Art. II. — RÉFLEXION

360. Lois élémentaires de la réflexion. — Les faisceaux lumineux étant considérés comme formés par la réunion de rayons lumineux, il serait facile de déterminer les modifications que subissent ces faisceaux lors de la réflexion et de la réfraction, si on connaissait les changements subis par un rayon dans ces phénomènes, si on connaissait ce qu'on appelle les *lois élémentaires* de la réflexion et de la réfraction. Mais ces lois ne peuvent être déterminées par l'expérience, car par suite d'effets de diffraction, analogues à ceux dont nous avons parlé en traitant de la production des ombres, effets sur lesquels nous reviendrons ultérieurement, si l'on cherche à réduire de plus en plus la section d'un faisceau à l'aide d'écrans percés d'ouvertures décroissantes, on reconnaît que lorsque ces ouvertures deviennent très petites les faisceaux qui les traversent loin de tendre vers la forme d'un rayon changent complètement et cessent de rester des faisceaux définis.

Il est donc nécessaire d'opérer sur des faisceaux, qu'on ne peut cependant comparer à des rayons; des effets observés on cherchera à déduire comment il est possible de concevoir que se comportent les rayons. Les faisceaux qu'il est alors le plus commode d'employer sont les faisceaux parallèles. Nous appliquerons d'abord à la réflexion ces indications qui devront être utilisées ultérieurement pour la réfraction.

361. — Soit un faisceau parallèle RIR_1I_1 (fig. 133) qui rencontre une surface plane réfléchissante MM'; si cette surface n'existait pas, le faisceau se prolongerait avec les mêmes caractères en $IR'I_1R'_1$. L'expérience montre que, après la réflexion, on obtient un faisceau ISI_1S_1, qui, naturellement, a, avec le faisceau incident, la section II_1, qui est commune. En cherchant à caractériser le faisceau réfléchi, on reconnaît qu'il est symétrique du prolongement $IR'I_1R'_1$, du faisceau incident[1] par rapport à la surface réfléchissante plane MM'.

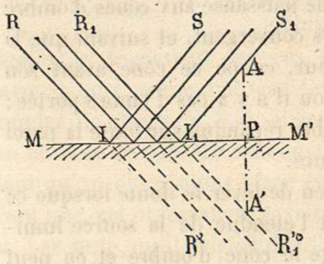

Fig. 133.

On peut vérifier ce résultat, au moins approximativement, en coupant longitudinalement un faisceau parallèle par un écran diffusif et le faisant

1. On dit que deux figures tracées sur un plan sont symétriques par rapport à une ligne MM' de ce plan, lorsque, pliant le plan suivant cette ligne, les deux figures peuvent se superposer.

On sait que pour que cette condition soit remplie, il faut que les points appartenant à ces figures soient deux à deux sur une même droite AA' perpendiculaire à l'axe de symétrie MM' et que les distances AP, A'P de ces points au pied de la perpendiculaire soient égales.

réfléchir sur une surface plane, polie, perpendiculaire à l'écran : le faisceau réfléchi se dessine nettement et on peut reconnaître qu'il satisfait bien à la condition que nous venons d'indiquer.

En admettant comme nous le faisons qu'un faisceau parallèle est constitué par l'assemblage de rayons parallèles entre eux, on est naturellement conduit à penser que chacun de ces rayons, s'il pouvait être isolé, se comporterait de la même façon; que si, par suite, on avait un rayon incident RI (fig. 134), rencontrant en I la surface réfléchissante MM', le rayon réfléchi IS serait symétrique par rapport à MM' du prolongement IS' du rayon incident.

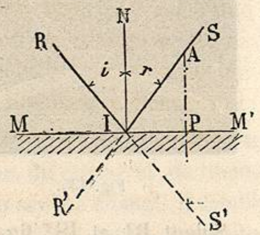

Fig. 134.

Ce résultat peut évidemment s'énoncer autrement, car si IS est le symétrique de IS', prolongement du rayon incident, ce dernier RI est nécessairement symétrique du prolongement $R'I$ du rayon réfléchi. On peut donc donner comme loi élémentaire de la réflexion, loi de la réflexion d'un rayon, l'un des deux énoncés suivants :

Le rayon réfléchi sur une surface plane est le symétrique du prolongement du rayon incident.

Le rayon réfléchi sur une surface plane est le prolongement du symétrique du rayon incident.

Ces énoncés qui, au fond, sont identiques, conduisent à diverses autres formes qu'il est facile d'en déduire; sans en donner la démonstration géométrique, d'ailleurs très simple, nous dirons que de la règle que nous venons d'indiquer on passe aisément aux lois suivantes qui sont celles qui sont énoncées dans les cours classiques et dans lesquelles on désigne sous le nom d'angle d'incidence i et d'angle de réflexion r les angles RIN et NIS que font avec la normale au point I d'incidence le rayon incident et le rayon réfléchi.

