



CATOPTRIQUE.

SUR DES MIROIRS ARDENS

QUI BRULENT A UNE GRANDE DISTANCE.

IL est singulier que les hommes si avides du merveilleux V. les M.
P. 82.
qu'ils l'admettent souvent contre toute apparence & toute possibilité, se prêtent au contraire si difficilement aux faits historiques les mieux constatés, lorsqu'ils ne rentrent pas dans la sphère très-bornée de leurs connoissances. Tel a été le sort de l'histoire des miroirs ardents, avec lesquels Archimède brûla la flotte des Romains devant Syracuse : ce fait rapporté par plusieurs historiens, cru sans interruption pendant quinze ou seize siècles, a été non seulement contesté, mais même traité nettement de fable dans ces derniers temps. L'illustre Descartes a été jusqu'à en nier ouvertement la possibilité, il a été suivi en cela par presque tous les Physiciens de notre temps; & il faut avouer qu'avec les principes ordinaires de Dioptrique, Descartes étoit excusable de ne pas trouver les miroirs d'Archimède possibles.

Nous pouvons aujourd'hui parler plus positivement, & assurer que l'invention d'Archimède n'a rien d'impossible; M. de Buffon a entrepris de le prouver, de la seule manière que pouvoit être prouvé un fait dont Descartes avoit nié la possibilité, en construisant des miroirs capables de produire le même effet, & il y a parfaitement réussi; si cependant ceux du Mathématicien françois ne surpassent pas ceux du Géomètre grec: nous allons tâcher de donner une légère idée de la route par laquelle il est arrivé à cette découverte.

Il étoit déjà bien certain que les miroirs ardents ordinaires étoient insuffisans pour brûler à de très-grandes distances,

leur grandeur deviendroit immense, & il seroit extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, de leur donner exactement la courbure presque insensible qu'ils devroient avoir; mais de plus, il y avoit encore une autre raison qui les auroit rendus totalement inutiles, quand on auroit pû trouver le moyen de les travailler avec la plus grande exactitude & la plus grande précision.

On considère ordinairement les rayons qui viennent tomber du Soleil sur un miroir ardent, comme physiquement parallèles; c'est sur ce principe que sont fondées presque toutes les démonstrations qu'on trouve dans les livres d'Optique, de l'effet de ces miroirs; il s'en faut cependant beaucoup que ce parallélisme n'existe dans la Nature: il faudroit pour cela que le Soleil n'eût aucun diamètre sensible; alors, à cause de sa distance immense, les rayons tombant sur le disque d'un miroir, ne feroient qu'un angle insensible, & pourroient être regardés comme parallèles; mais le diamètre du Soleil occupe dans le ciel un espace à peu près d'un demi-degré, les rayons qui partent de ses deux extrémités tombent donc sur le miroir avec une inclination d'un demi-degré, par conséquent, au lieu de se rassembler au même point après avoir été réfléchis, ils iront en s'écartant d'un angle pareil; & c'est une des raisons pour lesquelles le foyer d'un miroir un peu grand n'est pas un point physique, mais a toujours une certaine étendue. Tant que le foyer du miroir n'est qu'à une médiocre distance, cet écartement des rayons est moindre que la convergence que leur donne le miroir, & le foyer étant par conséquent beaucoup moindre que sa surface, les rayons y sont assez rassemblés pour brûler: mais si on augmentoit la longueur du foyer, alors l'écartement des rayons devenant plus sensible, la force du foyer diminueroit; de sorte que si on le supposoit placé à telle distance que le diamètre du miroir ne fût vû de ce point que sous un angle d'un demi-degré, la convergence donnée aux rayons par le miroir étant égale à la divergence causée par la largeur du diamètre du Soleil, le foyer ne feroit

pas

pas plus d'effet que si les rayons y avoient été renvoyés par un miroir plan.

C'est encore par la même raison que l'image du soleil renvoyée par une glace plane, & qui reçûe à une petite distance, est de même figure que la glace, devient en s'éloignant, de moins en moins semblable à cette glace, & finit par être parfaitement ronde, quelque figure qu'on donne au miroir; chaque point physique du miroir renvoie une image entière du soleil, & tous ces disques forment l'image lumineuse: comme ils n'ont tous qu'un diamètre de 32 minutes, les derniers, ceux qui sont réfléchis par les extrémités de la glace, ne débordent les autres que de peu de chose lorsque l'image est reçûe de près; mais à mesure qu'on s'éloigne, ce peu augmente & parvient au point d'absorber absolument toute la figure de la glace: il arrive à ces rayons réfléchis ce qui arrive aux rayons directs du soleil admis par un trou d'une figure quelconque dans une chambre obscure; tant qu'on les reçoit à une distance moindre que celle à laquelle le trou paroîtroit sous un angle égal au diamètre du soleil, ils représentent la figure de cette ouverture plus ou moins distincte, selon qu'ils en sont reçûs plus ou moins près; mais passé cette distance, ils ne représentent plus que la figure du soleil.

