

# Base de l'optique géométrique

## Sommaire

<b>I Propriétés générales</b> . . . . .	<b>3</b>
I/A Optique non géométrique : diffraction de la lumière . . . . .	3
I/B Approximation de l'optique géométrique . . . . .	3
<b>II Lois de Snell-Descartes</b> . . . . .	<b>5</b>
II/A Changement de milieu . . . . .	5
II/B Lois de Snell-Descartes . . . . .	6
II/C Phénomène de réflexion totale . . . . .	6
<b>III Généralités sur les systèmes optiques</b> . . . . .	<b>7</b>
III/A Système, rayons, faisceaux. . . . .	7
III/B Objets et images . . . . .	8
III/C Foyers d'un système optique . . . . .	10
<b>IV Approximation de GAUSS</b> . . . . .	<b>11</b>
IV/A Stigmatisme, aplanétisme . . . . .	11
IV/B Rigoureux ou approché ? . . . . .	11
IV/C Conditions de GAUSS . . . . .	11

## Capacités exigibles

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.</li> <li><input type="checkbox"/> Énoncer les lois de SNELL-DESCARTES.</li> <li><input type="checkbox"/> Définir une convention d'orientation des angles et travailler avec des angles orientés.</li> <li><input type="checkbox"/> Savoir que l'interprétation par le cerveau de la trajectoire des rayons lumineux joue un rôle dans certains phénomènes optiques.</li> <li><input type="checkbox"/> Connaître le vocabulaire des systèmes optiques.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Énoncer les conditions de l'approximation de GAUSS et ses conséquences.</li> <li><input type="checkbox"/> Établir les conditions de réflexion totale.</li> <li><input type="checkbox"/> Utiliser les lois de SNELL-DESCARTES.</li> <li><input type="checkbox"/> Identifier la nature réelle ou virtuelle d'un objet ou d'une image.</li> <li><input type="checkbox"/> Dessiner des rayons lumineux à travers un système optique de manière cohérente avec les indices optiques.</li> <li><input type="checkbox"/> Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.</li> </ul> |
|--|--|

---

 ✓ L'essentiel
 

---

 📖 Définitions
 

---

<input type="checkbox"/>	Approxima° de l'optiq. géométrique	3
<input type="checkbox"/>	Rayon et faisceau lumineux . . . .	3
<input type="checkbox"/>	Dioptre . . . . .	5
<input type="checkbox"/>	Système optique . . . . .	7
<input type="checkbox"/>	Système centré, axe optique . . . .	8
<input type="checkbox"/>	Rayons incidents et émergents . . .	8
<input type="checkbox"/>	Nature d'un faisceau . . . . .	8
<input type="checkbox"/>	Objet et image . . . . .	8
<input type="checkbox"/>	Réel et virtuel . . . . .	9
<input type="checkbox"/>	Réel et virtuel, bis . . . . .	9
<input type="checkbox"/>	Conjugaison de 2 points . . . . .	9
<input type="checkbox"/>	Objet étendu et angle apparent . .	10
<input type="checkbox"/>	Grandissement transversal . . . .	10
<input type="checkbox"/>	Foyers principaux image et objet .	10
<input type="checkbox"/>	Stigmatisme . . . . .	11
<input type="checkbox"/>	Aplanétisme . . . . .	11
<input type="checkbox"/>	Rayons paraxiaux . . . . .	11

 ✎ Notations
 

---

<input type="checkbox"/>	Vocabulaire général . . . . .	5
--------------------------	-------------------------------	---

 ⚙️ Propriétés
 

---

<input type="checkbox"/>	Diffraction par une fente simple . .	3
<input type="checkbox"/>	Propriétés d'un rayon lumineux . .	4
<input type="checkbox"/>	Réflexion, réfraction . . . . .	5
<input type="checkbox"/>	Lois de SNELL-DESCARTES . . . .	6
<input type="checkbox"/>	Angle limite de réflexion totale . .	7
<input type="checkbox"/>	Foyers principaux . . . . .	11
<input type="checkbox"/>	Approximation de GAUSS . . . . .	11

 ≡ Démonstrations
 

---

<input type="checkbox"/>	Angle limite de réflexion totale . .	7
--------------------------	--------------------------------------	---

 » Implications
 

---

<input type="checkbox"/>	Réfraction . . . . .	6
<input type="checkbox"/>	Espaces objet et image . . . . .	9

 ⚠️ Erreurs communes
 

---

<input type="checkbox"/>	Calcul des angles . . . . .	5
--------------------------	-----------------------------	---

