

Base de l'optique géométrique

Sommaire

I Propriétés générales	2
I/A Optique non géométrique : diffraction de la lumière	2
I/B Approximation de l'optique géométrique	2
II Changement de milieu	3
II/A Présentation	3
II/B Lois de SNELL-DESCARTES	4
II/C Phénomène de réflexion totale	4
III Généralités sur les systèmes optiques	5
III/A Système, rayons, faisceaux	5
III/B Objets et images	6
III/C Foyers d'un système optique	7
IV Stigmatisme et aplanétisme	8
IV/A Présentation	8
IV/B Conditions de GAUSS	8

Capacités exigibles

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ☐ 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. | <ul style="list-style-type: none"> ☐ Énoncer les conditions de l'approximation de GAUSS et ses conséquences. ☐ 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. |
|--|--|

L'essentiel

Définitions

- ☐ O2.1 : Diffraction 2
- ☐ O2.2 : Approximation de l'optique géométrique 2
- ☐ O2.3 : Rayon et faisceau lumineux 2
- ☐ O2.4 : Dioptrie 3
- ☐ O2.5 : Système optique, centré, axe optique 5
- ☐ O2.6 : Rayons incidents et émergents 5
- ☐ O2.7 : Nature d'un faisceau 5
- ☐ O2.8 : Objet, image, réel et virtuel 6
- ☐ O2.9 : Conjugaison de 2 points, schéma synoptique 6
- ☐ O2.10 : Objet étendu et angle apparent 7
- ☐ O2.11 : Grandissement transversal 7
- ☐ O2.12 : Foyers principaux objet et image 7
- ☐ O2.13 : Stigmatisme et aplanétisme 8
- ☐ O2.14 : Rayons paraxiaux 8

Démonstrations

- ☐ O2.1 : Conditions de réflexion totale 5

Propriétés

- ☐ O2.1 : Diffraction par une fente simple 2
- ☐ O2.2 : Propriétés d'un rayon lumineux 2
- ☐ O2.3 : Réflexion, réfraction 3
- ☐ O2.4 : Lois de SNELL-DESCARTES 4
- ☐ O2.5 : Conditions de réflexion totale 4
- ☐ O2.6 : Foyers principaux et secondaires 7
- ☐ O2.7 : Approximation de GAUSS 8

Implications

- ☐ O2.1 : Réfraction 4
- ☐ O2.2 : Espaces objet et image 6

Erreurs communes

- ☐ O2.1 : Calcul des angles 3
- ☐ O2.2 : Fonction arcsin 5
- ☐ O2.3 : Distances algébriques 5

I Propriétés générales

I/A Optique non géométrique : diffraction de la lumière

Définition O2.1 : Diffraction

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.

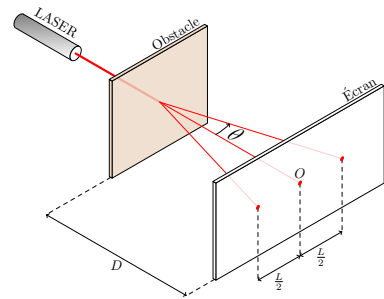


FIGURE O2.1 – Diffraction d'un laser par une fente fine.

Propriété O2.1 : Diffraction par une fente simple

Un faisceau monochromatique de longueur d'onde λ_0 dans le vide, limité spatialement par une fente de largeur $a \approx \lambda_0$, forme à grande distance sur un écran des tâches lumineuses dont le demi angle d'ouverture θ de la tâche centrale vérifie

I/B Approximation de l'optique géométrique

Définition O2.2 : Approximation de l'optique géométrique

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

Définition O2.3 : Rayon et faisceau lumineux

Remarque O2.1 : Limite du modèle

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

♥ Propriété O2.2 : Propriétés d'un rayon lumineux

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

FIGURE O2.2 – Schématisation du principe de retour inverse de la lumière.

Remarque O2.2 : 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.

