

O2 – FORMATION DES IMAGES & APPROXIMATION DE GAUSS

Objectifs de cette leçon :

- Définitions d'un objet, d'une image et d'un système optique.
- Notions d'objets et d'images étendues
- Notions d'objets et d'images réels et virtuels
- Notion de stigmatisme et d'aplanétisme

I Objets et Images - Vocabulaire de l'optique géométrique

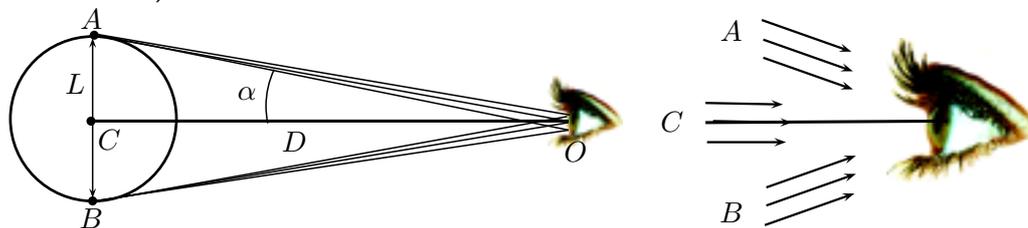
I.1 Objets

◇ **Définition** : En optique géométrique on appelle **objet** la *source* des rayons lumineux dont on étudie la propagation à *travers un système optique donné*.

Ex : un animal observé à travers des jumelles, une fleur observée par l'œil, etc.

◇ **Définition** : Types de sources et d'objets :

- **Source Primaire** : un objet est une source primaire s'il émet spontanément de la lumière sans avoir besoin d'être éclairé.
- **Source Secondaire** : c'est un objet qui n'émet pas spontanément de la lumière ; il doit être éclairé par une lumière extérieure pour être observé.
- **Objet Ponctuel** : objet dont on n'arrive pas à déterminer la dimension en l'observant à travers un instrument d'optique.
- **Objet Étendu** : objet auquel on peut associer une dimension. Il peut être considéré comme une infinité d'objets ponctuels *indépendants* les uns des autres.
- **Objet à distance Finie** : objet dont on peut déterminer la position par rapport à l'instrument faisant l'observation.
- **Objet à l'Infini** : objet si éloigné que tous les rayons qui en viennent sont parallèles. Pour un objet étendu de dimension L , on peut dire qu'il est à l'infini (vis à vis de l'observateur) si la distance D à l'instrument d'observation vérifie : $D \gg L$.



	Objet Ponctuel à distance finie	Objet Ponctuel à l'infini	Objet Étendu à distance finie	Objet Étendu à l'infini
Source I ^{aire}	laser, pixel	étoile	lampe allumée	le Soleil, galaxies
Source II ^{aire}	un point sur une feuille de papier, spot du faisceau laser sur un mur		un papillon, les murs, une lampe éteinte, nos visages, ...	la Lune, Jupiter, Saturne, nébuleuses, ...

I.2 Systèmes Optiques

◇ **Définition** : En optique géométrique, on appelle **système optique** tout élément capable de modifier la propagation des rayons issus d'un objet.

Un système optique est constitué de milieux Transparent, Homogène, Isotrope (→ Cf Cours O1).

Attention donc : un miroir, une lentille ou tout autre instrument d'optique n'est pas un objet. S'il est parfait (c'est-à-dire propre), il ne diffuse pas la lumière et on ne le voit pas.

- Le plus simple des systèmes optiques est le **dioptré** (surface de séparation de deux milieux T.H.I., ou encore, interface).

◇ **Définition** : Deux familles de systèmes optiques :

- Les **Systèmes Dioptriques** sont constitués uniquement par des dioptrés.

Ex : lunettes, œil, ...

- Les **Systèmes Catadioptriques** sont des systèmes qui contiennent au moins un miroir.

Ex : le plus simple est le miroir plan ; les télescopes, une cuillère à soupe, ...

◇ **Définition** : **Système Sphérique** : tout système ayant la forme d'une sphère ou d'une portion de sphère.

Ex : un miroir sphérique, une lentille boule (ie une bille de verre).

■ **Propriété des systèmes sphériques** : tout rayon passant par le centre d'un système sphérique n'est pas dévié (c'est une conséquence des lois de DESCARTES).

◇ **Définition** : **Système Centré** : c'est un système optique qui admet un axe de symétrie de révolution. On appelle cet axe l'**axe optique**.

Ex : un œil 'normal', objectif d'appareil photo, loupe, microscope, ...

Rq : → Tous les appareils d'optique sont des systèmes centrés ! d'où l'intérêt de leur étude...

■ **Propriété des systèmes centrés** : tout rayon arrivant suivant l'axe optique n'est pas dévié. Pour avoir cette propriété, tous les dioptrés sphériques et/ou miroirs sphériques utilisés pour fabriquer un système centré devront être centrés sur cet axe.

