

FORMATION D'UNE IMAGE PAR UN SYSTEME OPTIQUE

Applications aux miroirs et dioptrés plans

I. DEFINITIONS

1. Système Optique

Il s'agit d'un ensemble de milieux transparents séparés par des dioptrés ou des miroirs. Il modifie la propagation des rayons lumineux.

Un système optique est dit :

- **centré** s'il possède un axe de symétrie, l'**axe optique** du système.
- **dioptrique** s'il comporte seulement des dioptrés.
- **catadioptrique** s'il comporte dioptrés et miroirs.

2. Notions d'objet et d'image

a) Objet

Un objet émet des rayons lumineux qui "entrent" dans le système optique.

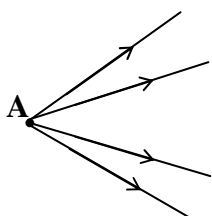
Un objet est dit :

- **primaire** s'il émet spontanément de la lumière.
- **secondaire** s'il est éclairé par une source primaire, il diffuse la lumière.

Les rayons lumineux issus de ces objets sont déviés par les dioptrés ou les miroirs du système optique rencontré et reçus par un récepteur. **La marche des rayons lumineux est déterminée en appliquant les lois de Snell-Descartes.**

Un objet peut être :

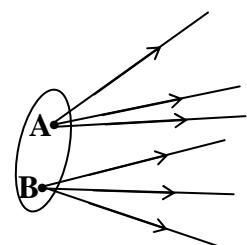
❖ **étendu** ou **ponctuel** (idéalisation)



Un objet est dit **ponctuel** si ses dimensions sont "très petites" devant celles mises en jeu dans l'expérience. Il sera désigné par le point A.

Objet ponctuel primaire : laser, pixel...

Objet ponctuel secondaire : point sur une feuille...

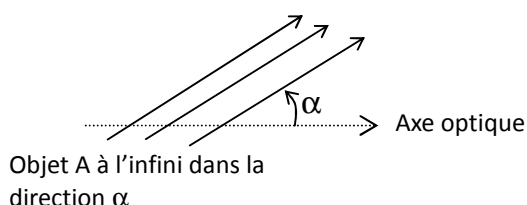


Un objet **étendu** sera traité comme un ensemble d'objets ponctuels (A, B, ...) indépendants.

Objet étendu primaire : lampe allumée, flamme d'une bougie...

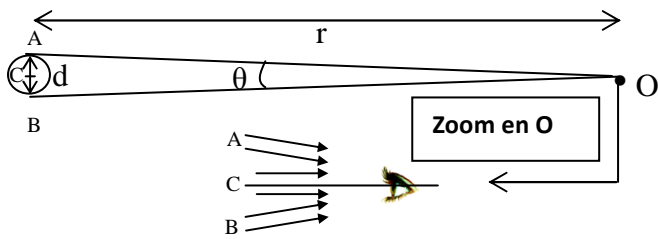
Objet étendu secondaire : lampe éteinte, arbre, mur, visage...

❖ à **distance finie** ou **infinie** (du système optique)



Un **objet ponctuel** à **distance infinie** est caractérisé par la direction des rayons lumineux qu'il émet (en général repérée par rapport à l'axe optique du système).

Ex : étoile lointaine



Un **objet étendu** à grande distance est caractérisé, pour "l'observateur" en O, par son diamètre (angulaire)

$$\text{apparent} : \theta = \frac{d}{r}$$

Ex : Soleil (objet primaire), Lune ou planètes (objets secondaires)...

b) Image

Une image est définie *par rapport à un système optique donné (S)*. Les rayons lumineux issus d'un objet rencontrant le système optique sont déviés par celui-ci. L'image de l'objet par le système optique est l'ensemble des points de concours des rayons lumineux issus de l'objet après traversée du système optique.

"L'image" est la reproduction que donne un système optique d'un objet. Une condition pour que cette image soit une reproduction nette de l'objet est que les rayons lumineux issus d'un point A de l'objet convergent, après traversée du système optique en un point A'. Nous supposons cette condition réalisée. **Le point A' est l'image, par le système optique étudié (S), du point objet A** (voir paragraphe II).

