

OPTIQUE

L'optique est la partie de la physique qui a pour objet des phénomènes lumineux c'est à dire des phénomènes visibles par l'oeil. Mais il existe des radiations non visibles par l'oeil(UV, IR,...). Ainsi, l'on étend le domaine de l'optique à l'étude de tous les phénomènes engendrés par une cause de même nature que celle qui entraîne l'apparition de phénomènes visuels. Les phénomènes produits par les radiations sont diverses(Impression d'une plaque photographique en conséquence d'une réaction chimique, courant électrique produit par une insolation d'une photopile, élévation de la température dans un four solaire,...). Il est de tradition de séparer l'optique géométrique de l'optique physique.

Optique physique

En 1818, Fresnel fait la synthèse des idées de Huygens et Young pour expliquer la diffraction, c'est à dire la présence de lumière dans les zones d'ombres géométrique. Selon Fresnel: "La lumière est propagée par le mouvement vibratoire de l'éther sous l'action de certains ébranlements, l'éther devient le siège de vibrations transversales se propageant de proche en proche. Plus tard, les travaux seront approfondis par Maxwell en 1880, et Albert Einstein en 1915.

Onde électromagnétique

Maxwell, après avoir construit la théorie électromagnétique conclut que la lumière est une onde électromagnétique caractérisée par une vibration dont la fréquence est de l'ordre de 10^{14} Hz et qui se propage dans le vide à une vitesse de $c = 2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Maxwell a précisé que l'onde est transversale c'est à dire que les grandeurs physiques qui la caractérisent: le champ électrique E et le champ magnétique B sont perpendiculaires à la direction de propagation.

Le champ magnétique est 10^6 plus faible que le champ électrique.

Le champ magnétique est souvent perpendiculaire au champ électrique.

E et B ont même période dans le temps et l'espace.

La longueur d'onde est la distance qui sépare deux vagues successives.

L'onde fait monter et descendre alternativement le bateau, la fréquence est le nombre d'allers et retours en une seconde, elle s'exprime en Hertz. Plus les allers et retours sont rapide et plus f est grande.

La diffraction donne le spectre, et la spectroscopie permet d'identifier des composants.

Le spectre visible va de 400 à 700 nm. Les infrarouges, du latin infra signifiant en deçà donc en deçà du rouge, vont de 700nm à 1mm. Il existe trois catégories d' infrarouge: les IR proches de 0,7 à 5 micromètres, les IR moyens de 5 à 30

micromètres, les IR lointains de 30 à 1000 micromètres. Les IR sont habituellement associés à la chaleur car à des températures normales, les objets émettent des radiations spontanément(Cf le modèle du corps noir). En 1800, Herschel découvre la lumière invisible, les UV. La période où les UV sont les plus forts et donc les plus nocifs est entre 11h et 13h. L'effet des UV, les UV-B en particulier, n'apparaissent que 10 à 20ans plus tard et 10% des cas se transforment en cancer(les mains et la face sont tout particulièrement vulnérables). Les UV-A vont de 320 à 400nm, ce sont les ondes qui provoquent le bronzage. Les UV-B vont de 290 à 320 nm, ce sont des ondes plus énergétiques donc plus nocives. Les UV-C vont de 10 à 290nm, ils sont stoppés par la couche d'ozone stratosphérique car très nocifs.

Considérations physiques

La lumière naturelle est la superposition d'ondes électromagnétiques de λ données. On sait que cette onde est quantifiée, présence de photons. Ces deux aspects sont toujours coexistants sauf pour les très grandes λ (ondes radios et plus) où la nature corpusculaire de la lumière est difficilement décelable. Pour les petites λ , c'est la nature corpusculaire qui prime. En effet, en physique des particules, il a été possible de réaliser des collisions directes de photons avec d'autres particules γ . La lumière visible est en quelque sorte à mi chemin: l'aspect ondulatoire et corpusculaire équivalent. Mais tout dépend du type de phénomène étudié.

Pour $\lambda = 600\text{nm}$, vis à vis des objets qu'elle rencontre, $L = 1\text{cm}$ et plus, la théorie géométrique de la propagation des ondes lumineuses a pu être élaborée; c'est l'optique géométrique. Il ne s'agit que d'une théorie donc ne ondulatoire ne corpusculaire. Si l'onde électromagnétique est monochromatique, les champs émis par la source lumineuse présentent une période T unique, la fréquence $\nu = 1/T$ (1).