Toute cette théorie bien entendue, fait voir évidemment que des miroirs sphériques & d'une seule pièce, n'ont jamais pu produire l'effet qu'on attribue à ceux dont se servit Archimède; & comme probablement ce grand Mathématicien avoit fait toutes les réflexions nécessaires sur une entreprise de cette nature, il est à croire qu'il avoit employé une autre méthode, & qu'il s'étoit servi de miroirs plans; c'est aussi le parti qu'a pris M. de Buffon.

Le premier pas à faire dans cette recherche, étoit de s'assurer de ce que les miroirs de glace étamée faisoient perdre de force à la lumière en la réfléchissant; nous disons, les miroirs de glace étamée, parce que les expériences ont fait voir qu'ils réfléchissent plus puissamment la lumière,

que les miroirs de métal les mieux faits & les plus polis : pour examiner donc leur effet, M. de Buffon fit tomber dans un endroit obscur, un trait de la lumière directe du Soleil, il reçût ensuite le même trait sur une glace, & le porta à 4 ou 5 pieds. On conçoit aisément que la lumière avoit été affoiblie par cette réflexion; & en effet, il fallut la lumière réfléchie par deux miroirs, pour égaler la vivacité de la lumière directe : la réflexion ne fait donc perdre à la lumière du soleil qu'environ la moitié de sa force, & cette même lumière réfléchie, peut, suivant les expériences, être transportée à des distances très-grandes, comme de deux ou trois cens pieds, sans en perdre qu'une très-petite partie.

Des expériences à peu près semblables furent faites sur la lumière des bougies : M. de Buffon s'étant placé dans un lieu obscur, y fit entrer la lumière d'une bougie allumée dans une chambre voisine, & tenant un livre à la main, il fit approcher la bougie jusqu'à ce que la lumière fût suffisante pour bien distinguer les caractères du livre, & la distance de ce livre à la bougie se trouva de 24 pieds. Il essaya ensuite de lire le même livre avec la lumière de la même bougie réfléchie par une glace, & il fallut la rapprocher jusqu'à 15 pieds; la diminution de la lumière d'une bougie par la réflexion, est donc dans le rapport inverse de ces nombres, & la lumière directe de deux bougies doit éclairer à peu près autant que la lumière réfléchie de cinq.

La difficulté que pouvoit causer l'incertitude de la force de la lumière réfléchie à de très-grandes distances, étant écartée, il y en avoit encore une autre plus grande qui s'élevoit contre la possibilité du miroir d'Archimède. Le miroir ardent de l'Académie a un foyer d'environ quatre lignes, & un diamètre de trois pieds. Pour en construire un qui brûlât également à 240 pieds, il auroit donc fallu mettre le même rapport entre les diamètres du foyer & du miroir; or il est démontré que le diamètre du foyer ne peut, à cette distance, être moindre que deux pieds : si donc on cherche le diamètre du miroir,

suivant les règles ordinaires, on le trouvera de 216 pieds, grandeur énorme qui rend le miroir impossible, & Descartes bien excusable de l'avoir jugé tel.

Il est vrai que le miroir de l'Académie brûle assez vivement pour fondre l'or; mais réduit par des zones de papier qui en couvroient une partie, à la seule grandeur nécessaire pour enflammer du bois sec, il avoit encore soixante lignes ou cinq pouces de diamètre; ce qui donne pour le miroir qui enflammeroit le bois à 240 pieds, un diamètre de 30 pieds, moins grand à la vérité que le premier, mais qui ne rend guère la construction du miroir plus praticable.

Il est certain qu'en estimant la chaleur mathématiquement, les raisonnemens que nous venons de rapporter, sont sans replique. Les foyers de même longueur doivent avoir une force proportionnelle aux diamètres des miroirs; & à égale intensité de lumière, un petit foyer doit brûler autant qu'un grand, & réciproquement un grand foyer ne doit pas brûler plus qu'un très-petit qui aura même rapport avec le diamètre de son miroir: mais la chaleur a-t-elle été assujétie réellement aux loix qu'il a plû aux Géomètres de lui imposer? & les effets qu'elle produit doivent-ils être toujours d'accord avec le calcul qui résulte de ces principes? c'est ce que nous ne pourrions assurer sans témérité. On n'a que trop d'exemples dans la Physique, du peu de succès du calcul mathématique mal à propos employé, où on n'auroit dû consulter que l'expérience & l'observation.