Ces images sont reçues sur des récepteurs (rétine de l'œil, cellules photoélectriques...) constitués en général d'éléments photosensibles répartis sur leur surface. Ils fournissent un signal (électrique) fonction de leur éclairement.

Remarque : L'œil est un "récepteur" complexe ; il est en effet constitué d'un système optique, le cristallin, d'un milieu transparent, le corps vitreux et d'une surface sensible, la rétine.

Cette image apparaît **ponctuelle** pour le récepteur si la dimension de l'intersection des rayons lumineux émergents de (S) avec la surface du récepteur est inférieure au pouvoir de résolution de celui-ci (pour l'œil : cellules rétinienne de quelques μm , pour une plaque photographique : grains de sel d'argent de 1 à 100 μm ...).

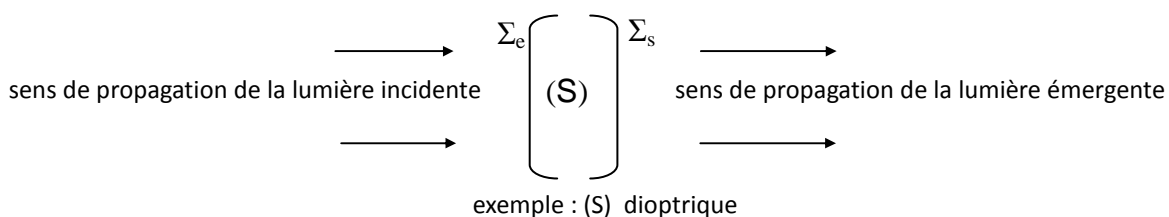
3. Images et objets réels et virtuels

a) Rayon incident et rayon émergent

Un rayon incident est un rayon qui se dirige vers le système optique (S), dans le sens de propagation de la lumière.

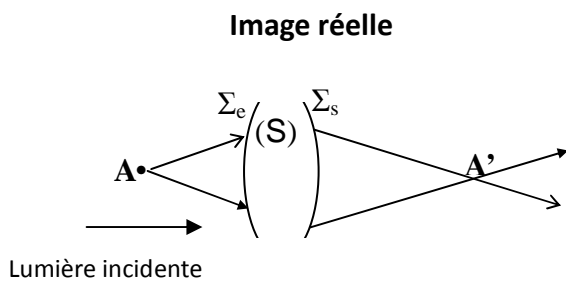
Un rayon émergent est un rayon qui s'éloigne de (S), dans le sens de propagation de la lumière.

Le système optique (S) est limité par une face d'entrée Σ_e située du côté des rayons incidents et une face de sortie Σ_s située du côté des rayons émergents.



b) Image réelle - image virtuelle

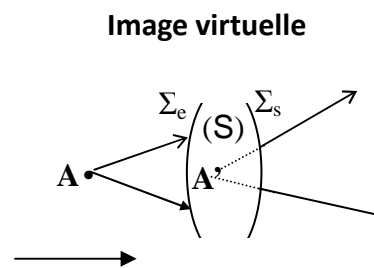
Soit un système optique (S) et un objet ponctuel A.



A la sortie de (S) les rayons émergents **convergent** en **A'**.

A' située après la face de sortie de (S) est dite image réelle de A par (S).

Cette image peut être visualisée sur un écran.



A la sortie de (S), les rayons émergents **divergent** semblant provenir de **A'** (seuls leurs prolongements passent par **A'**).

A' située avant la face de sortie de (S) est dite image virtuelle de A par (S).

Cette image ne peut être visualisée sur un écran.

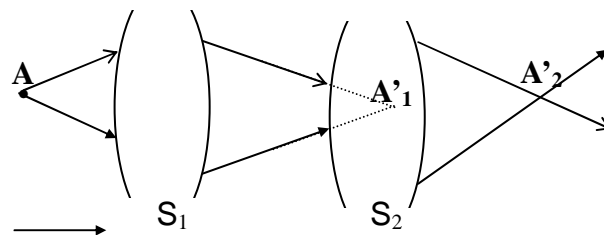
En conclusion, A' est un point image pour le système (S) s'il se trouve à l'intersection des rayons lumineux émergents - image réelle- ou à l'intersection de leur prolongement - image virtuelle.

