

est celui de notre globe, un rayon lumineux Ea (fig. 608), à chacun de ses passages a, b, c , se rapproche de la normale au point d'incidence, c'est-à-dire de la verticale en ce point. Ces déviations successives lui font donc décrire une courbe, dont la convexité est toujours tournée vers le zénith Z du point d'arrivée A . Un observateur placé en A voit l'astre dans la direction du dernier élément de la courbe, c'est-à-dire suivant la tangente AE' . — Ainsi, le Soleil ou les astres nous apparaissent *au-dessus de l'horizon*, dès qu'ils sont situés à une petite distance *au-dessous du plan tangent* mené à la surface de la Terre.

On a construit des *tables de réfraction* qui donnent les corrections à effectuer, dans les observations astronomiques, pour chacune des valeurs de la hauteur *apparente* de l'astre au-dessus de l'horizon (*).

II. — RÉFRACTION AU TRAVERS DES PRISMES.

776. Définitions. — On désigne, en Optique, sous le nom de *prisme*, un milieu transparent, limité par deux faces planes faisant entre elles un certain angle. — On appelle *angle réfringent* l'angle dièdre formé par ces deux faces. — On comprend sous le nom de *base du prisme*, la région opposée à l'arête de cet angle. — Dans les prismes de verre qui servent aux expériences d'optique, comme le prisme P (fig. 609), la base est limitée par un plan parallèle à l'arête réfringente. La masse de verre présente alors la forme du solide que l'on désigne, en géométrie, sous le nom de prisme triangulaire.

On appelle *section principale* d'un prisme, toute section faite perpendiculairement à l'arête réfringente : c'est ce qu'on désigne, en géométrie, sous le nom de *section droite*. — Dans ce qui va suivre, nous supposons que les rayons incidents sont *dans le plan d'une section principale*.

(*) Ces tables ne s'appliquent pas aux cas où l'on observe des astres très voisins de l'horizon. Les rayons traversant alors des couches d'air dont les densités sont influencées, de manières très diverses, par le voisinage du sol, on ne peut exprimer la déviation par une loi. Il arrive même que la trajectoire du rayon lumineux ne reste pas dans un même plan vertical. — Le phénomène connu sous le nom de *mirage latéral* n'est qu'un cas particulier de ce genre d'effets, quand on observe des objets terrestres *voisins de l'horizon*. — Enfin le phénomène célèbre du *mirage* des plaines sablonneuses d'Égypte est encore un phénomène qui se rattache à ces réfractions anormales, mais dont l'interprétation exacte, donnée par Bravais, repose sur les théories de l'Optique supérieure.



Fig. 609. — Prisme.

777. Action d'un prisme sur un faisceau de lumière parallèle. — Lorsqu'on introduit un faisceau de rayons solaires par une petite ouverture pratiquée dans le volet d'une chambre obscure, et qu'on le reçoit sur un prisme placé de manière que l'axe du faisceau lumineux soit dans le plan d'une section principale, on observe que les rayons émergents sont *déviés* vers la base du prisme. — En outre, si l'on reçoit le faisceau émergent sur un écran, on obtient une image *allongée*, et *colorée* des couleurs de l'arc-en-ciel.

De ces divers effets, nous allons étudier d'abord exclusivement le premier, la *déviation* : les autres seront étudiés plus loin.

778. Déviation produite par un prisme. — Soit A (fig. 610) une *section principale* d'un prisme. Soit SI un rayon incident : ce rayon pénètre dans le prisme en restant dans le plan de la figure, et en se rapprochant de la normale, suivant IP . En arrivant en I' , le rayon éprouve, en général, une nouvelle réfraction (*); il s'écarte de la normale, et sort du prisme en restant dans le plan de la figure, dans une direction telle que $I'S'$. Ces deux réfractions, en I et I' , ont donc, l'une et l'autre, pour effet de dévier le rayon *vers la base du prisme*. — On appelle *angle de déviation*, l'angle D que forme le rayon émergent $I'S'$ avec le prolongement du rayon incident SI .

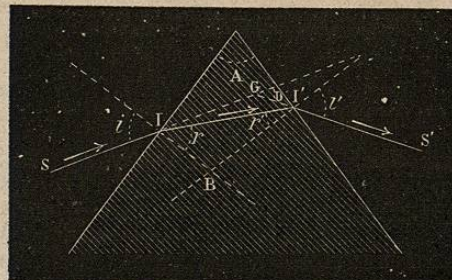


Fig. 610. — Déviation produite par un prisme.