Lorsque cette onde se propage dans le vide, sa vitesse est $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Cette onde aura pour longueur d'onde, $\lambda = c \cdot T$ (2)

Optique géométrique

On oublie la nature ondulatoire et corpusculaire de la lumière.

Primo, il existe des rayons lumineux qui restent indépendants les uns des autres(pas d'interactions). Deuxio, dans un milieu homogène, transparent et isotrope, les rayons lumineux sont des lignes droites. Tertio, au dioptré, les rayons lumineux obéissent aux lois de Snell-Descartes.

Propriété: Deux rayons lumineux se rencontrant n'interagissent pas(un rayon lumineux ne peut être dévié par un autre).

Rq: Ceci contredit la nature corpusculaire qu'on attribue par ailleurs à la lumière, mais elle s'est avérée fautive car on peut réaliser des collisions entre photons de deux lasers.

Rq: cette propriété qu'à la lumière d'être décrite par des rayons n'est pas propre à l'onde lumineuse.

Lorsque le milieu est homogène, transparent et isotrope, les rayons lumineux sont des droites. Nous savons qu'il est impossible d'isoler un seul rayon lumineux à cause des phénomènes de diffraction. On a donc en pratique des ensembles de rayons lumineux constitués en faisceaux lumineux se propageant à travers des ouvertures (diaphragmes) de tailles variées. On négligera toujours la diffraction.

Normalement, on ne voit pas les rayons lumineux mais si le milieu contient des petites particules qui diffusent la lumière, on peut les visualiser.

La réfraction est un brusque changement de direction de propagation d'un faisceau au passage du dioptré.

Lois de Snell-Descartes:

1- Le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence. $i = r$ (4)

2- Quand la lumière traverse le dioptré, $\sin i_1 / \sin i_2 = \text{cste}(\lambda) = n(\lambda)$

Rq: n est l'indice de réfraction de m_2 par rapport à m_1 , c'est un nombre sans unité, sa valeur dépend de λ .

$n(\lambda)$ d'un m_2 par rapport à un m_1 est égal au rapport des vitesses v_1 et v_2 de l'onde lumineuse dans m_1 et m_2 . $v_1(\lambda)/v_2(\lambda) = n(\lambda)$ (5)

Rq: v dans un milieu est toujours inférieure à ce qu'elle serait dans le vide.

Rq: La fréquence caractéristique d'une radiation ne dépend pas du milieu de propagation.

$n_{2/1}(\lambda) = c_1(\lambda) / c_2(\lambda)$ et $c_2(\lambda) = c_1(\lambda) / n_{2/1}(\lambda)$

L'indice relatif de deux milieux est égal au rapport de leurs indices relatifs à une même substance. Si on prend comme milieu de comparaison le vide, on obtient l'indice absolu. Ainsi, l'indice absolu correspond à l'indice des milieux par rapport à l'air.

Deuxième forme de la loi de Snell-Descartes: soit n , l'indice du m_2 par rapport au m_1 , nous avons écrit cette loi sous la forme: $\sin i_1 = n \sin i_2$ (6)

En introduisant les indices absolus des 2 milieux, alors $n = n_2/n_1$ est l'indice du second par rapport au premier. Il vient $\sin i_1 = (n_2/n_1) \sin i_2$ (7)

$n_1(\lambda) \sin i_1 = n_2(\lambda) \sin i_2$

L'indice d'un milieu dépend de la longueur d'onde. Nous avons parlé du spectre de la lumière blanche, nous l'avons illustré à l'aide de l'arc-en-ciel. La décomposition de la lumière blanche par les gouttelettes d'eau de pluie telle que le plus petit cercle, le premier, est le violet, et le plus grand le rouge. Cette décomposition est dite aussi dispersion.