I.3 Images

En optique géométrique, une **image** est définie *par rapport à un système optique donné*.

Il s'agit de l'ensemble des points de concours des rayons lumineux :

- partis d'un objet,
- ayant traversé un système optique
- et ayant émergé de celui-ci.

◇ **Définition** : Dit autrement, l'**image** d'un objet à travers un système optique est l'ensemble des **points-image**, c'est-à-dire de l'ensemble des points de concours de tous les **rayons émergents** du système optique.

Ex : une image sur un écran de cinéma (l'objet est la pellicule du film et le système optique est le projecteur).

Par contre, une ombre portée n'est pas une image telle que nous l'avons définie (il n'y a pas de système optique qui la forme).

Rq : Comme pour caractériser un objet, on retrouve les mêmes définitions secondaires :

- d'image *ponctuelle* (étoile observée à l'œil ou au télescope),
- d'image *étendue* (Lune observée au télescope),
- d'image *à l'infini* (image d'un objet placé au foyer d'un miroir parabolique),
- d'image *à distance finie* (image d'un objet à distance finie dans un miroir).

D'après ce qui précède, une autre définition de l'**objet** d'un système optique est possible : il s'agit de l'ensemble des **points-objet**, c'est-à-dire de l'ensemble des points de concours des **rayons incidents** par rapport au système optique.

I.4 Objets et images réels et virtuels

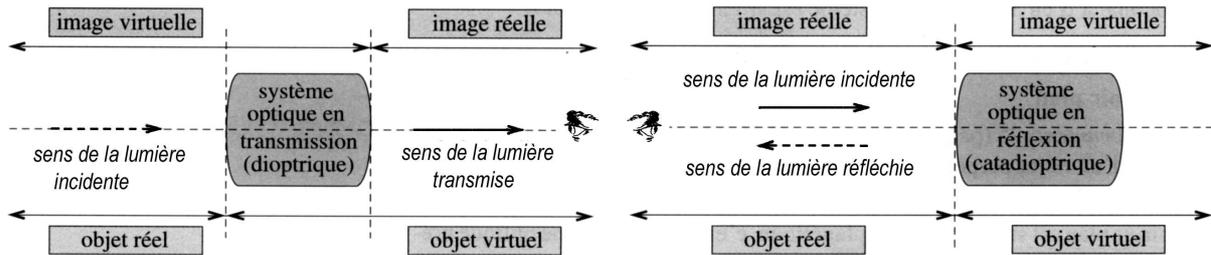
(Les schémas suivant sont réalisés pour un système (*S.O*) dioptrique.)

◇ **Définition** : Objet/images réels/virtuels :

- Les **objets réels** {resp. les **images réelles**} sont donc définis comme l'intersection (réelle) des rayons lumineux *avant* l'entrée d'un système optique {resp. *après* la sortie d'un S.O}.
- Les **objets virtuels** {resp. les **images virtuelles**}, par contre, sont définis comme l'intersection des prolongements (imaginaires) des rayons lumineux à l'entrée {resp. à la sortie d'un système optique}.

⇒ Que le S.O. soit par transmission (S.O. dioptrique) ou par réflexion (S.O. catadioptrique), on peut donc définir un « **espace objet réel** » et un « **espace objet virtuel** ». De même, on définit

un « espace image réelle » et un « espace image virtuelle ».



Exemple : Un conducteur observe une voiture grâce à son rétroviseur ; définir les différents S.O. mis en jeu ainsi que leurs objets et images correspondants tout en précisant leur nature (réelle ou virtuelle?).

Retenir : La nature « réelle » ou « virtuelle » d'un objet (ou d'une image) est *relative* au S.O. qui définit cet objet (ou cette image)

II Stigmatisme

II.1 Stigmatisme rigoureux

◇ **Définition :** Un système est dit **rigoureusement stigmatique** pour un couple de point A et A' lorsque tout rayon incident passant par A émerge, après avoir traversé le système optique, en passant par A' .

On dit que :