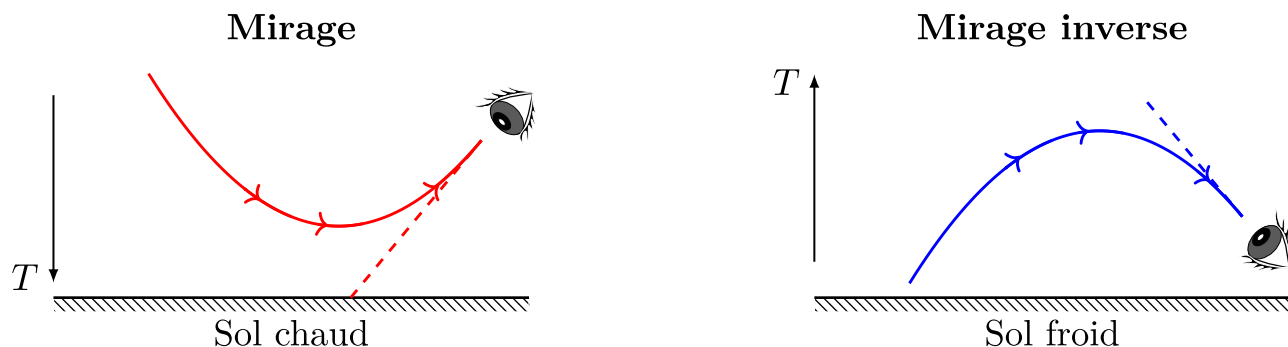


FIGURE O2.3 – Représentation de mirages.

II Changement de milieu**II/A Présentation****Définition O2.4 : Dioptré**

FIGURE O2.4 – Exemple de dioptré.

Propriété O2.3 : Réflexion, réfraction

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

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

On appelle :

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

FIGURE O2.5 – Rayons.

Attention O2.1 : Calcul des angles

- 1) Les angles se calculent entre le rayon et la **normale** au dioptré.
- 2) Le sens de comptage doit être indiqué sur la figure.

II/B Lois de SNELL-DESCARTES

♥ Propriété O2.4 : Lois de SNELL-DESCARTES

- 1)
- 2)
- 3)

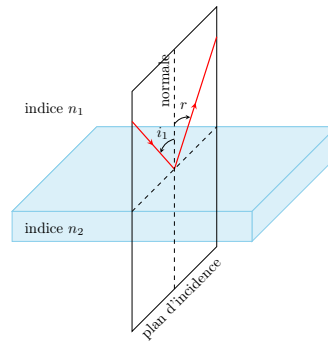


FIGURE O2.6 – Réflexion

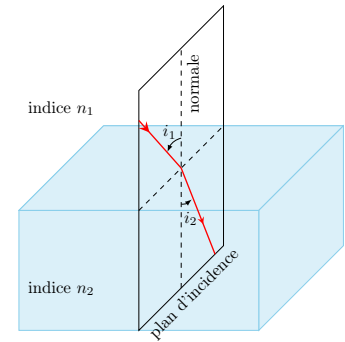


FIGURE O2.7 – Réfraction.

♥ Implication O2.1 : Réfraction

On distingue 3 cas généraux pour la réfraction :

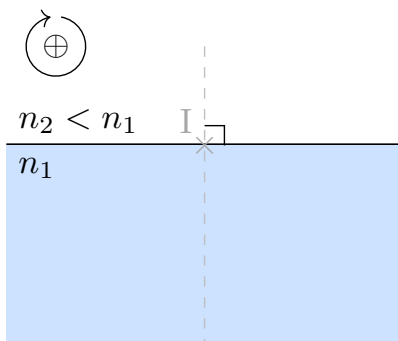
- 1) Si $i_1 = 0$,
- 2) Si $n_2 > n_1$ ¹,
- 3) Si $n_2 < n_1$ ²,

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

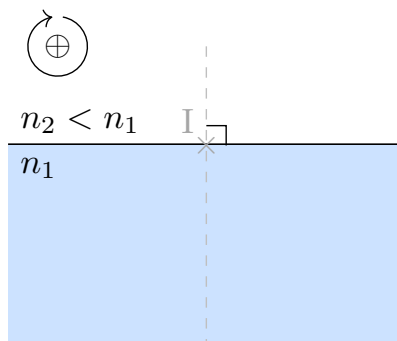
II/C Phénomène de réflexion totale

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 $|i_2| < \frac{\pi}{2} \text{ rad}$.

