

Optique TD n°01 Ondes lumineuses – Superposition d'ondes lumineuses

Exercice n°	§cours	1	2	3	4
Capacités					
Exprimer le retard de phase en un point en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.	I.3.b)				
Surfaces d'onde. Théorème de Malus. Effets d'une lentille mince. Utiliser l'égalité des chemins optiques sur les rayons d'un point objet à son image. Associer une description de la formation des images en termes de rayons lu.	I.3 I.4				
Citer quelques ordres de grandeur des longueurs de cohérence temporelle associées à différentes sources. Relier, en ordre de grandeur, le temps de cohérence et la largeur spectrale de la radiation considérée.	II.2				
Comparer le temps de réponse d'un récepteur usuel (œil, photodiode, capteur CCD) aux temps caractéristiques des vibrations lumineuses.	II.3.a)				
Relier l'intensité lumineuse à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique.	II.3.b)				
Justifier et utiliser l'additivité des intensités de deux ondes quasi monochromatiques non synchrones ou incohérentes entre elles.	III.2 III.3				
Établir la formule de Fresnel.	III.3				
Identifier une situation de cohérence entre deux ondes et utiliser la formule de Fresnel.	III.3				

Parcours possibles

- ♪ Si vous avez des difficultés sur ce chapitre : n°1, n°2.
- ♪ ♪ Si vous vous sentez moyennement à l'aise, mais pas en difficulté : n°2, n°3
- ♪ ♪ ♪ Si vous êtes à l'aise : n°2, n°3, n°4

I Exercices d'application

Exercice n°1 LASER ♪

Un laser Hélium-Néon (HeNe) émet une onde lumineuse de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$.

Q1. Calculer sa fréquence et sa longueur d'onde dans l'air puis dans l'eau. Quelle est la couleur correspondant à cette onde dans ces deux milieux ?

Ce laser a une largeur spectrale $\Delta\nu = 300 \text{ MHz}$.

Q2. Montrer que sa largeur spectrale en longueur d'onde s'exprime $\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{c} \Delta\nu$. Faire l'application numérique.

Q3. Exprimer et calculer son temps de cohérence et sa longueur de cohérence.

Q4. En déduire le nombre moyen d'oscillations par train d'ondes.

Données

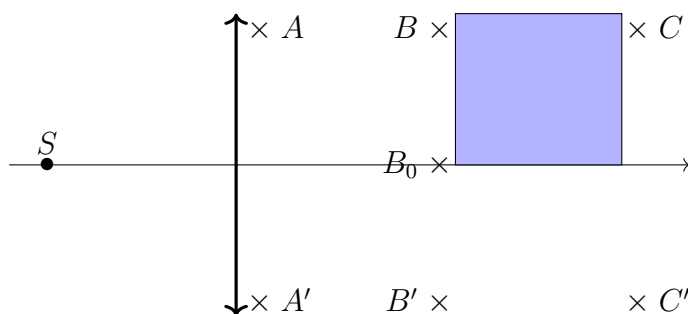
Indices optiques : pour l'air $n_{\text{air}} = 1,0003$ et pour l'eau $n_{\text{eau}} = 1,33$.

Exercice n°2 Chemin optique et lentille 🎵

Un point source S est placé au foyer objet d'une lentille convergente.

Une lame d'indice n et d'épaisseur e est placée à une distance d de la lentille et recouvre la moitié du faisceau.

On notera l'indice de l'air n_0 .



Q1. Tracer quelques rayons lumineux et quelques surfaces d'onde dans la zone située en amont des points B et B' .

Q2. Justifier que $(SB) = (SB_0)$.

D'après la figure, ce résultat ne paraît pas être vérifié. Comment l'expliquer ?

Q3. On prend comme référence de phase $\phi(A) = 0$. Déterminer la phase au niveau des points A' , B , C et C' .

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°3 Lois de Snell-Descartes de la réfraction 🎵 🎵

Une onde plane (issue d'une source S située à l'infini) arrive sous un angle d'incidence i_1 sur un dioptré plan séparant deux milieux d'indice n_1 et n_2 tel que $n_2 > n_1$. On suppose que l'onde transmise (ou onde réfractée) est plane également et se propage dans la direction i_2 .

