



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Nous innovons pour votre réussite !

Cours d'Optique géométrique

Filière CPI1

Semestre S2

Introduction générale

Pourquoi doit on étudier l'optique?

Introduction générale

Pourquoi doit on étudier l'optique?

Optique et nutrition: quel lien?

- Une nouvelle étude sur le rôle des oméga 3 et la sécheresse oculaire de grande ampleur a été conduite récemment: Les acides gras représentent un des suppléments les plus importants dans le traitement de l'œil sec .
- Du point de vue des vitamines c'est toujours la vitamine A et la vitamine E qui sont les plus importantes au niveau de l'œil sec.
- Une carence sévère en vitamine A qui n'existe pas sous nos latitudes, conduit à une xérophtalmie (insuffisance totale de larmes)

Introduction générale

OBJECTIFS DU COURS

Savoirs

Définition du vocabulaire associé :

- Aux ondes
- Aux lois de la réflexion et de la réfraction
- Aux lentilles minces
- À la fibre optique

et Savoirs Faire

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

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

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

L'optique

... Ce que perçoit l'œil

Une science vieille de 2000 ans

- **Grecs:**

- Aristote (384-322 av JC) : éther (pas de vide)
- Euclide (325-265 av JC) : loi de la réflexion, rayon lumineux
- Ptolémée (100-170 ap JC) : étude de la réfraction (pas la loi)
- Héron d'Alexandrie (100 ap. J.-C.) : trajet le plus court

- **Arabes:**

- Ibn Al-Haytham (965-1039) : concept d'image, formation des images / l'œil

- **13^{ème} siècle:** miroirs, besicles, arc-en-ciel

- **17^{ème} siècle : débat sur la nature ondulatoire/corpusculaire de la lumière**

- 1609 : Galilée: lunette, microscope
- 1611 : loi de la réfraction (Willebrordus Snellius), lunette astronomique / Kepler
- 1637 : *Dioptrique* de Descartes: formulation mathématique des lois de l'optique

- **20^{ème} siècle : complémentarité → optique physique
mécanique quantique, électromagnétisme**

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

PLAN DU COURS

Semaine 1	Chapitre 1: Notion de rayon lumineux
Semaine 2	Travaux dirigés : sur les rayons lumineux
Semaine 3	Chapitre 2: Réflexion – réfraction
Semaine 4 & 5	Travaux dirigés sur : Sur le chapitre 2
Semaine 6	Examen partiel 1
Semaine 7	Chapitre 3: Formation des images
Semaine 8 & 9	Travaux dirigés sur : le chapitre 3
Semaine 10	Chapitre 4: Lentilles minces
Semaine 11	Travaux dirigés sur : le chapitre 4
Semaine 12	Chapitre 5: Miroirs sphériques
Semaine 13	Travaux dirigés sur : le chapitre 5
Semaine 14	Examen partiel 2

TRAVAUX PRATIQUES (8H)

1. Réfraction de la lumière
2. Focométrie
2. Goniométrie et prisme

Chapitre I:

Sources de lumières, notions de rayons lumineux

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

Les sources d'incandescence

Les sources de bioluminescence

Les sources de fluorescence

Les sources de chimioluminescence

La propagation

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

Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux



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



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



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

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).

Ondes électro-magnétiques

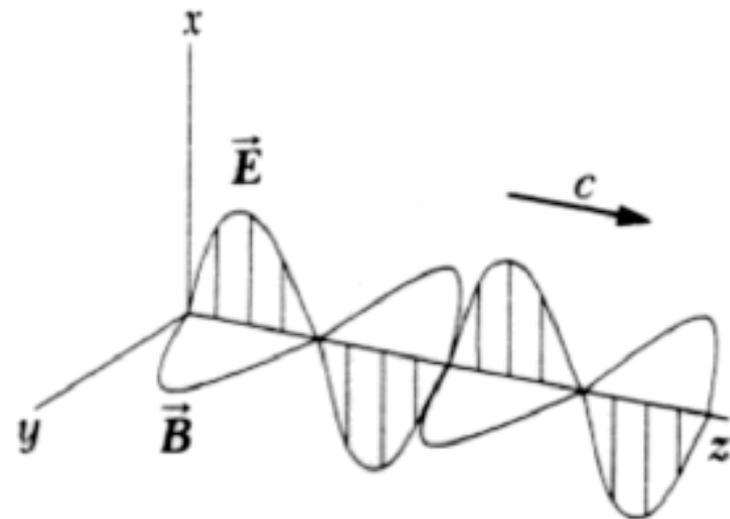
- Equations de Maxwell (1831-1879)
 - Unifie les lois de l'électromagnétisme
 - Fournit une solution à l'équation d'ondes
- Solution: 2 ondes harmoniques transverses

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

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

- Intensité

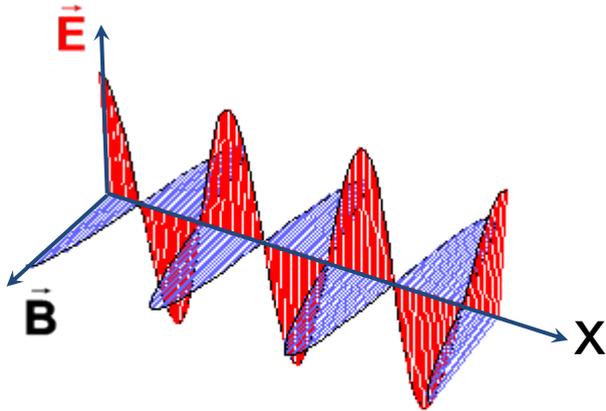
$$I \propto E_0^2$$



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).



Pour une onde polarisée rectilignement, \vec{E} et \vec{B} sont orthogonaux entre eux et dans un plan fixe.

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

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

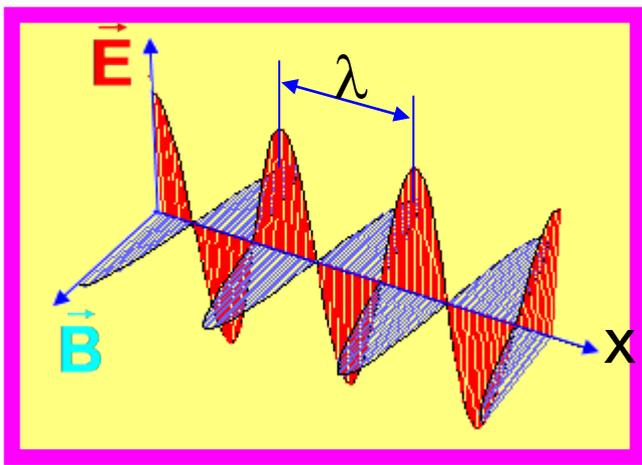
A est l'amplitude de l'onde ;

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 : $\frac{\omega\lambda}{v} = 2\pi$

