sommet d'un angle dièdre, d'un prisme optique; dans ce cas aussi, pour chacun de ceux-ci, la base est taillée et constitue une surface plane; mais cette condition est sans intérêt pour l'étude que nous avons à faire d'abord.

Soit un prisme B_1AB_2 (fig. 194) sur la première face duquel arrive un rayon incident RI_1; la substance constituant le prisme étant supposée plus réfringente que le milieu extérieur, il y aura toujours un rayon réfracté; ce rayon I_1I_2 sera plus rapproché de la normale que le rayon incident. Il rencontrera la deuxième face AB_2 en I_2, point d'émergence. On ne peut savoir, dans tous les cas, ce que deviendra ce rayon; le deuxième angle d'incidence diffère en effet du premier angle de réfraction, et quoique ce dernier soit toujours plus petit que l'angle limite, il peut n'en être pas de même en I_2. Si ce dernier est plus grand que l'angle limite, il y a réflexion totale, et le rayon ne sort pas par la face AB_2, il continue son chemin dans le prisme pour sortir par la base, s'il y a lieu. Si, au contraire, l'angle de I_1I_2 avec la normale est plus petit que l'angle limite le rayon arrivé en I_2 sortira du prisme en I_2S en s'écartant de la normale.

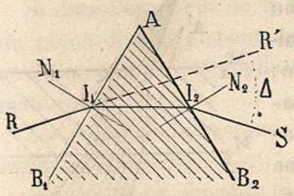


Fig. 194.

Nous nous occuperons d'abord de ce dernier cas.

On voit que le rayon émergent I_2S a une direction différente de celle qu'avait le rayon incident. On appelle *déviation* l'angle Δ que fait le rayon émergent avec le prolongement du rayon incident.

La figure 194 montre que le rayon, en passant à travers le prisme, est dévié du côté de la base : on reconnaîtrait qu'il en est de même pour tous les cas que l'on pourrait considérer. Une construction géométrique simple déduite de celle que nous avons indiquée pour la réfraction d'un rayon permet de trouver exactement la direction du rayon réfracté et la valeur de la déviation.

La discussion de la question peut se faire en se servant de la construction géométrique; on en déduit les résultats suivants que l'on peut vérifier par l'expérience (notamment à l'aide du polyprisme et du prisme à angle variable) :

Toutes choses égales d'ailleurs, la déviation varie avec l'indice de réfraction de la substance qui constitue le prisme et avec l'angle de celui-ci.

Si, d'autre part, pour un prisme donné, on fait varier l'angle d'incidence d'une manière continue et toujours dans le même sens, on reconnaît que la déviation, partant d'une valeur déterminée, décroît d'abord pour croître ensuite : elle passe donc par une valeur plus petite que toutes les autres; cette valeur a reçu le nom de *déviation minima*. L'expérience et le raisonnement montrent que lorsque cette valeur est atteinte, la marche du rayon est symétrique par rapport à la bissectrice

du prisme et que, notamment, le rayon réfracté dans le prisme I_1I_2 est perpendiculaire à cette bissectrice.

407. — Étudions maintenant le cas où un faisceau rencontre un prisme.

Si le faisceau incident est parallèle (fig. 195), il restera parallèle dans le prisme, et parallèle aussi à l'émergence, d'après ce que nous avons dit pour les réfractions sur une surface plane (387); la direction du faisceau dans le prisme et à l'émergence sera conforme à ce que nous avons dit pour le cas d'un rayon, car les différents rayons du faisceau se comportent tous de la même manière : il n'y a donc pas lieu d'insister.

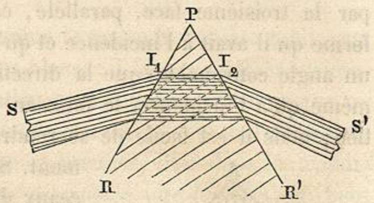


Fig. 195.

La question est moins simple dans le cas d'un faisceau conique; car l'homocentricité n'est conservée, ni dans le prisme, ni à la sortie. Mais, si l'on considère un faisceau de peu d'amplitude, un pinceau lumineux, on peut admettre, sans erreur sensible, qu'il sera homocentrique à l'émergence. On reconnaît aisément, d'après ce que nous avons dit pour une surface plane (387), que, la même action se répétant deux fois, la nature du pinceau (convergence ou divergence) est conservée; mais, non seulement la direction est changée, mais aussi le degré de convergence ou de divergence est modifié, étant tantôt augmenté et tantôt diminué.

