R 19

Optique géométrique

19.1 Généralités

19.1.1 Fréquences et longueurs d'onde

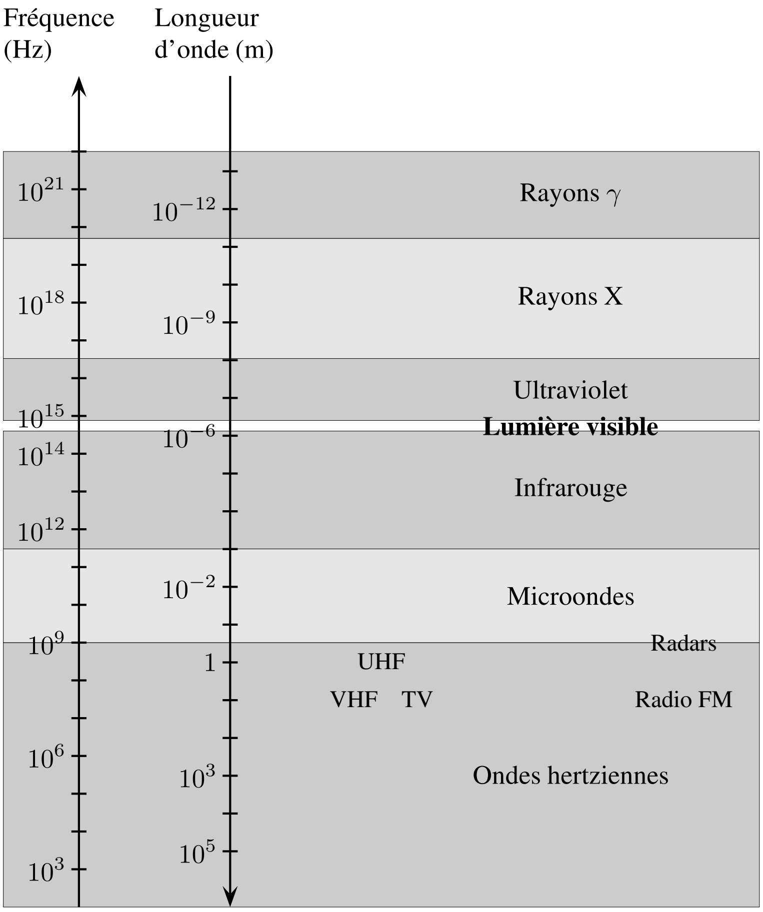


FIGURE 19.1 – Fréquences et longueurs d'onde

19.1.2 Couleurs du domaine visible

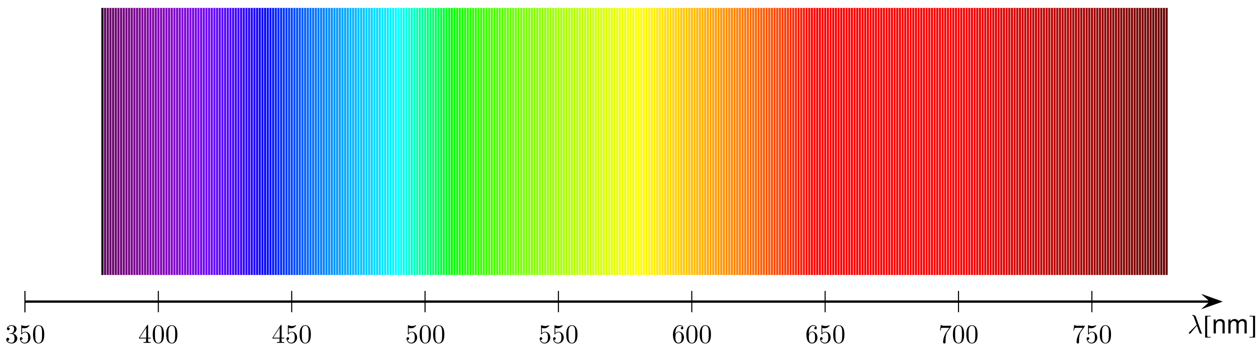


FIGURE 19.2 – Longueurs d'onde dans le visible

Considérons une onde lumineuse. Soit λ sa longueur d'onde, T sa période spatiale. Notons n l'indice du milieu, avec $n(\lambda)$ dans le cas d'un milieu dispersif.

