

## CHAPITRE II

### RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE

#### I. — RÉFLEXION PAR LES SURFACES PLANES.

756. **Réflexion régulière.** — Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur la surface d'un corps solide opaque, parfaitement poli, ou sur la surface d'un liquide opaque comme le mercure, il n'y a de lumière renvoyée que dans une direction unique. C'est le phénomène de la *réflexion régulière*.

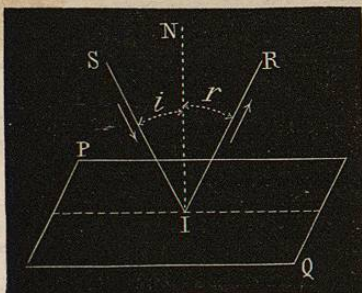


Fig. 566.

On appelle *plan d'incidence*, le plan déterminé par le rayon incident SI (fig. 566) et la normale IN menée à la surface réfléchissante PQ par le point d'incidence; *angle d'incidence*, l'angle SIN formé par le rayon incident et la normale; *angle de réflexion*, l'angle RIN formé par le rayon réfléchi et la normale. — Les lois de la réflexion sont les suivantes :

1° Le rayon réfléchi reste dans le plan d'incidence.

2° L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

757. **Vérifications expérimentales. — Appareil de Silbermann.** — On obtient une vérification de ces lois, au moyen de l'appareil de Silbermann (fig. 567). Un limbe divisé MN présente deux alidades, R, S, mobiles autour de son centre : chacune d'elles porte un diaphragme  $i, i'$ , percé en son milieu d'une petite ouverture; un miroir plan métallique A est fixé au centre du limbe, perpendiculairement au diamètre vertical BB' du cercle. On dirige un faisceau de rayons solaires  $ab$ , au moyen du miroir auxiliaire  $m$ , de manière que la lumière passe par l'ouverture du diaphragme  $i$  et vienne rencontrer

le miroir A au centre  $c$  du limbe. On constate alors que, pour recevoir la lumière réfléchié dans l'ouverture du diaphragme  $i'$ , il faut placer l'alidade R dans une position *symétrique* de S par rapport à BB'.

La normale au point d'incidence A étant parallèle au diamètre BB', on voit : 1° que le faisceau incident et le faisceau réfléchi déterminent un plan qui contient la normale; 2° que l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

758. **Vérification par les observations astronomiques faites au moyen du bain de mercure.** — La vérification suivante est beaucoup plus précise.

— On dispose une lunette IL (fig. 568), mobile sur un cercle divisé vertical, de manière à viser une étoile déterminée. En avant de cette lunette, on place un bain de mercure, dont la surface MN constitue un miroir horizontal, et l'on vise avec la lunette l'image de

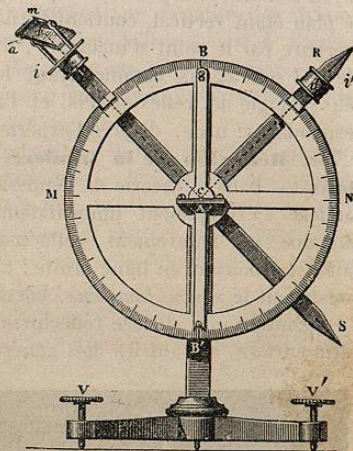


Fig. 567. — Appareil de Silbermann.

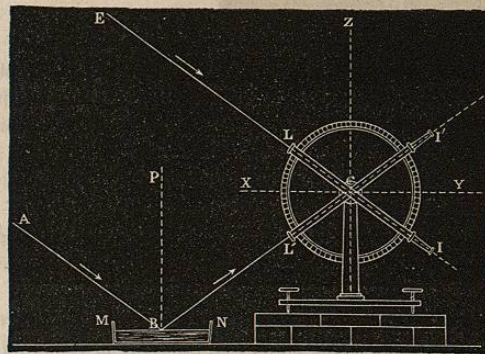


Fig. 568.

la même étoile, formée par réflexion sur le mercure : on constate qu'il faut amener la lunette dans une position  $IL'$ , *symétrique* de IL par rapport au diamètre horizontal XY. — Or : 1° en raison de la grande distance de l'étoile, tous les rayons qu'elle nous envoie doi-

vent être considérés comme parallèles à une même direction EL; par suite, le rayon incident AB est parallèle à EL; donc ce rayon et le rayon réfléchi déterminent un plan parallèle à celui du cercle divisé; ce plan étant vertical, contient la normale BP menée à la surface du mercure par le point d'incidence; 2° l'angle d'incidence ABP et l'angle LCZ sont égaux comme ayant leurs côtés parallèles et de même sens; l'angle de réflexion PBC et l'angle ZCP sont égaux comme correspondants: mais, d'après l'expérience,  $LCZ = ZC'$ ; donc  $ABP = PBC$ .

