

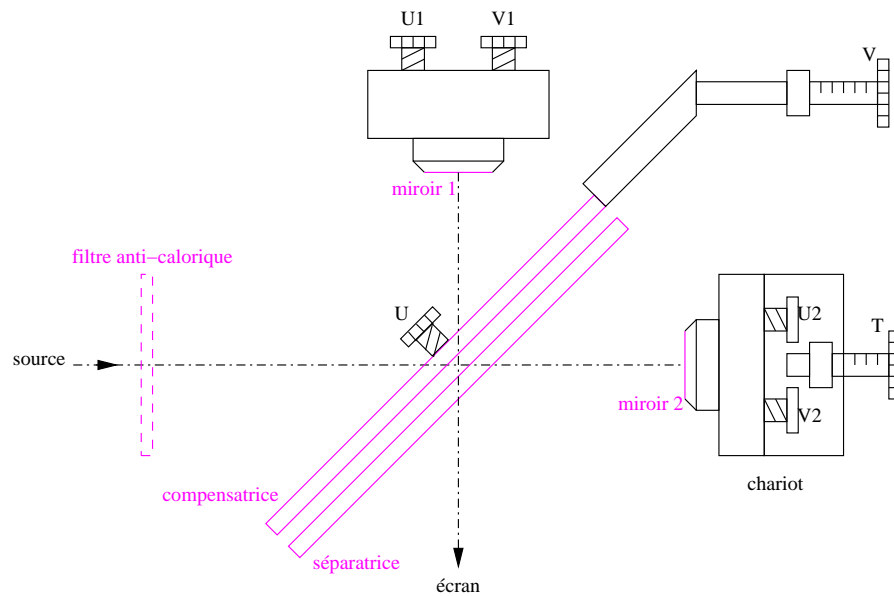
TP numéro 10 : optique physique (3)