Q1. Faire un schéma représentant deux rayons incidents, les rayons réfractés associés, et des surfaces d'onde dans chacun des milieux. On notera A et B les points d'incidence des rayons sur le dioptré.

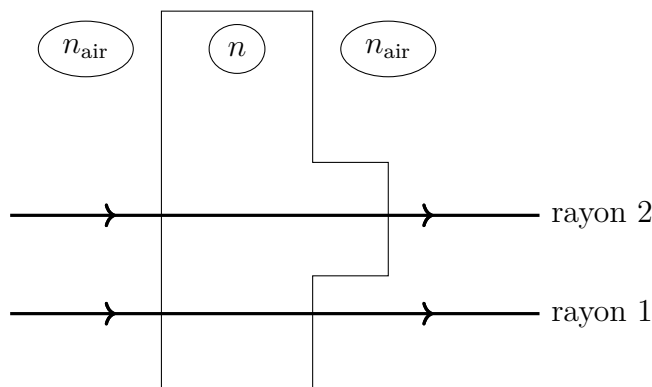
Q2. En exploitant un plan d'onde associée à l'onde incidente, exprimer $(SB) - (SA)$ en fonction de AB , n_1 et i_1 .

Q3. Procéder de même pour établir une autre expression de $(SB) - (SA)$ en fonction de AB et i_2 .

Q4. En déduire la relation liant n_1 , i_1 , n_2 , i_2 .

Exercice n°4 Défaut dans une lame de verre 🎵 🎵

Une lame de verre, parfaitement transparente, à faces parallèles, d'indice de réfraction n et de faible épaisseur e_0 , comporte un petit défaut localisé en M , où l'épaisseur devient e . Elle est éclairée par un faisceau de lumière parallèle issu d'une source monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ_0 .



Q1. Déterminer la différence de marche $\delta_{2/1}(M) = (SM)_{\text{rayon 2}} - (SM)_{\text{rayon 1}}$ à l'infini.

Q2. Déterminer le déphasage à l'infini entre les rayons 1 et 2.

Q3. 🎵 🎵 Représenter sur la figure une surface d'onde avant la traversée de la lame et une surface après la traversée de la lame. En préciser les caractéristiques (notamment on expliquera pourquoi elle présente un « creux » et la profondeur de celui-ci en fonction de e , e_0 , n et n_0).

III Révisions d'optique géométrique de PCSI

Exercice n°5 Tracés d'images

☀ Méthode – Tracés en optique

- Les rayons doivent être tracés à la règle, avec un stylo (ou feutre fin) de couleur différente.
- Les rayons doivent être orientés par une **flèche**.
- Les rayons incidents et les rayons émergents sont tracés en **traits pleins**, avec une **flèche dessus**.
- Les **prolongements** des rayons incidents / émergents sont tracés en **traits pointillés**.

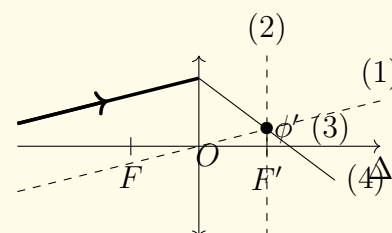
Tracer les rayons pour déterminer la position de l'image dans les cas suivants :

- Q1. Objet réel situé entre F et O d'une lentille convergente.
 Q2. Objet virtuel avec une lentille convergente.
 Q3. Objet réel avec une lentille divergente.
 Q4. Objet virtuel avec une lentille divergente.

☀ Méthode – Construction du cheminement d'un rayon incident quelconque

Si on a un rayon incident dont on souhaite tracer le rayon émergent :

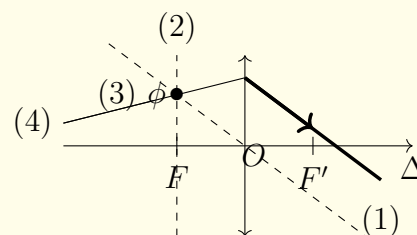
1. Tracer un rayon auxiliaire parallèle au rayon incident inconnu, passant par O .
2. Tracer le plan focal image.
3. Repérer l'intersection entre le rayon auxiliaire et le plan focal image, ce point est un foyer image secondaire ϕ' .
4. Le rayon incident inconnu et le rayon auxiliaire étant parallèle entre eux ils se croisent dans le plan focal image : au point ϕ' repéré précédemment. Il reste à tracer le rayon émergent issu du rayon incident passant par ce point ϕ' .



