

RÉCRÉATIONS

OPTIQUES

OPTIQUE GEOMETRIQUE

RÉCREATIONS OPTIQUES

Introduction expérimentale aux Sciences Physiques
par l'Oncle ANDRÉ.

OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE



Illustrations d'Alain Saint-Ogan



Édité par LE MATÉRIEL D'ENSEIGNEMENT
11 Avenue du Lycée LAKANAL
BOURG-LA-REINE (Seine)

Tous droits de reproduction réservés pour tous pays.



On ne s'imagine d'ordinaire Platon et Aristote qu'avec de grandes robes, et comme des personnages toujours graves et sérieux.

C'étaient d'honnêtes gens, qui riaient comme les autres avec leurs amis.

Pensée de Pascal (1623-1662), trouvée après sa mort parmi ses papiers.

PRÉFACE

Ce petit livre ne prétend en aucune façon faire concurrence aux excellents ouvrages scolaires actuellement en usage pour l'enseignement de l'optique géométrique.

Il peut néanmoins leur apporter un complément d'expérimentation individuelle et affirmer ce côté physique de l'étude de l'Optique que fait parfois perdre de vue l'aspect un peu géométrique et algébrique des lois telles qu'elles sont nécessairement exposées dans les manuels classiques pour se conformer au programme des examens.

Bertrand Russell a écrit : « La méthode scientifique consiste à observer des faits permettant à l'observateur de découvrir les lois générales qui président à ces faits. »

Nous avons cherché, avec un matériel expérimental très simple, à faire « redécouvrir » les lois de l'Optique géométrique, laissant délibérément de côté les démonstrations géométriques ou algébriques que le lecteur retrouvera facilement lui-même ou en s'aidant des traités classiques d'Optique.

Nous avons cru bon également de recourir assez fréquemment aux exemples si passionnants donnés par l'histoire de la science.

Enfin, il nous a paru nécessaire de récréer de temps à autre le lecteur par quelques expériences amusantes ou tout au moins curieuses.

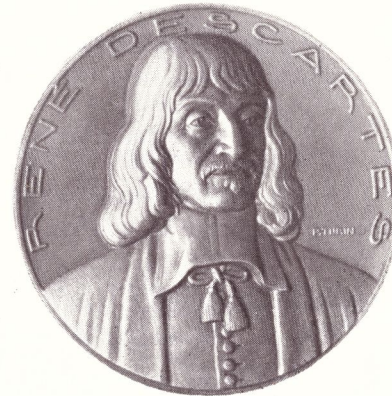
Notre ami Alain Saint-Ogan a bien voulu, par ses dessins spirituels, donner à ce livre la tournure qui nous ramène à la citation de Pascal, servant d'exergue à cette Préface.

BOURG-LA-REINE - Mai 1957

TOUR D'HORIZON

TOUTE la conduite de nostre vie depend de nos sens, entre lesquels celuy de la veüe étant le plus vniuersel & le plus noble, il n'y a point de doute, que les inuentions qui seruent à augmenter la puissance, ne soient des plus vtils qui puissent estre. Et il est mal-aisé d'en trouuer aucune qui l'augmente dauantage que celle de ces merueilleuses lunettes, qui n'estant en vsage que depuis peu nous ont déjà decouuert de nouveaux astres dans le ciel, & d'autres nouveaux objets dessus la terre en plus grand nombre que ne sont ceux que nous y auions veus auparauant, en sorte que portant nostre veüe beaucoup plus loin que n'auoit coutume d'aller l'imagination de nos peres, elles semblent nous auoir ouuert le chemin, pour paruenir à vne connoissance de la Nature beaucoup plus grande & plus parfaite qu'ils ne l'ont eüe. Mais à la honte de nos sciences, cette inuention si vtile & si admirable, n'a premierement esté trouuée que par l'experience & la fortune.

René DESCARTES
(1596-1650)
d'après une Médaille
gravée par P. TURIN



Fac-similé de la première page d'une des plus anciennes éditions de la "DIOPTRIQUE", petit traité suivant le Discours de la Méthode de René DESCARTES (1637).

