

I N V E N T I O N
D E M I R O I R S A R D E N S ,
POUR BRUSLER A UNE GRANDE DISTANCE.

Par M. DE BUFFON.

12 Avril
1747.

L'HISTOIRE des miroirs ardents d'Archimède, est fameuse ; il les inventa pour la défense de sa patrie, & il lança, disent les anciens, le feu du Soleil sur la flotte ennemie, qu'il réduisit en cendres lorsqu'elle approcha des remparts de Syracuse ; mais cette histoire, dont on n'a pas douté pendant quinze ou seize siècles, a d'abord été contredite, & ensuite traitée de fable dans ces derniers temps. Descartes né pour juger, & même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître ; il a nié la possibilité de l'invention, & son opinion a prévalu sur les témoignages & sur la croyance de toute l'antiquité : les Physiciens modernes, soit par respect pour leur Philosophe, soit par complaisance pour leurs contemporains, ont été de même avis. On n'accorde guère aux anciens que ce qu'on ne peut leur ôter : déterminés peut-être par ces motifs, dont l'amour propre ne se sert que trop souvent sans qu'on s'en aperçoive, n'avons-nous pas naturellement trop de penchant à refuser ce que nous devons à ceux qui nous ont précédés ? & si notre siècle refuse plus qu'un autre, ne seroit-ce pas qu'étant plus éclairé, il croit avoir plus de droit à la gloire, plus de prétentions à la supériorité ?

Quoi qu'il en soit, cette invention étoit dans le cas de plusieurs autres découvertes de l'antiquité, qui se sont évanouies, parce qu'on a préféré la facilité de les nier, à la difficulté de les retrouver ; & les miroirs ardents d'Archimède étoient si décriés, qu'il ne paroïssoit pas possible d'en rétablir la réputation : car, pour appeler du jugement de Descartes, il

falloit quelque chose de plus fort que des raisons, & il ne restoit qu'un moyen sûr & décisif, à la vérité, mais difficile & hardi, c'étoit d'entreprendre de retrouver les miroirs, c'est-à-dire, d'en faire qui pûssent produire les mêmes effets; j'en avois conçu depuis long temps l'idée, & j'avouerai volontiers que le plus difficile de la chose étoit de la voir possible, puisque dans l'exécution j'ai réussi au delà même de mes espérances.

J'ai donc cherché les moyens de faire des miroirs pour brûler à de grandes distances, comme de 100, de 200 & de 300 pieds: je savois en général, qu'avec les miroirs par réflexion, l'on n'avoit jamais brûlé à plus de 15 ou 20 pieds tout au plus, & qu'avec ceux qui sont réfringens, la distance étoit encore plus courte, & je sentoisi bien qu'il étoit impossible dans la pratique, de travailler un miroir de métal ou de glace, avec assez d'exactitude, pour brûler à ces grandes distances; que pour brûler, par exemple, à 200 pieds, la sphère ayant dans ce cas 800 pieds de diamètre, on ne pouvoit rien espérer de la méthode ordinaire de travailler les verres, & je me persuadai bien-tôt que quand même on pourroit en trouver une nouvelle pour donner à de grandes pièces de verre ou de métal, une courbure aussi légère, il n'en résulteroit encore qu'un avantage très-peu considérable, comme je le dirai dans la suite.

Mais pour aller par ordre, je cherchai d'abord combien la lumière du Soleil perdoit par la réflexion à différentes distances, & quelles sont les matières qui la réfléchissent le plus fortement. Je trouvai premièrement que les glaces étamées, lorsqu'elles sont polies avec un peu de soin, réfléchissent plus puissamment la lumière que les métaux les mieux polis, & même mieux que le métal composé dont on se sert pour faire des miroirs de télescope; & que quoiqu'il y ait dans les glaces deux réflexions, l'une à la surface, & l'autre à l'intérieur, elles ne laissent pas de donner une lumière plus vive & plus nette que le métal, qui produit toujours une lumière colorée.

En second lieu , en recevant la lumière du soleil dans un endroit obscur, & en la comparant avec cette même lumière du soleil réfléchi par une glace , je trouvai qu'à de petites distances, comme de quatre ou cinq pieds, elle ne perdoit qu'environ moitié par la réflexion , ce que je jugeai en faisant tomber sur la première lumière réfléchi, une seconde lumière aussi réfléchi ; & la vivacité de ces deux lumières réfléchies , me parut égale à celle de la lumière directe.

Troisièmement, ayant reçu à de grandes distances, comme à 100, 200 & 300 pieds, cette même lumière réfléchi par de grandes glaces, je reconnus qu'elle ne perdoit presque rien de sa force, par l'épaisseur de l'air qu'elle avoit à traverser.

Ensuite je voulus essayer les mêmes choses sur la lumière des bougies ; & pour m'assurer plus exactement de la quantité d'affoiblissement que la réflexion cause à cette lumière , je fis l'expérience suivante.