- c étant la célérité de la lumière dans le vide, on a :

$$\lambda = cT \text{ (dans le vide)}$$

- v étant la vitesse de la lumière dans un milieu d'indice n, on a :

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

Dans un milieu dispersif, une source polychromatique (par exemple, de la lumière blanche) est décomposée, avec des déviations différentes pour chaque longueur d'onde.
Ainsi, lorsque la lumière blanche traverse un prisme, le bleu est plus dévié que le rouge.
À travers un réseau, c'est l'inverse.
Dans un milieu homogène, la lumière se propage en ligne droite.

19.1.3 Vocabulaire

- Plus un milieu possède un indice important, plus on dit de celui-ci qu'il est réfringent.
- Un milieu est dit homogène si ses propriétés physiques sont invariantes dans l'espace. Sinon, on dit qu'il est inhomogène.
- Un milieu est isotrope si ses propriétés sont identiques dans toutes les directions. Dans le cas contraire, on dit qu'il anisotrope.
- Dioptre : surface de **séparation** des deux milieux transparents.
- Rayon incident : rayon lumineux **arrivant** sur le dioptre.
- Point d'incidence I : point **d'intersection** entre le rayon incident et le dioptre.
- Rayon réfracté : Rayon lumineux traversant le **deuxième milieu**.
- Normale N : droite passant **par I** et **perpendiculaire** au dioptre.
- Angle d'incidence i_1 : formé par la normale et le rayon incident.
- Angle de réfraction i_2 : formé par la normale et le rayon réfracté.

L'**indice de réfraction** d'un milieu transparent est le **rapport** de la célérité (**c**) de la lumière dans le **vide** et (**v**)dans le **milieu considéré**.

$$c = 3{,}00.10^8 m.s^{-1}$$

Célérité dans le vide ($m.s^{-1}$)

Indice (sans)

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

Célérité dans le milieu ($m.s^{-1}$)

Plus l'indice de réfraction d'un milieu transparent est grand, plus le milieu est **réfringeant**.

19.2 Relations de Snell-Descartes

Considérons deux milieux (homogènes) d'indices différents (n_1 et n_2). On appelle dioptre, la surface de séparation entre ces deux milieux.
On appelle plan d'incidence, notée Π, le plan défini par le rayon incident, et la normale en I, le point où le rayon atteint le dioptre.
Sur le dioptre, le rayon incident subit une réflexion et une réfraction. Ces rayons vérifient les lois de Snell-Descartes.

19.2.1 Lois de Snell-Descartes

Soit n_1, n_2 les indices respectifs des milieux 1 et 2. Soit i_1, i_2 les angles respectivement formés avec la normale par le rayon incident et le rayon réfracté. Soit r l'angle formé avec la normale par le rayon réfléchi.

— Loi de Descartes —

Le rayon incident, le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont un même pan : le plan d'incidence Π.

— Loi de Descartes —

Le rayon réfléchi et le rayon incident forment le même angle avec la normale : $i_1 = r$.

— Loi de Descartes —

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

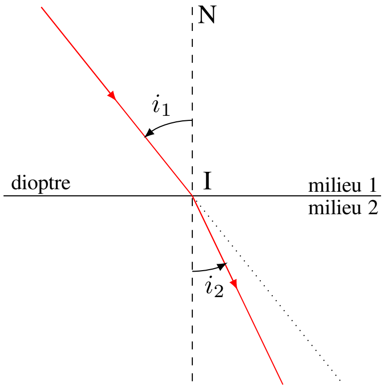


FIGURE 19.3 – Réfraction

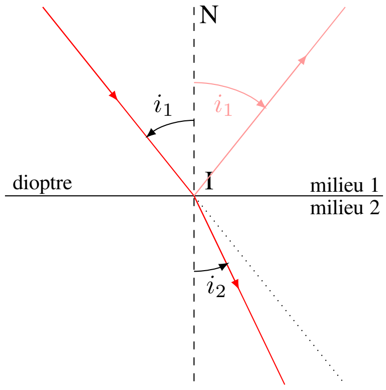


FIGURE 19.4 – Réflexion

On a par exemple, avec l'indice de l'air $n_1 = 1{,}0$ et celui de l'eau $n_2 = 1{,}33$:

