

INTERFEROMETRE DE MICHELSON : EXEMPLES DE MESURES INTERFEROMETRIQUE

I. INTRODUCTION	32
II. RAPPEL DES PRINCIPES DE L'INTERFEROMETRE	32
A. DESCRIPTION- GEOMETRIE DE L' APPAREIL.....	32
B. DIFFERENTES GEOMETRIES	32
C. RAPPEL DES REGLAGES « CLASSIQUES ».....	32
1. « Coin d'air ».....	32
a) description.....	32
b) Expression de la d.d.m.	33
c) Expression de l'interfrange.....	33
2. « lame d'air ».....	34
a) Description.....	34
b) Expression de la d.d.m.	34
c) Rayon des anneaux	35
III. COHERENCE TEMPORELLE.....	35
A. LARGEUR SPECTRALE ET TRAIN D'ONDE :	35
B. INTERFERENCES DE TRAINS D'ONDE	36
IV. NOTION D'INDICE OPTIQUE ET MESURES INTERFEROMETRIQUES	37
A. PRESENTATION	37
B. VARIATIONS DE LA D.D.M.	37
V. DISPOSITIF EXPERIMENTAL	38
A. INVENTAIRE DU MATERIEL	38
1. Description de l'interféromètre OVIO.....	39
2. Description de l'interféromètre UHP	39
B. MANIPULATIONS	40
1. Réglage de l'interféromètre OVIO.....	40
2. Evaluation d'une largeur spectrale.....	40
3. Mesure de l'indice d'un gaz.....	41

I. INTRODUCTION

On a vu dans le TP Michelson 1 que l'interféromètre de Michelson permettait de produire des interférences entre deux rayons lumineux, issus d'un même rayon incident. On va maintenant mettre à profit cet appareil pour d'une part mesurer la largeur spectrale d'une source et d'autre part faire la mesure de l'indice (optique) de l'air avec une grande précision.

II. RAPPEL DES PRINCIPES DE L'INTERFEROMETRE

A. DESCRIPTION- GEOMETRIE DE L'APPAREIL

L'interféromètre est constitué d'une lame séparatrice Σ et de deux miroirs (M_1 , M_2). La lame séparatrice divise l'amplitude de l'onde incidente par 2, formant ainsi deux rayons :

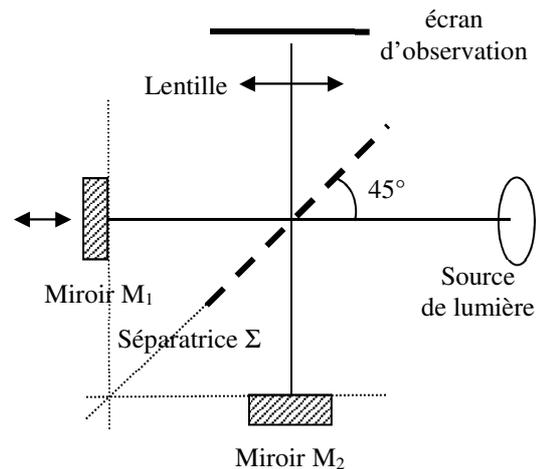
- Un rayon transmis vers M_1 .
- Un rayon réfléchi, à 90° , vers M_2 .

La séparatrice Σ doit être à 45° de la direction du rayon incident et être dans le plan bissecteur des deux miroirs (M_1 , M_2).

B. DIFFERENTES GEOMETRIES

On peut dans un premier temps adopter un réglage parfaitement symétrique de l'interféromètre : miroirs équidistants et parfaitement orthogonaux. On appelle ce réglage le **contact optique**. On peut ensuite introduire un écart à « l'idéalité » par différents moyens :

- Former avec les miroirs (M_1 , M_2) un angle dièdre différent de 90° : **coin d'air**
- Déplacer le miroir M_1 de façon à ce que (M_1, M_2) ne soit plus équidistants : **lame d'air**.
- Changer l'indice du milieu de propagation de la lumière sur l'un des « bras »¹ de l'interféromètre



Du point de vue des interférences, chacune de ces modifications entraîne un changement de chemin optique et donc une variation de la d.d.m..

