

Interféromètre de Michelson



Réf : POD 013 490
& Options Réf : POD 013 491

I. Généralités	3
I.1. Caractéristiques techniques	3
I.2. Schéma général	4
I.3. Mise en service	4
I.4. Entretien et précautions d'emploi	5
II. Aspect théorique de l'interféromètre de Michelson	6
II.1. Interféromètre idéal	6
II.1.A. Calcul de la différence de marche	6
II.1.B. Déplacement du point source	8
II.1.B.a. Source à distance finie	8
II.1.B.a. Source à l'infini	9
II.1.C. Type et localisation des franges observables	10
II.2. Interféromètre réel	11
III. Observation des phénomènes d'interférences	13
III.1. Réglages préliminaires	13
III.2. Source monochromatique ou polychromatique	14
III.2.A. Premier réglage du parallélisme des miroirs : franges du coin d'air	14
III.2.B. Réglage fin du parallélisme des miroirs : anneaux localisés à l'infini	16
III.2.B.a. Observation des anneaux	16
III.2.B.b. Réglage fin de la compensatrice : forme des anneaux	16
III.2.B.c. Approche du point de contact : la « teinte plate »	17
III.3. Source de lumière blanche	18
III.3.A. lame d'air d'épaisseur nulle : blanc d'ordre 0	18
III.3.B. Franges du coin d'air en lumière blanche	18
III.4. Résumé du processus de réglage de l'interféromètre de Michelson	18
III.5. Expériences principales	19
IV. Options	20
IV.1. Motorisation	20
IV.1.A. Vitesse de rotation et vitesse de défilement des franges	20
IV.1.B. Accouplement	21
IV.1.C. Mise en marche et inversion de sens	21
IV.2. Détection	22
IV.2.A. Caractéristiques techniques	22
IV.2.A.a. Détecteur : Photodiode au silicium	22
IV.2.A.b. Amplification – Filtrage – Visualisation	23
IV.2.A.c. Boîtier – Alimentation	23
IV.2.B. Mise en œuvre	23
V. Bibliographie	24

I. Généralités

I.1. Caractéristiques techniques :

- Interféromètre de Michelson à bras orthogonaux,
- Miroirs et lames de planéité $\lambda/20$
- Orientation précise « trappe et porte » de la compensatrice



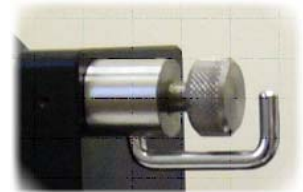
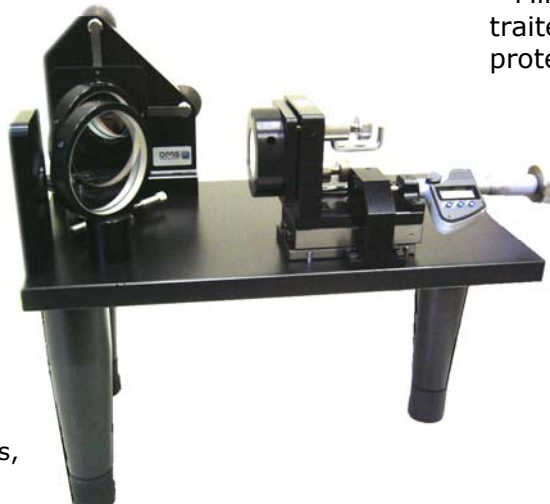
- 2 vis de réglage d'orientation par miroir « trappe et porte », $5/100^{\text{ème}}$ de mm par tour sur le miroir fixe, grâce à un **système de lamelles ressort avec vis à simple pas**, et $2/10^{\text{ème}}$ de mm par tour sur le miroir mobile grâce aux deux vis à double pas.



- Miroirs \varnothing 40 mm, épaisseur 20 mm, traitement réfléchissant aluminium protégé.



- Séparatrice et compensatrice séparées, \varnothing 80 mm, épaisseur de 15 mm.



- Butée mécanique

- Pieds anti-vibration (Absorption des hautes fréquences)



- Miroir mobile sur platine de translation à roulement à billes. Déplacement effectué grâce à une butée micrométrique ayant une course de 25 mm ; lecture de la position sur vernier ou sur afficheur digital.

I.2. Schéma général :

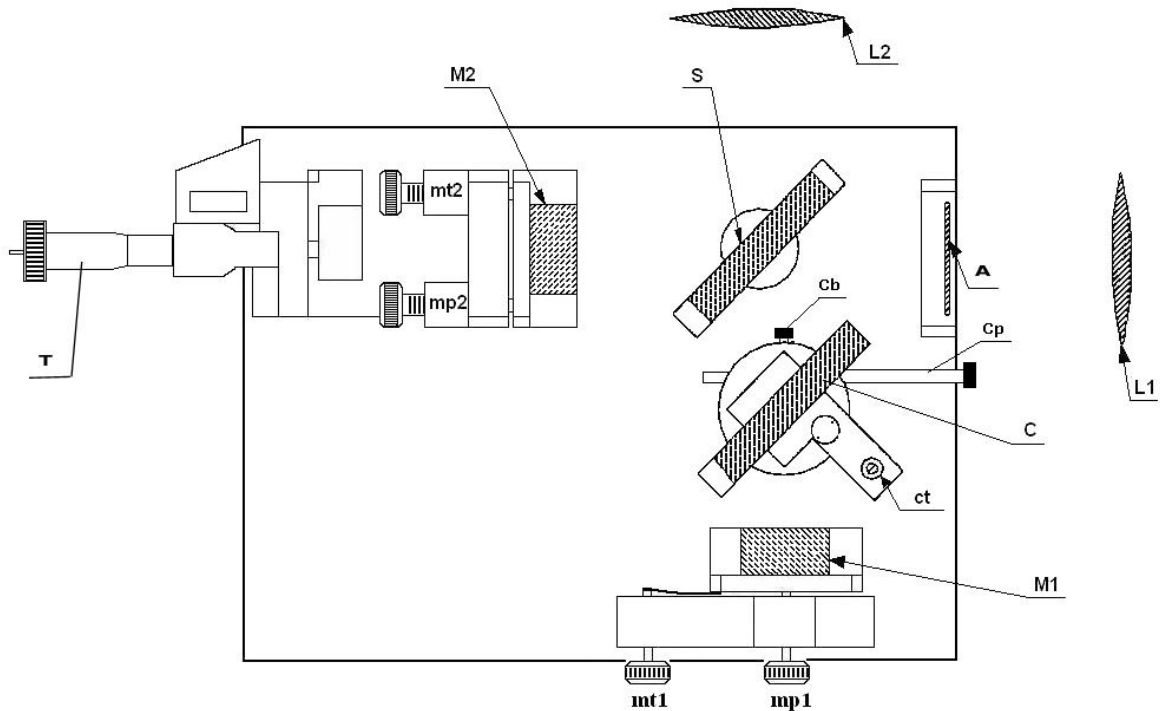


Schéma de l'interféromètre POD 013 490

- **S** : lame séparatrice semi-réfléchissante
- **C** : lame compensatrice, avec bouton de blocage de la rotation libre **cb**, réglage trappe **ct** et porte **cp**
- **M1** : Miroir fixe, réglages fins trappe **mt1** et porte **mp1**
- **M2** : Miroir réglable en position (déplacement du chariot mobile par le tambour **T**) et en inclinaison (vis de réglage semi-fin trappe **mt2** et porte **mp2**)
- **L1** : Lentille d'entrée (non fournie)
- **L2** : Lentille de projection (non fournie)
- **A** : Filtre anticalorique

I.3. Mise en service :

A la livraison, les pieds anti-vibration sont livrés démontés et sont à visser dès l'installation de l'appareil.

Une housse de protection en toile est livrée avec l'appareil. N'oubliez pas d'en protéger l'interféromètre lorsqu'il n'est pas utilisé.