Résolution géométrique

Lorsque l'indice du milieu d'incidence est supérieur à l'indice du m_2 , la réfraction de ce rayon va faire que l'on s'écarte de la normale. Quand $n_1 \geq n_2$ alors $i_2 \geq i_1$. Le point C est particulier car il est à la limite de r_2 . Ainsi, lorsqu'un angle d'incidence est $\geq \theta_{lim}$, le rayon réfracté est parallèle au dioptre et par conséquent, seul le rayon réfléchi est pris en compte. Nous sommes dans le cas de la réflexion totale. Nous pouvons trouver cet angle à l'aide de la loi de Snell-Descartes. $\sin \theta_{lim} = n_2/n_1$

L'endoscopie fait parti des examens utilisés couramment en médecine dans un but de diagnostic et parfois de thérapeutique. Deux appareils sont nécessaires: une caméra et une lampe, ces deux appareils sont réunis dans l'endoscope. Il existe des endoscopes à tubes rigides (bronchoscope, cytoscope et rectoscope) et à tubes souples et flexibles ou fibroscope (fibroscope bronchial ou gastro-duodénal). Mais quelque soit l'instrument utilisé, le principe reste le même: introduction dans le conduit ou la cavité à explorer d'un tube muni d'un système optique couplé à un dispositif lumineux.

Dans le fibroscope, les rayons lumineux se propage via un faisceau de fibres souples. La visualisation peut se faire directement par l'oeil collé au viseur ou par l'intermédiaire d'une caméra. La lumière est guidée jusqu'à l'endroit souhaité qui la réfléchit via une autre fibre optique. Comme 1 à 50 micromètres est trop étroit pour éclairer, l'on utilise un faisceau de fibres. Quand $n_1 \geq n_2$ alors $i_1 \geq i_2$. La réfraction dans le verre, généralement silice, produit i_2 que l'on considère $\geq \theta_{lim}$, donc toute la lumière va être réfléchi; la lumière est guidée dans le coeur. Les causes d'images à mauvais contrastes sont le plus souvent le conducteur de limite endommagé. Quand les fibres sont torsadées, la réflexion totale n'est plus valable.

Quand $n_1 \leq n_2$ alors i_2 se rapproche de la normale. En effet, n_2 est plus réfringent.

Système optique planaire

Miroirs plans

Un miroir plan est une surface plane S réfléchissante.

L'observateur O a l'impression que la lumière provient de A' . Or, A' est virtuel, seul A est réel puisque c'est la source.

Image d'un point: Soit A , un point lumineux envoyant ses rayons sur un miroir plan M . Un observateur O est situé du même côté du miroir que A . Le point A possède une image A' , observable par tout observateur O si tous les rayons réfléchis par M issus de A semblent provenir de ce point A' .

Rq: Puisque des variations en A se font ressentir en A' , on dit que A et A' sont des points conjugués.

Propriétés: Un miroir plan donne un point A , une image A' , symétrique par rapport au plan du miroir. Le miroir plan est dit stigmatique car l'image de tout point de l'espace est un point.

Rq: C'est le seul système optique qui possède cette propriété.

L'objet ponctuel lumineux A face au miroir M est un objet réel. Pour un observateur O, les faisceaux de lumière issus de A semblent en fait provenir de l'image A', or aucune E.lumineuse ne provient de A, c'est l'objet virtuel.

Lentilles

On appelle lentille tout milieu transparent limité par deux surfaces dont l'une au moins n'est pas plane.

Nous étudierons trois types de lentilles: convergente, divergente et l'association des deux.

Rq: La plupart des lentilles sont en verre d'indice moyen $n=1,5$. Comme les lentilles en verre arrêtent les UV, les lentilles dans l'UV sont en quartz, mais elles sont plus chères.

Les centres de courbure, c_1 et c_2 sont des calottes sphériques.

Les rayons de courbures sont r_1 et r_2 .

L'axe principal Δ est l'axe de révolution passant par c_1 et c_2 . Il est appelé le plus souvent axe de la lentille.

Une section principale; plan de symétrie passant par l'axe principal. C'est dans ce plan que nous représenterons les rayons lumineux.

Le diamètre d'ouverture D, diamètre du cercle limitant la lentille.

Nous limiterons l'étude des lentilles aux lentilles minces c'est à dire à bords minces tel que leur épaisseur S_1 et S_2 soient négligeables devant les rayons de courbures r_1 et r_2 .

Les conditions de Gauss(mathématicien allemand) sont:

1- Les rayons lumineux font un petit angle avec l'axe optique de la lentille.

2- Les rayons lumineux rencontrent la lentille au voisinage de sa région centrale.

Si une lentille est régit par les conditions de Gauss, l'image est nette.