..... Ainsi s'exprimait Descartes, il y a plus de trois siècles. Il n'était ni le premier, ni le dernier à se passionner pour cette science de l'Optique.

Depuis les temps les plus reculés, les hommes ont cherché à parfaire leurs connaissances, et l'Optique, élargissant singulièrement les limites de la vision humaine, n'a pas peu contribué à cette recherche.

Plusieurs siècles avant Jésus-Christ, les artistes Egyptiens, qui ornaient d'admirables fresques les tombeaux de leurs Pharaons, s'éclairaient par le jeu de miroirs, faisant cheminer la lumière du soleil depuis l'entrée du tombeau jusqu'aux salles souterraines les plus profondes.

Quatre cents ans avant Jésus-Christ, le célèbre géomètre platonicien Euclide écrivait le premier traité d'Optique, bientôt suivi, au 2^e siècle, par celui du Grec Ptolémée.

Au 11^e siècle, le savant arabe Al Hazen découvre le pouvoir grossissant d'un morceau sphérique de verre.

Puis c'est le moine franciscain Roger Bacon qui publie, au XIII^e siècle, ses travaux sur l'Optique et cherche à préciser la position du foyer d'un miroir concave.

L'admirable génie que fut Léonard de Vinci assimile le fait de la vision au principe de la chambre noire.

C'est alors qu'intervient, dès le XVII^e siècle, la pléiade fameuse des Pascal, Descartes, Cassini, Képler, Roemer, Galilée, Huygens et Fermat. Malgré les embûches qui leur sont tendues par l'Inquisition, s'émancipant des superstitions de magie, cependant bien encrées dans l'opinion, ils introduisent la méthode scientifique déductive et expérimentale dans l'étude des sciences physiques, et particulièrement dans celle de l'Optique.

C'est à cette époque que sont découverts le microscope et la lunette astronomique, qui ouvrent des horizons nouveaux sur l'infiniment petit et l'infiniment grand.

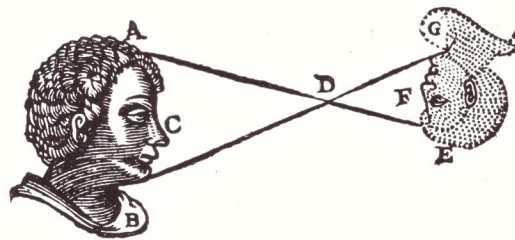
Newton avec sa théorie de l'émission rend compte de tous les phénomènes optiques connus à l'époque, et désignés sous le nom d'optique géométrique ; mais bientôt d'autres phénomènes sont découverts, qui sont inexplicables sans d'autres hypothèses sur la nature de la lumière : une nouvelle science prend naissance, l'optique physique *, à laquelle seront attachés les noms prestigieux de Fresnel, Young, Maxwell, puis tout récemment Einstein et de Broglie.

* **Nota.** — Le présent recueil se limite à l'optique géométrique, tandis qu'un second, également accompagné d'un petit matériel, permet de s'initier aux passionnants phénomènes de l'optique physique.

Parallèlement, Fizeau et Foucault, par leurs découvertes sur la vitesse de la lumière ouvrent la voie à de nouveaux développements.

Puis viennent les étonnantes inventions de la photographie, du cinéma et de la télévision tandis que la microscopie optique ou électronique, la spectroscopie, etc..., deviennent d'admirables outils aux mains des physiciens et des médecins.

C'est ainsi que la famille des savants, de siècle en siècle s'agrandit et continuera à s'agrandir, alimentant par ses travaux désintéressés le progrès, qui contribue sans cesse au mieux-être de l'humanité.



Gravure montrant le principe de la chambre noire. Extrait de la Dioptrique de Descartes — Discours 5^e (Leyde, 1637).

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES PHÉNOMÈNES DE RÉFLEXION ET DE RÉFRACTION

Alors que la seconde partie de cet ouvrage sera consacrée à un bilan de l'histoire, jusqu'à nos jours, des principales applications de l'Optique, cette première partie, purement expérimentale, fera parcourir à notre « lecteur-expérimentateur » les principaux phénomènes optiques élémentaires de la réflexion et de la réfraction de la lumière.

