

PSEUDO-EUCLIDE, PSEUDO-PTOLÉMÉE ET THIASOS SUR LES MIROIRS

ROSHDI RASHED

Laboratoire SPHERE, CNRS – université Paris-Diderot

Email : rashed@paris7.jussieu.fr

Abstract. Among the writings devoted to the reflection of “visual” and solar rays on various mirrors, there are two that preceded many others and that occupy a central position in the history of catoptrics: one is attributed to Euclid, the other to Ptolemy. To these two names, we add a third, hitherto unknown, Thiasos. In this article, we take up the textual and conceptual history of this catoptric research tradition.

Résumé. Parmi les écrits consacrés à la réflexion des rayons « visuels » et solaires sur les différents miroirs, il en existe deux, qui ont précédé bien d'autres, et qui occupent une position centrale dans l'histoire de la catoptrique : l'un est attribué à Euclide, l'autre à Ptolémée. À ces deux noms, on en ajoute un troisième jusqu'ici inconnu, Thiasos. Dans cet article, nous reprenons l'histoire textuelle et conceptuelle de cette tradition de recherche catoptrique.

L'étude géométrique de la réflexion des rayons visuels ou solaires sur les miroirs a été menée pendant plusieurs siècles par les mathématiciens grecs dans trois domaines à la fois. Le premier est la catoptrique, qui porte sur la vision par réflexion des rayons visuels, et qui se présente comme toute étude géométrique sous la forme d'un système de propositions déduites de quelques hypothèses sur la vision. Les titres représentant cette étude sont la *Catoptrique* attribuée à Euclide et les livres III et IV de l'*Optique* de Ptolémée¹.

Le second domaine est celui de l'étude des miroirs ardents depuis l'époque d'Archimède, avec le compagnon de Conon d'Alexandrie, Théodose, puis Dioclès, qui cite dans son livre les noms de plusieurs de ses prédécesseurs mathématiciens. On peut également évoquer Dtrūms, Didyme², Anthémius de Tralles. Il s'agit cette fois de l'étude de la réflexion des rayons du soleil sur les miroirs, pour produire une concentration des rayons en vue d'embraser un objet, proche ou lointain.

¹ Euclide, *L'Optique et la Catoptrique*, trad. P. Ver Eecke (Paris, 1959). Ptolémée, *L'Optique, dans la version latine de l'émir Eugène de Sicile*, éd. critique et exégétique par A. Lejeune (Louvain, 1956), livres III et IV, p. 86 sq.

² R. Rashed, *Les catoptriciens grecs*, vol. I, « Les miroirs ardents » (Paris : Les Belles Lettres, 2000).

Mais, alors que la première tradition est dite euclidienne, on qualifie la seconde d'archimédienne, en raison de la légende selon laquelle Archimède aurait incendié la flotte romaine lors de l'attaque de Syracuse³.

Il existe une troisième tradition d'étude de la réflexion des rayons visuels, et parfois solaires, sur les miroirs, représentée par un livre d'un Pseudo-Euclide, différent de la catoptrique attribuée à Euclide; ainsi que par des livres d'un Pseudo-Ptolémée, d'un certain Thiasos et, aussi, de Héron d'Alexandrie. Il s'agit de la réflexion sur les miroirs, des rayons visuels et parfois des rayons solaires, pour divertir en produisant des figures curieuses, ou pour éclairer les maisons ou les théâtres.

Ces trois traditions, si leurs buts sont différents, ainsi que leurs thèmes d'étude et leurs styles, ne sont pas indépendantes. Certains thèmes leur sont communs, comme par exemple miroirs ardents et miroirs plaisants, ou problèmes de vision et problèmes plaisants, etc. Les auteurs utilisent tous l'égalité des angles d'incidence et de réflexion, sinon la loi de la réflexion.

Dans cette étude, nous nous intéresserons à la troisième tradition. Celle-ci est représentée depuis plus d'un siècle par deux traités : le *Tractatus de speculis* du [Pseudo-]Euclide et le *De speculis* du Pseudo-Ptolémée. Le premier est une traduction latine du XII^e siècle, à partir d'un livre arabe intitulé « Livre sur les miroirs d'Euclide⁴ » (lui-même traduction d'un livre grec), faite par Gérard de Crémone ou par l'un de ses élèves. Ce *tractatus* a été édité et traduit en allemand par A. Bjørnbo et S. Vogl en 1912⁵. Ces derniers, au cours de leur traduction allemande, ont souligné que le Pseudo-Ptolémée avait emprunté des problèmes au « Livre sur les miroirs d'Euclide », c'est-à-dire au Pseudo-Euclide; ils ont également noté les emprunts faits plus tard au Pseudo-Ptolémée par Witelo, Roger Bacon, Albert le Grand, Vincent de Beauvais, entre autres.

Quant au *De speculis* du Pseudo-Ptolémée, c'est une traduction latine d'un texte grec perdu, faite par Guillaume de Moerbeke en 1269. Cette traduction a été imprimée à Venise (en 1518, réimprimé en 1519), puis en 1870 par V. Rose. W. Schmidt en a donné une édition critique et une traduction allemande en 1900⁶. A. Jones a publié une seconde édition

³ Sur cette légende, voir D. L. Simms, « Galen on Archimedes : Burning mirrors or burning pitch? », *Atti della fondazione Giorgio Ronchi*, année LXI, n° 1 (janv.-fév. 2006), p. 115-139.

⁴ Voir plus loin l'*editio princeps* et la traduction de ce traité.

⁵ A. A. Bjørnbo et S. Vogl, « Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid : Drei optische Werke », *Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen*, vol. 26, n° 3 (1912).

en 2001, accompagnée d'une traduction anglaise⁷. W. Schmidt, à la suite des historiens G. Venturi et T. H. Martin⁸, écrit⁹ :

Ich möchte es aus den angeführten Gründen nunmehr für sicher halten, dass uns im Ptolomeus De speculis Herons Katoptrik, wengleich in stark gekürzter und verderbter Gestalt, vorliegt.

Ce résultat est admis par les historiens de la catoptrique grecque. Ainsi A. Lejeune écrit¹⁰ :

Les arguments invoqués par Schmidt (Prolégomènes de Héron, Catop. P. 303 suiv.) à la suite de Martin et Venturi nous paraissent concluants.

Ainsi, selon ces auteurs, et d'autres ensuite, le *De speculis* n'est pas une œuvre de Ptolémée, mais une version abrégée de la *Catoptrique* de Héron d'Alexandrie.

Notons que S. Vogl, dans sa traduction allemande du *Tractatus* de Pseudo-Euclide, a relevé quelques problèmes communs à ce dernier et à Pseudo-Ptolémée.

Nous allons montrer 1^o qu'il existe une traduction en arabe d'un livre grec intitulé « Livre des miroirs d'Euclide », *Kitāb al-marāʾi li-Uqlīdis*, qui renferme les principaux problèmes du *Tractatus* latin, traduit, nous l'avons dit, par Gérard de Crémone ou l'un de ses disciples ; 2^o qu'il existe un traité « Sur les miroirs ardents », d'un certain Ἰῥῆσῦς, Θῆασος, qui a été traduit en arabe et cité par le mathématicien du x^e siècle ʿUṭā-riḍ b. Muḥammad al-Ḥāsib, et qui comprend des problèmes du livre du Pseudo-Euclide ainsi que des problèmes du Pseudo-Ptolémée. De ce Thiasos, nous ne connaissons rien. Le nom est cependant attesté durant la période hellénistique et romaine¹¹. 3^o Nous allons montrer que

⁶ W. Schmidt, [*Claudii Ptolemaei*] *De speculis*, dans *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia*, vol. 2.1, « Herons von Alexandria, Mechanik und Katoptrik », éd. L. Nix et W. Schmidt (Leipzig : Teubner, 1900).

⁷ A. Jones, « Pseudo-Ptolemy, *De speculis* », *SCIAMVS : Sources and commentaries in exact sciences*, 2 (2001), p. 145-186.

⁸ G. Venturi, *Commentarj sopra la storia e le teorie dell' ottica* (Bologne, 1814). T. H. Martin, *Recherches sur la vie et les ouvrages de Héron d'Alexandrie, disciple de Ctésibius, et sur tous les ouvrages mathématiques grecs, conservés ou perdus, publiés ou inédits, qui ont été attribués à un auteur nommé Héron* (Paris, 1854).