C'étoit en effet le seul parti qui restât à prendre à M. de Buffon, & l'expérience décida nettement contre le calcul: un verre ardent de 32 pouces de diamètre a son foyer de 8 lignes de largeur à la distance de six pieds, & ce foyer fond le cuivre en moins d'une minute; suivant le calcul dioptrique, un verre de 32 lignes de diamètre, dont le foyer sera de deux tiers de ligne, à la distance de six pouces, devroit fondre en même temps le cuivre dans l'étendue de son foyer: or c'est ce qui n'est jamais arrivé, à peine ce petit foyer pourroit-il lui communiquer une médiocre chaleur.

Pour peu qu'on y veuille faire d'attention, il sera aisé de trouver la raison de cette différence ; la chaleur se communique de proche en proche, & la petite quantité de matière échauffée par un petit foyer a bien-tôt transmis la sienne aux parties qui l'environnent : un foyer d'une ligne qu'on fera tomber sur le milieu d'un écu, partagera sa chaleur à toutes les parties de cet écu qui n'en sera que très-peu échauffé, au lieu que si on fait tomber dessus un foyer d'une égale intensité, mais plus grand & qui le couvre entièrement, non seulement il n'y aura point de chaleur perdue, mais le point du milieu profitant de celle des autres, sera bien-tôt disposé à se fondre.

Ces expériences ayant donc appris à M. de Buffon que le miroir qu'il se proposoit de faire construire, pouvoit n'être pas aussi grand que le calcul sembloit l'exiger, il résolut d'entreprendre l'exécution, & le fit construire tel, à peu près, que nous allons le décrire.

Il est composé de 168 glaces étamées, chacune de six pouces sur huit, éloignées d'environ quatre lignes & portées sur une monture qui peut se mouvoir en tout sens : chacune des glaces a sa monture à part qui lui permet aussi un mouvement en tout sens, indépendant de celui des autres & de celui de toute la machine. Au moyen de ce mouvement, on peut faire tomber sur le même point, les 168 images, & brûler à plusieurs distances. Il y a entre chaque glace un intervalle de quatre lignes qui sert non seulement à laisser de la liberté à ce mouvement, mais encore à donner à celui qui opère, le moyen de voir l'endroit où il conduit les images.

Il faut environ une demi-heure pour faire coïncider les images au même point ; alors le miroir est monté pour cette distance, & l'usage en est aussi prompt que celui des autres miroirs ; mais il a sur eux l'avantage de brûler en haut, en bas & horizontalement. Si on veut porter le foyer à une autre distance, il n'y a qu'à répéter la même opération, & une autre demi-heure suffit pour cela.

Il y a un grand choix à faire dans les glaces dont on se sert :

on doit rejeter toutes celles qui ne donnent pas une image ronde & bien terminée; elles ne feroient que troubler l'action des autres. Malheureusement celles-ci font le plus grand nombre; & les 168 glaces du miroir de M. de Buffon ont été choisies entre plus de 500. Voici présentement le résultat des expériences.

Une planche de hêtre goudronnée a été allumée à 66 pieds de distance avec 40 glaces seulement, & quoique le miroir qui n'étoit pas encore monté sur son pied, fût dans une situation peu avantageuse.

Avec 98 glaces on a mis le feu à une planche goudronnée & soufrée, placée à 126 pieds de distance.

On a produit une légère inflammation sur une planche couverte de laine hachée, mise à 138 pieds de distance, en employant 112 glaces, & quoique le soleil ne fût pas bien net.

Le soleil étant fort pâle & couvert de vapeurs, on a fait fumer avec 154 glaces, une planche goudronnée, à 150 pieds de distance, & il y a tout lieu de penser qu'elle se seroit enflammée, si le soleil n'avoit pas disparu.

Par un soleil encore plus foible on a enflammé en une minute & demie, à la même distance, & avec le même nombre de glaces, des copeaux de sapin soufrés & mêlés de charbon.

Le soleil étant plus net, on a très-promptement embrasé à la même distance, une planche de sapin goudronnée, avec 128 glaces seulement, & le feu a pris dans toute l'étendue du foyer, qui avoit environ 16 pouces de diamètre à cette distance; on a ensuite porté le feu à la même distance, sur une planche de hêtre goudronnée en partie, & couverte de laine hachée en quelques endroits, l'inflammation a commencé par les endroits de la planche qui étoient découverts; on avoit employé 148 glaces, & le feu étoit si violent, qu'il a fallu plonger la planche dans l'eau pour l'éteindre.