**759. Réflexion de la lumière, dans la théorie des ondulations.** — Dans la théorie de l'émission, les lois de la réflexion de la lumière s'expliquaient immédiatement. Les particules lumineuses, tant que leur mouvement s'effectuait dans un milieu homogène, devaient se mouvoir en ligne droite: c'est cette trajectoire rectiligne qui constituait le *rayon lumineux*. Lorsque l'une de ces particules venait à rencontrer une surface réfléchissante, elle devait être renvoyée par cette surface, suivant les lois générales du choc des corps élastiques,

c'est-à-dire que sa nouvelle trajectoire, ou le rayon réfléchi, devait rester dans le plan d'incidence, et faire avec la normale un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

Dans la théorie des ondulations, le *rayon lumineux* est la droite menée normalement à la surface de l'onde. Tant que la lumière émanée d'un point A (fig. 569) se propage dans un milieu homogène, les ondes sont limitées par des surfaces sphériques PQ, P'Q', P''Q'', ayant pour centre le point A; les rayons lumineux sont dirigés suivant les rayons mêmes de ces sphères. Lorsque les ondes viennent rencontrer un plan réfléchissant MM', nous avons admis, en étudiant la réflexion des ondes sonores (679), que les *ondes réfléchies* sont limitées par des surfaces sphériques RS, R'S'..., ayant pour centre le point A', symétrique du point A par rapport au plan MM'.

— Considérons, sur le plan MM', le point C qui appartient à la fois à la surface d'onde incidente P''Q'' et à la surface d'onde réfléchie RS. Au point C, le rayon lumineux incident est dirigé suivant la normale à la surface sphérique P''Q'', c'est-à-dire

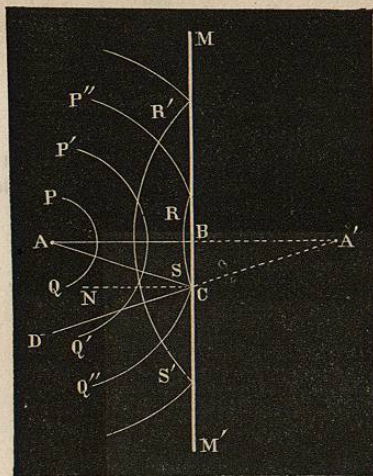


Fig. 569. — Réflexion de la lumière, dans la théorie des ondulations.

suivant AC; le rayon lumineux réfléchi est dirigé suivant la normale à la surface sphérique RS, c'est-à-dire suivant le prolongement CD de la droite A'C. Or si l'on mène en C la normale CN au plan MM', il est aisé de voir, en s'appuyant sur l'égalité des triangles ABC et A'BC, que l'angle de réflexion NCD est égal à l'angle d'incidence NCA. — Les lois de la réflexion de la lumière s'expliquent donc, dans cette théorie, aussi bien que dans la théorie de l'émission.

**740. Miroirs plans.** — Les *miroirs plans* sont des surfaces planes, présentant un poli aussi parfait que possible. — Les miroirs des anciens étaient fabriqués avec un bronze très dur, capable d'acquiescer un très beau poli. On fabrique encore, au Japon, des miroirs *métalliques* de ce genre; ils ont l'inconvénient de se ternir, à la longue, et de perdre ainsi leurs qualités réfléchissantes.

Les miroirs *étamés*, comme ceux qui forment les glaces de nos appartements, sont formés par une lame de verre, à la surface *postérieure* de laquelle est appliquée une couche mince d'étain: cette couche est ce qu'on appelle le *tain* des glaces. C'est à la surface de l'étain que se produit la réflexion, mais le passage de la lumière au travers du verre rend ici le phénomène un peu plus compliqué, comme nous le montrerons plus loin (746).

**741. Image d'un point, par réflexion sur un miroir plan.** — Quand nous regardons dans un miroir plan, nous croyons voir, *derrière le miroir*, les objets lumineux qui sont placés en avant. — Les lois de la réflexion permettent de se rendre compte de cette illusion.

Considérons d'abord un *point lumineux unique* A (fig. 570) placé devant un miroir plan. — Concevons un plan mené par A perpendiculairement au miroir, et prenons ce plan pour plan de la figure: soit MN la section du miroir par ce plan, et AB un rayon lumineux qui y soit contenu. Le rayon réfléchi BC sera également dans le plan de la figure, et il fera avec BP un angle PBC égal à PBA. Or, abaissons du point A sur le miroir une perpendiculaire AI, et prolongeons-la jusqu'à sa rencontre en A' avec le prolongement du rayon réfléchi; les triangles AIB et A'IB sont égaux comme ayant le côté BI commun, et les angles IBA et IBA' égaux comme complémentaires, l'un de l'angle d'incidence, l'autre de l'angle de réflexion: donc

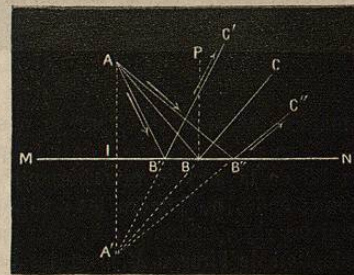


Fig. 570. — Image d'un point, produite par un miroir plan.