Propriétés et lentilles minces

Nous allons schématiser les différentes lentilles suivant la figure ci dessous. Le point O, intersection de l'axe optique et du plan de la lentille est appelé centre optique.

Tout rayon lumineux passant par le centre optique d'une lentille ne subit aucune déviation.

Tout rayon incident parallèles à l'axe d'une lentille convergente émerge selon un rayon qui passe par un point de l'axe optique appelé: foyer principal image, F' .

C'est la propagation de la lumière qui définit le foyer image.

On peut savoir le sens de propagation des rayons lumineux d'après F' .

Inclinons légèrement sur l'axe principal d'une lentille un faisceau incident de rayons parallèles, les rayons émergents convergent en un point φ' du plan de front passant par F' . Ce point est appelé foyer image secondaire.

Le rayon $O\varphi'$ définit un axe secondaire.

Il existe un point de l'axe optique d'une lentille convergente situé devant la lentille (à gauche), appelé foyer principal objet, F , tel que tout rayon incident passant par ce point émerge de la lentille parallèlement à l'axe optique.

Si on inverse le sens de propagation, il faudra inverser la graduation de l'axe de propagation.

Si nous plaçons une source lumineuse en un point quelconque du plan de front passant par F , plan focal objet, tous les rayons émergents de la lentille sont parallèles, on appelle foyer secondaire objet φ . La droite $O\varphi$ définit un axe secondaire, les rayons émergents sont parallèles à cet axe.

Éclairons dans les conditions de Gauss, une lentille divergente avec un faisceau parallèle à son axe principal.

Tous les rayons lumineux émergents divergent comme s'ils venaient du point F' nommé foyer principal image.

Si nous retournons face pour face la lentille, la position de F' reste inchangé.

Faisons converger un faisceau de lumière en un point F de l'axe optique d'une lentille divergente situé au delà de la lentille et symétrique du foyer image F' par rapport au centre O .

Nous observons que le faisceau émergent est parallèle à l'axe optique. Le point F est appelé foyer principal objet de la lentille.

Le point F' se trouvant à l'intersection des prolongements des rayons lumineux émergents, nous dirons que c'est un foyer image virtuel.

Le point F se trouvant à l'intersection des prolongements des rayons lumineux incidents, nous dirons que c'est un foyer objet virtuel.

Rq: F et F' ne sont pas conjugués. F' est conjugué à un point à l'infini.

Construction géométrique de l'image d'un objet

La lentille convergente:

Le rayon issu de B passant par le centre optique O n'est pas dévié.

Un rayon passant par B et parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image F' .

Un rayon issu de B passant par le foyer objet F émerge parallèlement à l'axe optique.

Si $A'B'/AB = 1$, l'image est taille réelle.

L'image $A'B'$ est réelle renversée.

La lentille divergente:

Le rayon issu de B passant par le centre optique O n'est pas dévié.

Un rayon passant par B et parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image F' .

Un rayon issu de B passant par le foyer objet F émerge parallèlement à l'axe optique.

L'image $A'B'$ est virtuelle droite.

L'objet est réel s'il est situé en avant de la lentille.

L'image est réelle si elle se forme derrière la lentille, c'est à dire qu'elle peut être recueillie sur un écran.

Elle est virtuelle si elle se situe en avant la lentille.

L'image est droite si AB donne A'B' et renversée si AB donne B'A'.

Cas du microscope: objet virtuel pour L2. L'association de lentilles est à la base de la microscopie. L'objet AB est réel et l'image A'B' est réelle droite.

L'objet AB est réel, l'image A'B' est virtuelle droite. De ce fait, elle ne peut être visualisée à moins que l'on rajoute une lentille convergente; c'est la microscopie.

L'objet AB est virtuel, l'image A'B' est virtuelle renversée.

Cas particuliers: Les deux rayons étants parallèles, l'image est à l'infini.

Inversement, si l'image est à l'infini, l'objet est au foyer principal.

Formules des lentilles minces

Intro: Nous avons vu que nous pouvions déterminer à l'aide de construction simple, la position et la grandeur d'une image connaissant la focale et la nature de la lentille. Mais nous pouvons retrouver cela par le calcul(avec le sens de propagation défini).

L'on considère toujours le centre de la lentille O comme le centre géométrique c'est à dire le centre du repère.

