

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**GENIE OPTIQUE**
option PHOTONIQUE**Epreuve de PHYSIQUE APPLIQUEE****Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE****Durée 2 heures 30****coefficient 2,5**

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Matériel autorisé :**Calculatrice conformément à la circulaire n°99-186 du 16/11/1999**

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.

Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.

Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.

Tout autre matériel est interdit

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte : 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9

Document à rendre avec la copie :
ANNEXEpage 9/9

MESURE DE DEPLACEMENTS ET DE DEFORMATIONS

Le dispositif permettant la mesure de déplacements ou de déformations est basé sur la modulation d'un réseau d'interférences.

Un capteur interférométrique, élément essentiel du dispositif, permet de créer ces interférences. La détection et la mesure sont assurées par un système d'imagerie numérique.

Le dispositif expérimental (**figure 1**) comporte :

- un capteur interférométrique ou interféromètre constitué d'une cavité d'air comprise entre deux lames de verre ;
- un laser He-Ne qui éclaire l'interféromètre ;
- une optique d'adaptation ;
- une lame semi-réfléchissante ou séparatrice ;
- un ensemble de détection comprenant une caméra CCD et son système d'acquisition.

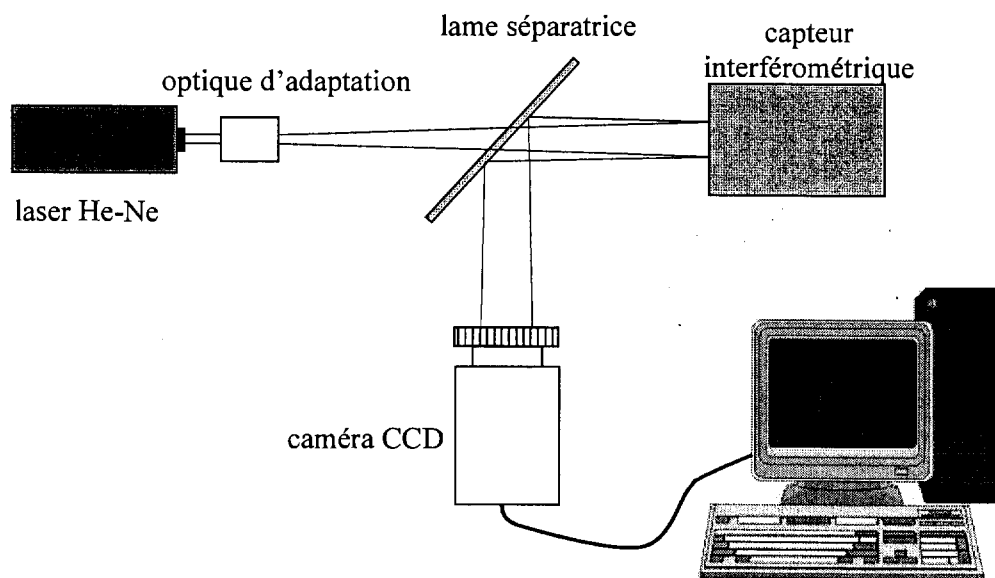


Figure 1 : Dispositif expérimental

L'étude qui suit est constituée de questions indépendantes.

A. Étude du laser et de l'optique d'adaptation (5 points)

Le laser utilisé est un laser He-Ne. Une optique d'adaptation permet d'élargir le faisceau laser pour éclairer le plus uniformément l'interféromètre.

Données :

Laser He-Ne :

- Longueur d'onde dans le vide $\lambda = 632,8 \text{ nm}$
- Puissance $P = 10 \text{ mW}$
- Diamètre au waist $d_0 = 2w_0 = 1,2 \text{ mm}$
- Polarisation rectiligne

Faisceau gaussien :

- Variation de la largeur du faisceau : $w(z) = w_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ avec $z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$

- Divergence α du laser : $\alpha = 2\theta = \frac{2\lambda}{\pi w_0}$

- L'optique d'adaptation est située à 10 cm du waist du laser

1. Faisceau laser

- 1.1 Calculer la divergence du faisceau laser
- 1.2 Montrer que le diamètre du faisceau laser à l'entrée de l'optique d'adaptation est proche de d_0 .
- 1.3 Quel élément optique peut-on placer juste après le laser permettant de réduire la puissance du faisceau arrivant sur l'optique d'adaptation ?