(*) Lorsqu'un rayon lumineux, arrivé à la seconde face du prisme, fait avec la normale à cette face un angle supérieur à l'angle limite (771), il éprouve la réflexion totale et se trouve rejeté vers l'intérieur du prisme, sans pouvoir émerger. — Soit RI (fig. 611) un rayon incident, qui se réfracte suivant II' ; pour que ce rayon puisse émerger en I' , il suffit qu'il fasse, avec la normale $I'n$ en ce point, un angle inférieur à l'angle limite. Abaissons du point I une droite ID perpendiculaire sur AC , et décrivons autour de cette droite un cône EIE' dont l'angle générateur EID soit égal à l'angle limite : si le rayon II' qui traverse le prisme est compris dans ce cône, l'angle $II'n$ étant plus petit que EID , ce rayon peut émerger. Au contraire, s'il était extérieur au cône EIE' , il éprouverait la réflexion totale.

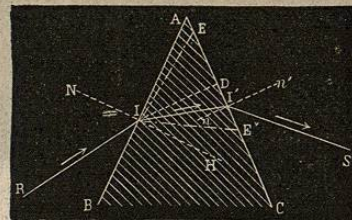


Fig. 611

779. **Équations du prisme.** — L'angle de déviation D est, dans le triangle GHI , l'angle extérieur au sommet G ; il est donc égal à la somme des deux angles GHI et GHI' (fig. 610). Si nous désignons par i l'angle d'incidence, et par r l'angle de réfraction au point I ; par r' , l'angle que fait le rayon $I'I'$ avec la normale au point I' , et par i' l'angle d'émergence, on voit que l'on a $GHI = i - r$, et $GHI' = i' - r'$; et par suite :

$$(1) \quad D = i + i' - (r + r').$$

Dans le triangle IBI' , l'angle B est le supplément de la somme $r + r'$; cet angle est aussi le supplément de l'angle A , puisque ses deux côtés sont respectivement perpendiculaires aux deux côtés de l'angle A ; on a donc

$$(2) \quad r + r' = A.$$

Enfin, d'après les lois de la réfraction, on a

$$(3) \quad \sin i = n \sin r,$$

$$(4) \quad \sin i' = n \sin r'.$$

Ces quatre équations sont les *équations du prisme*.

Le prisme étant donné par son indice de réfraction n et par son angle A , et la direction du rayon incident SI étant déterminée par l'angle i , l'équation (3) fera connaître la valeur de r ; en portant cette valeur dans l'équation (2), on déterminera l'angle r' ; l'équation (4) fera ensuite connaître i' ; enfin, en portant dans l'équation (1) les valeurs de r , r' et i' , ainsi calculées successivement, on aura la valeur de la déviation D .

Remarque. — Si l'angle du prisme est *très petit*, et si l'angle d'incidence i n'est que d'un petit nombre de degrés, les angles r , r' et i' seront du même ordre de grandeur : on pourra alors remplacer les équations (3) et (4) par les équations $i = nr$, $i' = nr'$; en portant ensuite ces valeurs de i et de i' dans l'équation (1), on aura, en tenant compte de l'équation (2),

$$D = (n - 1)A;$$

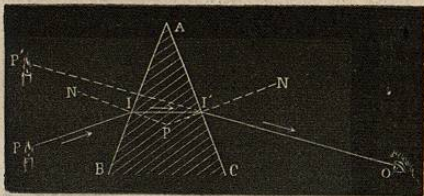


Fig. 612. — Déplacement apparent d'un objet vu au travers d'un prisme.

objet paraît déplacé *vers l'arête* du prisme : ce résultat s'explique immédiatement, d'après ce qui précède. — En effet, si le rayon PI , parti du point lumineux P (fig. 612), est réfracté de manière à suivre

relation dont nous ferons usage, quand nous étudierons les propriétés des *lentilles* (792).

780. **Déplacement apparent des objets vus au travers des prismes.** — Lorsqu'on regarde un objet au travers d'un prisme, cet

la route $PI'O$, l'œil placé en O voit ce point en P' , dans le prolongement de OI' . — Les images ainsi observées sont d'ailleurs généralement confuses, et elles offrent des contours irisés, comme nous l'expliquerons plus loin.

781. **Influence de la nature du prisme et de la valeur de son angle réfringent sur la grandeur de la déviation.** — D'après la marche même de la lumière dans un prisme (778), il est évident que la grandeur de la déviation doit dépendre, d'une part, de la nature du prisme; d'autre part, de la valeur de l'angle réfringent. — C'est ce que nous allons vérifier par l'expérience.

