

L'INTERFEROMETRE DE MICHELSON ET NOTIONS DE COHERENCE.**1. Le réglage de l'interféromètre de Michelson avec une source étendue.**

Précautions d'utilisation de l'interféromètre de Michelson et tout matériel d'optique en général :

- Les traitements des miroirs et de la séparatrice de l'interféromètre sont **très fragiles**. Il est donc impossible de les frotter sans risque de détérioration. Le seul nettoyage possible est d'éliminer les poussières à l'aide d'une poire ou d'une soufflette. Par conséquent, **NE JAMAIS FROTTER ET NE JAMAIS TOUCHER** les différentes pièces optiques.
- La mécanique est **fragile**. **NE JAMAIS BLOQUER UNE VIS**. Si vous n'arrivez pas à faire un réglage à cause d'une vis bloquée, ne forcez pas et appelez le professeur.
- Le pris actuel d'un Michelson est de 7000 € environ. Les générations futures vous remercient du soin que vous en prendrez.
- **NE JAMAIS REGARDER DIRECTEMENT AVEC SON ŒIL LE FAISCEAU LUMINEUX D'UN LASER**. Veiller en particulier à protéger et avertir les autres personnes se trouvant dans la même salle. Se méfier des réflexions parasites.

1.1. Principes généraux.

Le réglage se décompose en quatre étapes :

- Réglage géométrique du parallélisme entre la séparatrice et la compensatrice, la séparatrice étant fixe. Ici **la compensatrice est réglée au laboratoire : on n'agira donc pas sur elle.**
- Réglage géométrique de l'orientation des miroirs pour qu'ils soient perpendiculairement entre eux et à 45 ° de la séparatrice. Ces deux premiers réglages s'effectuent à l'aide d'un point source, d'un faisceau Laser ou d'une mire.

- Obtention des franges d'égale épaisseur, dite de coin d'air. Le principe du réglage consiste alors à régler dans la pratique l'orientation des deux miroirs de façon à obtenir un coin d'air de très petit angle α (de l'ordre de la minute d'angle).

- Obtention des franges d'égale inclinaison et recherche du contact optique avec la lampe à vapeur de sodium. La différence de marche δ au centre étant égale à $2.e$, on agit sur le chariot du miroir M_1 de façon à rendre e très faible et à se rapprocher du contact optique, ce qui est nécessaire pour observer les franges en lumière blanche.

Ces réglages peuvent être dégrossis à l'aide de l'optique géométrique (2.2). Les réglages plus fins passent par l'observation d'interférences (2.3.).

Ne jamais oublier que pour observer des interférences, il faut des sources cohérentes entre elles, ce qui impose en particulier que la différence de marche reste inférieure à la longueur de cohérence de la source.

Conséquence : pour observer des figures d'interférence avec le Michelson, il faudra être d'autant plus près du contact optique que la longueur de cohérence est faible. Un principe possible pour régler l'interféromètre, consiste à passer progressivement du Laser à la lampe spectrale à vapeur de sodium, puis mercure avant de pouvoir observer des interférences en lumière blanche.

1.2. Réglages grossiers : optique géométrique.

a) Utilisation d'une mire.

Vérifier visuellement que les miroirs sont à peu près perpendiculaires et à égale distance de la face traitée de la séparatrice, (sans toucher à la surface des miroirs) puis positionner les vis de réglage de M_1 et M_2 à mi-course. Ce réglage est très important si le réglage doit s'effectuer sans Laser.

Eclairer le Michelson à l'aide d'une source à vapeur de sodium suffisamment éloignée de la face d'entrée afin d'éviter d'être aveuglé (éventuellement, diaphragmer la source) en plaçant une mire dessinée sur une feuille de calque sur le trajet du faisceau.

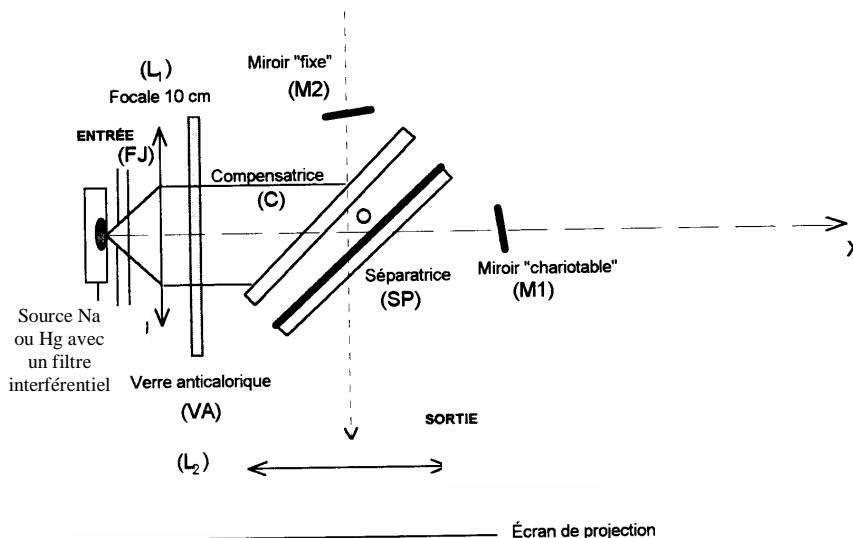
Effectuer l'observation directe (à la place de l'écran), observer les images de la mire à travers le Michelson, grâce aux réflexions sur les miroirs. Faire superposer les deux images de la mire. Quand les images se superposent, ceci signifie que les miroirs M_2 et M'_1 sont quasi parallèles et l'on observe la figure d'interférence étudiée plus haut, des franges rectilignes. On est dans la configuration du coin d'air. Si les franges ne sont pas très nettes on peut agir sur le chariot V_3 pour déplacer le miroir M_1 et se placer autour de la valeur indiquée sur chaque appareil. Si les franges sont trop resserrées, translater ou faire pivoter les miroirs pour augmenter l'interfrange.

NE JAMAIS RALLUMER UNE LAMPE SPECTRALE DONT L'AMPOULE EST ENCORE CHAUDE pour ne pas porter atteinte à sa durée de vie. Par conséquent, ne pas éteindre les lampes entre deux manipulations.

1.3. Premiers réglages interférentiels : réglage en coin d'air.

a) Nature et localisation des franges :

Avec le réglage en coin d'air, les franges d'interférences sont rectilignes et parallèles à l'arête des miroirs. Lorsque la source est large, et à grande distance, les franges sont localisées très près des miroirs et ne sont nettes que pour les très faibles différences de marche, donc au voisinage de l'arête des miroirs (ordre d'interférences petit).



b) Eclairage

Placer la lentille L_1 proche du verre anti-calorique. Placer la source à proximité du foyer de la lentille L_1 . Les miroirs doivent être bien éclairés. La source étant étendue, on n'est pas en lumière parallèle, mais le rayon moyen est confondu avec l'axe optique de la lentille L_1 . On a u faisceau quasi-parallèle, éclairant les miroirs sous incidence quasi-normale.

c) Projection de la figure d'interférences sur un écran :

On fait avec (L_2) l'image du miroir M_2 sur l'écran (E). S'en assurer en cherchant l'image nette d'un bord ou d'une poussière du miroir M_2 .

d) Première observation

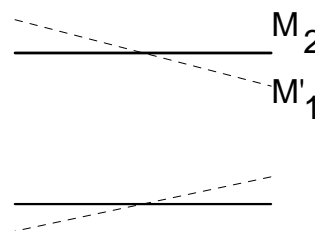
Avec un peu de chance, on voit tout de suite apparaître des franges rectilignes, sinon on retouche très doucement à la vis de "chariotage" V_3 pour que les franges rentrent dans le champ de vision et soient bien contrastées. **Noter la position I du miroir M_1** sur la vis micrométrique correspondant à un maximum de contraste.