2. Optique d'adaptation

L'optique d'adaptation est un système afocal constitué de deux lentilles minces convergentes.

- 2.1 Le faisceau élargi par l'afocal à une section de $7,0 \text{ cm}^2$, calculer le grandissement en valeur absolue de l'expasseur ainsi réalisé.
- 2.2 Représenter sur la copie le schéma du dispositif afocal (sans échelle) en indiquant la position des foyers des lentilles et tracer le trajet d'un rayon incident parallèle à l'axe optique.
- 2.3 Donner le rapport des focales des deux lentilles.

B. Étude du capteur interférométrique (10 points)

Le capteur interférométrique (**figure 2**) est constitué de deux plaques de verre rectangulaire ($10\text{ cm} \times 12\text{ cm}$) de 2 mm d'épaisseur. Ces plaques peuvent former une lame d'air à faces parallèles ou un coin d'air .

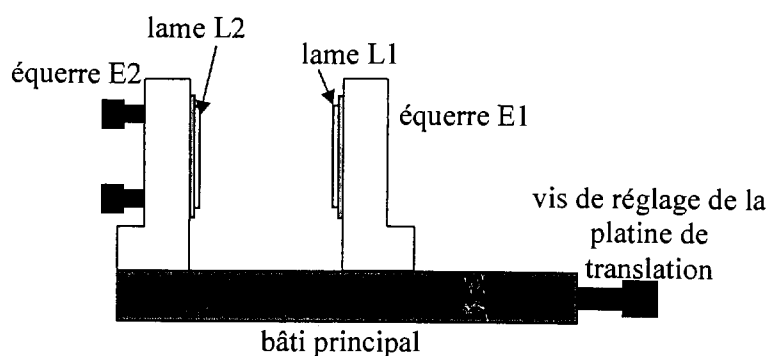


Figure 2 : Capteur interférométrique

L'interféromètre comporte les éléments principaux suivants :

- le bâti principal qui sert de base rigide à l'ensemble des composants ;
- une platine de translation horizontale qui permet la variation de l'épaisseur de la cavité de 0 mm à 66 mm ;
- une équerre E1 verticale et solidaire de la platine de translation, elle sert de support pour la lame de verre L1 qui peut être traduite ;
- une seconde équerre E2 verticale, fixe, elle supporte la lame de verre L2 qui peut être orientée.

1. Modélisation de l'interféromètre

Les lames de verre de l'interféromètre L1 et L2 ont subi un traitement antireflet, L1 sur sa face d'entrée et L2 sur sa face de sortie (**figure 3**).

L'amplitude du rayon incident est notée a celles des rayons réfléchis sont notées respectivement a_1, a_2, a_3, \dots

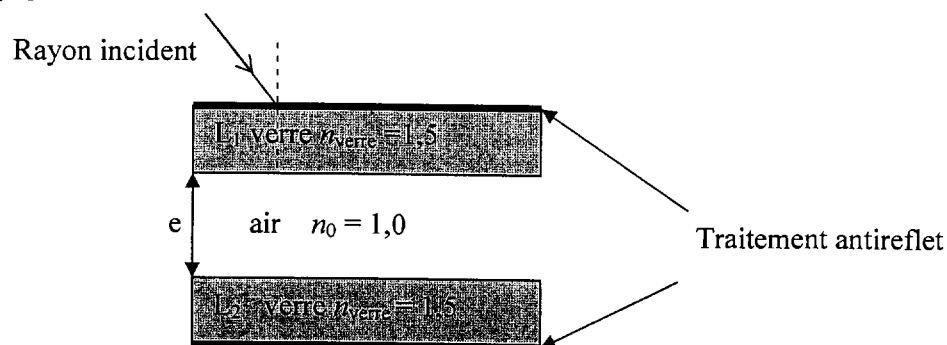


Figure 3 : Lames de verre de l'interféromètre

Données :