1° Pour constater l'influence de la *nature* du prisme, on prend un *polyprisme* (fig. 613), formé de petits prismes égaux, de *différents verres*, ayant leurs arêtes en prolongement. Si, par une fente horizontale pratiquée dans le volet d'une chambre obscure, on fait arriver un faisceau de rayons solaires qui rencontre à la fois tous ces prismes, on obtient une série de petits faisceaux émergents, présentant autant de directions différentes que le polyprisme comprend de substances diverses.

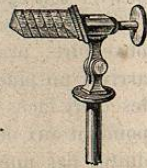


Fig. 613. Polyprisme.

2° Pour constater l'influence de la valeur de l'*angle réfringent*, on fait usage du *prisme à angle variable* (fig. 614), c'est une auge formée par deux plaques métalliques fixes, entre lesquelles peuvent se mouvoir, autour de deux charnières, deux cadres formés par des glaces de verre. Si l'on verse de l'eau dans cette auge, la masse liquide représente un prisme, dont l'arête réfringente serait déterminée par l'intersection des plans des deux glaces prolongées. — Or, si l'on fait tomber un faisceau lumineux sur ce prisme, et si, laissant immobile la face d'entrée, on incline de plus en plus la face de sortie, on observe une déviation d'autant plus grande qu'on a donné au prisme liquide un angle plus grand (*).

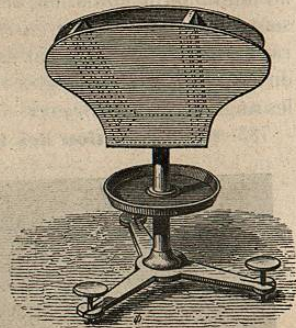


Fig. 614. — Prisme à angle variable.

782. **Minimum de déviation.** — Lorsqu'un rayon tombe, sous une incidence déterminée i , sur un prisme dont on connaît l'angle A (fig. 610) et l'indice de réfraction n , la loi de Descartes permet de

(*) En changeant progressivement l'inclinaison des faces, il est facile de réaliser également, avec cet appareil, les conditions nécessaires pour qu'il y ait *réflexion totale* sur la seconde face du prisme. (Voir la note de la page 685.)

déterminer les directions successives II' , IS' , que prend ce rayon : on arrive ainsi à une expression de la *déviati*on produite par le prisme, c'est-à-dire de l'angle que forme le rayon émergent avec la direction primitive du rayon incident. — Si l'on considère i comme une variable, prenant successivement toutes les valeurs, depuis 0° jusqu'à 90° , le calcul montre que la déviation passe par un *minimum* : ce minimum correspond au cas où l'incidence est telle, que l'angle d'émergence i' soit égal à l'angle d'incidence i .

On peut vérifier ce résultat par l'expérience. — Si par une petite ouverture, pratiquée dans le volet d'une chambre obscure, on fait arriver un pinceau de lumière sur un prisme P (fig. 609), on voit, sur les deux faces du prisme, deux petites taches lumineuses qui correspondent aux deux points d'incidence et d'émergence, et qui sont produites par une diffusion partielle de la lumière sur les surfaces du verre. En faisant tourner le prisme P , au moyen du bouton b , autour d'un axe parallèle à son arête, de manière que l'angle d'incidence augmente d'une manière continue, et en recevant le faisceau émergent sur un écran, on constate que la déviation diminue d'abord, mais seulement jusqu'à un *minimum*, à partir duquel elle reprend des valeurs croissantes. — Lorsque le prisme est dans la position correspondante au minimum de déviation, on constate que les deux taches lumineuses sont à égale distance de l'arête du prisme. Il en faut conclure que le rayon intérieur II' (fig. 615) est alors perpendiculaire au plan bissecteur du dièdre A , que les angles r et r' sont égaux, et que par conséquent les angles i et i' sont égaux.

783. Détermination des indices de réfraction. — Nous pouvons maintenant, en considérant ce dernier résultat comme fourni par l'expérience, obtenir une relation simple, entre la valeur de la *déviati*on minimum D , l'angle du prisme A , et son indice de réfraction n . — Supposons le prisme placé dans la position du minimum de déviation. Dans le triangle NI' (fig.

