Leçon n°31 : Présentation de l'optique géométrique à partir du principe de Fermat

Niveau	**Licence**
Prérequis	Indice optique Ondes lumineuses
Biblio	Pérez
Plan	**I.**<u>Définition</u> **1.**Le rayon lumineux **2.**Le chemin optique **3.**Le principe de Fermat **II.**<u>Milieux homogènes</u> **1.**Propagation rectiligne **2.**Différentielle du chemin optique **3.**Loi de Snell-Descartes a) Loi de la réflexion b) Loi de la réfraction **III.**<u>Milieux inhomogènes</u> **1.**Équation aux rayons lumineux **2.**Application : fibre à gradient d'indice

Remarques :

-Présenter une expérience réelle mettre les sels qui diffusent en début de préparation
-pas le temps de faire une approche historique. plutôt des allusions si on veut se faire interroger dessus. Aller droit au but.
-Au moins faire un calcul.
-Plus traiter application : fibre à gradient d'indice

Questions :

○Qu'est-ce qu'un rayon lumineux ? ¾ minutes pour le définir sinon il vaut mieux ne pas le définir (parti des pré-requis)

○Comment on fait le lien entre le rayon lumineux et les équations de Maxwell ?
Eq Maxwell régissent les ondes electromagnétiques. Champs E, Champs B

○Que peux on définir comme quantité à partir des champs E et B ?
Vecteur de Poynting
Pi-= E-^B-/2mu(o)

Vecteur de poyting est partout parallèle au rayon lumineux
Pl-^dl-=0-

○Quelle est l'équation du rayon lumineux à partir de E(r-) et B(r-) ?

○Est-ce qu'il peut y avoir plusieurs chemins minimaux ? Exemples où il y en a plusieurs ?

Deux chemins minimaux non mais plusieurs chemins extrémaux oui.

○Expériences pour forcer des rayons lumineux à se balader sur une sphère ? A réexpliquer

○Que voit-on sur l'expérience sur les milieux inhomogènes ?

-Laser à l'entrée de la cuve : normal à la paroi de la cuve. Donc si le milieu était homogène le rayon irait tout droit (pas de réflexion sur le fond de la cuve).

○A quoi correspond le rayon rouge ?

Une fréquence différente.

○A quoi correspond l'équation des rayons lumineux ?

○Quel est le nom du vecteur unitaire qui est tangent ?

Vecteur tangent souvent noté t -

LP31 : Présentation de l'optique géométrique à partir du principe de Fermat

opt° ondulatoire
négligée [illegible]

Niveau : Licence

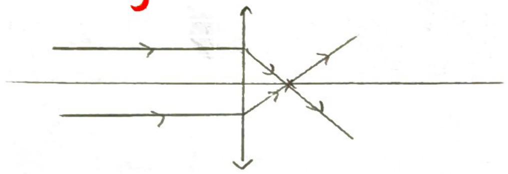
P-R :
- Indice optique
- Ondes lumineuses

Biblio :
- Optique, Perez
- Optique, Hermat (De Boeck Sup).

Introduction : $a \gg \lambda$

I. Définitions

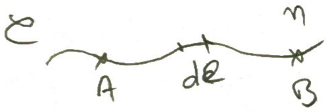
1. Le rayon lumineux



→ Modèle pour représenter la lumière.

n = indice optique = $\frac{c}{v}$

2. Le chemin optique

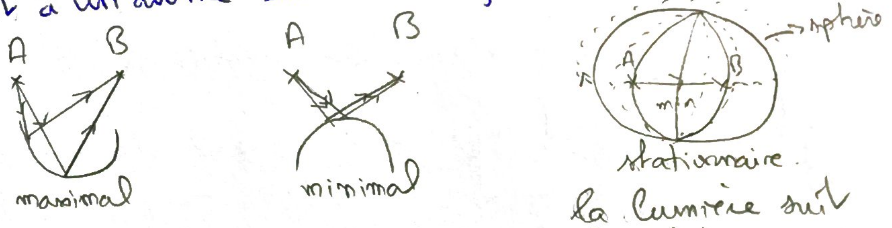


$$\boxed{\mathcal{L}_{AB,\mathcal{C}} = \int_A^B n\,d\ell = \int_A^B \frac{c}{v}\,d\ell = \int_A^B c\,dt}$$

3. Principe de Fermat

"La lumière se propage d'un point à un autre sur une trajectoire telle que la durée de parcours minimal"

→ stationnaire.



la lumière suit la sphère

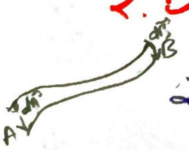
II. Milieux homogènes

1. Propagation rectiligne

$\mathcal{L}_{AB,\mathcal{C}} = \int_A^B n\,d\ell = n\int_A^B d\ell = n\,\overline{AB}$ → propagation rectiligne (parcours minimal).