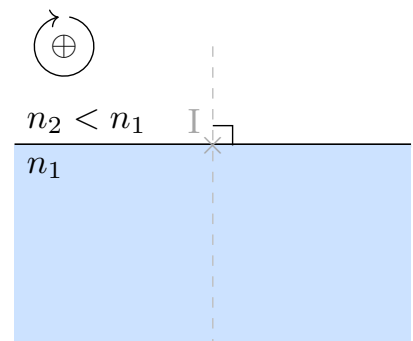
Exemple O2.1 : Réflexion totale



Réfraction : $i_1 < i_{\text{lim}}$



Réfraction limite : $i_1 = i_{\text{lim}}$



Réflexion totale : $i_1 > i_{\text{lim}}$

FIGURE O2.8 – Phénomène de réflexion totale.

♥ Propriété O2.5 : Conditions de réflexion totale

Pour avoir réflexion totale lors du passage d'un milieu n_1 à un milieu n_2 , il faut :

- ◇
- ◇

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.

♥ Démonstration O2.1 : Conditions de réflexion totale

♥ Attention O2.2 : Fonction arcsin

Ceci est possible **uniquement** pour $n_2 < n_1$: en effet, arcsin prend des valeurs de $x \in [-1 ; 1]$, correspondant à des valeurs possibles de $\sin(\theta)$.

Ainsi, si $n_2 \geq n_1$, il **n'existe pas d'angle limite** de réflexion totale. Cette analyse est à réaliser à chaque fois.

III Généralités sur les systèmes optiques

III/A Système, rayons, faisceaux.

Définition O2.5 : Système optique, centré, axe optique

- ◇ **Système optique** : ensemble de composants optiques rencontrés successivement par les rayons lumineux.
- ◇ **Système centré** :
- ◇ **Axe optique** :

FIGURE O2.9 – Système optique centré.

Attention O2.3 : Distances algébriques

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 O2.10 – Distances algébriques.

Définition O2.6 : Rayons incidents et émergents

- ◇ **Rayons incidents** :
- ◇ **Rayons émergents** :

FIGURE O2.11 – Incidents, émergents.

Définition O2.7 : Nature d'un faisceau

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

FIGURE O2.12 – Natures de faisceaux

III/B Objets et images

Définition O2.8 : Objet, image, réel et virtuel

Point objet

- ◇
- ◇ Réel :
 - ▷
 - ▷
- ◇ Virtuel :
 - ▷
 - ▷

Point image

- ◇
- ◇ Réel :
 - ▷
 - ▷
- ◇ Virtuel :
 - ▷
 - ▷

♥ Exemple O2.2 : Objets et images réelles ou virtuelles

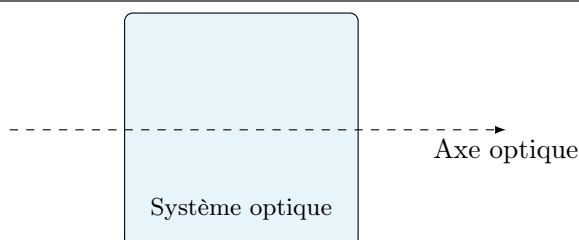


FIGURE O2.13 – Objet et image réelles.

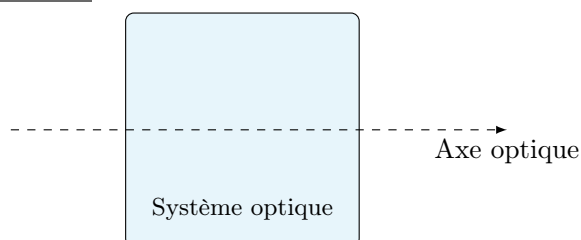


FIGURE O2.14 – Objet réel et image virtuelle.

