En général, et sauf des cas très exceptionnels, le premier milieu est l'air; les systèmes du premier genre ont alors l'air pour dernier milieu.

Nous examinerons successivement les propriétés les plus importantes de ces deux genres. Comme exemple du premier genre nous étudierons un système formé par la réunion de deux lentilles; comme exemple du second genre un système à trois milieux différents.

429. **Système de deux lentilles.** — Soient deux lentilles caractérisées chacune par ses foyers et ses plans principaux, f_1, f'_1, n_1, n'_1 (fig. 217)

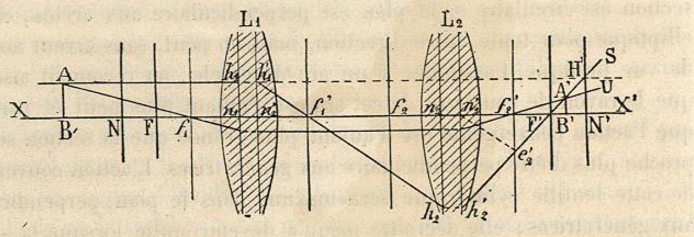

Fig. 217.

pour la première, f_2, f'_2, n_2, n'_2 pour la seconde. Nous allons chercher l'image d'un objet AB, et pour cela nous déterminerons l'image de A, en cherchant les rayons émergents correspondant à deux rayons incidents qui pourraient être quelconques, mais que nous choisirons de manière à simplifier les constructions.

Menons par le point A un rayon parallèle à l'axe XX'; après son passage dans la lentille L, il passe par f'_1, et comme il doit passer au point h'_1, qui dans le plan principal n_1' est à la même distance de l'axe que le point h_1, où le rayon incident rencontre l'autre plan principal, le rayon réfracté est $h'_1 f'_1$. Il rencontre le plan principal de L_2 au point h_2 et doit sortir en passant par h'_2 qui est à la même distance de l'axe; d'autre part, la droite de direction $n'_2 e'_2$, parallèle à ce rayon incident, coupe le plan focal en e'_2 où doit passer le rayon émergent qui est dès lors déterminé en h'_2S.

D'autre part, menons le rayon qui partant de A passe par le foyer f_1 de la lentille L_1; il est rendu horizontal entre les deux lentilles et à l'émergence passe par le foyer f'_2 de la lentille L'_2, il sort donc en k'_2U. Les deux rayons émergents se rencontrent en A' qui est l'image de A et, par suite, A'B' est l'image de AB.

Cette construction donnerait lieu à une discussion analogue à celle de la lentille, car on retrouve évidemment les mêmes éléments. Sans traiter la question complètement, nous déduirons quelques propriétés importantes.

Nous savons déjà d'une manière générale que les rayons parallèles à l'axe à l'incidence donnent à l'émergence un faisceau homocentrique dont le sommet est le foyer principal. Par raison de symétrie ce foyer

est sur l'axe principal; mais le rayon Ah_1 est un des rayons de ce faisceau incident et le rayon h'_2S le rayon émergent correspondant, le point F' où il rencontre l'axe principal est donc le foyer principal du système lorsque la lumière vient de la gauche.

D'autre part, si l'objet se déplace, l'image se déplace, car le rayon Af_1 prend une autre direction; on reconnaîtrait même, comme pour les lentilles, que l'image et l'objet se déplacent dans le même sens. Mais, par contre, quelle que soit la position de l'objet, le rayon Ah_1 ne change pas; il en est donc de même du rayon émergent h'_2S qui est ainsi le lieu géométrique du point A', image de A; cette droite est donc la *caractéristique* de l'objet par rapport au système, pour employer la dénomination dont nous avons déjà fait usage plusieurs fois.

Il résulte de là que l'image, en variant de position, reste toujours comprise entre l'axe et la caractéristique. On peut donc facilement trouver la position que doit occuper l'image pour être égale à l'objet et de même sens : il suffit de prolonger la parallèle à l'axe Ah_1 jusqu'à son point H' d'intersection avec la caractéristique; lorsque l'image sera dans le plan N'H' perpendiculaire à l'axe qui passe par ce point, elle sera égale à l'objet. En reprenant la détermination déjà usitée, nous dirons que ce plan est un plan principal.