→ $\mathcal{L}_{AB,\mathcal{C}} = \mathcal{L}_{BA,\mathcal{C}}$ retour inverse de la lumière.

2. Différentielle du chemin optique



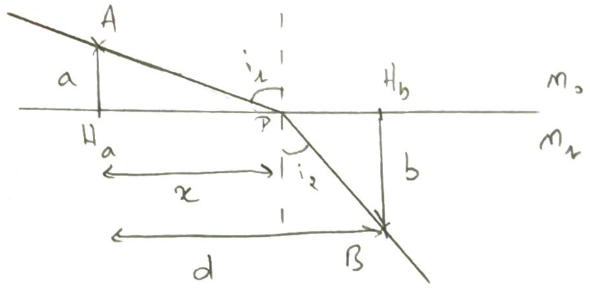
$\mathcal{L}_{AB} = \int_A^B n\,d\ell = n\,\vec{AB}.\vec{u}$ $\quad d\mathcal{L}_{AB} = n[d\vec{AB}.\vec{u} + \underbrace{\vec{AB}.d\vec{u}}_{\vec{0}}]$ car $d\vec{u}^2 = 2\vec{u}.d\vec{u}$

$= n\,d\vec{AB}.\vec{u}$

donc $\boxed{\mathcal{L}_{AB} = n[d\vec{\Theta} - d\vec{A}.d\vec{u}]}$

3. Lois de Snell-Descartes

a) Loi de la réfraction



$$\mathcal{L}_{AB} = n_0\, AP + n_1\, PB$$
$$= n_0\sqrt{a^2+x^2} + n_1\sqrt{b^2+(d-x)^2}$$

On pose $\frac{d\mathcal{L}_{AB}}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{n_0}{2}\frac{2x}{(a^2+x^2)^{1/2}} + \frac{n_1}{2}\frac{2x-2d}{(b^2+(d-x)^2)^{1/2}} =$

principe de Fermat

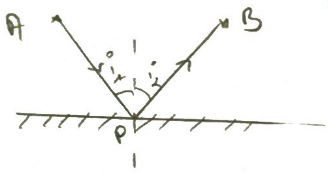
donc $\frac{n_0 x}{(a^2+x^2)^{1/2}} = \frac{n_1(d-x)}{(b^2+(d-x)^2)^{1/2}}$

or $\sin i_1 = \frac{x}{\sqrt{a^2+x^2}}$ et $\sin i_2 = \frac{d-x}{\sqrt{b^2+(d-x)^2}}$

ainsi $\boxed{n_0 \sin i_1 = n_1 \sin i_2}$ Loi de réfract° de Snell-Descartes.

→ Le rayon réfracté va être dans le plan formé par le rayon incident et la normale au dioptre.

b) Loi de la réflexion



→ Le rayon réfléchit est dans le plan formé par le rayon incident et la normale au dioptre.

→ $\boxed{i_1 = i_2}$ Loi de la réflexion de Snell-Descartes.

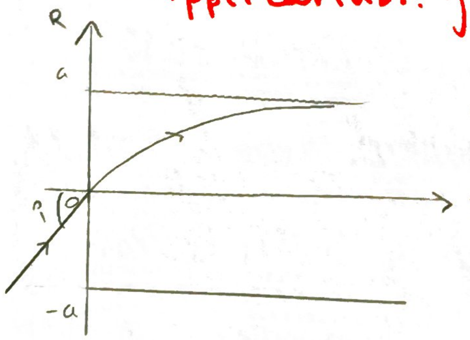
III. Milieux inhomogènes

1. Equation aux rayons lumineux

$$\boxed{\frac{d}{ds}(n\vec{u}) = \overrightarrow{grad}\, n}$$

→ vidéo eau avec du sel $= \overrightarrow{grad}\, n$
Laser → faisceaux courbé.