2. Interféromètre de Michelson en lame d'air à faces parallèles ou les anneaux, franges d'égale inclinaison.

2.1. Teinte plate :

Revenir au montage 1.3.b, afin de voir les franges du coin d'air avec un bon contraste. Agir alternativement sur V_1 et V_2 (orientation de M_1), afin de faire croître l'interfrange.

Si l'interfrange diminue, cesser d'agir sur la vis, et passer à l'autre.



On arrive alors à un éclairage uniforme appelé "teinte plate". Elle s'observe lors du contact optique, c'est à dire à la superposition entre les miroirs M_2 et l'image M'_1 du miroir M_1 .

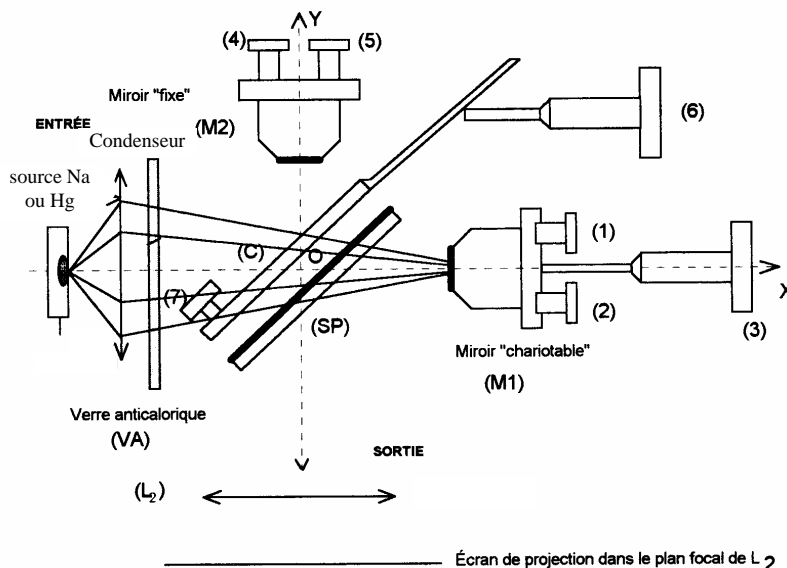
2.2. Anneaux à l'infini :

a) Nature et localisation des franges :

Dans ce cas, les franges d'interférences sont des anneaux localisés à l'infini lorsque la source est étendue, et la largeur de cohérence spatiale de la source est infinie.

b) Eclairage :

Dans un premier temps on remplace L_1 par un écran diffuseur translucide. Son rôle est d'envoyer la lumière dans toutes les directions. En effet, l'observation des anneaux complets suppose qu'il y ait symétrie de révolution par rapport à l'axe du système. On enlève L_2 et on observe à l'œil nu. En déplaçant délicatement M_1 à l'aide de V_3 on doit voir apparaître des anneaux.



Essayer de « stabiliser », par rapport à des déplacements de tête, la figure d'interférence dans les directions verticales et horizontales grâce aux vis du miroir M_1 . Un peu de patience et beaucoup de doigté permettent d'arriver rapidement à une figure d'interférence dont le centre ne voit pas varier son intensité ni son rayon lors d'un hochement de tête. Dans ces conditions le Michelson est réglé en lames d'air à faces parallèles.

Enlever l'écran diffuseur et opérer en lumière convergente à l'aide d'un condenseur et d'une lampe à vapeur de sodium (ou de mercure plus tard) non diaphragmée. S'assurer de la convergence approximative du faisceau sur les miroirs et d'un éclairage uniforme.

c) Observation des anneaux d'interférences :

On peut observer les anneaux, soit sur un écran lointain, sans lentille de projection, soit dans le plan focal d'une lentille (anneaux plus lumineux et mieux contrastés). La distance focale de (L_2) est choisie en conséquence.

Agir sur V_3 (translation de M_1) pour améliorer le contraste.

Noter alors la position II de M_1

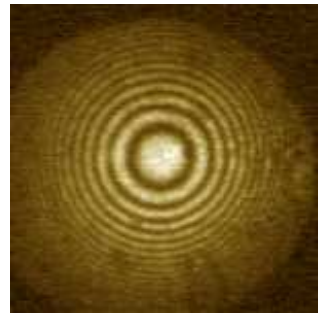
Remarques : Retouche éventuelle du parallélisme de (Sp) et (C) avec le Michelson de type DIDALAB.

On diminue l'épaisseur de la lame d'air en translatant le miroir M_1 . Les anneaux s'enfoncent dans le centre, augmentent de rayon et s'écartent les uns des autres (on pourra développer la théorie de cette remarque...). Devenant plus gros, les anneaux peuvent être déformés et avoir l'allure d'ellipses à grand axe oblique. Cela est dû à un mauvais réglage du parallélisme entre la séparatrice et la compensatrice :

- Si les franges sont hyperboliques, agir assez fortement (c'est la seule fois!) sur V_6 pour les rendre elliptiques. Sinon, passer au point suivant.
- Agir sur V_7 pour que les axes des ellipses soient horizontaux et verticaux.

Terminer le réglage en agissant sur V_6 pour rendre les anneaux circulaires.

Avec les vis de rotation de la compensatrice on redresse le grand axe et on rectifie l'excentricité des ellipses jusqu'à l'annuler. On rend les anneaux bien ronds.



3. Cohérence temporelle.

3.1. Rappels de quelques résultats théoriques.

L'éclairement obtenu pour des interférences à deux ondes mutuellement cohérentes, monochromatiques de même intensité peut se mettre sous la forme : $\varepsilon(M) = \varepsilon_0 (1 + \cos(2\pi\delta/\lambda)) = \varepsilon_0 (1 + \cos(2\pi\sigma\delta))$ avec $\sigma = 1/\lambda$.

Dans le cas d'une source non monochromatique de profil spectral $L(\sigma) = d\varepsilon/d\sigma$, l'éclairement devient :

$$\varepsilon(M) = \varepsilon_0 [1 + V(\delta)\cos(2\pi\delta/\lambda)] \quad \text{avec } V(\delta) \text{ le facteur de visibilité.}$$

Le contraste de la figure d'interférences est alors $C = |V(\delta)|$.

Quelques exemples : retrouver les résultats et représenter $V(\delta)$ (cf cours)

Doublet spectral :

$$L(\sigma) = \varepsilon_0 \text{ si } \sigma = \sigma_1 \text{ ou } \sigma_2,$$

$$V(\delta) = \cos(\pi\Delta\sigma\delta) \quad \text{avec } \Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1.$$

Spectre à profil rectangulaire :

$$L(\sigma) = \varepsilon_0 \text{ pour } \sigma \in [\sigma_0 - \Delta\sigma/2, \sigma_0 + \Delta\sigma/2],$$

$$V(\delta) = \text{sinc}(\pi\Delta\sigma\delta), \quad \text{avec } \Delta\sigma \ll \sigma_0$$

Spectre à profil gaussien :

$$L(\sigma) = \varepsilon_0 \cdot \exp[-(\sigma - \sigma_0)^2 / (2\Delta\sigma^2)],$$

$$V(\delta) = \exp(-2\pi^2\Delta\sigma^2\delta^2)$$

Le but de cette partie est de retrouver le profil spectral d'une source, valeur(s) de la (ou des) longueur(s) d'onde moyenne, de la largeur de raie à partir de l'enregistrement de $\varepsilon(\delta)$. Cette étude se fait avec les franges d'égalé inclinaison obtenues à l'aide de l'interféromètre de Michelson ; justifier ce choix.