Je me mis vis-à-vis une glace de miroir avec un livre à la main, dans une chambre où l'obscurité de la nuit étoit entière, & où je ne pouvois distinguer aucun objet : je fis allumer dans une chambre voisine, à 40 pieds de distance environ, une seule bougie, & je la fis approcher peu à peu, jusqu'à ce que je pûsse distinguer les caractères & lire le livre que j'avois à la main ; la distance se trouva de 24 pieds du livre à la bougie : ensuite ayant retourné le livre du côté du miroir, je cherchai à lire par cette même lumière réfléchi, & je fis intercepter par un paravent la partie de la lumière directe qui ne tomboit pas sur le miroir, afin de n'avoir sur mon livre que la lumière réfléchi. Il fallut approcher la bougie, ce qu'on fit peu à peu, jusqu'à ce que je pûsse lire les mêmes caractères éclairés par la lumière réfléchi ; & alors la distance du livre à la bougie, y compris celle du livre au miroir, qui n'étoit que d'un demi-pied, se trouva être en tout de quinze pieds : je répétai cela plusieurs fois, & j'eus toujours les mêmes résultats, à très-peu près ; d'où je conclus que la force ou la quantité de la lumière directe est à celle de la lumière réfléchi, comme 576 à 225 ; ainsi l'effet de la

lumière de cinq bougies reçue par une glace plane, est à peu près égal à celui de la lumière directe de deux bougies.

La lumière des bougies perd donc plus par la réflexion que la lumière du soleil; & cette différence vient de ce que les rayons de lumière qui partent de la bougie comme d'un centre, tombent plus obliquement sur le miroir que les rayons du soleil qui viennent presque parallèlement. Cette expérience confirma donc ce que j'avois trouvé d'abord, & je tins pour sûr que la lumière du soleil ne perd qu'environ moitié par la réflexion sur une glace de miroir.

Ces premières connoissances dont j'avois besoin, étant acquises, je cherchai ensuite ce que deviennent en effet les images du soleil, lorsqu'on les reçoit à de grandes distances. Pour bien entendre ce que je vais dire, il ne faut pas, comme on le fait ordinairement, considérer les rayons du soleil comme parallèles, & il faut se souvenir que le corps du soleil occupe à nos yeux une étendue d'environ un demi-degré, ou de 32 minutes; que par conséquent les rayons qui partent du bord supérieur du disque, venant à tomber sur un point d'une surface réfléchissante, les rayons qui partent du bord inférieur, venant à tomber aussi sur le même point de cette surface, ils forment entre eux un angle d'un demi-degré dans l'incidence, & ensuite dans la réflexion, & que par conséquent l'image doit augmenter de grandeur à mesure qu'elle s'éloigne: il faut de plus faire attention à la figure de ces images; par exemple, une glace plane quarrée d'un demi-pied, exposée aux rayons du soleil, formera une image quarrée de six pouces: lorsqu'on recevra cette image à une petite distance de la glace, comme de quelques pieds; en s'éloignant peu à peu, on voit l'image augmenter, ensuite se déformer, enfin s'arrondir & demeurer ronde toujours en s'agrandissant, à mesure qu'elle s'éloigne du miroir: cette image est composée d'autant de disques du soleil qu'il y a de points physiques dans la surface réfléchissante; le point du milieu forme une image du disque, les points voisins en forment de semblables & de même grandeur, qui excèdent

un peu le disque du milieu ; il en est de même de tous les autres points , & l'image est composée d'une infinité de disques , qui se surmontant régulièrement , & anticipant circulairement les uns sur les autres , forment l'image réfléchie dont le point du milieu de la glace est le centre.

Si l'on reçoit l'image composée de tous ces disques à une petite distance , alors l'étendue qu'ils occupent n'étant qu'un peu plus grande que celle de la glace , cette image est de la même figure & à peu près de la même étendue que la glace : si la glace est quarrée , l'image est quarrée ; si la glace est triangulaire , l'image est triangulaire ; mais lorsqu'on reçoit l'image à une grande distance de la glace où l'étendue qu'occupent les disques est beaucoup plus grande que celle de la glace , l'image ne conserve plus la figure quarrée ou triangulaire de la glace , elle devient nécessairement circulaire ; & pour trouver le point de distance où l'image perd sa figure quarrée , il n'y a qu'à chercher à quelle distance la glace nous paroît sous un angle égal à celui que forme le corps du soleil à nos yeux , c'est-à-dire , sous un angle d'un demi-degré ou de 32 minutes , cette distance sera celle où l'image perdra sa figure quarrée , & deviendra ronde ; car les disques ayant toujours pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc de cercle qui mesure un angle de 32 minutes , on trouvera par cette règle qu'une glace quarrée de six pouces perd sa figure quarrée à la distance d'environ 60 pieds , & qu'une glace d'un pied en quarré ne la perd qu'à 120 pieds environ , & ainsi des autres.

En réfléchissant un peu sur cette théorie , on ne sera plus étonné de voir qu'à de très grandes distances une grande & une petite glace donnent , à peu près , une image de la même grandeur , & qui ne diffère que par l'intensité de la lumière ; on ne sera plus surpris qu'une glace ronde , ou quarrée , ou longue , ou triangulaire , ou de telle autre figure que l'on voudra , donne toujours des images rondes ; & on verra clairement que les images ne s'agrandissent & ne s'affoiblissent pas par la dispersion de la lumière , ou par la perte qu'elle

fait en traversant l'air, comme l'ont cru quelques Physiciens; & que cela n'arrive au contraire que par l'augmentation des disques, qui occupent toujours un espace d'un demi-degré ou de 32 minutes, à quelque éloignement qu'on les porte.

