



LICENCE 1 MATHS-INFORMATIQUE
TD D'OPTIQUE 2024-2025

EXERCICE 1: Analogie onde lumineuse – onde électromagnétique

Une onde électromagnétique plane progressive sinusoïdale, de fréquence ν , et polarisée rectilignement dans la direction oy , se propage dans le vide, le long de l'axe $x'x$ dans le sens négatif ($x < 0$). En utilisant la fréquence ν et la célérité c de l'onde dans le vide :

- 1/ Calculer le champ électrique \vec{E} de cette onde.
- 2/ a) Déterminer de deux façons différentes le champ magnétique \vec{B} de cette onde.
b) En déduire pour \vec{B} :
 - l'amplitude \vec{B}_0 ;
 - la phase ϕ à la date t ;
 - la phase ϕ_0 à l'origine des dates.
- 3/ Le milieu de propagation étant non absorbant :
 - a) Déterminer la surface équiphase Σ_t à une date t donnée.
 - b) Σ_t est-elle aussi une surface d'onde ? (Expliquez votre réponse).
- 4/ a) Calculer le vecteur de Poynting \vec{P} .
b) En déduire la direction des rayons lumineux.
On assimilera l'onde électromagnétique considérée à une onde lumineuse.
- 5/ a) Représenter sur une même figure les rayons lumineux et les surfaces d'onde.
b) Le théorème de Malus est-il vérifié ici ?

EXERCICE 2 : Fibre optique à saut d'indice

Une fibre optique cylindrique placée dans l'air (d'indice n_0) est constituée d'un cœur cylindrique transparent d'axe Ox , de rayon R_1 et d'indice constant n_1 , entouré d'une gaine transparente d'indice constant n_2 (inférieur à n_1).

Un rayon lumineux (R) monochromatique dans l'air atteint la face d'entrée de la fibre optique en O , sous l'angle d'incidence θ . On donne $n_0=1,000$; $n_1=1,515$; $n_2=1,490$; $R_1=40 \mu m$ et la célérité $c=3.10^8 m/s$ de la lumière dans le vide.

- 1/ Montrer que le rayon (R) ne peut se propager à l'intérieur de la fibre (guidage du rayon dans le cœur) que si l'angle d'incidence θ est inférieur à une valeur limite θ_0 qu'on exprimera en fonction de n_0 , n_1 et n_2 . Calculer l'angle d'acceptance θ_0 .
- 2/ Exprimer les chemins optiques $[L_1]$ et $[L]$ suivis par (R) respectivement :
 - a) Entre le point O et le premier point A_1 où (R) coupe l'axe Ox , en fonction de n_0 , n_1 , et R_1 .
 - b) Entre le point O et la sortie de la fibre de longueur $l \gg OA_1$, en fonction de n_0 , n_1 , θ et l .
- 3/ Un détecteur placé dans le cœur de la fibre, dans le plan d'équation $x = cte$, perçoit à l'instant τ le signal lumineux émis en $O(x = 0)$ à l'instant $t = 0$.
 - a) Exprimer τ en fonction de n_0 , n_1 , θ , x et c .
On rappelle que le chemin optique $L(AB)$ représente la distance que la lumière aurait parcourue dans le vide pendant le temps qu'elle met (dans le milieu réel de propagation) pour aller de A à B .
 - b) Dans le cas où $\theta = 0$ exprimer τ (noté alors τ_0), en fonction de n_1 , x et c .
Retrouver ce résultat par une autre méthode.
 - c) Le détecteur étant à $x = 2 km$ de l'entrée O , calculer τ_0 .

EXERCICE 3 : Principe de Fermat, lois de la réfraction et relation de conjugaison.

Un dioptré plan yz sépare deux milieux homogènes d'indice n_1 (dans la région $x > 0$) et d'indice n_2 (dans la région $x < 0$). Soient deux points donnés du plan xoy : $A_1(x_1, 0, 0)$ dans le milieu d'indice n_1 et $B_2(-x_2, y_2, 0)$ dans le milieu d'indice n_2 atteints par la lumière. Considérons la trajectoire formée de deux segments A_1I et IB_2 qui, a priori, n'est pas le trajet effectivement suivi par la lumière, où $I(0, y, z)$ est un point quelconque du dioptré plan. On désignera \vec{u}_1 et \vec{u}_2 les vecteurs unitaires dans les directions A_1I et IB_2 .