Remarque : l'œil ne fait pas de différence entre image réelle et virtuelle.

c) Objet réel - objet virtuel

- **objet réel** : cas précédent. Les rayons arrivant sur la face d'entrée de (S) se dirigent de **A** vers (S) - **divergent** de **A** -. L'objet situé avant la face d'entrée de (S) peut être observé directement ou sur un écran.

- **objet virtuel** :



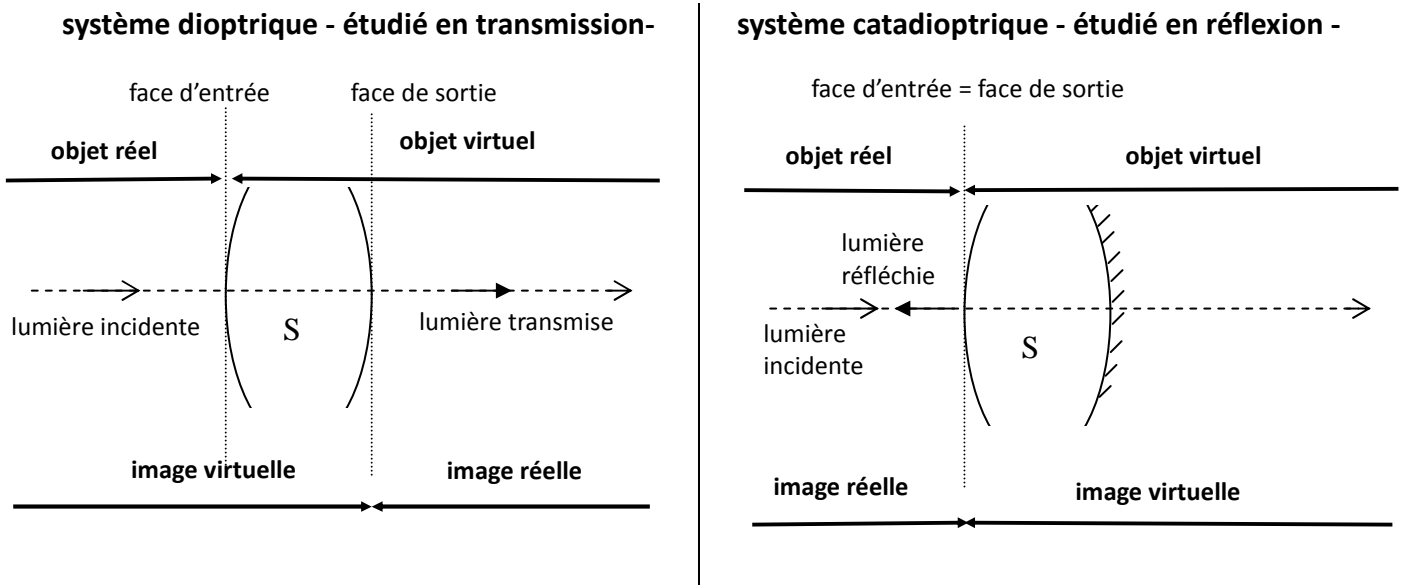
Soit le système S_2 placé après S_1 (dans le sens de propagation de la lumière). Les rayons arrivant sur S_2 changent de direction à la rencontre de cette surface. Seuls leurs prolongements passent par A'_1 . Ils ressortent de S_2 en passant par A'_2 .

A'_1 , situé après la face d'entrée de (S_2), est un objet virtuel pour S_2 dont l'image par (S_2) est A'_2 (ici réelle).

Remarque : un objet virtuel pour un système nécessite la présence d'un autre système donnant d'un objet réel une image jouant le rôle d'objet pour le système considéré (A'_1 image réelle de **A** par S_1).

En conclusion, le point A est un point objet pour le système (S) s'il se trouve à l'intersection des rayons lumineux incidents - objet réel - ou à l'intersection de leur prolongement - objet virtuel.

Résumé : espace objet réel - espace objet virtuel - espace image réelle - espace image virtuelle.