I.4. Entretien et précautions d'emploi :

Vous êtes maintenant en possession de votre Interféromètre de Michelson (Réf : POD013490). C'est un appareil de très grande précision qui a nécessité de notre part les soins les plus attentifs.

Attention : Les surfaces optiques sont toutes de planéité au moins $\lambda/20$. Elles sont très fragiles et les deux lames de chaque appareil sont appairées.
En aucun cas il faut tenter de démonter une lame d'un appareil pour essayer de la mettre sur un autre appareil.

Attention : Les pièces mécaniques de précision ont subi un traitement de manière à assurer une bonne durée dans le temps.

Elles ne doivent ni être démontées, ni graissées.

Il ne faut utiliser aucun solvant ou alcool pour nettoyer l'appareil.

Les surfaces optiques seront nettoyées à l'aide d'un chiffon doux spécial optique fourni dans la pochette d'entretien, et la table et les pièces mécaniques peuvent être dépoussiérées à l'aide d'un pinceau ou d'une brosse fournis à cet effet.

Une housse de protection en toile est livrée avec l'appareil. N'oubliez pas d'en protéger l'interféromètre lorsqu'il n'est pas utilisé.

Bien évidemment, comme tous les appareils d'optique, il est conseillé d'utiliser l'Interféromètre de Michelson dans une pièce tempérée et dépoussiérée (ne pas utiliser de la craie ou des solvants dans la même pièce).

II. Aspect théorique de l'interféromètre de Michelson

II.1. Interféromètre idéal :

Un interféromètre de Michelson idéal serait constitué : (voir figure 1)

⇒ d'une lame semi-réfléchissante sans épaisseur, avec des coefficients de réflexion et de transmission égaux à 0.5 à 45° des axes OBA_2 et P_0BA_1 , n'introduisant aucun déphasage.

⇒ de deux miroirs parfaitement plans, qui dans leur positions $M_{1,0}$ et $M_{2,0}$ sont symétriques par rapport à la lame semi-réfléchissante. De plus, ces miroirs peuvent tourner autour des axes A_1 et A_2 perpendiculaires au plan de la figure.

M_2 peut se translater parallèlement à l'axe OB en position M'_2 .

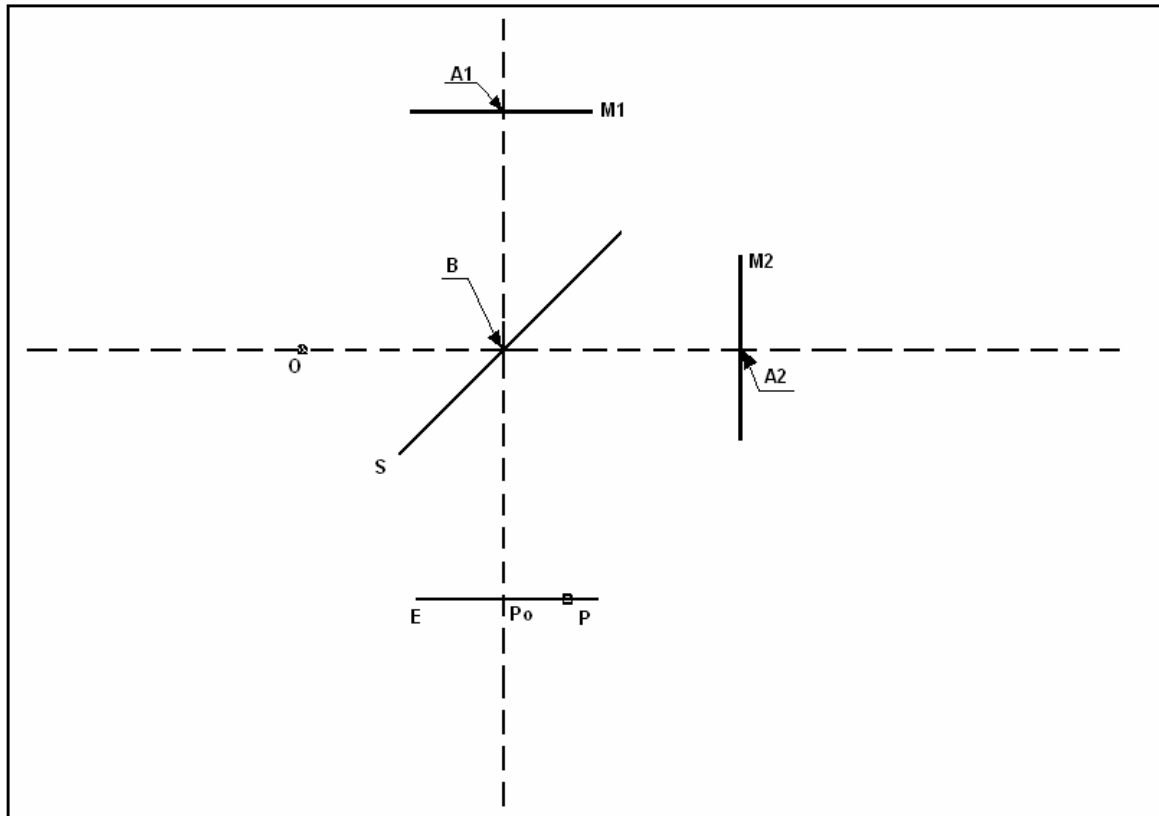


Figure 1 : Interféromètre « idéal »

II.1.A. Calcul de la différence de marche :

On place un écran E perpendiculaire à l'axe BP_0 . On va chercher à déterminer la différence de marche entre les deux parcours possibles pour atteindre un point P de cet écran, pour des miroirs en positions M_1 et M'_2 .

La construction des rayons partant d'une source placée en O et aboutissant en P nécessite de tracer les différentes images de la source O et du point P au travers de la séparatrice et des miroirs. (voir figure 2)

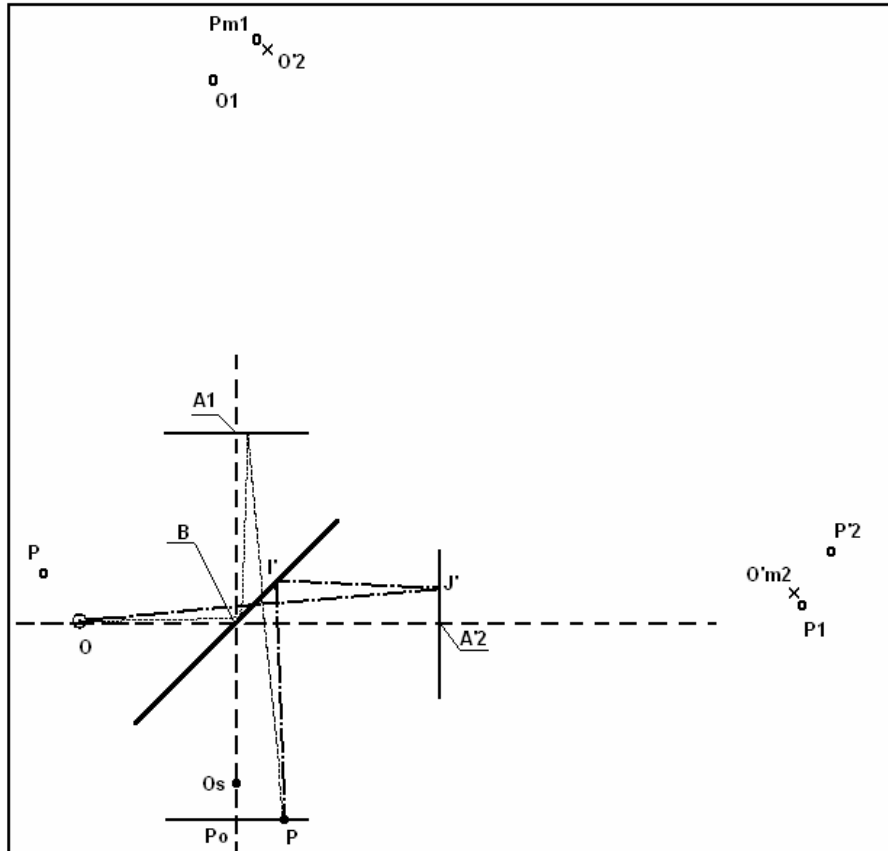


Figure 2 : Tracé des rayons interférant en un point P de l'écran E

Exemple : détermination de O_1 , image de O après réflexion sur la séparatrice puis réflexion sur le miroir M_1 .

