

## Travaux dirigés 15

### Modèle scalaire des ondes lumineuses

#### Questions de cours

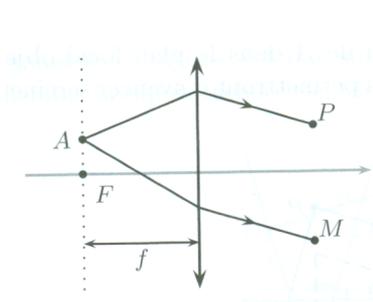
1. Qu'est-ce que l'approximation de la grandeur scalaire. Exprimer dans ce cadre la vibration scalaire pour une OPPH. De même pour une onde progressive harmonique sphérique.
2. Décrire le modèle des trains d'onde. Qu'est-ce que la longueur de cohérence temporelle? Quel est le lien entre la l'étendue spectrale d'une source et la longueur de cohérence temporelle? Donner des ordres de grandeur.
3. Etablir l'expression de la différence de phase due à la propagation.
4. Définir les notions d'onde plane, d'onde sphérique.
5. Enoncer le théorème de Malus. Quelle est sa conséquence pour un système purement stigmatique?
6. Expliquer à l'aide de schémas, l'effet des lentilles minces sur les surfaces d'onde. Quels sont les cas de continuité et de discontinuité de la phase?
7. Définir la notion de chemin optique. Donner une conséquence du théorème de Malus sur les chemins optique.
8. Définir l'éclairement lumineux d'une source. Justifier la définition de l'éclairement.
9. Qu'est-ce que deux sources cohérentes? Etablir les conditions d'interférences. Que devient l'éclairement pour deux sources incohérentes? Pour deux sources cohérentes?

#### Niveau I

#### Exercice 1 $\star\star\star$ : Condition de stigmatisme rigoureux

On considère un système optique ( $S$ ) quelconque. Un point objet  $A$  appartient à l'espace objet réel de ( $S$ ). Le milieu constituant l'espace image réelle, auquel appartient le point  $A'$ , est supposé homogène et isotrope. A quelle condition tous les rayons issus de  $A$  passent-ils par  $A'$  après avrils traversé ( $S$ )?

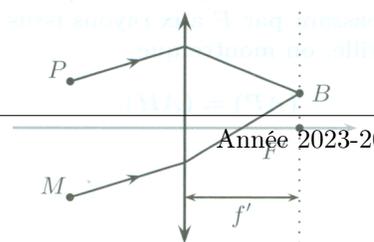
#### Exercice 2 $\star\star\star$ : Détermination d'une différence de chemin optique



Calculer, dans le cas de la figure ci-contre, la différence de chemin optique (aussi appelée différence de marche) entre le point  $A$ , situé dans la plan focal objet de la lentille, et les intersection  $P$  et  $M$  des deux rayons avec un plan perpendiculaire à l'axe optique. On introduira les données utilise et notamment  $a$ , distance entre  $P$  et  $M$ . Le résultat reste-t-il valable si l'on considère maintenant le symétrique de  $A$  par rapport à l'axe optique?

#### Exercice 3 $\star\star\star$ : Théorème de Malus et principe de retour inverse

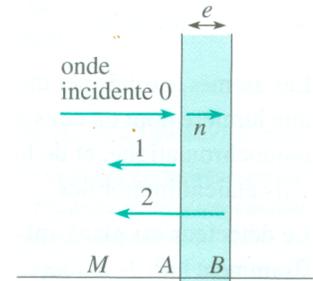
Calculer, dans le cas de la figure ci-contre, la différence de chemin optique entre le point  $B$ , situé dans le plan focal image de la lentille, et les intersections  $P$  et  $M$  des deux rayons avec un plan perpendiculaire à l'axe optique. On introduire les données utilise et notamment  $a$ , distance entre  $P$  et  $M$ .



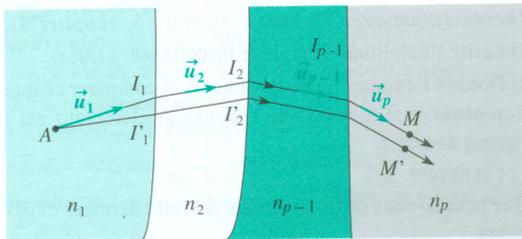
**Exercice 4** : Couleur d'une lame d'eau savonneuse

Une bulle d'eau savonneuse, d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n = 1,3$ , est éclairée sous incidence normale. Le coefficient de réflexion est faible, et les ondes issues de deux réflexions ou plus ont une intensité négligeable.

