



**Université Internationale
de Casablanca**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

UNIVERSITÉ RECONNUE PAR L'ÉTAT

Cours d'Optique géométrique

Filière CPI 1

Semestre S2



Introduction générale

OBJECTIFS DU COURS

Savoirs

Définition du vocabulaire associé :

- Aux ondes
- Aux lois de la réflexion et de la réfraction
- Aux lentilles minces

et Savoirs Faire

Appliquer les lois de la réflexion et de la réfraction sur des exemples simples

Construire géométriquement le trajet d'un rayon lumineux dans une fibre optique à saut d'indice.

Construire géométriquement l'image d'un objet à travers une lentille mince convergente et divergente



STRATÉGIES PÉDAGOGIQUES

- ❖ Deux heures de cours magistral par semaine.
- ❖ De nombreux exemples seront faits en classe pour permettre aux étudiants de bien assimiler la théorie et les techniques présentées au cours.
- ❖ Deux heures seront consacrées à l'analyse de problèmes et d'applications pertinentes. L'étudiant est alors en mesure d'évaluer objectivement son degré d'acquisition des connaissances et d'y apporter les correctifs appropriés.
- ❖ Des séances en laboratoire complètent l'apprentissage des concepts fondamentaux. 8 heures



TRAVAUX PRATIQUES(8H)

1. Réfraction de la lumière
2. Focométrie



**Université Internationale
de Casablanca**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

UNIVERSITÉ RECONNUE PAR L'ÉTAT

Chapitre I:

Sources de lumières, notions de rayons lumineux



Sources de lumière

En premier temps on expliquera la différence entre les sources de lumières primaires et secondaires, en deuxième temps la propagation de la lumière. et en troisième temps on définira quatre sources de lumières:

Les sources d'incandescence

Les sources de fluorescence

Les sources de bioluminescence



Les sources primaires

Les sources de lumières primaires produisent de la lumière par elle-même

Exemple:

- Soleil
- Feux d'artifices
- Éclairs



Les sources secondaires

- Les sources de lumière secondaires sont des objets qui renvoient une partie de la lumière qu'ils reçoivent

Exemple:

- Lac
- Pomme
- Terre



Les sources d'incandescence

Objet tellement chauffé qu'il produit de la lumière visible

Flammes ou ampoules électriques

Une durée de vie de 6 à 15 fois moins longue que celle des ampoules fluorescentes

Transforme 70% de son énergie en chaleur et 30% en lumière





Les sources de fluorescence

Particules qui absorbent l'énergie ultraviolette

Tube fluorescent utilise beaucoup moins d'énergie que les ampoules incandescentes

Mercure qui absorbe l'énergie ultraviolette

Transforme 80% de son énergie en lumière et 20% en chaleur





Les sources de bioluminescence



Réaction chimique produite dans le corps d'un être
vivant

Les animaux marins qui l'utilisent s'en servent
pour attirer leurs proies

Mais elle est aussi utilisé comme moyen de
défense

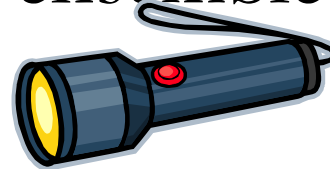




La propagation

La lumière se propage en ligne droite jusqu' à ce qu' elle frappe un objet

Un faisceau lumineux est un ensemble de rayon lumineux



Pour voir un objet, il faut qu' il soit éclairé et qu' il diffuse de la lumière





La lumière :

- La lumière visible fait partie d'une grande famille de phénomènes de même nature: **les ondes électromagnétiques**.
- La lumière naturelle est donc une superposition d'ondes électromagnétiques de différentes longueurs d'ondes (couleurs).



Propagation de la lumière

La lumière, les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans le vide.

La lumière n'a pas besoin de support matériel pour se propager.

La lumière se propage **dans le vide** à la vitesse de la lumière :

$$c = 299792458 \text{ m/s}$$

Durée de propagation Terre-Lune : 1,2 s

Terre-Soleil : 8 mn

Rien ne peut aller plus vite que la lumière (dans le vide).