- Les lames de l'interféromètre sont taillées dans du verre d'indice $n_{\text{verre}} = 1,5$
- Indice de l'air : $n_0 = 1,0$
- On admettra que les coefficients de réflexion r et de transmission t en amplitude d'une onde lumineuse sur un dioptré $n_1 \rightarrow n_2$ ont pour expression:

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \text{ et } t = \frac{2 \cdot n_1}{n_1 + n_2}$$

1.1 Calculer les coefficients de réflexion $r_1 = r_{\text{air} \rightarrow \text{verre}}$ et $r_2 = r_{\text{verre} \rightarrow \text{air}}$ et les coefficients de transmission $t_1 = t_{\text{air} \rightarrow \text{verre}}$ et $t_2 = t_{\text{verre} \rightarrow \text{air}}$.

1.2 Compléter le **document 1 de l'annexe à rendre avec la copie** (sans échelle), en traçant les trois premiers rayons réfléchis.

1.3 On admet que seuls les deux premiers rayons réfléchis interfèrent et qu'ils ont la même amplitude $a_1 = a_2 = a_0$. On note I_0 l'intensité de ces deux premiers rayons réfléchis et φ le déphasage entre les deux vibrations. Montrer que l'intensité résultant des interférences entre les deux vibrations s'écrit :

$$I = 2 \cdot I_0 \cdot (1 + \cos \varphi)$$

2. Utilisation en lame d'air

L'interféromètre est à présent modélisé par une lame d'air comprise entre deux lames infiniment minces (**figure 4**). Les changements de phase par réflexion ne sont pas pris en compte.

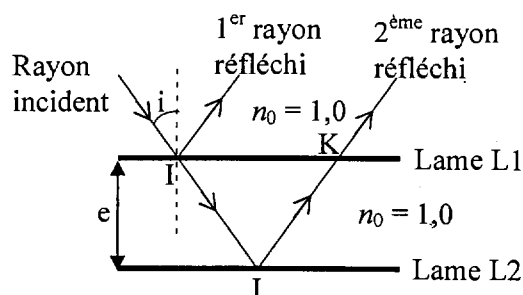


Figure 4 : Lame d'air

2.1 Calcul de l'intensité

On admet que l'interféromètre est éclairé par une source étendue monochromatique de longueur d'onde λ .

2.1.1 Donner l'expression de la différence de marche entre les deux rayons réfléchis.

2.1.2 En déduire l'expression du déphasage φ .

2.1.3 A partir de l'expression donnée à la question B.1.3, donner l'expression de l'intensité I obtenue à l'infini dans la direction i en fonction de e , n_0 , i et I_0 l'intensité associée à un seul rayon.

2.2 Image des franges

La lame d'air qui modélise l'interféromètre est éclairée par le faisceau laser élargi. Ce faisceau est légèrement divergent (i faible). On intercale une lame semi-réfléchissante ou séparatrice (**figure 5**) pour enregistrer la figure d'interférence à l'aide d'une caméra CCD.

