

LIVRE PREMIER.

PRODUCTION DE L'IMAGE LUMINEUSE.

Pour produire l'image lumineuse qui doit agir sur la plaque sensible, on se sert, le plus souvent, d'appareils nommés *objectifs*; ils permettent d'obtenir sur la surface impressionnable placée dans la *chambre noire* une image plus ou moins réduite des objets extérieurs; nous devons d'abord étudier l'agent, puis les instruments qui nous permettent de former cette image.

CHAPITRE PREMIER

LA LUMIÈRE.

19. La lumière est généralement définie l'agent physique qui provoque l'impression perçue par le nerf optique; cet agent peut être la cause de phénomènes de décomposition ou de recombinaison qui servent de base à la photographie. Les sources de lumière sont le soleil, les étoiles, les météores et les transformations diverses que subit l'énergie à la surface de la terre. Dans le premier cas, la lumière est dite *naturelle*; elle est *artificielle* dans le second cas. L'étude des propriétés de la lumière constitue une branche de la

physique appelée *optique*; elle a pour objet l'étude des radiations. Nous résumerons les principes d'optique sur lesquels est basée la construction des appareils photographiques.

Certains corps arrêtent complètement les radiations lumineuses, ce sont les corps *opaques*; d'autres sont *translucides* (par exemple le verre dépoli); d'autres enfin, comme le cristal, sont *transparentes*.

Dans l'étude des phénomènes produits par la lumière, on admet que cet agent physique se transmet en *ligne droite* dans un milieu homogène. Un *rayon lumineux* est la direction suivant laquelle se propage la lumière partant d'un point quelconque d'un corps lumineux. La réunion des divers rayons lumineux forme un *faisceau*. Si ces divers rayons passent par un même point, le faisceau est dit *homocentrique*, et ce point, sommet du faisceau, est appelé *centre d'homocentricité*. Si l'on suppose que le sommet du faisceau s'éloigne indéfiniment, à la limite, le faisceau sera dit *parallèle*. La *direction* du faisceau sera celle de l'un quelconque de ses rayons.

La position du sommet du faisceau par rapport à une surface et sa section par cette surface suffisent pour le déterminer. On peut donc classer les faisceaux en deux catégories : *faisceau divergent*, si le sommet est en avant de la surface du côté d'où vient la lumière; *faisceau convergent*, si le sommet est après la surface du côté où va la lumière.

Un faisceau peut être *incident* ou *émergent*. Le sommet du premier est un point lumineux *réel*, si le faisceau est divergent; *virtuel*, si le faisceau est convergent. Le sommet du second est une image *réelle*, si le faisceau est convergent; *virtuelle*, s'il est divergent.

20. Nature de la lumière. — On admet que la lumière est le résultat des vibrations que les sources lumineuses communiquent en tout sens à l'*éther*, milieu très subtil et très élastique qui remplit aussi les pores de la matière. Ces mouvements vibratoires se propagent comme le son dans l'air (d'après Mallebranche, Gassendi) et viennent ébranler la membrane nerveuse étendue au fond de l'œil. Cette hypothèse, dite *des ondulations*, a été développée par Huyghens, Young, Fresnel, Cauchy, etc.; elle rend compte des faits observés, et a même permis plusieurs fois de prédire des phénomènes inattendus, que l'expérience a ensuite complètement vérifiés.

Dans la théorie des ondulations, la lumière n'est pas une matière, pas plus que le son : c'est un mouvement vibratoire excité dans

l'éther. La vitesse de propagation du mouvement vibratoire est donnée par la formule de Newton : $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$, e étant l'élasticité, d la densité. L'expérience a prouvé que la lumière se propage avec une vitesse d'environ 300,000 kilomètres par seconde ; donc l'élasticité de l'éther doit être très grande et sa densité très faible.

Les mouvements vibratoires de l'éther au lieu de s'accomplir perpendiculairement à la surface de l'onde ou suivant la direction de la propagation ont lieu transversalement à cette direction, comme les ondes formées à la surface de l'eau.

On démontre que de la *rapidité* plus ou moins grande de ces vibrations résultent les différentes *couleurs* ; de leur *amplitude* dépend l'*intensité* de la lumière.