1. Quel déphasage présentent entre elles les deux ondes réfléchies ?
2. A quelle condition une lumière de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  est-elle réfléchie avec une intensité maximale ?
3. Pourquoi la bulle, éclairée en lumière blanche, prend-elle des reflets colorés lorsqu'elle devient très mince ? Donner un ordre de grandeur de l'épaisseur d'une bulle colorée.



**Exercice 5** : Théorème de Malus



Un rayon lumineux, émis par le point fixe A, traverse une série de dioptries et suit le trajet :  $(AI_1I_2\dots I_{p-1}M)$ . Soit  $L(M)$  le chemin optique  $(AM)$ .

1. Exprimer  $L(M)$  en fonction des vecteurs unitaires  $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \dots$  des vecteurs  $AI_1, I_1I_2, \dots$  etc.
2. Soit un rayon voisin,  $(AI'_1I'_2\dots I'_{p-1}M')$ , déduit du premier par des translations infinitésimales  $d\vec{I}_1, d\vec{I}_2, \dots, d\vec{I}_{p-1}, d\vec{M}$ .

- i- Des lois de Snell-Descartes de la réfraction, déduire une relation entre  $\vec{u}_i, \vec{u}_{i+1}$  et  $d\vec{I}_i$ .
- ii- Déterminer la différence  $dL$  de chemin optique entre les

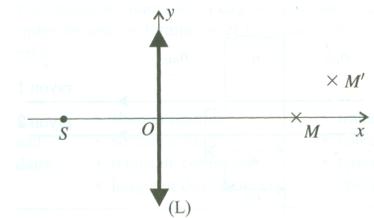
deux rayons.

3. En déduire le théorème de Malus.

**Exercice 6** : Optique physique et lentille

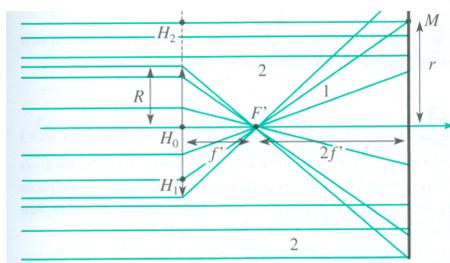
Une lentille ( $L$ ) est en verre d'indice optique  $n$  et a une épaisseur  $e$  au niveau de son centre optique  $O$ . Sa distance focale image est  $f'$ . Elle est plongée dans l'air d'indice  $n_{air}$ . Soient  $M$  et  $M'$  deux points dont les coordonnées dans le repère  $Oxy$  sont respectivement  $(x, 0)$  et  $(x', y')$ . Une source  $S$  est placée devant ( $L$ ) sur l'axe  $Ox$ .

1. On suppose que  $OS = f'$ . Construire les rayons issus de S qui parviennent en  $M$  et en  $M'$ . Exprimer les chemins optique  $(SM)$  et  $(SM')$ .
2. Même question avec  $OS = \frac{3f'}{2}$ .



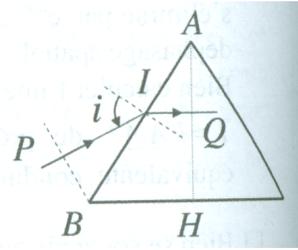
Niveau II

**Exercice 7** : Déphasage entre deux ondes cohérentes



Une onde plane, supposée monochromatique, est interceptée par une lentille mince convergente de rayon  $R$  et de distance focale image  $f'$ . Un écran est placé à une distance  $3f'$  de la lentille. Déterminer le domaine de l'écran éclairé par les deux ondes, et calculer leur déphasage en un point de ce domaine. La lentille est taillée dans un verre d'indice  $n$ , et son épaisseur au niveau de l'axe optique est  $e$ .