1/ a) Exprimer le chemin optique $L_{A_1B_2} = [A_1IB_2]$ en fonction des coordonnées y, z du point I et des données.

b) En déduire les lois de Descartes de réfraction pour le rayon $A_1I \rightarrow B_2$ effectivement suivi par un rayon lumineux issu de A_1 et atteignant B_2 ($I_0 \in$ dioptré plan).

2/ Le rayon réfracté I_0B_2 semble provenir du point $A_2(x_2, 0, 0)$ de l'axe ox .

a) Exprimer le chemin optique $L_{A_1A_2} = [A_1I_0A_2]$ en fonction de n_1, n_2, x_1, x_2 et de la cote y du point d'incidence I_0 .

b) En déduire la relation de conjugaison qui lie x_1, x_2, n_1, n_2 et les angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 ; étudier le cas particulier des rayons peu inclinés sur la normale (ox).

c) Retrouver la relation de conjugaison précédente à partir des lois de Descartes.

EXERCICE 4 : lame à faces parallèles

Une lame de verre à faces parallèles d'indice n et d'épaisseur e est plongée dans l'air. Cette lame est assimilée à l'association de deux dioptrés plans parallèles D_1 (le dioptré air/verre) et D_2 (le dioptré verre/air).

1) Faire un schéma indiquant la marche d'un rayon lumineux à travers la lame. On appellera i et r respectivement, les angles d'incidence et de réfraction sur D_1 puis r' et i' respectivement, les angles d'incidence et de réfraction sur D_2 .

2) Montrer que le rayon incident et le rayon émergent sont parallèles.

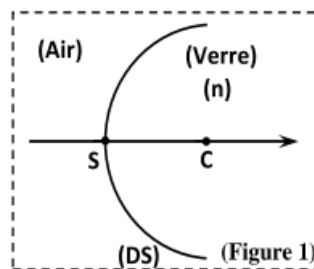
3) Calculer le déplacement latéral subi par le rayon incident après la traversée de la lame.

4) Montrer que dans les conditions de l'approximation de Gauss, l'image A' d'un objet A est déplacée dans le sens de propagation de la lumière de la distance $e(1 - \frac{1}{n})$.

5) Calculer la distance entre l'objet et son image pour une vitre d'indice $n = 1,55$ et d'épaisseur $e = 1,5$ mm. Quelle conclusion pouvez-vous tirer ?

EXERCICE 5 : Dioptré sphérique

On considère un dioptré sphérique (DS) de centre C , de sommet S et de rayon de courbure R (voir la figure 1 ci-dessous). La lumière se propage de l'air vers le verre.



1) Donner la définition du dioptré sphérique.

2) Le dioptré sphérique (DS) est-il concave ou convexe?

3) Sans faire de calcul, quelle est la nature de ce dioptré sphérique ? justifier votre réponse.

4) Calculer la valeur de l'angle de réfraction limite r'_l pour $n = 1,5$

Dans toute la suite, le système sera étudié dans les conditions de l'approximation de Gauss.

5) Pourquoi en est-il ainsi ?

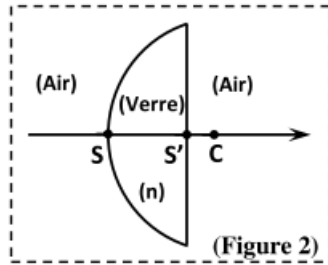
6) Donner la relation de conjugaison du (DS) avec origine au sommet S en fonction de n et R , pour le couple de points conjugués (A, A') .

7) Déduire la position des foyers principaux F et F' du (DS) par rapport à S en fonction de n et R .

8) Calculer les valeurs en cm des distances focales objet f et image f' du dioptre, pour $n=1,5$ et $R=10\text{ cm}$. En déduire sa vergence V .

9) Quelle doit être la position, par rapport au dioptre sur l'axe optique, d'un objet (AB) pour que son image (A'B') soit renversée et deux fois plus grande que l'objet ? faire l'application numérique pour $n=1,5$ et $R=10\text{ cm}$.

10) Quel nouveau système optique obtient-on si le rayon de courbure R tend vers l'infini ? Le milieu de réfraction d'indice n est maintenant limité par une surface plane (Figure 2).



11) Comment se nomme le système dioptrique ainsi obtenu ?

Dans le cas où $SS' \ll R$, déterminer la relation de conjugaison de ce système pour un objet A et son image finale A' en fonction de n et R .

EXERCICE 6: Construction de l'image d'un objet (voir feuille annexe).

Dans chacun des cas de la feuille annexe, construire les images de l'objet AB puis en déduire sa nature.