MATÉRIEL UTILISÉ

C'est un français, Gariel, ancien élève de l'Ecole Polytechnique et médecin, curieux de toutes choses, qui imagina, il y a une cinquantaine d'années, la méthode expérimentale que nous allons utiliser pour analyser les phénomènes de l'Optique géométrique. Sachons-lui gré de nous avoir ainsi facilité notre étude.

Inventorions ensemble le coffret qui accompagne ce livre.

Nous y trouvons tout d'abord une petite lanterne, qui sera notre source de lumière.

Elle comprend un couloir en tôle, aux extrémités duquel on peut adapter, d'un côté, un diaphragme et la lentille condenseur, et, de l'autre, un petit boîtier de lampe de poche, avec interrupteur et fils d'alimentation. Ces fils d'alimentation sont terminés par des ressorts permettant de faire contact sur les lames de piles.

On pourra utiliser, pour alimenter l'ampoule, des piles 4,5 v. standard, ou, mieux, les piles dites « de ménage », qui durent plus longtemps.

Le petit boîtier Wonder, séparé du « couloir » et vidé de sa pièce en matière moulée faisant office de contact, pourra être employé équipé d'une pile « Gilet » et d'une lampe 2,25 v., comme petit éclairage autonome de poche.

Cette lanterne allumée, posée sur une feuille de papier placée sur la table, donnera, dans une obscurité relative, une trace brillante de lumière, que l'on pourra réduire à un ou trois fins pinceaux lumineux en adaptant un diaphragme à une ou trois fentes à l'avant de la lanterne, derrière sa lentille condenseur, qui se démonte très facilement.

Les diverses pièces d'optique que renferme le coffret pourront ensuite être placées sur le trajet des faisceaux lumineux parallèles émis par la lanterne, et lui imprimeront les réflexions et réfractions à observer.

On trouvera, à la fin de ce livre, des fiches d'expériences reproduites en vraie grandeur, qui indiquent les positions les plus souhaitables à donner à la lanterne et aux diverses pièces d'optique. On pourra même placer directement ces fiches sur la table et les utiliser comme support d'expérience repéré.

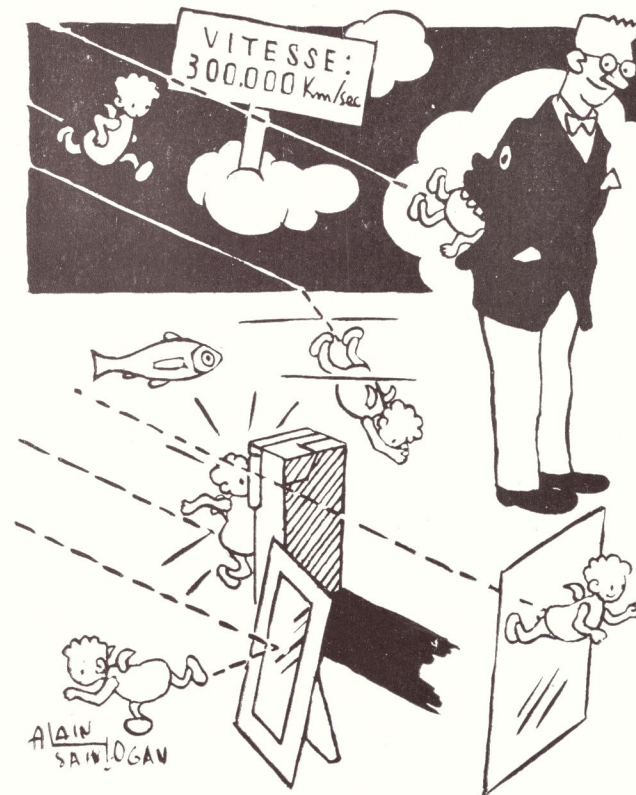
Si vous voulez conserver des documents de vos propres expériences, vous pourrez repasser avec un crayon les traces des rayons lumineux et les contours des pièces d'optique à expérimenter.

Des mesures relativement précises pourront être faites à la règle et au rapporteur. Bien entendu, il n'existe pas de précision absolue : nous trouverons donc des résultats plus ou moins entachés d'erreurs (au sens physique du mot), dont il sera d'ailleurs intéressant d'apprécier l'importance.