On trace l'image O_s de O par réflexion sur la séparatrice : c'est le symétrique de O par rapport à l'axe de la séparatrice

O_1 est alors l'image de O_s par réflexion sur M_1 , c'est à dire le symétrique de O_s par rapport à l'axe de M_1 .

On procède de même pour :

- O'_2 , image de O par réflexion sur $M'_2(O'_{m2})$ puis réflexion sur la séparatrice (O'_2)
- P_1 , image de P par réflexion sur $M'_2(O'_{m2})$ puis réflexion sur la séparatrice (P_1)
- P'_2 , image de P par réflexion sur la séparatrice (P_s) puis réflexion sur $M'_2(P'_2)$

Pour la construction des rayons, on sait que :

⇒ Pour le chemin optique correspondant aux réflexions sur la séparatrice puis sur M_1 , que l'on notera $(OP)_1$, le rayon issu de O doit passer par P_1 en coupant S en I et doit émerger de O_1 vers P en coupant M_1 en J. Le rayon parcourt alors le trajet OIJP.

⇒ Pour le chemin optique correspondant aux réflexions sur M'_2 puis sur la séparatrice, que l'on notera $(OP)_2$, le rayon issu de O doit passer par P'_2 en coupant M'_2 en J' et doit émerger de O'_2 vers P en coupant S en I' . Le rayon parcourt alors le trajet $OJ'I'P$.

La différence de marche entre les deux parcours s'écrit :

Eq. 1

$$\Delta_0 = OJ'I'P - OIJP$$

Pour des raisons de symétrie, on peut réécrire la différence de marche de deux façons :

Eq.2

$$\Delta_0 = O'_2P - O_1P$$

Eq.3

$$\Delta_0 = OP'_2 - OP_1$$

La forme des franges sur l'écran E dépendra de cette différence de marche. On aura une frange brillante en P si $\Delta_0 = k\lambda$ ($k \in \mathbf{Z}$). L'expression montre que ces franges brillantes seront à l'intersection du réseau hyperboloïdes de révolution autour de $O_1O'_2$ tel que $O'_2P - O_1P = k\lambda$ et de l'écran E.

Ce sont donc :

\Rightarrow des portions de droites si l'axe $O_1O'_2$ est parallèle à l'écran
 \Rightarrow des portions de cône si l'axe $O_1O'_2$ s'incline par rapport à l'écran, qui peuvent être des hyperboles, des paraboles ou des ellipses. En particulier, si l'axe $O_1O'_2$ est perpendiculaire à l'écran, ces franges seront des anneaux, cercles concentriques.

II.1.B. Déplacement du point source :

On munit l'espace d'un repère orthonormé $(O, \overset{P}{i}, \overset{P}{j}, \overset{P}{k})$ tel que O soit le centre de la source à distance finie, $y = 0$ le plan de symétrie passant par O du Michelson, et $\overset{P}{k}$ la direction de l'axe dirigé vers le Michelson.

II.1.B.a. Source à distance finie :

On déplace le point source en S (x, y, O). Calculons alors la différence de marche Δ des rayons interférant en P issus de S.

La deuxième forme de l'équation de différence de marche (Eq.3) calculé précédemment faisant intervenir le point source et les images P1 (x_1, y_1, z_1) et P2 (x_2, y_2, z_2) va nous permettre de calculer Δ après déplacement en S.

En effet on a :

Eq.4

$$\Delta = SP_2 - SP_1$$

Eq.5

$$\Delta = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + z_2^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + z_1^2}$$

que l'on peut écrire si S proche de O :

Eq.6

$$\Delta(x, y) = \Delta(0,0) + \left[x \frac{\partial \Delta}{\partial x}(0,0) + y \frac{\partial \Delta}{\partial y}(0,0) \right] + \frac{1}{2} \left[x^2 \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2}(0,0) + \dots \right]$$

On peut alors calculer facilement les dérivées de $\Delta(x, y)$ en (O, O) et développer $\Delta(x, y)$ en une somme d'ordres n successifs :

Eq.7

$$\Delta(x, y) = \sum_n \Delta_n$$

En particulier, les ordres 0, 1, 2 sont :

Eq.8

$$\Delta_0 = OP_2 - OP_1$$

$$\Delta_1 = x \left(\frac{x_1}{OP_1} - \frac{x_2}{OP_2} \right) + y \left(\frac{y_1}{OP_1} - \frac{y_2}{OP_2} \right)$$

$$\Delta_2 = -\frac{1}{2} x^2 \left[\frac{1}{OP_1} \left(1 - \frac{x_1^2}{OP_1^2} \right) - \frac{1}{OP_2} \left(1 - \frac{x_2^2}{OP_2^2} \right) \right] + \text{terme en } y^2 + \text{terme en } xy$$

Il est à noter que le terme du premier ordre fait apparaître les coordonnées des vecteurs unitaires \vec{u}_1 et \vec{u}_2 des directions OP_1 et OP_2 , ce qui permet de retrouver la forme classique de Δ_1 :

Eq.9

$$\Delta_1 = OS(\vec{u}_1 - \vec{u}_2)$$

II.1.B.b. Source à l'infini :

On suppose maintenant la source à l'infini sur l'axe (O, \vec{k}) . La différence de marche des rayons interférant en P, passant par P_1 et P_2 est en fonction du vecteur u_0 dans la direction de la source :

Eq.10

$$\Delta_0 = P_1 P_2 \cdot u_0$$

Si l'on décale la source à l'infini dans la direction d'un vecteur $\vec{u}(\alpha, \beta, \gamma)$, on a :

Eq.11

$$\Delta = P_1 P_2 \cdot \vec{u}$$

α et β sont généralement petits devant 1, et on peut écrire :

Eq.12

$$Y \approx 1 - \frac{1}{2}(\alpha^2 + \beta^2)$$

Comme pour une source à distance finie, on peut alors réécrire la différence de marche sous forme d'un développement d'ordres successifs de α et β :

Eq. 13

$$\Delta_0 = z_2 - z_1$$

$$\Delta_1 = \alpha(x_2 - x_1)$$

$$\Delta_2 = -\frac{1}{2}(z_2 - z_1)(\alpha^2 + \beta^2)$$

II.1.C. Type et localisation des franges observables :

A partir des équations déterminées précédemment, on peut discuter du type et de la localisation des franges observables selon les dimensions et la position de la source.

En effet, si la dimension de la source devient importante, les rayons des points S ne pourront plus être confondus avec le point source O. Les termes de premier et de second ordre ne seront plus négligeables, et entraîneront un brouillage des franges en général.

Néanmoins, il existera toujours des zones de l'espace où ces termes de premier et second ordre seront toujours nuls, et où les franges resteront donc observables. C'est ce que l'on nomme le phénomène de localisation des franges.

On distingue trois catégories de phénomènes observables, selon le tableau suivant (pour plus de détail dans les calculs, on pourra se reporter à l'article de G Fortunato & G.Krebs [1]).

