

Certains élèves nous rapportent que le Michelson est en grande partie réglé quand ils arrivent. On demande de savoir faire une autocollimation et de connaître la technique de la respiration. Cela ne retire pas l'importance de savoir le régler complètement car on constate qu'il est facilement déréglable. Mais cela montre que l'examineur attache plus d'importance à la **compréhension** du phénomène physique, à son **explication** et à l'**esprit critique** du candidat.

1 Un grand classique : la mesure du doublet du Sodium

Rappels : Fait en TP pendant l'année : le Michelson est en lame d'air; on observe des anneaux d'égale inclinaison pourvu que la source soit étendue pour avoir des angles d'incidence non nuls. Les anneaux sont alors localisés à l'infini. On peut les observer directement à l'oeil sans accommoder ou bien sur un écran éloigné, ou encore projetés sur un écran à l'aide d'une grande focale (1 m).

La mesure consiste à chariotier pour passer d'un brouillage à l'autre ; relever la distance Δx_n parcourue par le miroir pour passer d'un brouillage au $n^{ième}$ suivant.

Rappel du calcul (qu'on ne vous donnera pas le jour du concours) : d'un brouillage au suivant, la longueur d'onde λ_1 la plus courte du doublet a subi une variation de différence de marche égale à $(p+1)\lambda_1$ alors que la longueur d'onde λ_2 la plus grande a subi une variation de différence de marche de $p\lambda_2$. Sur le trajet optique du Michelson cela correspond à $2\Delta x_1$.

$$\text{Résultat : } \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta x_1} = \frac{n\lambda^2}{2\Delta x_n} \quad (\lambda_1 \simeq \lambda_2 = \lambda \quad \text{et} \quad \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1)$$

Rq : il faut être capable d'évaluer les incertitudes de mesure, savoir sur quelle grandeur on a de l'incertitude. Ici, on peut dire que l'incertitude porte essentiellement sur la mesure des positions du miroir. L'incertitude portera sur les deux positions du miroir au premier et au nième contraste nul ; elle est estimée selon la perception personnelle d'un contraste nul. Par exemple si on estime une incertitude de position de 0,01mm, cela donne une incertitude de $\sqrt{2} \cdot 0,01\text{mm}$ sur Δx_n . D'après la formule, l'incertitude relative sur $\Delta\lambda$ est égale à l'incertitude relative sur Δx_n . Elle est donc réduite quand on a un grand nombre de brouillages puisque Δx_n croît avec n . On a donc intérêt à mesurer Δx_n sur le plus grand nombre de brouillages possible.

2 Un exemple donné aux CCP en 2014 : Mesure d'une longueur d'onde

- (élève aux CCP) Un Michelson déjà réglé pour observer des franges d'égale inclinaison, une lunette d'observation réglée à l'infini, une lentille de focale 250 mm, un filtre rouge, une lumière blanche, une lampe au Cadmium et un écran font partie du matériel mis à disposition. Il n'est permis de toucher qu'à la vis de chariotage de M_1 . Déterminer la relation $\lambda = \frac{(e-e_0)}{f^2}(r_{k+1}^2 - r_k^2)$ où e est l'abscisse de M_1 , e_0 celle de M_1 à la teinte plate, r_k le rayon de l'anneau k et f la distance focale de la lunette. Observer 4 anneaux dans une lunette (avec $e \simeq 14,00 \text{ mm}$). Mesurer le diamètre des 4 anneaux et introduire dans un tableau excel les mesures du rayon ainsi que le calcul de $(r_{k+1}^2 - r_k^2)$. Déterminer $e - e_0$ en expliquant la méthode pour trouver e_0 . Déterminer λ_{rouge} du Cadmium.
- éléments de réponse:* Le Michelson est réglé en lame d'air puisqu'on observe les franges à l'infini avec une lunette réglée comme tel et qu'on parle ensuite de rayon à mesurer ce qui correspond aux anneaux d'égale inclinaison; la teinte plate correspond à $\delta = 0$; lorsque M_1 est à l'abscisse e le Michelson présente donc une lame d'air d'épaisseur $(e - e_0)$; la différence de marche est donc $\delta = 2(e - e_0) \cos i$; cf cours pour la démonstration de $r_k^2 = kf^2\lambda/(e - e_0)$; on écrit de même pour l'anneau $(k+1)$; par différence on obtient la relation demandée; e_0 se mesure en translatant M_1 jusqu'à observer la teinte plate; pour obtenir une position précise du miroir on remplace la lampe par de la lumière blanche et

on translate M_1 très précautionneusement jusqu'à observer les irisations; on peut alors relever e_0 ; la moyenne des $r_{k+1}^2 - r_k^2$ donne λ . (Rq : cette méthode n'est pas précise pour mesurer λ et ne sert qu'en TP de concours !).

3 Un autre grand classique : la mesure de l'angle entre les 2 miroirs du Michelson

Rappels : Les miroirs présentent un coin d'air . Le faisceau doit être parallèle ; il faut donc un collimateur , ç-à-d une source au point focal objet d'une lentille. Au concours Centrale, ce collimateur est déjà en place et fait partie intégrante du Michelson. La source est un diaphragme qu'on peut choisir entre moins de 1 mm et quelques mm de diamètre. Une source étendue conduit à des franges d'égale épaisseur localisées sur les miroirs. On peut les visualiser en les projetant sur un écran conjugué des miroirs.