Comme précédemment, nous appellerons distance focale du système la distance F'N' du foyer au plan principal.

En supposant que la lumière vienne de la droite on trouverait de la même façon un foyer F et un plan principal N.

On démontre aisément, et nous admettrons que :

Les deux distances focales FN et F'N' sont égales;

Les plans principaux N et N' sont conjugués.

En faisant varier la position respective, l'espèce et la distance focale des deux lentilles L_1 et L_2 on obtient des valeurs différentes des distances focales des systèmes et des positions variées des points F,F',N,N'; mais on reconnaît par une discussion complète que, quelles que soient les dispositions obtenues, les points N et N' sont toujours ensemble entre les points F et F', ou ensemble en dehors de l'espace limité par ces points, les distances NF et N'F' étant toujours égales.

430. — Lorsqu'on connaît les plans focaux et les plans principaux d'un système, on peut aisément trouver l'image d'un objet sans avoir besoin de connaître les lentilles composant le système.

Soient F et F' (fig. 218 et 219) les plans focaux, N et N' les plans principaux et AB un objet. Pour trouver l'image du point A, menons d'abord le rayon passant par ce point parallèlement à l'axe : d'une part il doit passer par F', mais d'autre part le rayon incident rencontrant le plan principal N en H, le rayon émergent doit couper le plan principal N' à la même distance de l'axe, soit en H'. Le rayon émergent est donc H'F'S.

Menons ensuite le rayon AF qui à l'émergence doit être parallèle à l'axe; mais, de même que précédemment, il doit passer en K', point situé dans le plan principal N' à une distance égale à celle qui sépare de l'axe le point K où le rayon incident rencontre le plan principal N; le rayon émergent est donc déterminé en K'U. Les deux rayons se rencontrent en A' image de A, et A'B' est l'image de AB.

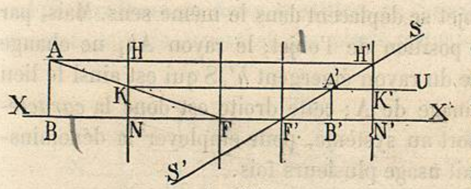

Fig. 218.

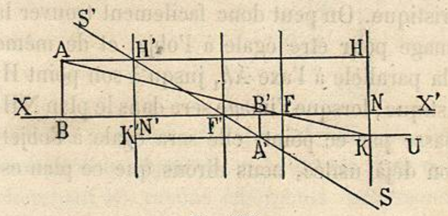

Fig. 219.

On voit, par l'existence de la caractéristique, comment il serait possible de faire la discussion d'un système centré lorsqu'on connaît les plans cardinaux FF'NN', c'est-à-dire comment on pourrait étudier pour les diverses positions de l'objet, la position de l'image, son sens et sa grandeur : la marche serait entièrement analogue à celle que nous avons déjà suivie.

Il manque cependant un élément, dans ce cas, c'est la nature de l'objet et celle de l'image : l'objet est réel jusqu'à la première face de la première lentille et virtuel après : l'image est réelle après la deuxième face de la deuxième lentille et virtuelle avant. Mais la position des plans cardinaux ne fournit aucune indication sur la place occupée par ces faces : cette question ne peut donc être résolue que si on donne celles-ci en même temps que les plans cardinaux.

Dans tous les cas les images situées assez loin vers la gauche sont certainement virtuelles, elles sont en même temps très grandes. Les figures montrent immédiatement que ces images situées entre XF' et S'F' sont renversées (fig. 218) ou droites (fig. 219) suivant que, dans le sens où se propage la lumière, le plan F' est avant le plan N' ou inversement.

431. **Systèmes afocaux.** — Les systèmes de deux lentilles présentent quelques cas particuliers intéressants; nous en signalerons deux.

Considérons d'abord le cas où il y a coïncidence entre les plans focaux f'_1 et f_2 des deux lentilles, cas qui peut se présenter seulement pour deux lentilles convergentes ou pour une lentille convergente et une lentille divergente de moindre distance focale, comme il est facile de s'en assurer (fig. 220 et 221).