Interféromètre de Michelson en lumière monochromatique

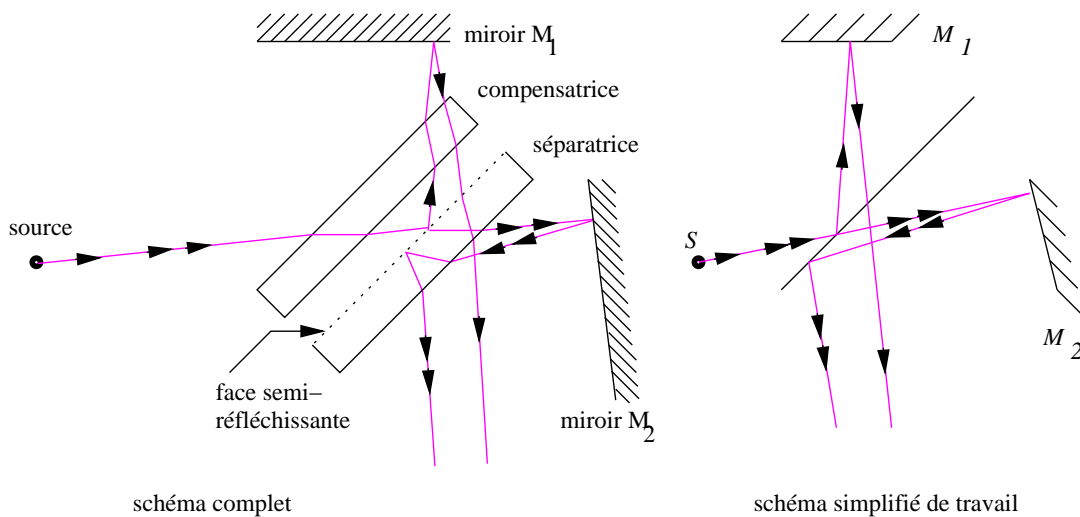
PC, 23 janvier 2009

1 Description et réglage de l'interféromètre de Michelson

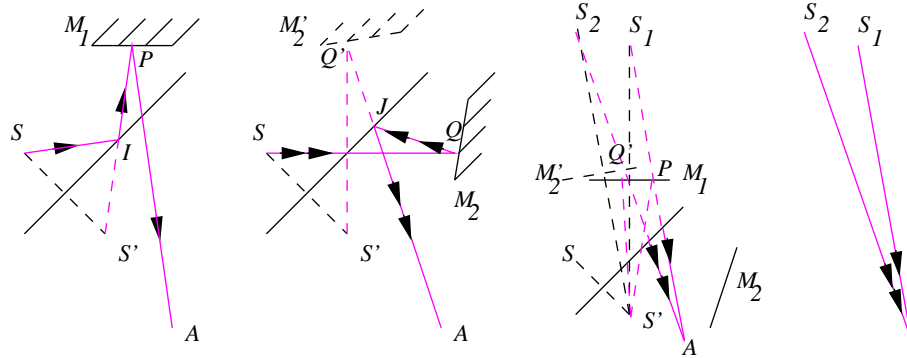
- L'interféromètre de Michelson est constitué de deux miroirs plans sensiblement orthogonaux, d'une lame semi-réfléchissante appelée **séparatrice** et d'une lame transparente appelée **compensatrice**.



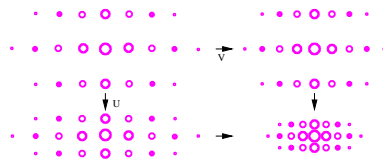
- La compensatrice ne sert qu'à restaurer la symétrie entre les trajets optiques des deux faisceaux : son épaisseur est égale à celle de la lame séparatrice.



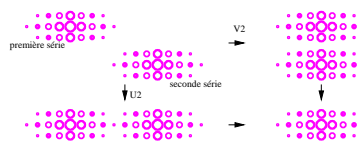
- On obtient le dispositif équivalent en procédant au **repliage** de l'interféromètre : en présence d'un miroir, tout se passe comme si une source virtuelle émettait depuis le point symétrique orthogonal par rapport au plan du miroir.



- Il y a donc superposition des deux ondes et le champ d'interférences \mathcal{Z}_I est l'espace situé après la séparatrice. Lorsque les franges sont observables dans \mathcal{Z}_I , on parle d'**interférences non localisées**. Si les franges ne sont observables que sur une portion de \mathcal{Z}_I (en particulier sur M_1 ou à l'infini), on parle d'**interférences localisées**.
- Le réglage de l'interféromètre de Michelson est satisfaisant lorsque :
 - la séparatrice et la compensatrice sont parfaitement parallèles ;
 - les miroirs sont au **contact optique**, c'est-à-dire qu'ils sont parfaitement orthogonaux et que l'épaisseur e de la lame d'air (voir le paragraphe suivant) est nulle.
- Les vis U1 et V1 (respectivement U2 et V2) commandent l'inclinaison du miroir M_1 (resp. M_2). Les vis U permettent un réglage grossier, les vis V un réglage fin. La vis V commande l'inclinaison de la compensatrice. La vis U commande la position de la compensatrice. La vis T commande la translation du chariot portant M_2 . La **procédure de réglage** est la suivante.
 1. Mettre U1 et V1 à mi-course.
 2. Déplacer le chariot grâce à T pour obtenir e faible par estimation visuelle.
 3. Installer une source LASER en entrée et placer un écran en sortie : on obtient deux séries de taches, une pour chaque miroir ; chaque série est due aux réflexions multiples du faisceau entre la séparatrice et la compensatrice.
 4. Rassembler au mieux les taches à l'intérieur de chaque série (les deux séries évoluent simultanément) : U et V agissent sur le rapprochement dans deux directions perpendiculaires.