Soit un point lumineux C (fig. 196) envoyant un pinceau lumineux divergent sur un prisme B_1AB_2; ce pinceau à l'émergence est également divergent $I_2I'_2SS'$, et son sommet C' est l'image virtuelle du point lumineux C. On voit que, par rapport au point C, l'image est déplacée du côté du sommet du prisme.

Quant à la distance de cette image au prisme, elle est tantôt plus grande et tantôt plus petite que la distance du point lumineux au prisme. Dans le cas particulier où le faisceau traverse le prisme dans la position du minimum de déviation, ces deux distances sont égales. X de agu

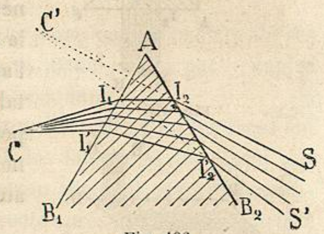


Fig. 196.

408. **Réflexion totale dans les prismes.** — Considérons maintenant le cas où le rayon réfracté dans le prisme vient rencontrer la 2e face en faisant un angle plus grand que l'angle limite. Dans ce cas, il ne peut sortir par cette face et subit la réflexion totale; dans cette nouvelle direction, il est possible qu'il vienne rencontrer la face d'incidence, mais ce cas est rare et nous ne l'examinerons pas; il arrive plus souvent qu'il vient rencontrer la base du prisme. Si l'on a employé un prisme

géométrique, cette base est taillée, c'est une face plane et, en général, le rayon sortira par cette face, conformément aux lois de la réfraction.

Si l'on considère un pinceau homocentrique pénétrant dans le prisme par la première face, de manière à subir cette réflexion totale, il sortira par la troisième face, parallèle, convergent ou divergent, suivant la forme qu'il avait à l'incidence et qu'il a conservée. Il peut arriver, pour un angle convenable, que la direction à l'émergence (fig. 197) soit la même qu'à l'incidence, le faisceau paraît n'avoir pas subi de modification; mais il est facile de se rendre compte qu'il a subi un retournement. Si de même on considérait deux faisceaux distincts, leur position relative serait intervertie après l'action du prisme.

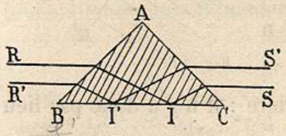
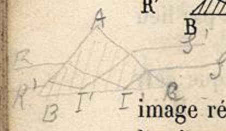


Fig. 197.



C'est sur ce principe qu'est basé le prisme redresseur de Duboscq qui, intercalé sur le trajet de faisceaux destinés à produire une image réelle sur un écran, produit le changement de sens de cette image : les images réelles obtenues en projection étant renversées, cet appareil les redresse.

La réflexion totale dans le prisme est utilisée dans un assez grand nombre de cas pour changer la direction d'un faisceau, principalement pour le faire tourner de 90°. On fait usage alors d'un prisme rectangulaire isocèle ABC (fig. 198) : le faisceau SS′, par exemple, est amené normalement à la surface AB et pénètre sans déviation : l'angle d'incidence sur la face BC est donc de 45°, supérieur à l'angle limite du verre : il y a réflexion totale, et le faisceau, prenant une direction perpendiculaire à sa direction primitive, arrive normalement sur la face AC qu'il traverse aussi sans déviation.

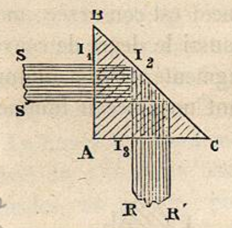
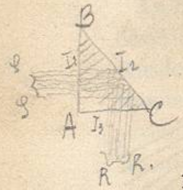
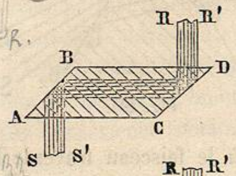


Fig. 198.





En somme, l'effet est le même que si le faisceau s'était réfléchi sur un miroir BC; mais l'emploi du prisme à réflexion totale est préférable, parce qu'il y a moins de perte de lumière et parce que la surface réfléchissante est moins sujette aux détériorations.