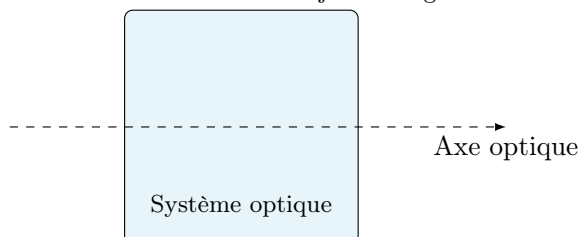


FIGURE O2.15 – Objet virtuel et image réelle.

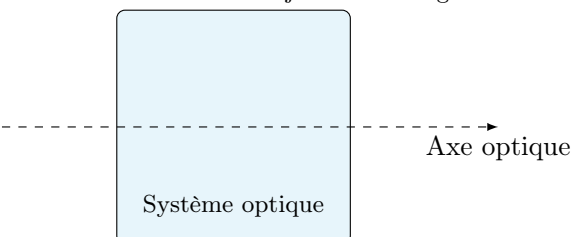


FIGURE O2.16 – Objet et image virtuelles.

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 O2.17 – Espaces objet et image.

♥ Définition O2.9 : Conjugaison de 2 points, schéma synoptique

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 O2.10 : Objet étendu et angle apparent

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

♥ Définition O2.11 : Grandissement transversal

Soit $\overline{AB} \xrightarrow{S} \overline{A'B'}$. On appelle *grandissement transversal* et on le note γ le rapport

FIGURE O2.18 – Objet et image étendues.

III/C Foyers d'un système optique**♥ Définition O2.12 : Foyers principaux objet et image****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

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

♥ Propriété O2.6 : Foyers principaux et secondaires**Foyer principal objet**

Rayons **incidents croisés en F** $\Rightarrow$

FIGURE O2.19 – Foyer principal objet.

Foyer principal image

Rayons **incidents parallèles à l'axe** $\Rightarrow$

FIGURE O2.20 – Foyer principal image.

Foyer secondaire objet

Rayons **incidents croisés en $\varphi \in \pi$** $\Rightarrow$

FIGURE O2.21 – Foyer secondaire objet.

Foyer secondaire image

Rayons **incidents $\parallel$ entre eux** $\Rightarrow$

FIGURE O2.22 – Foyer secondaire image.

Remarque O2.3 : Retour inverse

Nous pouvons déduire le fonctionnement du système optique dans les cas secondaires en utilisant le principe du **retour inverse de la lumière**, en « remontant le film ». **Attention** à la position de F et F'.

IV Stigmatisme et aplanétisme**IV/A Présentation****Définition O2.13 : Stigmatisme et aplanétisme****Stigmatisme****Aplanétisme**

Inverse :

Inverse :

Remarque O2.4 : Dans la pratique

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).

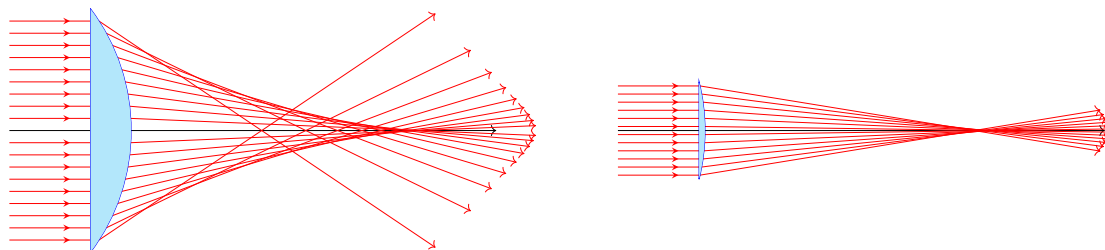
Exemple O2.3 : Stigmatisme approché et rigoureux

FIGURE O2.23 – Exemple d'un système astigmatique à gauche, stigmatique approché à droite.

IV/B Conditions de GAUSS**♥ Définition O2.14 : 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.

FIGURE O2.24 – Conditions de GAUSS.