

Base de l'optique géométrique

Au programme



Savoirs

- ◇ Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
- ◇ Énoncer les lois de SNELL-DESCARTES.
- ◇ Définir une convention d'orientation des angles et travailler avec des angles orientés.
- ◇ Savoir que l'interprétation par le cerveau de la trajectoire des rayons lumineux joue un rôle dans certains phénomènes optiques.
- ◇ Connaître le vocabulaire des systèmes optiques.
- ◇ Énoncer les conditions de l'approximation de GAUSS et ses conséquences.



Savoir-faire

- ◇ Établir les conditions de réflexion totale.
- ◇ Utiliser les lois de SNELL-DESCARTES.
- ◇ Identifier la nature réelle ou virtuelle d'un objet ou d'une image.
- ◇ Dessiner des rayons lumineux à travers un système optique de manière cohérente avec les indices optiques.
- ◇ Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.



Sommaire

I Propriétés générales	2
A Optique non géométrique : diffraction de la lumière	2
B Approximation de l'optique géométrique	2
II Lois de Snell-Descartes	4
A Changement de milieu	4
B Lois de Snell-Descartes	5
C Phénomène de réflexion totale	5
III Généralités sur les systèmes optiques	6
A Système, rayons, faisceaux	6
B Objets et images	7
C Foyers d'un système optique	9
IV Approximation de GAUSS	10
A Stigmatisme, aplanétisme	10
B Rigoureux ou approché ?	10
C Conditions de GAUSS	10

I Propriétés générales

A Optique non géométrique : diffraction de la lumière

I.A.1 Principe

La nature ondulatoire de la lumière apparaît clairement lors des expériences de diffraction : dans certains cas, la restriction d'un faisceau lumineux (par exemple un laser) par une fente, donne sur un écran placé loin derrière, un étalement de la lumière **plus large** que la largeur de la fente.

Ce phénomène survient quand l'extension spatiale d'une onde est limitée ; cela arrive également avec les vagues dans l'eau. En effet, pour des valeurs de largeur de fente $a \gg \lambda$, il n'y a bien qu'une coupure du faisceau. En revanche, quand $a \approx \lambda$, ce phénomène survient. On observe même que plus a est petit, plus la lumière s'étale sur l'écran.

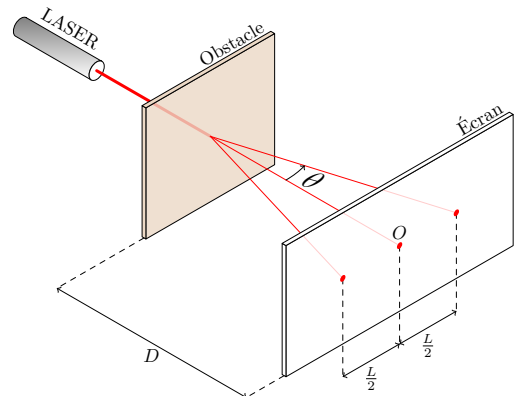


FIGURE 2.1 – Diffraction de FRAUNHOFER d'un faisceau laser par une fente fine.

I.A.2 Loi de la diffraction

Diffraction par une fente simple

Un faisceau monochromatique de longueur d'onde λ dans le vide, limité spatialement par une fente de largeur $a \approx \lambda$, forme à grande distance sur un écran des tâches lumineuses dont le demi angle d'ouverture θ de la tâche centrale vérifie

B Approximation de l'optique géométrique

I.B.1 Définition

Approximation de l'optique géométrique

I.B.2 Notion de rayon lumineux

Dans le cadre de l'optique géométrique, on décrit donc la lumière par la trajectoire des photons.