⁹ W. Schmidt, [*Claudii Ptolemaei*] *De speculis*, p. 306.

¹⁰ A. Lejeune, *Recherches sur la catoptrique d'après les sources antiques et médiévales* (Bruxelles, 1957), p. 5, note 6.

¹¹ Le nom grec Θῆασος, correspondant à l'arabe ثياسوس, n'est pas attesté, pour un personnage historique, dans les textes grecs transmis par les manuscrits byzantins. On en trouve en revanche neuf mentions dans les inscriptions épigraphiques et les papyrus grecs. Les voici, classées par ordre chronologique.

[1]-[2] Les deux plus anciennes (= IG XV, Paphos V 449 et Appl. I, 230) apparaissent

ces écrits ne sont pas indépendants, comme l'a suggéré S. Vogl il y a un siècle environ. La question ouverte est donc : existait-il une source commune, en plus des sources particulières à chacun ? Cela fait partie des questions léguées à la recherche future. Pour l'heure, nous allons établir ces nouveaux faits, et montrer que ceux-ci étaient connus des catoptriciens arabes du IX^e siècle, comme al-Kindī et Qusṭā b. Lūqā, et ensuite de Aḥmad b. ʿĪsā et de ʿUṭārid b. Muḥammad al-Ḥāsib au X^e siècle.

1. LE LIVRE DES MIROIRS D'EUCLIDE

Ce livre du Pseudo-Euclide diffère non seulement par son extension, mais aussi par les sujets traités, de la *Catoptrique* attribuée à Euclide.

sur des amphores. Elles font partie du sceau du fabricant Thiasos, acteur du commerce rhodien au début du I^{er} siècle av. J.-C. On peut les dater des années 198 ca – 161.

[3] Au I^{er} siècle de notre ère, on grave, pour l'*Asclepieion* de l'île de Cos, une inscription en l'honneur de C. Iulius Thiasos, un affranchi d'Auguste (= IG XII,4, 2 : 873,II, l. 3).

[4] On trouve, durant les années 54-59 ap. J.-C., à Éphèse, dans une liste de noms de pêcheurs et de vendeurs de poisson ayant contribué à l'édification d'un *telonion* en l'honneur de Néron, d'Agrippine, d'Octavie, du *demos* de Rome et de celui d'Éphèse, un certain Thiasos (= Ephesos 267, l. 30).

[5] Quelque vingt ans plus tard, dans la Lydie voisine (région de Silandos), figure la mention, sur une stèle gravée à la mémoire d'une jeune femme datée de l'année 74/75, de son grand-père (πάππος) Thiasos (= SEG 35:1257, l. 6).

[6] Un papyrus de provenance inconnue (= O.Petr. Mus. 431, 6), remontant au premier siècle de notre ère, mentionne, dans une liste de noms, celui de Θίασος.

[7] Un papyrus de Ptolemais Euergetis / Arsinoè, daté de 122/123 (= P. Prag. II 132,1), mentionne un adjoint de Péan, Procureur d'Alexandrie sous le règne d'Hadrien, du nom d'Ὀὔλιος Θίασος (voir L. Vidman, « Ein neuer adiutor procuratoris usiaci », dans *Speculum antiquitatis Graeco-Romanae; Studia in Ioanni Burian sexagenario oblata*, Prague, 1990, p. 342-347 et F. Beutler, « Paeon, der procurator usiacus, und die Datierung von CIL XIV 2932 », *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*, 160, 2007, p. 232-234).

[8] Au I^{er} ou au III^e siècle, une inscription est gravée à Épidauré. La cité y honore un certain Thiasos, fils d'Aristodamos (= IG IV², 1 688).

[9] Le nom apparaît enfin, en Attique, dans une longue liste datée des environs de l'an 200 (= IG II² 2191).

De ces neuf attestations archéologiques, on peut retenir que le nom Θίασος est attesté en Grèce, en Asie Mineure et en Égypte, exclusivement durant la période hellénistique et au début de la période romaine, d'environ 200 av. J.-C. à environ 200 après J.-C. Quatre de ces occurrences appartiennent plus précisément au I^{er} siècle après J.-C. En revanche, ce nom n'est attesté ni à l'époque classique, ni durant l'Antiquité tardive – ce qui s'explique sans doute aussi en raison de ses connotations païennes. [Note rédigée par Marwan Rashed.]

Dans cette dernière, en effet, on étudie les propriétés de la réflexion sur les différents miroirs : plan, sphériques convexe et concave, etc. Dans le premier, on procède par l'usage de certaines de ces propriétés dans le montage d'un miroir ou d'un système catoptrique pour produire des phénomènes curieux ou utiles. À la différence de la *Catoptrique* attribuée à Euclide, dans le « Livre des miroirs » on ne démontre pas les propriétés de la réflexion sur différents miroirs, mais on cherche à produire des effets particuliers. Ainsi, dans la *Catoptrique*, on démontre dans les propositions 19, 20, 21 et 22 comment l'image par réflexion apparaît dans le miroir plan, c'est-à-dire que le côté droit de l'objet apparaît à gauche, et vice versa pour le côté gauche ; dans le « Livre des miroirs », on s'efforce, à l'aide d'un système catoptrique, d'obtenir l'image du côté droit à droite et celle du côté gauche à gauche, dans le but d'étonner et de distraire.

Ce livre du Pseudo-Euclide nous est parvenu dans un manuscrit qui n'a ni prologue, qui aurait pu nous renseigner sur le nom du traducteur de l'original grec, ni colophon, qui aurait pu nous apprendre le nom du copiste et la date ou le lieu de la copie. L'examen du texte et de la terminologie optique montre que la traduction a été faite au ix^e siècle, sinon avant, lors des traductions des travaux grecs sur les miroirs. C'est en effet la terminologie de la traduction des livres de Dioclès, de Didyme, de Dtrūms, entre autres, qui était encore celle de Qusṭā b. Lūqā et d'al-Kindī. Pour ne prendre que quelques exemples, on lit نصب عمودًا, pour « élever une perpendiculaire », au lieu de أقام عمودًا ; شكل صنوبري, « figure de pomme de pin », au lieu de مخروط, « cône » ; مستحدّ pour « sommet » au lieu de رأس ; كتاب الأركان pour « Le livre des Éléments » au lieu de كتاب الأصول pour dessiner au lieu de نرسم ; بثّ pour « émettre » au lieu de أخرج شعاع البصر, « rayon visuel ». Il s'agit de la traduction d'un texte grec, citée ensuite par al-Kindī¹², Aḥmad b. ʿĪsā, entre autres, et plus tard par Salāḥ al-Dīn al-Kaḥḥāl (voir *infra*)...

Le corps de ce livre, tel qu'il se trouve dans le manuscrit, est composé non pas des six propositions sur la réflexion, à démontrer, mais des six problèmes à résoudre, qui suivent immédiatement le titre. Le sixième problème ne tarde pas à s'interrompre, brusquement. La structure de ce livre pourrait suggérer celle d'un fragment d'un traité plus long, duquel on aurait retenu ce groupe de problèmes. Chacun des deux premiers problèmes est composé d'une partie principale, dite « la mère » – *al-umm* – et d'une partie secondaire, « la glose » – *al-ṭurra*. Selon le traducteur,

¹² R. Rashed, *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī*, vol. I, « L'Optique et la Catoptrique d'al-Kindī » (Leiden : Brill, 1997), p. 337-339.

cette dernière partie se trouvait en marge de la partie principale dans l'original grec. Il reconnaît l'avoir reportée après cette partie dans la traduction arabe.

La traduction latine, *Tractatus de speculis*, est composée de 15 problèmes. Les six premiers sont traduits du « Livre sur les miroirs d'Euclide » tels que nous les trouvons dans le manuscrit établi et traduit ici. Il s'agit de problèmes de construction des miroirs pour obtenir des effets curieux par réflexion des rayons visuels. Les neuf problèmes qui restent dans la traduction latine traitent du rayon solaire et du rayon visuel. Examinons quelques uns de ces problèmes.

