

Les bases de l'optique géométrique

1. Rappels : les principes fondamentaux de l'optique géométriques

L'**optique géométrique** est une approximation valable tant que la longueur d'onde de la lumière λ est très inférieure à la dimension des systèmes optiques considérés.

En optique géométrique on suppose que :

- La lumière est représentée par des rayons lumineux
- La propagation de la lumière est rectiligne dans un milieu transparent, homogène et isotrope (principe de Fermat)
- Les rayons lumineux sont indépendants les uns des autres
- Le trajet suivi par la lumière est indépendant du sens de propagation (principe du retour inverse de la lumière)
- Les milieux considérés dans ce cours sont transparents, homogènes, isotropes. Ils présentent un indice optique $n=c/v$, où $c=3.10^8\text{m/s}$ et v est la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu considéré (en m/s). On rappelle que l'indice optique dépend de différents paramètres tels que la longueur d'onde, la température.....

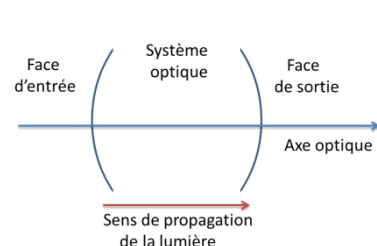
2. Définitions

Un **système optique** est un système capable de modifier la propagation des rayons lumineux. Il est constitué de milieux transparents, homogènes et isotropes, séparés par des surfaces réfractantes (dioptries) ou réfléchissantes (miroirs).

Un système optique constitué uniquement de dioptries transparents est appelé **système optique dioptrique**.

Un système comportant au moins une surface réfléchissante est appelé **système catadioptrique** et un système ne comportant que des surfaces réfléchissantes est appelé **système catoptrique**.

Exemples : un dioptre, un miroir, une loupe, un œil, des lunettes...



Pour chaque système optique on définit, en fonction du sens d'utilisation par rapport à la direction de propagation de la lumière, un dioptre d'entrée et un dioptre de sortie. Pour un

système dioptrique, on définit comme **espace objet** l'espace se trouvant avant le dioptre d'entrée et **l'espace image**, l'espace qui se trouve au-delà du dioptre de sortie. Pour les systèmes catadioptrique et catoptrique, on définit comme **espace objet** et **l'espace image**, l'espace se trouvant avant le dioptre d'entrée.

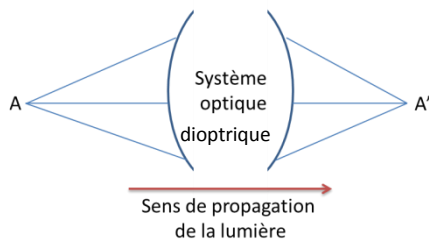


Nous ne travaillerons qu'avec des **systèmes centrés**, c'est-à-dire des systèmes qui admettent un axe de symétrie de révolution appelé axe optique.

3. Objets et images

Un objet ponctuel, noté A, est le point d'intersection des rayons incidents (qui **rentrent** dans le système optique) ou de leur prolongement. On étudie leur propagation à travers un système optique donné.

Exemple : un animal observé à travers des jumelles, une fleur observée par l'œil, un poisson dans un bocal observé par l'œil à travers le bocal.



L'image de l'objet est la production qu'en donne le système optique. L'image ponctuelle de l'objet A, notée A', est le point d'intersection des rayons émergents (qui **sortent** du système optique) ou de leur prolongement, issus de l'objet et après la traversé du système optique.

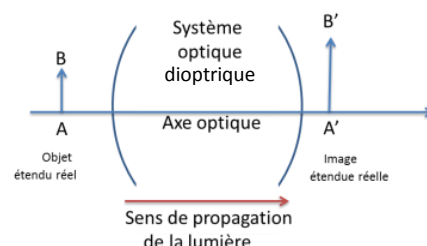
Exemple : une image sur un écran de cinéma (l'objet est la pellicule du film, le système optique est le projecteur). Par contre, une ombre n'est pas une image car il n'y a pas de système optique qui la forme.