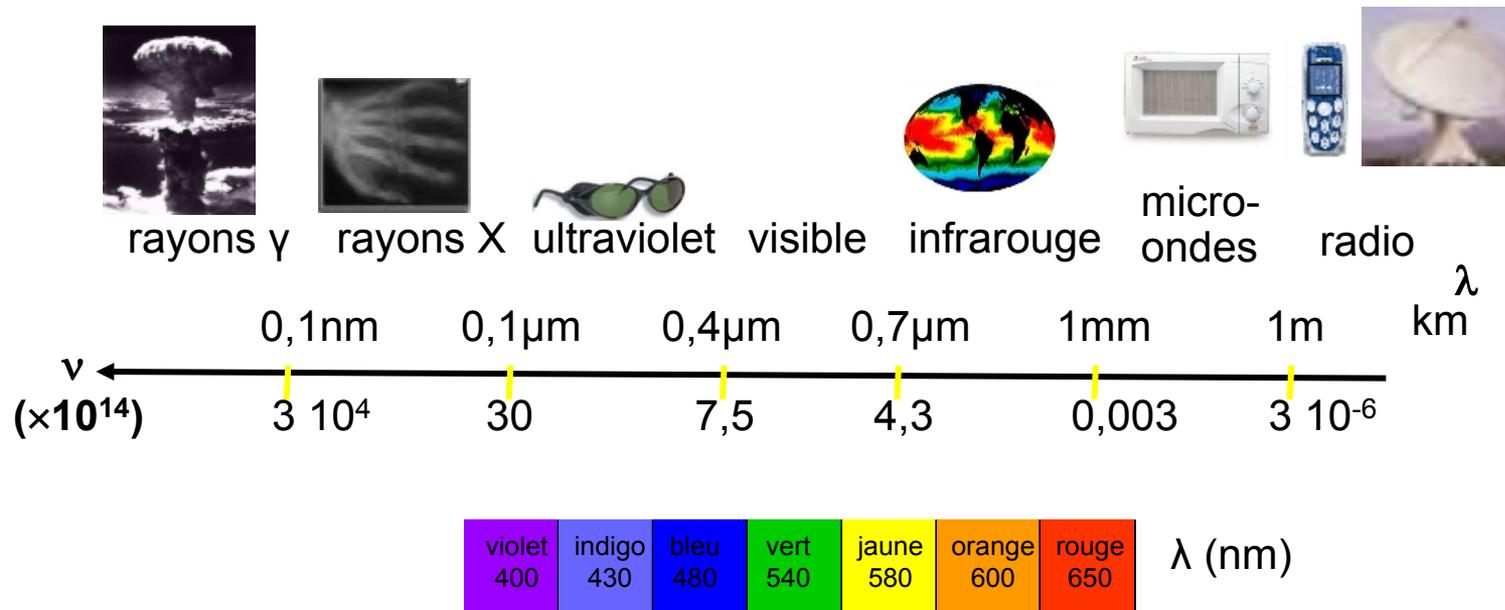
ce qui définit la longueur d'onde : $\lambda = vT$

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

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

Spectre

Il est important de situer le phénomène lumineux visible dans l'échelle des longueurs d'ondes ou des fréquences.



Le domaine **visible** s'étend approximativement de $0,4$ à $0,7 \mu\text{m}$

Caractère corpusculaire

C'est **Einstein**, en 1905, qui pour rendre compte des effets photoélectriques a introduit la notion de corpuscule de lumière ou photon; l'énergie de la lumière se propage par quanta d'énergie $h\nu$:

($h = 6,62 \times 10^{-34}$ J/s est la constante de Planck et ν la fréquence du rayonnement).

Ce modèle corpusculaire ne rend pas compte de l'aspect ondulatoire de la lumière.

On ne l'utilise que si le nombre de photons mis en jeu est très faible.

- 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

- **La longueur d'onde (λ)** est la plus petite distance, mesurée suivant l'axe de propagation, entre deux points de l'onde ayant les mêmes caractéristiques. La longueur d'onde est par exemple la distance entre deux maxima ou deux minima successifs.

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$$

$$C = 299792458 \text{ ms}^{-1}$$

T période de l'onde

ν sa fréquence

L'indice de réfraction n :

n est constant dans les milieux homogènes

☞ n dépend de λ

Loi de Cauchy.

avec A et B positifs

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

☞ 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 ou extrémal**. »

☞ 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 dédits 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)

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, photométrie	Ondes lumineuses, interférence, diffraction, diffusion	Processus atomiques, vibrations des molécules
Apparition	17 ^{ème}	19 ^{ème}	20 ^{ème}

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 ($\lambda = 589$ nm), ce qui correspond à un indice absolu moyen sur le spectre visible.

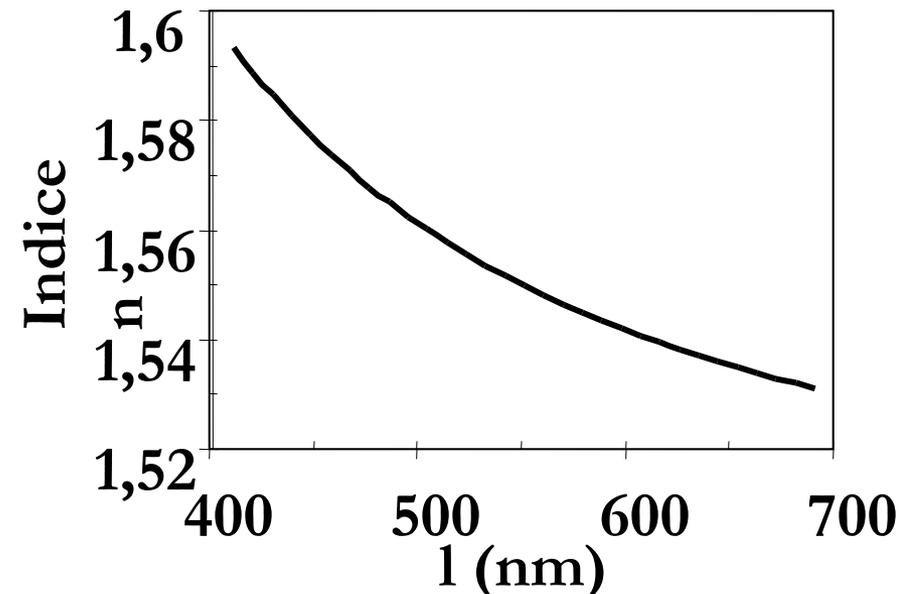
Milieu	Air	Eau	Crown	Flint	Diamant
Indice n	1,003	~1,33	~1,52	~1,67	2,42

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 .