Largeur de la source	Localisation des franges	Remarques
Source quasi ponctuelle $\Delta \simeq \Delta_0$	Elles sont visibles partout : les franges sont non localisées	Observables en coin d'air ou en lame d'air, à la condition que la source soit très petite (variation de Δ par rapport à Δ_0 faible par rapport à λ sur l'ensemble de la surface de la source).
Source peu étendue $\Delta \simeq \Delta_0 + \Delta_1$	Visibles lorsque $\Delta_1 = 0$. On montre [1] que cela correspond aux points d'intersection des rayons issus de mêmes rayons incidents. Les franges sont localisées à distance finie.	Observable en coin d'air, en particulier au voisinage des miroirs : franges rectilignes d'égale épaisseur.
Source étendue. Les ordres supérieurs ne sont plus négligeables	Visibles lorsque Δ_1 et Δ_2 sont tous deux nuls. Ces points correspondent à deux faisceaux émergents parallèles issus d'un même rayon incident : les franges sont localisées à l'infini.	Observable en lame d'air : franges circulaires d'égale épaisseur. A noter qu'au lieu de localisation, l'annulation des termes d'ordre 1 et 2 entraîne l'annulation de tous les termes d'ordre supérieur, et que la visibilité des franges à l'infini ne dépend alors plus de la dimension de la source.

II.2. Interféromètre réel :

Les calculs ont été réalisés pour un interféromètre idéal. En particulier, on suppose que la lame semi-réfléchissante est parfaite, sans épaisseur.

Bien entendu, il n'existe pas de telle surface idéale. Le traitement semi-réfléchissant est donc déposé sur une lame de verre, qui possède une épaisseur non nulle (le traitement quant à lui est un composé multicouche, chaque couche étant d'épaisseur quasi atomique).

En fait, plus le diamètre de la lame sera important, plus son épaisseur sera grande afin de préserver le plus possible l'intégrité de sa surface.

Si la source est hautement monochromatique et cohérente (par exemple un laser), les phénomènes d'interférences restent visibles avec une simple séparatrice.

Dans le cas, d'une source polychromatique étendue, le décalage induit par la traversée de la lame sur un des faisceaux entraîne un brouillage des franges, elles ne sont plus observables.

C'est pourquoi on interpose sur le second bras de l'interféromètre (celui où le faisceau ne traverse pas la lame séparatrice) une seconde lame, rigoureusement identique à la lame séparatrice en terme de matériau et de dimensions, qui va servir à compenser la différence de marche due à cette traversée de la séparatrice. C'est cette lame que l'on nomme simplement compensatrice.

La tolérance de différence d'épaisseur entre séparatrice et compensatrice est très faible : quelques microns. En effet, au-delà, la différence de marche induite par la traversée de deux lames distinctes sur les deux trajets différents ne serait plus négligeable devant la longueur d'onde du faisceau lumineux. On conçoit donc que cela implique aussi un très bon réglage du parallélisme entre séparatrice et compensatrice.

Si le parallélisme n'est pas bon entre les deux lames, le parcours optique des deux faisceaux ne sera pas rigoureusement identique sur les deux bras. En fait, on voit tout de suite que le parcours sera allongé dans la traversée de la compensatrice si celle-ci n'est pas parallèle à la séparatrice.

En observant les anneaux des franges d'égale inclinaison de la lame d'air, on constate que le mauvais parallélisme des deux lames entraîne une déformation des franges selon l'axe d'intersection projeté des plans définis par chacune des lames. Dans le cas le moins dramatique, les anneaux seront déformés en ellipses plus ou moins inclinées. Si le parallélisme est franchement mauvais, on peut observer des hyperboles.

Dans le cas des franges du coin d'air, on observe un décalage du point de contact (ordre 0 décalé en position de translation du chariot, ceci d'autant plus que le parallélisme est mauvais). Surtout, si l'on observe les franges du coin d'air d'une source de lumière blanche, l'effet de prisme induit par le mauvais parallélisme des lames conjugué au phénomène d'interférences implique des effets chromatiques plus ou moins prononcés.

Il est donc nécessaire de régler le bon parallélisme de la séparatrice et de la compensatrice. On verra comment le faire de façon simple en utilisant les remarques précédentes dans le chapitre pratique consacré au réglage de l'interféromètre.

III. Observation des phénomènes d'interférences

Dans ce chapitre sont présentés les modes de réglage de l'interféromètre de Michelson (Réf : POD 013 490) pour l'observation des différents phénomènes d'interférences.

Les annotations d'utilisation des différents éléments ou réglages notés en gras (ex : **M1**, **cb**...) font référence à la figure page 4.

III.1. Réglages préliminaires :

L'appareil est préréglé et contrôlé en atelier afin de vérifier son bon fonctionnement.

Afin de garantir l'appareil pendant le transport dans les meilleures conditions, le chariot (**A**) et le support (**B**) sont déplacés.

Afin de retrouver rapidement le réglage initial, nous vous recommandons de suivre les indications suivantes : **de -a- à -e-**

Lors du déballage, il est souhaitable de vérifier les valeurs des cotes indiquées sur la figure 3.

Préréglage :

- **a** - Placer délicatement le chariot (**A**) en position de travail, vers la lame séparatrice (tête de vis micrométrique du palmer en contact avec l'aimant).

- **b** - Vérifier l'intervalle entre le support fixe et le porte miroir orientable d'une valeur approximative de 2 à 3 mm, les deux plans devant être parallèles.

Pour réajuster l'intervalle entre les deux faces (support et porte miroir), actionner les vis de réglage (deux par miroir). Celles-ci doivent avoir un dépassement préalable d'environ 13 mm, comme indiqué sur la figure 3.

- **c** - Positionner le chariot mobile de manière à l'amener à la graduation 10 du tambour gradué. Amener le vernier de la vis micrométrique sur le repère « 10 » de la graduation (soit 10 mm).

- **d** - Procéder comme – **b** – pour réajuster, si nécessaire, le second miroir.
A noter que pour les réglages – **b** – et – **d** -, il peut être nécessaire d'actionner la vis M6 (tête creuse) des supports de miroir pour obtenir un intervalle constant (2 à 3 mm), entre les deux faces.

- **e** – Remettre en place la vis « **Cp** » du support de la compensatrice de manière à ce qu'elle soit parallèle à la séparatrice (réglage visuel).
Les deux vis de réglage, dont le support dispose, permettront de réduire l'ellipticité des anneaux lors du réglage fin.