$AI = A'I$ . — Le même raisonnement s'applique à un rayon quelconque émané du point A; donc *les prolongements de tous les rayons réfléchis passent au point A', symétrique de A par rapport au plan réfléchissant*. — Or, quand un rayon lumineux arrive à l'œil après avoir subi un ou plusieurs changements de direction, l'impression reçue est toujours celle que produirait un point lumineux, situé quelque part sur le prolongement de la dernière direction de ce rayon. Dès lors, dans le cas actuel, si l'œil est placé de manière à recevoir un certain nombre de rayons réfléchis, tous ces rayons lui paraîtront émaner du point A', qui appartient à la fois à tous leurs prolongements, et qu'on appelle l'image du point A.

742. **Image d'un objet.** — Soit maintenant un objet rectiligne AD (fig. 571), placé devant un miroir plan. Chacun des points de cet objet

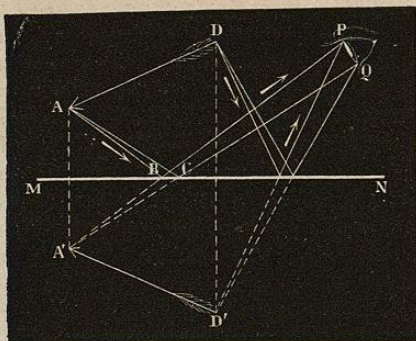


Fig. 571. — Image d'un objet.

ayant son image placée symétriquement par rapport au miroir MN, l'image de la droite AD est une droite A'D', symétrique de AD par rapport à MN. Si enfin on assigne à l'œil de l'observateur une position particulière PQ, et qu'on veuille se rendre compte de la marche des rayons lumineux qui lui donnent la sensation des divers points de cette image, on procédera de la manière suivante. — Pour le point A', par exemple, on joindra d'abord ce point aux bords de la pupille; on déterminera l'intersection BC de la surface réfléchissante avec les arêtes du cône ainsi obtenu; enfin, on joindra les points de cette intersection au point A. Parmi les rayons émis par A, ceux qui concourent, pour l'œil; à la production de l'image A', sont les rayons qui sont contenus dans le cône ABC et qui sont réfléchis par la surface BC vers la pupille PQ. — On procédera de même, soit pour le point D', soit pour tout autre point de l'image.

L'image d'un objet, de figure quelconque, est la figure *symétrique* par rapport au plan réfléchissant; il en résulte qu'elle n'est point généralement superposable à l'objet. C'est ainsi, par exemple, que l'image d'une personne placée devant un miroir ne peut pas être considérée comme la reproduction exacte de la personne elle-même : le côté droit de l'image est l'image du côté gauche de la personne, et réciproquement.

Ces images n'ont d'ailleurs aucune réalité, en ce sens que les points de l'espace où l'œil croit les voir ne reçoivent pas la lumière réfléchie : on les nomme *images virtuelles*.

743. **Champ d'un miroir plan, pour une position déterminée de l'œil.** — L'œil dans une position déterminée, ne peut voir dans un miroir qu'une région déterminée de l'espace : cette région est ce

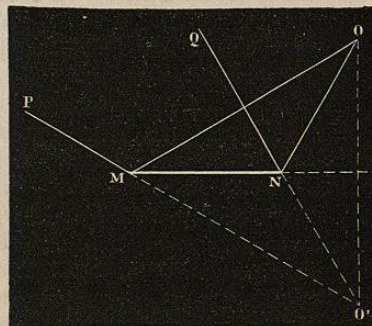


Fig. 572. — Champ d'un miroir plan.

qu'on nomme le *champ* du miroir. — Considérons la pupille comme réduite à un point O (fig. 572) : soit O' le point symétrique par rapport au miroir MN. D'après les lois de la réflexion, les points qui sont visibles du point O, par réflexion, sont aussi ceux auxquels arriveraient, en sens inverse, les rayons émis par le point O et réfléchis par le miroir : dans le plan de la figure, ces points sont ceux qui sont compris, *au-dessus* de MN, dans l'angle PO'Q obtenu en joignant les bords M et N au point O'. — Dans l'espace, le champ est limité par le miroir et par la surface du cône qui a pour sommet O' et dont les arêtes s'appuient sur le contour du miroir. — On voit que le champ varie, pour un même miroir, avec la position de l'œil.

744. **Réflexion à la surface des corps transparents.** — La réflexion peut aussi se produire à la surface des corps transparents, comme l'eau, le verre, etc. Mais ces corps ne réfléchissent, en général, *qu'une partie* de la lumière incidente. Si, par exemple, un rayon lumineux AB (fig. 575) rencontre une surface de verre MN, une portion de la lumière incidente est réfléchie, suivant BC; une autre portion pénètre dans le verre, et, au lieu de continuer sa route suivant BA', elle prend une direction telle que BD : c'est le phénomène de la *réfraction*, que nous étudierons plus loin.