Le principe de Fermat

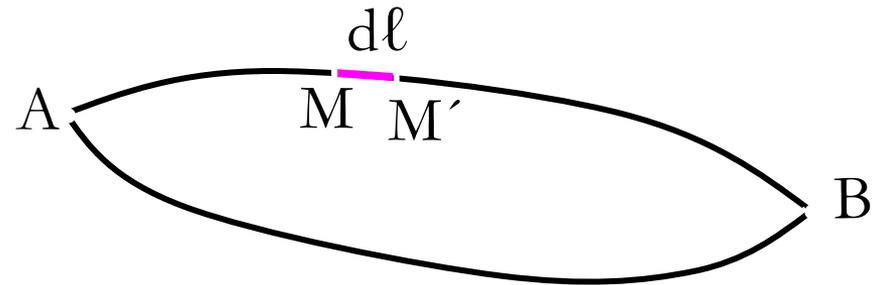
Le chemin optique

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

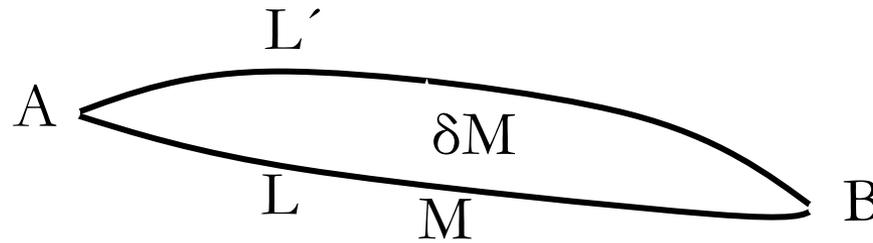
Ce principe est indépendant de la nature ondulatoire de la lumière et permet de bâtir toute l'optique "géométrique" à partir de la seule notion de rayon lumineux.

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 $|\delta M|$.

Dans la plupart des cas, 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 :

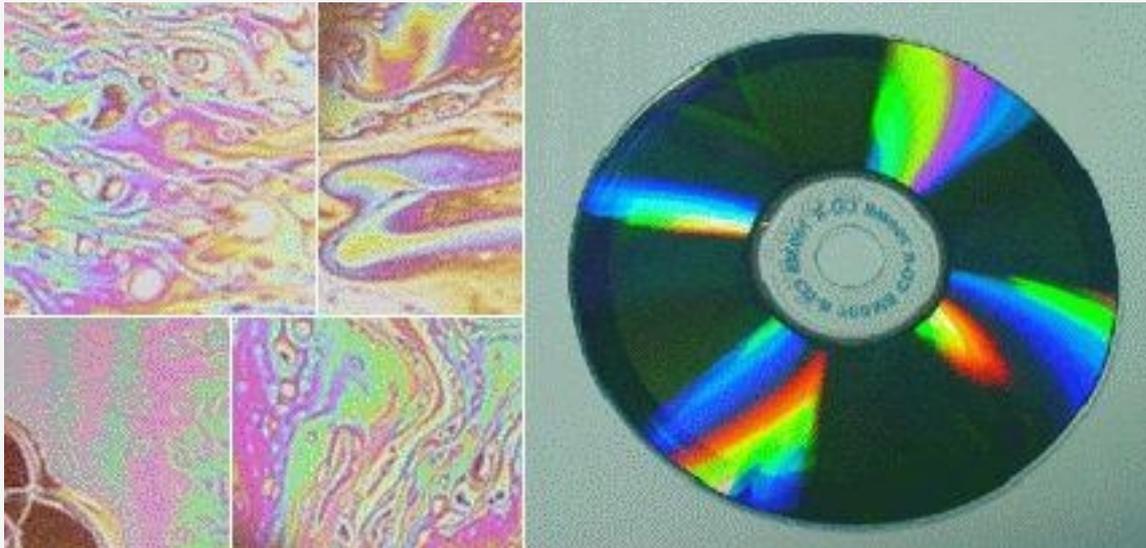
$$L_{AB} = \int_{Ab} n(M) dl = \int_{Ab} n(M)(-dl) = \int_{Ab} n(M) dl'$$

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.

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

Interférences et diffraction (phénomènes liés à la nature ondulatoire de la lumière)



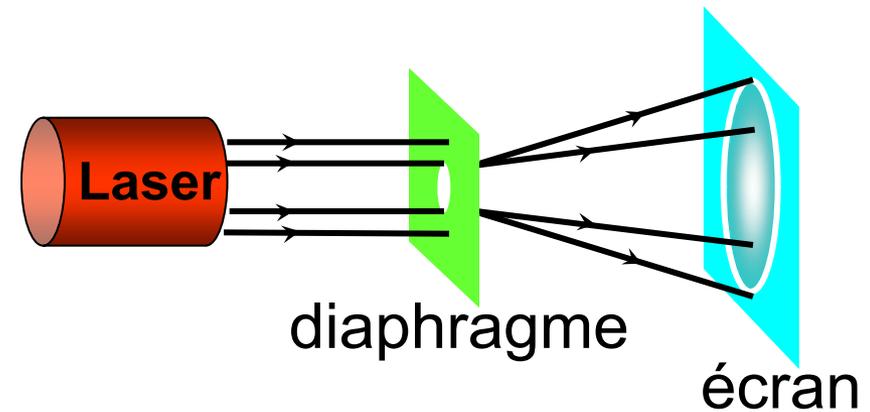
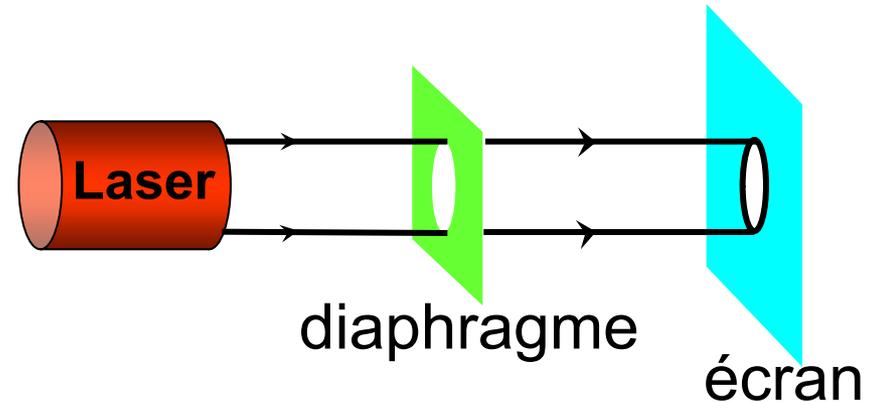
Bulles de savon : couleurs interférentielles