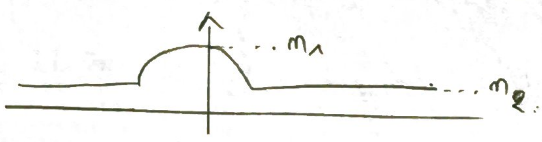
2. Applications : fibre à gradient d'indice



$n(R) = n_1(1 - KR^2) \Rightarrow \frac{dn(R)}{dR} = -2n_1 K R$

$n_1 \gg n_2 \Rightarrow \boxed{n\frac{\partial^2 R}{\partial z^2} + 2n_1 K R = 0.}$

Ouverture numérique : $ON = \sin i_{max}$
$= \sqrt{2n_1(n_1 - n_2)}$

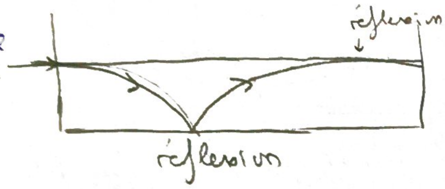


Conclusion

→ ouverture bien la choisir.

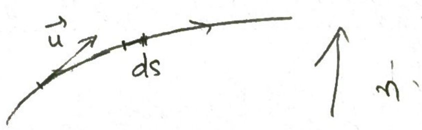
Commentaires :

- Qu'est-ce qu'un rayon lumineux ? Avec les Eq de Maxwell ?
- Vecteur de Poynting dessiner. $\vec{\pi} = \dfrac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{2\mu_0}$
- $\vec{E}(R)$, $\vec{B}(R)$ Eq du rayon lumineux ? vecteur de poynting est partout // au rayon lumineux
- Est ce qu'il y a un ou +sieurs chemins où la lumière est minimale ? +sieurs extremal.
- Sphère ?
- ni minimal, ni maximal → n'est pas stationnaire ↳ ellipse est cst.
- On peut ajouter un axe z normal au tableau (feuille) qui montre que le rayon est ds le plan d'incidence ($\vec{r}_i$ et $\vec{n}$)
  qd on le prend en compte en faisant $\dfrac{d\mathcal{L}}{dz}$.
- Expérience



2 laser ≠ un rouge, un vert
↳ décaler 2 frq ≠.

- Eq des rayons lumineux ?

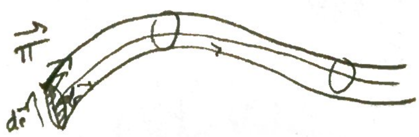


$\vec{u}$ c'est le vecteur tangent.

présenter une vraie expérience c'est bien. qualitative / spectaculaire et visible.

→ Applicat° à la fibre optique.

Rayon lumineux →
↳ éventuellement le retirer et le mettre ds les prérequis avec poynting

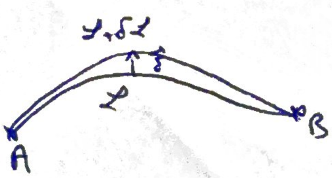


$\vec{\pi} // d\vec{r}$

$\vec{\pi} \wedge d\vec{r} = 0$

$\begin{vmatrix} \pi_x & dx \\ \pi_y & dy \\ \pi_z & dz \end{vmatrix} = 0.$

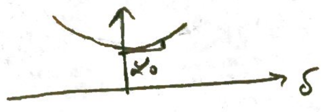
I. 3.



$\lim_{\delta \to 0} \dfrac{\delta\mathcal{L}}{\delta} = 0$

$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \delta\mathcal{L}$

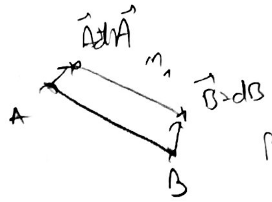
$\delta\mathcal{L} = \delta A + \delta^2 B^2 + \delta^3 C^3$



→ Énoncé moderne avec Rq sur min. mais cas max.

A un moment il faut faire un calcul

II 2. Milieux et homogènes par morceaux
faire i ds le Perez au cours

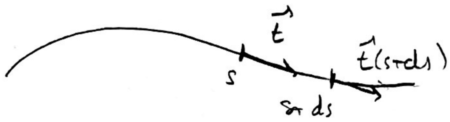


pour des segments

→ réflexion inutile de le faire.
→ Conclu les lois de S-D peuvent ê retrouvé à partir du P.F

III 1. pas le tps de le démontrer - Discuter sur ce qu'elle veut dire
→ signification géo
→ déf quantité.

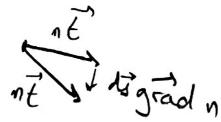
$n(\vec{r})$



si n varie t varie
si n cst t cst.

on montre avec F que $\frac{d}{ds}(n\vec{t}) = \vec{\text{grad}}\, n$.

la variation



$n\vec{t}(s+ds) = n\vec{t}(s) + ds\,\vec{\text{grad}}$