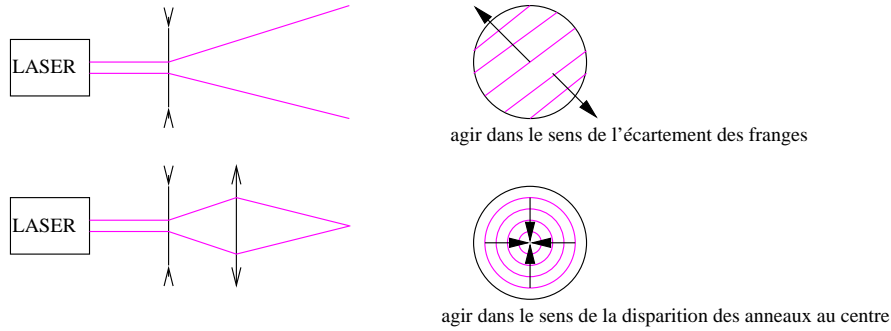


5. Superposer les deux séries de taches en agissant sur les vis d'inclinaison de M_2 : U2 et V2 agissent dans deux directions perpendiculaires.



6. Placer une lentille très divergente (ou très convergente) devant le LASER pour élargir le faisceau. On obtient sur l'écran des franges parallèles (ce sont les franges du coin d'air).
7. Agir sur U1 et V1 dans le sens tel que les franges s'écartent et s'arrêtent lorsqu'elles ne sont plus visibles (elles sont alors très écartées).
8. Focaliser le faisceau sur les miroirs avec une lentille convergente. On obtient des anneaux concentriques.

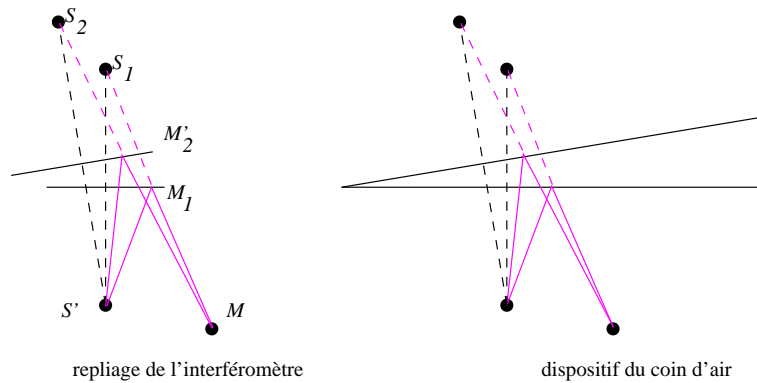
9. Agir sur T dans le sens tel que les anneaux semblent se fermer et disparaître au centre jusqu'à ce que ce mouvement s'inverse. Au point de retournement, on est proche du contact optique. Noter la graduation de la vis micrométrique T afin de restaurer le réglage rapidement en cas de fausse manœuvre.



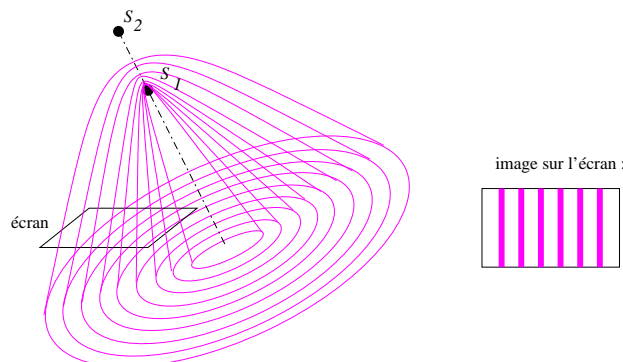
Le réglage peut encore être affiné au cours des études qui sont décrites dans la suite de cette section.

2 Coin d'air en lumière monochromatique

- La figure détaillant le repliage de l'interféromètre réalisée lorsque M_1 et M_2 ne sont pas orthogonaux s'assimile à celle du **coin d'air**.