21. Principes des interférences. — On appelle longueur d'ondulation λ l'espace comprenant l'aller et le retour de la molécule d'éther en vibration. Supposons deux rayons de même intensité ayant des longueurs d'ondulations égales ; supposons qu'elles suivent sensiblement la même route. Représentons par les ordonnées des courbes

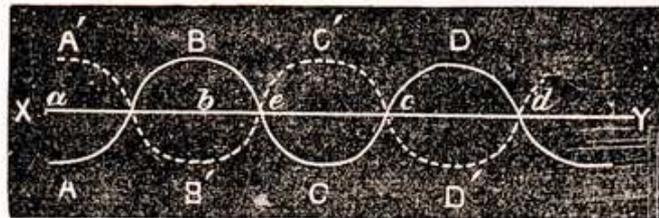


Fig. 3.

A, B, C, D... A' B' C' D' (fig. 3), les vitesses de vibration qui animent l'éther à un instant donné, aux différents points de ce rayon. Si les vibrations des deux rayons coïncident, leurs intensités s'ajoutent ; si l'un des rayons est retardé par rapport à l'autre de $\frac{1}{2} \lambda$ la molécule d'éther se trouvera sollicitée en même temps et avec la même intensité dans deux directions opposées ; elle ne vibrera donc pas et par suite il n'y aura pas de lumière : donc la réunion des deux rayons produira l'obscurité ; de même si les deux rayons sont en retard de $(n + 1) \frac{\lambda}{2}$. — Au contraire, si le retard est deux fois $\frac{1}{2} \lambda$ ou

λ , les intensités s'ajouteraient; de même s'il était $2n$ fois $\frac{1}{2} \lambda$. Le retard se nomme différence de marche.

22. Diffraction. — Etant donné un corps opaque, une sphère par exemple éclairée par un point lumineux, il semble, d'après la définition du rayon de lumière, que le cône ayant pour sommet le point lumineux et enveloppant la sphère séparera l'espace situé derrière la sphère en deux régions : l'une éclairée, l'autre obscure; en un mot, que l'ombre projetée derrière la sphère ne différera pas de l'ombre géométrique. Il n'en est rien si les dimensions de la source lumineuse sont assez petites pour qu'on puisse la considérer comme un point. Dans ce cas, il pénètre de la lumière à l'intérieur de l'ombre géométrique, et certaines régions de l'espace extérieur sont obscures. Grimaldi a le premier étudié ces phénomènes sur des rayons ayant traversé une petite ouverture (un très petit diaphragme par exemple); il leur a donné le nom de *diffraction* (de *diffringere*, séparer en rompant). Les régions de l'espace alternativement brillantes et obscures dans le cas de la lumière simple constituent ce qu'on appelle les *franges*; l'expérience prouve qu'elles sont d'autant plus serrées que les rayons sont plus réfrangibles. Il suit de là que la lumière blanche (composée d'une infinité de rayons simples) donnera des franges irisées; la lumière sera décomposée par *diffraction*. On réalise facilement cette expérience à l'aide d'un réseau, c'est-à-dire à l'aide d'une série d'espaces alternativement transparents et opaques excessivement rapprochés et régulièrement distribués; la lumière traversant un réseau est décomposée. Supposons que nous ayons un réseau tracé sur verre et comprenant par exemple cinquante divisions par millimètre. Appliquons ce dernier à l'ouverture d'une chambre noire, nous constaterons au centre du verre dépoli une image de la fente; de chaque côté, nous aurons un espace noir, puis un spectre ayant le violet en dedans et le rouge en dehors, puis un nouvel espace noir et un nouveau spectre; le premier est dit spectre primaire, le second secondaire, etc.

23. Réflexion de la lumière. — Un rayon lumineux rencontrant un corps poli se divise en deux : une portion pénètre dans le corps, une autre se réfléchit, c'est-à-dire revient du même côté du plan tangent à la surface polie; ce rayon est appelé *rayon réfléchi*; il est dit

rayon incident avant sa rencontre avec la surface. Le *point d'incidence* est le point où il rencontre la surface; l'angle que fait le rayon incident avec la normale à la surface au point d'incidence est l'*angle d'incidence*; l'angle du rayon réfléchi avec la même normale se nomme *angle de réflexion*. Ces angles sont comptés du côté d'où vient la lumière. Le rayon incident et la normale au point d'incidence déterminent le plan d'incidence.