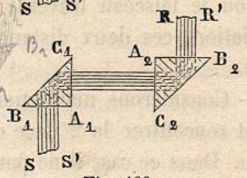
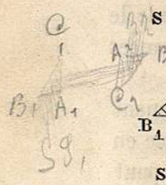


Fig. 199.



Par l'emploi de deux prismes à réflexion totale $A_1B_1C_1$, $A_2B_2C_2$ (fig. 199) placés parallèlement mais inversement, on comprend qu'on puisse amener en RR′ un faisceau incident SS′, l'ayant ainsi déplacé parallèlement à lui-même d'une quantité égale à la distance des deux prismes.

Il est clair qu'on peut obtenir le même résultat, également par deux réflexions totales, en remplaçant les deux prismes triangulaires par un prisme ayant pour section un parallélogramme tel que ABCD.

Des dispositions de ce genre sont appliquées dans les chambres claires.

409. **Lentilles.** — Nous avons examiné le cas où la lumière subit deux réfractions successives sur des surfaces planes; il faut considérer maintenant le cas où les surfaces de séparation sont courbes, ou au moins où l'une de ces surfaces est courbe; nous admettrons comme précédemment que le dernier milieu est le même que le premier, l'air dans les conditions ordinaires. Un semblable système est appelé une *lentille*; on peut donc donner la définition suivante :

Une lentille est un bloc de matière réfringente limité par deux surfaces géométriquement définies dont l'une au moins est courbe.

Les seules surfaces courbes qui soient employées dans la pratique jusqu'à présent sont les surfaces sphériques et les surfaces cylindriques, unies quelquefois à des surfaces planes. Nous nous occuperons d'abord des lentilles sphériques, dans lesquelles il n'entre que des surfaces sphériques et des surfaces planes; les surfaces sphériques sont toujours d'une faible amplitude, elles se comportent donc comme les dioptres que nous avons étudiés.

Les surfaces planes pouvant être considérées comme appartenant à des sphères de rayon infini, il n'est pas nécessaire d'en tenir compte spécialement, et nous pouvons dire que, dans tous les cas, une lentille est constituée par la réunion de deux dioptres.

On appelle *axe* d'une lentille la droite qui passe par les centres de ses deux faces, ou, si l'une des deux est plane, la droite menée par le centre de la face courbe perpendiculairement à la face plane.

410. — On peut aisément reconnaître qu'une lentille dont les faces ont peu d'amplitude conserve l'homocentricité des faisceaux ou plutôt des pinceaux qui la traversent. En effet, le pinceau incident étant homocentrique, il en sera de même du pinceau réfracté après la première surface qui est un dioptre (389); ce pinceau homocentrique est incident par rapport à la 2e surface, et après la réfraction que lui fait subir ce dioptre conserve l'homocentricité en devenant le faisceau émergent.

Il résulte de là qu'un point lumineux a pour image un point, par l'action d'une lentille.

De la même façon, si on a un objet qui soit une petite droite perpendiculaire à l'axe, elle donnera pour image également une droite perpendiculaire à l'axe par l'action de la première face; mais cette droite, image dans le premier dioptre, devient l'objet par rapport au deuxième dioptre qui donne aussi comme image une droite perpendiculaire à l'axe et cette dernière droite est l'image de l'objet, fournie par la lentille. Donc :

Par l'action d'une lentille, l'image d'une petite droite perpendiculaire à l'axe est une droite perpendiculaire à l'axe.

Si le point lumineux s'éloigne jusqu'à l'infini, c'est-à-dire si le faisceau incident est parallèle, la même conclusion subsiste. Le sommet du faisceau émergent homocentrique est appelé le premier foyer principal, par analogie avec les dioptres. Il y a de même un deuxième foyer principal correspondant au cas où la lumière parallèle arriverait sur la lentille en sens contraire.

Comme pour un dioptre et par une remarque analogue, on verrait à cause de la réversibilité qu'un point lumineux et son image sont conjugués. En particulier, les foyers sont les points conjugués de l'infini, l'un de l'infini à droite, l'autre de l'infini à gauche.

Dans le premier dioptre, constitué par la face d'incidence de la lentille, le lieu des foyers secondaires est un plan perpendiculaire à l'axe. Ce plan aura pour image dans le second dioptre un plan perpendiculaire à l'axe qui sera également le lieu des foyers secondaires de la lentille : ce sera le *plan focal* de la lentille. Il y a nécessairement deux plans focaux correspondant aux deux sens dans lesquels peut arriver la lumière sur la lentille.