On enregistre l'éclairement au centre de la figure d'interférence en fonction de la position du miroir M_1 .

3.2. Principe de l'enregistrement d'un interférogramme.

a) Mesure du déplacement du miroir.

La vis de translation du miroir M_1 peut être commandée par un moteur, piloté par le secteur. La rotation est alors proportionnelle au temps. Un réducteur mécanique permet d'obtenir une rotation de 1 tour en 15 min (= 50 graduations = 0,5 mm). La vitesse du déplacement du miroir est donc $V = 1.10^{-3}/1800 = \frac{10}{18} \mu\text{m.s}^{-1}$

Pour vérifier l'étalonnage du déplacement du moteur, il faut procéder comme suit :

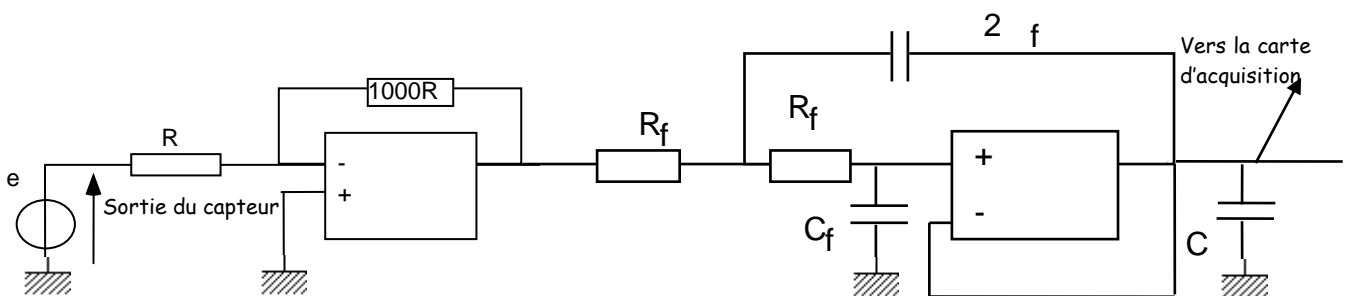
- placer le vernier sur une graduation entière,
- déclencher le chronomètre au démarrage de la rotation,
- mesurer le temps nécessaire pour faire un demi-tour du vernier.

b) Enregistrement de l'interférogramme.

Conserver le réglage du Michelson en lames d'air à faces parallèles, mais s'éloigner du contact optique. Eclairer le dispositif par un faisceau de lumière convergeant sur les miroirs avec une lentille de courte distance focale (qq cm) comme les condenseurs suivant le schéma précédent. Pour l'enregistrement de l'interférogramme (intensité lumineuse au centre du système d'anneaux à l'infini en fonction de la différence de marche, donc de la distance entre les miroirs) on pourra diminuer la distance focale ($f' = 20 \text{ cm}$).

Le détecteur est un phototransistor dont le courant collecteur est proportionnel à l'intensité lumineuse qu'il reçoit (tant qu'il n'est pas saturé). Le détecteur est assez directif et sensible à la lumière qui entre dans l'axe du trou du boîtier ; on n'est donc pas obligé de travailler dans l'obscurité, une faible lumière d'ambiance est tolérable. Alimenter la photodiode et l'électronique du capteur intégré, la placer dans le plan focal image d'une lentille L_2 ; justifier cette configuration ! Choisir un **gain d'amplification maximal +25** du convertisseur tension/courant intégré (à l'arrière du capteur).

Il est indispensable de bien centrer la photodiode. Les lampes à décharge étant alimentées en alternatif, le flux émis est très fortement modulé à 100 Hz (période de 10 ms) comme on peut le constater en visualisant à l'oscilloscope. On amplifie fortement (facteur 1000) le signal (car le filtre optique interférentiel absorbe plus de 50 % du flux lumineux) et on filtre le signal de sortie du détecteur avec un passe-bas du second ordre déjà utilisé en TP. En sortie du filtre on dispose un condensateur de forte capacité ($C = 0,5-1 \mu\text{F}$) relié à la masse afin de supprimer une éventuelle tension continue de décalage (suite à la très forte amplification).



Se connecter au réseau : Nom : PCPC, Mot de passe : physique, Domaine : priv

Brancher la sortie du montage sur l'oscilloscope, et sur la carte d'acquisition. Lancer le logiciel Synchronie.

c) Mesure de λ_m .

Avec la lampe au mercure, on isole le doublet jaune avec un filtre interférentiel convenable (dont la largeur - 10 nm - est nettement supérieure à l'écart du doublet - 2,1 nm -). Pour une mesure précise de la longueur d'onde moyenne λ_m , prendre un échantillonnage de 20 ms (en tout cas un multiple de 10 ms) et on imposera une acquisition « avec moyenne » pour réduire l'influence du 100 Hz de la lampe spectrale. La longueur d'onde moyenne est donnée par la période moyenne T_m ou la fréquence moyenne f_m des anneaux sur l'interférogramme enregistré dans une zone convenable.

Soit $\lambda_m = 2 V T_m = 2 V / f_m = \frac{10}{9} T_m = \frac{10}{9 f_m}$ en μm avec T_m en s ou f_m en Hz. On peut essayer de mesurer

directement f_m en utilisant l'oscilloscope (ou les curseurs de Synchronie ou la Transformée de Fourier dans le menu Traitement de Synchronie).

Comparer avec la valeur théorique $\lambda_m = 579,05 \text{ nm}$.

d) Mesure de $\Delta\lambda$ pour le doublet de radiations.

Se placer au voisinage du contact optique.

Choisir un nombre maximal de points d'acquisition (8000 avec Synchronie) tout en gardant un échantillonnage convenable 500 ms, vous permettant d'enregistrer, sur une durée de quelques minutes, l'interférogramme avec plusieurs coïncidences et anti-coïncidences afin d'augmenter la précision des mesures. Faire un essai pour ajuster la durée, puis inverser le sens de rotation du moteur et commencer l'enregistrement.

On réalise la mesure de la période temporelle de battements avec le curseur, d'où le déplacement correspondant