De même on sera convaincu par la simple exposition de cette théorie, que les courbes, de quelque espèce qu'elles soient, ne peuvent être employées avec avantage pour brûler de loin, parce que le diamètre du foyer de toutes ces courbes ne peut jamais être plus petit que la corde de l'arc qui mesure un angle de 32 minutes, & que par conséquent le miroir concave le plus parfait dont le diamètre seroit égal à cette corde, ne seroit jamais le double de l'effet d'un miroir plan de même surface: & si le diamètre de ce miroir courbe étoit plus petit que cette corde, il ne seroit guère plus d'effet qu'un miroir plan de même surface.

Lorsque j'eus bien compris ce que je viens d'exposer, je me persuadai bien-tôt, à n'en pouvoir douter, qu'Archimède n'avoit pû brûler de loin qu'avec des miroirs plans: car indépendamment de l'impossibilité où l'on étoit alors, & où l'on seroit encore aujourd'hui, d'exécuter des miroirs concaves d'un aussi long foyer, je sentis bien que les réflexions que je viens de faire, ne pouvoient pas avoir échappé à ce grand Mathématicien. D'ailleurs je pensai que, selon toutes les apparences, les anciens ne savoient pas faire de grandes masses de verre, qu'ils ignoroient l'art de le couler pour en faire de grandes glaces, qu'ils n'avoient tout au plus que celui de le souffler, & d'en faire des bouteilles & des vases; & je me persuadai aisément que c'étoit avec des miroirs plans de métal poli, & par la réflexion des rayons du soleil qu'Archimède avoit brûlé au loin: mais comme j'avois reconnu que les miroirs de glace réfléchissent plus puissamment la lumière que les miroirs de métal le mieux poli, je pensai à construire une machine pour faire coïncider au même point les images réfléchies par un grand nombre de ces glaces planes, bien convaincu que ce moyen étoit le seul par lequel il fût possible de réussir.

Cependant j'avois encore des doutes, & qui me paroissent même très-bien fondés, car voici comment je raisonnois. Supposons que la distance à laquelle je veux brûler soit de 240 pieds, je vois clairement que le foyer de mon miroir ne peut avoir moins de deux pieds de diamètre à cette distance : dès-lors quelle sera l'étendue que je serai obligé de donner à mon assemblage de miroirs plans pour produire du feu dans un aussi grand foyer ! elle pouvoit être si grande, que la chose eût été impraticable dans l'exécution ; car en comparant le diamètre du foyer au diamètre du miroir, dans les meilleurs miroirs par réflexion que nous ayons, par exemple, avec le miroir de l'Académie, j'avois observé que le diamètre de ce miroir qui est de trois pieds, étoit cent huit fois plus grand que le diamètre de son foyer, qui n'a qu'environ quatre lignes, & j'en conclus que pour brûler aussi vivement à 240 pieds, il eût été nécessaire que mon assemblage de miroirs eût eu 216 pieds de diamètre, puisque le foyer auroit deux pieds ; or un miroir de 216 pieds de diamètre étoit assurément une chose impossible.

A la vérité, ce miroir de trois pieds de diamètre brûle assez vivement pour fondre l'or, & je voulus voir combien j'avois à gagner en réduisant son action à n'enflammer que du bois : pour cela j'appliquai sur le miroir, des zones circulaires de papier pour en diminuer le diamètre, & je trouvai qu'il n'avoit plus assez de force pour enflammer du bois sec lorsque son diamètre fut réduit à quatre pouces huit ou neuf lignes : prenant donc cinq pouces ou 60 lignes pour l'étendue de diamètre nécessaire pour brûler avec un foyer de quatre lignes, je ne pouvois me dispenser de conclure que pour brûler également à 240 pieds, où le foyer auroit nécessairement deux pieds de diamètre, il me faudroit un miroir de 30 pieds de diamètre ; ce qui me paroissoit encore une chose impossible, ou du moins impraticable.

A des choses si positives, & que d'autres auroient regardé comme des démonstrations de l'impossibilité du miroir, je n'avois rien à opposer qu'un soupçon, mais un soupçon ancien

ancien, & sur lequel plus j'avois réfléchi, plus je m'étois persuadé qu'il n'étoit pas sans fondement; c'est que les effets de la chaleur pouvoient bien n'être pas proportionnels à la quantité de lumière; ou, ce qui revient au même, qu'à égale intensité de lumière, les grands foyers devoient brûler bien plus vivement que les petits.

En estimant la chaleur mathématiquement, il n'est pas douteux que la force des foyers de même longueur ne soit proportionnelle à la surface des miroirs. Un miroir dont la surface est double de celle d'un autre, doit avoir un foyer de la même grandeur, si la courbure est la même, & ce foyer de même grandeur doit contenir le double de la quantité de lumière que contient le premier foyer; & dans la supposition que les effets sont toujours proportionnels à leurs causes, on avoit toujours cru que la chaleur de ce second foyer devoit être double de celle du premier.