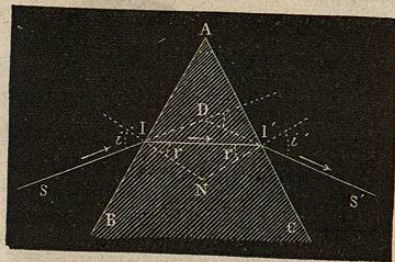


Fig. 615. — Minimum de déviation.

615), la somme des angles r et r' est le supplément de l'angle N ; d'autre part, dans le quadrilatère $AINI'$, les angles en I et en I' étant droits, l'angle N est le supplément de A : donc $r + r' = A$, et comme $r = r'$, on a

$$r = \frac{A}{2}.$$

— Si nous considérons maintenant le triangle DI' , l'angle extérieur D est égal à la somme des deux angles intérieurs $DI'I$ et $DI'I'$: chacun de ces deux angles a pour valeur $i - r$; donc $D = 2i - 2r$. En remplaçant $2r$ par A , il vient $D = 2i - A$, ou enfin

$$i = \frac{D + A}{2}.$$

En remplaçant r et i par ces valeurs dans la relation $\frac{\sin i}{\sin r} = n$, on obtient la relation cherchée

$$\frac{\sin \frac{D + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = n.$$

Cette relation est celle dont on fait usage pour la détermination expérimentale des indices de réfraction des diverses substances. — Lorsqu'il s'agit d'un corps solide, on taille deux faces planes formant un angle réfringent, sur lequel on reçoit un faisceau de lumière parallèle : on cherche, par tâtonnements, quelle est la position pour laquelle on obtient la *déviati*on minimum. Connaissant l'angle A des deux faces, il suffit de mesurer la déviation D , au moyen d'appareils spécialement construits pour cet usage; la relation précédente permet alors de calculer n . — Lorsqu'il s'agit d'un corps liquide, on le renferme dans un prisme creux, limité par des lames de verre à faces parallèles, qui n'ont pas d'influence sur la déviation.

Le tableau suivant donne les indices de quelques corps solides ou liquides, dont on a le plus souvent à faire usage :

INDICES DE RÉFRACTION (*)

Eau	1,336
Ether	1,338
Alcool	1,365
Crown-glass (verre sans plomb)	1,529
Sel gemme	1,530
Flint-glass, ou cristal (verre plombeux)	1,635
Sulfure de carbone	1,678
Diamant	2,420

III. — LENTILLES SPHÉRIQUES.

784. Définitions. — On nomme *lentilles sphériques*, des masses transparentes, généralement en verre, et limitées par deux surfaces sphé-

(*) Les indices de réfraction varient, comme on le verra plus loin, avec la couleur de la lumière employée. Les nombres ci-dessus se rapportent à la lumière *jaune*

riques ou par une surface sphérique et une surface plane. Nous les distinguerons en deux groupes :

1° Les lentilles à *bords minces*, dont l'épaisseur est croissante depuis les bords jusqu'au milieu. Ces lentilles sont aussi désignées sous le nom de lentilles *convergentes*, qui indique, comme on le verra plus loin, leur propriété essentielle. — Elles comprennent trois variétés : la lentille *biconvexe* A (fig. 616), la lentille *plan-convexe* A', et le *ménisque convergent* A''.

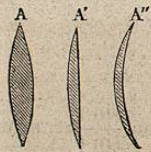


Fig. 616. — Lentilles convergentes.

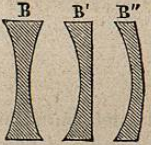


Fig. 617. — Lentilles divergentes.

2° Les lentilles à *bords épais*, dont l'épaisseur diminue depuis les bords jusqu'au milieu : on les désigne sous le nom de lentilles *divergentes*. — Ces lentilles comprennent encore trois variétés : la lentille *biconcave* B (fig. 617), la lentille *plan-concave* B', et le *ménisque divergent* B''.

On appelle *axe principal* d'une lentille, la droite qui passe par les centres des deux faces sphériques. Si l'une des deux faces est plane, l'*axe principal* est la perpendiculaire menée du centre de la face sphérique sur la face plane.

785. **Lentilles convergentes. — Foyer principal.** — Lorsqu'on prend une lentille à *bords minces*, et qu'on l'oriente de façon que son axe principal soit dirigé vers le Soleil, l'expérience montre que les rayons lumineux, tombant alors sur la lentille dans des directions parallèles à son axe principal, sont réfractés de manière à passer tous sensiblement par un même point F (fig. 618). — Ce point est le *foyer principal* de la lentille.