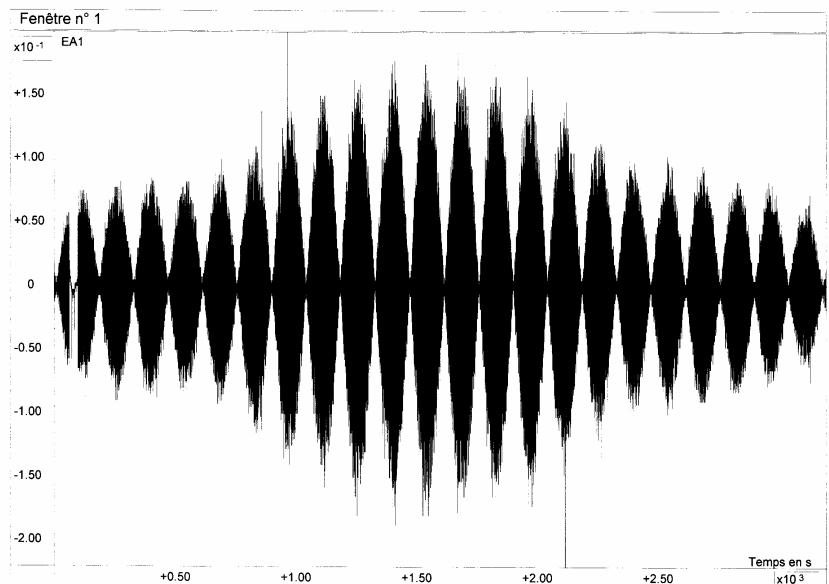
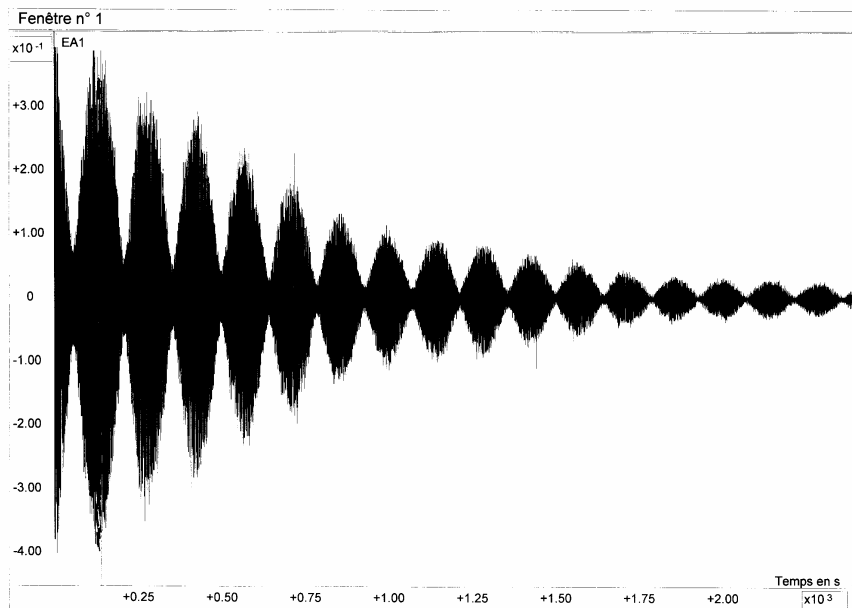
$$\Delta e = V T_{\text{battement}} \text{ et } \Delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2\Delta e} \text{ (à justifier)}$$

En déduire la valeur $\Delta\lambda$, avec l'incertitude associée.

Comparer avec les valeurs théoriques connues : $\Delta\lambda = 2,10 \text{ nm}$ pour le doublet jaune des lampes à mercure. Commenter l'allure de l'interférogramme enregistré.

Remarques : il n'est pas possible de séparer le doublet de radiations en faisant une

Synchronie - Fichier k:\pcpc\douplet1.SNC Le 09/01/04



Transformée de Fourier de l'interférogramme car il faudrait que le mouvement du miroir soit absolument régulier, les moindres variations de vitesse élargissant considérablement les pics attendus.

e) Fonction de transfert d'un filtre interférentiel.

Cette fois, on utilise une source de lumière blanche suivie du filtre interférentiel (assez loin de la lampe pour ne pas l'abîmer). Les anneaux ne sont visibles qu'au voisinage du contact optique ($\pm 50 \mu\text{m}$) : ils sont alors de très grand diamètre et on ne les aperçoit pas en entier ; en revanche, l'intensité lumineuse au centre varie quand on chariote.

Mesures rapides : déplacer le chariot dans un sens et dans l'autre et noter les deux valeurs x_1 et x_2 pour lesquelles les franges se brouillent. En admettant que le profil du filtre soit rectangulaire, montrer que ces valeurs satisfont à : $|x_1 - x_2| = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$. En déduire la largeur spectrale $\Delta\lambda$ de ce filtre (la valeur centrale est indiquée sur son support) et évaluer son facteur de qualité.

Tracé complet de l'interférogramme :

l'interférogramme est enregistré pendant une durée limitée (maximum de 3 à 4 min), de part et d'autre du contact optique, avec un échantillonnage de 40 ms par exemple. Prendre éventuellement un nombre de points en puissance de 2 (4096 par ex).

Si l'on prend la Transformée de Fourier brute, on est encore confronté à la fluctuation de la vitesse de déplacement du miroir, ce qui donne un spectre correctement centré sur la bonne fréquence mais une forme de pic très dégradée (élargissement, irrégularités...).

On se propose de corriger ces fluctuations par la procédure suivante :

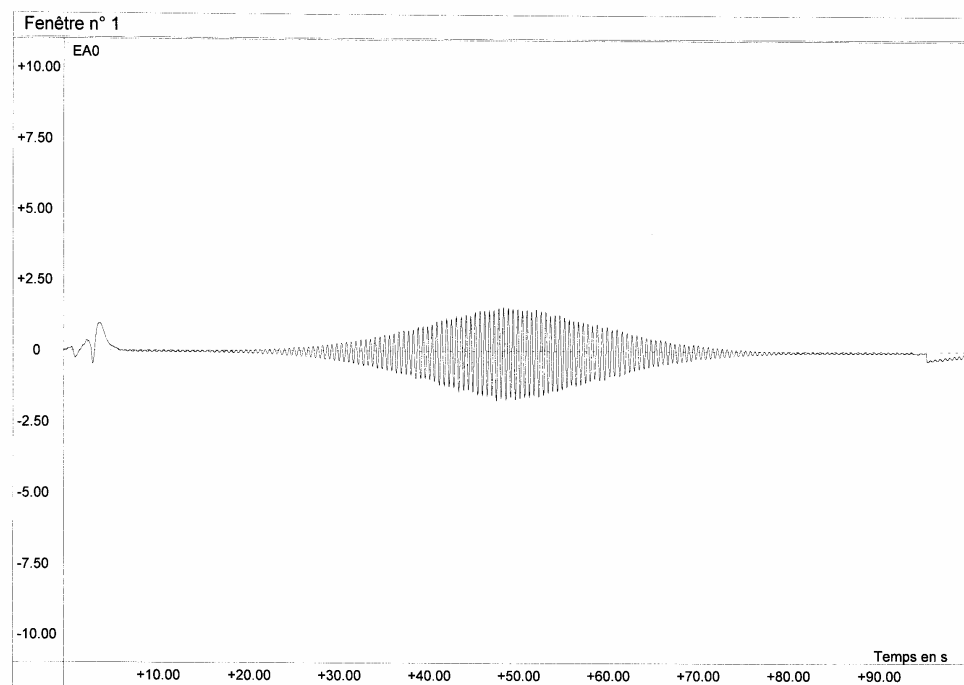
- le principe est de considérer que l'enveloppe de l'interférogramme est correcte (les fluctuations de la vitesse ne sont pas visibles sur l'enveloppe)

- avec un pointeur, on saisit les coordonnées (notées X, Y) d'un nombre raisonnable de points afin de suivre l'enveloppe (saisir les points par abscisses croissantes). Une quinzaine de points devrait suffire. Terminer la saisie.

- noter le niveau moyen de l'intensité I_m
- on lance le ré-échantillonnage (dans Traitement) : on met Y en variable source et on entre une nouvelle variable destination, par exemple « enveloppe ».

On entre le nombre de points choisi pour l'acquisition et les bornes de l'acquisition.

Synchronie - Fichier k:\filtre.SNC Le 12/11/02



- dans la feuille de calcul, on construit la fonction : filtre = $\sin(2\pi f m t)$ (enveloppe-Im). En traçant cette fonction, on constate qu'elle a naturellement la même enveloppe que la variable EA0.
- on prend alors sa Transformée de Fourier : c'est la **fonction de transfert du filtre interférentiel**. On a donc le profil de transmittance du filtre en fonction de la fréquence. Pour l'avoir en fonction de sa longueur d'onde, il suffit de mettre en abscisse celle-ci calculée numériquement par $\lambda = 10/(9 \cdot f)$. La largeur $\Delta\lambda$ est reliée à Δf par :
$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \Delta f}{2\nu}$$

4. Influence de la polarisation sur la cohérence (avec les Michelson de type DIDALAB).

4.1. Etude théorique ; interférences et lumière polarisée.

Dans le cadre du modèle scalaire de la lumière pour l'étude des phénomènes d'interférence ou de diffraction des ondes lumineuses, on fait abstraction de la direction du champ électrique (c'est la POLARISATION de l'onde électromagnétique associée). Ainsi les prévisions de ce modèle nous ont donné des résultats suffisants, compte-tenu de certaines conditions restrictives. Examinons comment la polarisation peut affecter les phénomènes d'interférence. Fresnel avec Arago en 1816 ont montré expérimentalement avec le dispositif des bifentes de Young, que les franges d'interférences disparaissent quand les ondes, issues de chaque fente, sont polarisées perpendiculairement. Cette expérience peut être réalisée plus facilement avec l'interféromètre de Michelson.

a) Polarisation de la lumière naturelle ; modèle de FRESNEL-ARAGO.