Un système optique donne d'un point objet A un point image A'. On dit que **A et A' sont conjugués**.

Notation : $A \xrightarrow{S.O.} A'$

Un objet étendu est un ensemble de points objets et sera représenté par ses points extrêmes AB, A étant sur l'axe optique et B sur la verticale de A.

Notation : $AB \xrightarrow{S.O.} A'B'$



4. Nature des objets et des images

Un objet et une image peuvent être à distance finie proches de nous ou à l'infini.

Un objet à l'infini est un objet tellement éloigné du système optique que tous les rayons qui viennent de l'objet sont considérés parallèles entre eux

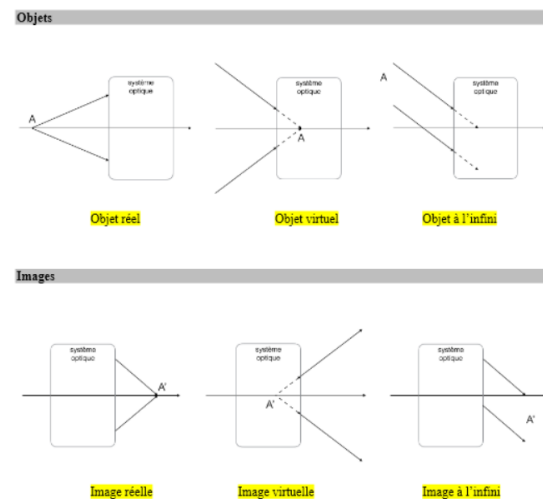
Une image à l'infini est une image tellement éloignée que tous les rayons qui émergent du système optique pour former l'image sont considérés parallèles entre eux

Un objet est réel s'il existe physiquement. Il est situé avant la face d'entrée du système optique.

Un objet est virtuel s'il est situé après la face d'entrée. Un objet virtuel n'a pas d'existence physique. Il s'agit de l'image d'un objet à travers un premier système optique.

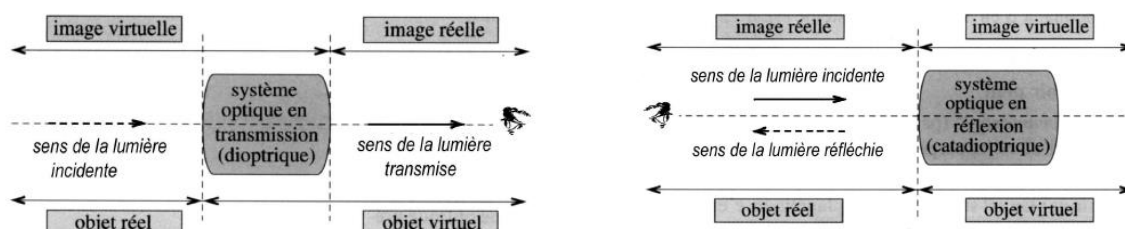
Une image est réelle si elle peut être observée sur un support physique (écran, pellicule, rétine,...) dans l'espace image du système. Elle est située après la face de sortie.

Une image est virtuelle si elle se forme avant la face de sortie du système (cas de la loupe). Une image virtuelle ne peut pas être observée sur un écran. Pour voir une image virtuelle l'observateur regardera à travers le système optique.



Cas d'un système dioptrique

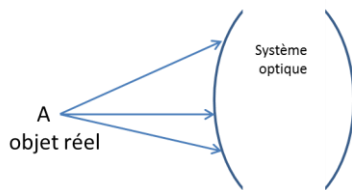
Bilan en fonction du système optique dioptrique ou catadioptrique :



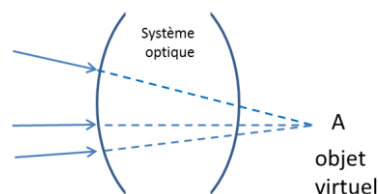
5. Construction de l'image d'un objet

Deux rayons incidents passant par un point objet suffisent pour déterminer la position du point image qui se formera à l'intersection de ces deux rayons émergents du système optique.