1^re^ Loi. *Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale à la surface réfléchissante sont dans un même plan.*

2^e^ Loi. *L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.*

Comme nous l'avons rappelé, il est toujours facile de trouver le symétrique d'une droite IS' (fig. 134), par exemple : d'un point quelconque A' de IS', on abaisse $A'P$ perpendiculaire à MM' et on prolonge cette droite d'une quantité PA égale à $A'P$; le point A est symétrique de A', le rayon réfléchi doit donc passer en A, mais comme il doit aussi passer en I, il est déterminé et s'obtient en joignant IA.

Nous avons considéré une surface plane pour la réflexion d'un *faisceau* parallèle et nous en avons déduit la loi élémentaire pour la réflexion d'un *rayon* sur une surface plane; mais on voit, d'après l'énoncé, que dans ce dernier cas, la détermination du rayon réfléchi ne dépend que des angles faits avec la normale. On comprend donc aisément que si le rayon incident AB rencontre une surface courbe MM′ (fig. 135), celle-ci pourra être considérée comme remplacée au point d'incidence par une petite facette plane appartenant à son plan tangent PP′, car la réflexion ne peut dépendre que de la direction de la partie réfléchissante au point même d'incidence. La perpendiculaire au plan tangent en B est la normale à la surface courbe : les lois seront donc les mêmes que dans les cas précédents.

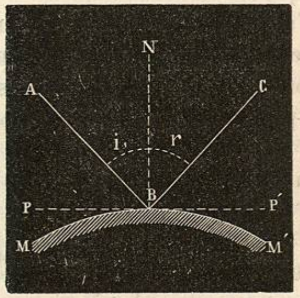

Fig. 135.

362. **Reversibilité.** — L'égalité des angles d'incidence et de réflexion conduit à un résultat très important :

Soient RI et IS (fig. 134) un rayon incident et le rayon réfléchi correspondant sur une surface plane ou courbe : nous supposons que la lumière marche de R vers I, puis vers S. Considérons maintenant, sur la même surface réfléchissante, un rayon incident qui arriverait suivant SI : le nouvel angle d'incidence est le même que l'ancien angle de réflexion. Il en résulte, en vertu de la deuxième loi, que le nouvel angle de réflexion doit être égal à l'ancien angle d'incidence, que, par suite, IR est le nouveau rayon réfléchi.

Ainsi la figure ne change pas, quel que soit le sens dans lequel se propage la lumière : si RI est le rayon incident, IS est le rayon réfléchi ; si SI est le rayon incident, le rayon réfléchi est IR.

Cette propriété, que nous retrouverons dans la réfraction, constitue ce qu'on appelle la *reversibilité* dans la réflexion. Elle peut se traduire matériellement en disant qu'une figure, représentant la marche de rayons dans la réflexion, ne change pas, quel que soit le sens qu'on attribue à la propagation de la lumière.

363. **Réflexion des faisceaux.** — La connaissance des lois élémentaires est sans intérêt direct, puisqu'on ne peut observer de rayons lumineux ; mais ces lois doivent servir à prévoir ou à expliquer les phénomènes qui se produisent pour des faisceaux de formes diverses.

Nous n'avons pas à revenir sur le cas des faisceaux parallèles, puisque c'est l'observation de ces faisceaux qui conduit à énoncer les lois élémentaires. Examinons ce qui se passe dans le cas de faisceaux homocentriques divergents et convergents.

Soit d'abord un point lumineux A (fig. 136) qui envoie sur un miroir plan MM′ un faisceau divergent ABC ; en nous appuyant sur la deuxième règle que nous avons donnée, nous pouvons aisément construire le rayon réfléchi correspondant à un rayon incident quelconque, à AB par exemple. Nous déterminerons le point A′, symétrique de A, nous le

joindrons à B et le prolongement BD de cette droite sera le rayon réfléchi. La construction serait la même pour un autre rayon quelconque ; on voit donc que les directions de tous les rayons iront passer au point A′, que ces rayons constitueront donc un faisceau qui sera homocentrique comme le faisceau incident ; il sera de plus divergent comme celui-ci ; et de plus, si on convient de définir, de mesurer la divergence par l'angle des rayons extrêmes, on voit que cet angle est le même pour le faisceau réfléchi et le faisceau incident, c'est-à-dire que la divergence est la même.

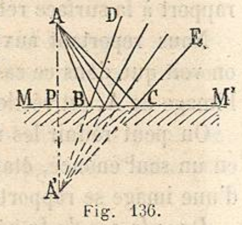

Fig. 136.

Ainsi un faisceau homocentrique, divergent, donne après réflexion sur une surface plane un faisceau homocentrique, divergent et de même divergence que le faisceau incident : la direction seule a changé, il semble que c'est le même faisceau qui continue après s'être coudé, pour ainsi dire, sur le miroir. Quant à la nouvelle direction, elle est déterminée par ce que le sommet du nouveau faisceau est le symétrique de l'ancien sommet par rapport à la surface réfléchissante.