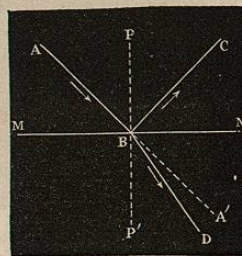


Fig. 575. — Réflexion à la surface d'un corps transparent.

Un caractère essentiel de la réflexion à la surface des corps transparents, c'est que *la proportion de lumière réfléchie augmente avec l'angle d'incidence*. — On peut le vérifier, en recevant, dans une chambre obscure, un faisceau lumineux sur une

lame de verre. Si la lame est presque perpendiculaire aux rayons incidents, le faisceau réfléchi est très peu intense, et le faisceau transmis est presque aussi intense que le faisceau incident. Au contraire, si l'angle d'incidence est voisin de 90 degrés, c'est le faisceau transmis qui a une intensité presque nulle, tandis que le faisceau réfléchi a une intensité presque égale à celle du faisceau incident (\*).

**745. Réflexion irrégulière, ou diffusion.** — Si, dans une chambre complètement obscure, on introduit un faisceau de rayons solaires et qu'on le fasse tomber sur un miroir plan, un observateur placé dans l'appartement ne reçoit de lumière que s'il se trouve dans la direction même des rayons réfléchis suivant les lois indiquées. Au contraire, si le faisceau solaire est reçu sur un mur blanc, la surface éclairée devient visible de tous les points de la chambre; cette surface renvoie donc des rayons lumineux dans toutes les directions. C'est ce qu'on nomme la réflexion irrégulière ou la diffusion. — On peut se rendre compte de ce phénomène, en remarquant que chacune des aspérités d'un corps non poli doit être considérée comme formée par une infinité de petites surfaces planes, diversement orientées, et, par suite, réfléchissant la lumière dans toutes les directions.

C'est grâce à la réflexion diffuse que nous distinguons, pendant le jour, les objets qui nous environnent, et même ceux qui ne reçoivent pas directement la lumière solaire. — Quand le ciel est pur, les objets qui sont éclairés par le Soleil renvoient de la lumière aux autres objets : les objets placés à l'ombre reçoivent alors une lumière adoucie, mais généralement encore assez considérable. — Quand le ciel est couvert, les nuages diffusent la lumière qui leur arrive; dans ce cas, c'est encore la lumière du Soleil qui éclaire les objets situés à la surface de la Terre, mais elle leur parvient dans toutes les directions, en sorte qu'ils ne peuvent plus produire d'ombres.

**746. Images multiples produites par un miroir étamé.** — Un miroir de verre étamé présente, en réalité, deux surfaces capables de réfléchir la lumière, savoir : la face antérieure du verre, et le tain qui est appliqué sur sa face postérieure; aussi, ces miroirs donnent-ils des images multiples.

Considérons ce qui se passe dans un plan mené par un point lumineux A et par l'œil O, perpendiculairement aux deux faces BB' et CC' d'un miroir de verre étamé (fig. 574). — Une première image se forme

(\*) Une observation semblable peut être faite sur une vitre placée dans un lieu éclairé. — Si l'observateur regarde la vitre presque normalement, il ne reçoit que la lumière émise par les objets placés de l'autre côté. — Au contraire, s'il la regarde dans une direction très oblique, il ne reçoit que la lumière émise sur la vitre par les objets placés du même côté que lui. — Dans les directions intermédiaires, il distingue à la fois les objets placés des deux côtés, mais avec des intensités variables, selon la position de l'œil par rapport à la normale menée au point de la vitre vers lequel il est dirigé.

au point a, symétrique de A par rapport à BB' : elle est due à des rayons, tels que Am, réfléchis sur la face libre du verre. — Une deuxième

image a', est produite par des rayons tels que An, qui se réfractent en n et pénètrent dans le verre, puis se réfléchissent en p, et se réfractent une seconde fois en r, pour arriver finalement à l'œil suivant rO. Une troisième image a'' est due à des rayons, tels que AstqxyO, réfléchis deux fois sur la face inférieure et une fois sur la face supérieure; et ainsi de suite. — Chacune des réflexions successives donnant toujours lieu à une perte d'intensité, l'éclat des images qui suivent l'image a' va en diminuant, à mesure qu'elles s'éloignent.

En plaçant, par exemple, une bougie assez près d'une glace d'appartement, et mettant l'œil également au voisinage de la glace, mais assez loin de la bougie, on aperçoit une succession d'images de la flamme, voisines les unes des autres, et d'intensités décroissantes.