II. NOTIONS DE STIGMATISME ET D'APLANÉTISME

1. Stigmatisme

Un système optique (S) est dit **rigoureusement stigmatique** pour un couple de points (A, A') si tous les rayons (ou leur prolongement) passant par le point objet A passent après "traversée" du système par le même point image A'. **A et A' sont dits conjugués par (S)** : $A \xrightarrow{S} A'$

Il existe une relation dite de conjugaison reliant la position de l'image à celle de l'objet. Cette relation est obtenue en appliquant les principes de l'optique géométrique.

Remarque : en appliquant le principe du retour inverse de la lumière : $A' \xrightarrow{S} A$

2. Aplanétisme

Soient deux points A et A' de **l'axe optique** conjugués par (S). Soit B, un point du plan transverse passant par A (objet étendu AB perpendiculaire à l'axe optique). Le système optique (S) est dit **rigoureusement aplanétique** si le conjugué de B, noté B', se trouve dans le plan transverse passant par A'.

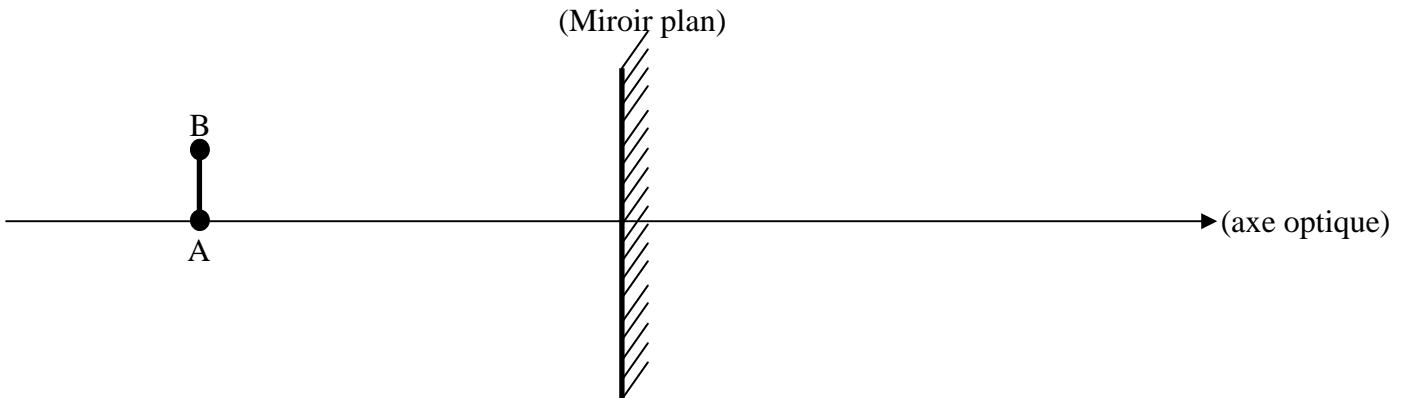
3. Conditions d'approximation de Gauss

L'étude complète du stigmatisme montre que la plupart des systèmes optiques ne présentent pas la propriété de stigmatisme rigoureux. Cependant, en raison du pouvoir de résolution limité des récepteurs, l'intérêt du stigmatisme rigoureux est limité. En effet, il suffit que les rayons lumineux issus d'un point objet A se coupent, après "traversée" du système, dans un volume suffisamment petit autour d'un point A' pour être considéré comme ponctuel par le récepteur. Le système optique est alors dit **approximativement stigmatique** pour le couple de points (A, A').

On peut montrer que les **systèmes optiques centrés classiques** sont **stigmatiques et aplanétiques approchés pour des rayons peu inclinés et peu écartés par rapport à l'axe optique**. Ces rayons sont dits **paraxiaux**. Ces conditions, dites **conditions de Gauss**, sont nécessaires pour obtenir des images de bonne qualité.

III. APPLICATIONS AUX MIROIRS ET DIOPTRES PLANS

1) Miroirs plans



Soit A un objet réel ponctuel.

On trace différents rayons incidents provenant de A. Ces rayons sont réfléchis au niveau du miroir en suivant la loi de la réflexion de Descartes : angle incident=angle réfléchi.