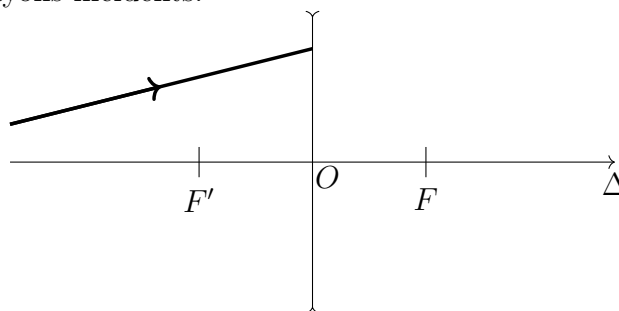
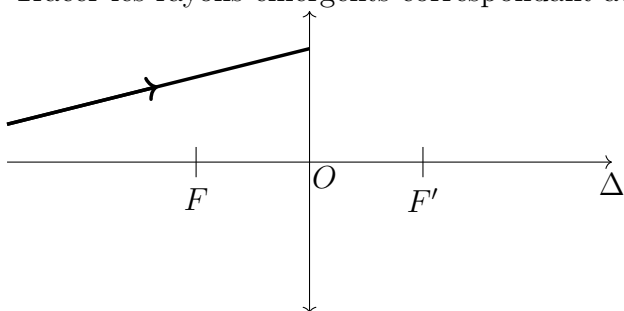
☀ Méthode – Construction du cheminement d'un rayon émergent quelconque

Si on a un rayon émergent dont on souhaite tracer le rayon incident qui lui a donné naissance :

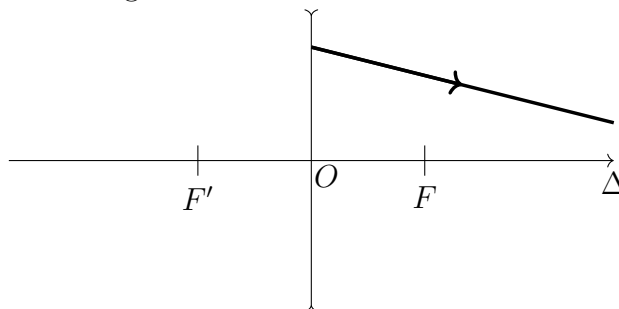
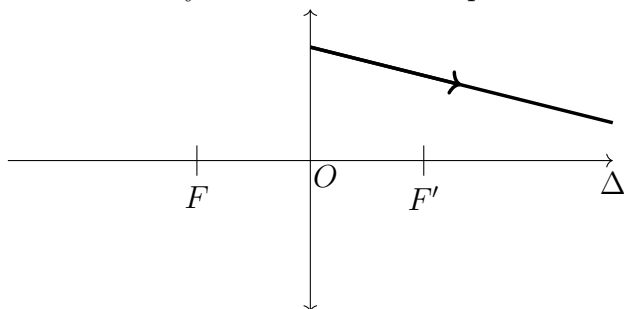
1. Tracer un rayon auxiliaire parallèle au rayon émergent inconnu, passant par O .
2. Tracer en pointillés le plan focal objet.
3. Repérer l'intersection entre le rayon auxiliaire et le plan focal objet, ce point est un foyer objet secondaire ϕ .
4. Le rayon émergent inconnu et le rayon auxiliaire émergent de la lentille parallèlement, donc ils proviennent d'un même plan focal objet : le foyer secondaire objet ϕ . Il reste à tracer le rayon incident passant par ce point objet ϕ qui donne le rayon émergent.



- Q5. Tracer les rayons émergents correspondant aux rayons incidents.



Q6. Tracer les rayons incidents correspondant aux rayons émergents.