Ces conclusions qui se déduisent d'une manière intuitive et presque sans démonstration des résultats trouvés pour les dioptres sont très importantes. Il serait d'ailleurs facile de les retrouver directement et sans passer par l'intermédiaire des dioptres; mais cela est inutile lorsqu'on a fait l'étude complète des dioptres.

411. — Les surfaces sphériques étant de révolution autour de chacun de leurs diamètres, une lentille sera un corps de révolution autour de son axe qui est un diamètre commun. Pour déterminer la forme d'une lentille, il suffira donc de donner la forme d'une section méridienne, c'est-à-dire d'une section faite par un plan passant par l'axe : ces sections sont des arcs de cercle ou des droites.

Dans les lentilles, on a l'habitude de déterminer le sens de la courbure, non par rapport à la direction dans laquelle arrive la lumière, comme on le fait pour les dioptres, mais par rapport au milieu dans lequel est placée la lentille.

On reconnaît aisément qu'il ne peut y avoir que six espèces différentes de lentilles.

Les deux faces peuvent être de même nature, toutes les deux convexes (lentille biconvexe, fig. 200, I), ou toutes les deux concaves (lentille biconcave, fig. 201, I).

L'une des faces étant plane, l'autre peut être convexe (lentille plan convexe, fig. 200, II); elle peut être concave (lentille plan concave, fig. 201, II).

Enfin les deux faces peuvent être de nature opposée, l'une concave

Martinez

et l'autre convexe; mais une distinction s'établit suivant que le plus grand rayon de courbure appartient à la face concave (ménisque convergent, fig. 200, III) ou à la face convexe (ménisque divergent, fig. 201, III).

Au point de vue géométrique, ces six espèces de lentilles se divisent en deux groupes : dans l'un d'eux, les lignes qui limitent la section se coupent, de telle sorte que par la rotation les lentilles correspondantes ont un bord tranchant (fig. 201, I, II, III); dans l'autre groupe, les lignes qui définissent la section ne se rencontrent pas; on limite celle-ci par une droite parallèle à l'axe qui, par la rotation, donnera un bord mousse fig. (201, I, II, III).

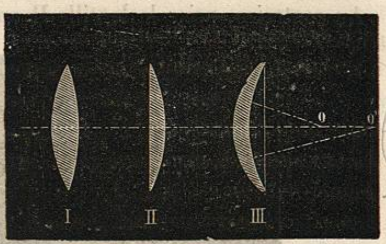
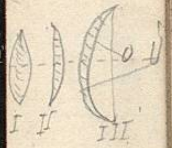


Fig. 200.



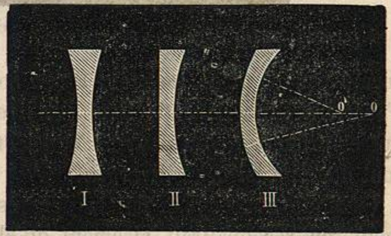


Fig. 201.

Cette distinction est bonne si les lentilles sont complètes, mais il peut arriver que dans le premier groupe la lentille ne soit pas conservée entière et qu'elle présente aussi un bord mousse. Pour éviter les erreurs, il est préférable d'établir la division de la façon suivante :

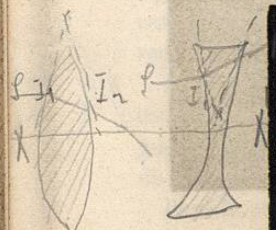
Dans les lentilles du 1[er] groupe, le centre est plus épais que les bords; — dans les lentilles du 2[e] groupe, le centre est moins épais que les bords.

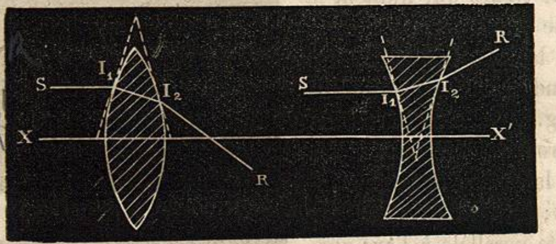
412. — Il est important de remarquer que la division géométrique que nous venons d'indiquer correspond à une division au point de vue optique : les lentilles du 1[er] groupe sont convergentes; les lentilles du 2[e] groupe sont divergentes.