C. RAPPEL DES REGLAGES « CLASSIQUES »

1. « Coin d'air »

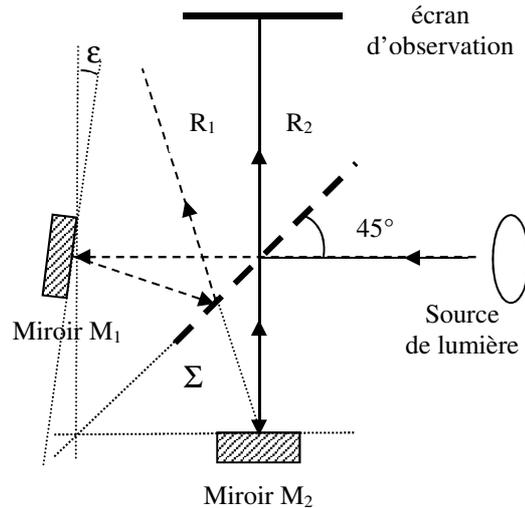
Ce réglage peut porter différents nom : « Coin d'air » ou « Franges d'égale épaisseur » ou « Franges de Fizeau ».

a) description

On suppose que le faisceau de lumière incident est parallèle. On « bascule » un des deux miroirs (M_1, M_2), dans le dessin ci-contre c'est le miroir M_1 , de façon à introduire un petit angle

¹ On appelle bras chacun des chemins allant de la séparatrice vers l'un des miroirs (M_1 , M_2).

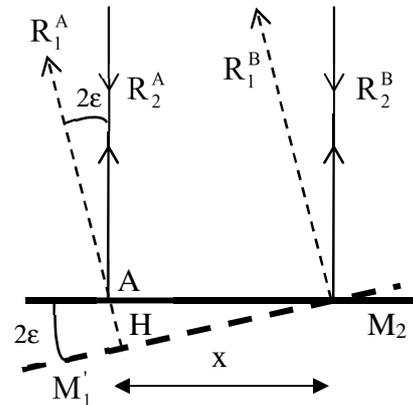
par rapport à l'orthogonalité de (M_1, M_2) . Cet angle, noté ϵ est appelé angle du "coin d'air". Le rayon réfléchi sur M_1 ne sera plus colinéaire à son rayon incident et l'angle entre les 2 rayons (R_1, R_2) réfléchis respectivement par $[(M_1, \Sigma), M_2]$ est de 2ϵ . Sur la figure, le support du rayon R_1 à été prolongé jusqu'au miroir M_2 .



b) Expression de la d.d.m.

Soit $\delta = n \cdot \overline{HA}$ avec : n, indice de l'air
 \overline{HA} , le chemin géométrique
 $\overline{HA} = x \sin(2\epsilon)$ $\delta = \delta(x) = n \cdot x \cdot \sin 2\epsilon$

Les conditions particulières d'interférences sont :
 $\delta = p \cdot \lambda$ interférences constructives (franges claires)
 $\delta = (p + 1/2) \cdot \lambda$ interférences destructives (franges sombres)



on trouve donc la condition (franges claires) :

$$x = \frac{p\lambda}{n \cdot 2\epsilon}$$

On observe ainsi sur l'écran une alternance de franges rectilignes claires et sombres correspondant à des ordres p croissants (ou décroissant) et donc à des distances x entre rayons croissantes (ou décroissantes).

c) Expression de l'interfrange

Sur le coin d'air, la valeur de l'interfrange est donnée par:

$$i = x_A - x_B = \frac{\lambda}{n \cdot \sin 2\epsilon} \approx \frac{\lambda}{n \cdot 2\epsilon} \quad \text{pour } \epsilon \text{ petit}$$

Remarques:

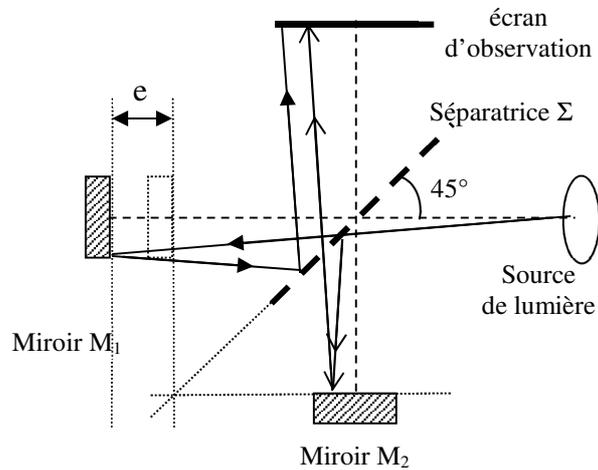
- Les franges sont rectilignes car le système présente une symétrie de translation parallèle à l'angle dièdre.
- Les rayons qui contribuent à une même frange, proviennent de régions sur le « coin d'air » de même épaisseur. C'est pourquoi les franges du coin d'air sont aussi appelées franges d'égale épaisseur.
- La figure d'interférences est localisée « sur le miroir M_2 » (cas d'une source étendue).