Rayon et faisceau lumineux

Remarque

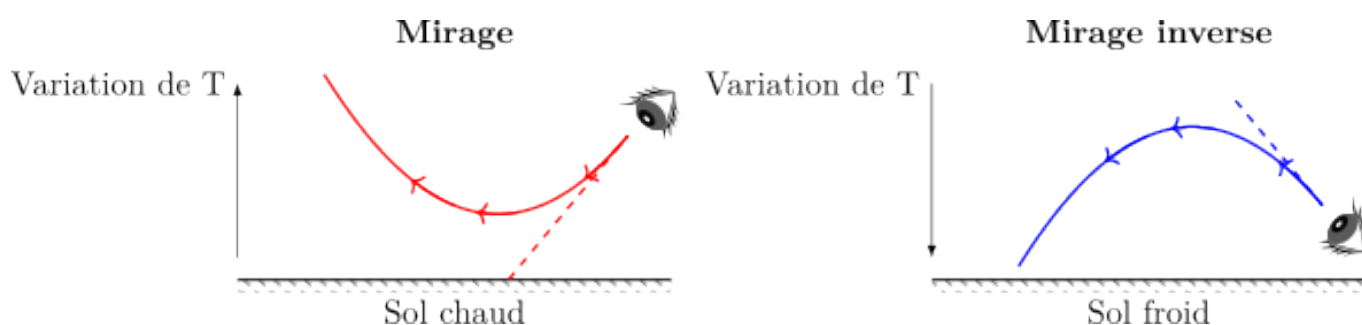
C'est un outil théorique : il est impossible d'isoler un rayon lumineux en pratique à cause de la diffraction.

I.B.3 Propriétés d'un rayon lumineux**Propriétés d'un rayon lumineux**

- 1) Propagation rectiligne :
- 2) Indépendance des rayons :
- 3) Retour inverse :

FIGURE 2.2 – Schématisation du principe de retour inverse de la lumière.**I.B.4** Limites du modèle

- ◇ **Diffraction** : voir [A](#) ;
- ◇ **Phénomènes ondulatoires** : le modèle de rayon n'explique pas les interférences (voir plus tard dans l'année) ;
- ◇ **Polarisation** : en tant qu'oscillations des champs électrique et magnétique \vec{E} et \vec{B} , elle est dotée d'une orientation et est à l'origine de nombreux phénomènes optiques (cinéma 3D par exemple) ;
- ◇ **Inhomogénéité** : dans un milieu inhomogène, la lumière ne se propage pas en ligne droite et donne lieu aux mirages.

**FIGURE 2.3** – Représentation d'un mirage chaud, où la lumière vient du ciel en regardant le sol, et d'un mirage froid, où c'est l'inverse.

II Lois de Snell-Descartes

A Changement de milieu

Dioptre

FIGURE 2.4 – Exemple de dioptre.

Réflexion, réfraction

Au niveau d'un dioptre, un rayon lumineux **incident** donne naissance à :

- ◇ un rayon réfracté (traversant le dioptre) ;
- ◇ un rayon réfléchi.

FIGURE 2.5 – Rayons incidents, réfléchis et réfractés sur un dioptre.

Vocabulaire général

- ◇ Point d'incidence I :
- ◇ Plan d'incidence :
- ◇ Angle d'incidence i_1 :
- ◇ Angle de réflexion r :
- ◇ Angle de réfraction i_2 :

Calcul des angles

Les angles se calculent entre le rayon et la **normale** au dioptre. Le sens de comptage doit être indiqué sur la figure.