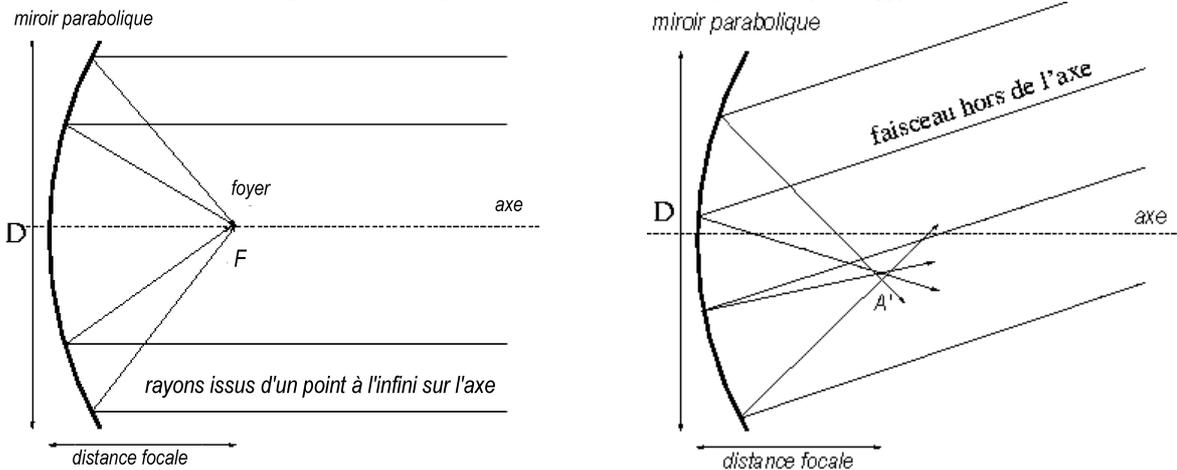
A' est l' image de A par le système optique A et A' sont conjugués par le S.O. A' est le conjugué de A par le S.O.	}	A et A' sont des points conjugués
---	---	--

Exemple : Le miroir plan

■ **Propriété du miroir plan :** Le miroir plan est rigoureusement stigmatique pour *tous* les couples de points objet/image (A, A') de l'espace. C'est un cas unique dans tous les systèmes optiques.

• **Pour le miroir parabolique :** Le miroir parabolique est **rigoureusement stigmatique** *uniquement* pour un point situé à l'infini sur son axe optique et son foyer : (A_∞, F) .

Bien entendu, par le principe du retour inverse de la lumière, le miroir parabolique conjugue également, au sens du stigmatisme rigoureux, le couple de points (F, A'_∞) .



...Par contre, le miroir parabolique n'est pas stigmatique pour *aucun* autre couple de points de l'espace !

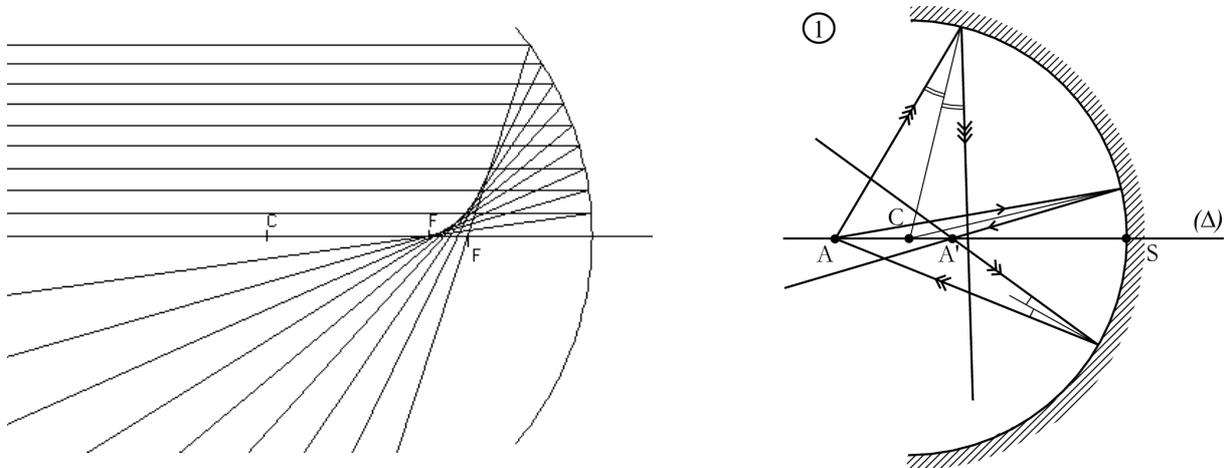
• **Conséquence :** Puisque seul le miroir plan est rigoureusement stigmatique pour tous les couples de points (A, A') de l'espace, il est nécessaire d'« élargir » la définition du *stigmatisme* d'un système optique pour rendre la notion d'*image* à travers ce système plus « souple ».

II.2 Stigmatisme approché

◇ **Définition :** Un système optique (S) présente un **stigmatisme approché** pour un couple de points A et A' si tout rayon incident passant par A émerge, après avoir traversé (S) , en passant **au voisinage** de A' .

Conséquence : Dans ce cas, l'image de A est une « petite tache » centrée sur A' et on dit que A et A' sont **conjugués** au sens du **stigmatisme approché**.

• **Cas du miroir sphérique :**



■ **Propriété des systèmes centrés** : *En pratique*, il y a **stigmatisme approché** pour tous les rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique de tout système centré.