---

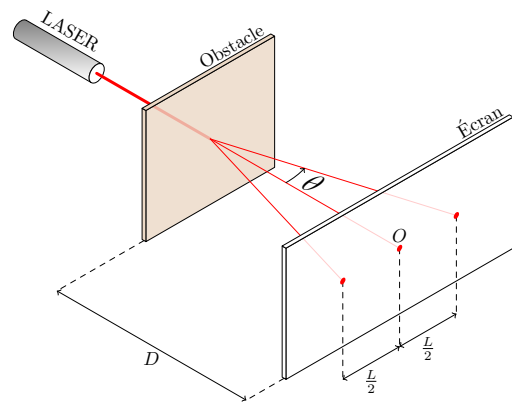
# I Propriétés générales

## I/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

#### ♥ Propriété O2.1 : Diffraction par une fente simple

Un faisceau monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  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  $\theta$  de la tâche centrale vérifie

## I/B Approximation de l'optique géométrique

### I/B) 1 Définition

#### ♥ Définition O2.1 : 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.

#### ♥ Définition O2.2 : Rayon et faisceau lumineux

**Remarque O2.1 :**

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

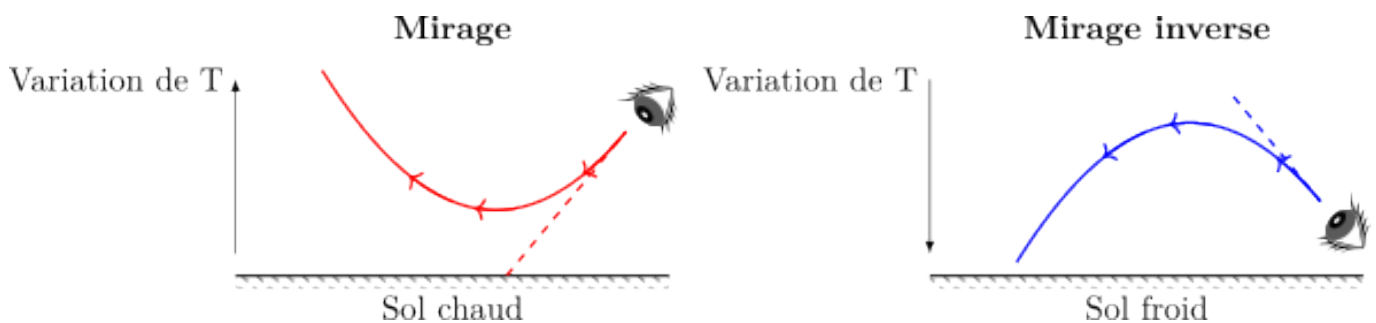
**I/B) 3** Propriétés d'un rayon lumineux**♥ Propriété O2.2 : Propriétés d'un rayon lumineux**

- 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 **I/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

### II/A Changement de milieu

#### ♥ Définition O2.3 : Dioptre

FIGURE 2.4 – Exemple de dioptre.

#### ♥ Propriété O2.3 : 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.

#### ♥ Notation O2.1 : Vocabulaire général

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

#### ♥ Attention O2.1 : 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.

## II/B Lois de Snell-Descartes

### ♥ Propriété O2.4 : Lois de SNELL-DESCARTES

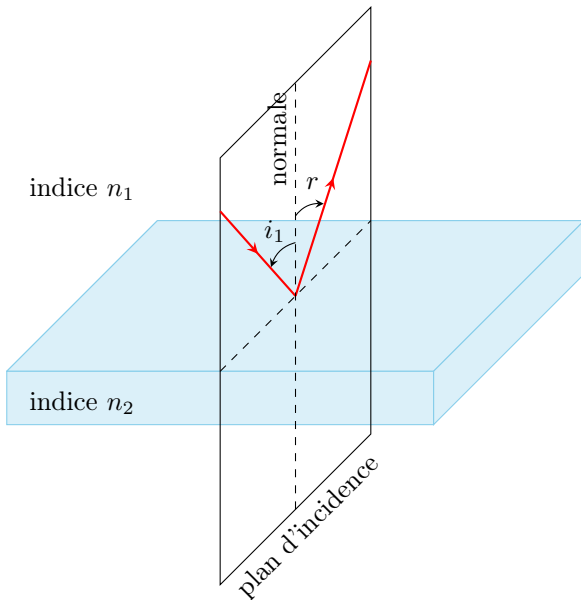


FIGURE 2.6 – Réflexion d'un rayon incident

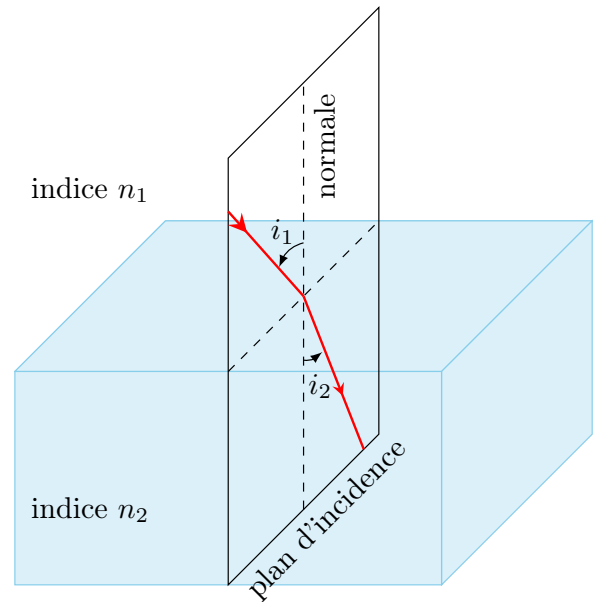


FIGURE 2.7 – Réfraction d'un rayon incident avec  $n_2 > n_1$ .