B Lois de Snell-Descartes

Lois de Snell-Descartes

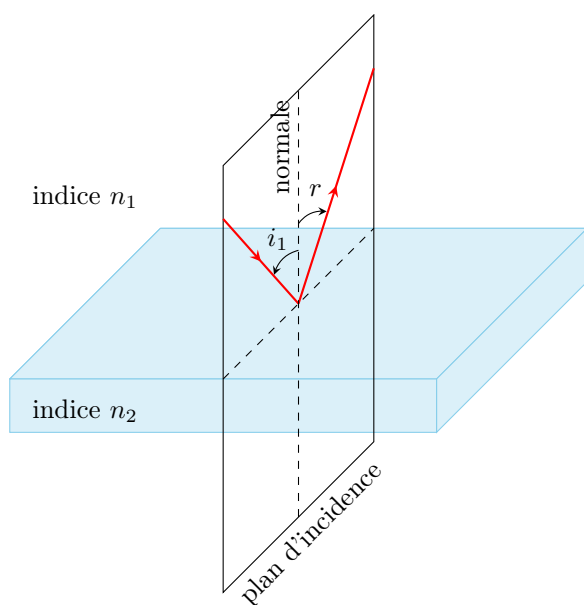


FIGURE 2.6 – Réflexion d'un rayon incident

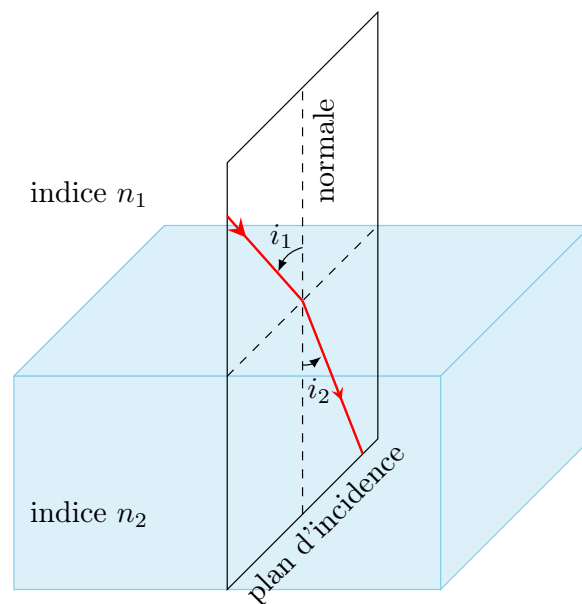


FIGURE 2.7 – Réfraction d'un rayon incident avec $n_2 > n_1$.

Réfraction

On distingue 3 cas généraux pour la réfraction :

- 1) Si $\mathbf{i}_1 = \mathbf{0}$, alors $i_2 = 0$: en incidence dite « normale », il n'y a **pas de déviation** du rayon ;
- 2) Si $\mathbf{n}_2 > \mathbf{n}_1$ ¹, alors $|i_2| < |i_1|$: le rayon réfracté se **rapproche** de la normale ;
- 3) Si $\mathbf{n}_2 < \mathbf{n}_1$ ², alors $|i_2| > |i_1|$: le rayon réfracté **s'écarte** de la normale.

Par le principe du *retour inverse de la lumière*, le troisième point se déduit du deuxième.

C Phénomène de réflexion totale

À partir du moment où $n_2 > n_1$, le rayon réfracté se rapproche toujours de la normale, et existera toujours. En revanche, si $n_1 > n_2$, le rayon réfracté s'écarte de la normale. On considère qu'il existe uniquement s'il reste à l'intérieur du milieu n_2 , soit par définition $|i_2| < \frac{\pi}{2}$ rad.

1. On dit alors que le milieu 2 est *plus réfringent* que le milieu 1.
2. On dit alors que le milieu 2 est *moins réfringent* que le milieu 1.



Angle limite de réflexion totale

Lors du passage d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent ($n_1 > n_2$), il existe un angle incident limite i_{lim} au-delà duquel il n'y a pas de rayon réfracté : on parle de **réflexion totale**. On a



Angle limite de réflexion totale



Réflexion totale

FIGURE 2.8 – Phénomène de réflexion totale

III Généralités sur les systèmes optiques

A Système, rayons, faisceaux.



Système optique

Exemple

L'exemple le plus simple est le miroir plan.



Système centré, axe optique

FIGURE 2.9 – Système optique centré.

Les distances sont considérées **algébriquement** (affectées d'un signe) : c'est une distance qui s'exprime en mètres, mais peut être négative selon l'orientation de l'axe optique et de la position relative des points.