- La différence de marche dans le dispositif du coin d'air est $\delta = (S_2M) - (S_1M) = S_2M - S_1M$. Les franges d'interférence sont **non localisées**, c'est-à-dire qu'elles sont présentes dans la totalité du champ d'interférences. Pour une source ponctuelle de lumière monochromatique, elles sont définies par $\delta = cste$: ce sont donc des **hyperboloïdes de révolution** d'axe la droite passant par S_1 et S_2 . Lorsqu'on place un écran parallèlement au miroir M_1 et relativement loin du dispositif, on observe une section excentrée de ces surfaces par un plan qui s'assimile à des raies parallèles.



- ▶ On obtient une source ponctuelle de lumière monochromatique en plaçant un LASER (source d'un faisceau de lumière parallèle) derrière un condenseur, lentille de grande vergence, constitué en l'occurrence par un objectif de microscope : le faisceau LASER parallèle converge alors vers le foyer image F' du condenseur qui se comporte comme une source ponctuelle de lumière très cohérente et bien monochromatique.
- ▶ On peut observer des interférences localisées sur M_1 en utilisant une lentille convergente et en formant l'image de ce miroir sur l'écran.

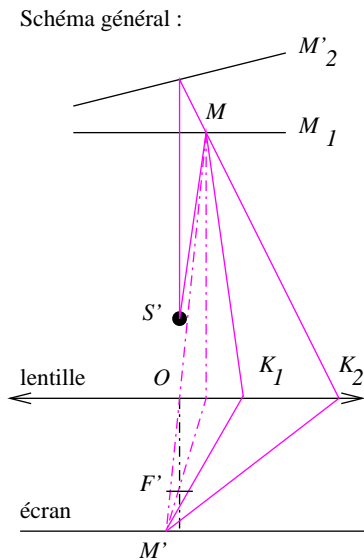
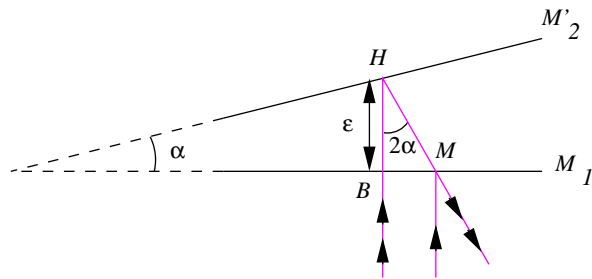


Figure agrandie :



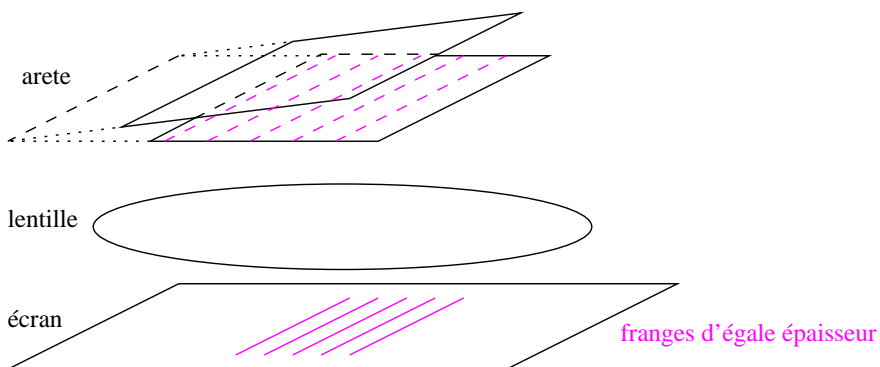
- ▶ On suppose que α est un petit angle et on note ε l'écartement des miroirs en M .
Calcul de δ :

$$\delta = 2\varepsilon$$

- ▶ Les franges d'interférences **localisées** sur M_1 pour une source ponctuelle monochromatique, définies par $\delta = cste$ sont donc définies par $\varepsilon = cste$ et forment des raies parallèles à l'arête intersection des plans des deux miroirs : on les appelle les **franges d'égale épaisseur**.
- ▶ Calcul de l'interfrange :