### ♥ Implication O2.1 : Réfraction

On distingue 3 cas généraux pour la réfraction :

- 1) Si  $\mathbf{i}_1 = \mathbf{0}$ ,
- 2) Si  $n_2 > n_1$ <sup>1</sup>,
- 3) Si  $n_2 < n_1$ <sup>2</sup>,

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

## II/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.



### ♥ Propriété O2.5 : 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  $i_{\text{lim}}$  au-delà duquel il n'y a pas de rayon réfracté : on parle de **réflexion totale**. On a



### ♥ Démonstration O2.1 : Angle limite de réflexion totale



### Exemple O2.1 : Réflexion totale

FIGURE 2.8 – Phénomène de réflexion totale

## III Généralités sur les systèmes optiques


### III/A Système, rayons, faisceaux.



### ♥ Définition O2.4 : Système optique

#### Exemple

L'exemple le plus simple est le miroir plan.



### ♥ Définition O2.5 : 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.

### ♥ Définition O2.6 : Rayons incidents et émergents

- ◇ Rayons incidents :
- ◇ Rayons émergents :

FIGURE 2.11 – Rayons incidents, émergents.

### ♥ Définition O2.7 : Nature d'un faisceau

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

FIGURE 2.12 – Natures de faisceaux

## III/B Objets et images

### ♥ Définition O2.8 : Objet et image

Point objet

Point image



### ♥ Définition O2.9 : Réel et virtuel

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**.

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

### ♥ Définition O2.10 : Réel et virtuel, bis

#### Point objet

- ◇ Réel :
- ◇ Virtuel :

#### Point image

- ◇ Réel :
- ◇ Virtuel :

### Exemple O2.2 : 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 O2.2 : 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.

### ♥ Définition O2.11 : 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**.

### ♥ Définition O2.12 : Objet étendu et angle apparent

- ◇ **Objet étendu** :
- ◇ **Angle apparent** d'un objet étendu :

### ♥ Définition O2.13 : 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  $\gamma$  le rapport

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

FIGURE 2.18 – Objet et image étendues.

## III/C Foyers d'un système optique

### ♥ Définition O2.14 : 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*,  $\pi$ . 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*,  $\pi'$ . On note

FIGURE 2.20 – Foyer principal image.

### Remarque O2.2 : 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 ».

### ♥ Propriété O2.6 : Foyers principaux

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

### ♥ Corollaire O2.1 : Foyers secondaires

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

## IV Approximation de GAUSS

### IV/A Stigmatisme, aplanétisme

#### ♥ Définition O2.15 : Stigmatisme

#### ♥ Définition O2.16 : Aplanétisme

### IV/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).

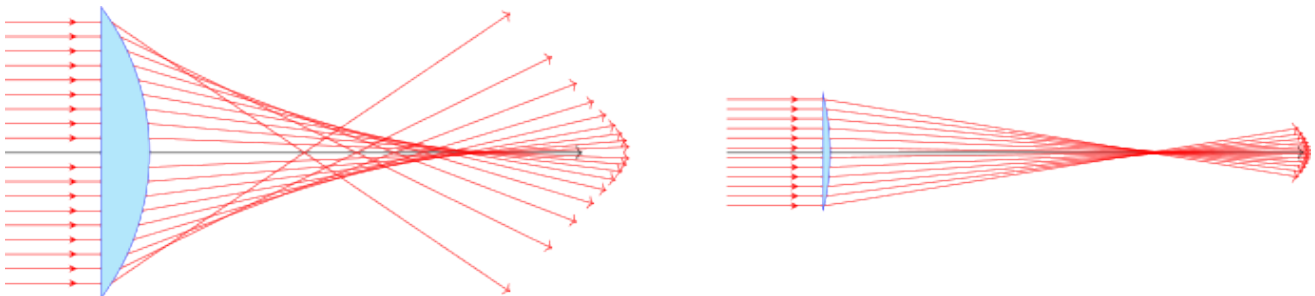


FIGURE 2.21 – Exemple d'un système astigmatique à gauche, stigmatique approché à droite.

### IV/C Conditions de GAUSS

#### ♥ Définition O2.17 : Rayons paraxiaux

Des rayons sont **paraxiaux** s'ils sont :

- 1)
- 2)

#### ♥ Propriété O2.7 : Approximation de GAUSS

Un système est dans les conditions de GAUSS si les rayons sont paraxiaux. Dans ce cas, 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.