FIGURE 2.10 – Distances algébriques.

Rayons incidents et émergents

- ◇ Rayons incidents :
- ◇ Rayons émergents :

FIGURE 2.11 – Rayons incidents, émergents.

Nature d'un faisceau

- ◇ Convergent :
- ◇ Divergent :
- ◇ Parallèle :

FIGURE 2.12 – Natures de faisceaux

B Objets et images

Objet et image

Point objet

Point image

Réel et virtuel

Point objet

- ◇ Réel :
- ◇ Virtuel :

Point image

- ◇ Réel :
- ◇ Virtuel :

On trouve aussi les définitions suivantes, plus communément admises (mais plus verbeuses).

Réel et virtuel, bis

Un point **objet** est **réel** s'il est placé **avant la face d'entrée** du système, et **virtuel** sinon.

Un point **image** est **réel** s'il est placé **après la face de sortie** du système, et **virtuel** sinon.

Objets et images réelles ou virtuelles

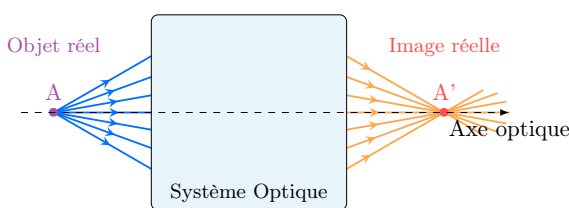


FIGURE 2.13 – Objet et image réelles.

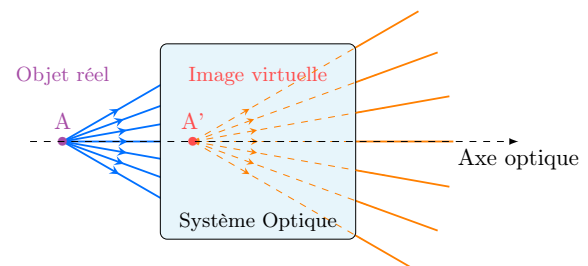


FIGURE 2.14 – Objet réel et image virtuelle.

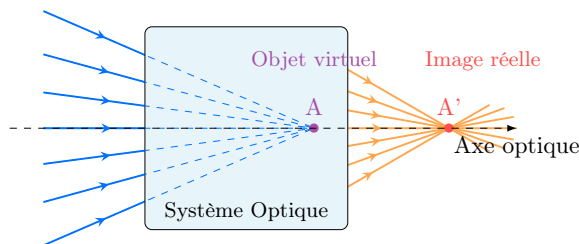


FIGURE 2.15 – Objet virtuel et image réelle.

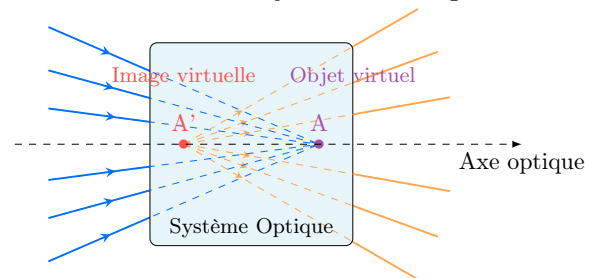


FIGURE 2.16 – Objet et image virtuelles.

Implication : espaces objet et image

Zones spatiales d'un système optique où un objet ou une image sera réel-le ou virtuel-le.

FIGURE 2.17 – Espaces objet et image.

Notation : conjugaison de 2 points

Un objet A et son image A' par un système S sont dits **conjugés**. On note :

avec A un objet **pour** S, et A' est une image **pour** S.

Objet étendu et angle apparent

◇ Objet étendu :

◇ Angle apparent d'un objet étendu :

Grandissement transversal

Soit \overline{AB} un objet étendu avec A sur l'axe optique, passant par un système S donnant une image elle aussi étendue $\overline{A'B'}$. On appelle *grandissement transversal* et on le note γ le rapport

pour $AB \xrightarrow{S} A'B'$

FIGURE 2.18 – Objet et image étendues.