Mesure de l'angle du coin : 2 méthodes possibles : mesurer la distance L entre un nombre n suffisant de franges observées sur l'écran; mesurer le grandissement γ (rapport des distances lentille-écran/lentille-miroir) (comme pendant le TP de l'année). Calculer l'interfrange sur les miroirs : $i = L/n\gamma$; l'angle α du coin d'air se déduit des relations de base $2e = p\lambda$ et $e = \alpha x$. Résultat (à savoir retrouver): $\alpha = \frac{\lambda}{2i}$

Autre méthode qui ne demande pas de calculer le grandissement . Si le champ des franges observé est la contribution de toute la surface du miroir, il suffit de compter les franges observées (n) et de mesurer le diamètre D du miroir. Sachant qu'entre 2 franges , la différence de marche a varié de λ , cela correspond à une variation d'épaisseur du coin de $\lambda/2$ (aller-retour du rayon dans le coin d'air). Ainsi l'angle du coin est $\alpha = n\lambda/2D$

Là aussi , il faut savoir évaluer l'incertitude sur l'angle. Elle est principalement due à la mesure des longueurs. Dans la deuxième méthode , la variation relative sur α est égale à la variation relative du diamètre du miroir . Dans la première , il faut combiner les variations relatives des distances d_1 d_2 mesurées pour obtenir le grandissement et celle du champ observé sur l'écran : $\Delta\alpha/\alpha = \sqrt{(\Delta L/L)^2 + (\Delta d_1/d_1)^2 + (\Delta d_2/d_2)^2}$

4 Classique : la mesure de l'épaisseur d'une lame de microscope

- Michelson en coin d'air (cf 3)
- Eclairage : lampe blanche
- Mesures : se placer d'abord sans la lame au contact optique; puis placer la lame sur un des bras du Michelson; observer la disparition des franges; charioter d'une distance D dans le bon sens afin de récupérer les franges.
- Rappel du calcul (qu'on ne vous donnera pas le jour du concours): avant introduction de la lame, la différence de marche est $\delta_{2/1} = 0$ au contact optique. Après avoir placé la lame, elle devient $\delta'_{2/1} = \delta_{2/1} + 2ne - 2e - 2D = 0$ si on a placé la lame sur le bras 2 et donc déplacé le miroir 2 d'une distance D (vers la séparatrice) d'où $D = (n - 1)e$ où n est l'indice de la lame.
- Résultat : $e = D/(n - 1)$

5 Exemples donnés à Centrale en 2014 : Variations autour de la différence de marche nulle

- (élève à Centrale) Michelson déjà réglé, miroir **non chariotable** pendant tout le TP, un système d'autocollimation déjà fait à l'entrée avec un éclairage de lampe à mercure + filtre vert. Le but est de

réglér l'appareil à une différence de marche **nulle**. : Quel type de franges observe t'on ? Localisation ? Comment observer sans projection sur écran ? Sur quel élément doit-on jouer pour obtenir la différence de marche nulle ?

- *éléments de réponse*: Manifestement si le miroir n'est pas chariotable, c'est qu'on est très près du contact optique et que les 2 miroirs sont en coin d'air. On doit donc observer les franges du coin d'air; elles sont localisées sur les miroirs lorsque l'incidence est normale ce qui est réalisé ici avec l'auto-collimation; on les observe à l'oeil nu en accommodant sur le miroir; pour obtenir la d.d.m nulle il faut agir sur le parallélisme parfait ce qui mène au contact optique, il faut donc jouer sur la vis qui fait pivoter un miroir en élargissant de plus en plus l'intervalle entre les franges rectilignes; on va donc passer des franges parallèles à une teinte plate.
- (élève à Centrale) Michelson déjà réglé, miroir **non chariotable** pendant tout le TP, un système d'autocollimation déjà fait à l'entrée avec un éclairage de lampe à mercure + filtre vert. Tout petit trou source. On part de la différence de marche nulle, voir point précédent. Placer un doigt au-dessus d'une des voies du Michelson. Qu'observe t'on ? Expliquer. Estimer les paramètres physiques dont dépend la différence de marche. On donne la variation de l'indice de l'air avec la température $\frac{dn}{dT} = 10^{-6} K^{-1}$. Conclure. En jouant sur un des miroirs observer 5 à 6 franges verticales, remettre le doigt sur une voie, qu'observe t'on ? Estimer la différence de marche introduite.
- *éléments de réponse*: La présence du doigt chauffe l'air d'une voie et modifie l'indice donc la différence de marche. Pour une variation de $1^\circ C$ la variation relative d'indice est de 10^{-6} . Partant de la différence de marche nulle, cela entraîne un déséquilibre des chemins optiques des deux voies, à savoir une différence de $2dn e$ où e est l'épaisseur de la zone chauffée par le doigt ; on peut estimer $e \simeq 5 \text{ cm}$ d'où une valeur de $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ ce qui représente environ $0,15\lambda$, ce qui peut être détectable. Pour voir quelques franges on doit donner un coin d'air en faisant pivoter un des miroirs; si avec le doigt on voit une frange se décaler d'un interfrange cela signifie que la différence de marche a varié d'une longueur d'onde.