2. « lame d'air »

Ce réglage peut porter différents nom : « lame d'air » ou « Franges d'égalé inclinaison » ou « Franges de Haidinger ».

a) Description

A partir de la position du contact optique, on introduit une différence de marche entre les rayons réfléchis par M_1 et M_2 en tradant l'un des deux miroirs (M_1) parallèlement à lui même. Avec cette géométrie de l'interféromètre, on forme, virtuellement, une lame d'air à faces parallèles, d'épaisseur $2e$ entre M_1' (image de M_1 par Σ) et M_2 . Pour produire des franges d'interférences, il faut cette fois éclairer l'appareil avec une source de lumière formant un faisceau divergent² comportant un grand nombre d'angles d'incidence (compris entre la normale aux miroirs et un angle limite θ_0). La figure d'interférences se présentera sous la forme de cercles concentriques (symétrie de révolution autour de l'axe optique) : à chacun des cercles correspondra une condition particulière d'interférences et donc un angle d'incidence θ .



b) Expression de la d.d.m.

$$\delta(\theta) = n \cdot (2e) \cos\theta$$

On rappelle que, dans le cas général, on appelle ordre d'interférences, le rapport de la différence de marche sur la longueur d'onde de la lumière utilisée:

$$p = \frac{\delta}{\lambda}$$

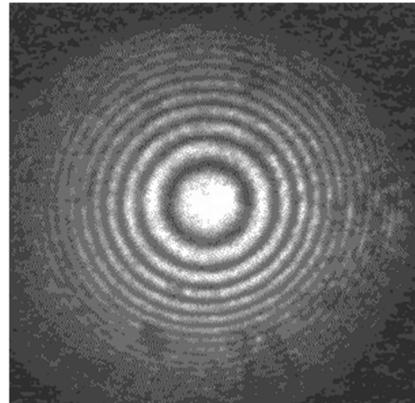
On peut donc calculer l'ordre d'interférence p_0 , au centre de la figure, avec $\delta = n \cdot (2e)$:

Dans le cas plus général d'une incidence θ , l'ordre d'interférences s'écrit:

$$p = n \frac{2e}{\lambda} (\cos\theta) \approx n \frac{2e}{\lambda} \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right)$$

pour θ suffisamment petit

Rappel : les rayons émergent du Michelson et se propageant vers l'écran d'observation sont parallèles entre eux : **la figure d'interférence est localisée à « l'infini »** (cas d'une source étendue).



² En effet, avec un faisceau de lumière parallèle, tous les rayons se recombineraient avec la même différence de marche et donnerait lieu à un éclairage uniforme sur l'écran.

c) Rayon des anneaux

Considérons sur l'écran un point P appartenant par exemple à une frange claire de rayon R. L'ordre d'interférence pour cet anneau s'écrit donc:

$$p \approx \frac{2e}{\lambda} \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right) = \frac{2e}{\lambda} \left(1 - \frac{R^2}{2f^2}\right)$$

puisque $\text{tg } \theta \sim \theta \sim R/f$, avec f distance focale de la lentille.

En différentiant cette expression on obtient:

$$\Delta p = - \frac{2.e.R}{\lambda.f^2} . \Delta R$$

Cette expression montre que l'ordre d'interférences diminue quand le rayon des anneaux augmente.

De plus, pour deux anneaux consécutifs de rayons R_1 et R_2 ($R_2 > R_1$) on a $\Delta p = -1$ et par conséquent:

$$\Delta R = \frac{\lambda.f^2}{2.e.R}$$

Enfin, soit p_i , l'ordre d'interférences du $i^{\text{ème}}$ anneau à partir du centre et p_k , l'ordre d'interférences du $k^{\text{ème}}$ anneau ($k > i$). On a alors:

$$p_i - p_k = k - i = \frac{2e}{\lambda} \left(1 - \frac{R_i^2}{2f^2}\right) - \frac{2e}{\lambda} \left(1 - \frac{R_k^2}{2f^2}\right) = \frac{e}{\lambda f} (R_k^2 - R_i^2)$$