Ondes progressives

□ Onde

- Perturbation d'un milieu dans lequel elle se propage
 - Onde mécanique (corde, liquide, ondes sonores,...)
 - Onde électro-magnétique
- Seule la perturbation se déplace, pas le milieu
 - Grandes vitesses de déplacement

□ Progressive

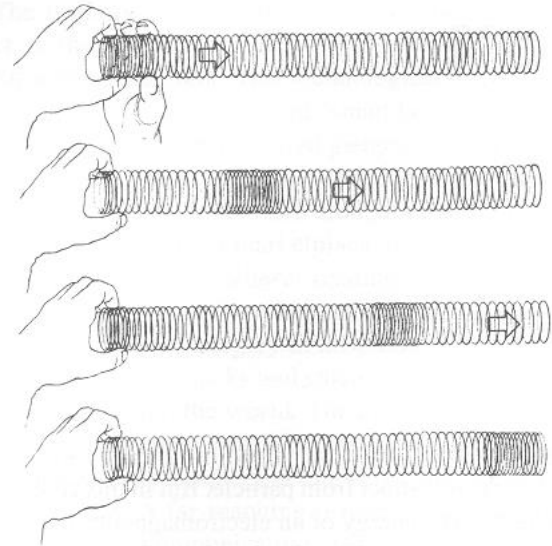
- La perturbation se propage dans l'espace
 - Doit être fonction du temps et de l'espace



Ondes longitudinales et transversales

□ Longitudinale

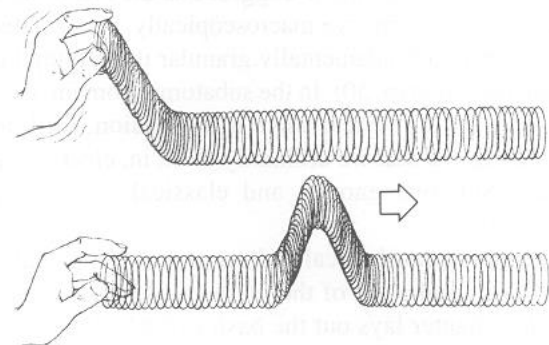
- Mouvement parallèle à la propagation



(a)

□ Transversale

- Mouvement perpendiculaire à la propagation
- Onde EM = transversale





Equation d'onde différentielle

- D'Alembert (1717-1783)

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

- Définition
 - Une onde est une solution de l'équation d'ondes !



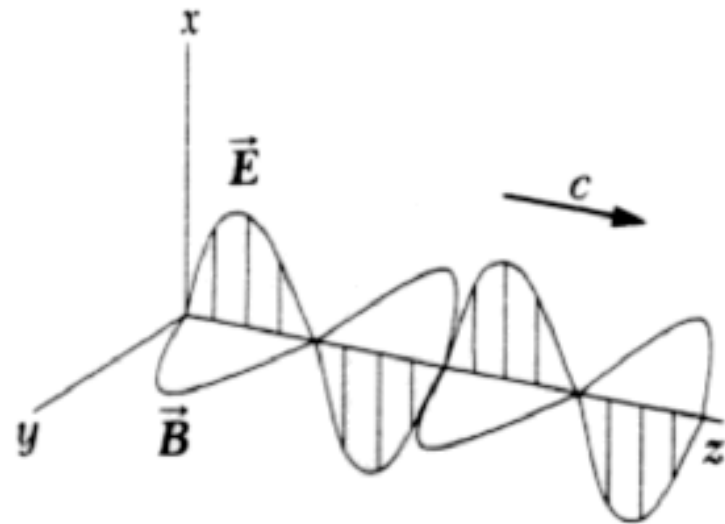


Ondes électro-magnétiques

- Equations de Maxwell (1831-1879)
 - Unifie les lois de l'électromagnétisme
 - Fournit une solution à l'équation d'ondes
- Solution: 2 ondes harmoniques transverses

$$\mathbf{E} = E_0 \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right) \right] \mathbf{u}_x$$

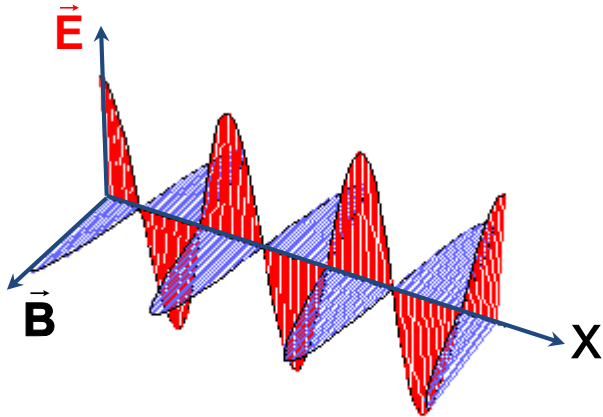
$$\mathbf{B} = B_0 \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right) \right] \mathbf{u}_y$$