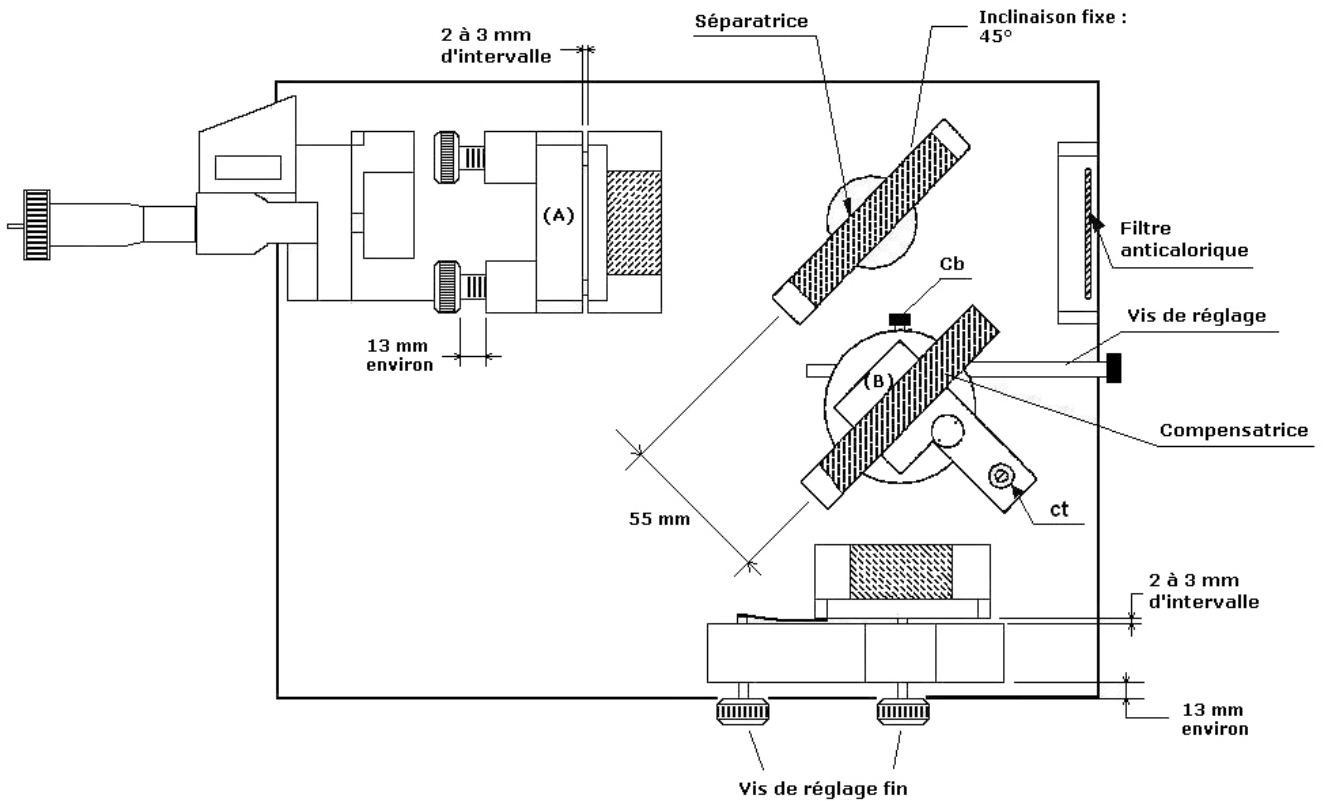


Figure 3 : Schéma de l'interféromètre de Michelson

Les surfaces « non utiles » de la séparatrice et de la compensatrice sont traitées antireflet afin d'éliminer les images parasites lors des observations. Il n'est, par ce fait, pas possible de régler « a priori » plus précisément le parallélisme compensatrice/séparatrice par la superposition des réflexions multiples sur les lames. Le réglage fin se fait ultérieurement, en position de lame d'air, par rectification de l'ellipticité des anneaux d'égalé inclinaison.

III.2. Source monochromatique ou polychromatique (lampes spectrales Sodium ou Mercure) :

III.2.A. Premier réglage du parallélisme des miroirs : franges du coin d'air

- 1 – On éclaire le Michelson avec une source de cohérence temporelle assez élevée, lampe spectrale sodium ou mercure par exemple.
- 2 – Le Michelson présente à ce niveau très probablement un coin d'air avec un angle assez important entre les deux miroirs. L'observation des franges du coin d'air va permettre un premier réglage du parallélisme entre **M1** et **M'2**.
- 3 – On réduit l'étendue spatiale de la source en interposant un diaphragme variable (fermeture minimale de l'ordre de 2 mm) éclairé du côté source par un condenseur, et placé côté Michelson au foyer d'une lentille de + 250 mm de focale.
- 4 – Par vision directe en **O** au travers de la séparatrice vers **M1**, on voit deux images du diaphragme. On réduit simplement l'angle entre les deux miroirs en agissant sur les vis **mt2** et **mp2** de **M2** pour les superposer.

Variante : On interpose une lentille L de +250 mm de focale entre la source et le Michelson de manière à focaliser à peu près la lumière sur les miroirs. On intercale entre cette lentille et la source un dépoli. Un simple papier blanc suffit, avec tracé dessus une croix au stylo fin pour aider au repérage ou mieux encore en utilisant un papier quadrillé.

On voit alors en se plaçant en **O** deux disques images du dépoli, que l'on va superposer à l'aide des **mt2** et **mp2** de **M2**. Une bonne superposition permet normalement de parfaitement superposer la croix dessinée ou le quadrillage et de distinguer nettement (comme lors d'une « mise au point » en photo) les détails de tramage du papier.

Apparition des franges et affinage du réglage :

- 1 – Si les réglages précédents ont été correctement effectués, on doit maintenant voir apparaître des franges localisées sur les miroirs. Si ce n'est pas le cas, il peut y avoir deux raisons :

⇒ La différence de marche (position de **M2**) est trop importante pour la cohérence temporelle de la source : essayer de déplacer **M2** de façon à avoir les deux bras du Michelson de même longueur.

⇒ On se trouve dans une position d'anti coïncidence des raies spectrales, surtout en travaillant avec une lampe sodium. En agissant sur la position de **M2**, on doit rapidement faire apparaître les franges.

⇒ Si l'on ne voit toujours pas de franges, c'est que le réglage de superposition des images n'est pas suffisant. Reprendre le réglage au III.2.A « Premier réglage du parallélisme des miroirs : franges du coin d'air »

- 2 – Une fois les franges visibles, en jouant dans un premier temps avec les réglages rapides **mp2** et **mt2** de **M2**, on élargit les franges (on se rapproche du parallélisme des miroirs). Lorsqu'il reste une dizaine de franges dans le champ visuel, on élargit encore ces franges en agissant maintenant de préférence sur les vis fines **mp1** et **mt1** de **M1**, jusqu'à l'obtention d'une teinte plate sur les miroirs.

III.2.B. Réglage fin du parallélisme des miroirs : anneaux localisés à l'infini

III.2.B.a. Observation des anneaux :

- **1** – L'observation et l'élargissement des franges du coin d'air localisées sur les miroirs a permis à ce niveau d'effectuer un réglage approché du parallélisme entre **M1** et **M2**. C'est en accommodant dès lors à l'infini et en observant les anneaux localisés à l'infini que l'on va pouvoir affiner ce réglage.

- **2** – Si le réglage sommaire de la compensatrice effectué « à l'œil » en début de processus de réglage n'est pas trop frustré, on doit observer des anneaux concentriques. Il se peut néanmoins que ce réglage soit trop imparfait. On observera alors des ellipses plus ou moins marquées, voir des hyperboles. En ce cas, un réglage de la compensatrice s'impose. Rendez-vous en *III.2.B.b "réglage fin de la compensatrice : forme des anneaux"*.

- **3** – En observation directe, la pupille de l'œil diaphragme fortement le champ. L'observateur isole une portion du couple **M1/M2**. Si les deux miroirs ne sont pas rigoureusement parallèles, le déplacement de l'œil d'un bord à l'autre des miroirs va isoler des portions de champ pour lesquelles la différence de marche va varier. Ce déplacement du regard induit donc un défilement des anneaux. Le réglage du parfait parallélisme peut être réalisé en utilisant cette propriété : en déplaçant l'œil de droite à gauche et inversement, on affine le réglage des miroirs jusqu'à obtenir une bonne stabilité des anneaux. On procède de même dans le sens vertical, en déplaçant l'œil de haut en bas et inversement.

- **4** – On peut alors faire « rentrer » les anneaux en déplaçant **M2** à l'aide de la vis micrométrique de translation **T** : on se rapproche du point de contact, les anneaux s'agrandissent. Au cours de cette manœuvre, on doit en permanence surveiller la stabilité des anneaux selon la méthode de déplacement de l'œil, et si nécessaire corriger l'orientation de **M1** avec **mp1** et **mt1** pour parfaire le réglage du parallélisme des miroirs.

- **5** – Si les anneaux se déforment en des ellipses ou des hyperboles, le réglage du parallélisme compensatrice/séparatrice est en cause. Le paragraphe suivant indique la marche à suivre.