$$\text{d'où } (R_k^2 - R_i^2) = (k - i) . \frac{\lambda f^2}{e}$$

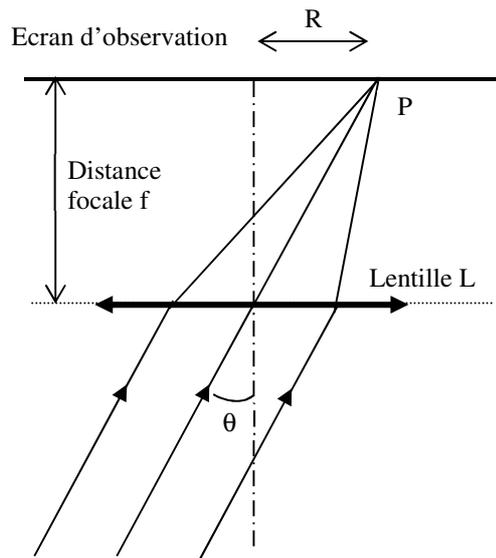
Les carrés des rayons des anneaux $R_0^2, R_1^2, R_2^2, \dots$ suivent donc une progression arithmétique de raison $\frac{\lambda f^2}{e}$.

Nous avons supposé jusqu'alors que la source de lumière était monochromatique : si cette hypothèse est plutôt bien vérifiée lorsque l'on utilise un laser, ce n'est plus tout à fait le cas lorsque l'on utilise une source spectrale. On va donc utiliser l'interféromètre de Michelson pour étudier les propriétés (de cohérence) d'une source spectrale particulière.

III. COHERENCE TEMPORELLE

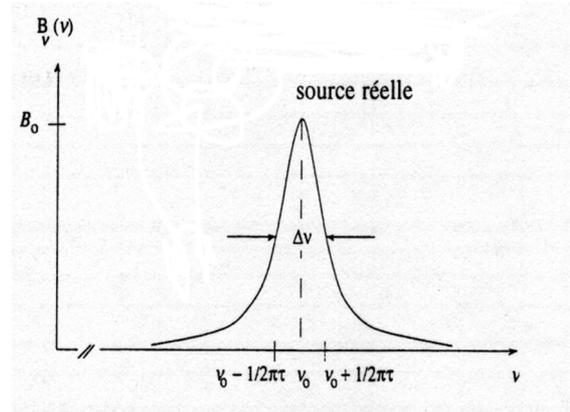
A. LARGEUR SPECTRALE ET TRAIN D'ONDE :

Une source parfaitement monochromatique n'existe pas car une telle source donnerait lieu à des trains d'ondes de longueur infinie (cf. cours de Mécanique Quantique, relation d'Heisenberg : $\Delta v . \Delta \tau \approx 1$)³. Les lasers et les sources spectrales présentent des raies (spectrales) qui ont une structure interne et que l'on modélise par une Lorentzienne centrée sur v_0 et de largeur à mi-hauteur Δv , ce pour chacune des raies prise individuellement.



³ On rappelle que l'énergie d'un photon est $E = h\nu$

On associe à la largeur de la raie un train d'onde de longueur finie L . Les deux variables L et $\Delta\nu$ sont reliées par transformée de Fourier, ce qui permet de passer de l'espace géométrique (L) à l'espace des fréquences (ν).



La vitesse de la lumière étant c , on trouve que la « durée » d'un train d'onde de longueur L est $\Delta\tau$. La lumière que nous observons est donc formée d'une succession de trains d'ondes. En effet, les photons sont émis par désexcitation spontanée (donc aléatoire) et les trains d'ondes se succèdent avec des intervalles de temps irréguliers, avec une durée moyenne d'un paquet constante, égale à $\Delta\tau$. On peut alors associer à ces trains d'onde une longueur caractéristique L_c :

$$L_c = c \Delta\tau \quad \text{c'est la longueur du train d'onde, appelée } \textit{longueur de cohérence}.$$

$$\Delta\tau \text{ est la « durée de vie » de l'état excité}$$

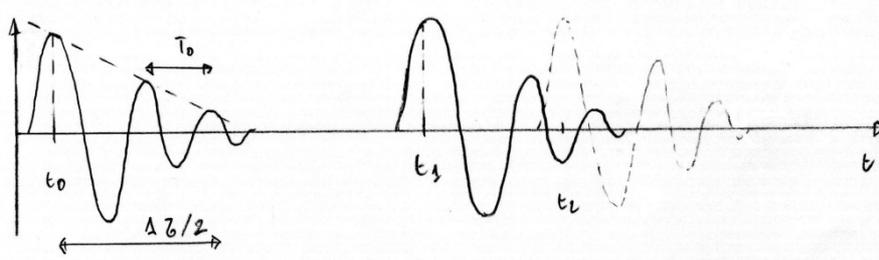
On peut montrer que $L_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$ avec $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$

B. INTERFERENCES DE TRAINS D'ONDE

Observons deux trains d'onde qui interfèrent (se « recouvrent ») :