Onde électromagnétique

Des sources diverses créent un champ électromagnétique (\vec{E} et \vec{B}) qui est défini en tout point de l'espace $M(x,y,z)$ à tout instant t . Les variations spatiales et temporelles de ce champ définissent une onde électromagnétique.

La vitesse de propagation v dépend de la nature du milieu (dans le vide elle est maximale est égale à c).



Une telle onde se propageant vers les x positifs avec une vitesse v pourra avoir la forme générale :

$$E = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi \right]$$

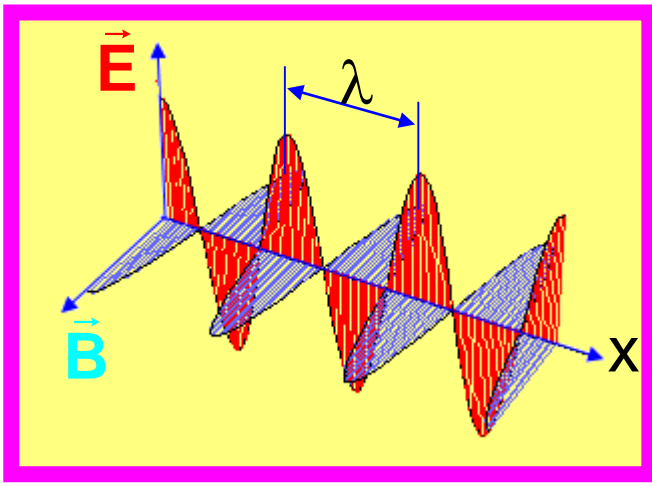
A est l'amplitude de l'onde ;

ω est la fréquence circulaire ou pulsation. Elle est reliée à la période T et à la fréquence ν de la radiation par les relations :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{et} \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

$-\frac{\omega x}{v} + \varphi$ est la phase au point x .

A un instant donné, E est une fonction sinusoïdale de x .



La distance λ entre deux maxima ou deux minima successifs est appelée ***longueur d'onde***.

On a alors les relations : $\frac{\omega\lambda}{v} = 2\pi$

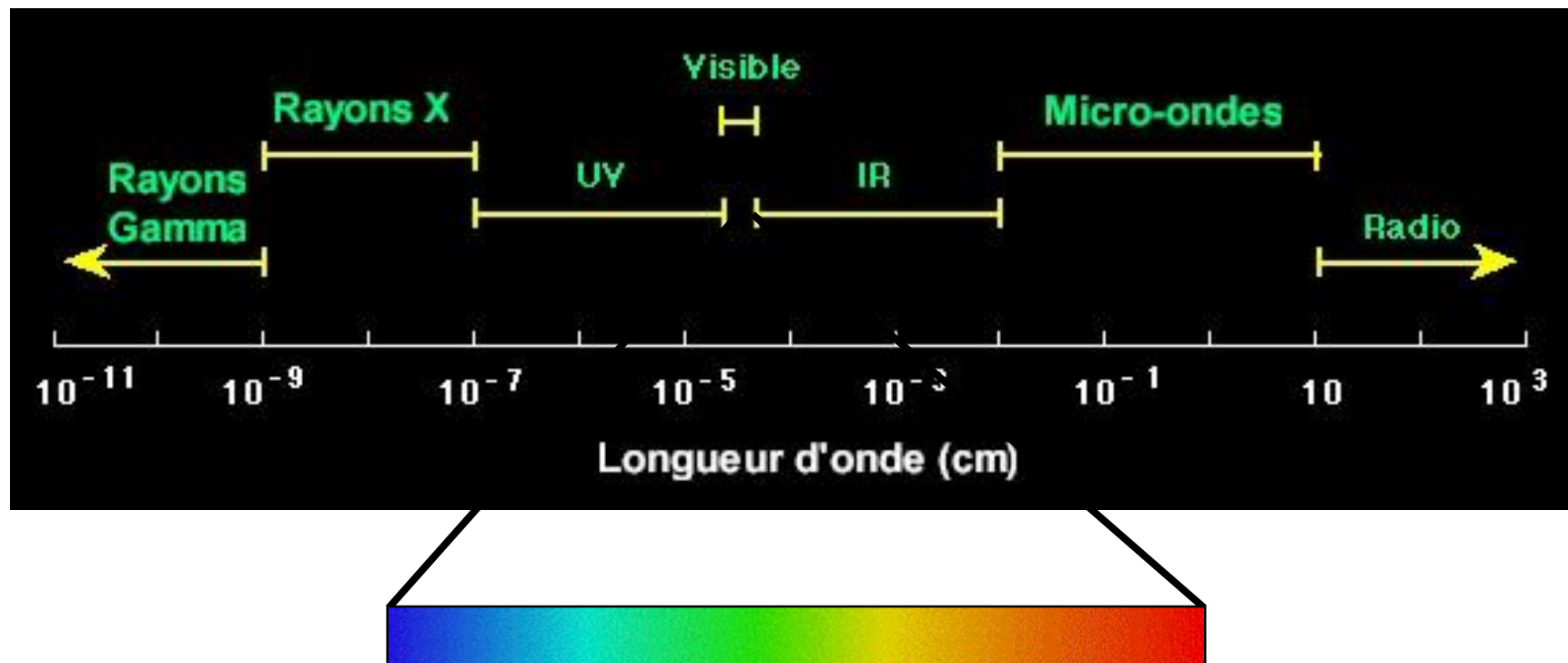
ce qui définit la longueur d'onde : $\lambda = vT$