L'on ne modifie pas les valeurs en ordonnée car Y n'a pas été renversé.

$$1/\overline{OA'} - 1/\overline{OA} = 1/\overline{OF'}$$

Ce raisonnement est général et ne dépend pas de la nature de la lentille. Cette relation de conjugaison permet aussi de connaître la position de l'image connaissant celle de l'objet et inversement. Elle permet aussi de déterminer la distance focale image $\overline{OF'}$ (grandeur algébrique) de la lentille. Avec nos conventions, la distance focale image est positive pour une lentille convergente et négative pour une lentille divergente.

Rq: Les foyers F et F' ne sont pas des points conjugués. Lorsque le point A tend vers un point situé vers l'infini, A' tend vers F'. Lorsque le point A tend vers le foyer F, A' tend vers un point situé vers l'infini.

Rq: Si $\overline{OA} \geq 0$ alors l'objet est virtuel

Si $\overline{OA} \leq 0$ alors l'objet est réel

Si $\overline{OA'} \geq 0$ alors l'image est réelle

Si $\overline{OA'} \leq 0$ alors l'image est virtuelle

Et ce quelque soit la lentille.

On appelle grandissement le rapport $\gamma = \overline{A'B'} / \overline{AB}$

Les deux triangles OAB et OA'B' sont homothétiques donc $\gamma = \overline{A'B'} / \overline{AB} = \overline{OA'} / \overline{OA}$
Cette formule permet de déterminer la taille et le sens de l'image (droite ou renversée).

Si $\gamma \geq 0$ alors l'image est droite par rapport à l'objet

Si $\gamma \leq 0$ alors l'image est renversée par rapport à l'objet

La vergence d'une lentille mince notée C est l'inverse de sa distance focale image:

$$C = 1/\overline{OF'}$$

L'unité de la vergence est la dioptrie, symbole δ , la focale étant exprimée en mètres. Ainsi la dioptrie est équivalent à $[m^{-1}]$

La vergence est une grandeur algébrique

La lentille convergente ($\overline{OF'} \geq 0$) a une vergence positive

La lentille divergente ($\overline{OF'} \leq 0$) a une vergence négative

Considérons deux lentilles minces convergentes suffisamment minces pour que si on les place l'une contre l'autre, les centres optiques soient confondus. Nous retrouvons ainsi la formule de conjugaison relative à une association de lentilles uniques de convergence: $C = C_1 + C_2$

Nous en concluons qu'un système de lentilles minces accolées C_1 et C_2 équivaut à une lentille unique de même centre optique O et de distance focale $\overline{OF'}$: $C = 1/\overline{OF'}$ avec $C = C_1 + C_2$

Pour l'oeil normal ou emmétrope au repos, l'image d'un objet situé à l'infini se forme sur la rétine. Lorsque l'objet se rapproche, les muscles augmentent la courbure du cristallin de telle sorte que l'image se forme sur la rétine. On dit que l'oeil accommode.

Le cristallin est donc une lentille à distance focale variable. Si l'objet est très près ($\leq 10\text{cm}$), l'oeil ne peut accommoder, l'image se forme en arrière de la rétine, l'image est floue.

P.P (Punctum Proximum): Limite de la distance minimale de vision distincte.

P.R (Punctum Remotum): Limite de la distance maximale de vision distincte.

Oeil normal: PP=25cm et PR= ∞

Oeil myope: PP=5cm et PR=5m

De loin l'oeil myope n'accommode pas, la correction se fait par une lentille divergente.

Oeil hypermétrope(surtout chez les enfants): PP=60cm et PR=1m virtuel.

Se corrige via une lentille convergente.

Oeil presbyte: PP=augmente et PR= ∞

Avec le vieillissement, la faculté d'accommodation diminue progressivement, c'est la presbytie. Elle concerne tous les humains emmétropes ou amétropes. Elle n'est donc pas anormale.

Oeil astigmat: Lorsque l'oeil ne peut régler la netteté avec une lentille convergente ou divergente car la puissance dioptrique de l'oeil n'est pas la même pour toutes les parties de l'oeil. Ainsi, une "tranche" verticale de l'oeil fournit une image en arrière de la rétine alors qu'une "tranche" horizontale la fournit en avant; l'image formée au final est une tâche.