- S'ils sont obtenus par *division d'amplitude* d'un *même train d'onde*, ils possèdent la même phase à l'origine φ . Le déphasage total n'est du qu'à la différence de chemin optique (ou différence de marche) entre les deux bras de l'interféromètre et est donc indépendant du temps.
- S'ils sont obtenus par *division d'amplitude* de *deux trains d'onde différents*, ils ne possèdent pas la même phase à l'origine φ et sont caractérisés par deux phases à l'origine différentes, φ_1 et φ_2 . Or les valeurs que prennent ces phases sont aléatoires et changent avec la période du train d'onde ($T \approx 10^{-12}$ s pour une lampe spectrale) : les sources ne sont plus synchrones⁴, ce qui entraîne le brouillage des franges d'interférences sur l'écran (visibilité nulle) : en effet, le déphasage total est alors une fonction du temps et pas simplement dépendant de la géométrie du système. Si nous disposions d'un capteur capable d'enregistrer les figures d'interférence toutes les picosecondes, nous pourrions voir le déplacement de ces figures d'interférence sur l'écran. Malheureusement (?) notre œil ne « rafraîchit » les images qu'avec une période de $1/25^{\text{ème}}$ de seconde et nous n'observons « que » la superposition de $\approx 10^{10}$ figures d'interférences décalées entre elles ! Ce qui, en moyenne, donne un écran uniformément éclairé.

⁴ voir le chapitre d'introduction aux TP.



$T_0 \approx 10^{-15}$ s (pour $\lambda \approx 0,5 \mu\text{m}$)

Les sources utilisées en montage sont :

- les lasers : $\Delta\tau \approx 10^{-5}$ à 10^{-8} s
- les lampes spectrales : $\Delta\tau \approx 10^{-12}$ s
- les lampes à filament de tungstène : $\Delta\tau \approx 10^{-14}$ s

Remarque : On pourra faire le schéma du Michelson avec la représentation des trains d'ondes avant division d'amplitude, en « entrée » de l'interféromètre puis après qu'ils se soient recombinés en « sortie » de l'interféromètre.

IV. NOTION D'INDICE OPTIQUE ET MESURES INTERFEROMETRIQUES

A. PRESENTATION

Lorsqu'une onde électromagnétique se propage dans un milieu autre que le vide, l'indice optique « n » permet de tenir compte de l'interaction de l'onde incidente avec les constituants du milieu. Les atomes ou molécules qui constituent le milieu peuvent être considérés comme des dipôles oscillants et agissent comme des sources secondaires. L'onde résultante est alors la somme de l'onde incidente et des ondes secondaires émises par chacun des constituants du milieu. Cette onde résultante est décrite comme une onde plane se propageant à la vitesse c/n . Dans le cas de milieux dilués tels que les gaz, on peut montrer que l'indice optique satisfait la relation :

$n - 1 = K \cdot \rho$ où ρ est la densité du gaz et K une constante caractéristique du gaz.

On remarque alors que l'indice optique est proportionnel à la pression P (i.e. la densité ρ) :

$$n = 1 + K \cdot P/k_B T$$

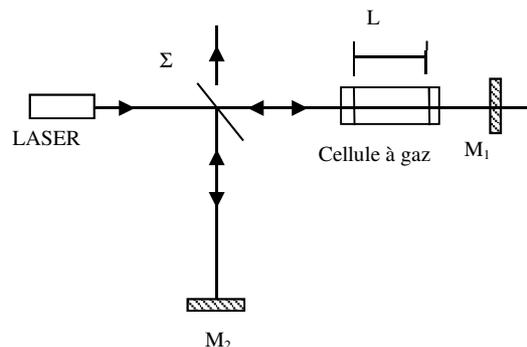
avec P la pression du gaz, en Pa (1013 hPa = 1,013 bar)
 k_B , la constante de Boltzmann, $k_B = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$
 T la température en Kelvin

B. VARIATIONS DE LA D.D.M.

Il est possible de déterminer expérimentalement l'indice d'un gaz en utilisant cette dépendance de n en fonction de la pression. En effet nous savons que la position des franges d'interférences (maxima et minima d'intensité) dépend de la différence de chemin optique

$$\delta(\theta) = n \cdot (2e) \cos\theta$$

introduite entre les deux ondes qui se recombinent « en sortie » de l'interféromètre. Lorsque



l'interféromètre est réglé en lame d'air pour produire des franges circulaires d'égale inclinaison, il est possible de faire varier cette différence de chemin optique soit en agissant sur la distance physique ($2e$) parcourue par chacun des rayons (en translatant un miroir) soit en changeant l'indice optique n dans l'un des bras de l'interféromètre.