**747. Images produites par deux miroirs parallèles.** — Un point lumineux S (fig. 575) étant placé de façon à émettre de la lumière sur

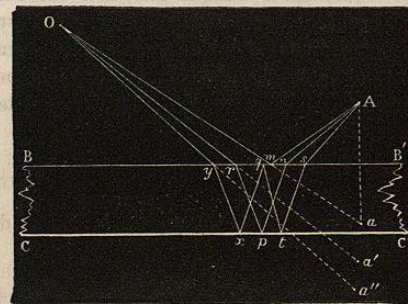


Fig. 574. — Images multiples, produites par un miroir étamé.

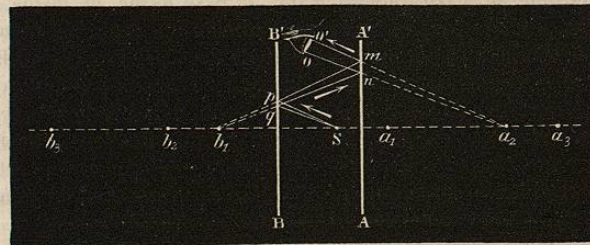


Fig. 575. — Images produites par deux miroirs parallèles.

deux miroirs parallèles, AA', BB', on aperçoit, derrière chacun d'eux, une série d'images dont il est facile de déterminer la disposition.

Et d'abord, les rayons qui arrivent à l'œil après avoir subi une seule réflexion, soit sur l'un des miroirs, soit sur l'autre, donnent les deux images a<sub>1</sub>, et b<sub>1</sub>, respectivement symétriques de S par rapport à AA' et par rapport à BB'. — Pour rendre compte des images que l'on observe

au delà de  $a_1$  et au delà de  $b_1$ , et qui sont produites par des rayons arrivant à l'œil après *plusieurs réflexions successives*, il suffit de remarquer que, après chaque réflexion sur l'un des miroirs, les rayons paraissent diverger d'un point qui est le symétrique, par rapport à ce miroir, du point de divergence immédiatement précédent. — Si  $\alpha$  et  $\beta$  sont les distances de S à AA' et à BB', on obtient ainsi, derrière le miroir AA', des images  $a_1, a_2, a_3, \dots$ , dont les distances au point S sont successivement

$$2\alpha, \quad 2\alpha + 2\beta, \quad 4\alpha + 2\beta, \quad 4\alpha + 4\beta, \quad 6\alpha + 4\beta, \dots;$$

et, derrière BB', des images  $b_1, b_2, b_3, \dots$ , dont les distances au même point S sont :

$$2\beta, \quad 2\beta + 2\alpha, \quad 4\beta + 2\alpha, \quad 4\beta + 4\alpha, \quad 6\beta + 4\alpha, \dots$$

On voit que la distance de deux images consécutives, dans chacune de ces deux séries, est alternativement  $2\alpha$  et  $2\beta$  (\*).

**\* 748. Images produites par deux miroirs faisant entre eux un certain angle.** — Lorsque deux miroirs font entre eux un certain angle, un point lumineux placé dans cet angle donne une succession d'images, disposées en cercle autour de la ligne d'intersection des deux miroirs.

Pour concevoir comment se produisent ces images, prenons d'abord le cas le plus simple, celui de deux miroirs OA et OB formant entre eux un *angle droit* (fig. 576). — Soit S un point lumineux, placé dans cet angle. Il se forme d'abord une image  $a_1$ , produite par des rayons qui ont subi une seule réflexion sur le miroir OA : ce point  $a_1$  est le symétrique de S par rapport à OA. — Il se forme, de même, une image  $b_1$ , produite par des rayons qui ont subi une seule réflexion sur le miroir OB; ce point  $b_1$  est le symétrique de S par rapport à OB. — Mais il se forme encore une autre image  $a_2$ , produite par des rayons qui ont été réfléchis d'abord par le miroir OB, puis par le miroir OA. et qui n'arrivent à l'œil de l'observateur qu'après ces deux réflexions. La figure montre que ces rayons, émis par le point S, se comportent, après leur réflexion sur le miroir OB, comme s'ils émanaient du point  $b_1$ ,

(\*) La figure 575 indique la construction à effectuer pour obtenir la marche des rayons qui donnent à l'œil, supposé placé en  $00'$ , la sensation de l'une de ces images,  $a_2$  par exemple. On construit le cône ayant pour base le contour de la pupille et pour sommet le point  $a_2$ ; puis le cône ayant pour base l'intersection  $mn$  du précédent avec AA' et pour sommet  $b_1$ ; enfin, le cône ayant pour base l'intersection  $pq$  de celui-ci avec BB', et pour sommet S: la marche de la lumière, du point S à l'œil, est celle qui est indiquée par les flèches.

Les miroirs ayant toujours des dimensions finies, si l'œil est placé en dehors de l'espace qu'ils comprennent, il pourra se faire qu'on n'aperçoive, dans chacune des séries, qu'un nombre fini d'images, dépendant du *champ* de chacun des miroirs (745).