Quel que soit le rayon incident issu de A, **le rayon réfléchi semble provenir du point A', image virtuelle** de l'objet A par le miroir plan (A' : intersection du prolongement des rayons réfléchis).

Le miroir plan est donc rigoureusement stigmatique.

On constate que **A' est le symétrique de A par rapport au miroir plan**. La relation de conjugaison du couple de points (A, A') s'écrit : $\overline{HA} = -\overline{HA'}$ avec H projeté orthogonal de A sur le miroir plan.

On constate que l'objet A et son image A' sont de nature différente (réelle ou virtuelle) :

- A objet réel : $\overline{HA} < 0$. D'après la relation de conjugaison, $\overline{HA'} > 0$: A' image virtuelle.
- A objet virtuel : $\overline{HA} > 0$. D'après la relation de conjugaison, $\overline{HA'} < 0$: A' image réelle.

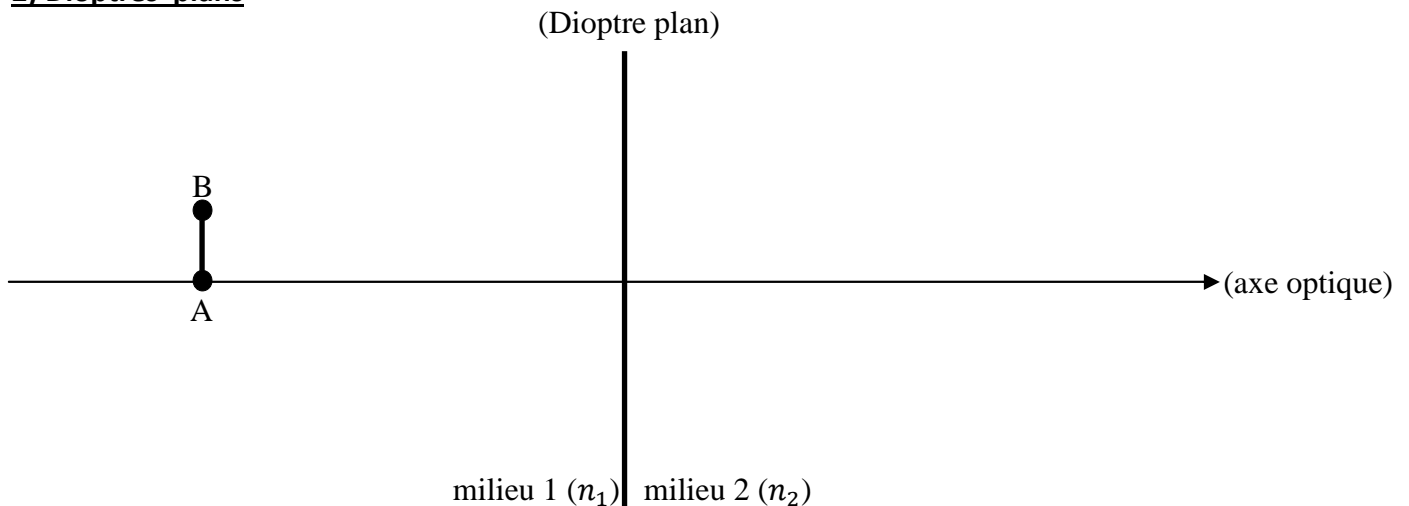
Soit B un point objet du plan transverse passant par A (objet AB étendu perpendiculaire à l'axe optique). Par propriété de stigmatisme rigoureux, B' est le symétrique de B par rapport au miroir plan. On constate que B' est dans le plan transverse passant par A'. **Le miroir plan est donc rigoureusement aplanétique.**

On désigne par **grandissement transversal** le rapport entre les tailles de l'objet et de l'image soit :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB}$$

Pour le miroir plan, $\gamma = 1$ (image droite de même dimension que l'objet).

2) Dioptrés plans



Soit A un objet réel ponctuel.

On trace différents rayons incidents provenant de A. Ces rayons sont réfractés à la traversée du dioptre suivant la loi de la réfraction de Descartes : $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$.