Si le faisceau réfléchi arrive à l'œil O (fig. 137) d'un observateur, celui-ci sera impressionné comme si la lumière venait du point A′ : le point A′ est l'image par réflexion sur le miroir plan du point A, et d'après ce que nous avons dit (352), c'est une image virtuelle.

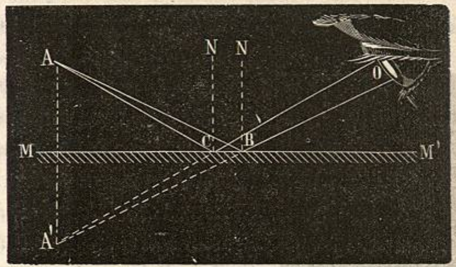

Fig. 137.

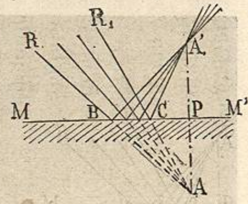

Fig. 138.

Si le faisceau incident est convergent RBR_1C (fig. 138), son sommet étant en A, point lumineux virtuel (351), on obtiendra un rayon réfléchi quelconque, celui par exemple qui correspond au rayon incident RB ; en appliquant la première règle : BA est le prolongement du rayon incident, soit A′ symétrique du point A, la droite BA′, symétrique du prolongement BA, est le rayon réfléchi. La même construction s'appliquerait aux autres rayons : on voit donc que tous ils passent en A′. On conclut immédiatement que le faisceau réfléchi est homocentrique et convergent comme le faisceau incident et que le degré de convergence (mesuré par l'angle des rayons extrêmes) n'a pas changé. Tout se passe comme si le faisceau incident s'était coudé par la réflexion, comme s'il avait seulement changé de direction en conservant ses caractères. La direction est déterminée par ce que le sommet du faisceau réfléchi est symétrique par rapport à la surface réfléchissante du sommet du faisceau incident.

Nous reportant aux définitions que nous avons données (351, 352), on voit que dans ce cas le point lumineux A est virtuel et que A′, qui est l'image de A, est réelle.

On peut réunir les résultats concernant les images dans les deux cas en un seul énoncé, étant entendu que la *nature* d'un point lumineux et d'une image se rapporte à la réalité ou à la virtualité.

Dans le cas de la réflexion sur un miroir plan, le point lumineux et son image, symétriques par rapport à la surface réfléchissante, sont de nature opposée.

En s'appuyant sur la reversibilité des faisceaux, il eût été possible de supprimer la deuxième démonstration : il eût suffi, en effet, de reprendre la figure 136, et de supposer que la lumière, au lieu de se propager de gauche à droite, se propageait de droite à gauche. Les conclusions étaient immédiates, sans nouvelle construction.

364. — Bien que quelquefois on ait à considérer des points lumineux isolés, en général ce sont des objets que l'on observe : mais, comme nous l'avons indiqué, on passe aisément du premier cas au second, en remarquant qu'on peut considérer un objet lumineux comme formé de points lumineux juxtaposés.

Soit donc un objet lumineux AB (fig. 139) placé devant une surface plane réfléchissante MM′. Pour chacun des points de cet objet, nous aurions à répéter ce que nous avons dit précédemment, et nous serions conduit à conclure qu'il arrive à l'œil de l'observateur une série de faisceaux divergents qui donnent la même impression que s'ils venaient respectivement des divers points de A′B′, cette figure A′B′ étant symétrique de l'objet AB par rapport à MM′, puisqu'elle est formée par la réunion des symétriques des divers points de AB.

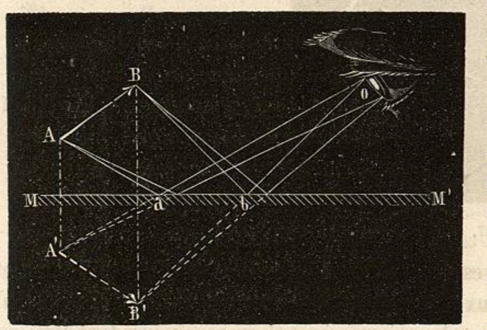

Fig. 139.

L'image A′B′ est égale à l'objet AB comme symétrique ; — elle est virtuelle, comme formée par la réunion d'images virtuelles de différents points. Il reste à indiquer un caractère, le *sens* de l'image, caractère qui

est déterminé ici par le fait même de la symétrie, mais pour lequel il convient de donner une définition générale.

En supposant un observateur placé de manière à voir simultanément l'objet et l'image, on dit que :

L'image est droite, ou de même sens que l'objet, si les points se correspondant dans l'objet et dans l'image sont d'un même côté par rapport à l'observateur.

L'image est renversée, ou de sens contraire à l'objet, si les points se correspondant dans l'objet et dans l'image sont de part et d'autre par rapport à l'observateur.

Dans le cas qui nous occupe, l'image est donc *droite*.