Le septième problème n'en est pas vraiment un. Il s'agit d'une description de la figure du rayon et du cône visuels, que l'on trouve dans la plupart des livres de catoptrique. On y lit :

Le rayon visuel, à savoir en forme de pomme de pin, est la lumière sortant des yeux, dont la base est comme le ciel¹³.

Les problèmes 8, 9, 10 et 11 traitent des figures des rayons solaires, et ne sont donc pas dans la suite de l'étude du Pseudo-Euclide.

Le douzième problème s'énonce : « De quelle manière on montre que le rayon se réfléchit des deux côtés du miroir sur le point qui est le centre du cercle contenant les deux côtés et l'angle contenu par les deux côtés¹⁴. » Il s'agit d'un problème plus rigoureusement formulé et démontré par al-Kindī dans son livre « Sur les rayons solaires¹⁵ », et repris par Aḥmad b. ʿĪsā¹⁶.

Le problème suivant, le treizième, s'énonce : « Comment se fait un miroir qui embrase en avant et en arrière. » On retrouve ce problème, énoncé dans les mêmes termes par Aḥmad b. ʿĪsā¹⁷. Le problème 14, qui s'énonce : « De cette manière aussi on démontre la réflexion du rayon sur un cristal », figure également dans le traité d'Aḥmad b. ʿĪsā : « De même, nous verrons comment le rayon se réfléchit sur un cristal¹⁸. »

Il est clair que l'existence de plusieurs problèmes communs d'une part aux traités d'al-Kindī et d'Aḥmad b. ʿĪsā et, d'autre part, au texte latin, suggère que, ou bien le traducteur disposait d'un texte arabe qui contenait les neuf problèmes du texte latin, ou bien il existait une traduction arabe d'un écrit grec qui était une source commune. Si cette source exis-

¹³ A. A. Bjørnbo et S. Vogl, *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid*, p. 101.

¹⁴ *Ibid.*, p. 104.

¹⁵ R. Rashed, *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī*, p. 99-100 et 362-364.

¹⁶ *Ibid.*, p. 650-652.

¹⁷ *Ibid.*, p. 670-672.

¹⁸ *Ibid.*, p. 672.

tait, ce serait un livre où l'on étudiait la réflexion des rayons visuels et des rayons solaires à la fois.

Venons-en à présent aux six problèmes du Pseudo-Euclide.

PROBLÈME 1. « Comment dresser un miroir dans lequel tu vois l'image d'un autre et tu ne vois pas ta propre image. »

Dans le *Tractatus* on lit : *Praeparatio speculi, in quo uideas alterius imaginem et non tuam*¹⁹.

Ce même problème, dans le texte de Thiasos, est énoncé : « Dresser un miroir dans lequel l'observateur voit une autre image que la sienne²⁰ » ; et dans le livre d'Ibn ʿĪsā : « Comment le rayon se réfléchit sur un miroir que nous dressons d'une certaine manière, dans lequel nous voyons plusieurs images sans que nous voyions nos personnes²¹. »

La solution donnée à ce problème dans ces différents écrits est toujours la même, ainsi que la figure. On trouve également dans le livre du Pseudo-Ptolémée, problème 18 : « Dresser un miroir en un point déterminé tel que toute personne approchant ne se voie, ni ne voie personne d'autre, mais voie seulement une image qu'on a choisie au préalable²². » Ici la solution est un peu développée, mais cette légère différence ne change rien à l'énoncé précédent.

Voici la solution de Pseudo-Euclide, de Thiasos aussi, qu'Ibn ʿĪsā a reprise.

Solution. Soit AB un mur élevé perpendiculairement à la surface plane BC . Menons BD inclinée de 30° sur AB , et collons le dos d'un miroir sur BD . On a donc $\widehat{ABD} = 30^\circ$.

Élevons CE perpendiculaire en E , prolongeons BD et traçons DG . Le point G se définit par $\widehat{CDG} = \widehat{ECD}$, d'où $DG \parallel EC$. On mène $GH \perp BC$ et on trace IJ vérifiant $IJ \parallel BD$ et $IJ = BD$, J étant un point de GH , et faisons $GJ = GC$.

On montre que l'œil en C voit, par réflexion, seulement l'image de la planche JI , sans voir l'image de l'observateur (fig. 1).

On remarque qu'il s'agit d'un montage catoptrique, sans véritable démonstration.

Ici, la position du point J est définie par $CG = GJ$, ce qui ne permet pas de déduire le résultat cherché dans l'hypothèse $\widehat{ABD} = \frac{1}{3}$ d'un angle droit. En effet, la position du point J doit être définie par $\widehat{CDG} = \widehat{GDJ}$

¹⁹ A. A. Bjørnbo et S. Vogl, *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid*, p. 97.

²⁰ Voir plus loin.

²¹ Ibn ʿĪsā, « Livre de l'optique et des miroirs ardents », *Kitāb al-manāẓir wa-al-marāyā al-muḥriqa*, ms. Laleli n° 2759, f. 22^v-23^r.

²² W. Schmidt, [*Claudii Ptolemaei*] *De speculis*, p. 358 sq.

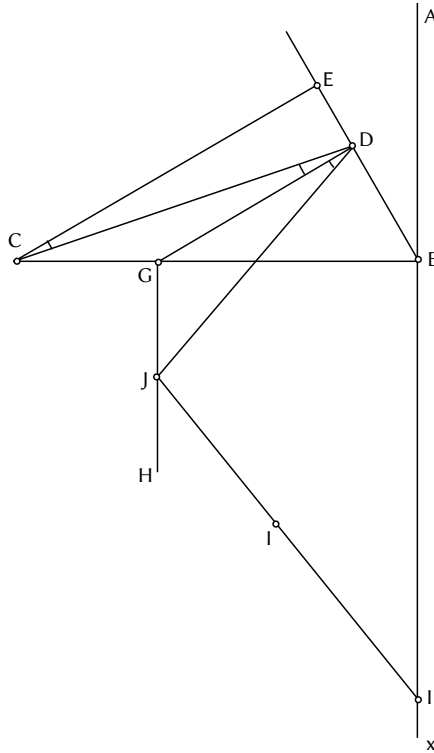


FIG. 2

pour que le rayon JD se réfléchisse vers C .

D'autre part, pour que l'œil de l'observateur ne voie dans le miroir BD que la planche JI , il faudrait que le point I soit sur le rayon issu de CB après réflexion en B . La planche répondant au problème serait donc JI' telle que $JI' \parallel BD$ et $JI' > BD$. Notons que, l'auteur de la glose signale que la définition du point J par $GJ = CG$ est incorrecte, et indique la condition $\widehat{CDG} = \widehat{GDJ}$, mais il ne fait pas de remarque concernant l'égalité $IJ = BD$.

Il note également dans la glose que, pour que $\widehat{CDG} = \widehat{GDJ}$ entraîne $GC = GJ$, il faut changer l'inclinaison du miroir BD et prendre $\widehat{ABD} = 45^\circ$ au lieu de $\widehat{ABD} = 30^\circ$.

Les deux triangles CGD et JGD sont alors équivalents (fig. 2), et on a bien $GC = GJ$. Mais, dans ce cas comme précédemment, la longueur de la planche doit être JI' , le point I' étant sur le prolongement Bx de la droite AB , car CB se réfléchit suivant Bx si $\widehat{ABD} = \widehat{DBC} = 45^\circ$.