En appliquant à ces systèmes la construction précédemment indiquée, on reconnaît que la droite h'_2S, la caractéristique, est parallèle à l'axe et par suite à la droite Ah'_1 : elle ne coupe donc ni l'une, ni l'autre de ces

lignes, et, par conséquent, le système n'a ni foyer, ni plan principal. On reconnaît qu'il en est de même si la lumière arrive en sens contraire; ce système n'a donc ni foyers, ni plans principaux. Pour cette raison un semblable système est dit *système afocal*.

Dans un système afocal on ne peut déterminer l'image d'un objet par la méthode précédemment indiquée puisque les plans cardinaux n'existent pas et il faut suivre la marche des rayons successivement dans les deux lentilles, ce qui donne d'ailleurs une construction très simple.

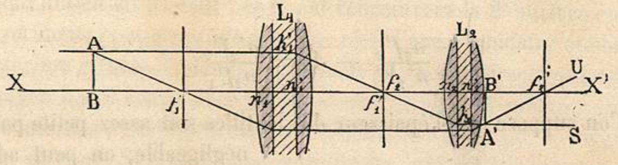

Fig. 220.

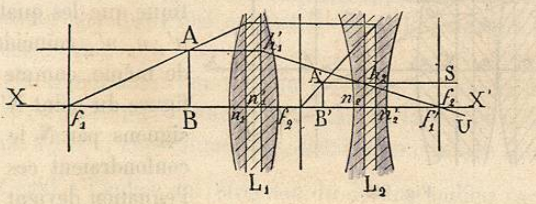

Fig. 221.

La position particulière de la caractéristique montre que, quelle que soit la position de l'image, elle conserve toujours le même sens et la même grandeur : cette propriété intéressante a été utilisée comme nous le dirons plus loin.

Le sens varie suivant le système afocal considéré : les figures 220 et 221 montrent immédiatement que l'image est renversée pour les systèmes de la première espèce et droite pour celles de la deuxième.

432. **Lentilles accolées.** — Considérons le cas où l'on a deux lentilles amenées au contact, ce que l'on appelle des lentilles accolées, pour lesquelles, d'une manière générale, les constructions et les conséquences sont les mêmes que pour un système quelconque, mais qui présentent en outre approximativement une propriété intéressante.

Soient deux lentilles L_1 et L_2 définies comme précédemment; cherchons ce que devient un rayon parallèle à l'axe Ah_1. Nous avons à faire la même construction qu'on peut suivre aisément, car les lettres sont les mêmes que dans le cas précédent. On obtient ainsi le foyer F' et le plan N'.

Déterminons la position de ce point : les triangles semblables $h'_2n'_2$F' et $F'e'_2f'_2$ donnent :

$$\frac{f'_2e'_2}{h'_2n'_2} = \frac{F'f'_2}{n'_2F'}.$$

D'autre part, les lignes $h'_1f'_1$ et $n'_2e'_2$ étant parallèles, les triangles $h_2n_2f'_1$ et $n'_2f'_2e'_2$ sont aussi semblables et l'on a :

$$\frac{f'_2e'_2}{h_2n_2} = \frac{n'_2f'_2}{n_2f'_1}.$$

Comme on a $h'_2n'_2 = h_2n_2$ il vient donc :

$$\frac{F'f'_2}{n'_2F'} = \frac{n'_2f'_2}{n_2f'_1} \quad \text{ou} \quad \frac{n_2f'_2 - n'_2F'}{n'_2F'} = \frac{n'_2f'_2}{n_2f'_1};$$

soit :

$$\frac{n_2f'_2}{n'_2F'} - 1 = \frac{n'_2f'_2}{n_2f'_1}.$$

Si l'on suppose que l'épaisseur des lentilles soit assez petite pour être négligeable, on peut admettre sans erreur sensible dans la pratique que les quatre points n_1, n'_1, n_2, n'_2 coïncident. Il en est de même, comme le montre la figure du point N'. Si nous désignons par N le point où se confondraient ces cinq points, l'équation devient :

