Partie C. Interféromètre de Michelson. Etude de défauts de planéité de miroirs métalliques.

On considère un interféromètre de Michelson « théorique » dans lequel la lame séparatrice est considérée comme idéalement fine. Il n'y a pas de compensatrice. La séparatrice introduit un déphasage supplémentaire égal à π pour une des deux ondes : celle qui s'y réfléchit dès l'entrée. On suppose en outre que les éclairements dus à chacune des deux ondes qui émergent de l'interféromètre sont égaux ; on les note ε_0.
Soit M'_2 le symétrique du miroir M_2 par la séparatrice.

1) On considère un système optique centré afocal, constitué de deux lentilles convergentes L_1 et L_2 de distances focales f'_1 et f'_2, avec $f'_1 < f'_2$. Le faisceau lumineux traverse d'abord L_1. Ce système reçoit un faisceau de lumière parallèle cylindrique de révolution, de diamètre d, dont l'axe de symétrie est confondu avec l'axe optique du système. Exprimer le diamètre d' du faisceau en sortie.
Application numérique : $f'_1 = 5$ mm et $f'_2 = 150$ mm.
Quel est l'intérêt de ce dispositif ?

2) L'interféromètre est réglé en « lame d'air », et éclairé par une onde plane, monochromatique de longueur d'onde λ, arrivant avec une incidence de 45° sur la séparatrice. M_1 est parallèle à Ox et M_2 est parallèle à Oy. La direction de l'onde plane incidente est parallèle à Ox. Soit e la distance **algébrique** entre M_1 et M'_2.

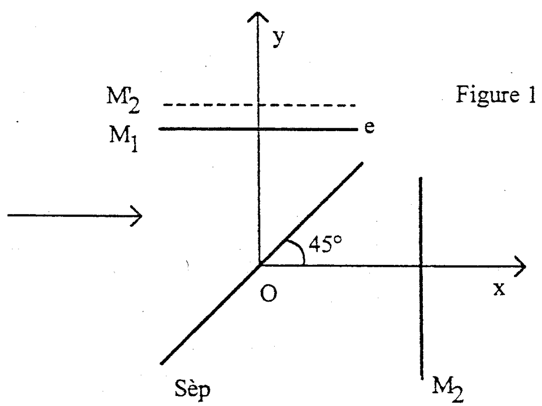


Figure 1

On recueille les faisceaux émergents sur un écran translucide plan parallèle au miroir M_1.

2-a) Quel est l'aspect de ce plan pour une distance e donnée ? Exprimer l'éclairement ε.

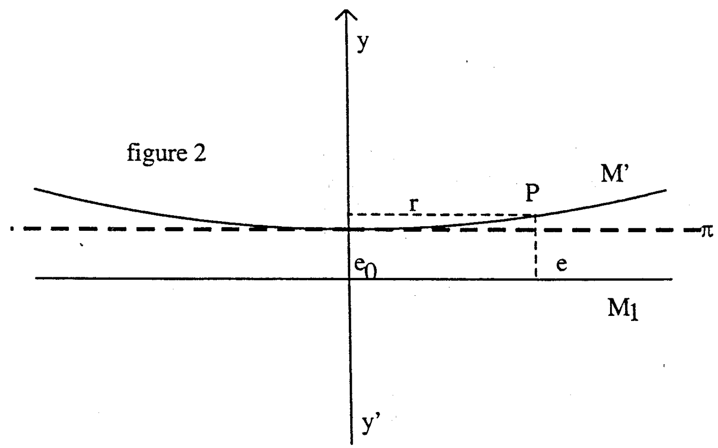
2-b) Comment varie l'éclairement ε si e varie ?
Est-il possible de repérer la position correspondant à $e = 0$?
Montrer simplement, sans calculs, que l'utilisation d'une source de lumière blanche permet de résoudre ce problème

3) On admet que la condition $e = 0$ est réalisée. La source est monochromatique, de longueur d'onde λ. On incline alors M_2 d'un angle α faible. On éclaire l'ensemble par une source monochromatique, de longueur d'onde λ, de telle sorte que l'on observe des franges d'interférences localisées du coin d'air.
Préciser les conditions de leur observation. Exprimer l'interfrange i sur la surface de localisation, en fonction de α et λ.

4) Le miroir M_2, initialement plan et tel que M'_2 soit parallèle à M_1, s'est déformé et est devenu sphérique. On admettra que le centre de la sphère M' symétrique de M_2 par rapport à la séparatrice, de rayon R, se trouve sur l'axe y'y, qui est donc axe de symétrie de M'. Le dispositif est éclairé comme dans la question 3.

4-a) Soit e_0 la distance entre M_1 et le plan π, tangent à M' et parallèle à M_1.
Exprimer l'épaisseur d'air e entre M_1 et M', pour un point P de M', en fonction de e_0, r et R. (Voir figure 2). On remarquera que les conditions d'observation impliquent les approximations : $r \ll R$ et $e_0 \ll R$.
4-b) Avec les approximations précédentes, exprimer la différence de marche δ en un point P situé à la distance r de l'axe y'y . Montrer que, dans les même conditions d'observation que les franges du coin d'air, l'on observe des anneaux localisés au voisinage de M'_2.

figure 2



4-c) Déterminer l'ordre p_0 au centre des anneaux en fonction de e_0 et λ. On utilise l'indice k pour repérer les anneaux brilants, sachant que k = 1 correspond au premier anneau brillant à partir du centre de la figure d'interférences, de rayon R_1 sur la surface de localisation. Calculer le rayon R_k du kième anneau brillant en fonction de R_1, de k, λ et R.

4-d) On veut déterminer si M_2 est devenu concave ou convexe. Pour cela on déplace M_2 par translation vers la séparatrice : π reste parallèle à M_1. Montrer que l'observation du phénomène permet de donner une réponse à cette question .

4-e) Exprimer le rayon R de la sphère en fonction des rayons du kième et du (k+1)ième anneaux.