

# Bases de l'optique géométrique

Le monde qui nous entoure est composé d'objets, notre vue nous en donne des images propres à chaque être capable de voir (ex. des couleurs vues par l'abeille). Nous voyons directement (je vous vois), à travers un instrument (comme si vous étiez dans les jumelles par ex.), sur un écran...

L'objectif du cours d'optique de première année est essentiellement l'étude des instruments d'optique : où se forme l'image ? dimensions, grandissement, grossissement d'une lunette, résolution d'un microscope, défauts, profondeur de champ d'un appareil photo...

Pour cela, on va suivre la lumière *issue de l'objet* à travers les différents éléments qui constituent l'instrument jusqu'à l'image.

Qu'est-ce qu'il faut suivre ? Qu'est-ce que la lumière ? Mauvaise question !

Bonne question : *comment se représenter la lumière ?* Une bonne représentation étant une représentation conforme à l'expérience.

La lumière n'est pas, *la lumière se comporte comme...*

Une des premières représentation suggérée par de simples observations = rayon lumineux (propagation rectiligne de la lumière).

## Table des matières

<b>1 Généralités sur la lumière</b>	<b>1</b>
1.1 Du rayon lumineux à l'électrodynamique quantique . . . . .	1
1.1.1 Modèle géométrique (1 <sup>re</sup> année) . . . . .	1
1.1.2 Modèle ondulatoire (2 <sup>e</sup> année) . . . . .	1
1.1.3 Modèle corpusculaire . . . . .	1
1.1.4 Électrodynamique quantique . . . . .	1
1.2 Domaine de validité de l'optique géométrique . . . . .	2
1.3 Sources de lumière . . . . .	2
1.3.1 Sources à spectre de raies ou de bandes . . . . .	2
1.3.2 Sources à spectre continu . . . . .	2
1.3.3 Cas particulier du LASER . . . . .	2
<b>2 Image</b>	<b>3</b>
2.1 Image et information . . . . .	3
2.2 Images optiques (image au sens restrictif d'image optique) . . . . .	3

2.3 Quand l'image ressemble à l'objet . . . . .	4
<b>3 Réflexion et réfraction</b>	<b>4</b>
3.1 Rayon lumineux . . . . .	4
3.2 Loi de Snell-Descartes . . . . .	4
3.3 Réflexion totale . . . . .	5
3.4 Retour inverse de la lumière . . . . .	5

## 1 Généralités sur la lumière

### 1.1 Du rayon lumineux à l'électrodynamique quantique

#### 1.1.1 Modèle géométrique (1<sup>re</sup>année)

EUCLIDE (4<sup>e</sup>-3<sup>e</sup>avant J.-C.) notion de rayon lumineux.

ALHAZEN physicien arabe (10<sup>e</sup>-11<sup>e</sup>) attribue à la lumière une origine extérieure à l'oeil.

GALILÉE (16<sup>e</sup>-17<sup>e</sup>) fabrication des premières lunettes.

DESCARTES (17<sup>e</sup>) modélisation **corpusculaire** de la lumière (impose une vitesse de la lumière plus grande dans les milieux matériels que dans l'air ce qui est en contradiction avec l'expérience).

FERMAT (17<sup>e</sup>) principe de moindre temps.

NEWTON (16<sup>e</sup>-17<sup>e</sup>) travaux considérables.

#### 1.1.2 Modèle ondulatoire (2<sup>e</sup>année)

HUYGENS (17<sup>e</sup>) propose une théorie ondulatoire permettant de retrouver les résultats de l'optique géométrique et compatible avec une vitesse de la lumière plus faible dans les milieux matériels que dans l'air.

YOUNG et FRESNEL (18<sup>e</sup>-19<sup>e</sup>) la découverte des phénomènes de diffraction et d'interférences impose cette théorie.