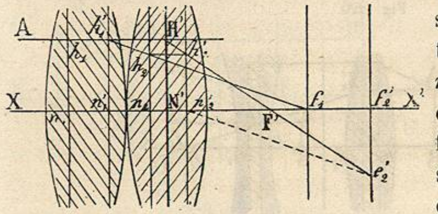

Fig. 222.

$$\frac{Nf'_2}{NF'} - 1 = \frac{Nf'_2}{Nf'_1}; \text{ ou encore : } \frac{1}{NF'} = \frac{1}{Nf'_1} + \frac{1}{Nf'_2}.$$

Mais les quantités $\frac{1}{NF'}, \frac{1}{Nf'_1}, \frac{1}{Nf'_2}$, inverses des distances focales, sont ce que nous avons appelé les puissances de ces lentilles; si nous les désignons respectivement par Π, π_1 et π_2, il vient donc :

$$\Pi = \pi_1 + \pi_2.$$

Si la deuxième lentille avait été divergente, nous serions arrivés à la relation :

$$\Pi = \pi_1 - \pi_2.$$

On peut d'ailleurs réunir ces deux formules en une seule en convenant de considérer comme positive la puissance d'une lentille convergente et comme négative celle d'une lentille divergente. On arrive alors à la règle générale suivante :

La puissance d'un système formé de deux lentilles infiniment minces accolées est égale à la somme algébrique des puissances de chaque lentille.

En particulier si l'on a un système de puissance nulle, on a $\Pi = 0$ et par suite $\pi_1 = - \pi_2$: les deux lentilles composant le système sont d'espèces différentes, l'une convergente et l'autre divergente, mais de même puissance, c'est-à-dire de même distance focale.

433. **Systèmes centrés en général.** — Considérons maintenant le cas où le premier et le dernier milieu sont différents et, par exemple, où l'on a trois milieux distincts séparés par deux surfaces. Soient p_1 la première surface, c_1 son centre, f_1 f'_1 ses foyers; soient de même p_2 la deuxième surface, c_2 son centre, f_2 f'_2 ses foyers.

Considérons un rayon parallèle à l'axe A h_1, il sera réfracté dans le deuxième milieu en passant par f'_1, et rencontrera la 2e surface en h_2. Si par c_2 on mène c_2 e_2 parallèle à f_1' h_2, c'est l'axe secondaire et son point d'intersection e_2 avec le plan f'_2 appartient au rayon réfracté qui est h_1 e_2.

Ce rayon h_2e_2S coupe l'axe principal en F'; pour la même raison que dans le cas des systèmes centrés précédents, ce point est le foyer principal du système. Si on prolonge cette droite, qui est la *caractéristique*, jusqu'à la rencontre de Ah_1 en H', ce point appartient aussi pour les mêmes raisons au plan principal qui est H' P' et la longueur P' F' est la distance focale (429).

En faisant la construction en sens inverse, on trouverait de même l'autre foyer F, l'autre plan principal P. Mais ici la distance focale PF n'est pas égale à P'F'; en évaluant ces distances on trouve que le rapport $\frac{P'F'}{PF}$ est égal à l'indice de réfraction du dernier milieu par rapport au premier, et cela quel que soit le nombre des milieux. Il est remarquable que ce rapport ne dépende pas des milieux interposés, qui influent sur la valeur absolue des distances focales et sur la position des foyers.

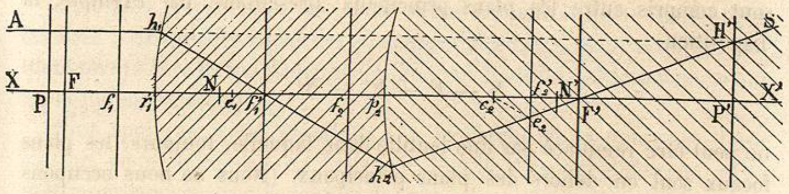

Fig. 223.

On démontre également que si on porte F'N' = F P et FN = F'P', les points N et N' ainsi obtenus sont les *points nodaux*.

Sans qu'il soit nécessaire d'insister on voit que, d'une manière tout analogue à ce que nous avons dit précédemment (430), la connaissance des plans cardinaux d'un semblable système permet de trouver l'image d'un objet sans avoir besoin d'utiliser les dioptres constituant le système.