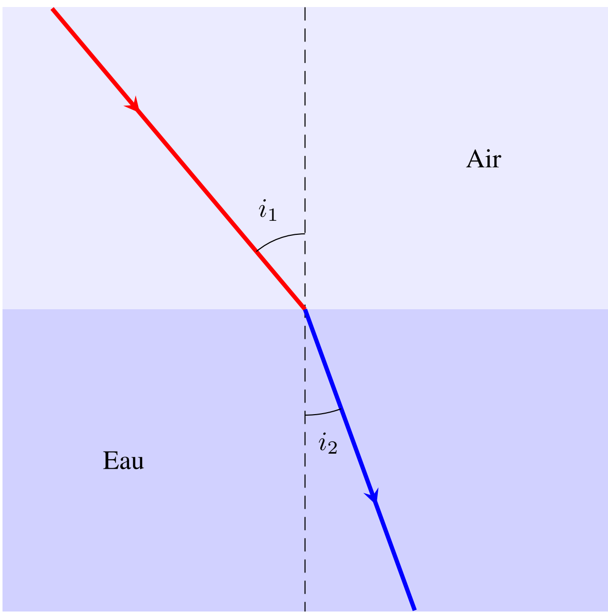


FIGURE 19.5 – Lois de Snell-Descartes

19.2.2 Principe de retour inverse de la lumière

— Principe de retour inverse —

Si un rayon va du point A au point B, il utilisera le même itinéraire pour faire le chemin inverse.

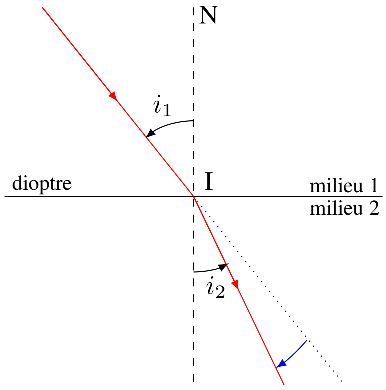
19.2.3 Angle limite et réflexion totale

Considérons un rayon évoluant d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent ($n_2 < n_1$). Lorsque i_1 augmente, i_2 augmente aussi. Puisque $n_1 > n_2$, i_2 est plus grand que i_1 et $\sin i_2 > \sin i_1$. $\sin i_2$ ne peut dépasser 1 et lorsque $\sin i_2 = 1$, $i_1 = i_\ell$.

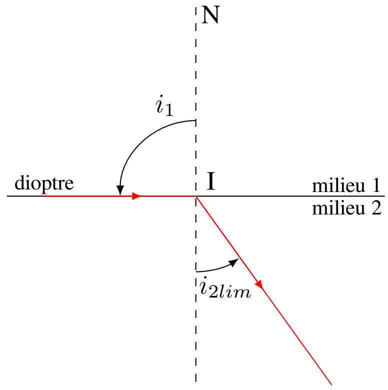
$$\sin i_\ell = \frac{n_2}{n_1}$$

Pour tous rayons ayant un angle d'incidence $i_1 > i_\ell$, il n'y a pas de rayon réfracté : il y a réflexion totale dans le milieu le plus réfringent.

- $n_1 < n_2$

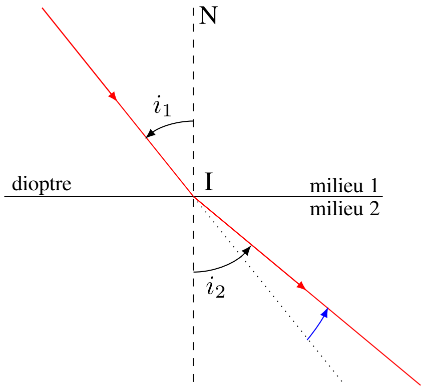


Le rayon réfracté se rapproche de la normale.

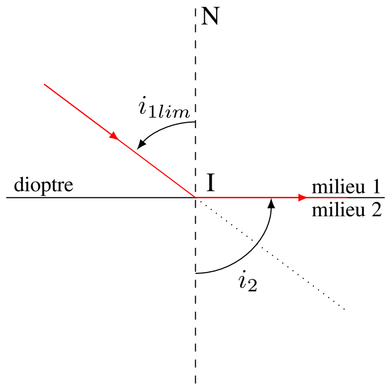


Cas limite.

- $n_1 > n_2$



Le rayon réfracté s'éloigne de la normale.



Cas limite.