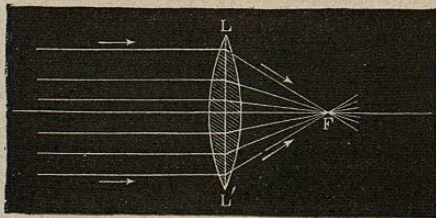


Fig. 618. — Foyer principal d'une lentille convergente.

Elle reste la même, que l'on reçoive les rayons lumineux d'un côté ou de l'autre de la lentille.

Il est facile de se rendre compte de cette action exercée, par une lentille à bords minces, sur les rayons qui la rencontrent parallèlement à son axe principal. — Soit LL' (fig. 619) la section d'une lentille biconvexe par un plan passant par son axe principal OO', et soit RI un rayon lumineux incident, parallèle à l'axe principal : ce rayon

La distance de ce point à la lentille est ce qu'on appelle la *distance focale principale*. — Pour une lentille convergente quelconque, on peut déterminer cette distance en opérant comme nous venons de l'indiquer.

éprouve, en pénétrant dans le verre, une première réfraction suivant II', qui le rapproche de la normale menée au point d'incidence, c'est-à-dire du rayon de courbure OI. En sortant de la lentille, il éprouve une seconde réfraction et s'écarte de la normale en I' c'est-à-dire du rayon de courbure O'IN'. Ces deux réfractations successives ont pour effet, l'une et l'autre, de ramener le rayon lumineux vers l'axe principal, et comme le rayon incident était parallèle

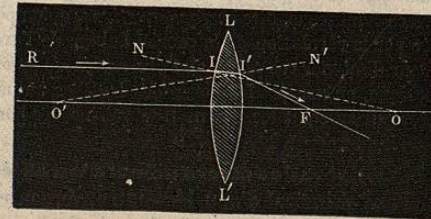


Fig. 619. — Convergence des rayons, produite par une lentille à bords minces.

à l'axe, le rayon émergent IF viendra nécessairement rencontrer cet axe en un certain point F, situé *au delà de la lentille* (*). — Pour compléter cette explication, il resterait à montrer qu'un autre rayon incident quelconque, parallèle à l'axe principal, doit venir, après réfraction, passer *par le même point* F : nous nous contenterons, quant à présent, d'avoir constaté ce résultat par l'expérience.

C'est cette propriété, commune aux trois variétés de lentille A, A' et A'' (fig. 616), qui leur fait donner le nom de lentilles *convergentes*.

Dans la figure 618, pour simplifier le tracé, on a supposé que chaque rayon, au lieu d'éprouver deux déviations successives, l'une à l'entrée et l'autre à la sortie, n'en éprouve qu'une, au point où il rencontre le plan LL' mené par les bords de la lentille. C'est ce que nous ferons dans toutes les constructions du même genre.

786. **Aberrations de sphéricité des lentilles. — Causiques par réfraction.** — Lorsque les ouvertures des faces d'une lentille ne sont pas négligeables, il se produit un phénomène

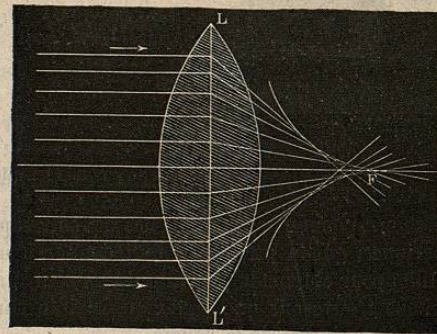


Fig. 620. — Aberration de sphéricité.

analogue à celui que nous avons signalé dans les miroirs sphériques (752), pour des rayons incidents parallèles à l'axe principal : les rayons réfractés

(*) C'est, du reste, ce dont on peut encore se rendre compte, en observant que la lentille agit sur le rayon RI comme le ferait un prisme de verre dont les faces se con-

viennent rencontrer l'axe en des points d'autant plus voisins de la lentille, que l'incidence a lieu plus près du bord. Les intersections successives de ces rayons déterminent alors, dans le plan de la figure, une courbe lumineuse (fig. 620), qu'on nomme *caustique par réfraction*; dans l'espace, une surface lumineuse, dite *surface caustique*, qu'on peut regarder comme engendrée par la révolution de la courbe autour de l'axe principal.

Pour diminuer ces effets de l'*aberration de sphéricité*, dans les instruments d'optique, on masque les bords des lentilles au moyen de diaphragmes annulaires qui arrêtent les rayons trop voisins des bords.