De même la droite h_2 S qui est la caractéristique permet de discuter les différents cas du système, c'est-à-dire de déterminer la position, le sens et la grandeur de l'image.

Mais, comme dans le cas précédent, la connaissance des plans cardinaux du système ne permet pas de préciser la nature, réelle ou virtuelle, de l'objet et de l'image, nature qui dépend de la position de l'objet par rapport à la première surface, et de celle de l'image par rapport à la dernière surface.

434. **Systèmes équivalents.** — On dit que deux systèmes sont équivalents lorsque, pour une même position quelconque d'un objet, ils donnent au même endroit des images de même grandeur et de même sens.

Puisque dans un système, simple ou composé, la construction de l'image qui donne la position de celle-ci, sa grandeur et son sens, ne dépend absolument que des foyers et des plans principaux, il est évident que pour que deux systèmes soient équivalents, il faut et il suffit qu'ils aient mêmes foyers et mêmes plans principaux.

On reconnaît, par une discussion complète, qu'il y a en général une infinité de systèmes qui sont équivalents entre eux; mais certaines conditions sont nécessaires et on peut immédiatement reconnaître certaines impossibilités.

C'est ainsi qu'un système centré du 1er genre ne peut jamais être équivalent à un dioptre, puisque, dans le premier cas, les distances focales sont égales et qu'elles sont inégales dans le second cas; pour la même raison une lentille ne peut être équivalente à un système centré du 2e genre.

D'autre part un système centré du 1er genre dans lequel les foyers sont compris entre les plans principaux, présentant, par exemple, la disposition :

$$N - F - F' - N',$$

ne peut être remplacé par une lentille dans laquelle, toujours, les plans focaux sont en dehors des plans principaux. (Nous ne nous occupons que des lentilles analogues à celles usitées dans la pratique, dans lesquelles l'épaisseur est petite par rapport aux rayons des faces.)

Si un système du premier genre présente la disposition inverse :

$$F - N - N' - F',$$

analogue à celle qu'on rencontre dans les lentilles, mais si la distance NN' est grande, ce système ne peut être remplacé par une lentille dans laquelle la distance des plans principaux est toujours petite. Mais il peut y avoir équivalence si dans le système centré la distance NN' est petite et du même ordre de grandeur que celle qu'on rencontre dans les lentilles, en pratique.

Pour une raison analogue, en général, un système centré du 2e genre qui a deux points nodaux distincts, ne peut être équivalent à un dioptre dans lequel les deux points nodaux sont confondus en un seul point, le centre.

Mais l'équivalence peut avoir lieu si, par hasard, dans le système centré, les deux points nodaux étaient confondus.

Il peut arriver que, sans être confondus absolument, les deux points nodaux du système centré soient très rapprochés. Dans ce cas, on pourra approximativement remplacer le système centré par un dioptre unique qui aurait pour centre un point situé entre les points nodaux et à égale distance de l'un et de l'autre.

Ce dernier cas est très intéressant à signaler parce que, comme nous le dirons, il se rencontre dans l'œil, ce qui permet d'appliquer à cet organe, système centré complexe, les résultats trouvés pour les dioptres.

435. **Détermination de la puissance d'une lentille, d'un système.** — Il y a diverses méthodes que l'on peut employer pour déterminer la puissance d'un système dioptrique; mais les unes sont plus spécialement applicables aux lentilles, d'autres sont plus générales et peuvent servir dans tous les cas. Nous commencerons par les premières.

On peut déterminer la puissance d'une lentille par une comparaison directe, en se servant de la *boîte d'optique* : on appelle ainsi une collection de verres convergents et divergents de diverses puissances et portant l'indication de leur puissance en dioptries. La collection comprend, en général, les verres de $0^D,25$; $0^D,50$; $0^D,75$; 1^D; $1^D,5$, puis les verres de dioptrie en dioptrie jusqu'à 20^D.