Le phénomène de la réflexion est régi par les deux lois suivantes :

- 1° Le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence ;
- 2° Le rayon réfléchi et le rayon incident sont situés de part et d'autre de la normale. L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

24. Réfraction.— L'expérience montre que la vitesse de la lumière n'est pas la même dans tous les milieux : cette vitesse change lorsque le rayon change de milieu. Soit un rayon lumineux tombant à la surface d'un corps transparent, une partie du rayon est réfléchi, l'autre pénètre dans le corps : cette partie, en général, ne se trouve pas sur le prolongement du rayon incident ; de là le nom de *réfraction* donné au phénomène (de *refringere*, briser). Le rayon réfracté est le rayon qui se propage dans le second milieu. L'*angle de réfraction* est l'angle que forme le rayon réfracté avec la normale au point d'incidence.

Les lois de la réfraction sont les suivantes :

- 1° Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence, les rayons, incident et réfracté, étant de part et d'autre de la normale ;
- 2° Il existe un rapport constant entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = k .$$

Ce rapport est ce qu'on appelle l'*indice de réfraction* du deuxième milieu par rapport au premier. On démontre qu'il est égal au rapport des vitesses de propagation de la lumière dans le premier milieu v_1 à la vitesse de propagation dans le deuxième milieu v_2 , de telle sorte que l'on a

$$\frac{v_1}{v_2} = k .$$

Pour des angles infiniment petits, on peut écrire

$$\frac{i}{r} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Lorsque la lumière traverse une lame transparente à faces planes et parallèles placée dans l'air des deux côtés, la portion du rayon qui entre dans la lame et celle qui en sort sont parallèles. Si les deux faces ne sont pas parallèles, le milieu prend le nom de *prisme*. On appelle *arête* et *angle* du prisme l'arête et l'angle du dièdre formé par les deux faces. Une troisième face plane parallèle à l'arête prend le nom de *base*. Une section principale est produite par un plan perpendiculaire à l'arête.

La déviation d que subit un rayon incident situé dans un plan perpendiculaire à l'arête du prisme d'angle a est donnée par la formule

$$d = (k - 1)a,$$

k étant l'indice de réfraction; le rayon est dévié vers la base du prisme. Cette formule suppose que l'angle a est très petit.

25. Dispersion. — La réfraction n'est pas le seul phénomène produit par un faisceau de lumière blanche tombant sur un prisme. Le faisceau émergent s'étale et présente diverses couleurs : en le recevant sur un écran blanc, on obtient le *spectre solaire*, présentant sept couleurs principales : le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet. Si le faisceau incident est contenu dans une section principale du prisme, le faisceau émergent s'étale dans cette section principale, le rouge étant la couleur la plus rapprochée de l'arête du prisme, le violet la couleur la plus près de la base.

Les radiations indigo et violettes sont celles qui provoquent le plus rapidement l'altérabilité des composés chimiques sensibles à la lumière; les radiations rouges et jaunes sont les moins actives.

Les diverses couleurs du prisme ont des indices de réfraction différents; on le démontre par l'expérience. La superposition des couleurs du spectre reproduit la lumière blanche; on peut les superposer en les recueillant sur un écran au moyen d'une lentille.

On appelle *pouvoir dispersif* d'une substance le rapport $\frac{k_2 - k_1}{k - 1}$ de la différence $k_2 - k_1$ des indices de réfraction pour les deux

couleurs extrêmes du spectre à l'excès de l'indice de réfraction k de la couleur moyenne sur l'unité.

Si l'on examine un objet à travers un prisme ou une lentille, ses contours paraissent bordés de couleurs bleues ou jaunes : ces couleurs sont dues au phénomène de la dispersion ; elles constituent l'*aberration de réfrangibilité*. On peut arriver à détruire sensiblement cette aberration en combinant convenablement deux prismes ; les deux prismes sont dits *achromatisés* et constituent un *système achromatique*.

En l'état actuel de la science, l'*achromatisme parfait est irréalisable* ; on peut cependant faire que l'image bleue et l'image jaune d'un objet blanc soient confondues : l'objet paraît alors à peu près sans irisation ; en combinant trois prismes de trois substances différentes, on pourrait obtenir la superposition de trois couleurs.