La lanterne se démonte facilement, permettant ainsi le changement de l'ampoule, (sphérique, claire, de 11 mm. de diamètre — 3,5 V. ; 0,2 A.). Le meilleur rendement sera obtenu en orientant la lampe de manière que son filament se trouve vertical.

Les caractéristiques des pièces d'optique sont indiquées à l'intérieur du couvercle du coffret.

La photographie reproduite sur le couvercle du coffret montre la disposition à adopter pour utiliser le matériel. Bien entendu, nous n'avons pu, dans ce petit livre, que proposer au lecteur les expériences essentielles. Mais il pourra en imaginer lui-même autant d'autres qu'il voudra en essayant en particulier de transposer expérimentalement les problèmes de son Manuel habituel d'Optique.



LA LUMIÈRE

OMBRE - PÉNOMBRE

Il n'y a pas d'optique sans lumière, et celle qui nous est naturelle nous vient du soleil. De si loin, 150 millions de kilomètres, elle nous arrive à la vitesse considérable de 300.000 km./sec., en un peu plus de huit minutes, et ses rayons, comme ceux émis par notre petite lanterne, peuvent être considérés comme parallèles et se propageant en ligne droite.

La lumière tombe sur notre vêtement sombre, qui l'absorbe. Elle arrive sur l'eau et se réfracte. Elle tombe sur un miroir et se réfléchit.

Certains corps sont opaques, tels les métaux (encore que la lumière traverse sans trop de difficultés une épaisseur d'un millionième de millimètre de métal).

D'autres sont translucides (verre dépoli) ; se laissent traverser par la lumière, mais ne permettent pas de distinguer nettement les objets au travers.

Certains sont transparents (eau, verre, etc...);

cependant, la lumière finit par être absorbée par la traversée d'un mètre de verre ou d'une soixantaine de mètres d'eau.

Mais il est temps d'utiliser notre matériel et l'étude de l'ombre et de la pénombre va nous en donner la première occasion.

Une source ponctuelle de lumière donne des corps une ombre portée, mais pas de pénombre.

Au contraire, une source de lumière de grandes dimensions (par exemple, la fenêtre avant de notre lanterne) donnera des objets une ombre et de la pénombre.

EXPERIENCE N° 1 : OMBRE ET PENOMBRE. (Voir Fiche N° 1 insérée à la fin du livre.)

L'éclairage indirect ne donne pratiquement pas d'ombre portée des objets parce que leurs dimensions sont petites par rapport à celles du plafond, qui constitue la source lumineuse, et la pénombre uniforme qui s'établit est très claire.

Les éclipses du soleil par la lune sont totales ou partielles, suivant que la terre se trouve dans la zone d'ombre ou de pénombre portées par la lune sur la terre.

Réaliser le montage indiqué sur la fiche d'expérience N° 1. Un crayon figurera l'objet et une carte de visite vous servira d'écran.

En interposant des filtres colorés (prévus dans le coffret) devant la petite lanterne, on aura l'impression que l'ombre est colorée de la couleur complémentaire du filtre (filtre rouge, ombre verte ; filtre bleu, ombre jaune, etc...).

LA RÉFLEXION (MIROIRS PLANS)

Les lois de la réflexion, déjà connues d'Aristote, sont les suivantes .

1^{re} Loi : Le rayon incident (arrivant sur le miroir), la normale (perpendiculaire) au miroir au point d'incidence, et le rayon réfléchi sont dans le même plan.

2^e Loi : Le rayon réfléchi fait le même angle avec la normale au miroir que le rayon incident.

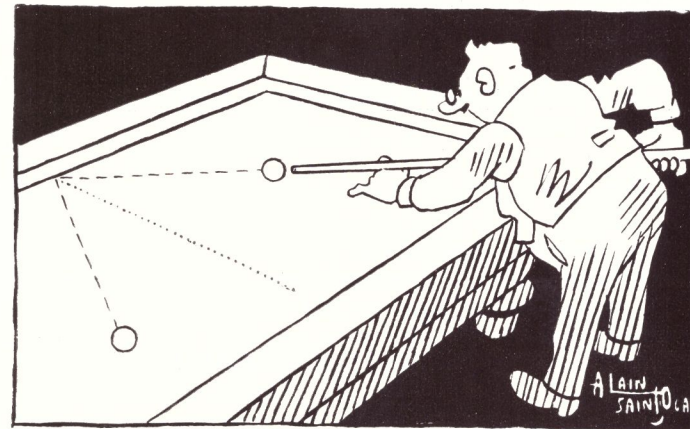
« L'angle de réflexion r est égal à l'angle d'incidence i ».