L'auteur signale d'ailleurs qu'un rayon issu de C et tombant entre D

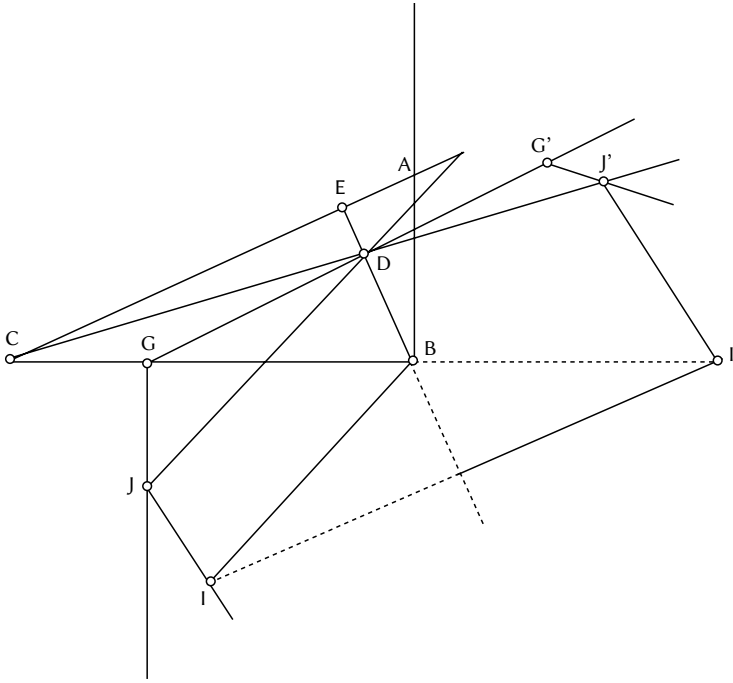


FIG. 3

et B se réfléchit vers un point qui peut être sur IJ ou sur son prolongement.

Dans le texte de Thiasos, on a également l'œil en C au-delà du point G , ce qui est essentiel pour la suite. Pour que l'observateur en C ne voie dans le miroir que la seule image collée sur IJ , il est nécessaire que I et J soient tels que les rayons JD et IB se réfléchissent sur le miroir suivant DC et BC . On a donc $\widehat{CDG} = \widehat{GDJ}$. Par hypothèse $JI \parallel DB$, d'où la construction de I dont l'image I' est sur CB (fig. 3). Dans ce cas l'observateur en C a un champ visuel défini par les droites DJ et BI .

PROBLÈME 2. « Dresser deux miroirs ; la personne se voit dans l'un, venant (*i. e.* de face) et partant (*i. e.* de dos). »

Le traducteur latin a rendu ainsi cet énoncé : *Praeparatio duorum speculorum, in quibus videas formam unam uenientem et recedentem*²³. D'autre part, on lit ce problème (cité par ^cUṭārid) dans le livre de Thiasos : « Comment dresser deux miroirs tels qu'on voie dans l'un une personne de face et de dos²⁴. » Quant à Ibn ^cĪsā, il écrit lui aussi : « Comment

²³ A. A. Bjørnbo et S. Vogl, *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid*, p. 98.

²⁴ Cf. *infra*.

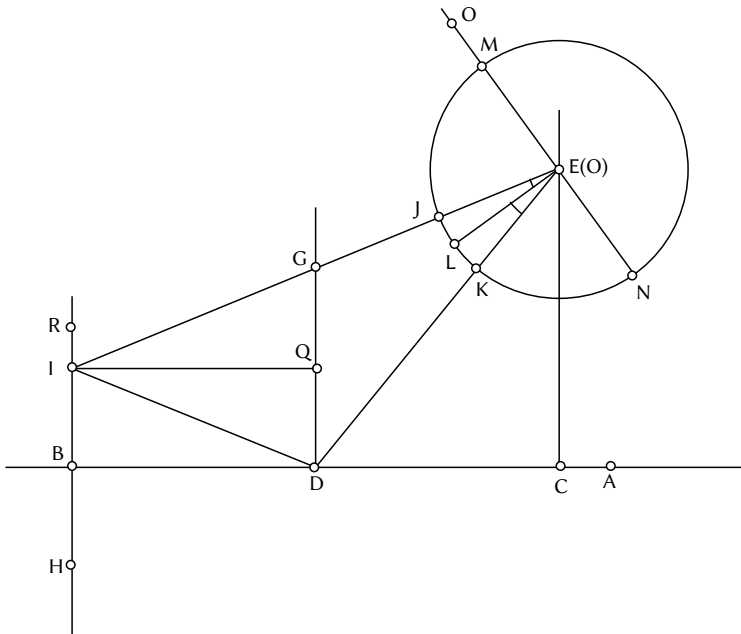


FIG. 4

dresser deux miroirs tels que la personne se voie dans l'un des deux s'approchant et s'éloignant²⁵. »

Comme le premier problème, celui-ci se divise en une partie principale et une glose à cette partie.

Démonstration. On veut construire un système catoptrique de deux miroirs plans tels que, dans l'un, l'observateur se voie de face et de dos.

Selon le Pseudo-Euclide, les miroirs sont carrés, de côté égal à a . Soit BC un segment de droite de milieu D , et les perpendiculaires à BC aux points B, D et C (fig. 4). Sur la première, on a $BH = BI = \frac{a}{2}$; sur la seconde on a $DG = a$ et sur DG le point Q milieu de DG ; sur la troisième on a CE qui rencontre IG en E . Ces trois perpendiculaires sont parallèles.

Traçons le cercle de centre E et de rayon égal à $\frac{a}{2}$. Ce cercle coupe DE en K et IE en J . Soit L le milieu de l'arc JK et $MN \perp EL$. On a $EM = EN = \frac{a}{2}$.

On considère les deux miroirs perpendiculaires au plan de figure suivant HI et MN . Ils ont pour centre respectivement les points B et E . Le rayon suivant DE est réfléchi sur MN suivant EI qui est réfléchi sur HI suivant ID . Si l'observateur fait face au miroir MN , l'œil étant en D , il

²⁵ Ibn 'Īsā, ms. Laleli n° 2759, f. 23^r-24^r. Cf. *infra*.

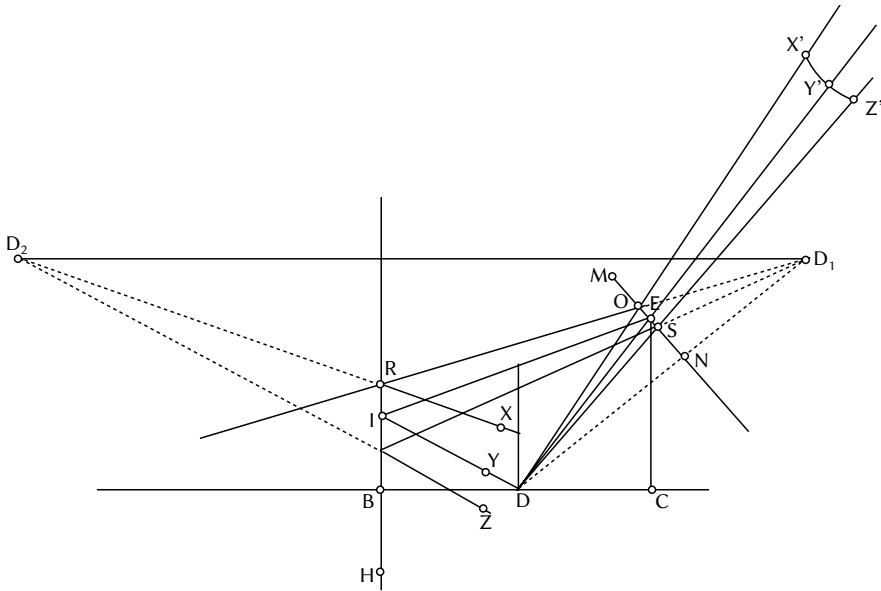


FIG. 5

se voit dans ce miroir de face directement, et se voit de dos par double réflexion.

L'auteur de la glose remarque qu'«il est plus correct de faire la longueur du miroir HI tout entière, et s'il veut voir le sommet de sa tête, le miroir sera plus grand que cela ».

En effet, pour que l'observateur voie le sommet de sa tête, il faut supposer que le miroir HI est prolongé jusqu'au point R .

Un faisceau de lumière issu de D et tombant sur le miroir MN au voisinage de E est réfléchi suivant un faisceau divergent dont le sommet virtuel est D_1 symétrique de D par rapport à MN , il tombe sur le miroir HI au voisinage de I et il est réfléchi suivant un faisceau divergent dont le sommet virtuel est D_2 symétrique de D_1 par rapport au deuxième miroir HI , et qui tombe derrière la tête de l'observateur (fig. 5). Ainsi le point X , sommet de la tête de l'observateur (rayon $XROD$) sera vu en X' dans la direction DO ; les points Y et Z seront vus en Y' et Z' dans les directions respectives DE et DS . Ces points sont vus derrière la tête de l'observateur qui regarde dans le miroir MN .