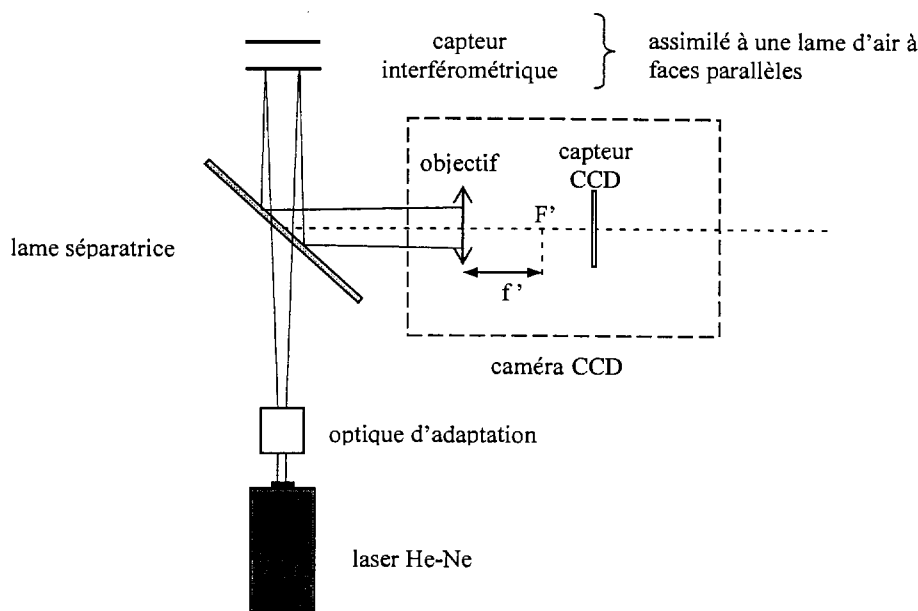


Figure 5 : Montage optique permettant d'enregistrer la figure d'interférence.

Données :

- L'objectif de la caméra est assimilé à une lentille mince convergente de distance focale $f' = 50$ mm
- Epaisseur de la lame d'air $e = 1,450$ cm
- Longueur d'onde dans le vide du laser He-Ne $\lambda = 632,8$ nm.
- Pour i petit : $\cos(i) \approx 1 - \frac{1}{2}i^2$ et $\tan(i) \approx i$

2.2.1 Quelle doit être la position du capteur CCD par rapport à l'objectif de la caméra assimilé à une lentille mince convergente de focale $f' = 50$ mm ?

2.2.2 Donner l'ordre d'interférence p_0 au centre ($i = 0$) de la figure en fonction de e , n_0 . Montrer que le centre est brillant.

2.2.3 Compléter le **document 2 de l'annexe à rendre avec la copie** en faisant apparaître le rayon de l'anneau observé sur le capteur CCD.

2.2.4 Montrer que le rayon du premier anneau sombre peut s'écrire :

$$R = f' \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{2 \cdot n_0 \cdot e}}$$

2.2.5 Calculer le rayon du premier anneau sombre.

C. Mesure de déformation (5 points)

1. Interférences de coin d'air

1.1 Réglages du coin

Grâce aux vis de réglages du support de la lame L2, l'interféromètre forme à présent un coin d'air dont l'arête est parallèle aux côtés verticaux des plaques. Le faisceau issu du laser He-Ne qui éclaire le dispositif est sous incidence quasi normale. On suppose que les franges sont visibles sur la lame L1 de l'interféromètre. La caméra est réglée pour former l'image d'une portion de cette lame L1 sur le capteur CCD. Les franges observées sont verticales et le grandissement de l'objectif est égal à 1 en valeur absolue. On admettra qu'il n'y a pas de changement de phase par réflexion.