ou en l'exprimant avec la fréquence ν de la radiation :

$$\lambda = \frac{v}{\nu}$$



Le spectre électromagnétique





L'onde électromagnétique est caractérisée par une fréquence (ν), une longueur d'onde (λ), une vitesse de propagation ou célérité (la vitesse de la lumière c), telle que:

$$\lambda = c / \nu,$$

on y associe une période $T = 1/\nu$

fréquence ν (lettre grec «nu», f en électricité)

La fréquence est la valeur fondamentale, c et λ sont modifiées par la nature du milieu de propagation

Dans le vide $c_0 \approx 300\,000$ km/s ($3 \cdot 10^8$ m/s)



Exemple 1

Soit un rayon X dont la fréquence est de 3×10^{18} Hz. Calculez la longueur d'onde de cette onde électromagnétique.

Rappel: vitesse d'une onde

$$v = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3 \times 10^{18} \text{ Hz}} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$$

Un critère simple, qui ne sera pas justifié ici repose sur la comparaison entre la dimension caractéristique D d'un obstacle placé sur le trajet de la lumière et la longueur d'onde λ , et offre le choix suivant :

	Optique géométrique	Optique ondulatoire	Optique quantique
Validité	$D \gg \lambda$	$D \leq \lambda$	$D \ll \lambda$
Préoccupations	Rayon lumineux, réflexion, réfraction, dispersion,	Ondes lumineuses, interférence, diffraction, diffusion	Processus atomiques, vibrations des molécules
Apparition	17 ^{ème}	19 ^{ème}	20 ^{ème}



- Vitesse de propagation de la lumière

Dans un milieu matériel la lumière se propage plus lentement ; sa vitesse dépend du type de milieu, c'est à dire de **l'indice de propagation du milieu** :

$$V = \frac{C}{n}$$

Milieu	Indice n
Vide	1
Air	1,00027=1
Eau	1,33
Verre courant	1,5
Verre à fort indice	1,6<n<1,8
crystal de Lustre	1,9
Diamant	2,4



Indice optique d'un milieu transparent

Un milieu est transparent s'il permet la propagation de la lumière, sans absorption.

Pour les milieux matériels, la transparence dépend de la longueur d'onde du rayonnement. C'est le cas des isolants comme les verres qui sont transparents dans le visible, mais absorbent l'infrarouge lointain et l'ultraviolet. Il n'y a que le vide qui soit transparent à toute longueur d'onde.





L'indice optique n d'un milieu transparent est défini par :

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

où c est la vitesse de propagation de la lumière dans le vide, et v la vitesse de propagation de la phase de l'onde dans le milieu.