787. Foyers des divers points d'un objet. — Plaçons maintenant, sur l'axe principal d'une lentille convergente, et à une distance plus grande que sa distance focale principale, une source lumineuse de petite dimension, comme la flamme d'une bougie P (fig. 621); puis,

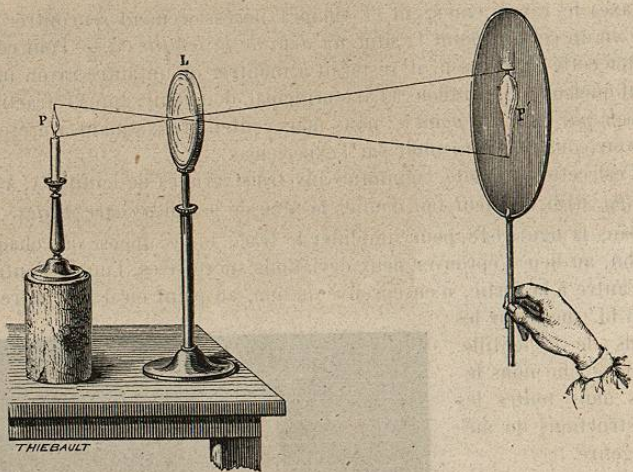


Fig. 621. — Image produite par une lentille convergente.

cherchons, comme nous l'avons fait dans les expériences sur les miroirs sphériques, quelle position il faut donner à un écran, au delà de la lentille, pour obtenir la plus grande concentration possible de lumière. — Nous trouverons que la région éclairée sur l'écran P' présente la forme d'une image de la bougie.

On peut donc considérer comme un résultat d'expérience que, à chaque point de l'objet lumineux, correspond un foyer par lequel viennent

fondraient avec les plans tangents menés en I et en I'; la base de ce prisme se trouvant toujours, par suite de la forme même de la lentille, du côté de l'axe principal, le rayon est toujours dévié vers cette région (778).

passer tous les rayons lumineux émanés de ce point. — On verra d'ailleurs plus loin (791) comment on peut démontrer qu'il en est ainsi.

788. Centre optique. — **Rayons sans déviation.** — Dans un rayon lumineux qui traverse une lentille, on doit considérer, en général, trois directions successives différentes : la direction du rayon *incident*, celle du rayon *intérieur* à la lentille, et celle du rayon *émergent*. — Nous allons démontrer qu'il existe un point jouissant de cette propriété, que, si un rayon incident donne un rayon *intérieur* qui passe par ce point, le rayon émergent est parallèle au rayon incident. — Ce point prendra le nom de *centre optique* de la lentille.

Soient O et O' (fig. 622) les centres des faces d'une lentille, R et R' leurs rayons de courbure : nous allons démontrer d'abord que, si l'on mène à cette lentille deux plans tangents parallèles entre eux, la droite qui joint les deux points de contact rencontre l'axe principal en un point constant, quels que soient les deux plans considérés. — Soient mn et m'n' les traces de deux plans parallèles, tangents à la lentille en I et I' : menons la droite II' et soit C le point où elle rencontre l'axe OO'.

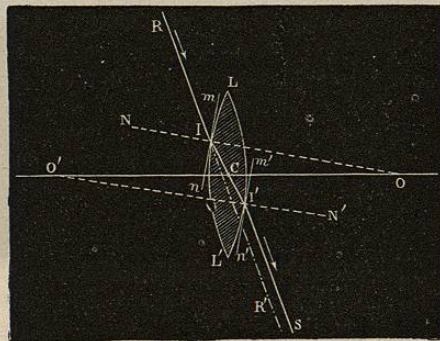


Fig. 622. — Centre optique.

Les normales OI et O'I' étant parallèles, les triangles semblables ICO et I'CO' donnent $\frac{CO}{CO'} = \frac{OI}{O'I'}$, ou $\frac{CO}{CO'} = \frac{R}{R'}$.

Donc la position du point C est indépendante de celle du point I, c'est-à-dire de la direction particulière des deux plans tangents considérés. — Il est aisé de voir que, réciproquement, si, par le point C ainsi déterminé, on mène une droite quelconque, et des plans tangents aux points I et I' où elle rencontre les deux faces, ces plans tangents seront toujours parallèles.

Or, ce point C jouit précisément de la propriété qui a été énoncée plus haut, comme caractérisant le *centre optique*. — En effet, soit un rayon lumineux RI, rencontrant la lentille sous une incidence telle que le rayon *intérieur* passe par le point C; les plans tangents menés au point d'incidence I et au point d'émergence I' étant parallèles entre