Enfin, le foyer ayant été raccourci jusqu'à la distance de

110 HISTOIRE DE L'ACADÉMIE ROYALE

20 pieds, avec 12 glaces on a enflammé des matières aisément combustibles; avec 21, on a mis le feu à une planche de hêtre qui avoit déjà été brûlée en partie; avec 45, on a fondu un flacon d'étain qui pesoit 6 livres; avec 117, on a fondu des morceaux d'argent minces, & rougi une plaque de tôle, & il y a lieu de croire que si on employoit toutes les glaces du miroir, on fondroit les métaux à 50 pieds aussi aisément qu'à 20; & comme le foyer du miroir est à cette distance de 6 à 7 pouces, on pourra faire par son moyen, des épreuves en grand sur les métaux, ce qu'il n'étoit pas possible de faire avec les miroirs ordinaires, dont le foyer est cent fois plus petit.

Les expériences que nous venons de rapporter ont été faites par un soleil de printemps & très-foible: si donc on a pû dans cette circonstance brûler à 150 pieds, il y a tout lieu de croire que par un soleil d'été bien net, on brûleroit à 200 pieds, & qu'avec trois miroirs semblables, on porteroit le feu à 400 pieds, & peut-être plus loin.

Il ne faut cependant pas s'imaginer qu'on puisse brûler par ce moyen à telle distance qu'on le voudra, tout a des bornes dans la Nature; pour brûler seulement à une demi-lieue, il faudroit un miroir deux mille fois plus grand que celui qu'on a employé: on sent assez qu'il seroit ridicule d'en entreprendre l'exécution; aussi M. de Buffon croit-il qu'on ne pourra guère porter le foyer d'un miroir de cette espèce au-delà de 8 à 900 pieds tout au plus.

Cette découverte procure plusieurs avantages à la Physique & aux Arts: indépendamment de l'avantage qu'ont les nouveaux miroirs, de brûler en bas, au lieu que les miroirs ordinaires portent toujours la pointe du cone brûlant en haut, ce qui rend l'opération de soutenir les matières qu'on veut y exposer, très-difficile, ils ont encore celui de donner tel degré de chaleur qu'on voudra; si on reçoit sur un miroir concave d'un pied quarré de surface, la réflexion de 154 glaces du nouveau miroir, la chaleur de son foyer sera douze fois plus grande que celle qu'il

produiroit naturellement ; on sent assez combien cet énorme degré de feu, jusqu'à présent inconnu, doit procurer d'avantages dans de certaines occasions.

En faisant tomber les images l'une après l'autre sur un thermomètre, ou sur une machine de dilatation, l'on aura le rapport des expansions de la liqueur, ou de l'allongement de la verge, avec des quantités égales de lumière successivement ajoutées, & on connoîtra les matières dont les effets approchent le plus d'être proportionnels à ces quantités, & qui par conséquent doivent être employées par préférence à la mesure des augmentations de chaleur.

Enfin, on saura par ce moyen, au juste & avec précision, combien de fois il faut la chaleur du soleil pour brûler, fondre ou calciner certaines matières, ce que l'on n'avoit pû estimer jusqu'ici que d'une manière très-vague, & on pourra connoître exactement le rapport de nos feux avec celui du soleil.

Ce que M. de Buffon a exécuté en grand, pour brûler avec force à une grande distance, se peut exécuter en petit ; on peut, avec de médiocres morceaux de glace étamée, faire de petits miroirs qui brûleront avec force à une petite distance, on peut rendre leurs foyers variables, & si on veut n'avoir besoin que d'un seul mouvement pour en ajuster le foyer, on n'aura qu'à les faire porter par une monture à peu près semblable aux parasols : il est vrai que M. de Buffon croit avoir trouvé quelque chose de plus simple & de plus commode pour la construction de ces miroirs ; mais il réserve pour un autre Mémoire cet article, ainsi que plusieurs idées qu'il a sur les verres qui brûlent par réfraction.