C Foyers d'un système optique

Foyers principaux image et objet

Foyer principal objet

Noté F , c'est le **point objet** dont **l'image est à l'infini** avec des rayons parallèles à l'axe optique.

Le plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par F est appelé *plan focal objet*, π . On note

FIGURE 2.19 – Foyer principal objet.

Foyer principal image

Noté F' , c'est le **point image** dont **l'objet est à l'infini** avec des rayons parallèles à l'axe optique.

Le plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par F' est appelé *plan focal image*, π' . On note

FIGURE 2.20 – Foyer principal image.

Retour inverse

Nous pouvons en quelque sorte déduire le fonctionnement du système optique dans le second cas en utilisant le principe du **retour inverse de la lumière**, en « remontant le film ».

Foyers principaux

- ◇ Rayons incidents croisés en $F \Rightarrow$
- ◇ Rayons incidents parallèles à l'axe \Rightarrow

Foyers secondaires

- ◇ Rayons incidents // entre eux \Rightarrow
- ◇ Rayons incidents croisés en $\varphi \in \pi \Rightarrow$

IV Approximation de GAUSS**A Stigmatisme, aplanétisme****Stigmatisme****Aplanétisme****B Rigoureux ou approché ?**

La plupart des systèmes optiques (lentilles, œil, appareil photo...) ne sont pas rigoureusement stigmatiques et aplanétiques : il arrive souvent qu'un point source forme une tâche sur un capteur (astigmatisme) ou qu'une droite soit vue courbée (non-aplanétisme). On peut cependant trouver des conditions dans lesquelles le stigmatisme et l'aplanétisme sont approchés, par exemple si la tâche formée par le système est plus petite que l'élément récepteur (pixel pour une caméra).

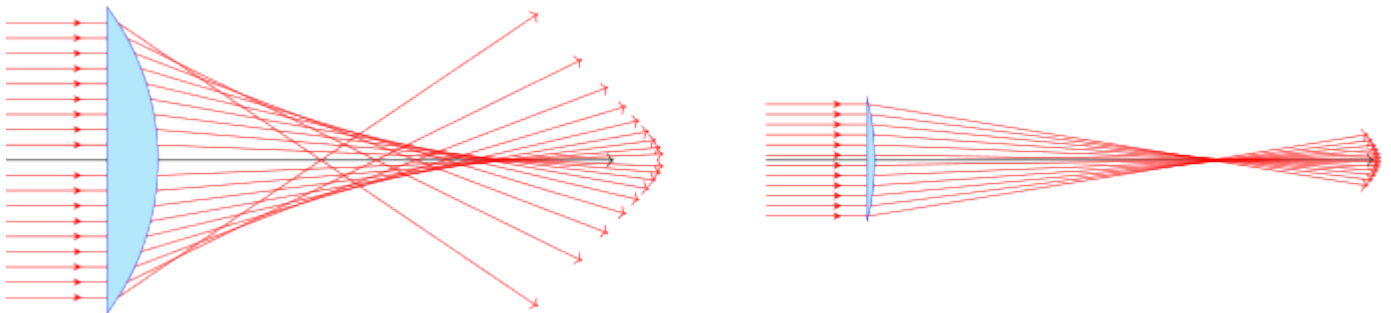


FIGURE 2.21 – Exemple d'un système astigmatique à gauche, stigmatique approché à droite.

C Conditions de GAUSS**Rayons paraxiaux**

Un système optique est utilisé dans les conditions de GAUSS lorsqu'il est éclairé par des rayons **paraxiaux**, c'est-à-dire

- 1)
- 2)

Approximation de GAUSS

Dans les conditions de GAUSS, un système centré respecte les conditions de **stigmatisme et d'aplanétisme approchés**. On les **considérera** comme rigoureux tant dans les tracés que dans les calculs.