Considérons la superposition de deux champs électriques \mathbf{E}_1 et \mathbf{E}_2 (vecteurs notés en gras) en un point M par exemple, les champs de deux ondes planes venant interférer au point M. Posons $\mathbf{E}_1 = E_{01} \exp(j\varphi_1) \cdot \exp(j\omega t) \mathbf{u}_1$ et $\mathbf{E}_2 = E_{02} \exp(j\varphi_2) \cdot \exp(j\omega t) \mathbf{u}_2$, E_{01} et E_{02} sont les amplitudes des champs, φ_1 , et φ_2 leurs phases en M, \mathbf{u}_1 et \mathbf{u}_2 sont leurs vecteurs directeurs de polarisation.

Le champ résultant est $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = [E_{01} e^{j\varphi_1} \mathbf{u}_1 + E_{02} e^{j\varphi_2} \mathbf{u}_2] e^{j\omega t}$ et l'intensité lumineuse $I = \mathbf{E} \cdot \mathbf{E}^*$. Posons $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ et $I_1 = \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_1^*$, $I_2 = \mathbf{E}_2 \cdot \mathbf{E}_2^*$, on obtient :

$$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi) \cdot \cos(\theta)$$

où θ est l'angle entre les deux champs électriques caractérisés par les vecteurs \mathbf{u}_1 et \mathbf{u}_2 .

Pour observer des interférences, il faut donc que le terme $2 \sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi) \cdot \cos(\theta)$ ne soit pas nul en moyenne.

Deux cas peuvent se présenter :

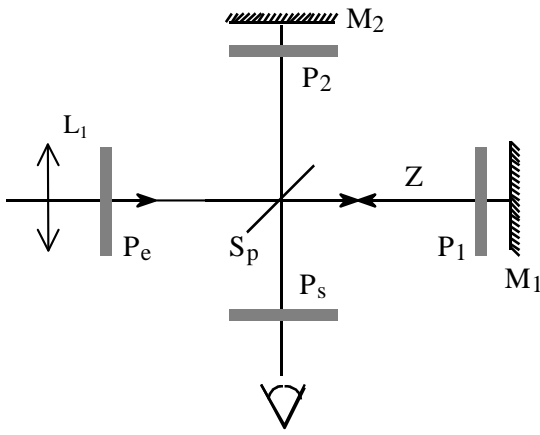
- les sources qui produisent les champs électriques sont incohérentes entre elles ; la différence de phase φ est une fonction aléatoire du temps, donc $\cos(\varphi)$ est nul en moyenne.
- les champs électriques \mathbf{E}_1 , \mathbf{E}_2 sont orthogonaux entre eux, donc $\cos(\theta) = 0$.

Dans ces deux cas on n'observera pas d'interférences.

Les directions de polarisation des champs électriques seront mises en évidence par deux polariseurs placés devant les deux miroirs d'un interféromètre de Michelson.

b) Interféromètre de Michelson éclairé par une source Laser.

Le montage utilisé correspond au schéma suivant. Choisir un laser non polarisé au départ.



interféromètre de Michelson

Enlever tous les polariseurs, et éclairer directement avec le faisceau Laser. Reculer le miroir mobile M_1 pour avoir deux « longueurs de bras » du Michelson assez différentes : les anneaux observés seront plus nombreux.

- Procéder d'abord à l'alignement du faisceau Laser : il doit être sensiblement orthogonal aux miroirs. Pour cela, orienter la platine support du Laser, horizontalement et verticalement, pour arriver à faire coïncider autant que possible le faisceau incident avec le faisceau réfléchi qui revient sur le Laser.
- Agir sur les deux vis « trappe » et « porte » de la compensatrice, puis les vis calantes du miroir fixe M_2 pour superposer sur l'écran les impacts des deux faisceaux.

Veiller à bien centrer les faisceaux sur chacun des deux miroirs.

- Placer la lentille L_1 de distance focale $f = 20$ cm : elle sert à augmenter le diamètre d'ouverture du faisceau Laser de façon à pouvoir observer des franges dans un domaine suffisamment étendu de l'espace. On doit observer des anneaux sur l'écran. Centrer ces anneaux en ajustant les vis calantes de M_2 .

Conclusions : la lumière Laser est suffisamment cohérente pour observer facilement des franges circulaires, même pour des différences de marche importantes ; c'est le cas si les deux longueurs de bras sont très différentes. On rappelle qu'il ne peut y avoir d'interférences que si la différence de marche entre les deux faisceaux interférant est inférieure à la longueur des trains d'onde émis par la source (longueur de cohérence).

D'autre part la source Laser est une source quasi-ponctuelle : les anneaux observés sont non localisés. On pourra s'en rendre compte en déplaçant l'écran. Enfin les deux sources S_1 et S_2 des faisceaux sont cohérentes entre elles car elles ont été obtenues par division d'amplitude grâce à la séparatrice ; φ est indépendante du temps, elle ne fait intervenir que la différence de longueur de bras de l'interféromètre et la position du point M d'observation sur l'écran.

4.2. Etude expérimentale : influence de la polarisation des champs électriques.

a) Expérience 1.

On travaille toujours avec un Laser à lumière non polarisée.

Placer les polariseurs P_1 et P_2 parallèles en les vissant délicatement sur les support des Michelson : qu'observe-t-on ?

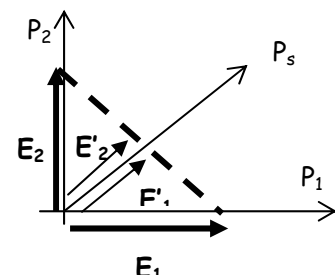
Croiser P_1 et P_2 : qu'observe-t-on ?

Interpréter à l'aide de l'étude précédente.

b) Expérience 2.

Dans l'expérience précédente, l'absence d'interférence semble due au fait que les deux champs électriques sont orthogonaux.

P_1 et P_2 étant toujours croisés, placer le polariseur de sortie P_s à 45° de P_1 et P_2 . Les champs électriques E'_1 , E'_2 émergeant de P_s sont alors parallèles entre eux.



Constater qu'il n'y a toujours pas d'interférence (ou des anneaux très peu contrastés). Expliquer pourquoi ?

c) Expérience 3.

Rajouter le polariseur P_e d'entrée à 45° de P_1 et P_2 : les anneaux réapparaissent, bien contrastés, les deux faisceaux sont redevenus cohérents entre eux.

Interprétation : dans l'expérience 2), P_1 et P_2 sélectionnent deux champs électriques E_1, E_2 orthogonaux, certes, mais, de plus, ces deux champs ne possèdent pas entre eux de cohérence temporelle ($\varphi(t)$ est aléatoire) car ils ne proviennent pas d'une division d'amplitude à partir d'un même train d'onde et ce ne sont pas les mêmes atomes qui ont émis ces champs.