Diffraction de la lumière sur un CD

Limite de validité du modèle géométrique

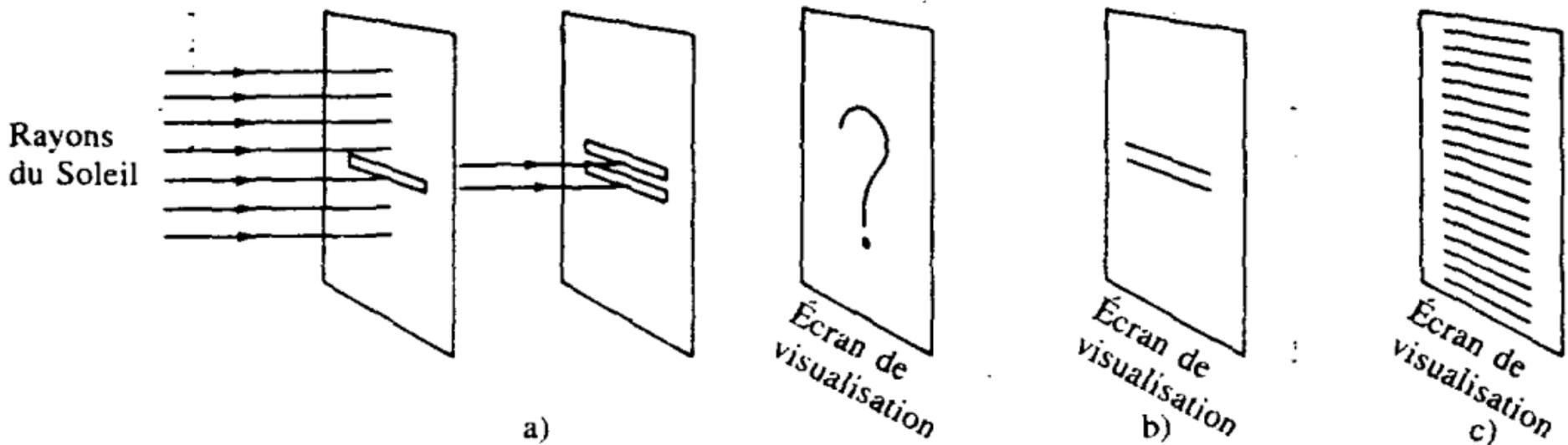
Nous plaçons devant le rayonnement directif d'un laser, un diaphragme à ouverture circulaire variable.

La loi de propagation rectiligne est une loi limite, valable dans le cas des longueurs d'onde faibles devant les dimensions des diaphragmes des systèmes optiques.



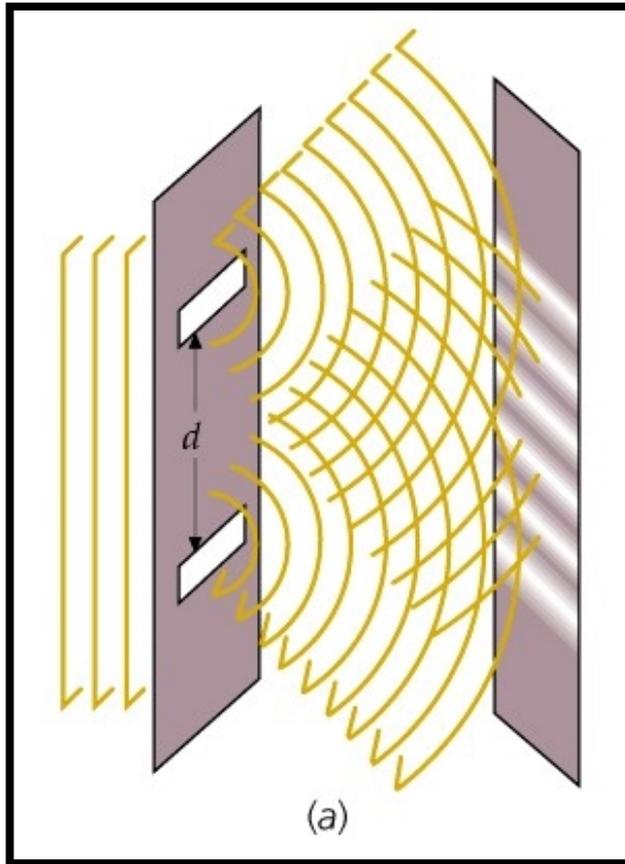
L'expérience de Young

C'est en 1801 que Thomas Young (1773-1829) démontra la nature ondulatoire de la lumière et réalisa sa fameuse expérience de la double fente de Young.



a) Expérience de la double fente de Young. b) Si la lumière était constituée de particules, nous devrions nous attendre à voir deux lignes brillantes sur l'écran de visualisation derrière les fentes. c) Young observa plusieurs lignes.

L'expérience de Young

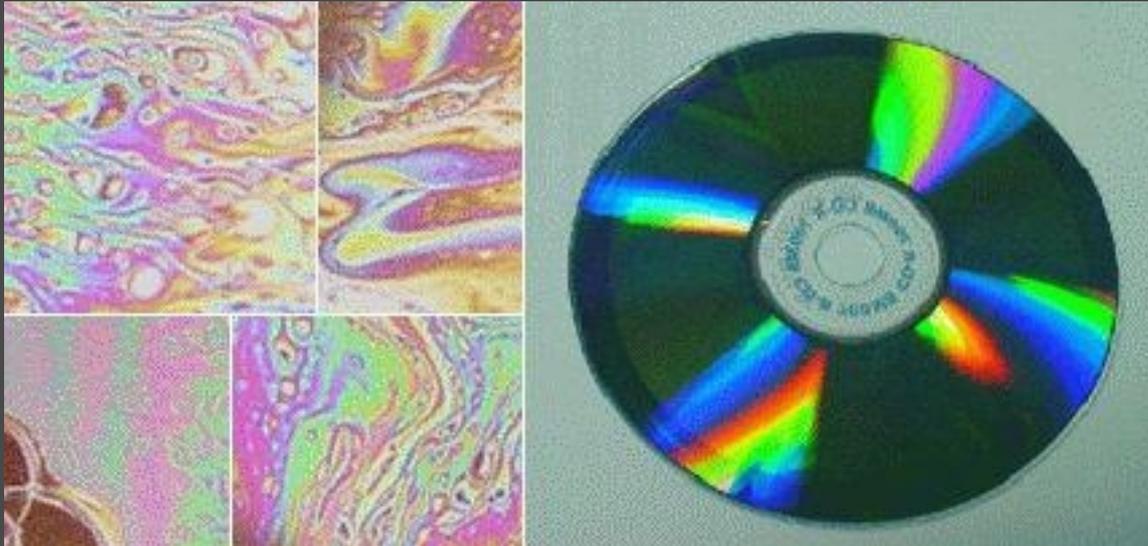


- Un dispositif à deux fentes (dispositif de Young), éclairé par un faisceau de lumière cohérente, produira une figure d'interférence formée de franges brillantes et sombres.