De même, & par la même estimation mathématique; on a toujours cru, qu'à égale intensité de lumière, un petit foyer devoit brûler autant qu'un grand, & que l'effet de la chaleur devoit être proportionnel à cette intensité de lumière; *en sorte*, disoit Descartes, *qu'on peut faire des verres ou des miroirs extrêmement petits qui brûleront avec autant de violence que les plus grands*. Je pensai d'abord, comme je l'ai dit ci-dessus, que cette conclusion tirée de la théorie mathématique pourroit bien se trouver fautive dans la pratique, parce que la chaleur étant une qualité physique de l'action & de la propagation, de laquelle nous ignorons les loix, il me sembloit qu'il y avoit quelque espèce de témérité à en estimer ainsi les effets par un raisonnement de simple spéculation.

*Voy. la Diop-
trique de Des-
cartes, disc. 8.^e*

J'eus donc recours encore une fois à l'expérience: je pris des miroirs de métal de différens foyers & de différens degrés de poliment; & en comparant l'action des différens foyers sur les mêmes matières combustibles, je trouvai qu'à égale intensité de lumière, les grands foyers font constamment beaucoup plus d'effet que les petits, & produisent

Mém. 1747.

M

souvent l'inflammation, ou l'embrasement, tandis que les petits ne produisent qu'une chaleur médiocre: je trouvai la même chose avec les miroirs par réfraction. Pour le faire mieux sentir, prenons, par exemple, un grand miroir ardent par réfraction, tel que celui du sieur Segard, qui a 32 pouces de diamètre & un foyer de 8 lignes de largeur, à 6 pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en moins d'une minute, & faisons dans les mêmes proportions un petit verre ardent de 32 lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{8}{12}$ ou $\frac{2}{3}$ de ligne, & la distance à 6 pouces; puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue entière de son foyer qui est de 8 lignes, le petit verre devroit, suivant la théorie, fondre dans le même temps la même matière dans l'étendue de son foyer qui est de $\frac{2}{3}$ de ligne: ayant fait l'expérience, j'ai trouvé, comme je m'y attendois bien, que loin de fondre le cuivre, ce petit verre ardent pouvoit à peine donner un peu de chaleur à cette matière.

La raison de cette différence est aisée à donner, si l'on fait attention que la chaleur se communique de proche en proche, & se disperse, pour ainsi dire, lors même qu'elle est appliquée continuellement sur le même point; par exemple, si l'on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, & que ce foyer n'ait qu'une ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu se disperse & s'étend dans le volume entier de l'écu, & il devient chaud jusqu'à la circonférence; dès-lors toute la chaleur, quoiqu'employée d'abord contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas, & ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeurait toute entière: mais, si au lieu d'un foyer d'une ligne, qui tombe sur le milieu de l'écu, on fait tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale intensité, toutes les parties de l'écu étant également échauffées dans ce dernier cas, non seulement il n'y a pas de perte de chaleur, comme dans le premier, mais même il y a du gain & de l'augmentation de chaleur, car le point du milieu profitant de

la chaleur des autres points qui l'environnent, l'écu sera fondu dans ce dernier cas, tandis que, dans le premier, il ne sera que légèrement échauffé.

Après avoir fait ces expériences & ces réflexions, je sentis augmenter prodigieusement l'espérance que j'avois de réussir à faire des miroirs qui brûleraient au loin; car je commençai à ne plus craindre autant que je l'avois craind d'abord, la grande étendue des foyers, je me persuadai au contraire qu'un foyer d'une largeur considérable, comme de deux pieds, & dans lequel l'intensité de la lumière ne serait pas, à beaucoup près, aussi grande que dans un petit foyer, comme de quatre lignes, pourroit cependant produire avec plus de force, l'inflammation & l'embrasement, & que par conséquent ce miroir qui, par la théorie mathématique, devoit avoir au moins 30 pieds de diamètre, se réduiroit sans doute à un miroir de 8 ou 10 pieds tout au plus; ce qui est non seulement une chose possible, mais même très-pratiquable.

Je pensai donc sérieusement à exécuter mon projet; d'abord j'avois dessein de brûler à 200 ou 300 pieds avec des glaces circulaires ou hexagones d'un pied quarré de surface, & je voulois faire quatre châssis de fer pour les porter, avec trois vis à chacune pour les mouvoir en tout sens, & un ressort pour les assujétir; mais la dépense trop considérable qu'exigeoit cet ajustement, me fit abandonner cette idée, & je me rabatis à des glaces communes de 6 pouces sur 8 pouces, & un ajustement en bois qui, à la vérité, est moins solide & moins précis, mais dont la dépense convenoit mieux à une tentative. M. Passément, dont l'habileté dans les mécaniques est connue même de l'Académie, se chargea de ce détail; & je n'en ferai pas la description, parce qu'un coup d'œil sur le miroir en fera mieux entendre la construction qu'un long discours.