On utilise la propriété que nous avons démontrée pour les lentilles accolées : lorsque deux lentilles d'espèces différentes, étant accolées, forment un système de puissance nulle, les deux lentilles ont la même valeur de la puissance (432).

Pour appliquer cette propriété à la recherche de la puissance d'une lentille, on prendra dans la boîte une lentille d'espèce différente qu'on mettra au contact avec la lentille donnée, et on s'assurera si le système ainsi constitué a une puissance nulle ou non; si la puissance n'est pas nulle, on changera le verre numéroté jusqu'à satisfaire à cette condition. Quand on aura atteint ce résultat, le numéro du verre employé donnera immédiatement la puissance de la lentille.

Comment peut-on être assuré qu'un système ainsi constitué a une puissance nulle? Théoriquement on pourrait le reconnaître en ce que l'interposition d'un système qui n'a pas une puissance nulle change la grandeur des images, et cette condition peut être appliquée pratiquement lorsque la puissance n'est pas petite; elle est insuffisante lorsque le système n'a qu'une faible valeur, ce qui arrive dans l'expérience en question lorsque les verres accolés sont près de se compenser; aussi faut-il avoir recours à un autre caractère.

Lorsqu'un système est interposé entre un point et l'œil, l'observateur voit non plus ce point mais son image; cette image se fait sur la droite de direction parallèle à celle qui passe par le point. Si, le point restant fixe, on déplace le système, les droites de direction changent et il en est de même de l'image observée. Il n'y a rien de semblable, si le système n'a pas de puissance; il se comporte alors comme une lame à faces parallèles et son interposition ou ses déplacements ne modifient en rien les faisceaux qui arrivent à l'œil.

Il suffira donc de placer les deux verres accolés devant l'œil et de regarder un objet, puis de déplacer latéralement les lentilles : tant qu'on verra l'image se mouvoir, le système aura une certaine puissance. La puissance sera nulle si l'image est immobile, malgré les mouvements communiqués aux verres.

On peut même aisément déterminer si le système est convergent ou divergent. Dans le premier cas, l'image virtuelle qu'on regarde en A′ (fig. 224) est plus éloignée de la lentille que le point A; si on déplace la lentille de manière à amener en $n_1n'_1$ les points nodaux qui étaient en nn', l'image se produira en A'_1, c'est-à-dire qu'elle se sera déplacée en sens contraire du mouvement donné au système.

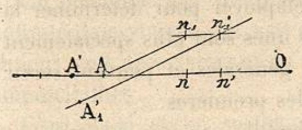

Fig. 224.

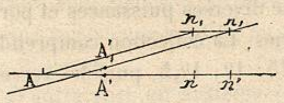

Fig. 225.

Si, au contraire, le système est divergent, l'image A′ (fig. 225) est plus rapprochée que le foyer; le même déplacement du système amène l'image en A'_1; elle s'est mue dans le même sens que le système.

Lors donc qu'en examinant un système formé de la lentille à essayer et d'un verre numéroté, on aura un déplacement de l'image en déplaçant la lentille, non seulement on saura qu'il n'y a pas compensation; mais on saura même quelle lentille est la plus puissante et, s'il faut essayer, dès lors, un verre d'un numéro plus faible ou plus fort.

436. — Cette méthode s'applique aux verres convergents ainsi qu'aux verres divergents; elle est même la plus pratique pour ces derniers. Pour les lentilles convergentes, on peut opérer autrement en utilisant les images réelles qu'elles donnent.

Si on dispose d'un faisceau de lumière parallèle, de la lumière solaire, par exemple, on placera la lentille sur le trajet du faisceau et on cherchera, à l'aide d'un écran, l'endroit où l'on obtient l'image la plus nette. Par cette position, l'écran sera en coïncidence avec le plan focal : on aurait la distance focale en mesurant la distance de ce plan au plan principal, si celui-ci était connu. Il est vrai qu'il n'en est pas ainsi; mais, dans la pratique, le plan principal d'une lentille est assez rapproché de la face correspondante pour que l'on puisse prendre pour distance focale la dis-

tance du plan focal à la face la plus voisine de la lentille. La distance focale étant déterminée, on aura immédiatement la puissance en en prenant l'inverse (423).