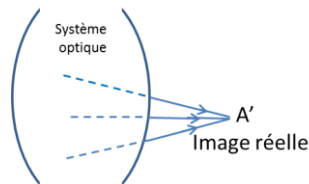
Dans le cas d'un objet virtuel ou d'une image virtuelle, il est nécessaire de prolonger les rayons par des pointillés (rayons virtuels) pour trouver leur intersection.



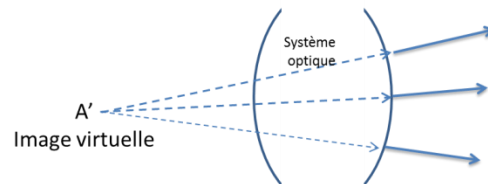
Faisceau incident divergent



Faisceau incident convergent



Faisceau émergent convergent



Faisceau émergent divergent

6. Association de systèmes optiques

On considère l'association de deux systèmes optiques :

$$A \xrightarrow{S.O.1} A' \xrightarrow{S.O.2} A''$$

Dans ce cas :

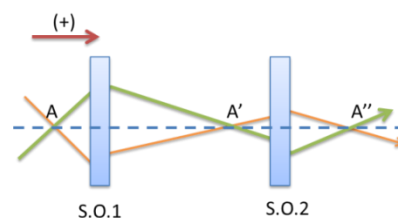
A est l'objet initial

A' est l'image intermédiaire de A donnée par le système optique 1

A' est l'objet intermédiaire pour le système optique 2

A'' est l'image de A' par le système optique 2

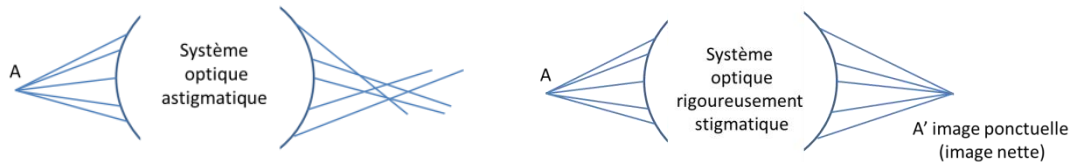
A'' est l'image définitive (finale) de A par l'association des systèmes optiques (1) et (2)



Lors de l'association de systèmes optiques, il faudra étudier séparément la formation de l'image formée par chaque système optique simple pour trouver l'image finale.

7. Stigmatisme et conditions de Gauss

On dit qu'il y a **STIGMATISME** rigoureux lorsque tout rayon émis par un point objet A, passe après avoir traversé un système optique par un point image A' **unique**. Un système optique ayant cette propriété est dit **rigoureusement stigmatique**.



Les systèmes optiques sont généralement astigmatiques (le stigmatisme rigoureux n'est vérifié que pour le miroir plan). On se contente souvent d'un **stigmatisme approché** obtenu en ne considérant que des systèmes optiques centrés placés dans des conditions dites **conditions de Gauss**.

Conditions de Gauss :

- Les objets sont de faible étendue, et sont situés au voisinage de l'axe optique.
- Le faisceau doit traverser le système optique au voisinage du centre optique
- Les rayons sont peu inclinés par rapport à l'axe optique

Les rayons sont dits paraxiaux.