Caractère ondulatoire

Le modèle ondulatoire s'est progressivement imposé devant l'impossibilité du modèle géométrique à expliquer des phénomènes tel que la diffraction, l'arc-en-ciel, le bleu du ciel...

Interférences et diffraction (phénomènes liés à la nature ondulatoire de la lumière)

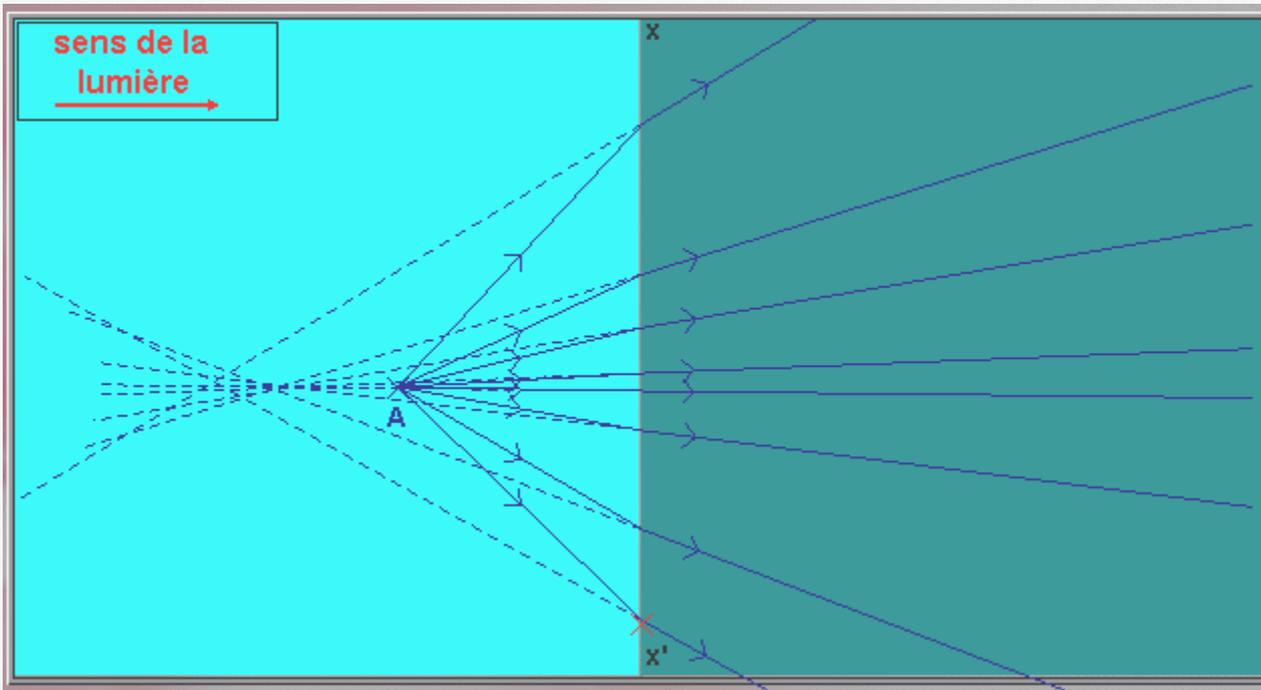


Bulles de savon : couleurs interférentielles

Diffraction de la lumière sur un CD

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

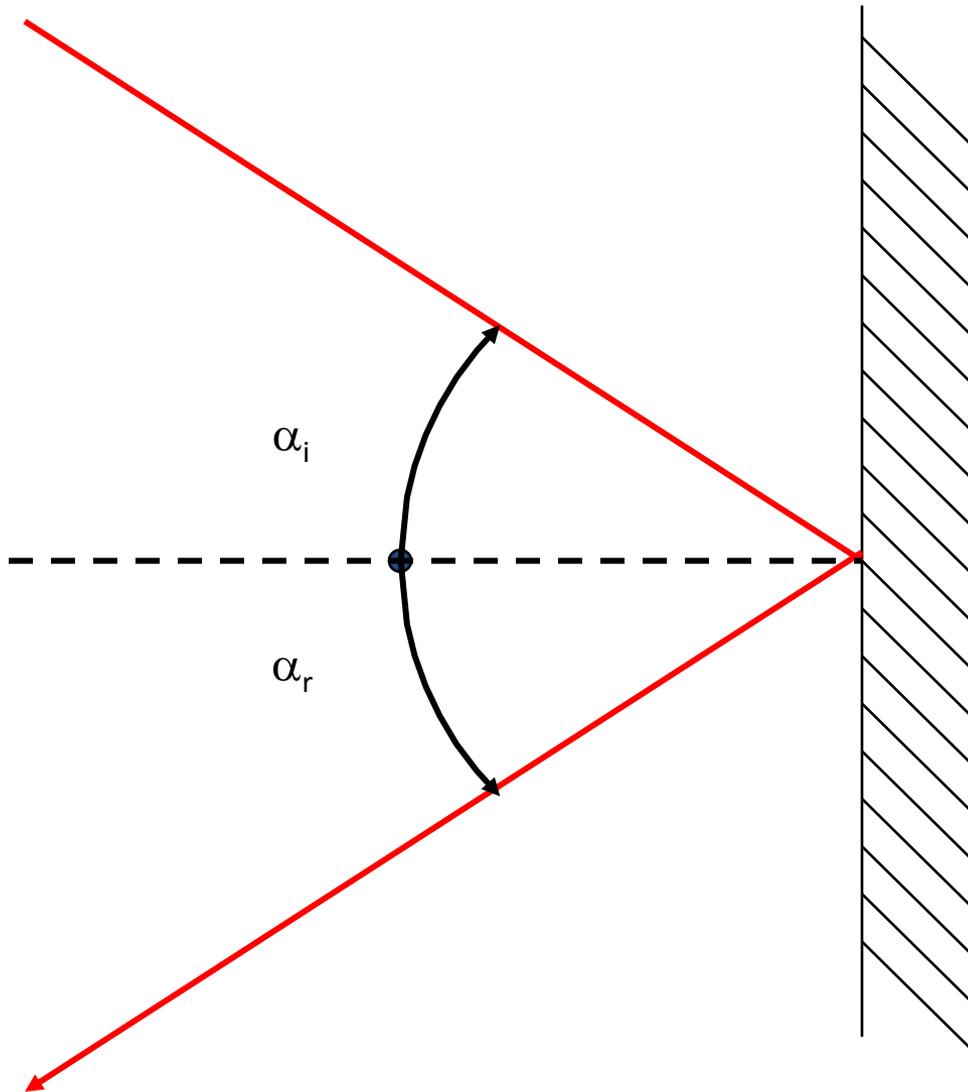
- **Stigmatisme** : 1 objet \rightarrow système optique \rightarrow 1 image