Lorsque M. de Buffon entreprit de travailler à ces miroirs, il ignoroit le détail, qui lui a été depuis communiqué par M. Melot, de l'Académie Royale des Belles-Lettres, & l'un des Gardes de la Bibliothèque du Roi, de ce que les anciens avoient écrit sur ceux dont Archimède s'étoit servi : les deux Auteurs qui en ont parlé le plus clairement, sont Zonaras & Tzetzés, qui vivoient tous deux dans le douzième siècle ; le passage du

112 HISTOIRE DE L'ACADÉMIE ROYALE

premier n'étoit pas fort propre à éclairer sur la construction des miroirs d'Archimède; il assure seulement le fait, & le même Auteur dit dans un autre endroit, que sous l'empire d'Anastase, l'an 514 de Jesus-Christ, Proclus brûla avec des miroirs d'airain la flotte de Vitalien qui assiégeoit Constantinople, & il ajoûte que cette invention étoit ancienne, & que Dion donnoit l'honneur de cette découverte à Archimède, qui s'en étoit servi contre les Romains au siège de Syracuse.

Tzetzes entre dans un plus grand détail, & la description qu'il donne du miroir dont s'étoit servi Archimède, fait voir que les réflexions de M. de Buffon l'avoient mis précisément dans la même route que ce célèbre Mathématicien: cet instrument étoit, selon lui, composé d'un miroir hexagone, qui apparemment en occupoit le milieu, & qui étoit entouré d'autres plus petits, de 24 côtés chacun, qu'on pouvoit mouvoir à l'aide de leurs charnières & de certaines lames de métal; ce miroir fut exposé au soleil, de façon que les rayons de cet astre qu'il recevoit venant à se briser, allumèrent un grand feu qui réduisit en cendres les vaisseaux des Romains, quoiqu'ils fussent éloignés de la portée d'un trait: on fait que la portée du trait n'étoit guère que de 150 ou 200 pieds; & le passage de Tzetzes donne l'idée d'un miroir ardent composé de miroirs plans, mobile sur des charnières & avec des ressorts; peut-on à ce portrait méconnoître le miroir de M. de Buffon, & peut-on ne pas voir qu'il a produit au moins les mêmes effets que celui d'Archimède?

Entre les modernes, Kirker a écrit qu'Archimède avoit pû brûler à une grande distance avec des miroirs plans, l'expérience lui ayant appris qu'en réunissant de cette façon les images du soleil, on produisoit une chaleur considérable au point où on les rassembloit.

Mais celui de tous les modernes qui paroît avoir été le plus près de cette découverte, est feu M. du Fay; cet Académicien dit dans un Mémoire imprimé en 1726*, que
l'image

* *Voy. Mém.*
726, p. 165.

l'image du soleil renvoyée à plus de 600 pieds par un miroir plan, & reçue sur un miroir concave de 17 pouces de diamètre, brûloit encore des matières combustibles au foyer de ce dernier; il ajoute que quelques Auteurs ont proposé de former un miroir d'un très-long foyer, avec un grand nombre de petits miroirs plans, que plusieurs personnes tiendroient à la main, & dirigeroient de façon que les images du soleil qu'ils renvoyeroient, concourussent au même point, & que ce seroit peut-être la façon de réussir, la plus sûre & la moins difficile à exécuter : après ce qu'il avoit fait, quelques réflexions & un calcul facile auroient pu le conduire à la découverte des miroirs d'Archimède, qu'il traite cependant de fable un peu plus haut; il n'avoit plus qu'un pas à faire, & il ne l'a pas fait : souvent nous cherchons avec bien des soins & de la peine, des vérités & des découvertes qui nous échappent, pendant que nous en manquons d'autres que nous avons, pour ainsi dire, dans les mains, sans nous en apercevoir.

SUR UNE

*MANIERE D'EMPLOYER LES MIROIRS ARDENS
aux mêmes usages, & aussi commodément que les
verres convexes qui brûlent par réfraction.*

ON fait depuis long temps que les miroirs de métal concaves étant exposés au soleil, rassemblent à leur foyer les rayons de cet astre en assez grande quantité pour fondre en peu de temps tous les métaux qu'on y expose; mais la situation à peu près perpendiculaire aux rayons du soleil, qu'on est obligé de leur donner, fait qu'ils portent nécessairement leur foyer en haut, & qu'il est nécessaire que le métal soit comme suspendu à ce foyer qui l'attaque par dessous, ce qui ne permet pas de le tenir long-temps en fusion, parce que ne pouvant être contenu dans quelque vase, il tombe à terre dans le moment qu'il se fond.

Hist. 1747.

. P

V. les M.
P. 25.

Sur des miroirs ardents qui brûlent à une grande distance - Catoptrique - Histoire de
l'Académie royale des sciences - Année 1747

OPTIQUE, PHYSIQUE

ARCHIMÈDE, DESCARTES, DE BUFFON, KIRKER, DU FAY
