

OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

1. Nature de la lumière.

La lumière est une onde électromagnétique. Une source lumineuse monochromatique émet une onde harmonique (sinusoïdale) c'est-à-dire dont le spectre ne comporte qu'une seule fréquence d'amplitude non nulle. Une onde monochromatique se propage dans le vide à la célérité $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$ (valeur exacte par définition du mètre). Cette onde garde la même fréquence dans un milieu transparent linéaire mais elle s'y propage avec une vitesse (dite « de phase ») v_φ , différente de c . On définit l'indice du milieu n pour cette fréquence f par $n = c / v_\varphi$. Si on note λ_0 la longueur d'onde dans le vide et λ celle dans le milieu transparent, $\lambda_0 = \frac{c}{f}$ et $\lambda = \frac{v_\varphi}{f}$ donc $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$. À une onde monochromatique donnée correspond une impression visuelle de couleur, du violet ($\lambda_0 \approx 0,4 \mu\text{m}$) au rouge ($\lambda_0 \approx 0,8 \mu\text{m}$).

2. L'approximation de l'optique géométrique.

Cette approximation consiste à considérer qu'on peut décrire la lumière par l'étude de rayons lumineux qui seraient les « trajectoires de la lumière ». Les rayons lumineux sont d'épaisseur nulle et sont indépendants : on peut étudier séparément le comportement de chacun d'entre eux. Leurs trajets sont décrits par les lois de Descartes (voir 4).

L'approximation tombe en défaut si les milieux (transparents, opaques ou réfléchissants) rencontrés par la lumière ont une dimension transverse typique d qui n'est pas grande devant la longueur d'onde de la lumière. La nature ondulatoire de la lumière se manifeste par le phénomène de diffraction et provoque alors des écarts angulaires (par rapport à l'optique géométrique) dont l'ordre de grandeur θ vérifie $\sin \theta \approx \lambda / d$.

Par ailleurs, l'approximation de l'optique géométrique seule ne prend pas en compte les intensités lumineuses.

3. Propagation rectiligne de la lumière.

Dans un milieu homogène (ou le vide), les rayons lumineux sont rectilignes. On note \vec{u} le vecteur unitaire tangent à un rayon.

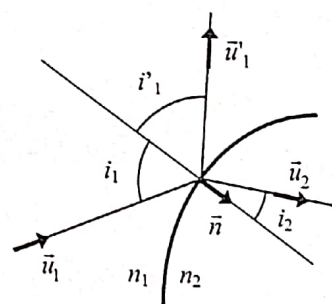
4. Lois de Snell-Descartes.

Si un rayon lumineux arrive sur un diopre (interface entre deux milieux transparents d'indices différents), il donne naissance à deux rayons (réfléchi et réfracté) vérifiant les deux lois suivantes (\vec{n} est le vecteur normal au diopre) :

1^o loi : Le plan d'incidence (défini par \vec{n} et \vec{u}_1) est identique au plan de réflexion (défini par \vec{n} et \vec{u}'_1) et au plan de réfraction (défini par \vec{n} et \vec{u}_2). Autrement dit, les vecteurs \vec{n} , \vec{u}_1 , \vec{u}_2 et \vec{u}'_1 sont coplanaires.

2^o loi : les angles entre \vec{n} , \vec{u}_1 , \vec{u}_2 et \vec{u}'_1 vérifient :

$$i_1 = i'_1 \quad \text{et} \quad n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$



Réflexion totale : Lorsque n_1 est plus grand que n_2 , il n'y a pas de rayon réfracté si $i_1 > i_{\text{lim}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$.

Miroir : Si un rayon lumineux arrive sur un miroir, il donne naissance à un rayon réfléchi vérifiant les deux lois, la deuxième étant réduite ici à $i_1 = i'_1$.

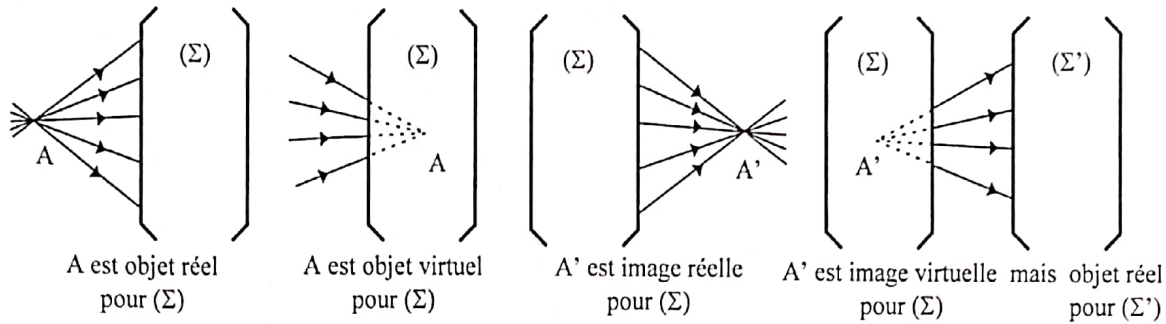
5. Objets et images.