Il suffira de dire qu'il est composé de 168 glaces étamées de 6 pouces sur 8 pouces chacune, éloignées les unes des autres d'environ quatre lignes, que chacune de ces glaces

se peut mouvoir en tout sens, & indépendamment de toutes les autres, & que les quatre lignes d'intervalle qui sont entre elles, servent non seulement à la liberté de ce mouvement, mais aussi à laisser voir à celui qui opère, l'endroit où il faut conduire les images. Au moyen de cette construction, l'on peut faire tomber sur le même point les 168 images, & par conséquent, brûler à plusieurs distances, comme à 20, 30, & jusqu'à 150 pieds, & à toutes les distances intermédiaires; & en augmentant la grandeur du miroir, ou en faisant d'autres miroirs semblables au premier, on est sûr de porter le feu à de plus grandes distances encore, ou d'en augmenter, autant qu'on voudra, la force ou l'activité à ces premières distances.

Seulement il faut observer que le mouvement dont j'ai parlé n'est point trop aisé à exécuter, & que d'ailleurs il y a un grand choix à faire dans les glaces : elles ne sont pas toutes, à beaucoup près, également bonnes, quoiqu'elles paroissent telles à la première inspection; j'ai été obligé d'en faire faire plus de 500 pour avoir les 168 dont je me suis servi : la manière de les essayer est de recevoir à une grande distance, par exemple, à 150 pieds, l'image réfléchie du soleil contre un plan vertical; il faut choisir celles qui donnent une image ronde & bien terminée, & rebuter toutes les autres qui sont en beaucoup plus grand nombre, & dont les épaisseurs étant inégales en différens endroits, ou la surface un peu concave ou convexe, au lieu d'être plane, donnent des images mal terminées, doubles, triples, oblongues, chevelues, &c. suivant les différentes défauts qui se trouvent dans les glaces.

Par la première expérience que j'ai faite le 23 Mars dernier 1747, à midi, j'ai mis le feu, à 66 pieds de distance, à une planche de hêtre goudronnée, avec 40 glaces seulement, c'est-à-dire, avec le quart du miroir environ; mais il faut observer que n'étant pas encore monté sur son pied, il étoit posé très-désavantageusement, faisant avec le soleil un angle de près de 20 degrés de déclinaison, & un autre de plus de 10 degrés d'inclinaison.

Le même jour, une heure après, j'ai mis le feu à une planche goudronnée & soufrée, à 126 pieds de distance, avec 28 glaces, le miroir étant posé encore plus désavantageusement. On sent bien que pour brûler avec le plus d'avantage, il faut que le miroir soit directement opposé au soleil, aussi-bien que les matières qu'on veut enflammer; en sorte qu'en supposant un plan perpendiculaire sur le plan du miroir, il faut qu'il passe par le soleil, & en même temps par le milieu des matières combustibles.

Le 3 Avril à quatre heures du soir, le miroir étant monté & posé sur son pied, on a produit une légère inflammation sur une planche couverte de laine hachée, à 138 pieds de distance avec 112 glaces, quoique le soleil fût foible, & que la lumière en fût fort pâle. Il faut prendre garde à soi, lorsqu'on approche de l'endroit où sont les matières combustibles, & il ne faut pas regarder le miroir; car si malheureusement les yeux se trouvoient au foyer, on seroit aveuglé par l'éclat de la lumière.

Le 4 Avril à onze heures du matin, le soleil étant fort pâle & couvert de vapeurs & de nuages légers, on n'a pas laissé de produire avec 154 glaces, à 150 pieds de distance, une chaleur si considérable, qu'elle a fait en moins de deux minutes fumer une planche goudronnée, qui se seroit certainement enflammée, si le soleil n'avoit pas disparu tout à coup.

Le lendemain 5 Avril à trois heures après midi, par un soleil encore plus foible que le jour précédent, on a enflammé, à 150 pieds de distance, des copeaux de sapin soufrés & mêlés de charbon, en moins d'une minute & demie, avec 154 glaces. Lorsque le soleil est vif, il ne faut que quelques secondes pour produire l'inflammation.

Le 10 Avril après midi, par un soleil assez net, on a mis le feu à une planche de sapin goudronnée, à 150 pieds avec 128 glaces seulement, l'inflammation a été très-subite, & elle s'est faite dans toute l'étendue du foyer qui avoit environ 16 pouces de diamètre à cette distance.

Le même jour à deux heures & demie, on a porté le feu sur une planche de hêtre, goudronnée en partie, & couverte en quelques endroits de laine hachée; l'inflammation s'est faite très-promptement, elle a commencé par les parties du bois qui étoient découvertes; & le feu étoit si violent, qu'il a fallu tremper dans l'eau la planche pour l'éteindre: il y avoit 148 glaces, & la distance étoit de 150 pieds.

Le 11 Avril, le foyer n'étant qu'à 20 pieds de distance du miroir, il n'a fallu que 12 glaces pour enflammer des petites matières combustibles: avec 21 glaces on a mis le feu à une planche de hêtre qui avoit déjà été brûlée en partie: avec 45 glaces on a fondu un gros flacon d'étain qui pesoit environ six livres; & avec 117 glaces on a fondu des morceaux d'argent mince, & rougi une plaque de tôle: & je suis persuadé qu'à 50 pieds on fondra les métaux aussi bien qu'à 20, en employant toutes les glaces du miroir; & comme le foyer, à cette distance, est large de 6 à 7 pouces, on pourra faire des épreuves en grand sur les métaux, ce qu'il n'étoit pas possible de faire avec les miroirs ordinaires dont le foyer est ou très-foible, ou cent fois plus petit que celui de mon miroir. J'ai remarqué que les métaux, & sur-tout l'argent, fument beaucoup avant de se fondre, la fumée en étoit si sensible, qu'elle faisoit ombre sur le terrain; & c'est-là où je l'observai attentivement; car il n'est pas possible de regarder un instant le foyer, lorsqu'il tombe sur du métal: l'éclat en est beaucoup plus vif que celui du soleil.