Pour les expériences sur le miroir plan (Exp. N° 2, 3 et 4), afin d'éviter le phénomène de la « double réflexion » (une réflexion sur la première face non argentée du miroir, une autre sur la face argentée), nous utiliserons un miroir métallique, d'ailleurs moins fragile que les miroirs en verre argentés sur la face avant.

Notre petit miroir plan, muni d'une équerre de repos, doit être employé posé sur la table le long de son grand côté.

EXPERIENCE N° 2 : VERIFICATION EXPERIMENTALE DES LOIS DE LA REFLEXION. (Voir Fiche N° 2 insérée à la fin du livre.)

— Faites varier la position du miroir et vérifiez expérimentalement que l'angle $i =$ l'angle r .



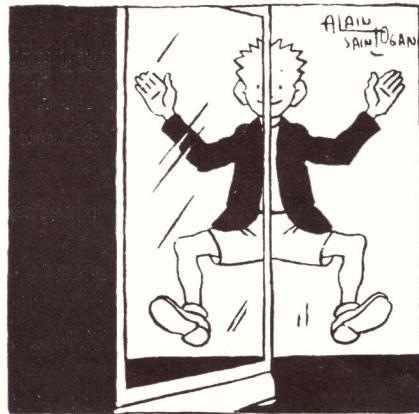
A chaque point d'un objet réfléchi par un miroir correspond un point image symétrique par rapport au miroir. L'ensemble de ces points « image » forme l'image de l'objet, symétrique par rapport au miroir.

Par exemple, l'image de votre main droite dans une glace se présente comme si elle était votre main gauche.

Quand vous vous regardez dans une glace, ce n'est pas exactement vous, mais votre symétrique que vous voyez, car le côté gauche de votre visage n'est pas tout à fait semblable au côté droit.

Lisez la phrase suivante dans une glace :

exactement comme vous voyez vous-même dans une glace.
Ceux qui vous voient directement ne vous voient donc pas.



Et puisque nous en sommes aux expériences amusantes sur la réflexion, le croquis ci-contre vous montrera comment faire croire à un observateur (évidemment un peu naïf) que vous vous êtes transformé en pantin.

Autre récréation à proposer à vos amis :

Faites asseoir quelqu'un à une table. Placez devant lui verticalement sur la table un miroir plan dans lequel il pourra voir ce qu'il écrit ou dessine.

Cachez à sa vue directe (avec un cahier par exemple) ce qu'il dessine, de façon à ce qu'il ne voie que dans le miroir. Proposez-lui alors de dessiner un rectangle avec ses deux diagonales en ne regardant que dans le miroir. Vous vous amuserez à ses dépens !

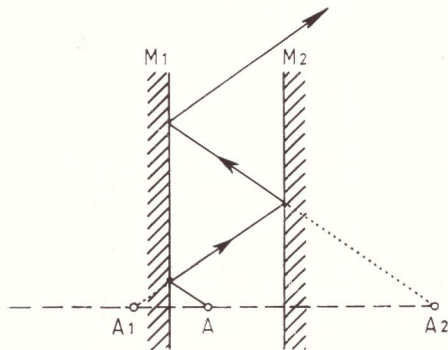
EXPERIENCE N° 4 : **CHAMP D'UN MIROIR** (Voir Fiche N° 4 insérée à la fin du livre).

— La portion d'espace que vous voyez dans le miroir (champ du miroir) dépend de la position A de votre œil par rapport au miroir.

C'est la portion d'espace que vous verriez directement sans miroir si vous alliez placer votre œil en A' (image symétrique de A par rapport au miroir) et que vous regardiez au travers d'une fenêtre remplaçant le miroir.