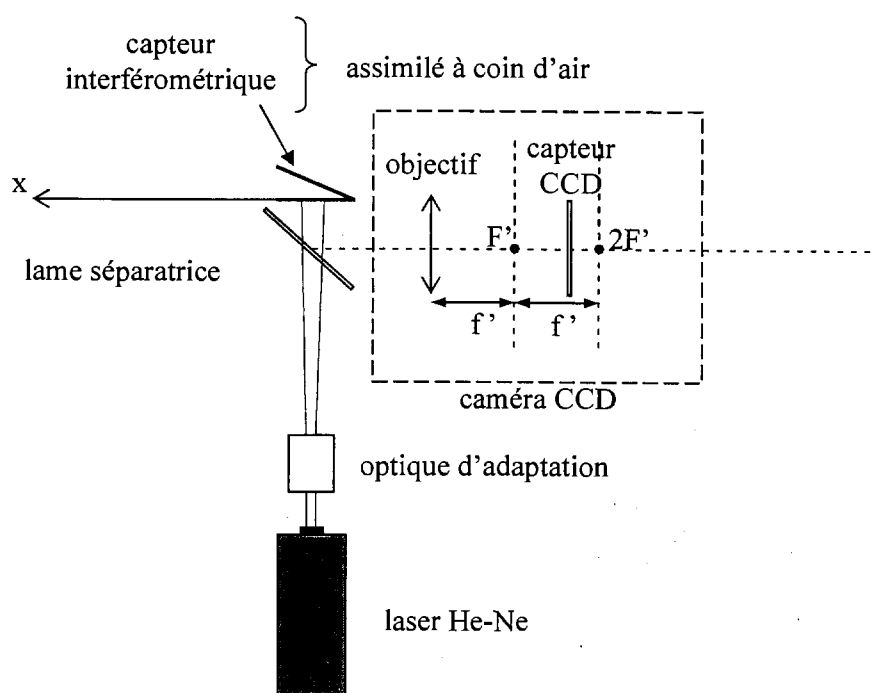


Figure 6 : Montage optique en coin d'air

Données :

- Indice de l'air est $n_0 = 1$.
- Incidence normale signifie donc : $i = 0$; $\cos(i) = 1$
- Grandissement de l'objectif égal à 1 (en valeur absolue)
- Longueur d'onde dans le vide du laser He-Ne : $\lambda = 633 \text{ nm}$.

1.1.1 Pourquoi les franges sont-elles verticales ? Quel est le réglage correspondant à la valeur du grandissement ?

1.1.2 Donner l'expression de la différence de marche due au coin d'air en fonction de l'épaisseur locale $e(x)$.

1.1.3 En déduire, à partir de l'expression donnée à la question B.1.3, l'expression de l'intensité $I(x)$ en fonction de $e(x)$, λ et I_0 l'intensité associée à un seul rayon.

1.2 Déformation de la cavité

La déformation de la cavité optique est obtenue par l'action d'un deuxième faisceau laser (diode laser de puissance en mode pulsé à 800 nm) sur la lame L2 recouverte d'une couche de gélatine qui absorbe le faisceau dit d'excitation. L'échauffement qui en résulte provoque une déformation mécanique et donc une variation d'épaisseur de la cavité. On suppose que pour cette question la déformation est uniforme et réversible.

On note Δe la variation en valeur absolue de l'épaisseur locale du coin d'air, cette grandeur est fonction du temps. On rappelle que avant l'excitation l'épaisseur locale est $e(x)$, pendant et après l'excitation $e(x) - \Delta e$.

On donne : $e(x) = 1,899$ mm à l'abscisse x considérée.

1.2.1 Montrer que pour $\Delta e = 0$; $I(x) = 4I_0$.

1.2.2 Compléter le tableau du document 3 de l'annexe à remettre avec la copie.

2. Méthode de suivi des niveaux de gris

Pour avoir accès à la variation de l'épaisseur de la lame en un point donné, on exploite les images enregistrées périodiquement et on suit l'évolution du niveau de gris d'un seul pixel. On obtient alors la variation de l'intensité de ce pixel (en niveau de gris) en fonction du temps (figure 7). Cette intensité est ensuite convertie en déplacement.