Variante : Si l'on a suffisamment de lumière, en ouvrant au maximum le diaphragme d'entrée du Michelson et en plaçant la lentille de +250 mm de manière à focaliser la lumière sur les miroirs, on peut projeter la figure d'anneaux sur un écran placé dans le plan focal d'une lentille de focale 500 à 1000 mm que l'on dispose en **O**. On peut aussi les projeter sur un mur éloigné (considéré alors à l'infini). Affiner le réglage des miroirs pour obtenir des anneaux en projection propres et contrastés.

III.2.B.b. Réglage fin de la compensatrice : forme des anneaux

- **1** – Les anneaux **localisés à l'infini** peuvent à l'origine du réglage ou au cours de la translation de **M2** être déformés en des ellipses, voir des hyperboles ou encore des sortes de franges rectilignes qui ne sont pas de même épaisseur (à ne pas confondre avec les franges du coin d'air, d'**égale épaisseur et localisées sur les miroirs**). Cela est dû à un mauvais parallélisme compensatrice/séparatrice.

- 2 – Dans le cas extrême de figures hyperboliques, le réglage de la compensatrice est très mauvais. Normalement, un tel dérèglement est perceptible à l'œil en regardant simplement « à l'œil » le parallélisme entre compensatrice et séparatrice. Il peut alors être nécessaire de débloquer la libre rotation de **C** en dévissant **cb**, en mettant **cp** en milieu de course, et en faisant pivoter doucement **C** jusqu'à obtention d'une figure d'ellipses. Revisser **cb**.

- 3 – Lorsque l'on a des ellipses, le réglage du parallélisme compensatrice/séparatrice peut être effectué en agissant sur les vis d'orientation **cp** et **ct** de la compensatrice.

- 4 – La vis de réglage **ct** va faire tourner la compensatrice selon son axe horizontal, ce qui permet de corriger l'inclinaison des ellipses par rapport à l'horizontale.

- 5 – La vis de réglage **cp** va faire tourner la compensatrice selon son axe vertical : cette vis permet de réduire (ou d'agrandir, mais ce n'est pas le but recherché...) l'ellipticité des anneaux.

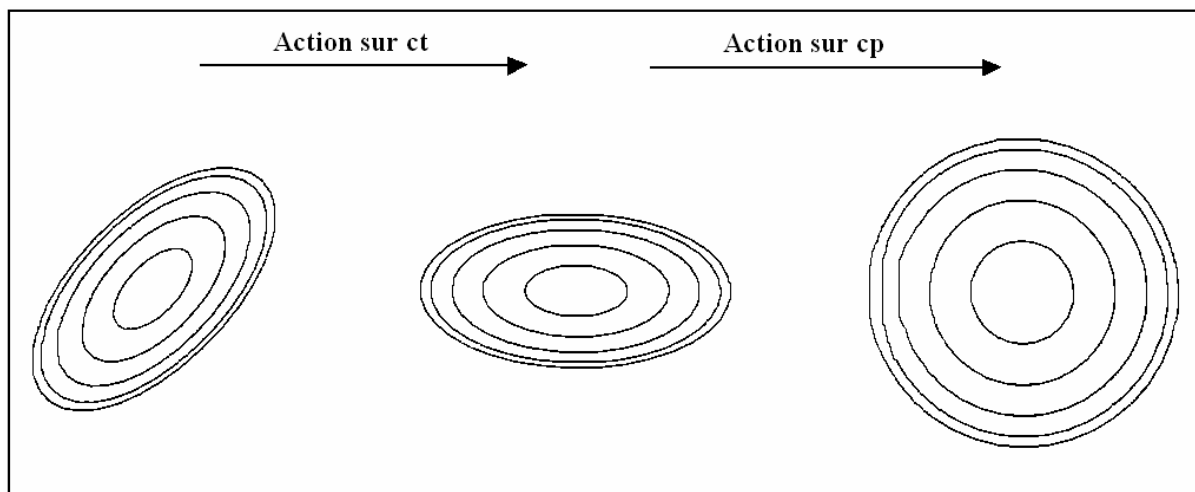


Figure 4 : Effet sur la forme des anneaux des réglages **cp** et **ct** de la compensatrice

III.2.B.c. Approche du contact optique : la « teinte plate »

Maintenant, on doit observer dans le champ des anneaux concentriques et bien circulaires (parallélismes des miroirs et séparatrice/compensatrice corrects). On translate M2 avec la vis micrométrique T délicatement dans le sens où les anneaux « rentrent ». Ceux-ci s'agrandissent. Plus ils ont grands, plus la précision des réglages est sensible. Il faut donc vérifier en permanence la bonne stabilité des anneaux par déplacement de l'œil pour le parallélisme des miroirs (en projection, le contraste entre les anneaux doit rester maximal et le centre des anneaux doit rester fixe au cours de la translation). De même, il faut éventuellement retoucher au fur et à mesure le réglage de la compensatrice dès que les anneaux se déforment en ellipse selon la méthode décrite précédemment.

On finit par arriver à une position de M2 où une seule teinte (anneaux de diamètre supérieur au champ d'observation) est visible. Le Michelson est alors parfaitement réglé pour les parallélismes des miroirs et de la séparatrice avec la compensatrice.

Il reste à atteindre précisément le point de contact optique, équivalent à une lame d'air d'épaisseur nulle.

III.3. Source de lumière blanche :

III.3.A. lame d'air d'épaisseur nulle : blanc d'ordre 0

Pour cet ultime réglage, on exploite le fait que de part la forte incohérence temporelle d'une source de lumière blanche, il n'y a qu'un petit nombre de franges qui peut être observé au voisinage de la différence de marche nulle.

On éclaire à l'aide d'une source de lumière blanche (lampe halogène par exemple) le Michelson réglé selon tout le processus décrit ci-dessus. En translatant **très délicatement M2** dans le même sens que précédemment, on doit observer au bout de quelques instants des couleurs qui défilent puis une teinte blanche uniforme. Un décalage infime toujours dans le même sens de M2 doit alors faire aussitôt réapparaître des couleurs. Si ce n'est pas le cas, c'est que l'on est passé dans le blanc d'ordre supérieur, et il faut délicatement revenir en arrière pour refaire défiler les couleurs jusqu'à obtention de la teinte blanche uniforme d'ordre 0.

Le Michelson est alors parfaitement réglé, tant au niveau parallélisme que du contact optique.

III.3.B. Franges du coin d'air en lumière blanche :

Sans modifier pour l'instant le réglage du Michelson, on place la source de manière à éclairer les miroirs de façon uniforme.

On place en sortie du Michelson une lentille qui va permettre de former sur un écran l'image des miroirs (une focale de 250 mm est bien adaptée ici).

On tourne très légèrement **M1** à l'aide de **mp1**. On doit immédiatement voir apparaître sur l'écran les franges du coin d'air en lumière blanche.

Attention : La couleur de la frange centrale est indifféremment blanche ou noire, de part les déphasages dus aux traitements des lames et des miroirs.

III.4. Résumé du processus de réglage de l'interféromètre de Michelson :

La figure 5 « *Organigramme de réglage de l'interféromètre* » reprend en résumé les différentes phases du processus permettant un réglage complet de l'interféromètre.

Ce schéma permet de se souvenir précisément des différentes étapes. Néanmoins, il est absolument nécessaire, lors d'une première manipulation, de se référer au processus complet, détaillé dans les chapitres précédents, la nature synthétique de l'organigramme ne pouvant rendre compte des différentes propriétés physiques complexes mises en jeu.