— Application : rétroviseurs d'automobiles dont les dimensions et la position doivent être calculées d'après la position de l'œil du conducteur et les dimensions et la position de la lunette arrière.

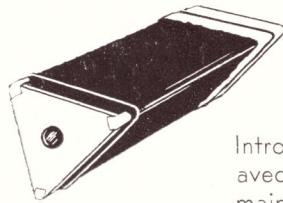
EXPERIENCE N° 5 : **COMBINAISON DE PLUSIEURS MIROIRS.**



L'image de A dans le miroir M_1 est A_1 , symétrique de A par rapport à M_1 . L'image de A_1 dans le miroir M_2 , symétrique de A_1 par rapport à M_2 . Et ainsi de suite. On devrait donc voir une infinité d'images A_1, A_2, A_3 , etc..., mais en réalité, ces images s'estompent de plus en plus du fait de l'affaiblissement de la lumière à chaque réflexion.

Amusez-vous à construire sur le papier ou à réaliser expérimentalement les images successives données par deux ou plusieurs miroirs associés, parallèles ou non.

EXPÉRIENCE N° 6 : CONSTRUCTION D'UN KALÉIDOSCOPE.



Assembler, à l'aide de deux bandes cellulosesques adhésives, les trois lames de verre de 26×76 mm., de façon à constituer un prisme creux.

Entourer le prisme ainsi formé d'une bande de papier noir tenue à l'aide d'un élastique. Fermer une des extrémités à l'aide d'un capuchon en papier calque maintenu par un élastique ou par de la bande cellulósique. Introduire au fond quelques menus fragments de verre coloré. Boucher l'autre extrémité avec un carton triangulaire percé d'un trou central de un demi centimètre environ. Le maintenir en place avec trois petites bandes cellulósiques.

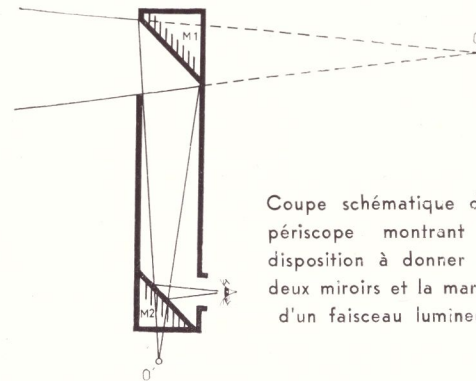
— En regardant par ce trou, on verra les images successives former d'agréables compositions décoratives colorées, variées et symétriques.

Vous pourrez répéter la même expérience en utilisant non plus 3 lames de verre, mais 3 morceaux de verre argenté, achetés chez votre marchand de couleurs. Vous obtiendrez ainsi de bien meilleures images.

EXPÉRIENCE N° 7 : CONSTRUCTION D'UN PÉRISCOPE.

— M_1 et M_2 sont deux miroirs plans parallèles, disposés à 45° de l'axe d'un tube carré en carton fort.

— A l'aide de ce petit périscope de fortune, vous pourrez assister aux revues et défilés, sans être gêné par la foule.



Coupe schématique d'un périscope montrant la disposition à donner aux deux miroirs et la marche d'un faisceau lumineux.

MIROIRS SPHÉRIQUES



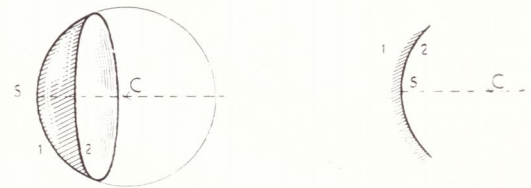
CIPION DU PLEIX, conseiller et avocat du Roy, écrivait en 1625, dans son petit traité « La Curiosité naturelle » : « D'où vient que les miroirs creux brûlent les choses qui leur sont opposées aux rayons du soleil ? C'est que les rays solaires venant à donner ensemble, et par une force conjointe, se rencontrant en un même point, rendent une extrême chaleur par leur réflexion et rebattement. Laquelle chaleur brûle les corps opposites et même enflamme les pailles et autres petits corps secs et déliés. Par le moyen de tels miroirs, Archimède embrasa les vaisseaux et machines de Marcellus devant Syracuse... ».