MAXWELL (19<sup>e</sup>) la lumière comme une onde électromagnétique se propageant à une vitesse

$$c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

dans le vide

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

dans un milieu matériel où  $n$  est l'indice du milieu

de longueur d'onde

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

où  $T$  est la période et  $\nu$  la fréquence, la lumière visible correspondant aux longueurs d'onde

$$400 \text{ nm (violet)} < \lambda < 800 \text{ nm (rouge)}$$

### 1.1.3 Modèle corpusculaire

Les découvertes de l'effet photoélectrique et du rayonnement du corps noir conduisent PLANCK et EINSTEIN (20<sup>e</sup>) à revenir à un modèle corpusculaire en introduisant les photons, particules sans masse, d'énergie

$$\epsilon = h\nu$$

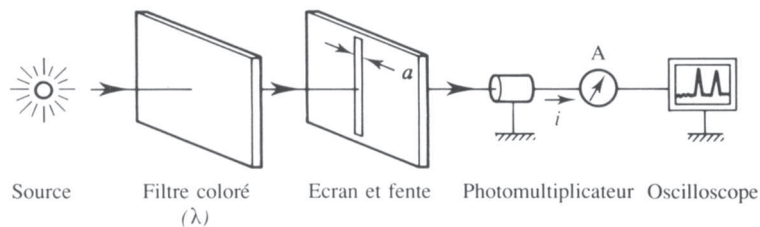
se déplaçant à la vitesse  $c$ . On parle alors de **dualité onde corpuscule**.

### 1.1.4 Électrodynamique quantique

Cette théorie développée entre autres par FEYNMANN dans les années 50 lève les dernières contradictions entre les aspects ondulatoire et corpusculaire.

## 1.2 Domaine de validité de l'optique géométrique

(D'après Pierre Léna et Alain Blanchard, Lumières une introduction aux phénomènes optiques, InterEditions 1990)



Ce dispositif met en évidence 3 quantités :

- $\nu$  fréquence (couleur) ;
- $a$  largeur de la fente ;
- $N$  nombre de photons détectés par le photomultiplicateur.

Si  $a \gg \lambda$  le modèle ondulatoire est inutile. Cette situation se rencontre lorsque les dimensions géométriques des obstacles que rencontre la lumière restent grandes devant sa longueur d'onde  $\lambda$ .

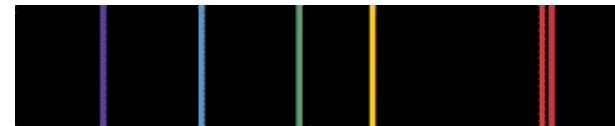
Si  $N \gg 1$  le modèle du photon est inutile. Cette situation se rencontre lorsque l'on n'est pas confronté à la détection de photons un par un mais plutôt à de fortes intensités lumineuses.

Si l'on a simultanément  $a \gg \lambda$  et  $N \gg 1$ , le modèle géométrique fait l'affaire. Dans ce cas, la lumière ne rencontre pas d'obstacles de dimensions comparables ou inférieures à sa longueur d'onde et l'énergie mise en jeu dans sa détection par le photomultiplicateur est grande devant  $hc/\lambda$ .

## 1.3 Sources de lumière

### 1.3.1 Sources à spectre de raies ou de bandes

La décomposition de la lumière, émise suite à la désexcitation d'atomes, par un prisme ou un réseau donne un ensemble de raies caractéristiques de la composition de la source.



Exemples : néon, lampes spectrales utilisées en TP...

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \simeq 10^{-7}$$

### 1.3.2 Sources à spectre continu

Un corps absorbant, dont la température est  $T$ , émet un rayonnement électromagnétique dont le spectre est continu.



La longueur d'onde  $\lambda_m$  correspondant au maximum d'émission du corps noir est donnée par la loi de WIEN :

$$\lambda_m T = 2,987.10^{-3} K.m$$

Exemple : ampoule classique, Soleil...

### 1.3.3 Cas particulier du LASER

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Fonctionnement basé sur le processus d'émission stimulée.

$\frac{\Delta\nu}{\nu} \simeq 10^{-10}$  onde quasi monochromatique.



LASER hélium néon utilisé en TP  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  (rouge).

## 2 Image

### 2.1 Image et information

(D'après Pierre Léna et Alain Blanchard, Lumières une introduction aux phénomènes optiques, InterEditions 1990)

L'oeil reçoit l'information que lui apporte la lumière. Des mécanismes physico-chimiques complexes se produisent dans la rétine, transforment cette info et la codent en signaux électriques qui cheminent par le nerf optique jusqu'au cerveau. Par des processus encore largement inconnus, le cerveau transforme ces signaux en sensation d'image, en conscience d'image. A l'évidence, cette sensation lumineuse contient diverses informations :

- une info de position dans un espace à 2D ; la position d'un point lumineux est déterminé par deux variables  $(x, y)$  ;

- une info de couleur que l'on peut considérer fixée par une variable  $\nu$  ;
- une info temporelle qui fixe l'instant  $t$  de la sensation ;
- une info caractérisant l'intensité de la sensation en chaque point  $(x, y, \nu, t)$ .