Quand la lumière passe d'un milieu plus réfringeant vers un milieu poins réfringeant ($n_1 > n_2$), il existe un angle d'incidence limite au delà duquel, il n'y a plus de réfraction, mais seulement réflexion sur le dioptre.
Le dioptre se comporte alors comme un miroir.
C'est le phénomène de réflexion totale.

Il est utilisé dan les fibres optiques. Dans ce cas, $n_2 > n_1$.

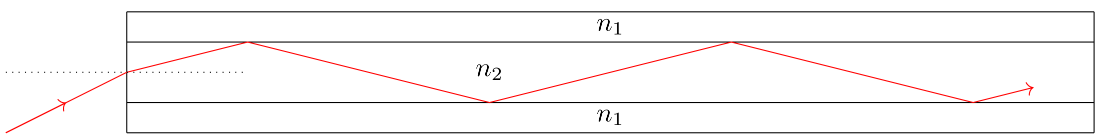


FIGURE 19.6 – Fibre optique

19.2.4 Milieu inhomogène

Considérons un milieu inhomogène.On a :

- $n\,(z)\,\sin i(z) = C^{te}$
- Les rayons lumineux fuient les régions d'indice important.
- Les rayons lumineux restent confiné dans une gaine par le phénomène de réflexion totale, quand $i_1 > i_L$.

19.3 Principe de Fermat

— Chemin optique —

Le chemin optique entre deux points quelconques A et B, noté L_{AB}, est défini par :

$$L_{AB} = \int_a^b n\,d\ell$$

avec n, indice du milieu.

— Principe de Fermat —

Le chemin optique effectivement suivi par la lumière est stationnaire.

Grâce à ce principe et cette définition, on peut retrouver toutes les relations de Snell-Descartes.

19.4 Déviation

— Déviation —

Considérons un système optique, noté $S.O.$ On appelle déviation d'un rayon lumineux par un $S.O.$ l'angle entre le rayon incident et le rayon émergent. Si l'on convient d'une orientation des angles, la déviation, notée D, est algébrique.

19.5 Vision d'image, conditions de Gauss

En optique géométrique, une image résulte de l'intersection de rayons ou de supports de rayons issus d'un même point objet.

— Axe optique —

On appelle axe optique l'axe de symétrique du $S.O.$ orienté dans la direction du rayon incident.

19.5.1 Objets réel et virtuel

On définit des objets réels et virtuels, respectivement des images réelles et virtuelles, de la façon suivante :

	Réel	Virtuel
Rayon incident	Vient de l'objet	Semble converger vers l'objet
Rayon émergent	Converge vers l'image	Semble provenir de l'image

— Système optique aplanétique —

On dit d'un système optique qu'il est aplanétique si l'image $A'B'$ de l'objet AB, normal à l'axe optique, est également normal à l'axe optique.

19.5.2 Stigmatisme rigoureux

— Stigmatisme rigoureux —

On dit d'un système optique qu'il est rigoureusement stigmatique pour un couple de points (A,A'), si tous les rayons issus de A passent par A' après avoir traversé le $S.O.$
Le seul système optique rigoureusement stigmatique est le miroir plan.

19.5.3 Stigmatisme approché

— Stigmatisme approché —

On dit d'un système optique qu'il est rigoureusement stigmatique pour un couple de points (A,A'), si tous les rayons issus de A passent au voisinage immédiat de A' après avoir traversé le $S.O.$
On se contente la plupart du temps de ce stigmatisme approché.

19.5.4 Conditions de Gauss

En général, un système optique peut satisfaire un stigmatisme approché dans un $S.O.$ en se plaçant dans les conditions de Gauss :

- Les rayons lumineux sont peu inclinés par rapport à l'axe optique
- Les rayons lumineux sont peu éloignés de l'axe optique

Hors de ces conditions, on risque d'observer une image floue, accompagnée d'aberrations chromatiques et géométriques.

19.6 Miroirs sphériques dans les conditions de Gauss : Hors Programme TSI

La notation $\overline{X}$ signifie que X est une grandeur algébrique.

— Miroirs sphériques —

Considérons un miroir sphérique.
On appelle sommet, noté S, l'intersection du miroir avec l'axe optique. On note C, le centre de courbure de la calotte sphérique et F le foyer, tels que :

$$\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

Dans l'étude d'un miroir sphérique, on a les propriétés suivantes :

- Un rayon lumineux incident parallèle à l'axe optique passe par un point particulier qu'on appelle foyer, noté F, après réflexion.
- Un rayon incident passant par F est réfléchi parallèlement à l'axe optique.
- Un rayon incident passant par C repasse par ce point après réflexion.
- Tout rayon passant par S est réfléchi symétriquement par rapport à l'axe optique.