Le mauvais temps qu'il a fait depuis un mois que le miroir est construit, ne m'a pas permis de faire un plus grand nombre d'expériences; mais celles que je viens de rapporter, suffisent pour constater l'invention; & puisque j'ai brûlé à 150 pieds, par un soleil de printemps très-foible, je puis présumer que par un soleil d'été, on brûlera à 200 pieds; & avec trois autres miroirs semblables, je suis sûr de brûler à 400 pieds, & peut-être plus loin: j'avoue que n'ayant pû faire autant d'expériences que je le desirois, je

ne suis pas encore certain de la distance à laquelle se portera l'action de mon miroir au-delà de 150 pieds; mais au moins je puis assurer ce fait, & j'attends avec impatience les beaux jours, pour en acquérir de nouveaux.

Il faut environ une demi-heure pour monter le miroir, & pour faire coïncider toutes les images au même point; mais lorsqu'il est une fois ajusté, on peut s'en servir à toute heure, en tirant seulement un rideau, il mettra le feu aux matières combustibles très-promptement, & on ne doit pas le déranger, à moins qu'on ne veuille changer la distance; par exemple, lorsqu'il est arrangé pour brûler à 100 pieds, il faut une demi-heure pour l'ajuster à la distance de 150 pieds, & ainsi des autres.

Ce miroir brûle en haut, en bas & horizontalement, suivant la différente inclinaison qu'on lui donne; les expériences que je viens de rapporter, ont été faites publiquement au Jardin du Roi, sur un terrain horizontal, contre des planches posées verticalement: je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir qu'il auroit brûlé avec plus de force en haut, & moins de force en bas; & de même, qu'il est plus avantageux d'incliner le plan des matières combustibles parallèlement au plan du miroir: ce qui fait qu'il a cet avantage de brûler en haut, en bas & horizontalement, sur les miroirs ordinaires de réflexion qui ne brûlent qu'en haut, c'est que son foyer est fort éloigné, & qu'il a si peu de courbure, qu'elle est insensible à l'œil; il est environ large de 7 pieds, & haut de 8 pieds, ce qui ne fait qu'environ la 150^e partie de la circonférence de la sphère, lorsqu'on brûle à 150 pieds.

La raison qui m'a déterminé à préférer des glaces de 6 pouces de largeur sur 8 pouces de hauteur, à des glaces carrées de 6 ou 8 pouces, c'est qu'il est beaucoup plus commode de faire les expériences sur un terrain horizontal & de niveau, que de les faire de bas en haut; & qu'avec cette figure plus haute que large, les images étoient plus rondes, au lieu qu'avec des glaces carrées, elles auroient été

96 MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE ROYALE
aplaties, surtout pour les petites distances, dans cette situation horizontale.

Cette découverte nous fournit plusieurs choses utiles pour la Physique, & peut-être pour les Arts. On fait que ce qui rend les miroirs ordinaires de réflexion presque inutiles pour les expériences, c'est qu'ils brûlent toujours en haut, & qu'on est fort embarrassé de trouver des moyens pour suspendre ou soutenir à leur foyer, les matières qu'on veut fondre ou calciner : au moyen de mon miroir, on fera brûler en bas les miroirs de métal, & avec un avantage si considérable, qu'on aura une chaleur de tel degré qu'on voudra ; par exemple, en opposant à mon miroir, un miroir de métal concave d'un pied quarré de surface, la chaleur que ce dernier miroir produira à son foyer, en employant 154 glaces seulement, fera plus de 12 fois plus grande que celle qu'il produit ordinairement ; & l'effet fera le même que s'il existoit 12 soleils au lieu d'un, ou plutôt que si le soleil avoit 12 fois plus de chaleur.

Secondement, on aura par le moyen de mon miroir, la vraie échelle de l'augmentation de la chaleur, & on fera un thermomètre réel, dont les divisions n'auront plus rien d'arbitraire depuis la température de l'air, jusqu'à tel degré de chaleur qu'on voudra, en faisant tomber une à une successivement, les images du soleil les unes sur les autres, & en graduant les intervalles, soit au moyen d'une liqueur expansive, soit au moyen d'une machine de dilatation ; & de là nous saurons ce que c'est en effet qu'une augmentation double, triple, quadruple, &c. de chaleur, & nous connoîtrons les matières dont l'expansion ou les autres effets seront les plus convenables pour mesurer les augmentations de chaleur.

Troisièmement, nous saurons au juste combien de fois il faut la chaleur du soleil pour brûler, fondre ou calciner différentes matières, ce qu'on ne savoit estimer jusqu'ici que d'une manière vague & fort éloignée de la vérité ; & nous serons en état de faire des comparaisons précises de l'activité de nos feux, avec celle du feu du soleil, & d'avoir sur cela
des

des rapports exacts , & des mesures fixes & invariables.