Dans un système achromatique, le rayon est dévié vers la base de celui des deux prismes qui est formé du verre le moins dispersif. C'est le prisme le moins dispersif qui doit avoir le plus grand angle

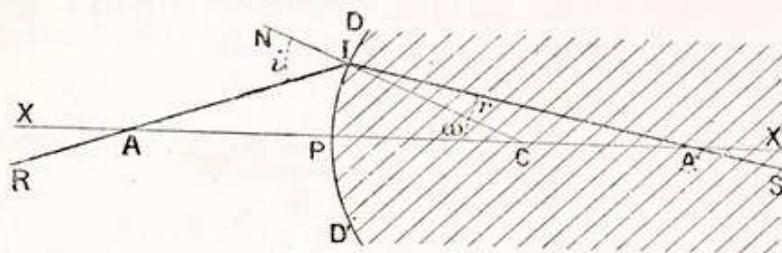


Fig. 4.

Pour la construction des appareils photographiques on cherche à faire coïncider le jaune et l'indigo ; on y parvient en prenant des verres spéciaux : crown et flint que l'on associe convenablement.

26. Réfraction à travers une surface sphérique. — Soit une surface sphérique (*fig. 4*) séparant deux milieux caractérisés par les vitesses de propagation de la lumière v_1 et v_2 : l'indice de réfraction du deuxième milieu par rapport au premier est $\frac{v_1}{v_2} = k$.

La perpendiculaire abaissée du centre de la sphère sur la base de la calotte sphérique DD' est l'*axe* de la surface ; le point P où cet axe rencontre la surface est le *pôle*. Toute droite passant par le centre est *un axe secondaire*.

On appelle section *méridienne* ou section *principale* toute section

de la surface réfringente et des milieux qu'elle sépare par un plan passant par l'axe principal.

L'*amplitude* d'une surface réfringente peut s'obtenir facilement. Joignons un point I de la circonférence qui limite la surface réfrin-

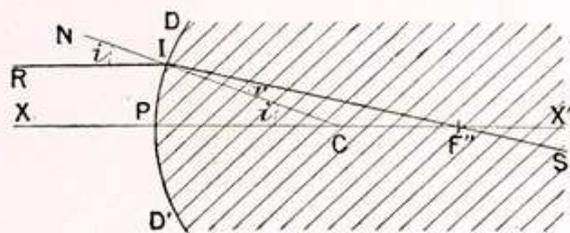


Fig. 5.

gente considérée au centre de la sphère (*fig. 4*) : elle fait un angle ω avec l'axe principal; cet angle est l'amplitude de la surface. Si l'on veut appliquer la formule $\frac{i}{r} = \frac{v_1}{v_2}$, cette amplitude doit être petite (6° à 8° au plus).

En désignant (*fig. 4*) par α la distance AP, $\alpha' = A'P$, $\gamma = cP$ et k l'indice de réfraction, on démontre que le point A' où le rayon réfracté coupe l'axe est donné par la formule

$$\frac{v_1}{\alpha'} - \frac{v_2}{\alpha} = \frac{v_1 - v_2}{\gamma},$$

formule qui n'est pas modifiée si l'on change α en α' et v_1 en v_2 . On peut écrire aussi

$$\frac{k}{\alpha'} - \frac{1}{\alpha} = \frac{k - 1}{\gamma}.$$

Le point A' ainsi déterminé est dit l'image de A.

Si, au contraire, le rayon incident était A'I, le rayon réfracté serait AI, en vertu du principe général de la réversibilité de la lumière.

Les deux points A et A' sont donc tels que chacun d'eux peut être considéré comme étant l'image de l'autre : ces deux points sont dits *conjugués*.

Un exemple de points conjugués est fourni par l'appareil photographique. Mettons au point l'image de la flamme d'une bougie située à quelques mètres de la chambre noire, enlevons la glace dépolie de l'appareil, disposons-la à la place de la flamme, et plaçons la flamme

dans le plan qu'occupait d'abord la glace, nous constatons que dans la nouvelle position du verre dépoli, l'image de la flamme, bien que de grandeur différente à ce qu'elle était primitivement, est cependant nette. Un point de la flamme et le point homologue de son image sont des *points conjugués*.