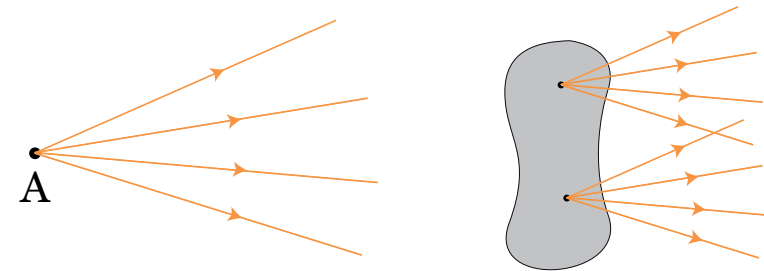
Une diapo, une peinture, l'écran d'une télé à un instant donné, l'image à travers un télescope ou un microscope, K7 vidéo, rêve... sont des images au sens où elles contiennent les info précédentes.

Remarque : selon ce point de vue une image peut n'avoir aucun rapport avec la réalité.

### 2.2 Images optiques (image au sens restrictif d'image optique)

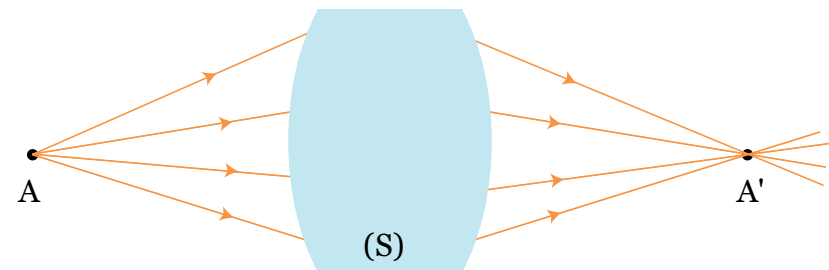
Nous appellerons **point source** un point géométrique d'où émanent des rayons lumineux.

Nous appellerons donc **objet lumineux** un ensemble de points sources.



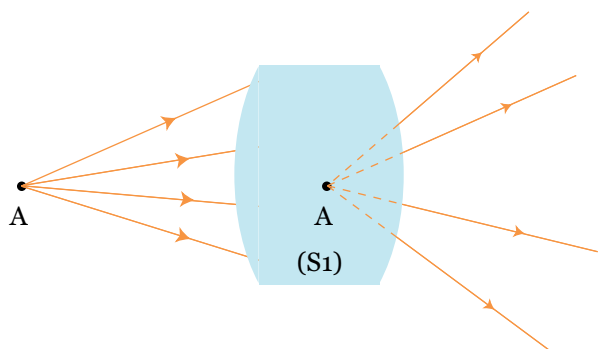
La lumière peut être émise (ex : Soleil, néon...), diffusée (ex : mur...), réfléchie (ex : miroir...)

Considérons un système optique  $(S)$  susceptible d'obliger tout ou partie des rayons lumineux issus d'un point source ou objet  $A$  à se rassembler, à converger en un point  $A'$ .  $A'$  est appelé **image géométrique réelle** de  $A$ .



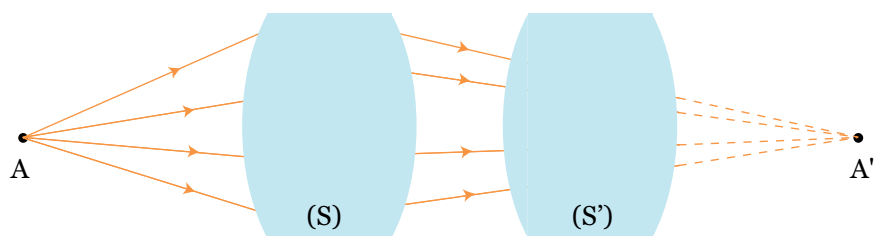
Toute l'énergie (électromagnétique) transportée dans le faisceau lumineux issu de  $A$  est concentrée en  $A'$  et peut y être mesurée par une cellule photoélectrique, peut impressionner un film photographique.

Si les rayons divergent en paraissant provenir d'un point géométrique unique  $A''$ ,  $A''$  est appelé **image géométrique virtuelle** de  $A$ . Il n'est pas possible ici de mesurer avec une cellule ou d'imprimer un film.