Enfin, on sera convaincu, lorsqu'on aura examiné la théorie que j'ai donnée, & qu'on aura vû l'effet de mon miroir, que le moyen que j'ai employé, étoit le seul par lequel il fût possible de réussir à brûler au loin ; car indépendamment de la difficulté physique de faire de grands miroirs concaves sphériques, paraboliques, ou d'une autre courbure quelconque assez régulière pour brûler à 150 pieds, on se démontrera aisément à soi-même, qu'ils ne produiroient à très-peu près qu'autant d'effet que le mien, parce que le foyer en seroit presque aussi large ; que de plus ces miroirs courbes, quand même il seroit possible de les exécuter, auroient le désavantage très-grand de ne brûler qu'à une seule distance, au lieu que le mien brûle à toutes les distances ; & par conséquent on abandonnera le projet de faire par le moyen des courbes, des miroirs pour brûler au loin, ce qui a occupé inutilement un grand nombre de Mathématiciens & d'Artistes qui se trompoient toujours, parce qu'ils confidéroient les rayons du Soleil comme parallèles, au lieu qu'il faut les considérer ici tels qu'ils sont, c'est-à-dire, comme faisant des angles de toute grandeur, depuis zéro jusqu'à 32 minutes, ce qui fait qu'il est impossible, quelque courbure qu'on donne à un miroir, de rendre le diamètre du foyer plus petit que la corde de l'arc qui mesure cet angle de 32 minutes. Ainsi quand même on pourroit faire un miroir concave pour brûler à une grande distance, par exemple, à 150 pieds, en le travaillant dans tous les points sur une sphère de 600 pieds de diamètre, & en employant une masse énorme de verre ou de métal, il est clair qu'on aura, à très-peu près, autant d'avantage à n'employer au contraire, que de petits miroirs plans.

Au reste, comme tout a des limites, quoique mon miroir soit susceptible d'une plus grande perfection, tant pour l'ajustement, que pour plusieurs autres choses, & que je compte bien en faire un autre, dont les effets seront supérieurs, cependant il ne faut pas espérer qu'on puisse jamais brûler à de très-grandes distances ; car pour brûler, par exemple, à une

demi-lieue, il faudroit un miroir 2000 fois plus grand que le mien ; & tout ce qu'on pourra jamais faire, est de brûler à 8 ou 900 pieds tout au plus, le foyer feroit alors un chemin d'environ six pieds par minute.

Il n'est pas nécessaire d'avertir qu'on peut faire avec des petits morceaux plats de glace ou de métal, des miroirs dont les foyers seront variables, & qui brûleront à de petites distances avec une grande vivacité ; & en les montant à peu près comme l'on monte les parasols, il ne faudroit qu'un seul mouvement pour en ajuster le foyer : cependant quelque simple que cela soit, j'ai trouvé quelque chose d'encore plus simple, que je donnerai quelque jour au public ; mais je n'ai eu pour but dans ce Mémoire, que le miroir d'Archimède. Je donnerai aussi ce que j'ai trouvé sur les miroirs de réfraction : j'ai plusieurs moyens de faire des miroirs de réflexion d'une seule pièce, dont cependant le foyer est variable ; & aussi des miroirs de réfraction, qui produiront une chaleur au moins quatre fois plus grande que le miroir du sieur Segard, qui est le meilleur que je connoisse ; mais quelque sûr que je sois du succès de ces miroirs, comme ils ne sont pas encore exécutés, je ne dois pas entrer dans le détail de mes recherches à ce sujet, & c'est peut-être trop que de les annoncer.

Maintenant que j'ai rendu compte de ma découverte, & du succès de mes expériences, je dois rendre à Archimède & aux anciens, la gloire qui leur est due : il est certain qu'Archimède a pû faire avec des miroirs de métal, ce que j'ai fait avec des miroirs de glace ; il est sûr qu'il avoit plus de lumières qu'il n'en faut pour imaginer la théorie qui m'a guidé, & la mécanique que j'ai fait exécuter, & que par conséquent on ne peut lui refuser le titre de premier inventeur de ces miroirs, que l'occasion où il fut les employer, rendit sans doute plus célèbres que le mérite de la chose même.

Pendant le temps que j'ai travaillé à ces miroirs, j'ignorois le détail de tout ce qu'en ont dit les anciens ; mais après avoir réussi à les faire, j'ai été bien aise de m'en instruire.

M. Melot de l'Académie des Belles-Lettres, & l'un des Gardes de la Bibliothèque du Roi, dont la grande érudition & les talens sont connus de tous les Savans, a eu la bonté de me communiquer une excellente Dissertation qu'il a faite sur ce sujet, dans laquelle il rapporte les témoignages de tous les Auteurs qui ont parlé des miroirs ardens d'Archimède; ceux qui en parlent le plus clairement, sont Zonaras & Tzetzes, qui vivoient tous deux dans le XII^e siècle: le premier dit qu'*Archimède*, avec ses miroirs ardens, mit en cendres toute la flotte des Romains: *ce Géomètre*, dit-il, *ayant reçu les rayons du Soleil sur un miroir, à l'aide de ces rayons rassemblés & réfléchis par l'épaisseur & le poli du miroir, il embrasa l'air, & alluma une grande flamme qu'il lança toute entière sur les vaisseaux qui mouilloient dans la sphère de son activité, & qui furent tous réduits en cendres.* Le même Zonaras rapporte aussi, qu'au siècle de Constantinople, sous l'empire d'Anastase, l'an 514 de Jésus-Christ, Proclus brûla avec des miroirs d'airain, la flotte de Vitalien qui assiégeoit Constantinople; & il ajoute que ces miroirs étoient une découverte ancienne, & que l'historien Dion en donne l'honneur à Archimède qui la fit, & s'en servit contre les Romains, lorsque Marcellus fit le siège de Syracuse.