**Système
non stigmatique**

\rightarrow **Conditions de Gauss: rayons quasi axiaux**

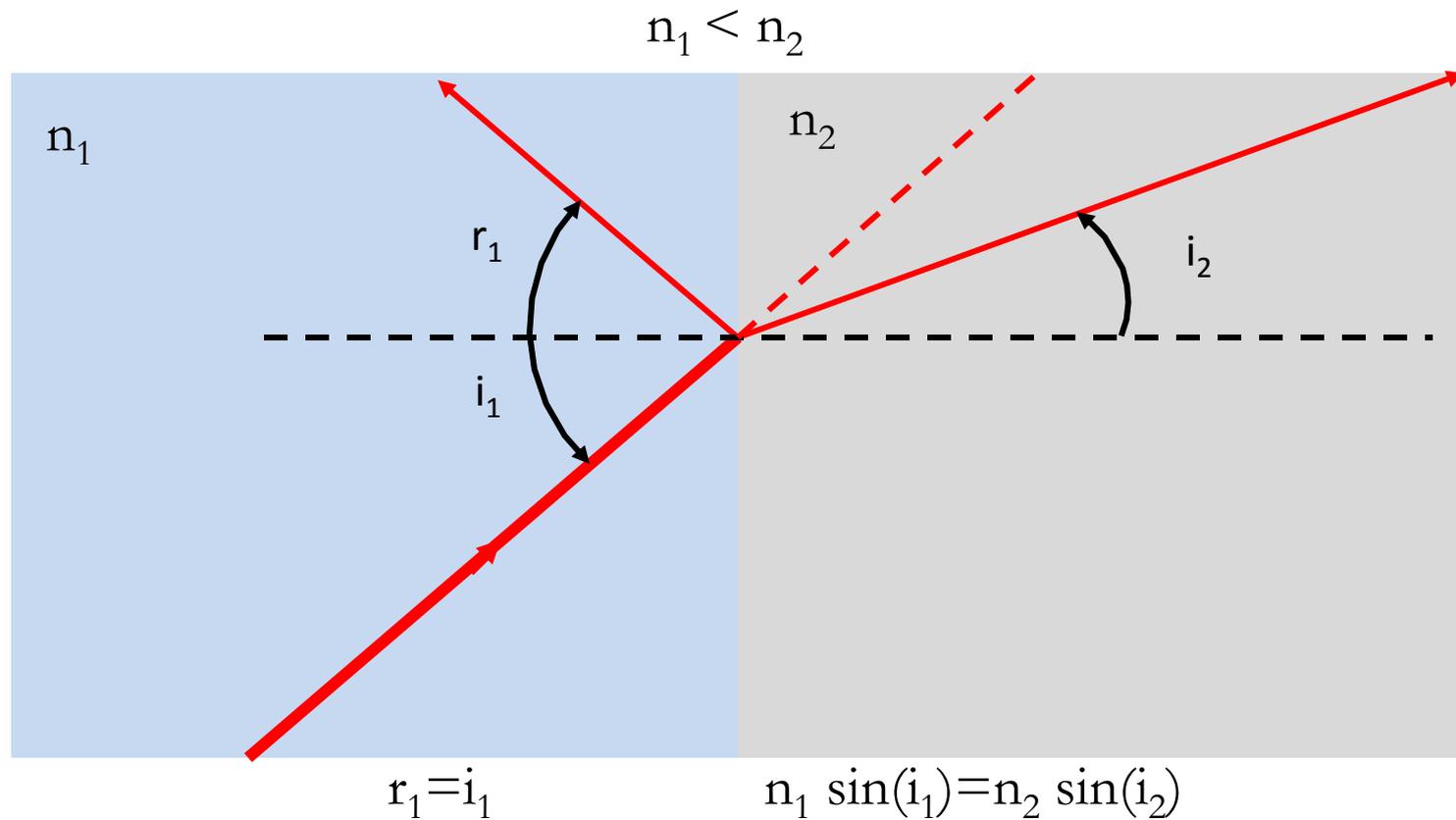
Réflexion de la lumière



Réflexion sur une surface métallique bien polie (d'aspect brillant)

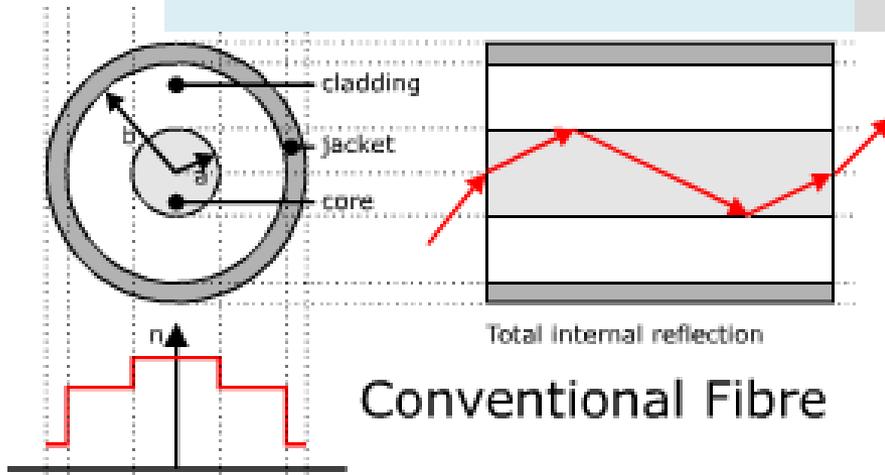
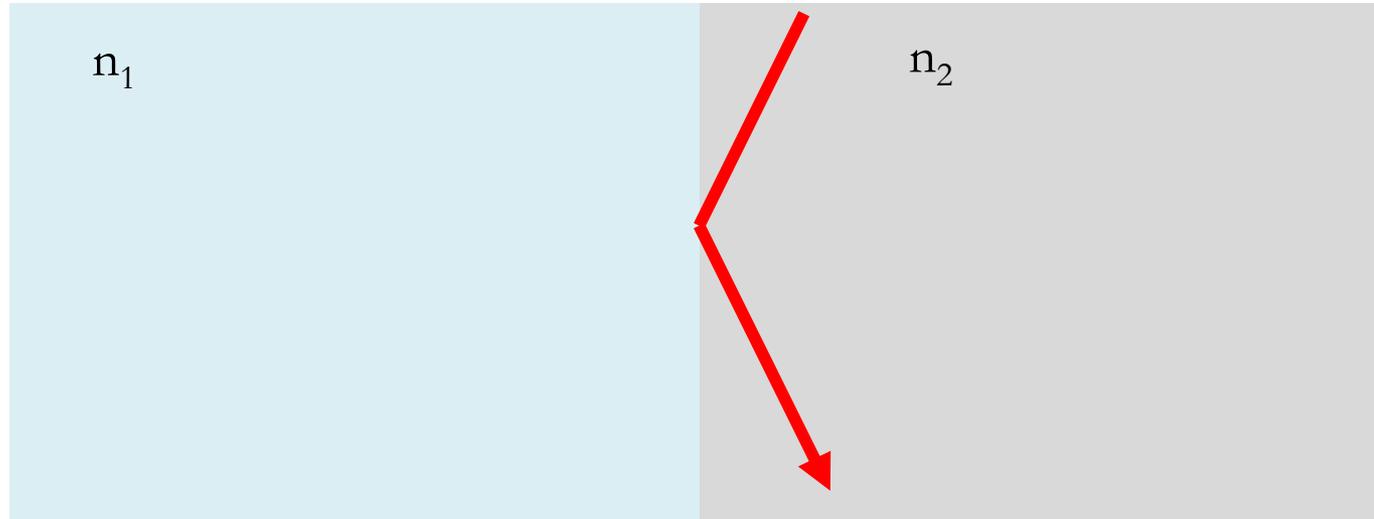
L'angle de réflexion, α_r est égal à l'angle d'incidence, α_i .