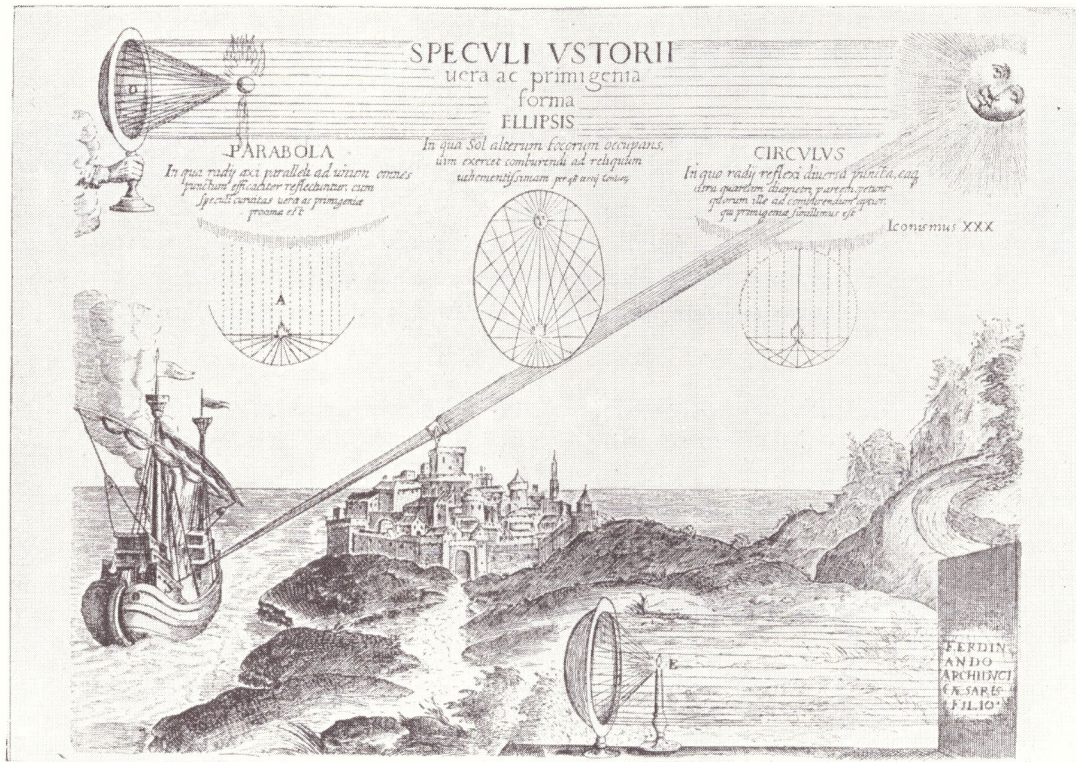
MIROIRS SPHÉRIQUES, CONCAVES ET CONVEXES

— Ce sont des miroirs dont la surface est une portion de sphère. En coupe, ils sont représentés par la figure ci-contre à droite.

— Pour la facilité des expériences, nous utiliserons des miroirs cylindriques qui présentent exactement la même coupe par le plan de la figure.

Citons, à ce sujet, l'Abbé Nollet, maître de Physique de Monseigneur le Dauphin, qui écrivait en 1755, dans ses Leçons de Physique Expérimentale : « Le miroir dont nous avons fait usage dans les dernières expériences n'a qu'une simple courbure, et cela suffit quand on ne considère que les rayons de lumière qui sont dans un même plan. Mais il est aisé de voir





Comment Archimède pouvait incendier à distance les vaisseaux romains.
Document aimablement communiqué par les Editions Larousse.

que ce qui en résulte peut s'appliquer à des miroirs d'une courbure uniforme dans tous les sens, tels que sont par exemple les miroirs sphériques... »

— Reprenons les figures ci-dessus. Si c'est la face 1 qui est réfléchissante (polie), le miroir est dit « convexe ». Si c'est la face 2, il est dit « concave ».

— Exemple de miroir sphérique concave : miroir pour se raser. Il est grossissant.