Dans ce TP, pour mesurer l'indice, on insère dans un des bras de l'interféromètre une cellule à gaz de longueur L fermée par deux fenêtres en verre (cf figure ci-dessus). Lorsqu'on fait passer la pression dans la cellule de la valeur P_0 à la valeur P_1 , l'indice optique passe de la valeur n_0 à la valeur n_1 . Le chemin optique varie alors sur le bras conduisant vers le miroir M_1 . On observe ainsi qu'un nombre Z (pas forcément entier) de franges défilent au centre de la figure. La variation de chemin optique due aux variations d'indice correspond à la quantité :

$$\Delta\delta = Z \cdot \lambda$$

où λ est la longueur d'onde de la lumière utilisée pour éclairer l'interféromètre.

Cette variation de chemin optique provient de la variation d'indice du gaz (de n_0 à n_1) dans la cellule de longueur L et s'écrit donc, pour $\theta = 0$ (i.e. au centre de la figure) :

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_0 = 2.L.(n_1 - n_0)$$

on a donc la relation :

$$Z \cdot \lambda = 2.L.(n_1 - n_0)$$

Si on suppose que n_0 correspond à l'indice du vide (cellule vidée de son gaz) et n_1 l'indice optique du gaz à la pression P_1 , on obtient la relation donnant l'indice à toute pression :

$$n(P_1) - 1 = Z\lambda/2L$$

Cette méthode permet de mesurer des variations d'indice très faibles. Les valeurs ci dessous indiquent les indices optiques de quelques gaz. Ces valeurs sont données pour une radiation jaune (sodium) et pour une pression de 1 bar. Vous remarquerez que les variations portent sur la 4^{ème} décimale !

	n_{H_2}	= 1,0001320
	n_{O_2}	= 1,0002660
	n_{N_2}	= 1,0002984
	n_{air}	= 1,0002926 (à $\theta = 0$ °C, $P = 1$ atm)
	n_{air}	= 1,000272 (à $\theta = 20$ °C, $P = 1$ atm)
	n_{CO_2}	= 1,0004506
	n_{He}	= 1,0000350

V. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

A. INVENTAIRE DU MATERIEL

Vous disposez du matériel suivant:

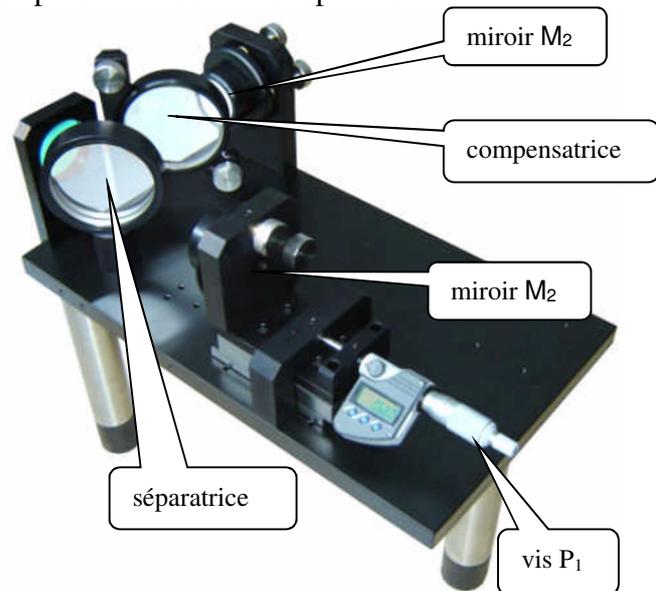
- un interféromètre de marque OVIO (cf. notice)
- un laser He-Ne 2mW de faible divergence $\lambda_{He-Ne} = 632,8$ nm
- deux lampes spectrales à vapeur de mercure (haute et basse pression) :
- d'un filtre interférentiel pour la raie verte du mercure : $\lambda_{vert-Hg} = 546,1$ nm
- un jeu de lentilles optiques (focales : + 15cm et + 50 cm)
- un écran translucide
- un écran blanc
- une photodiode placée au centre d'un écran blanc circulaire

- un interféromètre construit à l'Université (UHP-IM01), avec les équipements suivant :
- une cellule à gaz
- une jauge de pression capacitive avec un contrôleur de jauge donnant la valeur instantanée de la pression dans la cellule à gaz.
- une pompe à membrane (vide primaire, $P_{\text{mini}} \approx 2\text{mbar}$)