Un point A est un objet pour un système optique (Σ) si un ensemble de rayons lumineux passe par ce point A avant de pénétrer dans le système optique. Il est objet réel si ces rayons passent effectivement par le point. Il est objet virtuel si ce sont les prolongements des rayons qui passent par le point. (voir dessin plus loin)

Un point A' est l'image de A par un système optique (Σ) si tous les rayons passant par A avant le système optique passent par A' après la traversée de (Σ). A' est image réelle si les rayons émergents passent effectivement par A'. Il est image virtuelle si ce sont les prolongements des rayons émergents qui passent par le point.

On dit alors que le système (Σ) est stigmatique pour A et A' et que A et A' sont points conjugués par (Σ).

La notion d'objet et d'image ainsi que le caractère virtuel ou réel n'ont de sens que si on précise le système optique concerné.



6. Le miroir plan.

Par réflexion sur un miroir plan, tout point admet une image qui est le symétrique de l'objet par rapport au plan du miroir. Si l'objet est réel, l'image est virtuelle et inversement.

7. Système centré, conditions de Gauss.

Un système centré (Σ) est un système optique possédant un axe de symétrie de révolution. Dans la pratique, il est constitué par un ensemble de lentilles minces (et de miroirs sphériques) d'axe commun. Cet axe est appelé axe optique du système centré.

Un système centré est utilisé dans les conditions de Gauss si les rayons lumineux le traversant sont paraxiaux, c'est à dire s'ils sont peu inclinés par rapport à l'axe optique et s'ils traversent les dioptries ou se réfléchissent sur les miroirs en des points proches de cet axe.

Dans les conditions de Gauss, tout point de l'axe admet approximativement une image sur l'axe (tous les rayons issus de A et traversant (Σ) passent ensuite au voisinage de A') : on parle de stigmatisme approché.

De même, tout petit objet étendu (c'est-à-dire non ponctuel) perpendiculaire à l'axe admet (au sens du stigmatisme approché) une image perpendiculaire à l'axe : on dit qu'il y a aplanétisme.

De plus, cette image est homothétique de celle de l'objet dans un rapport qui ne dépend que de la position de l'objet (et du système optique !). Ce rapport est le grandissement transversal.

8. Foyers, plans focaux d'un système centré.

En particulier, le point « à l'infini » sur l'axe admet une image - c'est le foyer principal image F' - et il existe un point objet dont l'image est le point « à l'infini » sur l'axe - c'est le foyer principal objet F -.

Les plans focaux (objet ou image) sont les plans perpendiculaires à l'axe et contenant les foyers principaux.

9. Lentilles minces.

Pour une lentille mince placée dans l'air, les rayons passant par le centre optique O (point de la lentille situé sur l'axe optique) ne sont pas déviés. Les foyers principaux F et F' sont symétriques par rapport à O. On définit les

distances focales objet f et image f' par $f = \overline{OF}$, $f' = \overline{OF'}$ et la vergence v par $v = \frac{n_{\text{air}}}{f'}$.

Les formules de conjugaison et de grandissement transversal permettent de déterminer par le calcul la position de l'image de n'importe quel objet.

Théorème très important : Une lentille mince ne peut former une image réelle d'un objet réel que si elle est convergente et si la distance D entre objet et image vérifie $D \geq 4f'$.

Avec origine au centre optique (Descartes)	Avec origine aux foyers (Newton)
$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$	$\gamma = -\frac{\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{f}{\overline{FA}}$
$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$	$\overline{FA} \overline{F'A'} = f f' = -f'^2$

10. L'œil humain.

L'œil est modélisable par l'association d'une lentille de vergence modifiable (cornée + cristallin) et d'un capteur (la rétine) distants d'environ 2 cm. Un diaphragme réglable (l'iris) permet de doser la puissance lumineuse captée. C'est la souplesse du cristallin qui permet l'adaptation de la vergence. Pour un œil normal, le punctum remotum (point objet formant une image nette lorsque le cristallin est relâché) est à l'infini et le punctum proximum (point objet net pour un cristallin « contracté » au maximum) est à 20 cm de l'œil.

La limite de résolution angulaire est de l'ordre de $1' = 0,017^\circ = 3 \cdot 10^{-4}$ rad.