On peut également utiliser la propriété des plans antiprincipaux de donner une image égale à l'objet : on prend pour objet une lame translucide sur laquelle sont tracées des divisions égales et qu'on éclaire fortement par derrière. De l'autre côté de la lentille on reçoit l'image réelle sur un écran présentant des divisions égales aux précédentes et l'on cherche par tâtonnement des positions de l'objet et de l'écran, telles que les images des divisions de l'objet coïncident exactement avec les divisions de l'écran. Lorsque cette condition est remplie on est assuré que l'écran et l'objet sont dans les plans antiprincipaux : la distance de ceux-ci est égale à quatre fois la distance focale, plus la distance des plans principaux; mais celle-ci est petite et peut être négligée dans la pratique. Donc, en divisant par 4 la distance mesurée de l'objet à l'écran, on aura très sensiblement la distance focale.

On a construit sous le nom de *focomètres* ou mieux de *phakomètres* des appareils qui permettent d'effectuer commodément la recherche que nous venons d'indiquer. Ils diffèrent les uns des autres par divers détails, notamment par la manière de produire le mouvement simultané de l'objet et de l'écran et d'observer à l'aide d'une loupe ou d'un microscope l'image réelle obtenue pour la comparer aux divisions tracées sur l'écran.

437. — Ces méthodes ne sont pas applicables aux systèmes centrés dans lesquels, au moins en général, la distance des plans principaux n'est pas négligeable. Si dans un pareil système on peut déterminer la position du plan focal par l'emploi d'un faisceau incident parallèle, puis la position du plan antiprincipal comme nous venons de l'indiquer, la distance de ces deux plans donnera la distance focale.

Mais il peut arriver que l'un de ces plans soit virtuel ou qu'ils le soient même tous les deux. On peut trouver encore la distance focale, si le système est susceptible de donner des images réelles d'objets réels, en employant une méthode basée sur une propriété facile à démontrer.

Soit un objet AB (fig. 226) et soit un système centré défini par ses plans cardinaux parmi lesquels il nous suffit de considérer le plan focal F′ et le plan principal correspondant P′. Ces éléments permettent de tracer la caractéristique de l'objet SF′S′ et nous savons que l'image de l'objet est toujours comprise entre cette caractéristique et l'axe XX′. Soient deux images A′B′ et $A'_1B'_1$ correspondant à deux positions différentes de l'objet, positions qu'il est inutile de connaître. Menons A′D parallèle à l'axe : les deux triangles H′P′F′ et A'_1DA' sont semblables; on a donc :

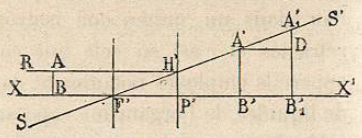

Fig. 226.

$$\frac{F'P'}{A'D} = \frac{H'P'}{A'_1D'},$$

ou en remarquant que $H'P'$ est égal à l'objet AB et que A'_1D est égal à la différence des deux images :

$$\frac{F'P'}{B'B'_1} = \frac{AB}{A'_1B'_1 - A'B'}.$$

L'expérience permet de déterminer $A'B'$ et $A'_1B'_1$, grandeur des deux images réelles que l'on peut recueillir sur un écran et $B'B'_1$ déplacement de l'écran pour passer de l'une de ces images à l'autre. Si donc on connaît AB, on pourra calculer immédiatement $F'P'$, c'est-à-dire la distance focale.

Si celle-ci n'est pas très petite, il sera commode de choisir les images telles que la différence de leur grandeur soit justement égale à l'objet, c'est-à-dire $A'_1B'_1 - A'B' = AB$, car alors on a $B'B'_1 = F'P'$, le déplacement de l'écran est égal à la distance focale cherchée.

Si la distance focale est petite, il y aura intérêt à choisir deux images telles que l'on ait par exemple $A'_1B'_1 - A'B' = 10\ AB$, il viendra alors $B'B'_1 = 10\ F'P'$: la distance focale sera égale à $\frac{1}{10}$ du déplacement de l'écran.

Dans le cas où le système considéré ne donnerait que des images virtuelles des objets réels, on peut employer une méthode analogue, mais elle exige l'emploi de la chambre claire : nous y reviendrons en parlant de cet appareil.