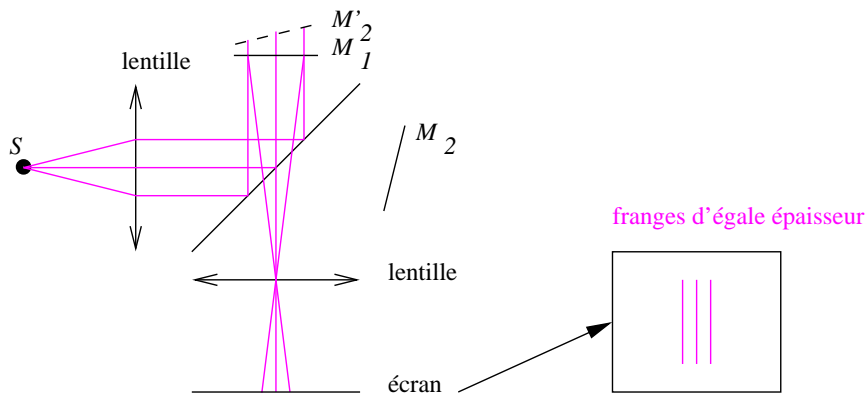
$$i = \frac{f'\lambda}{2\alpha(D-f')}$$

Quand on diminue l'écartement angulaire des miroirs, les franges s'écartent progressivement et disparaissent lorsque $\alpha = 0$.



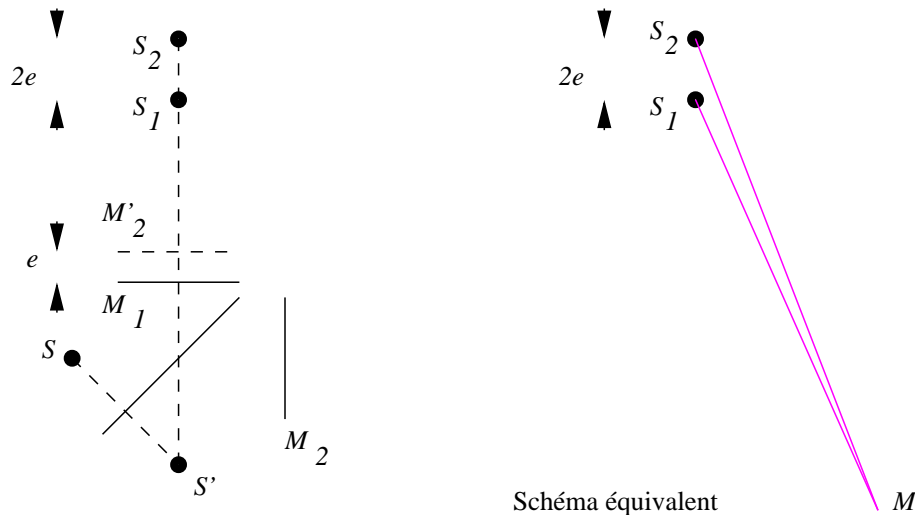
- Pour une **source étendue** de lumière, les franges non localisées ne sont plus observables, tandis que les franges localisées d'épaisseur restent observables sous la forme de **raies parallèles**.

Justification :