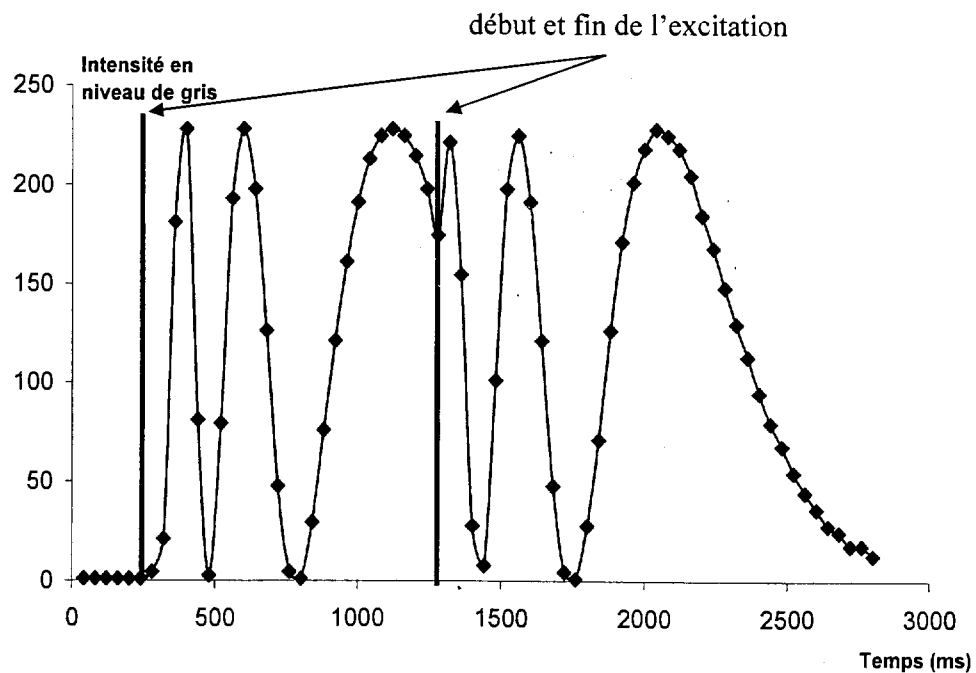


Figure 7 : Intensité du niveau de gris en fonction du temps

2.1 Exploitation de la courbe

2.1.1 Quelle est la valeur de Δe pour $400 \text{ ms} < t < 500 \text{ ms}$?

2.1.2 On montre que le déplacement de la lame, pour cet enregistrement, en fin d'excitation peut s'écrire :

$$d = d_{\max} = \Delta e = N_1 \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4\pi} \arccos\left(\frac{2I}{I_{\max}} - 1\right)$$

où N_1 est le nombre de « pics » **entiers** (encadrés par deux minima quasi-nulle) d'intensité en niveau de gris ayant défilé pendant l'excitation, I intensité en niveau de gris correspondant à la fin de l'excitation et I_{\max} intensité maximale en niveau de gris.

En déduire la valeur de $d = d_{\max}$ pendant la durée de l'excitation.

2.2 Validation de la méthode

Le tracé du déplacement de la lame en fonction du temps (**figure 8**) se déduit de ce qui précède.

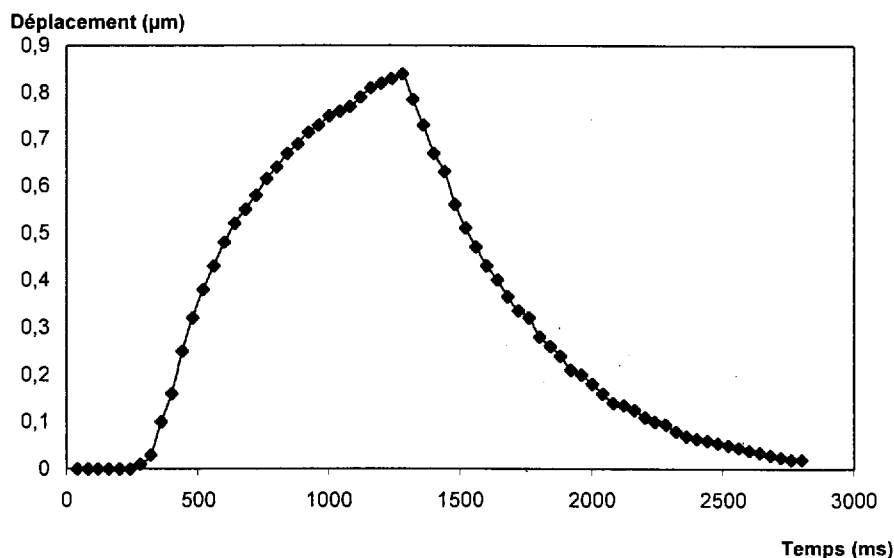
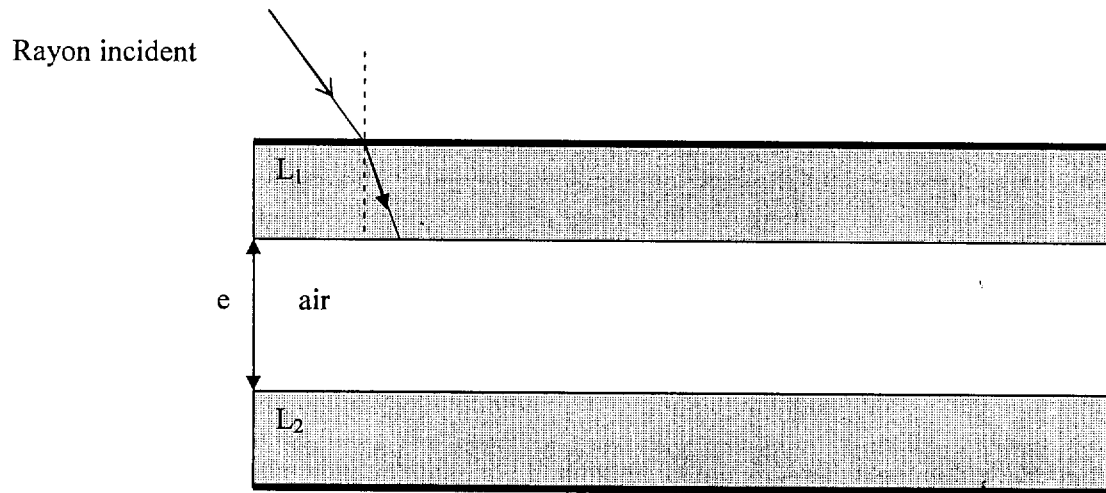