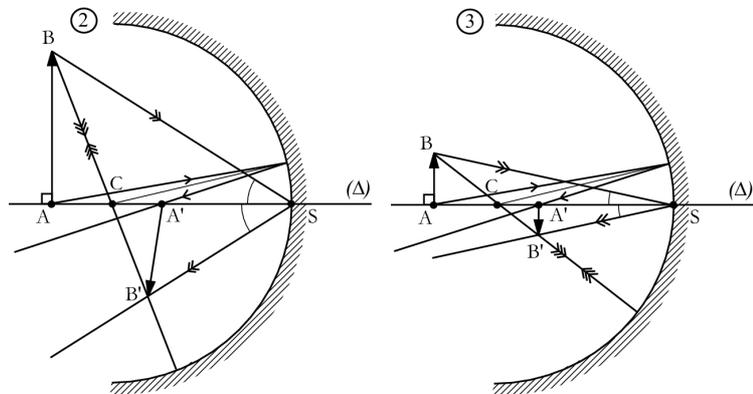
III Aplanétisme des systèmes optiques centrés

III.1 Aplanétisme rigoureux

◇ **Définition** : Un système optique stigmatique, centré, d'axe optique (Δ) , il y a **aplanétisme rigoureux** si, pour tout objet ABC , plan et perpendiculaire à (Δ) , son image $A'B'C'$ est également plane et perpendiculaire à (Δ) .

■ **Propriété du miroir plan** : Le miroir plan est parfaitement aplanétique pour *tous* les objets plans ABC de l'espace parallèles au miroir. C'est un cas unique parmi tous les systèmes optiques.

III.2 Aplanétisme approché



■ **Propriété des systèmes centrés** : *En pratique*, il y a **aplanétisme approché** pour les petits objets proches de l'axe optique de tout système centré.

IV Système centrés dans l'approximation de Gauss

IV.1 Définition

◇ **Définition** : On dit qu'on est dans l'Approximation de **Gauss** (ou dans les Conditions de GAUSS) lorsqu'on utilise un système optique centré en se limitant aux rayons lumineux **paraxiaux**, i.e. aux rayons :
 (1) peu inclinés par rapport à l'Axe Optique
 et (2) proches de cet axe.

Propriété des systèmes éclairés dans l'approximation de Gauss :

Dans les conditions de GAUSS, les systèmes centrés sont stigmatiques et aplanétiques (au sens rigoureux ou approché).

IV.2 relation de conjugaison

◇ **Définition :** Pour un système optique centré aplanétique et stigmatique (au sens rigoureux ou approché), la **relation de conjugaison** est une relation algébrique qui relie la position de l'image à celle de l'objet par rapport à l'axe optique. Si (\mathcal{P}) et (\mathcal{P}') notent les plans orthogonaux à l'axe optique contenant respectivement l'objet et l'image, on dit que la relation de conjugaison lie la position des deux plans conjugués par le système optique.

Exemple : Le miroir plan

Rq : Si le S.O. est un appareil photot, alors (\mathcal{P}') doit être le plan où se trouve la pellicule photo. Et c'est la propriété d'aplanétisme qui fait que chaque point image de chaque point objet de (\mathcal{P}) se retrouve dans (\mathcal{P}') (dans le cas contraire, la photo serait mauvaise, avec, par exemple, la tête (B') nette et les pieds $(A'C')$ flous!)

IV.3 Grandissement transversal

◇ **Définition :** On appelle **grandissement transversal**, noté G_t (parfois γ), la grandeur algébrique et sans dimension :

$$G_t \equiv \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Rq1 : G_t dépend de la position des plans conjugués.

Rq2 : Sur le schéma précédent : $G_t < 0$. On dit alors que l'image est « renversée » (p/r à l'objet). Lorsque $G_t > 0$ on dit que l'image est « droite ».

IV.4 Grandissement angulaire ou Grossissement

◇ **Définition** : On appelle **grossissement**, noté G , la grandeur algébrique et sans dimension :

$$G \equiv \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Rq1 : Bien que G soit en toute rigueur algébrique, les énoncés qui parlent de « grossissement » sous-entendent souvent sa valeur absolue $|G|$.

Rq2 : G dépend de la position des plans conjugués.

IV.5 Foyer Objet et Foyer image

◇ **Définition** : Le **foyer image** (noté F') d'un système optique est l'image conjuguée de l'objet ponctuel A_∞ placé à l'infini sur l'axe optique :

$$A_\infty \xrightarrow{S.O.} F'$$

Lorsque F' est à distance finie, le système est dit « **focal** ».

Lorsque le foyer image est rejeté à l'infini, on parle de système « **afocal** ».

◇ **Définition** : Le **foyer objet** (noté F) d'un système optique est l'objet ponctuel dont l'image conjuguée est un point A'_∞ rejeté à l'infini sur l'axe optique :

$$F \xrightarrow{S.O.} A'_\infty$$