On pourrait directement ou par reversibilité examiner le cas où on a un objet *virtuel*, c'est-à-dire où on a un certain nombre de faisceaux convergents tombant sur la surface plane réfléchissante. On reconnaîtrait aisément que les résultats sont les mêmes, si ce n'est que l'image obtenue est réelle.

On peut alors réunir les deux cas en un seul énoncé général :

L'image d'un objet fournie par une surface réfléchissante plane est symétrique de l'objet par rapport à cette surface, et par suite de même grandeur ; elle est de nature opposée et de même sens.

365. **Champ d'un miroir.** — Si un point lumineux A (fig. 136) est placé en face d'une surface plane réfléchissante indéfinie, il est aisé de reconnaître que tous les points de l'espace situés du même côté de la surface réfléchissante que A peuvent être éclairés par A après réflexion, c'est-à-dire peuvent recevoir un rayon de lumière émané de A, puis réfléchi sur cette surface.

Mais il n'en est plus ainsi si la surface réfléchissante plane est un miroir limité MM′ (fig. 140) : la seule lumière qui puisse être réfléchie est celle qui correspond à des rayons émanés de A et rencontrant le miroir, à des rayons compris à l'intérieur du cône incident AMM′. Si nous déterminons le point A′ symétrique de A, le cône réfléchi est MSM′S′ ayant A′ pour sommet et partant de MM′. Tous les points compris dans ce cône (ou plutôt dans ce tronc de cône) pourront recevoir de la lumière émanée de A et réfléchie sur le miroir ; les points en dehors ne pourront en recevoir. L'espace compris dans le tronc de cône MSM′S′ est dit le *champ* du miroir correspondant au point lumineux A.

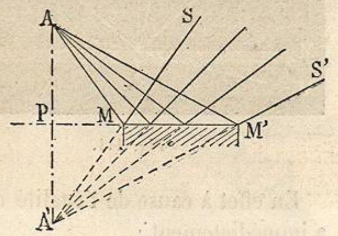

Fig. 140.

Il importe de remarquer que c'est aussi dans cet espace que doit être placé l'œil d'un observateur pour voir l'image A′ ou, comme on dit encore, pour voir le point A par réflexion. La condition pour qu'un point soit éclairé par une source lumineuse ou pour qu'un observateur ayant son œil en ce point puisse voir la source est la même : il faut que la lumière puisse venir de la source à ce point sans être interceptée sur son parcours par un obstacle opaque quelconque.

Soit, d'autre part, un observateur placé devant une surface réfléchissante ; si celle-ci est indéfinie, l'observateur pourra voir par réflexion sur cette surface un point quelconque de l'espace situé au-dessus, c'est-à-dire qu'il y a toujours un rayon qui partant du point arrive à l'œil après s'être réfléchi. Mais il n'en est plus nécessairement ainsi lorsque la surface réfléchissante est limitée et l'on peut se demander comment est déterminé le champ du miroir, c'est-à-dire la partie de l'espace qui comprend les points que l'observateur peut voir par réflexion.

La solution de la question se déduit immédiatement du cas précédent, par reversibilité. Tous les rayons compris à l'intérieur du tronc de cône SS'MM' (fig. 140) et dont les directions vont passer par son sommet A' se réfléchissent de manière à passer en A. Donc tous les points compris à l'intérieur de ce tronc de cône peuvent être vus par un observateur dont l'œil est en A.

366. **Miroir tournant.** — L'effet de la rotation d'un miroir mérite d'être étudié au moins sommairement, à cause des applications dans lesquelles cet effet est utilisé.

Considérons un rayon incident arrivant dans une direction invariable SI (fig. 141) et qui se réfléchit sur le miroir MM_1, dans la direction IR. Supposons que le miroir tourne autour du point d'incidence I d'un angle α et prenne la position $M'M'_1$: la normale qui était IN viendra en IN' en tournant également d'un angle α ; enfin le rayon réfléchi viendra en IR' ; il est facile de démontrer que l'angle RIR' dont a tourné ce rayon est double de l'angle α dont a tourné le miroir.

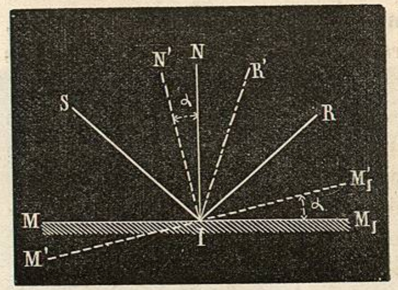

Fig. 141.

En effet à cause de l'égalité des angles d'incidence et de réflexion, on a immédiatement :

$$SIR = 2\ SIN$$
$$SIR' = 2\ SIN',$$

et, en retranchant,

$$SIR - SIR' = 2\ (SIN - SIN'),$$

ou

$$RIR' = 2NIN' = 2\alpha.$$

Inversement, on voit par reversibilité que pour que deux rayons incidents RI et R'I, tombant sur un miroir dans deux positions différentes MM et M'M', se réfléchissent suivant la même ligne IS, il faut que l'angle de ces rayons soit le double de l'angle dont a tourné le miroir.