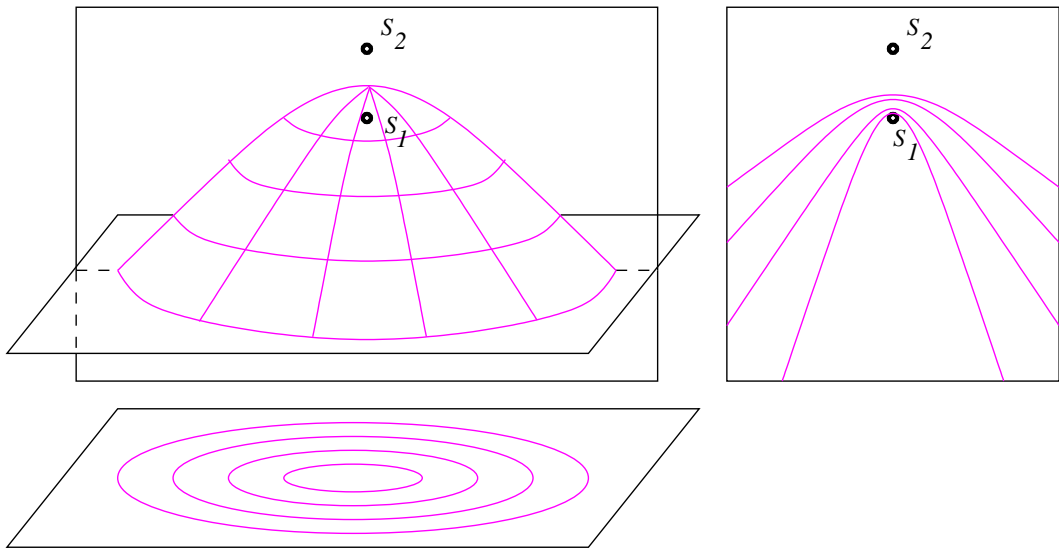


3 lame d'air en lumière monochromatique

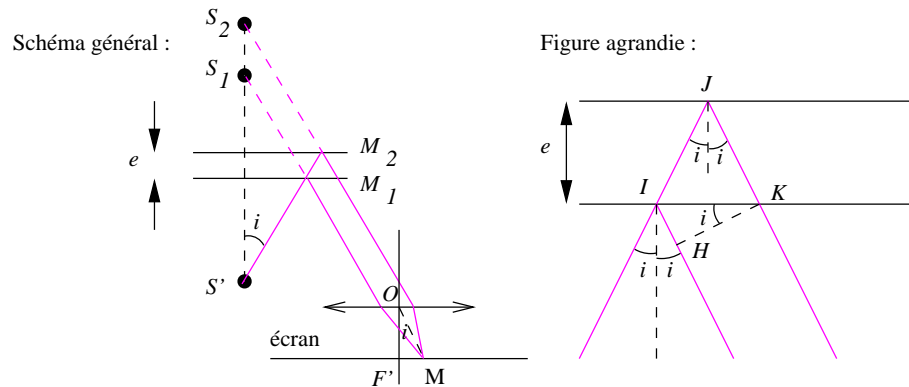
- Lorsque les **miroirs** M_1 et M_2 de l'interféromètre de Michelson sont **orthogonaux**, celui-ci est équivalent à une **lame d'air**.



- La différence de marche dans le dispositif de la lame d'air est $\delta = (S_2M) - (S_1M) = S_2M - S_1M$. Les franges d'interférence **non localisées** pour une source ponctuelle de lumière monochromatique, définies par $\delta = cste$ sont donc des **hyperboloïdes de révolution** d'axe la droite passant par S_1 et S_2 . La section par un plan perpendiculaire à cet axe est donc un cercle : les franges sur un écran ainsi placé sont donc des cercles concentriques.



- On peut observer les interférences à l'infini en utilisant une lentille convergente et en plaçant l'écran dans son plan focal image.



- En M sur l'écran interfèrent les rayons lumineux faisant un angle i avec la direction de l'axe des sources S_1 et S_2 .
Calcul de δ :

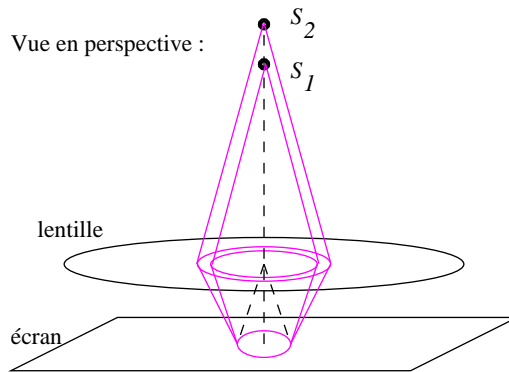
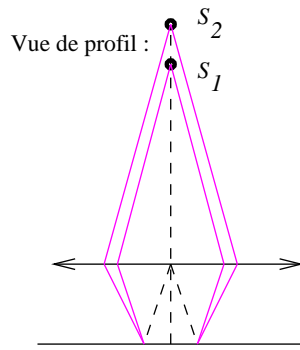
$$\delta = 2e \cos i$$

- Les franges d'interférence localisées à l'infini pour une source ponctuelle de lumière monochromatique, définies par $\delta = cste$ sont donc définies par $i = cste$ et forment des **cercles concentriques** sur l'écran dans le plan focal de la lentille convergente : on les appelle des franges d'égale inclinaison.