La construction n'offre, dans chaque cas particulier, aucune difficulté.

symétrique de S par rapport à OB; après leur réflexion sur le miroir OA, ils se comportent comme s'ils émanaient du point  $a_2$ , symétrique de  $b_1$  par rapport à la direction AA'. — Quant aux rayons qui éprouvent une première réflexion sur le miroir OA et une seconde réflexion sur le miroir OB, ils donnent une image au point symétrique de  $a_1$  par rapport à la direction BB': mais, dans le cas particulier que nous considérons, où l'angle des miroirs est droit, ce point se confond avec le point  $a_2$ . — On verra d'ailleurs facilement que, dans ce cas particulier, aucun rayon ne peut subir plus de deux réflexions.

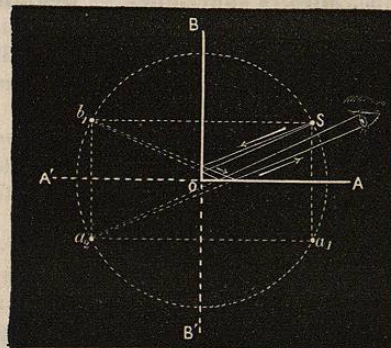


Fig. 576. — Images produites par deux miroirs faisant entre eux un angle droit.

Donc, quand deux miroirs font entre eux un angle droit, l'œil peut apercevoir *quatre fois* un même point lumineux placé dans l'angle des miroirs, savoir : *une fois directement, et trois fois par réflexion*. Les quatre points S,  $a_1, a_2, b_3$ , sont à égale distance du point O : c'est ce qu'il est facile de démontrer; en d'autres termes, ils sont distribués sur une circonférence ayant O pour centre et OS pour rayon (\*).

**749. Kalcidoscope.** — Cet appareil, imaginé par le physicien anglais Brewster, est formé par un tube de carton ou de métal, dans lequel sont fixés deux miroirs inclinés, placés de manière que leur intersection soit dirigée parallèlement à l'axe du tube. L'angle des deux miroirs est de 60 degrés. A l'une des deux extrémités du tube se trouvent de petits fragments de verre, de diverses couleurs, placés entre deux parois de verre ordinaire. L'œil, appliqué à l'autre extrémité du tube, aperçoit, en une sorte de rosace à six compartiments, la figure formée par les fragments de verre, alternant avec la figure symétrique. — En secouant le tube, ou en le faisant tourner sur lui-même, on modifie la disposition des fragments de verre les uns par rapport aux autres, et on peut ainsi faire subir une multitude de transformations à la figure régulière qu'ils forment avec leurs images.

(\*) On trouve que, si l'angle des miroirs est contenu un nombre pair  $2n$  de fois dans quatre angles droits, le nombre des images est égal à  $2n - 1$ ; l'œil aperçoit donc  $2n$  fois le point lumineux, savoir : une fois directement, et  $2n - 1$  fois par réflexion. Ces images sont toujours situées sur une circonférence décrite du point O comme centre avec OS pour rayon.

## II. — MIROIRS SPHÉRIQUES.

750. **Miroirs sphériques. — Définitions.** — Une surface courbe peut, en chacun de ses points, être considérée comme se confondant avec le plan tangent mené par ce point. Tout rayon lumineux qui rencontre une surface courbe se réfléchit donc comme il le ferait sur le plan tangent mené au point d'incidence.

Nous nous bornerons à l'étude des *miroirs sphériques*. — Ces miroirs sont dits *concaves* ou *convexes*, selon que leur face réfléchissante est la face interne ou la face externe de la portion de surface sphérique qui les constitue.

Soit C (fig. 577) le centre de la sphère dont le miroir fait partie, MN la *base* du miroir, c'est-à-dire le plan du petit cercle qui en forme le bord. — La perpendiculaire menée au plan MN, par le centre C de la sphère, prend le nom d'*axe principal du miroir*. Le point O, où l'axe rencontre la surface réfléchissante, est le *sommet* du miroir.

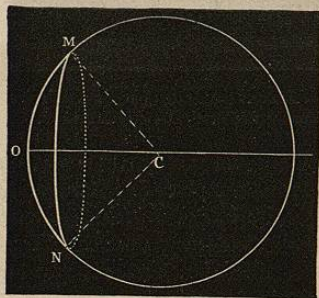


Fig. 577.

Un plan quelconque passant par l'axe, par exemple le plan de la figure, coupe le miroir suivant un arc de grand cercle MON : l'ouverture du miroir est l'angle MCN, formé par les droites menées du

centre aux extrémités de l'arc MN. Nous supposons, dans tout ce qui va suivre, que l'ouverture ne comprenne qu'un *petit nombre de degrés*,

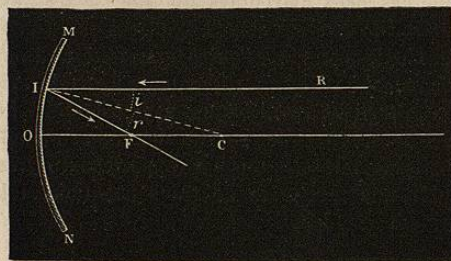


Fig. 578.

ou, en d'autres termes, que le miroir ne représente qu'une petite portion de la surface de la sphère.