Ces propriétés sont utilisées pour la mesure de la rotation de pièces quelconques auxquelles on peut adapter un miroir, par exemple dans les galvanomètres. Un miroir léger est attaché verticalement au système des deux aiguilles qui est suspendu à un fil fin de cocon. A quelque distance en face du miroir et presque à la même hauteur on place une source de lumière, une lampe L (fig. 142), derrière un écran F muni d'une fente r qui laisse passer un mince faisceau de lumière. Ce faisceau se réfléchit sur le miroir et vient donner une tache lumineuse sur une échelle graduée ST placée au-dessous de la fente ; quand les aiguilles du galvanomètre tourneront, entraînant le miroir, le rayon incident étant invariable, le rayon réfléchi changera de direction et la tache lumineuse se déplacera sur l'échelle. La mesure de ce déplacement permet de calculer l'angle dont a tourné le rayon réfléchi et en en prenant la moitié, on a l'angle dont a tourné le miroir et par suite l'aiguille du galvanomètre.

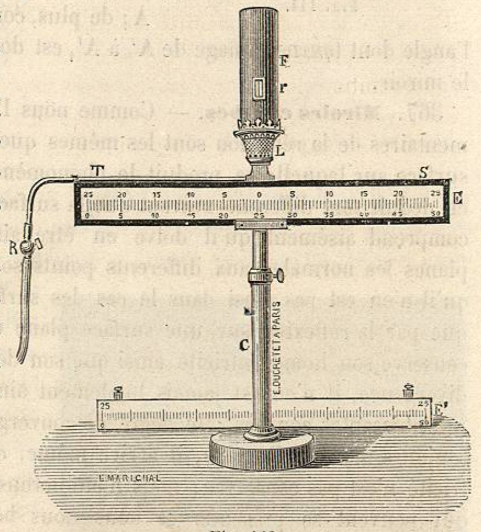

Fig. 142.

Dans d'autres cas, c'est la proposition inverse qui est utilisée : le galvanomètre à miroir est placé de même devant une échelle graduée (fig. 143) ; mais la lampe est supprimée et est remplacée par une lunette de position fixe. Un observateur regardant dans cette lunette voit, par réflexion, une division déterminée de l'échelle ; si le miroir tourne, le rayon réfléchi devant conserver la même direction, celle de la lunette, c'est une autre division de l'échelle qui sera vue, correspondant à un autre rayon incident. La détermination de l'angle de rotation se fera d'ailleurs comme dans le cas précédent, puisque la relation géométrique est la même.

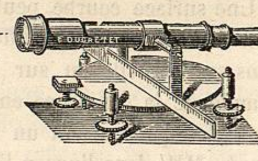

Fig. 143.

Considérons maintenant un point lumineux A devant un miroir MM′ (fig. 144) : un observateur, convenablement placé, voit son image en A′ symétrique de A par rapport à MM′; si le miroir tourne et vient en M_1,M'_1, l'observateur verra l'image de A en A′, symétrique de A par rapport à M_1,M′. La symétrie des images entraîne l'égalité des droites AI, A′I, A'_1I, c'est-à-dire que l'image se déplace sur une circonférence ayant le point I pour centre et passant par le point A; de plus, comme dans le cas précédent, l'angle dont tourne l'image de A′ à A'_1 est double de l'angle dont tourne le miroir.

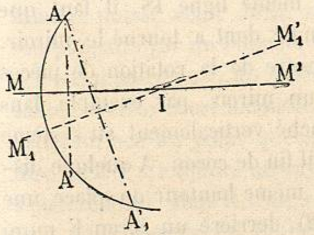

Fig. 144.

367. **Miroirs courbes.** — Comme nous l'avons indiqué, les lois élémentaires de la réflexion sont les mêmes quelle que soit la forme de la surface sur laquelle se produit le phénomène, mais les résultats qu'on en déduit sont différents suivant que la surface est plane ou courbe : on comprend aisément qu'il doive en être ainsi, car dans les surfaces planes les normales aux différents points sont toutes parallèles, tandis qu'il n'en est pas ainsi dans le cas des surfaces courbes. Aussi, tandis que par la réflexion sur une surface plane un faisceau homocentrique conserve son homocentricité ainsi que son degré de convergence ou de divergence, il n'en est jamais totalement ainsi dans le cas de surfaces réfléchissantes courbes : le degré de convergence ou de divergence est toujours modifié. De plus, il arrive même, en général, que l'homocentricité n'est pas conservée; nous n'étudierons pas d'ailleurs tous les cas qui peuvent se présenter et nous nous bornerons à examiner ceux pour lesquels le faisceau réfléchi est homocentrique, sinon exactement, du moins approximativement, c'est-à-dire les cas dans lesquels les rayons réfléchis se coupent en des points très voisins les uns des autres.