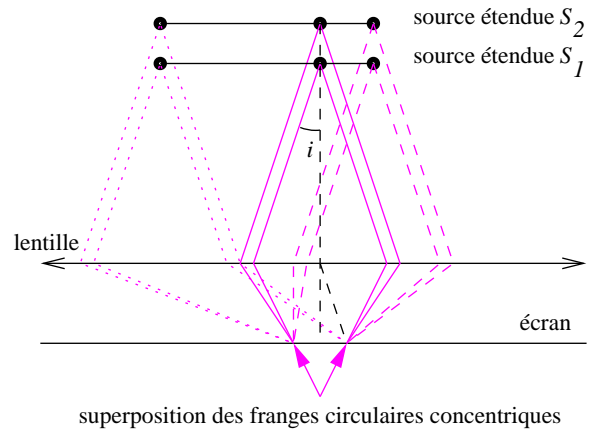
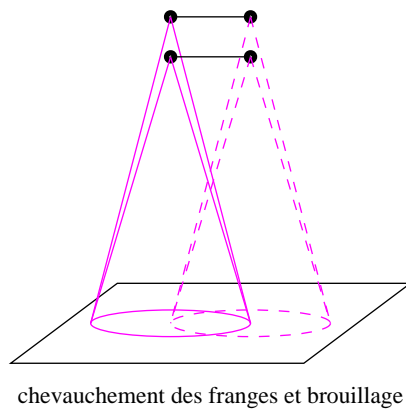
- Calcul du rayon des franges :

$$r_q = \sqrt{\frac{f'^2 \lambda}{e}} \cdot \sqrt{q}, \quad q \in \mathbb{N}$$

Quand on diminue l'épaisseur e de la lame, le rayon des anneaux augmente et le nombre d'anneaux visibles diminue. Au contact optique ($e = 0$), le disque central brillant envahit la totalité de l'écran : c'est la **teinte plate**.



- Pour une **source étendue** de lumière monochromatique, les franges non localisées ne sont plus observables, tandis que les franges d'égale inclinaison restent observables sous la forme de
 - les franges circulaires associées à chaque point de la source sont décalées sur un écran placé directement face au dispositif (interférences non localisées), elles se chevauchent et se brouillent ;
 - elles restent concentriques sur l'écran placé dans le plan focal d'une lentille convergente (interférences localisées) car le point frappé ne dépend que de l'angle d'incidence i sur la lentille ; elles se superposent et donnent des franges circulaires qui restent distinctes.



- Au voisinage de la teinte plate, les franges peuvent devenir légèrement elliptiques : la compensatrice peut alors être finement réglée en agissant avec le plus de précautions possible sur U et V afin de retrouver des franges circulaires. La teinte plate est le signe incontestable que le réglage du Michelson est accompli, et c'est souvent la garantie d'une bonne note au TP de concours.

Exercice

Un interféromètre de Michelson est réglé en coin d'air. Il est éclairé par une source ponctuelle de lumière monochromatique de longueur d'onde λ . On interpose devant le miroir M1 une lame à faces parallèles de mica d'épaisseur e inconnue et d'indice n connu. La figure d'interférences non localisées observée sur un écran montre un décalage, par rapport à la situation sans lame, de $k = 17$ franges. En déduire l'indice n du mica. Déterminer l'incertitude relative $\frac{\Delta n}{n}$ en fonction des incertitudes relatives des autres paramètres.