Il suffit évidemment de montrer qu'il en est ainsi pour la section plane de ces lentilles :

Soit une lentille (fig. 202, I et II) sur laquelle on fait arriver un rayon SI, parallèle à l'axe XX′; ce rayon pénètre dans la lentille comme s'il passait à travers une surface plane qui serait le plan tangent à la surface en I_1, puisque la surface et le plan tangent ont la même normale. Soit I_1I_2 le rayon réfracté dans la lentille, qui émergera en I_2R, sortant de la lentille comme s'il passait à travers le plan tangent à la surface en I_2, pour la même raison que précédemment. Le rayon traversera donc la lentille comme s'il passait à travers un prisme constitué par les deux plans tangents. Nous savons que dans ce cas (406) le rayon est dévié du côté de la base du prisme. On voit donc que dans la lentille I appartenant au premier groupe, le prisme ayant sa base dirigée vers l'axe, c'est de ce côté que sera dévié le rayon I_2R, et qu'il en sera de même pour tous les prismes que l'on peut concevoir comme constitués par des plans tangents. Les rayons émergents se rapprocheront tous de l'axe, formant ainsi un faisceau convergent.

Au contraire, pour la lentille II appartenant au 2e groupe, le prisme





I Fig. 202. II

formé par les plans tangents a son sommet dirigé vers l'axe, le rayon s'écartera donc de cette ligne, et il en serait de même pour tous les autres prismes qu'on pourrait considérer : les rayons émergents formeront donc un faisceau divergent.

Quoique nous ayons fait la démonstration pour deux lentilles seulement, on reconnaîtrait aisément qu'elle s'applique à toutes les autres formes et que les résultats obtenus sont généraux.

413. **Centre optique. Points nodaux.** — Il existe dans une lentille des points qui jouissent de propriétés particulières et dont la connaissance est utile pour l'étude des effets produits : ce sont le centre optique et les points nodaux.

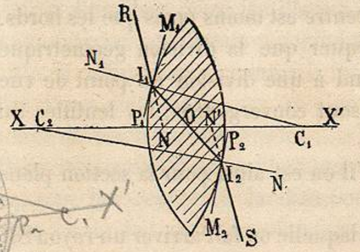
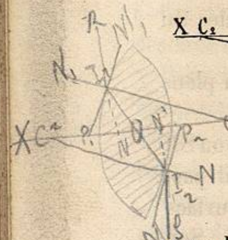


Fig. 203.



Soit une lentille (fig. 203); par les centres C_1 et C_2 des deux faces menons des droites parallèles quelconques C_1I_1 et C_2I_2 et joignons les points I_1 et I_2 par une droite qui rencontre en O l'axe principal C_1C_2 de la lentille. Nous pouvons considérer cette droite comme un rayon lumineux qui traverse la lentille; à ce rayon réfracté dans la lentille correspondent un rayon incident RI_1 et un rayon émergent I_2S : ces deux rayons jouissent de la propriété d'être parallèles. En effet, le rayon qui pénètre en I_1 se trouve dans les mêmes conditions que s'il passait dans le milieu réfringent à travers le plan tangent en I_1, puisque la normale serait la même dans les deux cas et que les angles d'incidence et de réfraction auraient alors les mêmes valeurs; de même le rayon qui sort de la lentille en I_2 est dans les mêmes conditions que s'il passait à travers le plan tangent,

pour les mêmes raisons. Mais ces deux plans tangents sont parallèles, comme perpendiculaires aux rayons C_1I_1 et C_2I_2 qui ont été menés parallèlement : le rayon RI_1I_2S qui traverse la lentille est donc dans les mêmes conditions que s'il traversait une lame à faces parallèles $I_1M_1I_2M_2$ et par conséquent (404) le rayon émergent est parallèle au rayon incident RI_1 : par son passage à travers la lentille le rayon est déplacé, il n'est pas dévié.

Déterminons la position du point C : les triangles semblables C_1OI_1 et C_2OI_2 donnent immédiatement :

$$\frac{C_1O}{C_2O}=\frac{C_1I_1}{C_2I_2} \quad \text{ou} \quad \frac{C_1O}{C_2O}=\frac{C_1P_1}{C_2P_2},$$

car C_1I_1 et C_1P_1 sont égaux, ainsi que C_2I_2 et C_2P_2, comme rayons d'une même sphère. Le point O divise donc la ligne C_1C_2 en deux parties qui sont dans un rapport constant, indépendant de la direction particulière que nous avons prise pour C_1I_1 et C_2I_2; c'est-à-dire que ce point est le même quelle que soit la direction choisie; que toutes les fois que le rayon incident et le rayon émergent sont parallèles, le rayon réfracté dans la lentille passe au point O, et réciproquement. Ce point est le *centre optique* de la lentille.