Une surface courbe peut, au point de vue de la réflexion, être utilisée de deux manières différentes, suivant que la lumière la rencontre dans sa concavité ou sur sa convexité. On peut aisément se rendre compte de la différence en examinant, même sans construction rigoureuse, ce que devient un faisceau parallèle qui rencontre une surface courbe MM′ dans l'un ou l'autre cas. Dans le cas de la surface concave (fig. 145), on voit que les normales se rapprochent les unes des autres et qu'il en est de même des rayons réfléchis qui constituent ainsi un faisceau convergent. L'effet inverse se produit dans le cas de la surface convexe (fig. 146), le faisceau réfléchi est formé de rayons qui s'éloignent les uns des autres, il est divergent.

A cause de cette action sur les faisceaux parallèles, on dit que les surfaces réfléchissantes concaves sont *convergentes* et que les surfaces convexes sont *divergentes*.

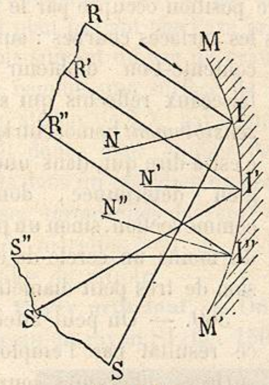

Fig. 145.

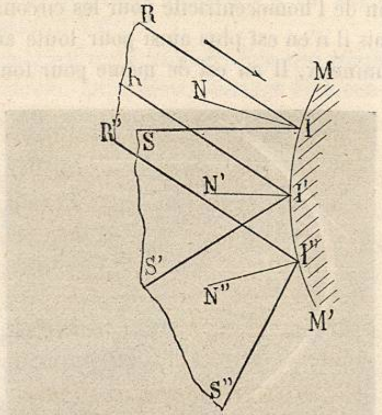

Fig. 146.

368. — En général, lorsqu'un faisceau homocentrique se réfléchit sur une surface courbe, le faisceau réfléchi qui lui succède n'est pas homocentrique. Cependant cette condition se trouve quelquefois réalisée exactement : c'est par exemple le cas des miroirs elliptiques (fig. 147); lorsqu'un point lumineux est placé à l'un des foyers F et envoie sur le miroir un faisceau divergent, après réflexion tous les rayons vont concourir en F′ [1]. Le faisceau réfléchi est donc homocentrique et a son sommet en F′; conformément à ce que nous avons dit, le point F′ est l'image du point F.

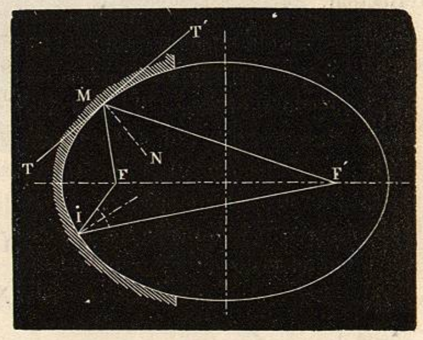

Fig. 147.

Cette propriété a été ingénieusement utilisée dans le *speculum auris* de Ratel pour éclairer la membrane du tympan; nous y reviendrons.

De même dans le cas d'un miroir parabolique (fig. 148), si un point lumineux est placé au foyer F, le faisceau divergent qu'il envoie sur la surface réfléchissante est transformé par la réflexion en un faisceau parallèle à l'axe. Cette disposition est fréquemment employée pour éclairer à distance un objet à l'aide d'une source lumineuse.

1. Ce résultat est dû à la propriété connue de l'ellipse que les rayons vecteurs FM, F′M, aboutissant à un point M de la courbe, font des angles égaux avec la tangente TT′ au point M et, par suite, aussi avec la normale MN au même point.

Dans ce dernier cas, comme dans le précédent, il y a donc conservation de l'homocentricité pour les circonstances que nous avons indiquées; mais il n'en est plus ainsi pour toute autre position occupée par le point lumineux. Il en est de même pour toutes les surfaces courbes : aussi se contente-t-on d'obtenir des faisceaux réfléchis qui soient *sensiblement* homocentriques, c'est-à-dire qui, dans une région déterminée, donnent comme section, sinon un point, du moins un cercle de diffusion de très petit diamètre.

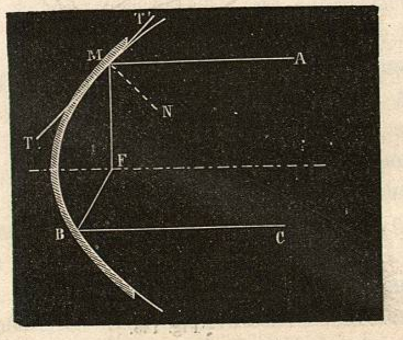

Fig. 148.

369. — On peut atteindre ce résultat par l'emploi de surfaces sphériques convenablement choisies; comme, d'autre part, ces surfaces sont les plus faciles à tailler, ce sont d'elles qu'on se sert presque exclusivement. Il en est de même d'ailleurs, comme nous le dirons, pour la réfraction.