1. Description de l'interféromètre OVIO

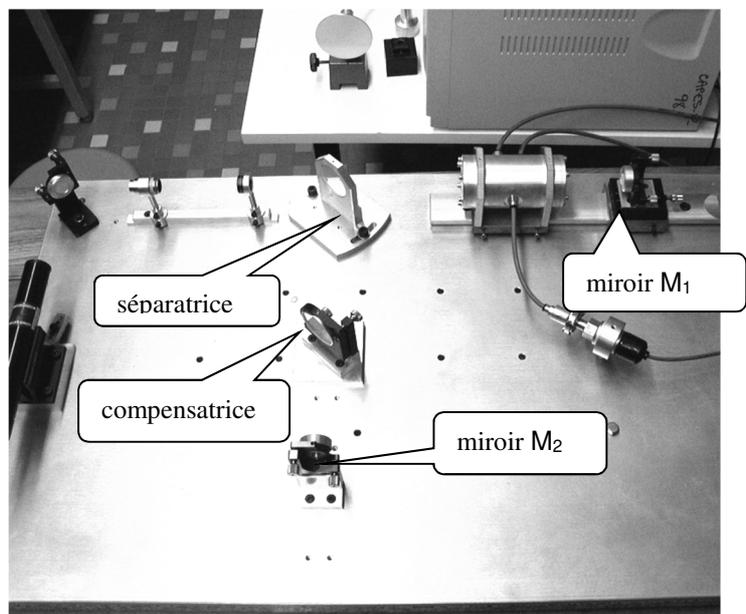
Les miroirs M_1 et M_2 sont montés sur des supports orientables par des vis micrométriques. Deux vis (« rapides ») permettent le réglage du miroir M_1 alors que les vis du miroir M_2 permettent un réglage fin. Le miroir M_1 est de plus, monté sur un chariot que la vis micrométrique P_1 permet de déplacer sur des glissières parfaitement rectilignes. On remarque que les lames séparatrice et compensatrice sont très espacées.

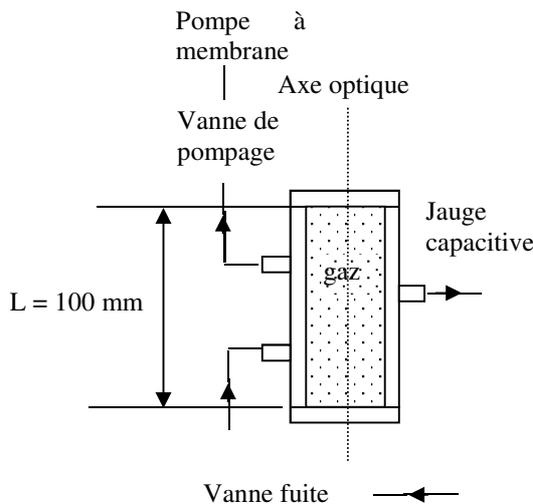
Attention : sur cet interféromètre OVIO, le réglage de la compensatrice ne peut pas se faire comme sur le SOPRA (essentiellement en raison de l'écart entre les lames). On supposera que le réglage est déjà réalisé. Lorsque l'appareil sera réglé en anneaux, on vérifiera que les anneaux sont bien circulaires. Dans le cas contraire on se reportera à la notice de l'appareil et/ou on demandera conseil à l'enseignant.



2. Description de l'interféromètre UHP

Cet interféromètre est dans ses principes semblable à tous les interféromètres, mais l'espace entre les miroirs et la lame séparatrice a été fortement augmenté afin de pouvoir insérer dans l'un des bras une cellule à gaz. De plus, la lame compensatrice n'est pas solidaire de la séparatrice. Cet interféromètre est placé sur des silentblocks permettant de l'isoler des vibrations mécaniques extérieures.



La cellule a gaz :

Cette cellule est un volume étanche de longueur $L=100$ mm fermé aux extrémités par deux lames de verre de planéité $\lambda/10$, d'épaisseur 10mm et d'indice $n=1,5$. (voir la figure ci-contre) Il est possible d'y faire un vide de l'ordre du mbar et/ou d'y introduire des gaz de composition contrôlée.

B. MANIPULATIONS**1. Réglage de l'interféromètre OVIO**

Remarque 1 : ne pas modifier le réglage de la compensatrice

On utilisera successivement le laser puis la lampe spectrale à vapeur de mercure, basse pression, pour reprendre les trois réglages de base présentés dans le TP Michelson 1, à savoir :

- Coin d'air
- Contact optique
- Lame d'air

Remarque 2 : le miroir M_1 est, a priori, placé sur sa translation à une position très voisine de celle correspondant au contact optique (≈ 10 mm sur le micromètre P_1). Si ce n'est pas le cas les franges peuvent présenter un très mauvais contraste, ou même ne pas être visibles.

