

## LP31 : PRÉSENTATION DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE À L'AIDE DU PRINCIPE DE FERMAT (L2)

### Prérequis

- optique géométrique vue au lycée

### Idées directrices à faire passer

- le principe de Fermat est un principe variationnel (mais ne pas le dire)
- il contient toute l'optique géométrique

### Bibliographie

- [1] optique géométrique, BFR, Dunod
- [2] Optique géométrique, Becherrawy, De Boeck
- [3] Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques, Garing, Ellipses

**Introduction [2]** : Introduction historique en s'aidant du Becherrawy p7. Bref historique de l'optique. Rappeler le développement quasi parallèle de l'optique géométrique et ondulatoire. définir l'optique géométrique.

## I Le principe de Fermat

### 1 Cadre de l'optique géométrique : définitions [2]

- rayon lumineux : ligne suivant laquelle l'énergie lumineuse se propage (c'est une abstraction géométrique)
- on ne se préoccupe pas des phénomènes de diffraction ou d'interférences
- l'étude se veut purement géométrique et l'ensemble des lois sont basées sur un principe : le principe de moindre temps

### 2 Chemin optique [2]

- chemin optique : distance parcourue par la lumière **dans le vide** pendant le temps effectif de la propagation
- l'écrire sous forme intégrale en introduisant l'indice de réfraction dépendant évidemment de la position
- définir surface d'onde (attention, définition d'OPG : surface d'équin chemin optique par rapport à la source)

### 3 Enoncé du principe de Fermat [2]

- donner l'énoncé précis du principe : chemin stationnaire
- l'exprimer sous forme de différentielle de paramètres définis
- il est important d'en donner une représentation graphique
- préciser que ce n'est pas toujours un minimum (il faut donc se méfier de l'énoncé "principe de moindre temps")

## II Démonstration des lois de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat

### 1 Propagation rectiligne et retour inverse [2]

- puisque l'indice est homogène, l'extremum de chemin optique est simplement l'extremum de longueur parcourue -> cet extremum est un minimum et c'est la ligne droite!
- par ailleurs, le principe de retour inverse est évident! La stationnarité d'un chemin ne dépend pas de son sens de parcours (il y a égalité des intégrales)

### 2 lois de Snell-Descartes [1]

Cette partie est mieux détaillée dans le BFR

## 2.1 Un résultat utile

faire la petite démonstration du BFR, utile pour la suite, donnant la variation du chemin optique en fonction du déplacement d'un point de passage du rayon. Attention, la démonstration n'est pas très parlante. Je préfère écrire explicitement la norme à partir des vecteurs. La norme du vecteur  $\overrightarrow{A'B'}$  est à calculer après avoir décomposé ce vecteur comme  $\overrightarrow{A'B'} = \overrightarrow{AB} + d\overrightarrow{B} - d\overrightarrow{A}$

## 2.2 lois de la réflexion

Appliquer la formule précédente à ce cas particulier et retrouver les lois de la réflexion.

## 2.3 lois de la réfraction

Appliquer la formule précédente à ce cas particulier et retrouver les lois de la réfraction.

## 3 Théorème de Malus [1]

Reprendre la démonstration du BFR (qui utilise le "résultat utile" trouvé précédemment)

## 4 Equation des rayons lumineux [1]

- reprendre la démonstration claire du Becherrawy, en passant d'abord par une succession de lames d'indices différents, puis en passant à la limite continue
- il calcule ensuite la pente locale

# III Applications

## 1 Mirages [2]

- expliquer les mirages à l'aide de la formule trouvée précédemment
- on ne cherchera pas à faire de calcul (il faudrait trouver une expression de l'indice en fonction de l'altitude), mais à expliquer les différents cas de figure.
- pour ce faire, on se limitera à l'expression différentielle (pente du rayon par rapport au sol)
- on constate que dans certaines conditions, le rayon peut carrément rebrousser (mirage oasis ou on voit le ciel au niveau de la Terre...)
- noter qu'à l'inverse, un sol froid produit un mirage supérieur où les objets semblent être dans le ciel.
- en fait, un mirage c'est simplement le cerveau qui est persuadé que la lumière se propage en ligne droite, et donc qui place l'objet dans le prolongement droit du faisceau...

## 2 Fibres optiques [3]

### 2.1 fibre à saut d'indice

- on s'intéresse uniquement à la partie OPG de la propagation
- utiliser Snell Descartes pour expliquer la propagation par réflexion
- évaluer la dispersion intermodale (qui est liée à l'angle maximal de la fibre : ouverture numérique)

### 2.2 éviter la dispersion par des fibres à gradient d'indice

- faire au tableau la partie résolution de l'équation puis passer sur transparent
- suivre le calcul du Garing jusqu'à l'évaluation du temps de propagation
- conclure sur l'avantage des fibres à gradient d'indice.

**Conclusion :** Ouvrir sur les limites de l'OPG. Nécessité de l'optique ondulatoire pour traiter de nombreux phénomènes. Plus tard, l'avènement de la mécanique quantique remettra en cause le caractère mécanique des particules matérielles. Ainsi, bien loin du débat de savoir si la lumière est une onde ou une particule, nous savons maintenant que la lumière, comme la matière ont un caractère ambivalent, à la fois onde et particule.

**1. L'indice optique est il une mesure absolue ou relative ?** En tout état de cause, elle est relative. Seul le rapport de deux indices est caractérisante expérimentalement. Cependant, par convention, l'indice du vide est pris égal à 1, et tout indice mesuré par rapport à cette référence sera dit absolu.

**2. Pourquoi une lentille convergente pour la lumière est elle divergente pour les ondes sonores ?** Car le rapport des indices est inversé entre les deux cas. Un milieu dense possède un fort indice optique mais un faible "indice sonore" (le son se propage plus vite dans les milieux denses)

**3. ODG de taille de la section d'une fibre optique. Atténuation.** coeur :  $10\mu m$ , gaine  $100\mu m$ , protection  $250\mu m$ . Atténuation 0.1dB/km

**4. Pour la démonstration de Snell-Descartes, quels sont les chemins alternatifs considérés ?** Ceux possibles par déplacement du point d'impact sur le dioptre. Les milieux sont homogènes, donc la propagation se doit d'y être rectiligne.

**5. Exemple où le chemin optique est maximum ? où il est constant ?** Le chemin est maximum pour un miroir sphérique, constant pour un miroir elliptique.