Art. IV. — DOUBLE RÉFRACTION

438. **Action sur la lumière des corps biréfringents.** — Nous avons étudié dans l'article qui précède la réfraction qui se manifeste dans les corps amorphes et nous avons indiqué que les phénomènes obéissaient à d'autres lois dans le cas des corps cristallisés autres que dans les cristaux appartenant au système cubique. En effet lorsqu'un rayon pénètre de l'air dans un milieu non isotrope, il donne naissance à deux rayons réfractés et c'est en cela que consiste la double réfraction. Quelques appareils employés notamment dans l'étude de l'œil et dans les analyses de liquides de l'organisme reposant sur ces phénomènes, il est indispensable de s'en rendre compte en les étudiant au moins sommairement dans ce qu'ils ont d'essentiel.

Pour bien indiquer les caractères de ce phénomène spécial, examinons l'action produite par la réfraction simple dans un cas particulier. Supposons qu'une masse de verre, amorphe, ait été taillée en forme de sphère dont O (fig.227) soit le centre : considérons un rayon lumineux MA arri-

vant en A : la normale en ce point sera le rayon OAL ; le rayon réfracté sera dans le plan d'incidence qui contient le rayon MA et la normale AL, et sa position sera déterminée par la loi de Descartes ou loi des sinus (383). En particulier, si le rayon arrive suivant la normale LA, il pénètre dans la sphère en AB sans déviation. Quelle que soit, d'ailleurs, la direction du rayon incident que nous maintiendrons constante, si nous faisons tourner la sphère autour de son centre de manière que le point d'incidence change à sa surface, le rayon réfracté conserve la même direction, le phénomène est complètement indépendant de la partie de la surface par laquelle pénètre la lumière. On conçoit d'ailleurs qu'il en soit ainsi puisque, la substance réfringente étant isotrope, la lumière trouve les mêmes conditions dans tous les cas.

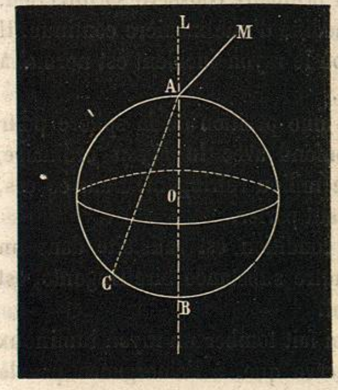

Fig. 227.

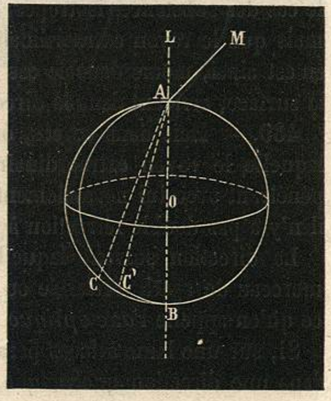

Fig. 228.

Mais il n'en doit pas être de même pour les substances cristallisées et on ne peut prévoir les effets qui se produiront. Nous supposons dans tout ce qui suit que la substance réfringente employée est le spath d'Irlande, carbonate de chaux transparent qui cristallise en forme de rhomboèdre, ce cristal servant presque exclusivement dans les applications pratiques. Si, de même, nous taillons une sphère dans un bloc de spath d'Islande et que, en un point A (fig. 228) de sa surface, nous fassions arriver un rayon lumineux MA dans une direction quelconque, nous observons qu'il donne naissance dans la sphère à deux rayons distincts [1]. L'un de ces rayons AC obéit aux lois de réfraction que nous avons indiquées (383) : il est dans le plan d'incidence, plan qui contient déjà le rayon incident MA et la normale AL et, de plus, si on fait varier l'angle d'incidence MAL, l'angle de réfraction CAB est déterminé par la loi des sinus. Quant à l'autre rayon AC', en général il est dans un plan AC'B différent du plan d'inci-

1. On ne peut, bien entendu, opérer réellement sur des *rayons*, mais seulement sur des *pinceaux* lumineux qu'on prend de petite amplitude.