L'auteur de la glose remarque également que, imposer aux miroirs d'être égaux et d'avoir pour centres les points B et E respectivement, ne présente aucun intérêt. Ses remarques sont pertinentes : il est nécessaire de prolonger BI jusqu'en R si l'on veut voir l'image de X , som-

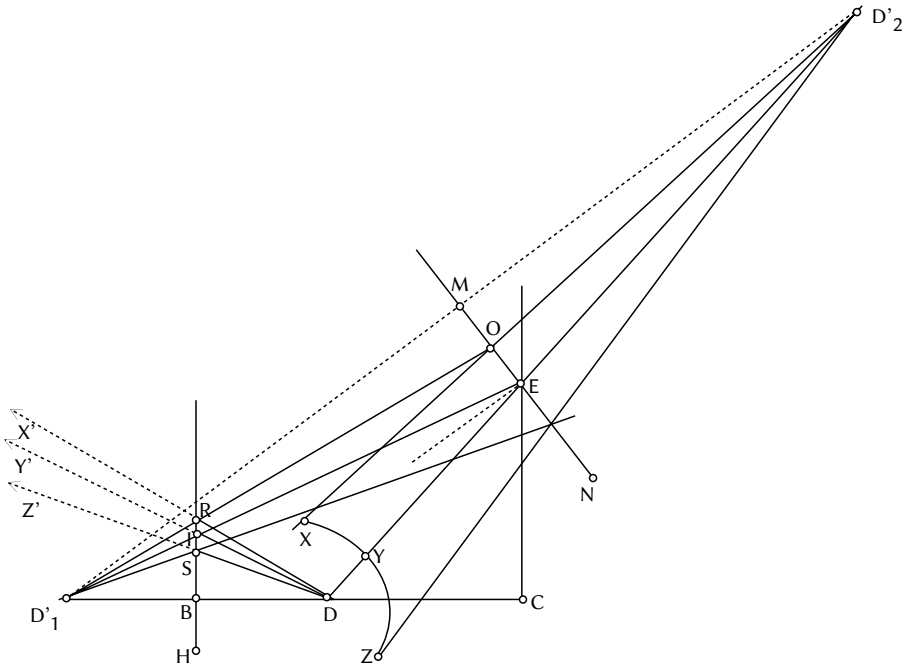


FIG. 6

met de la tête de l'observateur. De même il n'est pas nécessaire d'avoir $EM = EN$; il suffit d'avoir $OM = EO$.

Remarques.

1) Si l'observateur fait face au miroir HI , il se voit dans ce miroir de face directement, et de dos par double réflexion (fig. 6).

Notons que la construction donnée de ce miroir répond au but suivant : connaissant la position de l'œil, celle du miroir HI et celle d'un point E du miroir MN , déterminer l'inclinaison de MN pour que l'observateur dont l'œil est en D puisse se voir de face et de dos dans l'un des deux miroirs. Cette inclinaison dépend des longueurs données BC et BI . Pratiquement, lorsqu'un observateur qui tourne le dos à un miroir fixe veut se voir de face et de dos dans un miroir qu'il tient à la main, il cherche la position et l'orientation à donner à ce dernier, suivant la partie du dos ou de l'arrière de la tête qu'il veut voir.

Notons également que, dans l'écrit de Thiasos cité par 'Uṭārid (cf. plus loin), on donnait $BI = DG$ (fig. 7).

Dans ce cas le rayon DE se réfléchit sur MN suivant EI qui est perpendiculaire au miroir HI , le rayon EI se réfléchit donc sur lui-même et ne revient pas au point D . L'œil en D voit alors G en G_1 directement

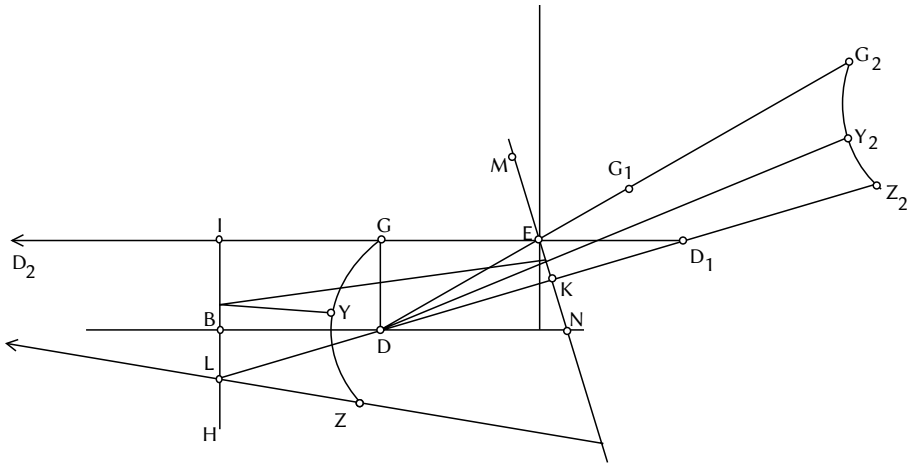


FIG. 7

et en G_2 après double réflexion. Le raisonnement précédent s'applique : le faisceau EDK de sommet D est réfléchi suivant un faisceau divergent de sommet D_1 , symétrique de D par rapport à MN , et est réfléchi une deuxième fois suivant un faisceau divergent de sommet D_2 , symétrique de D_1 par rapport à IH . Si donc G représente le sommet de la tête de l'observateur, les points tels que Y et Z , qui sont derrière sa tête, seront vus par l'œil en D dans les positions Y_2 et Z_2 .

2) Le traducteur de ce livre en arabe écrit à la fin de ce problème : « Ici s'achèvent les propos de la glose qui a été dans le texte principal (la mère). Sache-le. »

En effet, il n'y a pas de gloses dans les problèmes suivants.

PROBLÈME 3. « Construire un miroir tel que, si l'observateur bouge un de ses membres, l'image bouge ce membre, le droit à droite et le gauche à gauche. »

On lit dans le texte de Thiasos : « Construire un miroir dans lequel la personne voit des membres vis-à-vis de ses membres, le droit vis-à-vis du droit et le gauche vis-à-vis du gauche. »

On trouve l'énoncé suivant dans le problème 11 du Pseudo-Ptolémée : *Speculum dextrum construere*²⁶, qui n'est pas clair, à moins de le traduire « Construire un miroir dextre (qui montre à droite ce qui est à droite) », en supposant que le texte latin a été mutilé.

Dans le *Tractatus*, on lit : *Quomodo fiat speculum, in quo, cum aspiciens mouerit unam partium suarum, mouebit forma illam eandem par-*

²⁶ W. Schmidt, [*Claudii Ptolemaei*] *De speculis*, p. 336.

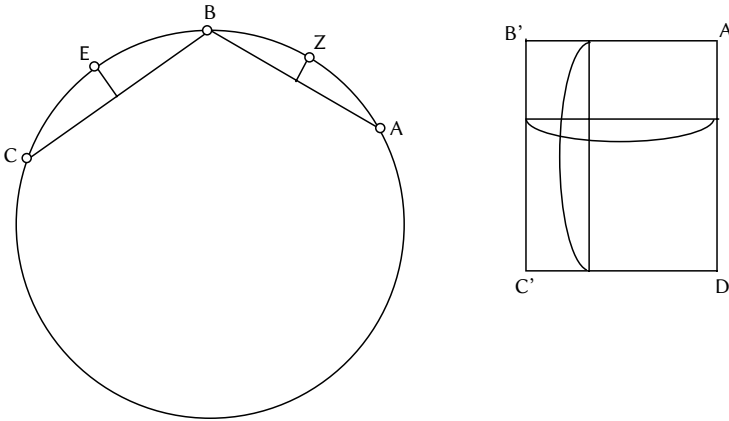


FIG. 8 : AB côté de l'hexagone. CB côté du pentagone

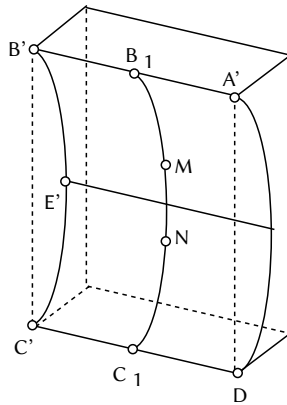


FIG. 9

*tem, dextram uidelicet cum dextra et sinistram cum sinistra*²⁷.