**Exercice 8** ♦♦♦ : **Prisme**



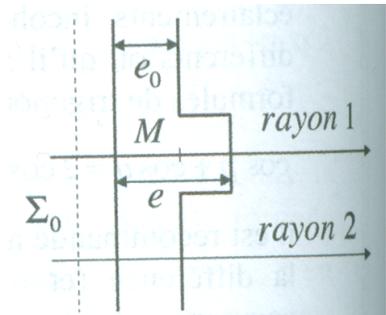
La section droite d'un prisme d'indice  $n$  a la forme d'un triangle équilatéral de côté  $a$  ; le rayon incident est  $PI$  sur la face d'entrée  $AB$ .

1. Quel est l'angle d'incidence  $i$  pour lequel le rayon réfracté  $IQ$  est perpendiculaire à la hauteur  $AH$  ?
2. On pose  $IA = x$ . Calculer le chemin optique  $(PIQ)$ , où le point  $P$  appartient au plan perpendiculaire au rayon et passant par  $B$ . Commentaires.

**Exercice 9** ♦♦♦ : **Objet de phase**

Une lame de verre parfaitement transparente, à faces parallèles, d'indice de réfraction  $n$  et de faible épaisseur  $e_0$ , comporte "un petit accident d'épaisseur", localisé en  $M$ , où l'épaisseur totale devient  $e$ . Cette lame est éclairée par un faisceau de lumière parallèle de longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide.

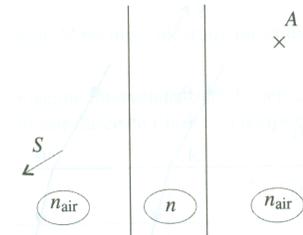
1. Déterminer la différence de phase  $\phi$  créée par l'irrégularité entre les ondes suivant les rayons 1 et 2.  $\Sigma_0$  représente une surface d'onde avant traversée de la lame ; dessiner une surface d'onde  $\Sigma$  après la traversée de la lame.
2. On forme sur un écran l'image de cette lame (assimilée à un objet plan) par une lentille convergente ; le défaut d'épaisseur est-il visible sur l'écran ?
3. En est-il de même si on place la lame contre le miroir  $M_1$  d'un interféromètre de Michelson réglé au contact optique ?



**Exercice 10** ♦♦♦ : **Différence de marche introduite par une lame à faces parallèles**

Une lame de verre à face parallèles, d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n$  est interposée entre une source  $S$  située à l'infini dans l'air, d'indice  $n_{air}$ , et un point  $A$  situé aussi dans l'air.

1. Tracer soigneusement sur la figure précédente le rayon lumineux, issu de  $S$ , qui arriverait en  $A$  en l'absence de la lame, ainsi que le rayon qui arrive en  $A$  en présence de celle-ci.
2. On s'intéresse à la grandeur  $\delta_{lame} = (SA)_{avec\ lame} - (SA)_{sans\ lame}$ , différence des chemins optiques entre  $S$  et  $A$  en présence et en l'absence de la lame. Montrer que :  $\delta = e(n \cos(r) - n_{air} \cos(i))$  où  $i$  est l'angle d'incidence des rayons lumineux sur la lame et  $r$  l'angle de réfraction. Vérifier le résultat dans le cas où  $i = 0$ .
3. Donner une expression de  $\delta$  approchée au deuxième ordre lorsque l'angle  $i$  est très petit.



**Exercice 11** ♦♦♦ : **Objet de phase**

On étudie la formation de l'image  $A'$  d'un point objet  $A$  réel donné par une lentille convergente ( $L$ ) de faible épaisseur utilisée dans les conditions de Gauss et placée dans l'air.

1.  $A$  étant situé sur l'axe optique de ( $L$ ) à une distance  $D$  de son centre, exprimer en fonction des coordonnées  $(x, y)$  d'un point  $I$  du plan de la lentille, la phase de l'onde incidente au point  $I$ . On effectuera un calcul approché.
2. Déterminer de même la phase de l'onde émergent au point  $J$  en fonction de  $(x, y)$ .
3. Exprimer la différence de phase existant le long du rayon lumineux dirigé selon l'axe optique, entre les points  $A$  et  $A'$ .
4. On dit que la lentille est un objet de phase qui introduit un déphasage entre l'onde incidente et l'onde transmise. Préciser en fonction des résultat obtenus.