Il est quelques dénominations, se rapportant à l'emploi de ces surfaces sphériques, qui sont fréquemment employées; nous allons les indiquer.

Les surfaces sphériques en usage sont des calottes sphériques détachées d'une sphère par un plan MBM′ (fig. 149) qui est dit la *base* du miroir : le centre C de la sphère est désigné sous le nom de *centre de courbure* ou simplement *centre* du miroir ; la droite XX′ abaissée du centre C sur le plan de la base est l'*axe principal*, et le point P où cet axe rencontre la surface de la sphère est le *pôle* ou *sommet* du miroir. Toute autre droite YY′ passant par le centre C est un *axe secondaire*; il est très important de remarquer que, au point de vue géométrique, l'axe principal et les axes secondaires étant des diamètres de la sphère ont exactement les mêmes propriétés et que, par suite, tout résultat obtenu pour l'axe principal peut être immédiatement étendu à un axe secondaire quelconque.

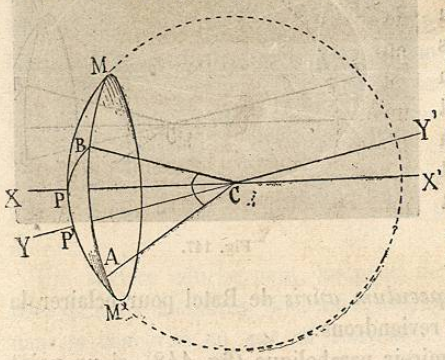

Fig. 149.

Si l'on joint le centre C à un point quelconque A de la base du miroir, la droite CA fait avec l'axe principal un angle PCA qui est le

même pour tout autre point de la base; cet angle est appelé *amplitude* du miroir : en optique, pour des raisons que nous indiquerons, cet angle doit être toujours petit, ne pas dépasser 5 à 6°.

Tout plan passant par l'axe principal est un *plan méridien* qui coupe le miroir suivant un arc de grand cercle. La sphère, pouvant être considérée comme une surface de révolution autour d'un diamètre quelconque, autour de XX′ par exemple, tous les méridiens sont identiques. Il suffit donc, pour étudier l'effet d'un miroir, d'examiner les effets produits dans un méridien quelconque. Ainsi les figures que nous aurons à utiliser seront-elles la représentation seulement de ce qui se passe dans un méridien : on en déduira aisément ce qui se passe pour l'ensemble du miroir.

370. **Foyer principal.** — On démontre, dans les cours élémentaires, que lorsqu'un rayon SI (fig. 150), parallèle à l'axe principal d'un miroir

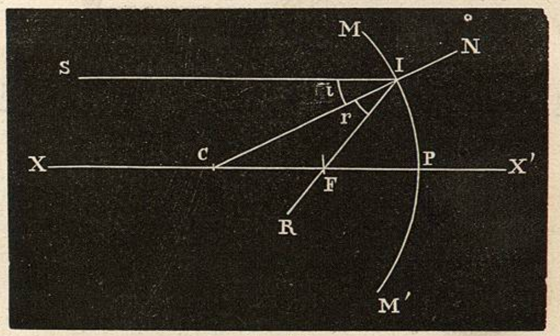

Fig. 150.

sphérique, se réfléchit, en IR, le rayon réfléchi rencontre l'axe en un point F qui est peu éloigné du milieu de la distance CP qui sépare le centre du pôle du miroir. Le point d'intersection est d'autant plus près de ce milieu que le rayon considéré est plus voisin de l'axe.

Si donc on considère un faisceau parallèle à l'axe, les divers rayons qui le composent étant à des distances différentes de l'axe, les rayons réfléchis correspondants ne coupent pas l'axe au même point, le faisceau réfléchi n'est pas homocentrique. Mais, si le miroir a peu d'amplitude, les points d'intersection seront peu distants, et on pourra considérer le faisceau comme sensiblement homocentrique : une étude complète montre que, pour que l'erreur ainsi commise soit négligeable, il faut que l'amplitude du miroir ne dépasse pas 5 à 6°. Le point F, sommet du faisceau réfléchi, est appelé *foyer principal* du miroir.

La distance qui sépare du milieu de CP le point d'intersection le plus éloigné des rayons réfléchis et de l'axe est appelée l'*aberration longitudinale*; on appelle *aberration* du miroir le défaut de ne pas donner un faisceau réfléchi rigoureusement homocentrique. Dans les miroirs que l'on emploie, l'aberration longitudinale doit être très petite, négligeable.

Un miroir dans lequel il n'y a pas d'aberration est dit *aplanétique* : le miroir parabolique (fig. 148) est aplanétique, car de la propriété que nous avons indiquée, on déduit par reversibilité que si le faisceau incident AMCB est parallèle après réflexion tous les rayons passent rigoureusement au point F.