Supposons un point lumineux placé en O (fig. 204) et envoyant un faisceau $OI_2I'_2$ sur la face P_2 qui, avec l'air, constitue un dioptre; le faisceau homocentrique donnera dans l'air un faisceau homocentrique dont le sommet sera l'image de O ; nous savons de plus que cette image N' sera sur l'axe OC_2 du dioptre, passant par le point O, c'est-à-dire que tous les rayons qui, dans la lentille, passent au centre optique, donnent à l'émergence des rayons dont la direction passe en un point fixe N' de l'axe.

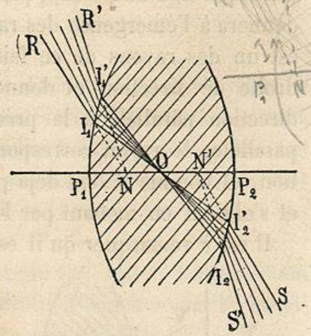
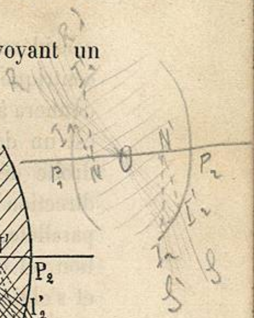


Fig. 204.



Pour la même raison, nous verrions que tous les rayons qui dans la lentille passent en O, correspondent à des rayons incidents qui, avant la face P_1, ont des directions passant par un point fixe N de l'axe.

En réunissant les propriétés que nous venons d'indiquer, on voit que : tout rayon qui, à l'incidence, passe en N, traverse la lentille en passant par le point O et sort parallèlement à la direction d'incidence en passant en N'. Deux rayons qui se correspondent ainsi sont dits des *droites de direction* : les points N et N' par lesquels passent les droites de direction sont les *points nodaux* de la lentille.

Nous avons fait la démonstration pour la lentille convergente, mais elle s'applique presque sans modification à la lentille divergente. Il en sera de même d'ailleurs pour la plupart des indications que nous aurons à donner et pour lesquelles nous raisonnerons généralement sur les lentilles convergentes, plus employées.

On démontre, en calculant exactement la position des points nodaux, que les distances NF et N'F' de chacun d'eux au plan focal correspondant sont égales. La valeur de ces distances est appelée *distance focale* de la lentille.

414. — La considération des points nodaux permet de trouver aisément, dans certains cas, le rayon émergent correspondant à un rayon incident donné.

Soit par exemple le rayon incident RH (fig. 205) parallèle à l'axe : nous savons, d'après la définition du foyer F', que le rayon émergent doit passer en ce point, et si nous avions le point d'émergence sur la face P_2, ce rayon serait déterminé. Mais on peut se passer du point d'émergence qui n'est pas facilement connu : en effet, nous pouvons considérer le rayon donné RH comme appartenant à un faisceau homocentrique issu du point E placé dans le plan focal et qui, par conséquent, donnera à l'émergence des rayons tous parallèles entre eux ; le rayon EN est un des rayons de ce faisceau et, comme il passe en N, il est une droite de direction et donne à l'émergence un rayon N'V', droite de direction parallèle à la précédente. Le faisceau émergent devant être parallèle, le rayon correspondant à RH devra avoir cette même direction, et comme il doit déjà passer en F', il est complètement déterminé et s'obtient en menant par F' une parallèle FS à N'V'.

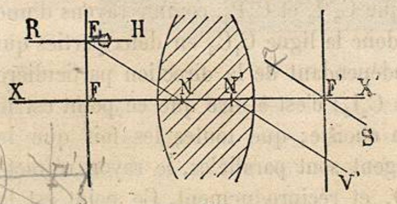


Fig. 205.

Il est à remarquer qu'il est dossible de simplifier la construction graphique : on peut, en effet, supprimer la ligne N'V' et mener directement par F' une parallèle à EN.

Soit, d'autre part, à trouver le rayon émergent qui correspond au rayon incident TF (fig. 206) qui passe par le foyer F : nous savons déjà que, par cette condition même, il doit, à l'émergence, être parallèle à l'axe principal : il s'agit de déterminer à quelle distance.