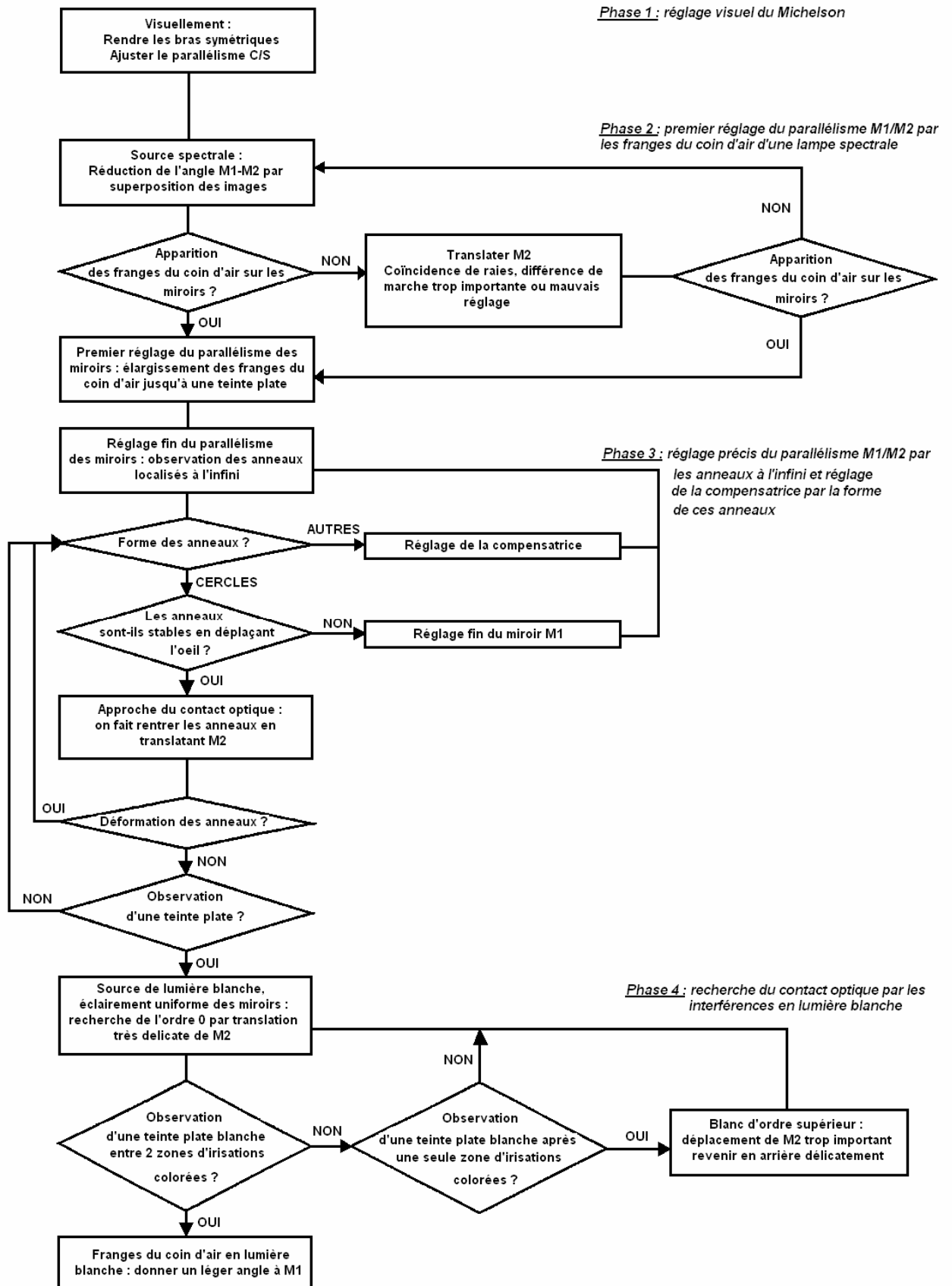
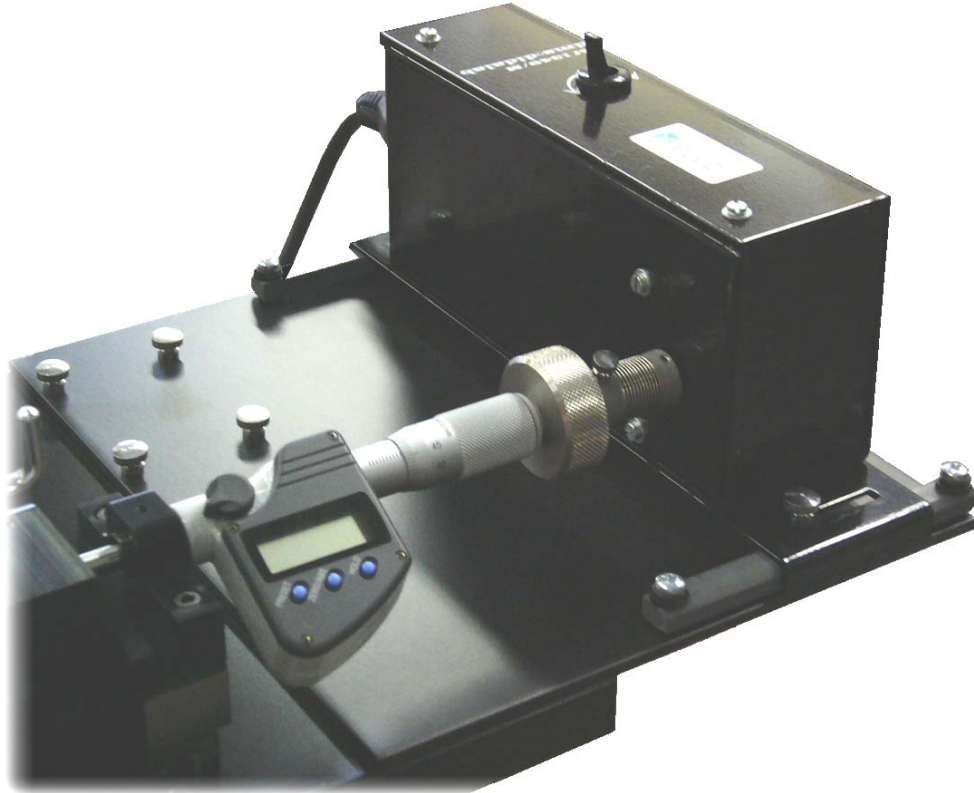


Figure 5 : Organigramme de réglage de l'interféromètre

III.5. Expériences principales :

- Etude du phénomène d'interférence
- Mesure du coin d'air
- Etude de la cohérence temporelle
- Mesure du doublet jaune du sodium
- Mesure de la longueur d'onde
- Etude spectre cannelé
- Mesure de l'indice de réfraction d'un milieu
- Mesure de l'épaisseur d'une lame mince

IV.1. Motorisation :



IV.1.A. Vitesse de rotation et vitesse de défilement des franges :

Le moteur est un moteur réducteur synchrone à 50 Hz tournant à la vitesse d'un tour toutes les 18 minutes, avec inversion de sens.

Sachant qu'un tour du tambour du Michelson (Réf : POD 013 490) correspond à un déplacement du chariot de 0,5 mm, on en déduit que l'on a une translation de 463 nm par seconde.

L'écart en translation entre deux franges d'interférences consécutives est de $\lambda / 2$.
La vitesse de rotation du moteur permet donc d'enregistrer à une **cadence de deux franges par seconde dans le jaune, à 463 nm.**

En particulier, les franges du doublet jaune (560 nm) d'une lampe sodium défileront quasiment à la vitesse de deux franges par seconde.

IV.1.B. Accouplement :

La transmission moteur/chariot est assurée par un accouplement flexible, ce qui ne nécessite pas un alignement moteur-Michelson rigoureusement parfait.

Le réglage de la translation du moteur est déterminé en fonction de la position initiale de la vis micrométrique (voir réglage fin de l'interféromètre).

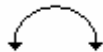
La motorisation est livrée avec l'accouplement solidaire du moteur. Si pour une raison quelconque il est nécessaire de l'enlever, il est fixé sur l'axe du moteur par deux vis Allen \varnothing 2 mm. Nous déconseillons néanmoins de le retirer.