Tzetzes non seulement rapporte & assure le fait des miroirs, mais même il en explique en quelque façon la construction. *Lorsque les vaisseaux Romains*, dit-il, *furent à la portée du trait, Archimède fit faire une espèce de miroir hexagone, & d'autres plus petits de 24 angles chacun, qu'il plaça dans une distance proportionnée, & qu'on pouvoit mouvoir à l'aide de leurs charnières & de certaines lames de métal; il plaça le miroir hexagone de façon qu'il étoit coupé par le milieu par le méridien d'hiver & d'été, en sorte que les rayons du soleil reçus sur ce miroir, venant à se briser, allumèrent un grand feu qui réduisit en cendres les vaisseaux Romains, quoiqu'ils fussent éloignés de la portée d'un trait.* Ce passage me paroît assez clair; il fixe la distance à laquelle Archimède a brûlé, la portée du trait ne peut guère être que de 150 ou 200 pieds; il donne l'idée

de la construction, & fait voir que le miroir d'Archimède pouvoit être, comme le mien, composé de plusieurs petits miroirs qui se mouvoient par des mouvemens de charnières & de ressorts, & enfin il indique la position du miroir, en disant que le miroir hexagone autour duquel étoient, sans doute, les miroirs plus petits, étoit coupé par le méridien, ce qui veut dire apparemment que le miroir doit être opposé directement au soleil; d'ailleurs le miroir hexagone étoit probablement celui dont l'image servoit de mire pour ajuster les autres, & cette figure n'est pas tout-à-fait indifférente, non plus que celle des 24 angles ou 24 côtés des petits miroirs. Il est aisé de sentir qu'il y a en effet de l'avantage à donner à ces miroirs une figure polygone d'un grand nombre de côtés égaux, afin que la quantité de lumière soit moins inégalement répartie dans l'image réfléchie; & elle sera répartie le moins inégalement qu'il est possible, lorsque les miroirs seront circulaires: j'ai bien vû qu'il y avoit de la perte à employer des miroirs quarrés longs de 6 pouces sur 8 pouces; mais j'ai préféré cette forme, parce qu'elle est, comme je l'ai dit, plus avantageuse pour brûler horizontalement.

J'ai aussi trouvé dans la même dissertation de M. Melot, que le P. Kircher avoit écrit qu'Archimède avoit pû brûler à une grande distance avec des miroirs plans, & que l'expérience lui avoit appris, qu'en réunissant de cette façon les images du soleil, on produisoit une chaleur considérable au point de réunion.

Enfin dans les Mémoires de l'Académie, année 1726, M. du Fay, dont j'honorerai toujours la mémoire & les talens, paroît avoir touché à cette découverte. Il dit, *qu'ayant reçu l'image du soleil sur un miroir plan d'un pied en quarré, & l'ayant portée jusqu'à 600 pieds sur un miroir concave de 17 pouces de diamètre, elle avoit encore la force de brûler des matières combustibles au foyer de ce dernier miroir.* Et à la fin de son Mémoire, il dit *que quelques Auteurs, il veut sans doute parler du P. Kircher, ont proposé de former un miroir d'un très-long foyer par un grand nombre de petits miroirs plans que plusieurs*

personnes tiendroient à la main, & dirigeroient de façon que les images du soleil formées par chacun de ces miroirs concoureroient en un même point, & que ce seroit peut-être la façon de réussir la plus sûre & la moins difficile à exécuter. Un peu de réflexion sur l'expérience du miroir concave & sur ce projet, auroit porté M. du Fay à la découverte du miroir d'Archimède, qu'il traite cependant de fable un peu plus haut; car il me paroît qu'il étoit tout naturel de conclure de son expérience, que puisqu'un miroir concave de 17 pouces de diamètre sur lequel l'image du soleil ne tomboit pas toute entière, à beaucoup près, peut cependant brûler par cette seule partie de l'image du soleil réfléchie à 600 pieds dans un foyer que je suppose large de trois lignes, 1156 miroirs plans semblables au premier miroir réfléchissant, doivent, à plus forte raison, brûler directement à cette distance de 600 pieds, & que par conséquent 289 miroirs plans auroient été plus que suffisans pour brûler à 300 pieds en réunissant les 289 images: mais en fait de découvertes, le dernier pas, quoique souvent le plus facile, est cependant celui qu'on fait le plus rarement.



Invention de miroirs ardents pour brûler à une grande distance - M. DE BUFFON
Académie royale des sciences - Année 1747

CATOPTRIQUE, OPTIQUE, PHYSIQUE
DE BUFFON, ARCHIMÈDE, DESCARTES, PASSEMENT, DU FAY