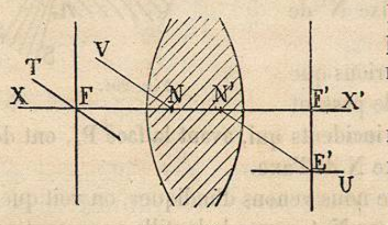


Fig. 206.

Nous pouvons considérer ce rayon TF comme appartenant à un faisceau parallèle et nous savons que, à l'émergence, il sera transformé en un faisceau homocentrique dont tous les rayons se couperont en un même

point du plan focal F'. Or, parmi les rayons de ce faisceau incident, nous pouvons considérer celui NV qui passe par le point nodal N, c'est une droite de direction qui, à l'émergence, sort suivant la droite de direction parallèle, en N'E' : le point d'intersection E' avec le plan focal F' est le sommet du faisceau émergent. Le rayon correspondant à TF doit donc y passer, et comme il doit être parallèle à l'axe, il est complètement déterminé en E'U.

Remarquons que, comme dans le cas précédent, la détermination graphique de la direction de la droite N'E' peut se simplifier par la suppression de NV.

415. **Image d'une droite.** — Sachant que l'image d'une droite AB perpendiculaire à l'axe fournie par une lentille est une droite perpendiculaire à l'axe, il est facile de trouver cette image : il suffit évidemment de trouver l'image du point A (fig. 207).

Tous les rayons émanés de A vont à l'émergence passer en un même

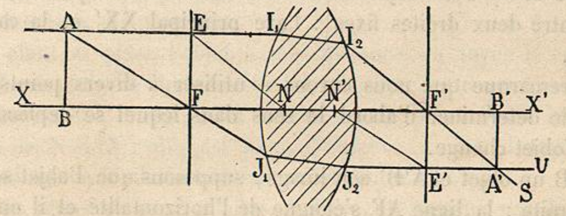


Fig. 207.

point A' qui est l'image cherchée, il suffira donc de considérer deux de ces rayons, et l'intersection des rayons réfractés correspondants donnera le point A'. Nous prendrons les rayons incidents de telle sorte qu'il soit facile de déterminer les rayons réfractés correspondants : ces rayons seront le rayon AH parallèle à l'axe principal et le rayon AF qui passe (ou dont la direction passe) par le foyer F.

Appliquons les règles données plus haut (414) : soit E l'intersection de AH avec le plan focal F, joignons EN, la droite F'S menée par F' parallèlement à EN est le rayon émergent correspondant à AH.

D'autre part, joignons A à F et menons la droite N'E' parallèle à AF ; soit E' son intersection avec le plan focal F' : la droite E'U, menée par E' parallèlement à l'axe principal, est le rayon émergent correspondant au rayon incident AF.

Les deux rayons émergents se coupent en un point A' qui est l'image de A : la perpendiculaire A'B' est donc l'image de AB.

Il est intéressant de remarquer que, en général, le rayon émergent est seul intéressant et non le rayon réfracté à l'intérieur de la lentille ; aussi ne le détermine-t-on pas d'ordinaire ; il serait toutefois facile de l'obtenir ; si nous prolongeons le rayon incident AH et le rayon émergent F'R respectivement jusqu'aux faces P_1 et P_2 de la lentille, les points d'intersection I_1 et I_2 sont respectivement le point d'incidence et le point d'émergence : le rayon réfracté dans la lentille est donc I_1I_2.

416. — Lorsqu'un objet AB (fig. 207) se déplace par rapport à la lentille, de manière que l'extrémité B reste sur l'axe principal, l'image se déplace, l'extrémité B′ restant également sur l'axe principal. En effet, le rayon AF change avec la position de AB et par suite aussi la direction de N′E′ : l'horizontale E′U est donc déplacée ainsi que le point A′ qui doit se trouver sur cette horizontale.

Mais, pendant le déplacement de AB, le rayon horizontal, par contre, reste invariable; il en est donc de même du rayon réfracté correspondant S′F′S : l'image A′ de A devant se trouver à l'intersection de E′U et de F′S, cette dernière droite fixe est donc le lieu géométrique de l'image A′ du point A. Nous l'appellerons la *caractéristique* de l'objet par rapport à la lentille.