— Exemple de miroir sphérique convexe : certains rétroviseurs d'auto, qui ont l'avantage d'avoir un champ plus grand que les miroirs plans de même dimension. Vus par réflexion dans ces miroirs, les objets paraissent plus petits.

EXPERIENCE N° 8 : **FOYER D'UN MIROIR CONCAVE** (Voir Fiche N° 8 insérée à la fin du livre).

— Faisons tomber 3 rayons parallèles sur le miroir concave. Chacun des 3 rayons est réfléchi comme s'il avait été reçu par un petit miroir plan tangent en A, S ou B. Soit C le centre du cercle dont le miroir ASB est une portion.

Chacun des petits miroirs plans aura une surface respectivement perpendiculaire à CA, CS ou CB.

Chaque rayon réfléchi fera avec la normale (CA, CS ou CB) un angle égal à l'angle fait avec cette normale par le rayon incident. Constatez que tous ces rayons réfléchis viennent converger en un point F appelé « foyer principal du miroir » et situé au milieu de CS. La distance FS dite « distance focale » est donc égale à la moitié du rayon de courbure SC du miroir. Essayez de le démontrer géométriquement en partant de l'égalité des angles d'incidence et de réflexion.

— Constatez en changeant la direction des rayons incidents (faire passer la lanterne de la position 1 à la position 2) par rapport au miroir, qu'il existe un foyer distinct (tel que F') pour chaque direction de rayons parallèles et que tous ces foyers secondaires sont situés dans le plan perpendiculaire à l'axe du miroir en F. C'est le plan focal du miroir.

EXPERIENCE N° 9 : **IMAGE D'UN POINT DANS UN MIROIR CONCAVE** (Voir Fiche N° 9 insérée à la fin du livre).

— Créer un objet lumineux réel A à l'aide des lentilles N° 1 et 2. En déplaçant le miroir concave dans le sens des flèches, on fera varier la position de cet objet par rapport au centre et au sommet du miroir. De ce fait, cet objet sera tantôt réel, tantôt virtuel (voir Exp. N° 3). On étudiera les positions correspondantes et la nature (réelle ou virtuelle) de son image A' dans le miroir.

— Soient p et p' les distances respectives de l'objet A et de l'image A' au sommet S du miroir, R le rayon de courbure du miroir.

Vérifier expérimentalement la formule :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{R}$$

Essayez, si vous le pouvez, de la démontrer géométriquement.

— La formule est valable algébriquement pour tous les cas de figure, à condition d'observer certaines conventions de sens et de signe (voir à ce sujet les livres scolaires d'Optique Géométrique).

EXPERIENCE N° 10 : **GRANDEURS RESPECTIVES DE L'IMAGE ET DE L'OBJET.** (Voir Fiche N° 10 insérée à la fin du livre).

— Cherchez à recueillir sur un écran E (carte de visite placée verticalement), en le rapprochant ou en l'éloignant du miroir, une image **nette** de l'objet lumineux AB constitué par la fenêtre de la petite lanterne.

Soit o la largeur de cette fenêtre, i celle de son image A'B' (dont on remarquera qu'elle est renversée par rapport à AB. Voir dessin).

(p et p' étant définis comme pour l'expérience N° 9) Vérifiez que $\frac{i}{o} = \frac{p'}{p}$

N. B. - Nous ne parlerons pas des miroirs convexes dont l'étude est analogue à celle des miroirs concaves.

EXPERIENCE N° 11 : **ANAMORPHOSES** (Voir Fiche N° 11 insérée à la fin du livre).

En vous regardant dans notre miroir cylindrique (côté concave ou convexe), vous obtiendrez une image déformée.

Mais en regardant les images vraiment singulières figurées sur la Fiche N° 11 dans le miroir cylindrique (côté convexe) placé verticalement suivant la trace indiquée, vous rétablirez des dessins normaux. De telles transformations optiques sont dites « anamorphoses ». La bonne Société du XVIII siècle se passionnait pour ce genre d'amusements, décrits en détail dans « Les Récréations Mathématiques et Physiques » de Guyot (1773) ou d'Ozanam (1778).



Cul-de-lampe extrait de la Dioptrique Oculaire du Père Chérubin d'Orléans (1670) et symbolisant la vision binoculaire.