Solution. On trace dans un cercle le côté BC du pentagone et le côté AB de l'hexagone (fig. 8).

On considère ensuite les segments de cercle qui leur correspondent et qui donneront les gabarits de deux limes, et une brique en métal de longueur $B'C' = BC$ et de largeur $A'B' = AB$, et dont l'épaisseur est plus grande que la flèche de l'arc BC .

Il s'agit ou bien d'un miroir à une face composée de deux parties de concavités différentes, ou d'un miroir à deux faces, les deux étant concaves.

On peut proposer deux interprétations du texte du Pseudo-Euclide.

²⁷ A. A. Bjørnbo et S. Vogl, *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid*, p. 98.

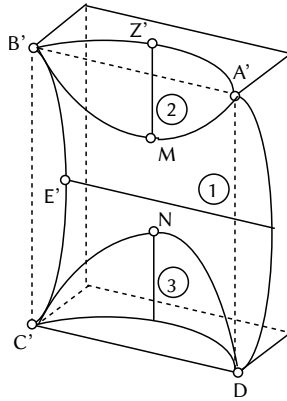


FIG. 10

Première interprétation. En limant dans le sens de la largeur la brique de bronze avec le gabarit BC , on obtient une surface cylindrique de directrice $B'E'C'$ et de génératrice $A'B' = AB$ (fig. 9). On lime ensuite dans le sens de la longueur avec le gabarit AB , qui est moins profond que le précédent. Cette deuxième lime n'atteindra pas la partie centrale MN de l'arc B_1C_1 , par exemple, et laissera donc intacte une partie de la première surface cylindrique (fig. 10).

La surface réfléchissante est alors composée de trois parties. La partie (1) appartient à la première surface cylindrique; les parties (2) et (3) appartiennent à une même surface cylindrique de courbe directrice $B'Z'A'$ et de génératrice $B'C' = BC$.

Chacune des trois parties est une portion de miroir cylindrique concave. Ayant expliqué la construction de ce miroir, l'auteur affirme sans justification aucune qu'elle conduit à ce qu'on voulait.

Deuxième interprétation. On peut également, en limant, creuser les deux faces de la brique de bronze. Si son épaisseur est un peu plus grande que la somme des flèches des arcs du sixième et du cinquième du cercle, on obtient deux miroirs cylindriques concaves dont les surfaces n'ont aucun point commun : l'un est à génératrice horizontale, l'autre à génératrice verticale.

Notons que le gabarit BC , comme lime, est placé parallèlement à la longueur $B'C'$ de la brique; on lime en profondeur dans le sens de la largeur jusqu'à ce que les points B et C coïncident avec B' et C' (fig. 12).

Dans le « Livre des miroirs d'Euclide » et sa traduction latine, il s'agit donc soit d'un miroir à une face, composé de parties de concavités différentes, soit d'un miroir à deux faces, les deux étant concaves.

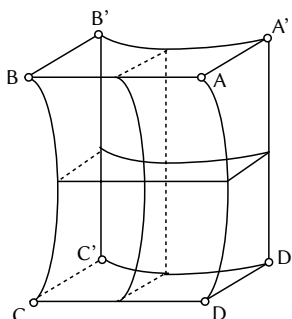


FIG. 11

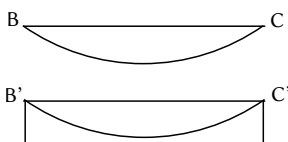


FIG. 12

Troisième interprétation. Dans Pseudo-Ptolémée, il s'agit d'un miroir à deux faces, l'une convexe, l'autre concave. L'auteur commence par écrire :

Soit tracé le cercle abg de la grandeur selon laquelle nous voulons construire le miroir. Qu'à l'intérieur du cercle soient inscrits ab , côté du pentagone, et bg , côté de l'hexagone ; que l'on coupe suivant ces cordes les portions de cercle aeb et bzg .

Il propose ensuite de creuser une surface cylindrique concave dont la profondeur est celle de la portion aeb et dont la largeur est d'après l'arc bzg et une surface cylindrique convexe suivant l'arc bzg ; les génératrices ont pour longueur ba , corde du premier arc aeb (fig. 13).

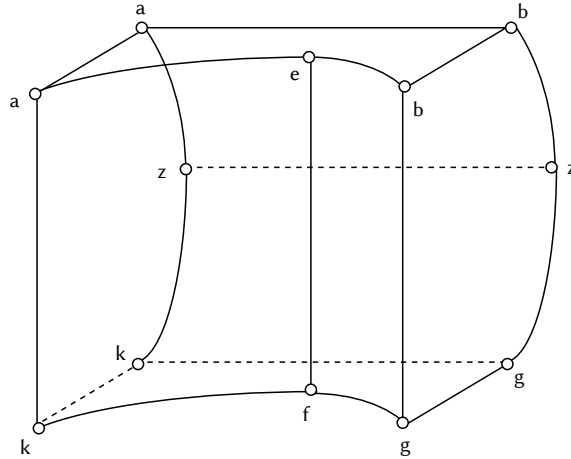
Alors, si les génératrices du miroir cylindrique concave sont verticales, celles du miroir cylindrique convexe sont horizontales.

On a donc ab côté du pentagone et bg côté de l'hexagone, donc $ab > bg$.

En composant les trois textes (Pseudo-Euclide, Thiasos et Pseudo-Ptolémée), on constate qu'il s'agit d'un même problème et d'une même solution, à quoi le Pseudo-Ptolémée ajoute des remarques sur le regard dans ce miroir.

PROBLÈME 4. Sur le rayon visuel.

Ce problème n'en est pas un à proprement parler. Il s'agit d'une définition explicative de la notion de rayon visuel, de sa figure et de sa



Note : Dans son édition (cf. p. 338-339), G. Schmidt considère deux miroirs, l'un concave et l'autre convexe, et les raccorde ensuite en mettant en coïncidence les cordes des deux arcs qui, dans le texte, sont supposés différents. En effet $aeb = kft = \frac{1}{5}$ cercle, $gzb = \frac{1}{6}$ de cercle, $kft \neq gzb$. Il trouve la figure suivante (p. 340). Mais dans la figure, on suppose que l'arc gzb est égal à l'arc kft , or ils sont supposés différents.

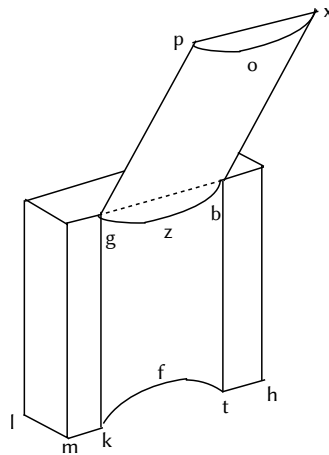


FIG. 13 : Miroir à deux faces taillé dans un bloc de bronze, parallélépipède rectangle de longueur ab et de largeur bg .

propagation. Voici la traduction latine du texte arabe²⁸ :

Procedit a pupilla uirtus luminosa imprimens in eo, cui occurrit, ex toto aere, lumen pineale, cuius uidelicet acuitas apud pupillam existit. Et quanto plus elongatur, dilatatur eius basis ; et est figura, quam lumen illud continet, piramis columnea, cuius uidelicet acumen apud aspicientem, et fines sequuntur illud, super quod cadit illud lumen radiale ; et super quod non cadit, ipsum uisus non comprehendit.

Al-Kindī reprend cette définition et écrit²⁹ :

Une puissance lumineuse se disperse à partir de la pupille de l'œil et imprime dans toute l'atmosphère qu'elle rencontre une luminosité de la forme d'une pomme de pin, et pour laquelle je veux dire que son sommet est auprès de la pupille elle-même, et à mesure qu'elle s'éloigne, sa base s'élargit, de sorte que la figure entourée par cette luminosité est un cône cylindrique dont le sommet est auprès de la pupille et sa limite est du côté du visible. Ce sur quoi tombe cette visibilité sera perçu par la vue, et sur quoi elle ne tombe pas ne sera pas perçu par la vue.