L'image A′B′ d'un objet donné AB doit donc toujours se trouver limitée entre deux droites fixes : l'axe principal XX′ et la caractéristique I_2S.

Cette remarque que nous aurons à utiliser à divers points de vue permet de déterminer d'abord le sens dans lequel se déplace l'image lorsque l'objet change.

Soit AB un objet et A′B′ son image; supposons que l'objet se déplace vers la droite : la ligne AF s'éloigne de l'horizontalité et il en sera de même de la parallèle N′E′, le point E′ s'abaissera donc, s'éloignera de l'axe principal et du point F′. Mais l'image A′B′ est toujours égale à la distance E′F′; cette image grandira donc. Comme elle est dans l'angle X′F′S elle devra s'éloigner du sommet F′, c'est-à-dire se déplacer vers la droite, dans le même sens que l'objet.

En étudiant les divers cas qui peuvent se présenter, on reconnaît qu'il en est ainsi dans toutes les circonstances; on peut donc énoncer la règle générale :

Un objet et son image produite par une lentille se déplacent toujours dans le même sens.

417. **Plans principaux et plans antiprincipaux.** — On déduit aisément de la construction précédente la valeur du rapport de grandeur de l'image et de l'objet.

A cause des parallèles qui ont servi à la construction des rayons, les triangles E′F′N′ et ABF sont semblables et il en est de même de A′B′F′ et EFN. On a donc immédiatement :

$$\frac{E'F'}{AB} = \frac{F'N'}{BF} \quad \text{et} \quad \frac{A'B'}{EF} = \frac{B'F'}{FN},$$

ou encore :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{F'N'}{BF} \quad \text{et} \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{B'F'}{FN},$$

à cause des égalités E′F′ = A′B′ et EF = AB.

On emploiera l'une ou l'autre des égalités ci-dessus suivant qu'on connaîtra BF ou B′F′, c'est-à-dire la position de l'image ou celle de l'objet.

En particulier, on peut rechercher la position pour laquelle l'image est de même grandeur que l'objet, c'est-à-dire pour laquelle on a A′B′ = AB. On voit immédiatement que cette égalité entraîne BF = F′N′ et B′F′ = FN, ce qui exige que BF et B′F′ soient égales entre elles, car il en est de même de F′N′ et FN, qui sont les distances focales.

Ainsi pour que l'image et l'objet soient égaux, il faut et il suffit que les distances respectives de l'une et de l'autre aux foyers F′ et F soient égales à la distance focale; rien d'ailleurs n'indique dans quel sens ces longueurs doivent être portées : mais la construction permet d'étudier aisément les deux cas possibles.

Si, en effet, on place l'objet à une distance du foyer F égale à la distance focale du côté du point nodal, cet objet se trouve passer par le point nodal N; son image devra passer par le point nodal N′ qui est conjugué de N (413); elle est bien, d'ailleurs, à une distance de F′ égale à la distance focale : cette image est droite.

Donc les plans perpendiculaires à l'axe et passant par les points nodaux N, N′ sont tels que lorsque l'objet se trouve dans le premier, l'image se trouve dans le second, de même sens et de même grandeur.

Par analogie avec ce que nous avons déjà vu, ces plans, qui sont conjugués, sont appelés les *plans principaux*.

Si, d'autre part, on place l'objet en Q à une distance du foyer F égale à la distance focale, mais du côté opposé au point nodal, la construction montre que l'image se fera, par rapport au foyer F′, du côté opposé au point nodal, la distance F′Q′ étant égale à la distance focale. On voit que l'image qui est de même grandeur est de sens opposé à l'objet.

Les plans perpendiculaires à l'axe passant en Q et Q′, qui sont symétriques des plans principaux par rapport aux plans focaux, sont donc tels que lorsque l'objet est dans le premier, l'image est dans le second, qu'elle a même grandeur que l'objet et qu'elle est de sens contraire.

Ces plans Q′ et Q, qui sont conjugués, sont appelés *plans antiprincipaux* par analogie avec ce qui se présente dans les dioptres.

Le fait qui sert à définir les plans principaux conduit à une autre propriété qui est utilisée dans un certain nombre de cas et qui consiste en ce qu'un rayon incident et le rayon émergent correspondant coupent respectivement les plans principaux N et N′ à la même distance de l'axe et d'un même côté. Si, en effet, nous considérons un objet AB situé