751. **Miroirs sphériques concaves. — Foyer principal.** — Soit MON (fig. 578) la section d'un miroir sphérique *concave*, par un plan mené par

l'axe principal; prenons ce plan pour plan de la figure, et soit RI un rayon lumineux parallèle à l'axe. La normale menée au point d'incidence I n'est autre que le rayon IC de la sphère; par suite, le

plan d'incidence se confond avec le plan de la figure et le rayon réfléchi IF est aussi contenu dans ce plan. — Soit F le point où ce rayon coupe l'axe principal; l'angle ICF, égal à l'angle d'incidence RIC, est aussi égal à l'angle de réflexion CIF; donc le triangle IFC est isocèle, et FC = FI. Mais, d'autre part, si OI est très petit par rapport à FO et à CO, l'angle en F du triangle IFC diffère très peu de deux angles droits : on a donc, avec d'autant plus d'approximation que le rayon lumineux RI est plus voisin de l'axe, IC = IF + FC; enfin, comme IC est égal à OC, on a :

Donc le point F est sensiblement à égale distance du centre C et du sommet O du miroir.

$$FC = \frac{1}{2} OC$$

Si le miroir n'a, comme nous l'avons supposé, qu'une très petite ouverture, tous les rayons incidents parallèles à l'axe principal seront dans les conditions du rayon RI; donc, après réflexion, ils viendront tous passer au point F, milieu de OC, comme l'indique la figure 579.

— Ce point prend le nom de *foyer principal du miroir*.

Réciproquement, si un point lumineux est placé au foyer principal d'un miroir, tous les rayons émis par ce point sur le miroir seront réfléchis dans une direction parallèle à l'axe principal.

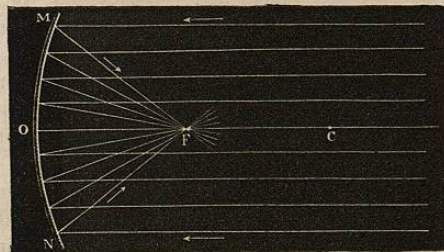


Fig. 579.

Foyer principal d'un miroir sphérique concave.

752. **Aberrations de sphéricité. — Caustiques par réflexion.** — Les approximations par lesquelles nous avons déterminé le point où le rayon réfléchi IF (fig. 578) vient couper l'axe cessent d'être applicables lorsque l'ouverture est assez considérable.

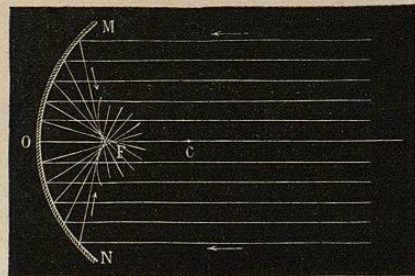


Fig. 580. — Aberration de sphéricité.

Dans ce cas, on reconnaît facilement que, pour des rayons incidents parallèles à l'axe principal, les rayons réfléchis viennent rencontrer l'axe en des

points d'autant plus voisins du sommet  $O$  que l'incidence a lieu plus près du bord. Si donc un semblable miroir reçoit un large faisceau de rayons parallèles à l'axe (*fig. 580*), les intersections successives des rayons réfléchis dessineront, dans un plan passant par l'axe, une courbe lumineuse, formée de deux branches symétriques partant du foyer principal  $F$  : cette courbe se nomme *caustique par réflexion*. — Si maintenant on imagine que le plan de la figure vienne à tourner autour de l'axe du miroir, cette courbe engendrera une surface de révolution dite *surface caustique*. On peut rendre manifeste la concentration de lumière qui se produit aux divers points de cette surface, soit en la coupant par un petit écran, soit en projetant une poussière fine dans l'espace situé en avant du miroir. — On donne, à ce défaut de convergence absolue, le nom d'*aberration de sphéricité*. Elle est d'autant moindre que l'ouverture du miroir est plus petite.

753. **Foyer d'un point situé sur l'axe principal.** — Soit  $MN$  (*fig. 581*) la section du miroir par un plan passant par l'axe principal

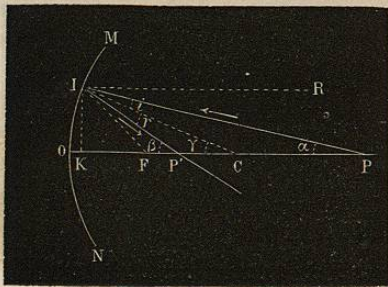


Fig. 581.