Les rayons réfractés issus de deux rayons incidents semblent provenir du point A', image virtuelle de l'objet A par le dioptre plan.

La relation entre les positions de A et A' s'écrit : $\frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} = \frac{\tan(i_1)}{\tan(i_2)} = \frac{n_2}{n_1} \sqrt{\frac{1 - (\frac{n_1}{n_2} \sin(i_1))^2}{1 - (\sin(i_1))^2}}$ avec H projeté orthogonal de A sur le miroir plan.

On constate que la position de A' dépend de l'inclinaison du rayon incident (i_1) : l'image d'un objet ponctuel n'est plus une image ponctuelle mais une image étendue, on parle d'**aberrations géométriques** (image floue).

Par conséquent, le dioptre plan n'est pas rigoureusement stigmatique. De même, il n'est pas rigoureusement aplanétique.

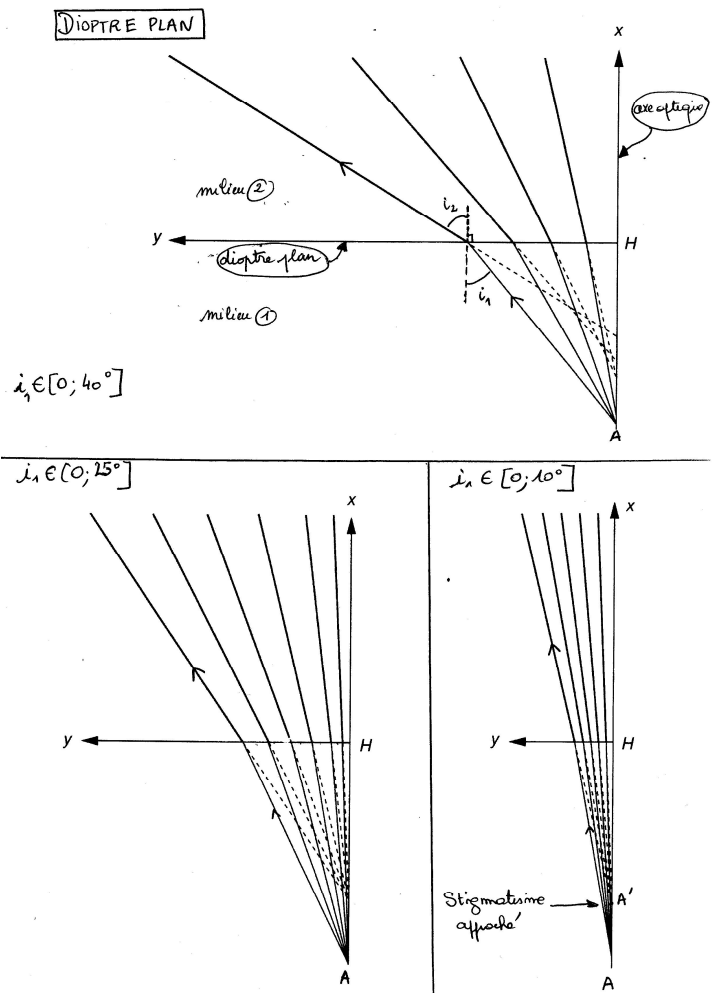
Pour de faibles incidences (i_1 petit), la relation entre les positions de A et A' devient : $\frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} = \frac{n_2}{n_1}$

La position de A' ne dépend plus de l'inclinaison du rayon incident : l'image A' est ponctuelle et la formule précédente représente la relation de conjugaison du dioptre plan.

On dit que le dioptre plan est approximativement stigmatique et aplanétique dans les conditions de Gauss (rayons peu inclinés et peu écartés de l'axe optique = rayons paraxiaux).

On remarque comme pour le cas du miroir plan que l'objet A et son image A' sont de nature différente (réelle ou virtuelle) :

- A objet réel : $\overline{HA} < 0$. D'après la relation de conjugaison, $\overline{HA'} < 0$: A' image virtuelle.
- A objet virtuel : $\overline{HA} > 0$. D'après la relation de conjugaison, $\overline{HA'} > 0$: A' image réelle.



Pour le dioptre plan, $\gamma = 1$ (image droite de même dimension que l'objet).