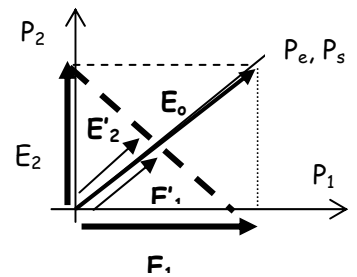
Pour éviter cela, il suffit de sélectionner en entrée une polarisation de direction donnée avec le polariseur P_e : cela permet de choisir un train d'onde donné avant d'en faire la division d'amplitude...

d) Expérience 4.

P_1 et P_2 étant toujours croisés, placer le polariseur de sortie P_s et d'entrée P_e à 45° de P_1 et P_2 et de telle façon qu'ils soient parallèles entre eux. On observe des anneaux comme précédemment.

Tourner P_s , les anneaux disparaissent progressivement. Après rotation de 45° , la disparition est complète ; P_s est parallèle à P_1 ou à P_2 . Donc l'un des faisceaux est éteint et il ne peut y avoir d'interférences. Continuer la rotation de P_s , les anneaux réapparaissent après une rotation de 90° , pour laquelle P_s est croisé avec P_e . Mais les franges brillantes ont pris la place des franges sombres.

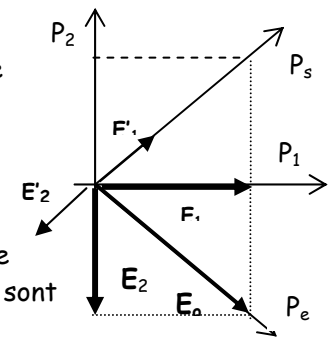
On a obtenu un système de franges complémentaires du précédent.



Interprétation :

(1) A la sortie de P_e , on a le champ E_0 . A la sortie de P_1 et P_2 on note E_1, E_2 les composantes de E_0 selon P_1 et P_2 .
 A la sortie de P_s , on note E'_1, E'_2 les composantes de E_1, E_2 sur la direction commune de P_s et P_e ; les deux sources S_1 et S_2 associées sont en phase car E'_1, E'_2 sont de même sens.

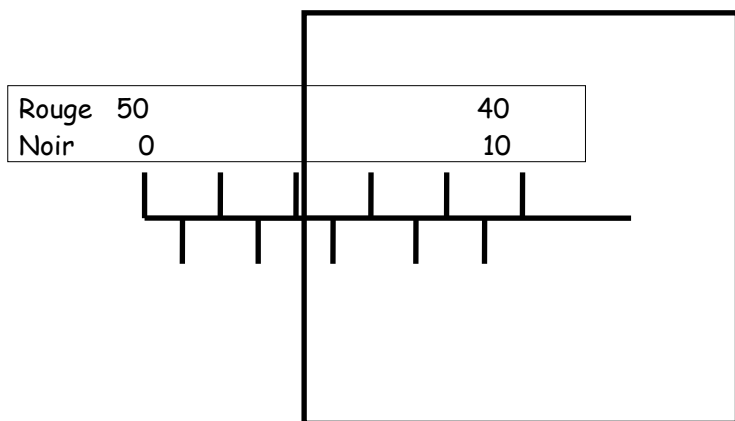
(2) A la sortie de P_e , on a le champ E_0 . A la sortie de P_1 et P_2 on note E_1, E_2 les composantes de E_0 selon P_1 et P_2 .
 A la sortie de P_s , on note E'_1, E'_2 les composantes de E_1, E_2 sur la direction de P_s : les deux sources S_1 et S_2 associées sont en opposition de phase car E'_1, E'_2 sont de sens contraires. D'où le système de franges complémentaires observé.



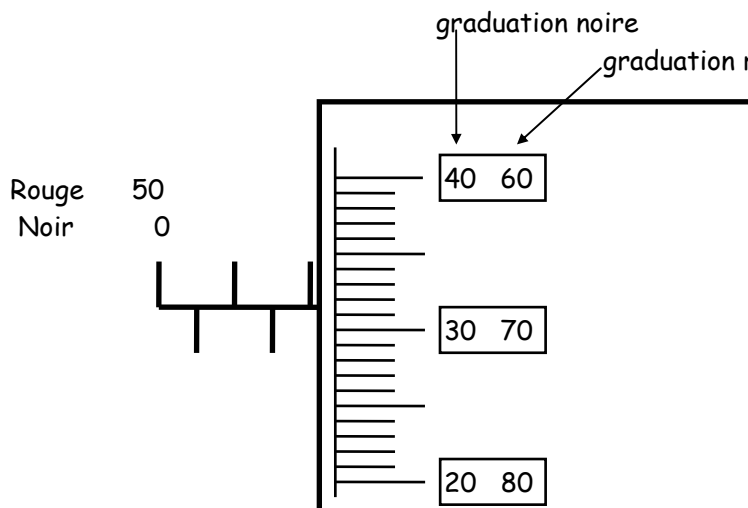
Annexes

Utilisation du vernier sur Michelson DIDALAB : Un système de démultiplication permet d'obtenir une avancée du miroir d'un millimètre pour un tour de tambour. Par conséquent la lecture du vernier s'effectue ainsi :

Vernier principal :



Vernier secondaire :



LECTURE : 45,685 mm (rouge)
ou 4,315 mm (noir)

Comment et où voir ce qu'il faut voir au Michelson

Il n'y a que deux situations facilement explicables (et observables) :

Quoi	Où	Comment	
		ÉCLAIRER ?	OBSERVER ?
Coin d'air : franges rectilignes	sur les miroirs	lumière parallèle (lampe au foyer objet d'une lentille)	<ul style="list-style-type: none"> • à l'œil nu • lentille CV à la sortie (+20 cm) écran conjugué à 1 m environ
Anneaux	à l'infini	lumière convergente : image de la lampe <u>sur les 2</u> <u>miroirs</u> (lampe à 2 f de la lentille à 2 f des miroirs)	<ul style="list-style-type: none"> • à l'œil nu • sur un écran <u>loin</u> (au moins 1 m) • dans le plan focal image d'une lentille CV de grande focale

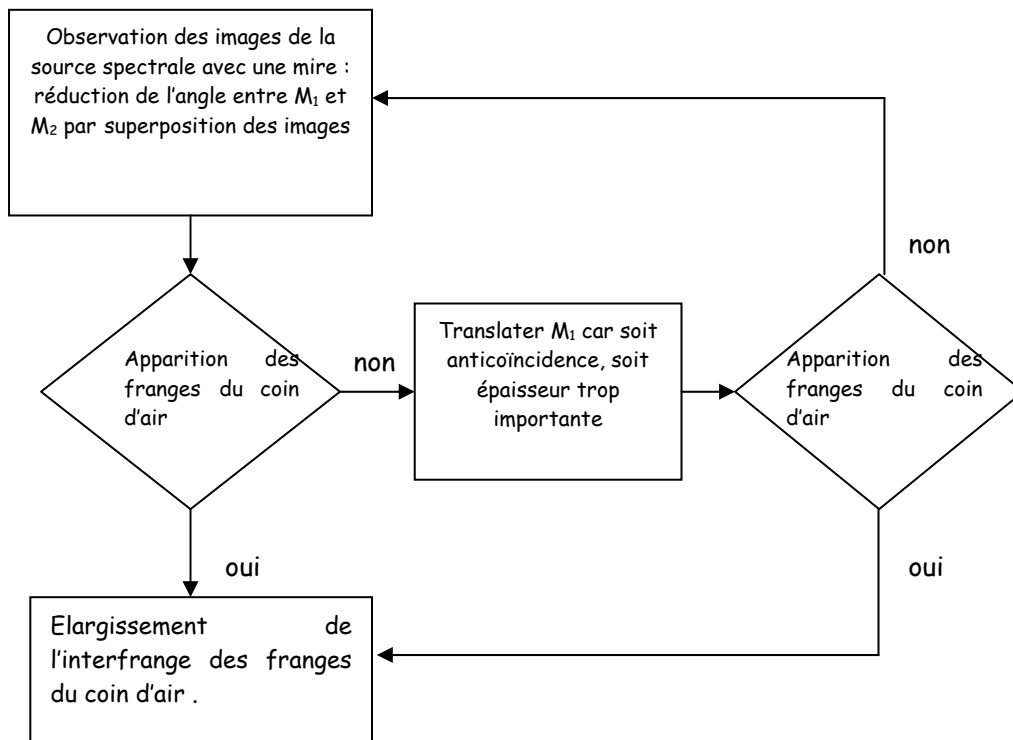
On ne peut pas voir les anneaux en lumière blanche : il y a brouillage avant que les anneaux apparaissent ; on ne peut espérer qu'un éclairement coloré plus ou moins uniforme en fonction de la planéité et du parallélisme des miroirs.