371. — Nous venons d'indiquer les conséquences géométriques de la propriété que nous avons rappelée au commencement du paragraphe précédent : pour se rendre compte de ce qu'on en peut conclure au point de vue physique, il faut étudier séparément le cas du miroir concave et celui du miroir convexe.

1° *Miroir concave.* — Le faisceau incident (fig. 151) est parallèle à

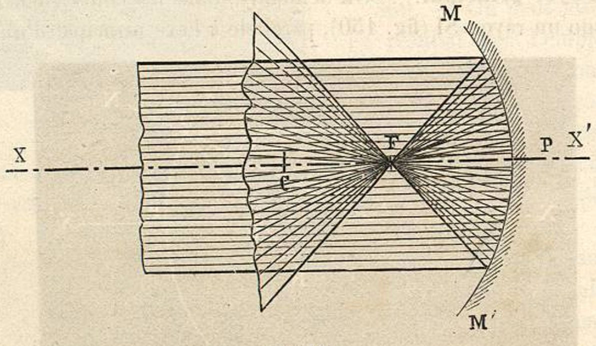

Fig. 151.

l'axe; le faisceau réfléchi a son sommet au foyer principal F situé au milieu de la distance CP, ce faisceau est donc convergent (naturellement il devient divergent au delà de ce point F). D'après ce que nous avons dit, ce cas correspondrait à un point lumineux qui serait situé à l'infini, et le foyer principal est donc ainsi l'image d'un point à l'infini sur l'axe principal : ce foyer est réel (352).

Si nous appliquons la loi de la reversibilité à ce cas, nous pourrons dire que si, inversement, on place en F un point lumineux qui envoie sur le miroir un faisceau divergent, le faisceau réfléchi sera un faisceau cylindrique et parallèle à l'axe.

2° *Miroir convexe.* — Le faisceau incident est cylindrique, parallèle à l'axe (fig. 152) et correspond par suite à un point qui serait situé à l'infini sur l'axe principal; le faisceau réfléchi est un faisceau conique dont le sommet est au foyer principal F; mais ce point étant derrière le miroir, le faisceau réfléchi est divergent, et ce sont, non les rayons réfléchis, mais seulement leurs prolongements qui passent en F : le point F qui, comme dans le cas précédent, est l'image de l'infini, est virtuel (352).

Appliquons la reversibilité à cette figure : il faut que le faisceau incident ait son sommet en F, c'est donc un faisceau convergent, et nous pouvons dire : si sur un miroir sphérique convexe tombe un faisceau

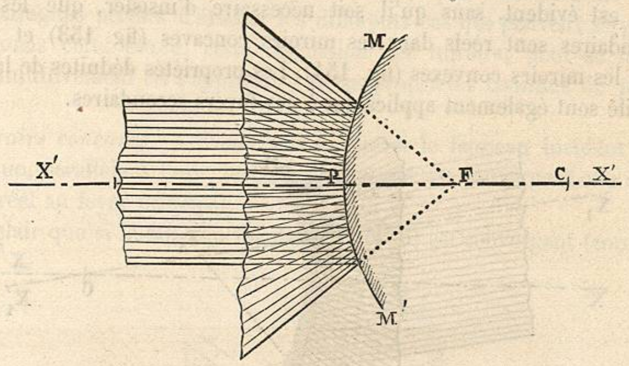

Fig. 152.

convergent dont le sommet est au foyer principal (virtuel), le faisceau réfléchi est cylindrique et parallèle à l'axe. X

372. **Foyers secondaires. Surface focale, plan focal.** — Considérons un faisceau incident cylindrique parallèle, non plus à l'axe principal, mais à un axe secondaire faisant un petit angle avec l'axe principal.

En nous appuyant sur la remarque que nous avons faite sur l'identité de propriétés de l'axe principal et des axes secondaires, nous pouvons étendre au cas actuel le résultat que nous venons de trouver, et conclure que :

Après réflexion, un faisceau cylindrique parallèle à un axe secondaire $X'X'_1$ (fig. 153 et 154) est transformé en un faisceau homocentrique

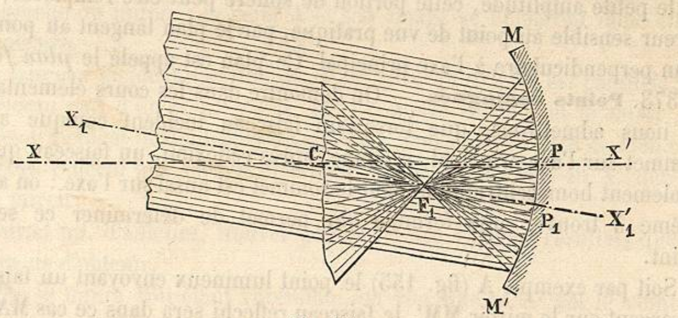

Fig. 153.

dont le sommet est sur cet axe secondaire en F_1, à moitié distance entre le centre et le miroir.

Le point F_1 ainsi déterminé, est un foyer secondaire, il en existe un sur chaque axe secondaire.