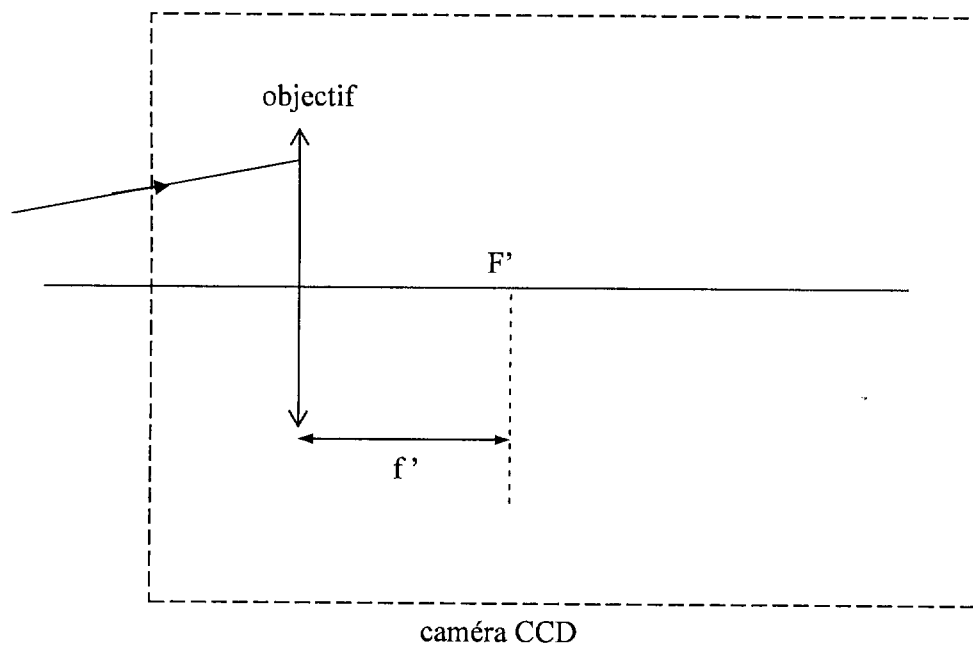
Figure 8 : Evolution du déplacement en fonction du temps

Relever graphiquement la valeur de d_{\max} .

ANNEXE
A rendre avec la copie



Document 1



Document 2

Δe	0	$\lambda/8$	$\lambda/4$	$\lambda/2$	$3\lambda/4$
$I(x)/4I_0$					

Document 3