Un système optique ( $S'$ ) placé à droite de  $A'$  ou après ( $S_1$ ) considérera  $A'$  ou  $A''$  comme des **objets réels**.

De même si  $A'$  était formé par ( $S$ ) au delà de ( $S'$ ) on dirait que  $A'$  est un **objet virtuel** pour ( $S'$ ).



## 2.3 Quand l'image ressemble à l'objet

Il n'est pas du tout évident que ( $S$ ) donne une image  $A'$  de chaque point  $A$  et que l'ensemble des points  $A'$  ait une quelconque parenté avec l'ensemble des points  $A$ . Ce qui nous amène à considérer des cas très particuliers (ceux qui nous intéressent) :

- à chaque point  $A$  correspond un point  $A'$  : le système est alors dit **stigmatique**;

- le rapport des distances entre 2 couples de points objets  $AB$  et images  $A'B'$  est une constante indépendante du choix de ces points ; l'image de l'objet tout entier existe et elle lui est homothétique (c'est seulement alors que l'emploi du mot image rejoint le langage courant).
- pour un système ayant un axe de symétrie (la plupart des instruments), l'objet  $AB$  étant perpendiculaire à l'axe, si l'image  $A'B'$  est aussi perpendiculaire à l'axe, on parle d'aplanétisme.

## 3 Réflexion et réfraction

### 3.1 Rayon lumineux

Dans un milieu homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite

Le rayon lumineux est une droite qui ne fait que représenter le trajet rectiligne suivi par la lumière dans un milieu homogène et isotrope.

Ex. : les ombres

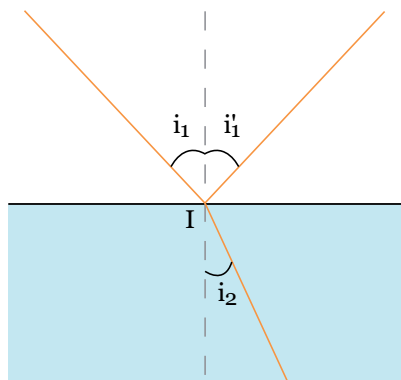
Un rayon n'affecte pas les autres.

Deux rayons additionnent leurs intensités.

### 3.2 Loi de Snell-Descartes

Que se passe-t'il à l'interface entre 2 milieux ?

A l'interface de 2 milieux d'indices différents (dioptré), un rayon lumineux donne généralement naissance à un rayon réfléchi et à un rayon réfracté, ou transmis, situés dans le plan d'incidence (rayon incident, normale au dioptré en I).



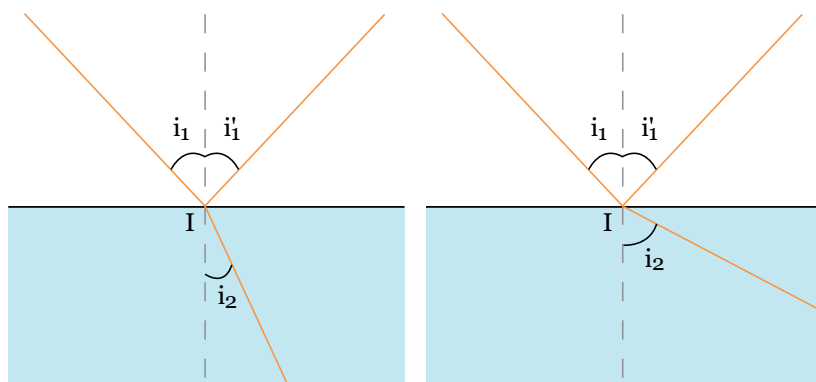
$$i_1 = i'_1$$

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

L'indice  $n$  dépend de la longueur d'onde; la formule simplifiée de CAUCHY peut-être utilisée pour la plupart des milieux transparents :

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

### 3.3 Réflexion totale



$n_2 > n_1$  le rayon se rapproche de la normale.

$n_2 < n_1$  le rayon s'éloigne de la normale.

si  $i_1 > i_l$  tel que  $n_1 \sin i_l = n_2$  réflexion totale.

Cf fibre optique, mirage.

### 3.4 Retour inverse de la lumière

Les lois de Descartes ne font pas intervenir le sens de propagation de la lumière. Un rayon lumineux se propageant dans le milieu d'indice  $n_2$  avec un angle d'incidence  $i_2$  est réfracté dans le milieu d'indice  $n_1$  avec un angle de réfraction  $i_1$  tel que  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ . C'est le principe de retour inverse de la lumière.