19.6.1 Grandissement et relation de conjugaison

— Grandissement —

On appelle grandissement, noté γ, le rapport entre la dimension de l'image $\overline{A'B'}$ et celle de l'objet $\overline{AB}$:

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

On définit la relation de conjugaison d'un $S.O.$, relative à une origine, à l'aide du théorème de Thalès .

— Propriété —

Pour un miroir sphérique avec origine au sommet, on obtient :

$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{1}{\overline{SF}}$$

19.6.2 Plan focal et foyer secondaire

— Plan focal —

On appelle plan focal, noté Π, la plan normal à l'axe optique passant par le foyer F.
Tout point du plan focal constitue un foyer secondaire.

On utilise un foyer secondaire dans l'étude d'un faisceau de lumière parallèle arrivant incliné par rapport à l'axe optique.

19.7 Lentille mince dans les conditions de Gauss

Une lentille mince résulte de l'association de deux dioptres sphériques, généralement l'un en Flint et l'autre en Crown. On dit d'une lentille qu'elle est mince quand son épaisseur "e" est négligeable devant chacun des rayons de courbure des dioptres sphériques.

19.7.1 Lentilles convergentes

Ces lentilles vérifient une série de propriétés :

— Propriétés —

- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique d'une lentille convergente passe par un point particulier appelé foyer image de la lentille, noté F'.
- Une lentille est symétrique dans son action sur la lumière. À tout foyer image F' on associe un foyer objet F par symétrie par rapport à O.
- Tout rayon incident passant par F, foyer objet, donne un rayon parallèle à l'axe optique après la traversée d'une lentille convergente.
- Tout rayon incident passant par O, centre de la lentille, n'est pas dévié.

19.7.2 Lentilles divergentes

Ces lentilles vérifient une série de propriétés :

— Propriétés —

- Tout rayon incident passant par le foyer F d'une lentille divergente donne un rayon parallèle à l'axe optique après passage dans le $S.O.$.
- Une lentille est symétrique dans son action sur la lumière. À tout foyer image F' on associe un foyer objet F par symétrie par rapport à O.
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique d'une lentille divergente donne un rayon divergent donc le support passe par le foyer image F'.
- Tout rayon incident passant par O, centre de la lentille, n'est pas dévié.

19.7.3 Distance focale et vergence

— Distance focale —

On appelle distance focale image, la distance entre le centre optique O d'une lentille et le foyer image F' :

$$f' = \overline{OF'}$$

— Remarque —

Pour les lentilles convergentes, $f' > 0$ alors que pour les lentilles divergentes, $f' < 0$.

— Vergence —

On appelle vergence d'une lentille l'inverse de la distance focale :

$$v = \frac{1}{f'}$$

L'unité de la vergence est la dioptrie, notée δ : $1\,\delta = 1\,m^{-1}$.

19.7.4 Relation de conjugaison

Dans le cas d'une lentille mince, la relation de conjugaison est obtenue grâce à la relation de Thalès :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

19.7.5 Plan focal et foyer secondaire

— Rappel —

Le plan focal est défini comme la perpendiculaire à l'axe optique passant par un foyer.

Pour une lentille mince, on définit le plan focal objet, noté Π, et le plan focal image, noté Π'.

On associe à ce plan focal un ensemble de propriétés :

— Propriétés —

- Un faisceau de lumière parallèle, incliné par rapport à l'axe optique d'une lentille convergente focalise en un point appartenant au plan focal objet, appelé foyer secondaire.
  Sa position est donnée par un rayon incident passant par O.
- Un faisceau de lumière parallèle incliné par rapport à l'axe optique d'une lentille divergente donne un faisceau divergent dont le support focalise en un point appartenant au plan focal image, appelé foyer secondaire.
  Sa position est donnée par un rayon incident passant par O.

Grâce à ces propriétés, on peut étudier tous types de rayons incidents. On dit que l'objet est à l'infini ou que l'image d'un objet est à l'infini si respectivement les rayons incidents ou émergents sont parallèles à l'axe optique.