OC; soit  $P$  un point lumineux situé sur cet axe, et  $PI$  un rayon incident. La normale au point d'incidence est le rayon  $CI$  du miroir : le rayon réfléchi  $IP'$  sera dans le plan de la figure, et fera un angle de réflexion  $CIP'$  égal à l'angle d'incidence  $PIC$ . Soit  $P'$  le point où ce rayon coupe l'axe principal (\*). — Si nous désignons par  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$

les angles  $IPO, IP'O$  et  $ICO$ , les angles d'incidence et de réflexion ont respectivement pour valeurs :  $i = \gamma - \alpha$  et  $r = \beta - \gamma$ . Écrivons que ces deux angles sont égaux; il vient :  $\gamma - \alpha = \beta - \gamma$ , ou

$$(1) \quad \alpha + \beta = 2\gamma.$$

Abaissons du point  $I$  la perpendiculaire  $IK$  sur l'axe principal; si l'ouverture du miroir est assez petite, nous pourrions considérer cette droite  $IK$  comme peu différente de chacun des trois arcs de cercle qui seraient décrits des points  $P, P'$  et  $C$  comme centres, avec des rayons égaux à  $PO, CO$ , et  $P'O$ , et interceptés par les côtés des angles  $\alpha, \beta, \gamma$ .

(\*) Si, comme le suppose la figure 581, le point lumineux  $P$  est au delà du centre  $C$ , on voit que le point  $P'$  sera placé entre le centre  $C$  et le foyer principal  $F$ ; car, si le miroir recevait au même point  $I$  un rayon  $RI$  parallèle à l'axe, ce rayon se réfléchirait suivant  $IF$ ; or, l'angle d'incidence  $PIC$  étant plus petit que l'angle d'incidence  $RIC$ , l'angle de réflexion  $CIP'$  doit être plus petit que l'angle de réflexion  $CIF$ ; c'est-à-dire que  $IP'$  doit être compris entre  $IC$  et  $IF$ .

Les angles  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$  ont alors respectivement pour mesures  $\frac{IK}{OP}, \frac{IK}{OP'}, \frac{IK}{OC}$ , et la relation (1) devient, en supprimant le facteur commun  $IK$ ,

$$(2) \quad \frac{1}{OP} + \frac{1}{OP'} = \frac{2}{OC}.$$

Cette relation montre que la distance  $OP'$  ne dépend que des distances  $OP$  et  $OC$ , c'est-à-dire de la position du point  $P$  sur l'axe du miroir. — Donc tous les rayons émanés d'un même point  $P$  doivent, après réflexion, passer sensiblement par un même point  $P'$ .

*Inversement*, si le point lumineux était en  $P'$ , les rayons réfléchis iraient tous passer sensiblement par  $P$ . — Les deux points  $P$  et  $P'$  sont donc *réciproques* l'un de l'autre; on les nomme *foyers conjugués*.

La même construction montre :

1° Que si le point lumineux  $P$  se rapproche du centre  $C$ , son foyer  $P'$  s'en rapproche également, en s'éloignant du foyer principal  $F$ ; car le rayon incident  $PI$  (*fig. 581*) se rapprochant alors de  $CI$ , le rayon réfléchi  $IP'$  doit s'en rapprocher également;

2° Que si le point lumineux est situé entre le centre  $C$  et le foyer principal  $F$ , son foyer, qui est situé au delà du centre, s'en éloigne d'autant plus que le point lumineux s'approche davantage de  $F$ . — Enfin, si le point lumineux arrivait exactement au point  $F$ , nous avons déjà vu (751) que les rayons réfléchis deviendraient parallèles à l'axe : il n'y aurait plus, à proprement parler, de foyer.

754. — Il reste enfin à examiner le cas où le point lumineux  $P$  est situé entre le foyer principal  $F$  et le miroir (*fig. 582*). — Soit  $PI$  un rayon incident quelconque, et  $CI$  la normale au point  $I$ ; si le miroir recevait en  $I$  un rayon émané du foyer principal  $F$ , ce rayon serait réfléchi parallèlement à l'axe; le rayon réfléchi actuel  $IS$ , qui doit s'écarter davantage de la normale  $CI$ , ne peut donc rencontrer l'axe en avant du miroir; mais le prolongement géométrique

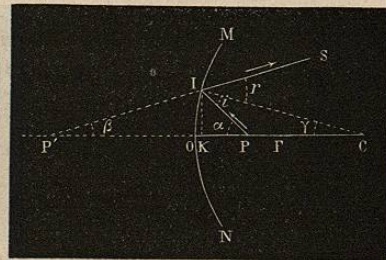


Fig. 582.

$IP'$  de ce rayon vient couper l'axe en  $P'$ , derrière la surface réfléchissante. — Désignons comme précédemment par  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$  les angles  $IPO, IP'O$  et  $ICO$ ; par  $i$  et  $r$  les angles d'incidence et de réflexion; nous aurons les relations :  $i = \alpha - \gamma$ ;  $r = \beta + \gamma$ , d'où l'on déduit

$$(4) \quad \alpha - \beta = 2\gamma.$$