EXERCICE 7 : Lentille demi-boule (Dioptre sphérique – Dioptre plan)

Une demi-sphère en verre d'indice $n = 1,5$, de centre C, de sommet S et de rayon $R = 4,5\text{ cm}$ constitue une lentille demi-boule. La face sphérique, par laquelle la lumière pénètre dans la lentille, baigne dans l'air d'indice n_o , tandis que la face plane baigne dans l'eau d'indice $n_l = 1,33$.

1/ Etablir, dans les con

ditions de stigmatisme approché, les relations de conjugaison (position et grandissement transversal) de cette lentille, l'origine étant prise au centre C.

2/ Déterminer les positions (par rapport à C) des points principaux H et H' de cette lentille.

EXERCICE 8 : Correction de la vue

A) Un œil complètement presbyte (c'est-à-dire dont la faculté d'accommodation a fortement diminué) ne peut voir nettement que les objets situés à plus de 4,0 m de son centre optique. Quelle est la nature et la vergence du verre qu'il faut utiliser pour que cet œil puisse voir nettement à 25 cm (on suppose que les centres optiques de l'œil et du verre sont confondus) ?

B) Un myope ne voit que les objets situés entre 12 cm et 80 cm du centre optique de son l'œil. Il achète des verres divergents de $1,25\text{ } \delta$. Muni de ses lunettes, entre quelles limites verra-t-il (on suppose que les centres optiques de l'œil et du verre sont confondus) ?

EXERCICE 9 : Image donnée par une lentille mince

Un objet de hauteur $AB = 1,0\text{ cm}$ est placé devant une lentille, perpendiculairement à l'axe optique. A est sur l'axe à 10 cm du centre optique.

1) La lentille est convergente, de distance focale $f' = 5,0\text{ cm}$.

a) Déterminer par calcul la nature de l'image.

b) Construire l'image A'B' de AB donnée par la lentille.

EXERCICE 10 : Constructions géométriques

On considère une lentille mince divergente de distance focale image $f' = -3\text{ cm}$ et un objet AB de 2 cm de hauteur.

Construire soigneusement (à l'aide des trois rayons remarquables) l'image A'B' puis donner sa nature dans chacun des cas suivants :

Cas 1 : L'objet AB est situé après le foyer objet F ; Cas 2 : L'objet AB est situé avant le foyer image F'.

EXERCICE 11 : Microscope optique

On considère un microscope optique, fonctionnant en lumière blanche de longueur d'onde moyenne $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$, dont l'objectif et l'oculaire sont assimilés à deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 , de focales images f_1' et f_2' . L'ensemble est dans l'air. L'œil est placé en Ω au voisinage du foyer image de l'oculaire F_2' . Il observe l'image définitive située à la distance minimale de vision distincte d_m de Ω . On notera Δ l'intervalle optique séparant le foyer image de L_1 du foyer objet de L_2 . Pour les applications numériques, on prendra : $f_1' = 2 \text{ mm}$; $f_2' = 30 \text{ mm}$; $\Delta = 180 \text{ mm}$; $d_m = 25 \text{ cm}$.

1/ L'œil se trouve au centre du cercle oculaire, image de la monture de L_1 donnée par L_2 .

a) Trouver $\overline{F_2'\Omega}$ en fonction de f_1' , f_2' et Δ , et calculer sa valeur.

b) En déduire le diamètre a du cercle oculaire sachant que L_1 a un diamètre $D = 11 \text{ mm}$.

2/ Trouver le grandissement linéaire du microscope, γ , en fonction de f_1' , f_2' , Δ et d_m , et calculer sa valeur.

3/ Du fait de la structure granulaire de la rétine, l'œil ne peut distinguer deux points que si l'angle sous lequel il les voit est au moins égal à $\varepsilon = 1,5'$.

a) Trouver en fonction de ε , d_m et γ , la taille l du plus petit objet AB dont les extrémités A et B sont vues distinctement à travers le microscope.

b) Calculer l et comparer cette valeur à la longueur d'onde moyenne du rayonnement utilisé. En déduire le phénomène optique qui limite la taille du plus petit détail véhiculé par le microscope optique.

2.6) Déterminer littéralement puis numériquement l'encombrement E' de l'objectif constitué des 2 lentilles.

2.7) Comparer les deux objectifs étudiés.

2.8) Quelle serait la distance focale f' d'une lentille unique convergente qui donnerait une image de hauteur h_2 de la tour de hauteur h toujours à la distance D ? Commenter l'encombrement correspondant.

ANNEXE EXERCICE 6