

LP n° 31 **Titre :** Présentation de l'optique géométrique à partir du principe de Fermat

Présentée par : Jules Fillette

Rapport écrit par : Alexandra d'Arco et Gloria Bertrand

Correcteur : Agnès Maître

Date : 16/10/2018

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Optique, 3ème édition	J.-P. Pérez		
Ondes lumineuses		Boeck	
Optique géométrique	BFR	Dunod	1978

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : L3

Pré-requis : Lois de l'optique géométrique, Notions d'optique ondulatoire, Formalisme Lagrangien

Introduction : But de cette leçon = retrouver les lois connues de l'optique géométrique à partir d'un unique principe physique énoncé en 1657 par Pierre de Fermat sous la forme suivante :

*"La lumière se propage d'un point à un autre sur une trajectoire telle que
la durée du parcours soit minimale"*

et voir ce que ce principe à première vue assez simple contient de plus que les formulations usuelles de l'OG.

Première partie = trouver un énoncé plus moderne, puis retrouver les lois usuelles de l'OG avant d'approfondir le contenu du pp de Fermat

I) Enoncé moderne du principe de Fermat

1) Hypothèses

- Milieu linéaire
- Milieu transparent
- Pas nécessairement un milieu homogène : l'indice optique peut varier mais on suppose sur des longueurs $l \ll \lambda$ pour éviter le phénomène de diffraction

2) Du temps de parcours au chemin optique

Le rayon lumineux est le chemin le long duquel l'énergie lumineuse est transportée. Si on imagine un rayon de A à B un peu farfelu - abscisse curviligne s - le temps de parcours de s à $s+ds$ est $t(s)=ds/v(s)$ donc le temps de parcours global est l'intégrale de A à B de $t(s)$. On peut multiplier par c sans changer le principe variationnel (c constante) donc on le fait et on retrouve la définition de l'indice optique $n = c/v$ puis de chemin optique \Rightarrow grandeur plus sympas à utiliser, très commune en OO.

Attention : grandeur algébrique (la traj est orientée, ds possède un signe) = sens positif = sens de la propagation pour le rayon lumineux.

L s'interprète comme le chemin qu'aurait parcouru la lumière dans le vide dans le temps qu'il lui faut pour aller de A à B dans la matière.

3) Remise en cause du principe de minimalité

Exemple du miroir elliptique pour lequel le chemin est maximal (cf. Pérez -> à bien comprendre)

Définition de la stationnarité du chemin optique : par rapport à une trajectoire donner chaque point subit un déplacement infinitésimal $\delta M(s)$ tel que

- $\delta M(0) = \delta M(L) = 0$ (même point de départ et d'arrivée pour les deux trajectoires)
- ϵ est le max des $\delta M(s)$ le long de la traj

on veut que la variation δL de chemin optique sous ses transformations soit au moins d'ordre 2 en ϵ .

4) Énoncé moderne du principe de Fermat

La formulation actuelle est la suivante :

"Entre deux points A et B atteints par la lumière, le chemin optique le long du trajet suivi par la lumière est stationnaire."

II) Lois de l'optique géométrique

- 1) Propagation rectiligne, principe du retour inverse
- 2) Interface entre deux milieux homogènes
- 3) Formation des images

III) Propagation dans un milieu homogène

- 1) Équation des rayons
- 2) Propagation dans un milieu à gradient d'indice
- 3) Stigmatisme

Questions posées par l'enseignant

- Stationnaire veut-il dire minimal ou maximal ? Y a-t-il des cas où cela est maximal ? expliquer.
- Donner des exemples de stigmatisme approché
- La lentille est-elle un objet diffractant ? expliquer. La notion de stigmatisme (ou de stigmatisme approché) peut-elle se comprendre dans le cadre des interférences ?
- Comment fait-on le lien entre le principe de Fermat (optique géométrique) et l'optique ondulatoire.
- En quoi la taille finie de la lentille limite-t-elle la résolution
- Qu'est-ce qu'un rayon optique ?
- Comment fonctionne une fibre optique ? Préciser la notion d'ouverture numérique pour une fibre à gradient d'indice
- Expliquer le mirage froid et le mirage chaud.

Commentaires donnés par l'enseignant

Très bonne présentation, claire, bien menée, convaincante

Très bon échange dans la discussion

Des choix assumés pour la présentation

-principe variationnel pour obtenir l'équation des rayons. Du coup pas de temps pour Malus Dupin, mais c'est un choix qu'on peut faire

La notion de rayon lumineux aurait pu être explicitée

Partie réservée au correcteur

Avis sur le plan présenté

Excellent plan avec un choix assumé des parties discutées. Plan assez original avec le principe variationnel très bien traité dont on sort l'équation des rayons. Bon équilibre avec des ouvertures sur les images et les fibres à la fin, et du formalisme sur le principe variationnel dans la présentation. Bon usage d'images projetées.

Excellent respect du temps

Concepts clés de la leçon

- Principe de Fermat
- Propagation de la lumière et retour inverse de la lumière
- Notion de rayon lumineux
- Transmission et réfraction sur un dioptre
- Malus Dupin (évoque ici en leçon puis discuté ici durant les questions)

Concepts secondaires mais intéressants

- Formalisme lagrangien pour le principe variationnel, équation des ondes et applications aux milieux avec gradient d'indice
- Notion de stigmatisme
- lien optique géométrique/optique ondulatoire

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Effet mirage mais difficile à faire

Transmission d'une onde optique dans un prisme, mais pas évident à voir si on n'est pas dans le noir ou avec un laser puissant

images pour les mirages et pour le trajet maximum/extremum. (fait là)

on peut penser aussi à des illustrations avec guide d'onde lumineux

Points délicats dans la leçon

Attention au principe variationnel et l'utilisation du Lagrangien. Très bien fait là, mais peut-être plus difficile.

Lien optique géométrique/ optique ondulatoire