Exercice n°6 Loupe

Une loupe est une lentille convergente de distance focale image f' . On l'utilise pour observer une image agrandie d'un objet **à travers la lentille**.

Q1. De quelle nature (réelle/virtuelle) est l'image donnée par la loupe ?

Q2. Pour observer l'image de l'objet sans fatigue, où doit-elle se former ? Où doit être placé l'objet par rapport à la lentille pour qu'il en soit ainsi ? Faire un schéma dans cette situation.

On définit le grossissement commercial par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$, où α est l'angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu observé au punctum proximum ($d_m = 25$ cm), et α' l'angle sous lequel est vue l'image observée à travers la loupe. Les angles sont orientés à partir de l'axe optique.

Q3. Exprimer le grossissement commercial de la loupe en fonction de f' et d_m . Faire l'application numérique pour $V = 10 \delta$.

Q4. Quel est le pouvoir de résolution de l'œil dans de bonnes conditions d'éclairement ? Déterminer la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal qui accommode au maximum.

Q5. Donner la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en utilisant la loupe sans accommode.

Q6. Déterminer la position de l'objet pour laquelle l'œil accommode au maximum en l'observant à travers la loupe. On supposera l'œil au foyer principal image de la lentille.

Exercice n°7 Lunette de Galilée

Mars est située à une distance variant entre 56 et 160 millions de kilomètres de la Terre. Son diamètre vaut 6800 km. On l'observe au travers d'une lunette de Galilée composée d'un objectif et d'un oculaire. Ces deux systèmes optiques complexes peuvent être modélisés par deux lentilles minces la première (l'objectif) de focale 1,0 m et la seconde (l'oculaire) de focale $-2,5$ cm.

Q1. Comment doivent être positionnées les deux lentilles l'une par rapport à l'autre pour pouvoir l'utiliser sans fatigue ? Faire un schéma en positionnant les lentilles convenablement (attention l'oculaire est divergent).

Mars est assimilé à un objet AB situé à l'infini, où A est sur l'axe optique.

Q2. Faire le tracer de deux rayons lumineux issus de B à travers la lunette : commencer par celui passant par F_1 , puis un autre au choix. L'image finale apparaît-elle dans le même sens que l'objet pour l'observateur ?

On appelle grossissement de la lunette le rapport $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α' est le diamètre apparent sous lequel est vue Mars à travers la lunette, et α l'angle sous lequel est vue Mars sans lunette. Les angles sont orientés à partir de l'axe optique.

Q3. Établir l'expression du grossissement en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire. Le calculer.

Q4. On appelle diamètre apparent l'angle sous lequel est vu un objet. Calculer le diamètre apparent α de la planète Mars lorsqu'elle est observée sans lunette, lorsqu'elle est au plus proche de la Terre.

Est-il possible de voir à l'œil nu la surface de Mars ?

Q5. Sous quel angle Mars est-elle perçue à travers la lunette lorsqu'elle est au plus proche ? Est-il cette fois-ci possible de distinguer sa surface ?

Exercice n°8 Microscope optique

Le microscope est modélisé, par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (lentille $\mathcal{L}_1$ de centre O_1 et de distance focale image $f'_1 = 5$ mm), et l'autre constituant l'oculaire (lentille $\mathcal{L}_2$ de centre O_2 et de distance focale image $f'_2 = 15$ mm).

On fixe $\overline{O_1O_2} = D_0 = 120$ mm. On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.

Q1. Donner les 2 conditions que doivent satisfaire les rayons lumineux pour être dans les conditions de Gauss.

Q2. Si F'_1 est le foyer principal image de $\mathcal{L}_1$ et F_2 le foyer principal objet de $\mathcal{L}_2$, on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique $\Delta = \overline{F'_1F_2}$. Exprimer Δ en fonction de f'_1 , f'_2 , D_0 , puis calculer sa valeur.

Un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance d de $\mathcal{L}_1$, à sa gauche, de façon à ce que l'image $A'B'$ donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.

Q3. En utilisant une relation de conjugaison judicieusement choisie, exprimer d en fonction de f'_1 et Δ , puis calculer sa valeur.