L'accouplement du moteur à l'interféromètre se fait par l'embout \varnothing 4 mm situé à l'extrémité de la vis micrométrique de déplacement du chariot du Michelson. Il suffit de fixer la transmission sur l'axe du chariot à l'aide des deux vis moletées.

IV.1.C. Mise en marche et inversion de sens :

La mise en marche est simplement effectuée après branchement de l'ensemble moteur en plaçant l'interrupteur à basculement horizontal sur la position de marche (point blanc apparent sur le côté de l'interrupteur).

L'inversion de sens est quant à elle commandée par l'interrupteur à basculement vertical marqué du sigle



Attention : Il existe toujours un jeu résiduel dans la vis micrométrique de translation du chariot du Michelson nécessaire à son fonctionnement. Vu la faible vitesse de rotation du moteur (1 tour/18min), ce jeu ne sera rattrapé par la rotation du moteur qu'au bout de quelques secondes.

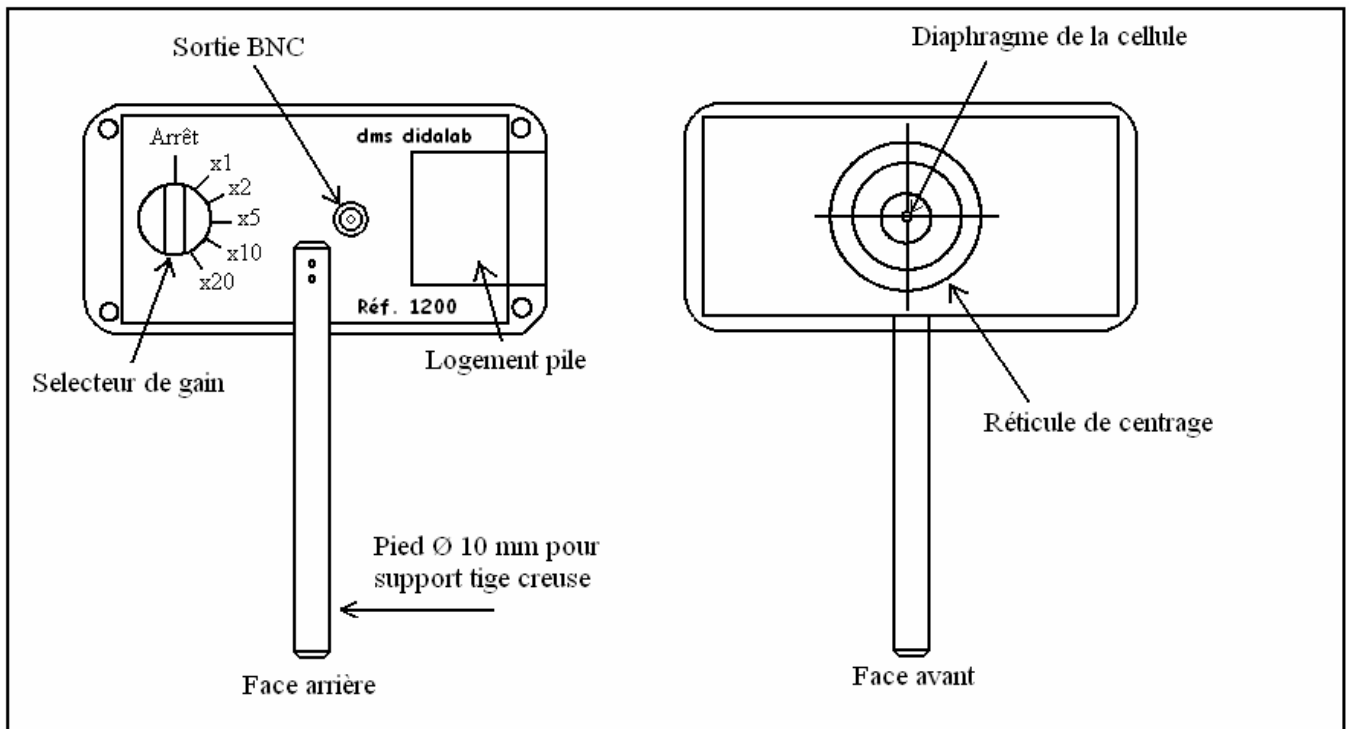
IV.2. Détection :



IV.2.A. Caractéristiques techniques :

IV.2.A.a. Détecteur : Photodiode au silicium :

Réponse linéaire en fonction de l'intensité lumineuse reçue.
Temps de montée de l'ordre de 50 ns, négligeable face à la vitesse de défilement des franges (2 franges/seconde à 463 nm, soit un facteur 10^7 entre le temps de montée de la photodiode et les variations de luminosité).



IV.2.A.b. Amplification – Filtrage - Visualisation :

Cinq niveaux de gains (facteurs 1, 2, 5, 10 et 20) sont disponibles et permettent dans les conditions normales d'éclairage d'obtenir une sortie 0-5V suivant le gain choisi.

La sortie est assurée par une borne type BNC permettant la visualisation du signal sur oscilloscope ou acquisition sur enregistreur potentiométrique.

La détection comporte en interne un filtre passe-haut éliminant les fréquences supérieures à 50 Hz afin d'éliminer des phénomènes d'interférences avec le réseau (variation de l'éclairage de la lampe). Elle ne peut donc être utilisée que pour l'observation de phénomènes périodiques de fréquence basse (< 10 Hz)

IV.2.A.c. Boîtier - Alimentation :

La face avant du boîtier sert d'écran de projection afin d'observer les interférences obtenues par l'interféromètre de Michelson.

La face arrière comprend le réglage du gain, la sortie BNC et le capot du compartiment pile.

L'alimentation est assurée par une pile 9V type LR6. En cas de non utilisation prolongée, nous conseillons vivement de la retirer du boîtier.

IV.2.B. Mise en oeuvre :

Dans un premier temps, régler l'interféromètre de Michelson en lame d'air (voir notice de l'appareil).

Placer en sortie de l'interféromètre une lentille de focale 250 mm. Emmancher le boîtier de détection dans un support à tige creuse \varnothing 10 mm et connecter le à votre système d'enregistrement ou de visualisation. Positionner le boîtier dans le plan focal de la lentille. L'interféromètre étant réglé en lame d'air d'épaisseur non nulle, on doit observer des franges d'égaux inclinaisons localisées à l'infini.

En d'autres termes, si le boîtier est bien dans le plan focal de la lentille de sortie, on doit obtenir une image nette des anneaux d'interférences sur la face avant du détecteur.

Centrer ces anneaux sur l'écran en s'aidant du réticule. Accoupler alors le moteur au Michelson. Mettre le moteur en marche, choisissez le calibre convenable sur le détecteur. Lancer l'enregistrement lorsque le moteur a rattrapé le jeu du tambour micrométrique du Michelson.

Il est conseillé en fin d'expérience, non seulement de mettre le sélecteur de gain du détecteur sur la position « arrêt », mais aussi si l'on n'a pas à se servir du détecteur dans un bref délai, de retirer la pile du boîtier afin de lui assurer une durée de vie la plus longue possible.

V. Bibliographie

[1] **G.Fortunato & G.Krebs**, « *L'interféromètre de Michelson : quelques aspects théoriques et expérimentaux* », Bulletin de l'Union des Physiciens, Cahier Enseignement Supérieur 1997, **795 cahier 2**, 15-56.

[2] **D.Mangili, Y.Dulac, J.P.Berni, L.Stévenin**, « *Un exemple de TP-cours, interférence à deux ondes : l'interféromètre de Michelson* », Communication à la journée nationale d'information sur les programmes de physiques des classes préparatoires aux grandes écoles des filières PC et PSI, 3 avril 1996.

Contact commercial : stephanie.k@didalab.fr
jerome.lambert@didalab.fr
Contact SAV : sav@didalab.fr