Réfraction de la lumière

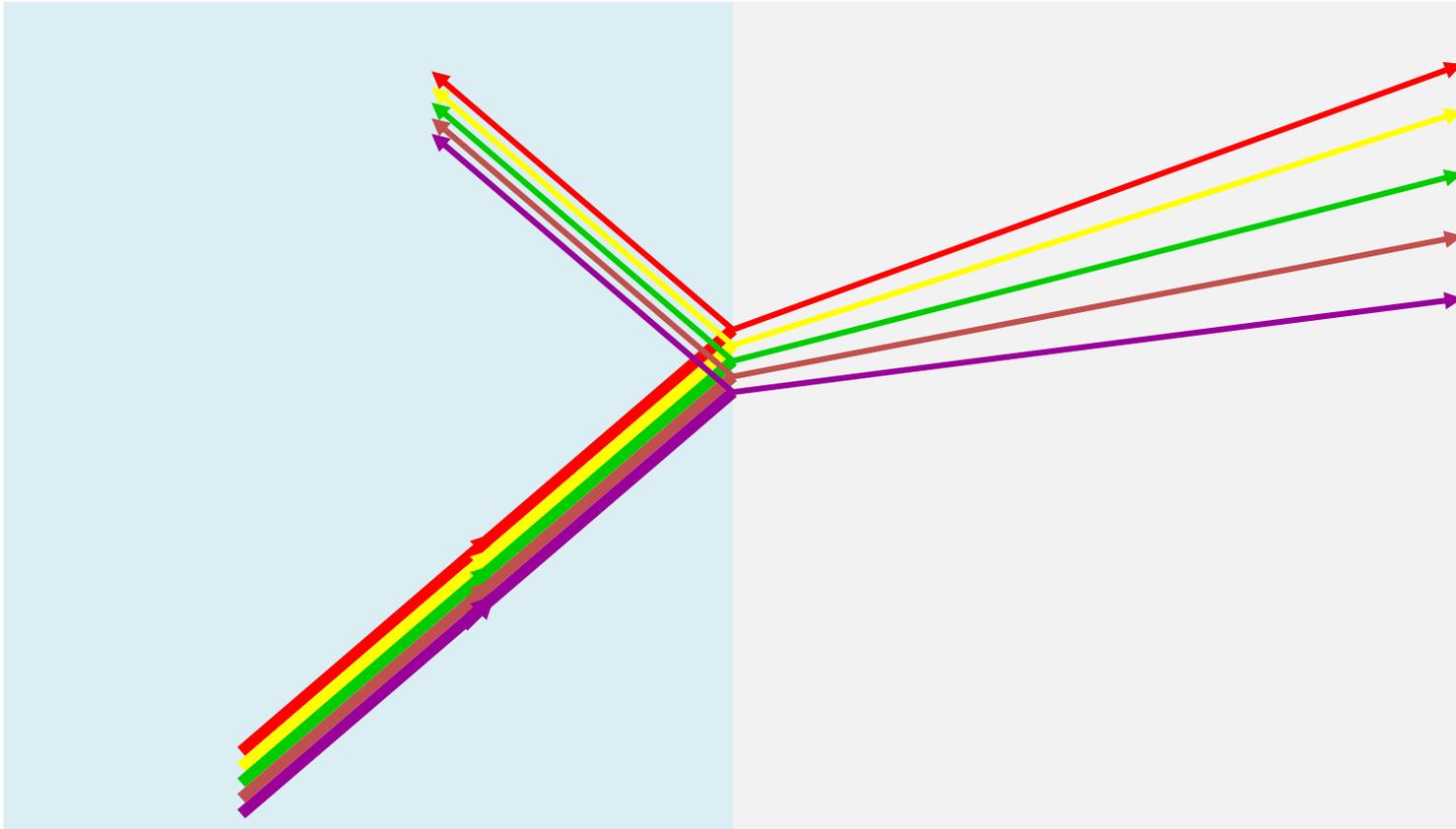


La réflexion totale

$$n_1 < n_2$$



Dispersion de la lumière

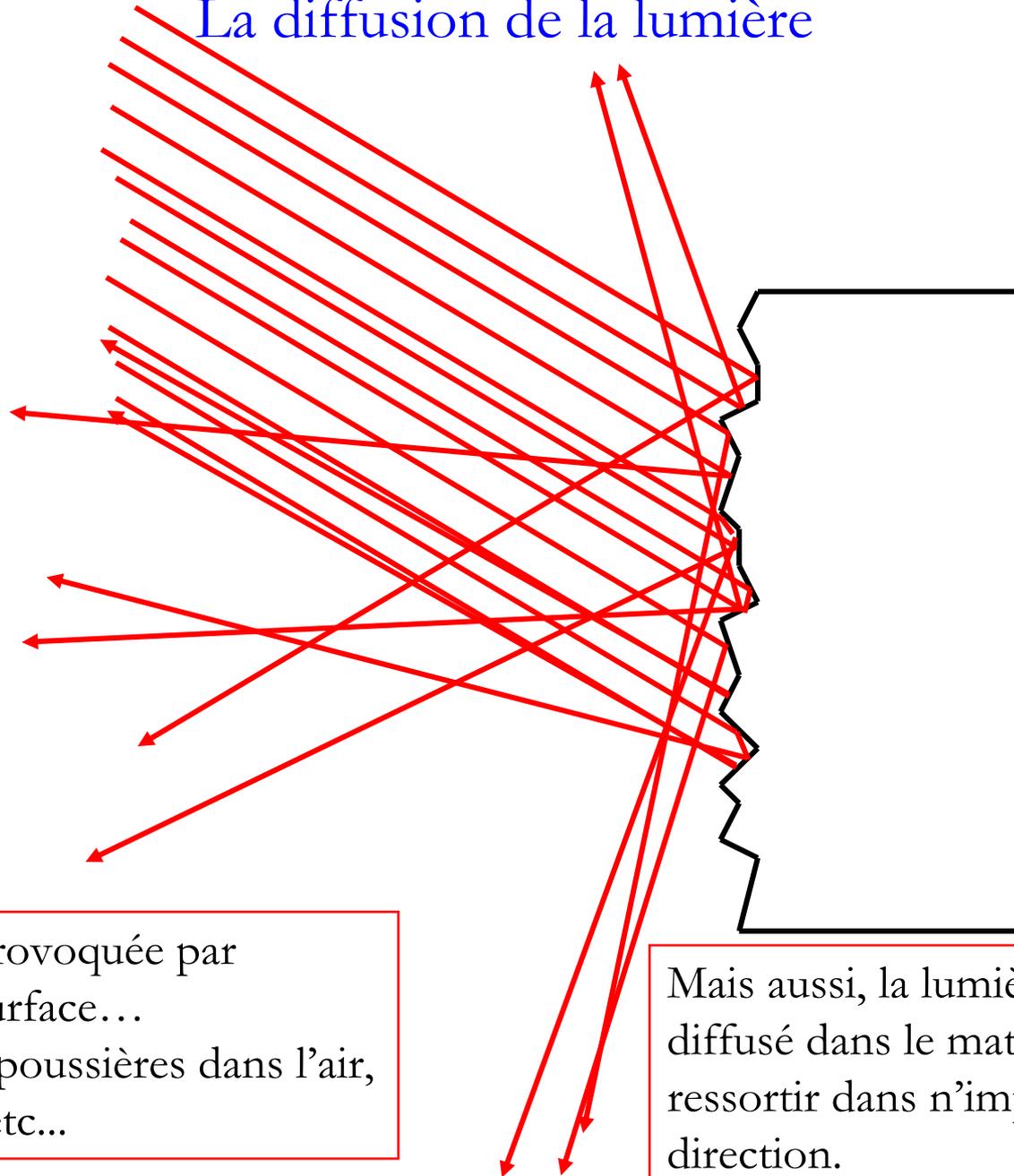


L'indice du milieu varie avec la couleur : c'est un **milieu dispersif**.

Si la lumière est composée de plusieurs couleurs, son passage de l'air dans ce milieu va provoquer la décomposition de cette lumière.

L'ensemble des couleurs de cette lumière forme **son spectre**.

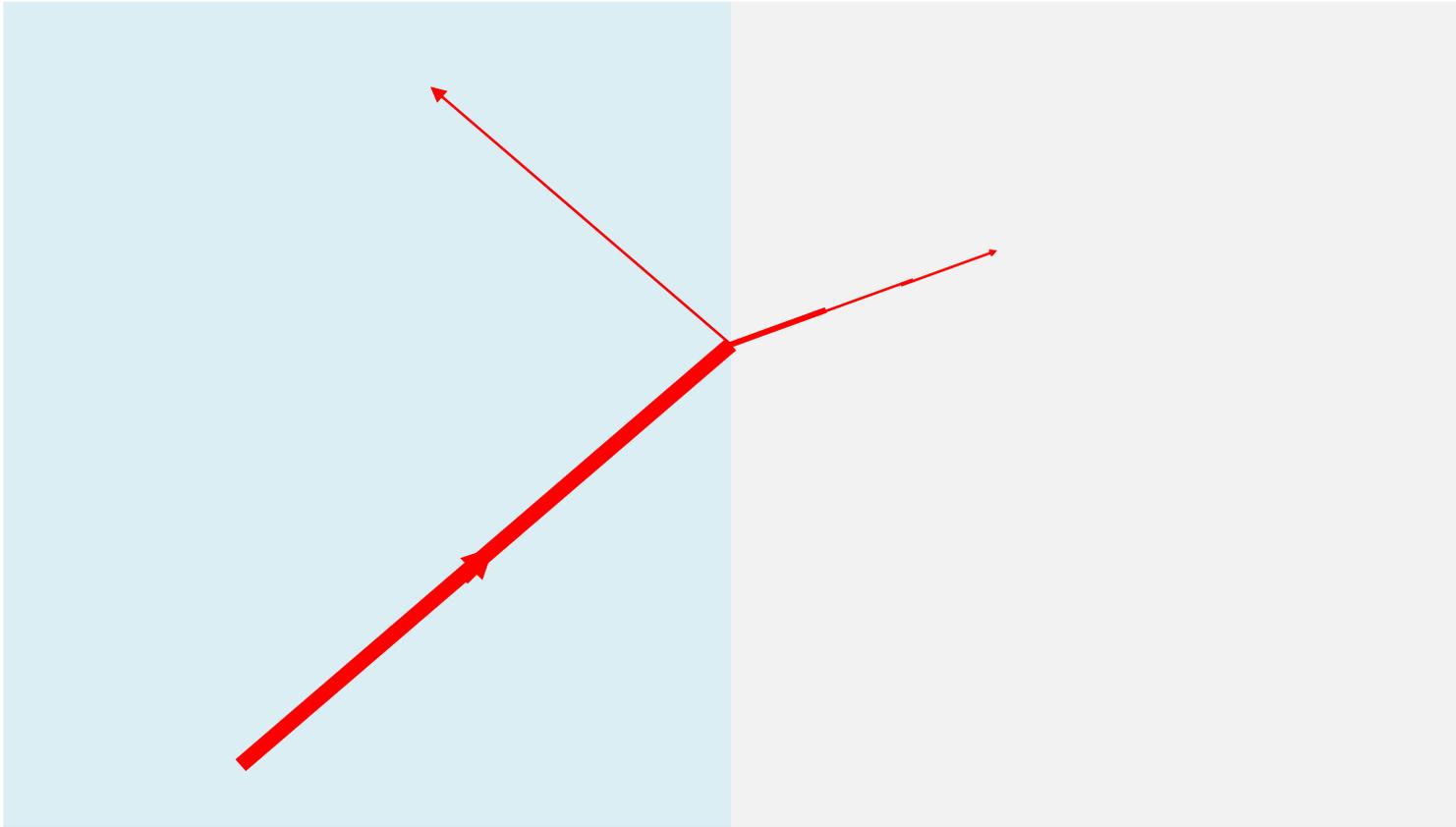
La diffusion de la lumière



La diffusion est provoquée par la rugosité de la surface... mais aussi par les poussières dans l'air, par le brouillard, etc...

Mais aussi, la lumière peut avoir diffusé dans le matériau avant de ressortir dans n'importe quelle direction.

L'absorption de la lumière



En général, tous les milieux absorbent la lumière **de façon plus ou moins importante suivant la couleur.**

Cette absorption provoque un échauffement du milieu ou du matériau.

La lumière réfléchie est aussi affaiblie.

Pratiquement, tous les milieux diffusants sont absorbants

Le rayonnement du soleil