Au cours du réglage, on cherche :

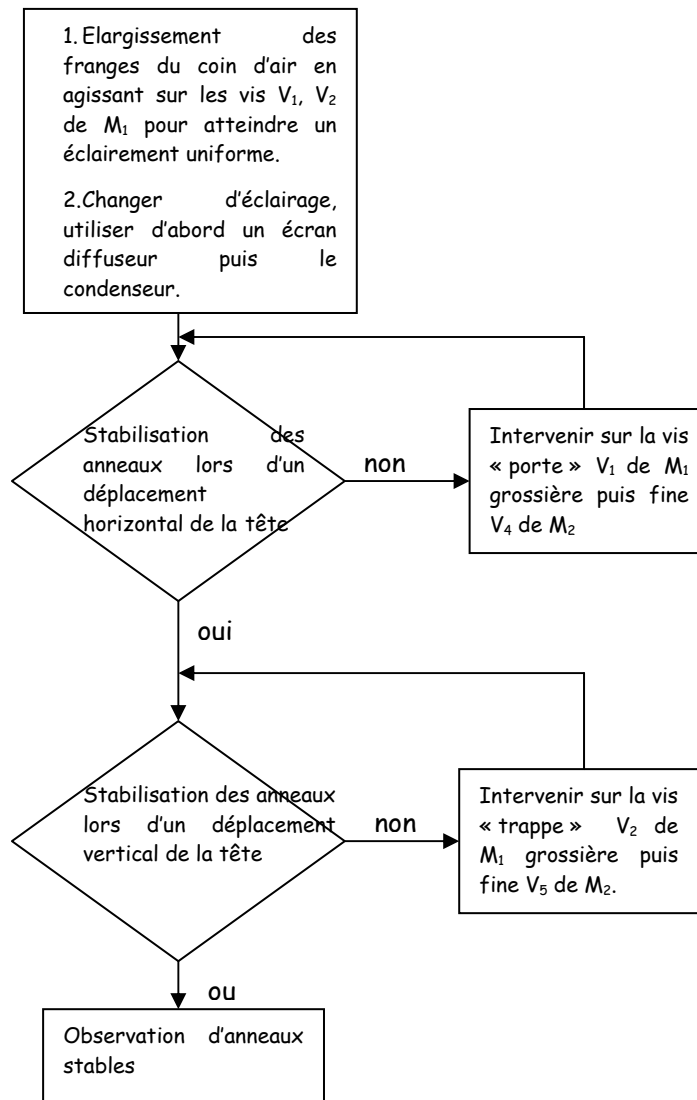
- **d'abord** à avoir les franges du coin d'air (observation à l'œil nu à travers un papier calque)
- **puis** les anneaux par réglage du parallélisme des miroirs
- **puis** l'épaisseur nulle par translation des miroirs.
- revenir éventuellement en coin d'air en dérégulant le parallélisme des miroirs.

Parallélisme grossier entre M_1 et M_2 : observation des franges du coin d'air avec une lampe à vapeur de sodium

On utilise alors les réglages grossiers de rotation du miroir mobile M_1 (vis V_1 et V_2)

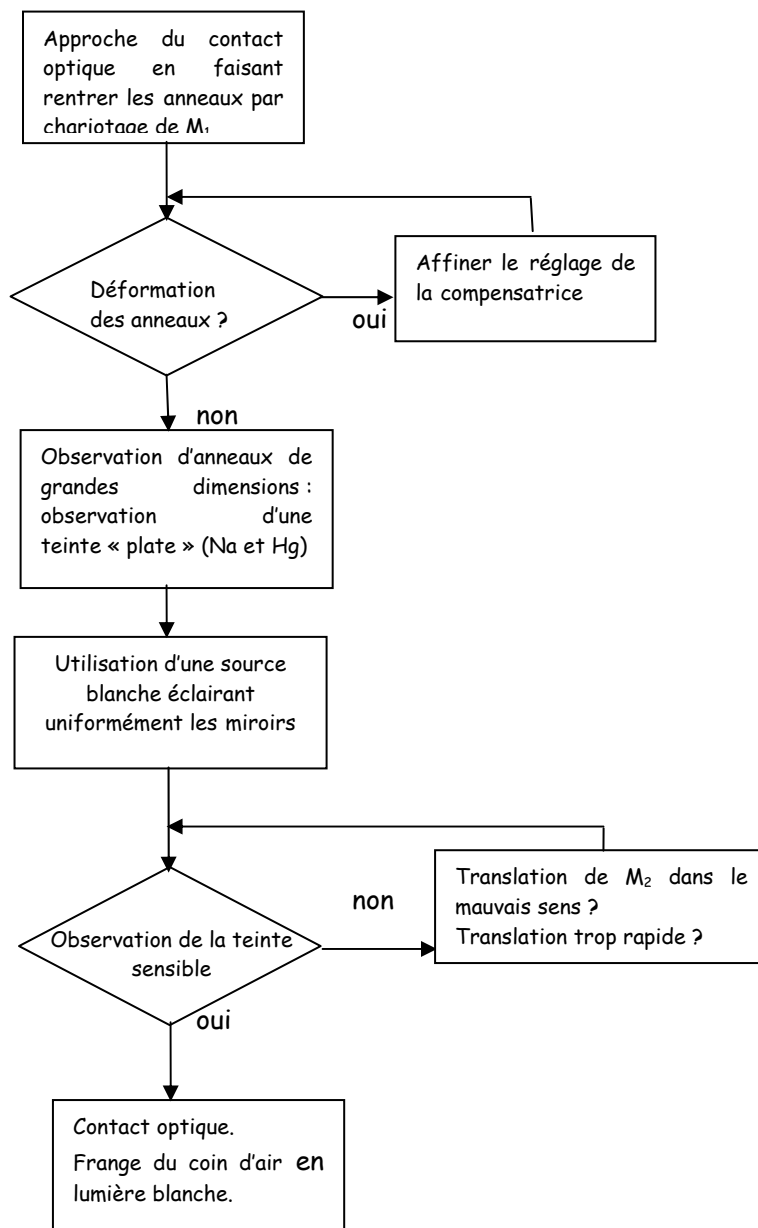


Réglage précis du parallélisme des miroirs M_1 et M_2 . : observation des franges d'égalé inclinaison



Si les anneaux obtenus ne sont pas circulaires, il est nécessaire d'agir sur la compensatrice. Le Michelson est réglé en lame à faces parallèles. La projection des anneaux peut être effectuée.