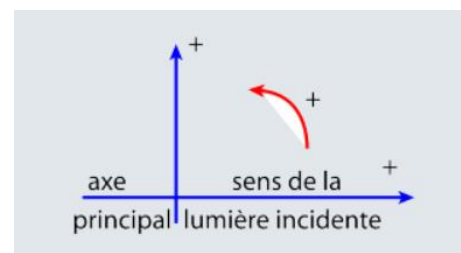
Dans la suite, pour obtenir des images de qualité à partir de **systèmes optiques centrés**, nous nous placerons dans les conditions de Gauss :

8. Relations objet/image dans l'approximation de Gauss

a. Rappels : les valeurs algébriques

Les grandeurs utilisées dans les relations mathématiques des systèmes optiques sont des grandeurs algébriques et sont notées avec un trait au-dessus (exemple : \overline{OA}). Cela signifie que les grandeurs correspondantes sont prises avec leur signe : elles peuvent être positives ou négatives. Pour connaître ce signe, il suffit de définir un sens pour les axes et de compter les distances dans l'ordre de lecture des lettres. Le sens positif choisi pour les axes doit être clairement indiqué sur chaque figure.

Par convention, l'**axe optique** sera orienté positivement dans le sens de propagation de la lumière. Perpendiculairement à l'axe principal, le sens positif sera toujours dirigé vers le haut de la figure. Le sens trigonométrique sera, quant à lui, le sens positif pour les angles.



➤ Par exemple, lorsque les grandeurs sont sur l'axe optique :

\overline{OA} sera positif si pour aller de O vers A, on est dans le même sens que la lumière (cas d'un objet virtuel)

\overline{OA} sera négatif si pour aller de O vers A, on est en sens inverse de la lumière (cas d'un objet réel)

➤ Par exemple, lorsque les grandeurs sont perpendiculaires à l'axe optique :

\overline{AB} sera positif si on va de A vers B en allant « vers le haut » (cas d'un objet droit)

$\overline{A'B'}$ sera négatif si on va de A' vers B' en allant « vers le bas » (cas d'une image renversée)

b. Relation de conjugaison

Soit l'image A'B' de l'objet AB obtenue par un système optique

$$AB \xrightarrow{s.o.} A'B'$$

On rappelle que par convention, le sens positif choisi dans les relations algébriques sera donné par le sens d'orientation de l'axe optique. L'objet étendu AB et son image A'B' sont représentés **perpendiculairement** à l'axe optique, A et A' sont positionnés sur l'axe optique.

La **relation de conjugaison** est une **relation algébrique** qui relie la position de l'image A' à celle de l'objet A par rapport à l'axe du système optique.

c. Relation du grandissement transversal

Le **grandissement** transversal, noté γ , est la **grandeur algébrique et sans dimension** qui relie la taille et le sens d'un objet AB et de son image A'B'.

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

Si $\gamma > 0$ l'objet et l'image sont dans le même sens (image droite)

Si $\gamma < 0$ l'objet et l'image ne sont pas dans le même sens (image renversée).

Remarques : Notons qu'un objet ou une image à distance finie peuvent être définis par leurs tailles. Pour un objet ou une image à l'infini, cela n'a plus vraiment de sens. (par exemple, la lune et le soleil, tous deux à l'infini, nous apparaissent comme ayant la "même taille" - ce qu'on vérifie aisément lors des éclipses solaires- pourtant le soleil est bien plus grand que la lune !). Il sera pertinent dans ce cas d'utiliser la taille angulaire (ou diamètre apparent) définie comme étant l'angle sous lequel on voit l'objet ou l'image.

9. Foyer principal objet et foyer principal image d'un système optique

Le foyer principal image (noté F') d'un système optique est une position particulière sur l'axe optique. Cette position est caractéristique du système optique. Elle correspond à la position de l'image conjuguée de l'objet ponctuel A_∞ placé à l'infini sur l'axe optique :

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

Le foyer principal objet (noté F) d'un système optique est une position particulière sur l'axe optique. Cette position est caractéristique du système optique. Elle correspond à la position de l'objet ponctuel dont l'image conjuguée est un point A'_∞ rejeté à l'infini sur l'axe optique.

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

F et F' sont des positions caractéristiques du système optique considéré.

Attention : F et F' ne sont pas des points conjugués

C. Le Luyer 2017