Un point lumineux et son image sont toujours sur un même axe principal ou secondaire.

Si les axes secondaires (droites passant par le centre de la sphère) font un angle assez petit avec l'axe principal, l'image d'une droite lumineuse, perpendiculaire à l'axe principal, a pour image une droite perpendiculaire à l'axe et limitée aux mêmes axes secondaires.

Le point A considéré comme sommet du faisceau incident peut se mouvoir sur l'axe principal; la relation qui lie les points conjugués subsiste toujours. Si nous supposons le point A s'éloignant indéfiniment de P, la position de A' tendra vers une limite que l'on obtient en donnant à α la valeur ∞ dans la formule. On obtient ainsi le *point conjugué de l'infini* ou *deuxième foyer principal*. Désignons par φ'' la distance de ce point F'' à P, (fig. 5) la formule devient

$$\frac{v_1}{\varphi''} = \frac{v_1 - v_2}{\gamma}.$$

ou bien :

$$\varphi'' = \frac{k}{k - 1} \gamma.$$

En réalité, lorsqu'on considère un faisceau de rayons venant de l'infini, le sommet du faisceau (ou centre d'homocentricité) n'est pas un point par suite de l'*aberration de sphéricité* : cette aberration est négligeable si l'ouverture de la surface réfringente est petite, ce qui n'est généralement pas le cas des instruments photographiques. Nous verrons plus loin comment on corrige cette aberration.

Le point A, au lieu de se mouvoir sur un axe principal, aurait pu se mouvoir sur un axe secondaire : à la limite, on obtiendrait de même un *deuxième foyer secondaire*, situé à la même distance du centre que le deuxième foyer principal. Chaque axe secondaire comprend un foyer secondaire : leur lieu constitue la *deuxième surface focale*; on peut la remplacer dans le cas où les angles d'incidence et de réfraction sont petits, par le plan tangent à la surface : ce plan est le *deuxième plan focal*.

On peut chercher un point tel que le faisceau incident ayant son sommet en ce point soit transformé en un faisceau parallèle à l'axe : ce point est ce que l'on appelle le *premier foyer principal* ; il est *conjugué de l'infini*.

En désignant par φ' la distance PF'' , on démontre que cette distance

$$\varphi' = - \frac{v_2}{v_1 - v_2} \gamma,$$

ou bien

$$\varphi' = - \frac{1}{k - 1}.$$

Le *premier plan focal* est le lieu des points tels que si le sommet d'un faisceau incident coïncide avec l'un d'eux, le faisceau réfracté correspondant est un faisceau parallèle dont la direction est donnée par celle de la droite qui joint le point considéré au centre du système dioptrique.

On appelle *première et deuxième distance focale* les quantités φ' et φ'' ; on voit que

$$\frac{\varphi'}{\varphi''} = - \frac{v_2}{v_1} = - \frac{1}{k}.$$

Le rapport de la première à la deuxième distance focale est égal et de signe contraire à l'inverse de l'indice de réfraction du deuxième milieu par rapport au premier.

Les valeurs de φ' et de φ'' étant égales et de signe contraire, on en conclut que les foyers sont toujours de part et d'autre de la surface réfringente.

Si nous désignons par λ la distance de A au premier foyer, par λ' la distance de A' au deuxième, nous aurons

$$\lambda\lambda' = \varphi'\varphi''.$$

Le rapport de grandeur de l'image I à un objet O est donné par la relation

$$\frac{I}{O} = - \frac{\varphi'}{\lambda} = - \frac{\lambda'}{\varphi''},$$

ou bien

$$\frac{I}{O} = \frac{\varphi'}{\varphi' - \alpha} = \frac{\varphi'' - \alpha'}{\varphi''}.$$

BIBLIOGRAPHIE.

C.-M. GARIEL, *Études d'optique géométrique*. Paris, chez Nony, 1889.

BOUTY, *Traité de physique*. Paris, Gauthier-Villars.

H. PELLAT, *Cours de physique* (t. II, *Optique géométrique*), 1886. Paris, Paul Dupont, éditeur.

GAVARRET, *Les images par réflexion et par réfraction*. Paris, 1870.

VAN MONCKHOVEN, *Optique photographique*. Paris, Masson, éditeur.