C'est à l'évidence la définition du Pseudo-Euclide qu'al-Kindī reprend ici. Son contemporain Qusṭā b. Lūqā fait de même et écrit³⁰ :

Le rayon visuel se disperse à partir de l'œil sous la forme de la figure du cône dont le sommet est auprès de l'œil voyant et dont la base est du côté du visible sur lequel il tombe. Ainsi ce sur quoi tombe la base du cône radiant est perçu par l'œil, et ce sur quoi ne tombe pas le rayon visuel, le sens de la vue ne le perçoit pas.

Ibn ʿĪsā, leur successeur, reprend cette définition explicative en termes analogues, et écrit³¹ :

Les philosophes et Euclide parmi eux et avec eux ont dit : « De la pupille de l'œil se disperse une puissance lumineuse qui imprime dans toute l'atmosphère lumineuse qu'elle rencontre, c'est-à-dire l'air, s'il est lumineux en entier, une luminosité dont la figure est celle d'une pomme de pin, semblable à la tête de la flèche, et sa tête de la flèche, c'est-à-dire son sommet, est auprès de la pupille elle-même, et à mesure qu'il s'éloigne sa base s'élargit, de sorte que la figure qui entoure cette luminosité soit un cône cylindrique dont le sommet est auprès de la pupille et la limite touche le visible ; et ainsi ce sur quoi tombe le rayon lumineux, qui est la luminosité dispersée à partir de la vue, sera perçu par la vue ; et ce sur quoi ce rayon ne tombe pas, la vue ne le voit ni ne le perçoit. »

Plus loin, Ibn ʿĪsā prend l'exemple suivant :

²⁸ A. A. Bjørnbo et S. Vogl, *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid*, p. 99.

²⁹ R. Rashed, *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī*, p. 163 et 337.

³⁰ *Ibid.*, p. 582-583.

³¹ Ibn ʿĪsā, ms. Laleli n° 2759, f. 26^f-26^v ; et ms. Rāḡib Pāšā n° 934, f. 5^v-6^r.

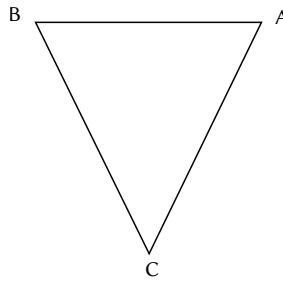


FIG. 14 : Ibn [°]Īsā, ms. Laleli n^o 2759, f. 75^v-76^r.

Soit C le point de la vue, la droite AB le visible, le point C est l'angle aigu qui est comme la tête de la flèche – *al-zujj* – et les côtés CA , CB ; donc le triangle est en vérité un solide comme la pomme de pin, lumineux, et la position de la vue est son sommet qui est le point C et la droite AB la base.

On lit cette définition-explication reprise plus tard du livre du Pseudo-Euclide dans bien d'autres écrits catoptriques.

À son tour Ibn [°]Īsā propose le montage suivant pour vérifier l'égalité des angles d'incidence et de réflexion pour les faisceaux de rayons visuels (fig. 15) :

Soit le miroir C de centre C et un tuyau en cuivre de la largeur d'un calame, de longueur la largeur de la main, ou plus; c'est le tuyau AB . Nous traçons le diamètre du miroir, soit JCK . Nous plaçons le tuyau incliné dans la direction de K , et l'œil au point A du tuyau AB . Nous regardons par l'ouverture en A , qui est la position de l'œil, afin que le rayon visuel sorte de l'ouverture en B jusqu'à la surface du miroir qui est au point C , qui est le centre du miroir.

Ibn [°]Īsā poursuit :

Je dis que le rayon sortant du point A qui est l'œil, passant par le tuyau AB qui tombe en C , qui est le centre du miroir, s'est réfléchi du point C selon un certain angle, et ainsi il se produit sur le diamètre JK , qui est le diamètre du miroir, deux angles [égaux] qui sont KCB , JCL , et l'angle JCL est égal à KCB . Le rayon réfléchi du point C , passant sur le prolongement jusqu'au point D éloigné du miroir et du point A qui lui est proche, je dis que tout point de la droite CLD est vu du point A , qui est l'œil placé à l'extrémité du tuyau AB , en C , qui est le centre du miroir, c'est-à-dire que A voit le point D dans la position de C , de même voit E , de même voit F , de même voit G , de même voit H , de même voit I . De même si la droite CLD a une extension, même si elle se prolonge d'une longueur de 25 *farsah*³² en plus, alors toute chose sur laquelle tombe la droite CLD sera vue au point C , qui est le centre du miroir, à partir du point A , qui est l'œil placé à l'extrémité du tuyau AB ;

³² Un *farsah* est de 3 miles (10 km) environ.

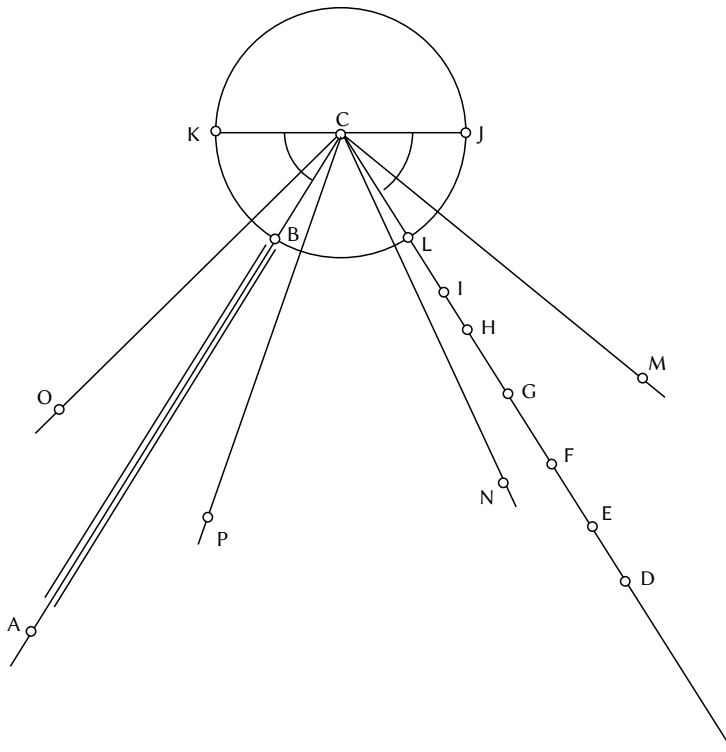


FIG. 15

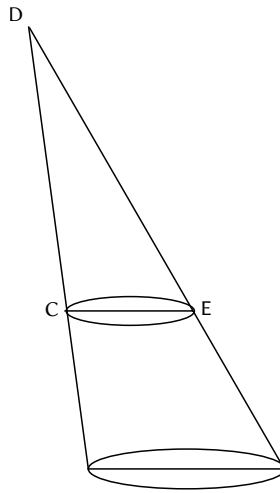


FIG. 16

et ce qui s'écarte ou s'incline de la droite CLD à droite, ou à gauche, ne sera pas vu du tout dans le miroir C ³³.

PROBLÈME 5. Égalité des angles d'incidence et de réflexion ; et l'image à travers un tuyau fin en roseau.

Le rayon visuel ou solaire, incident, qui tombe sur une surface polie, se réfléchit 1) sur lui-même s'il est perpendiculaire à la surface ; 2) en faisant des angles égaux s'il est incliné.

PROBLÈME 6.

Ici le Pseudo-Euclide décrit une expérience sensible pour prouver l'égalité des angles.

Soit AB la surface réfléchissante, ED un rayon incident, DC son prolongement et DG le rayon réfléchi (fig. 17). Il imagine un tuyau fin en fer et détermine la position DG qu'il doit prendre pour que le rayon réfléchi le traverse. Cette position est atteinte lorsque $\widehat{BDG} = \widehat{CDB}$. Mais $\widehat{ADE} = \widehat{CDB}$, d'où $\widehat{ADE} = \widehat{BDG}$.

Maintenant, si un tuyau C fin en roseau est placé entre l'œil et le miroir AB , l'œil voit dans ce tuyau les points de DE par réflexion du rayon CD .