Recherche du contact optique



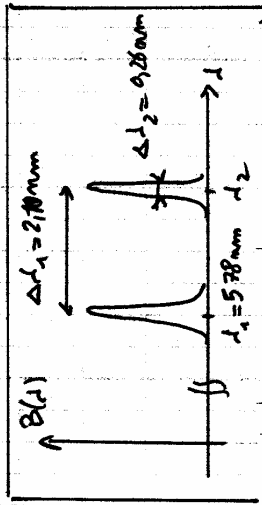
Il est parfois nécessaire d'intervenir sur la compensatrice

12.2001 NV

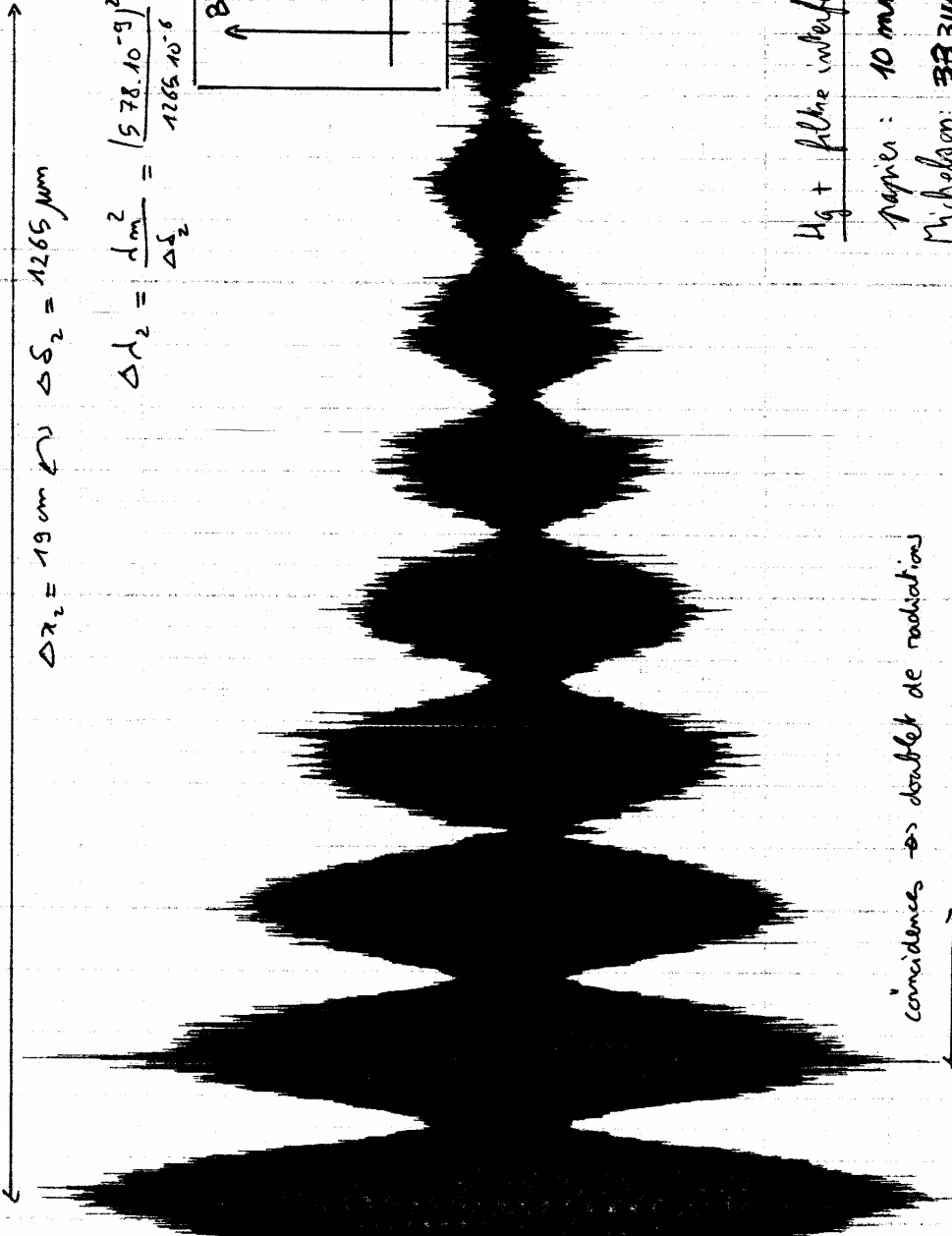
décalage du contraste
incertitude temporelle \equiv largeur de raie
(quasi monochromatique)

$$\Delta \lambda_2 = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda_1} = \frac{(578 \cdot 10^{-9})^2}{1265 \cdot 10^{-6}} = 0,26 \text{ nm}$$

Spéctre du doublet jaune du Mercure (valeurs exp) TB accord avec la théorie.



déplacement du minimum $\delta = 2\pi$ (forme d'air) \rightarrow différence de chemin géom.



$$\Delta x_2 = 19 \text{ cm} \rightarrow \Delta S_2 = 1265 \mu\text{m}$$

coïncidences \rightarrow doublet de radiations

$$\Delta x_1 = 2,4 \text{ cm} \rightarrow \Delta S_1 = 160 \mu\text{m}$$

$$\Delta \lambda_1 = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda_2} = \frac{(578 \cdot 10^{-9})^2}{160 \cdot 10^{-6}} = 2,1 \text{ nm}$$

Hg + filtre interférentiel (578 nm)

papier : 10 mm / min

Michelson : 33,3 μm / min

$$1 \text{ cm} \rightarrow \Delta x = 33,3 \mu\text{m} \rightarrow \Delta S = 666 \mu\text{m}$$

SEFRAM PARIS

Interférogramme de la lampe à vapeur de Mercure avec filtre interférentiel et suiveur de spot

<i>l'interféromètre de Michelson et notions de cohérence.</i>	1
1. Le réglage de l'interféromètre de Michelson avec une source étendue.	1
1.1. Principes généraux.	1
1.2. Réglages grossiers : optique géométrique.	2
a) Utilisation d'une mire.	2
1.3. Premiers réglages interférentiels : réglage en coin d'air.	2
a) Nature et localisation des franges :	2
b) Eclairage	2
c) Projection de la figure d'interférences sur un écran :	2
d) Première observation	3
2. Interféromètre de Michelson en lame d'air à faces parallèles ou les anneaux, franges d'égale inclinaison	3
2.1. Teinte plate :	3
2.2. Anneaux à l'infini :	3
a) Nature et localisation des franges :	3
b) Eclairage :	3
c) Observation des anneaux d'interférences :	4
3. Cohérence temporelle.	4
3.1. Rappels de quelques résultats théoriques.	4
3.2. Principe de l'enregistrement d'un interférogramme.	5
a) Mesure du déplacement du miroir.	5
b) Enregistrement de l'interférogramme.	5
c) Mesure de λ_m .	6
d) Mesure de $\Delta\lambda$ pour le doublet de radiations.	6
e) Fonction de transfert d'un filtre interférentiel.	7
4. Influence de la polarisation sur la cohérence (avec les Michelson de type DIDALAB).	8
4.1. Etude théorique ; interférences et lumière polarisée.	8
a) Polarisation de la lumière naturelle ; modèle de FRESNEL-ARAGO.	8
b) Interféromètre de Michelson éclairé par une source Laser.	8
4.2. Etude expérimentale : influence de la polarisation des champs électriques.	9
a) Expérience 1.	9
b) Expérience 2.	9
c) Expérience 3.	10
d) Expérience 4.	10
Annexes.	11
Parallélisme grossier entre M_1 et M_2 : observation des franges du coin d'air avec une lampe à vapeur de sodium	13
Réglage précis du parallélisme des miroirs M_1 et M_2 : observation des franges d'égale inclinaison	14
Recherche du contact optique	15