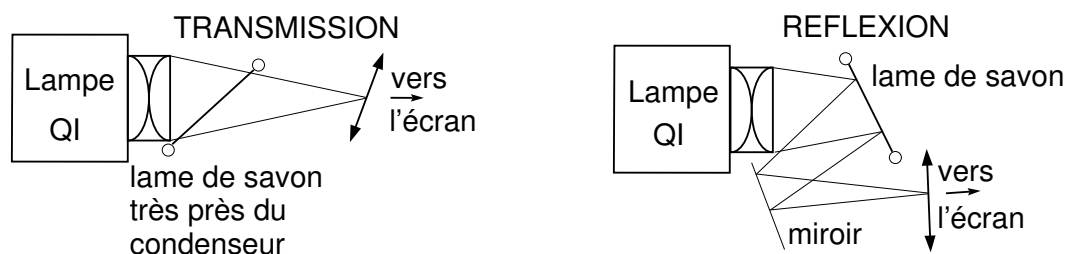


FIG. 2 – Lame de savon (vues de dessus)

Pour augmenter la tenue des lames on peut interposer un filtre anti-thermique.

Le **montage par transmission** est facile à mettre en œuvre mais donne un très faible contraste des franges (expliquer). L'expérience peut cependant être réalisée en inclinant fortement la lame autour d'un axe vertical ce qui augmente le coefficient de réflexion. Pour accroître la zone de netteté, incliner un peu la lentille vers la lame comme indiqué¹⁷ sur la figure 2.

Pour réaliser le **montage par réflexion**, plus délicat à mettre en œuvre, il est préférable d'opérer en incidence proche de la normale, car à partir de l'incidence de Brewster le comportement change (notamment en phase).

¹⁷Il s'agit de la *règle de Scheimpflug* qui indique comment obtenir l'image nette d'un objet incliné. Elle stipule que les plans de l'objet, de la lentille et de l'écran doivent passer par une même droite. Elle est facile à comprendre sachant que quand l'objet est dans le plan de la lentille il est confondu avec son image ; l'aplanétisme joue aussi un rôle dans le raisonnement. Cependant il faut opérer empiriquement à cause des aberrations.

- Pourquoi ne voit-on pas de franges quand la lame est épaisse ?
- Ajouter un filtre interférentiel. Que se passe-t-il ?
- Pourquoi avant l'éclatement la partie la plus mince apparaît-elle noire dans le montage par réflexion ?