C'est un nombre sans dimension, toujours **supérieur à 1**. Plus n est grand, plus le milieu est dit réfringent.

L'indice n du milieu est généralement donné pour la radiation jaune ($\lambda = 589 \text{ nm}$), ce qui correspond à un indice absolu moyen sur le spectre visible.

Milieu	Air	Eau	Crown	Flint	Diamant
Indice n	1,003	~1,33	~1,52	~1,67	2,42

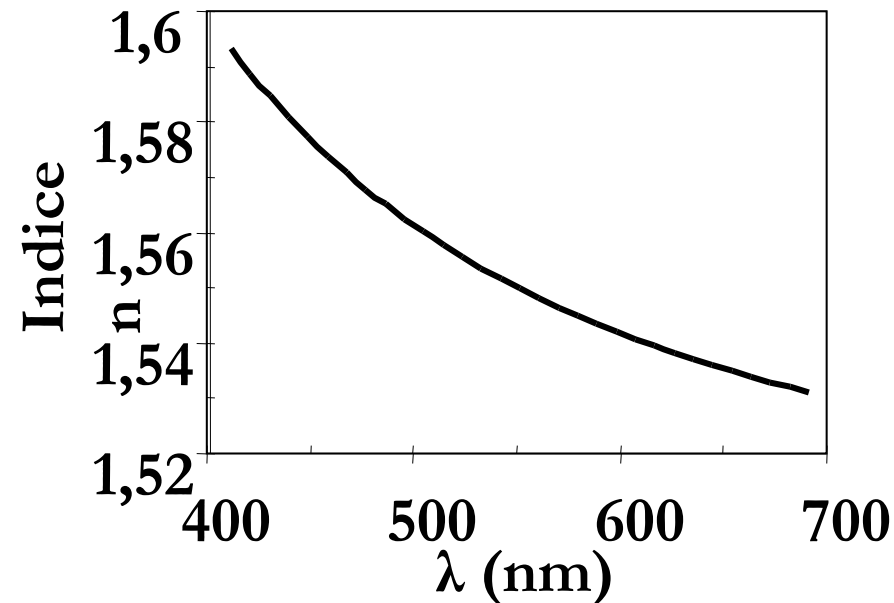


Un **milieu transparent** dont l'indice optique dépend de la longueur d'onde est dit dispersif. C'est en fait le cas de tous les milieux matériels, même si la variation d'indice peut parfois être négligée sur un petit domaine spectral.

Pour la plupart des milieux utilisés en optique, l'indice $n(\lambda)$ peut s'exprimer selon la formule empirique de Cauchy :

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

où a et b sont des constantes positives;
pour le verre, $a \sim 1,5$ et $b \sim 1,5 \times 10^{-14}$
 m^2 .





L'indice de réfraction n :

n est constant dans les milieux homogènes

☞ n dépend de λ

Loi de Cauchy.

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

avec A et B positifs

☞ n dépend de ρ

Loi de Gladstone

$$n(\rho) = 1 + k\rho$$

ρ la masse volumique du milieu

$$k \geq 0$$



Principes d'optique géométrique

☞ Principe de **Fermat** :

« Le trajet suivi par la lumière est celui pour lequel **le chemin optique est stationnaire** . »

☞ Les rayons lumineux n'interagissent pas entre eux

☞ Dans un **milieu homogène** transparent et isotrope, les rayons lumineux suivent une trajectoire rectiligne

☞ le chemin suivi est **indépendant du sens de parcours**. Cela signifie que si l'on inverse le sens de propagation de la lumière, un rayon lumineux suit le même chemin même à travers une surface de séparation entre 2 milieux.

☞ à l'interface entre 2 milieux différents, le trajet d'un faisceau lumineux est régi par **les lois de Snell-Descartes**



L'optique géométrique est une approximation... :
ce que l'on suppose

$\lambda \rightarrow 0$; propagation rectiligne dans milieu homogène
i.e. λ petit par rapport aux instruments de mesure

- ✓ \exists des rayons lumineux indépendants les uns des autres
- ✓ Dans un milieu homogène, transparent et isotrope, les rayons lumineux sont des lignes droites.
- ✓ A la surface de séparation de deux milieux, les rayons lumineux obéissent aux lois de Snell-Descartes.
- ✓ Principe du retour inverse de la lumière



L'optique géométrique est une approximation... :
ce que l'on suppose

Fondements de l'optique géométrique
déduits du **Principe de Fermat**

= principe du moindre temps selon
lequel la lumière suit le
trajet de plus courte durée

[utilise chemin optique défini par la théorie ondulatoire de la lumière...]