Q4. Exprimer le grandissement γ_1 induit par l'objectif en fonction de f'_1 et Δ puis calculer sa valeur.

Q5. Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?

Q6. Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle α' sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.

Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right|$ où α est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance $D = 250$ mm.

L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles.

Q7. Exprimer l'angle α' sous lequel est vue l'image à travers le microscope en fonction de $A'B'$ et f'_2 , puis en fonction de γ_1 , AB et f'_2 .

Q8. Exprimer l'angle α en fonction de D et AB .

Q9. En déduire l'expression de G en fonction de Δ , D , f'_1 et f'_2 , puis calculer sa valeur.

On utilise ce microscope pour mesurer l'épaisseur e d'une mince lame de verre à faces parallèles, d'indice $n = 1,5$. On colle une petite pastille bleue (B) sur la face gauche de la lame et une petite pastille rouge (R) sur sa face droite.

On positionne d'abord la lunette (ensemble objectif+oculaire) du microscope de façon à faire la mise au point sur la pastille rouge (Figure 2, Position 1). Puis, grâce à une vis micrométrique, on translate la lunette d'une distance ε , de façon à faire la mise au point sur l'image de la pastille bleue (Figure 2, Position 2). On mesure $\varepsilon = 420$ μm .

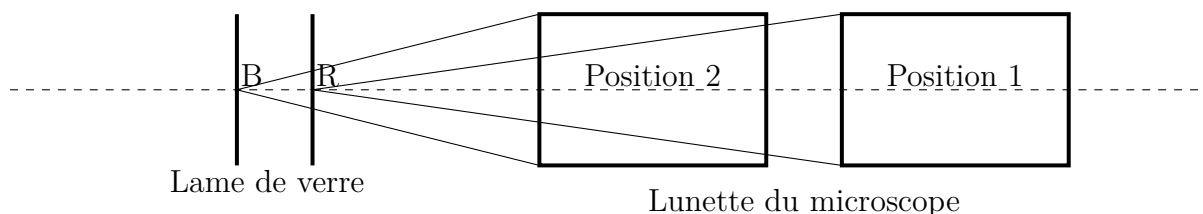


FIGURE 1 – Schéma du principe de la mesure de e

Q10. 🎵 En tenant compte du phénomène de réfraction et en considérant les rayons lumineux très peu inclinés par rapport à l'axe optique, exprimer e en fonction de n et ε , puis calculer sa valeur.

Exercice n°9 Réfractomètre

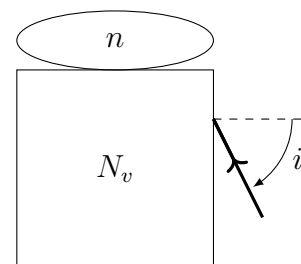
Les viticulteurs ont besoin de connaître de façon précise, le taux de sucre présent dans le raisin qu'ils vendangent.

L'indice de réfraction du jus de fruit dépend du taux de sucre qu'il contient.

Le montage suivant illustre le principe du réfractomètre utilisé.

Une goutte de jus de raisin d'indice n inconnu est déposée sur un bloc de verre transparent d'indice $N_v = 1,607$.

L'ensemble est éclairé par un faisceau de lumière parallèle qui tombe sur la face d'entrée du cube sous une incidence ajustable i entre 0 et $\frac{\pi}{2}$.



- Q1. À quelle condition sur les indices peut-on observer un phénomène réflexion totale sur le dioptre verre/-goutte ?
- Q2. Dessiner le trajet du rayon lumineux dans le cas où le rayon est réfracté dans le liquide. Dans ce cas, la goutte de vin apparaît particulièrement lumineuse.

On constate que la goutte de vin n'est lumineuse que lorsque $i > i_{\text{lim}}$.

- Q3. Exprimer i_{lim} en fonction de N_v et n .

On pourra utiliser le fait que, pour $x \in [-1, 1]$: $\cos(\arcsin(x)) = \sqrt{1 - x^2}$ et/ou $\sin(\arccos(x)) = \sqrt{1 - x^2}$.

- Q4. Calculer l'indice de réfraction du vin pour $i_{\text{lim}} = 47,81^\circ$.