6 Questions posées sur le réglage

- (élèves à Centrale) Le Michelson est déjà réglé avec un éclairage d' une lampe spectrale munie d'un filtre vert suivie d'un collimateur (ç-à-d d'un diaphragme plus lentille au foyer objet qui assure le faisceau parallèle incident). Le tout est bien sur l'axe. L'élève doit suivre le protocole : se placer avec le plus petit trou source possible. Placer une feuille sur un des miroirs. Qu'observe t-on ? Que peut-on alors régler ? Enlever la feuille. Que voit-on ? Que peut-on régler ? On voit des franges. Où les observe t-on ? Quel type de franges ? (Rq : la séparatrice et compensatrice sont réglées d'office).
- *éléments de réponse* : Lorsque un des miroirs est caché on observe une tache due à la réflexion sur l'unique miroir. (Si d'autres taches moins lumineuses apparaissent , elles sont dues aux réflexions supplémentaires sur la séparatrice et compensatrice ; normalement ce système doit être réglé). On peut jouer sur la vis de réglage grossier du miroir non caché pour placer la tache bien au centre du champ de vision (pourvu que la source soit bien centrée sur l'axe mais le dispositif à Centrale est bien fait pour assurer cela). Quand on enlève la feuille qui cache un miroir on observe alors les réflexions sur les deux miroirs , donc 2 taches . On peut alors régler le parallélisme grossier des deux miroirs en agissant sur les vis de réglage grossier d'inclinaison du 2ème miroir jusqu'à ne voir qu'une seule tache. Elargir le trou source : on voit des franges assimilables aux franges d'égale inclinaison si les miroirs sont en lame d'air (perfectionner le parallélisme avec les vis de réglage grossier , puis fin selon la technique de la respiration). Si le trou source est étendu alors les anneaux sont localisés à l'infini.

7 Mémo sur quelques fondamentaux du Michelson

7.1 Lumière blanche et teintes de Newton

Pour voir les teintes irisées de la lumière blanche, éclairer d'abord avec une lampe spectrale, déplacer le miroir mobile dans le sens qui diminue le nombre d'anneaux, ce qui revient à faire rentrer les anneaux. Se placer **avant** le contact optique ($e = 0$) et mémoriser le sens de chariotage permettant de passer par le contact optique.

Remplacer la lampe spectrale par une lampe blanche.

Continuer le chariotage **lentement dans le bon sens**. Des couleurs doivent apparaître : il s'agit des teintes de Newton. On peut alors relever la position du miroir : elle correspond au contact optique.

7.2 Réglage en coin d'air (ou franges d'égale épaisseur)

Pour les obtenir il faut :

- éclairer l'interféromètre sous incidence quasi normale avec une source assez étendue (former un collimateur, si celui-ci n'est pas déjà en place, à l'aide d'un diaphragme et d'une lentille au foyer objet pour assurer un faisceau parallèle .
- la différence de marche vaut : $\delta = 2\alpha x$ (on suppose être au voisinage du contact optique)
- elles sont localisées sur les miroirs pour une source étendue (projeter sur un écran à l'aide d'une lentille de focale moyenne **ATTENTION : la distance objet (ç-à-d miroir) - écran doit être supérieure à $4f'$**)

7.3 Rappels des réglages

- 1) A l'oeil, placer le miroir chariotable à égale distance de la séparatrice que le miroir fixe.
- 2) Régler les vis de réglage d'inclinaison fin à mi-course.
- 3) L'idée est de réaliser un faisceau de lumière parallèle incidente. Placer la lampe spectrale suivie d'un dépoli (pour ne pas être ébloui dans l'observation) suivi d'un diaphragme (trou) assez petit pour former un trou source, suivi d'une lentille de focale "normale" (10 cm par exemple) et on fait une autocollimation pour former un faisceau parallèle incident. S'assurer que le rayon est dans l'axe de l'entrée du Michelson. On cache alors un des miroirs (le mobile par exemple) avec une feuille de papier. On agit sur les vis d'inclinaison du miroir fixe pour centrer l'image.
- 4) On enlève alors le cache. On agit sur les vis de réglage grossier d'inclinaison du miroir mobile de façon à superposer les 2 taches lumineuses dues à la réflexion sur chaque miroir. On règle alors le parallélisme grossier des deux miroirs.
- 5) On agrandit le diaphragme (cela permet d'obtenir plus d'angles d'incidence) et on retouche au réglage grossier pour espacer les franges , jusqu'à obtenir les anneaux bien centrés . On atteint alors le réglage en lame d'air.
- 6) A l'aide des vis de réglage fin, supprimer la respiration.
- 7) Se rappeler qu'on modifie le nombre d'anneaux en chariotant le miroir , ç-à-d en modifiant l'écart de la lame d'air.