= **chemin optique** $\delta L = n(l)\delta l$ **extrémal**
(minimal/maximal)



Le principe de Fermat

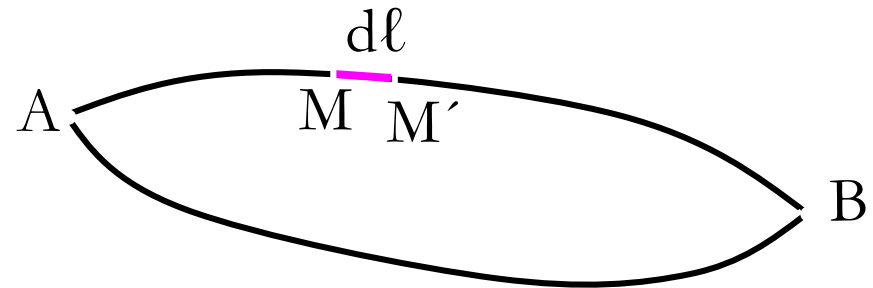
Le chemin optique

Soient A et B deux points aux extrémités d'un trajet sur un rayon lumineux et un point M de ce rayon où la vitesse de la lumière est notée $v(M)$.

La durée de parcours de l'élément $d\ell = MM'$ est :

$$dt = \frac{d\ell}{v(M)} = \frac{n(M) d\ell}{c}$$

car $n(M) = \frac{c}{v(M)}$



Pendant cette durée dt , la lumière parcourt dans le vide le trajet :

$$dL = c dt = n(M) d\ell$$



On appelle *chemin optique* le long du trajet AB l'expression :

$$L_{AB} = \int_{AB} n(M) d\ell$$

Unité: L étant une longueur s'exprime en mètres.

Énoncé du principe de Fermat

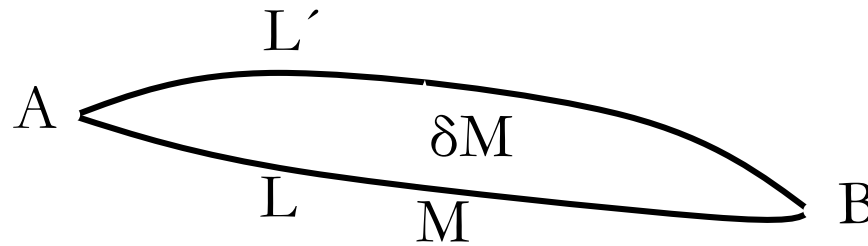
Ce principe est indépendant de la nature ondulatoire de la lumière et permet de bâtir toute l'optique "géométrique" à partir de la seule notion de rayon lumineux.

Parmi tous les trajets possibles entre A et B, un seul est emprunté par la lumière :



Pierre de Fermat
(1601 – 1665)

"Le trajet effectivement suivi par un rayon lumineux entre deux points A et B est tel que le temps de parcours de la lumière entre ces deux points est stationnaire "



Stationnaire signifie que pour une variation δM du point M, la variation de chemin optique $\delta L = L' - L$ (pour deux chemins optiques infiniment voisins L et L') est un infiniment petit par rapport à $|\delta M|$.

Cette stationnarité correspond à un minimum.



Premières conséquences

Propagation rectiligne dans un milieu homogène

Dans un milieu homogène, $n = \text{cte}$, par suite :

$$L_{AB} = n \widehat{AB}$$

et on sait que l'arc AB minimal est la **ligne droite**.



Retour inverse de la lumière

Soit entre A et B le chemin optique L_{AB} . Nous pouvons

écrire :

$$L_{AB} = \int_{Ab} n(M) dl = \int_{Ab} n(M)(-dl) = \int_{Ab} n(M) dl'$$

ceci, si dl' correspond à un élément de trajet orienté de B vers A, donc : $L_{AB} = L_{BA}$

Ces deux trajets sont stationnaires; le trajet suivi par la lumière ne dépend pas du sens de parcours.