2. Evaluation d'une largeur spectrale

- Laisser en place la lampe spectrale basse pression et conserver le réglage en lame d'air (ou franges d'égale inclinaison).
- Agir éventuellement sur la translation de M_1 pour optimiser le contraste des franges. Cette opération doit amener les miroirs près du contact optique (C.O.) : l'écran est totalement occupé par une seule frange (sombre ou claire)
- Lorsque cette situation est atteinte, commencer à charioter dans une direction en « s'éloignant » du C.O.. Relever la position de la vis micrométrique (P_1), $m_{\max 1}$ pour laquelle le contraste des franges « disparaît » (i.e. brouillage des franges).
- Revenir au C.O. et renouveler l'opération en chariotant dans la direction opposée. Relever la position de la vis micrométrique (P_1), $m_{\max 2}$ pour laquelle le contraste des franges « disparaît » à nouveau (i.e. brouillage des franges).
- Calculer la valeur $D = |m_{\max 1} - m_{\max 2}|$ et en déduire une estimation de la longueur d'un train d'onde L_c .
- A partir de L_c déterminer la largeur spectrale $\Delta\lambda$ de la raie verte du mercure.

Recommencer l'opération pour la lampe à vapeur de mercure Haute pression.

- On pourra observer l'évolution du contraste des franges pour une position donnée du chariot (vis micrométrique P_1) en fonction du temps, pendant le chauffage de la lampe (environ 10 mn).
- La mesure de $D = |m_{\max 1} - m_{\max 2}|$ sera faite lorsque la lampe sera à l'équilibre thermique (comptez au minimum une dizaine de minutes- départ à θ ambiante).

On pourra finalement comparer les valeurs de largeur spectrales ($\Delta\lambda$) obtenues pour les deux lampes à vapeur de mercure : basse et haute pression. On pourra interpréter le résultat avec un modèle simple de cinétique des gaz.

3. Mesure de l'indice d'un gaz

On utilisera dans cette partie l'interféromètre UHP.

- Vérifiez que l'interféromètre est bien réglé en lame d'air.
- Placer l'écran circulaire blanc muni de la photodiode. On placera le centre de l'écran au centre de la figure afin d'enregistrer l'évolution de l'intensité lumineuse pour l'incidence $\theta = 0$.

Démarrer le logiciel d'acquisition et lancer une acquisition.

- Le graphe inférieur indique la pression dans la cellule à gaz en fonction du temps et le graphe supérieur indique les variations d'intensité lumineuse au centre de la figure d'interférences, mesurées par la photodiode, en fonction du temps.
- Il peut être nécessaire d'ajuster le gain et le décalage (offset) de l'ampli de la photodiode pour centrer le signal dans le graphe.
- Vérifiez que la vanne d'introduction de gaz (V.I.) est fermée et lancer le pompage.
- Ouvrir la vanne de pompage (VP) et observer les modifications de la figure d'interférences ainsi que les évolutions respectives de la pression dans la cellule et de l'intensité mesurée par la photodiode. Recommencer l'opération plusieurs fois si nécessaire.
- Pour réintroduire du gaz (air) dans la cellule, il faut fermer la vanne de pompage (VP) et ouvrir la vanne (V.I.) Effectuer un enregistrement au cours d'un remplissage de la cellule. Notez la pression de départ et la pression finale. Réglez la base de temps de l'enregistrement afin d'obtenir un graphe permettant de déterminer le nombre de franges Z (Z , éventuellement non entier) ayant défilées.

Exploitation : (voir la notice sur la table)

- Utiliser la relation : $n(P) - 1 = Z \cdot \lambda / 2 \cdot L$ pour déterminer l'indice de l'air à différentes pressions. Remarque : L , dans cette partie, est la longueur de la cellule à gaz.
- Evaluer par un « calcul d'erreur » la précision sur $n(P)$.
- Vérifier que n est proportionnel à P .
- Donner la valeur de l'indice de l'air à la pression atmosphérique.

Remarque : on pourra réaliser un tableau sur le modèle suivant

t (s)	0			
P (en mb)				
ΔP				
Z				
ΔZ				
n(P)-1				
n				
Δn				

On relèvera t, P, Z sur les graphes (à l'écran ou après impression). Les incertitudes sur la pression (ΔP) et sur le nombre d'anneau ayant défilé à l'instant t (ΔZ) seront déterminées par l'expérimentateur(-trice).