C'est la proposition 6 de la traduction latine. Mais le traducteur semble avoir rendu le sens sans l'expérience du tuyau fin en roseau³⁴.

Certains autres problèmes, présents dans la version latine, se

³³ Ibn 'Īsā, ms. Laleli n° 2759, f. 34^{r-v} ; ms. Rāḡib Pāšā n° 934, f. 13^v-14^{r-v}.

³⁴ A. A. Bjørnbo et S. Vogl, *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid*, p. 101.

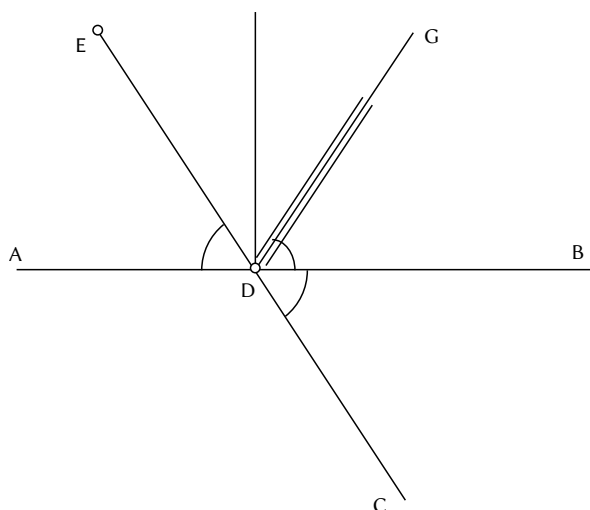


FIG. 17

trouvent également dans les livres d'optique arabes des ix^e-x^e siècles, comme le problème 7 sur la forme triangulaire du rayon, le 13 qui énonce comment dresser un miroir qui embrase en avant et en arrière, qui correspond au problème 7 d'Ibn ʿĪsā³⁵, ainsi que le problème 14, qui correspond au problème 8 d'Ibn ʿĪsā³⁶, qui traite de la réflexion du rayon sur un cristal.

Il est donc clair que ce « Livre sur les miroirs d'Euclide », traduit du grec en arabe sans aucun doute avant 866 (date du décès d'al-Kindī), a été largement diffusé pendant les siècles suivants en arabe, puis dans sa traduction latine. Quant aux énoncés qui ne se trouvent pas dans le seul manuscrit arabe dont nous disposons, mais qui sont attestés dans la traduction latine et dans le livre d'Ibn ʿĪsā, ils montrent l'existence d'une source commune qui reste à identifier.

2. LE LIVRE DE THIASOS SUR LES MIROIRS ARDENTS

Dans son *Al-fihrist*, daté de 377/987, le biobibliographe al-Nadīm consacre un bref article au mathématicien et astronome ʿUṭārid b. Muḥammad al-Ḥāsib. Il lui attribue cinq titres, dont le « Livre des miroirs³⁷ ». Il s'agit de son livre intitulé « Les lumières brillantes dans

³⁵ R. Rashed, *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī*, p. 671-672.

³⁶ *Ibid.*, p. 672-673.

³⁷ Al-Nadīm, *Kitāb al-fihrist li-al-Nadīm*, éd. Riḍā Taḡaddud (Téhéran, 1971), p. 336.

la construction des miroirs ardents». Dans ce livre, °Uṭārid reprend deux traités grecs traduits en arabe au ix^e siècle, c'est-à-dire avant 866 (date du décès d'al-Kindī). Le premier traité est celui d'Anthémius de Tralles sur les miroirs ardents ; le second est d'un certain Thiasos, sur le même sujet. Mais, troublé par l'incertitude de la transcription en arabe des noms grecs, °Uṭārid ne savait pas s'il s'agissait de deux auteurs différents, ou d'un seul auteur qui aurait rédigé deux traités ayant le même titre. Après avoir cité plusieurs problèmes sur la vision dans les miroirs, il écrit ³⁸ :

Ce que j'ai connu d'Anthémius est achevé, et ceci est le début du livre de Thiasos sur les miroirs ardents. Thiasos le philosophe a dit [...]

Or l'examen des textes montre que °Uṭārid a confondu les deux noms : le texte qu'il attribue à Thiasos appartient à Anthémius et vice versa ³⁹.

En effet, le livre d'Anthémius de Tralles sur les miroirs ardents était connu, et critiqué par al-Kindī, bien avant °Uṭārid. Dans son livre « Sur les rayons solaires », al-Kindī cite le livre d'Anthémius sur les miroirs ardents. Ainsi, après avoir rapporté ce que dit Anthémius de la légende selon laquelle Archimède avait incendié par des miroirs ardents la flotte de Marcellus lors du siège de Syracuse, il écrit :

C'est ce qu'a dit Anthémius ; or Anthémius devait n'accepter aucune connaissance sans démonstration en mathématiques, ni surtout dans l'art de la géométrie ; ni non plus imposer une chose sans démonstration. Il a représenté comment on peut faire un miroir sur lequel vingt-quatre rayons se réfléchissent vers un seul point ; mais il n'a pas montré comment ce point, sur lequel se réunissent les rayons, est à quelque distance que nous voulons du centre de la surface des miroirs ⁴⁰.

Al-Kindī reprend dans la proposition 15 de son livre la cinquième et dernière proposition du livre d'Anthémius. Notons qu'il n'est pas le seul à citer le livre d'Anthémius avant °Uṭārid. Aḥmad b. °Īsā en cite un long

³⁸ Cf. plus loin, *editio princeps* et traduction.

³⁹ Certains historiens récents, sans remarquer qu'il s'agit de deux noms différents – Anthémius et Thiasos – ont attribué la totalité des propositions de ces deux traités grecs à Anthémius. Ainsi A. Jones, dans deux articles successifs, attribue à Anthémius ce qui revient à Thiasos, et en tire des résultats fautifs. Cf. A. Jones, « On some borrowed and misunderstood problems in Greek catoptrics », *Centaurus*, 30 (1987), p. 1-17 ; *Id.*, « Pseudo-Ptolemy, *De speculis* ». Dans R. Rashed, *Les catoptriciens grecs*, on trouve une édition des textes d'Anthémius, en grec et dans les traductions arabes. Voir p. 217-321, sur l'histoire des traductions du texte d'Anthémius de Tralles ; édition, traduction et commentaire. Voir aussi une nouvelle édition du texte grec par M. Rashed, p. 343-359. Sur la version de °Uṭārid du livre d'Anthémius et l'histoire du manuscrit, cf. p. 242-244 et 296-321.

⁴⁰ R. Rashed, *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī*, p. 362.

passage dans son livre de l'optique et des miroirs ardents⁴¹. La comparaison entre ce dernier texte et celui que °Uṭārid attribue à Thiasos montre que ce dernier est bien de la main d'Anthémios – et que le texte attribué à Anthémios est sans aucun doute dû à Thiasos. L'original grec confirme, si besoin est, cette conclusion.

Notons une différence importante entre le texte d'Anthémios et celui de Thiasos. Alors que le premier est entièrement consacré à l'étude des miroirs ardents pour établir la légende d'Archimède, le second étudie également des problèmes de montage des miroirs afin que les rayons visuels, et aussi les rayons solaires, produisent des effets plaisants et curieux. On y trouve d'ailleurs plusieurs problèmes que l'on rencontre dans le « Livre sur les miroirs d'Euclide ». Thiasos, non plus d'ailleurs que Pseudo-Euclide, ne donne aucune explication optique des problèmes étudiés, c'est-à-dire qu'il montre seulement que le résultat annoncé est atteint.

La traduction arabe du livre de Thiasos, citée par °Uṭārid, est composée de sept problèmes, qui sont :

- 1) La construction d'un miroir ardent sphérique ;
- 2) La construction d'un miroir où la personne voit l'image d'un autre, sans voir sa propre image ;
- 3) La construction d'un miroir où la personne se voit de face et de dos ;
- 4) La construction d'un miroir tel que, si la personne bouge l'un de ses membres, son image bouge ce membre, le droit à droite et le gauche à gauche ;

Ces trois derniers problèmes (2, 3, 4) se trouvent également dans le livre du Pseudo-Euclide, et le 2 et le 4 sont également dans le Pseudo-Ptolémée.

- 5) La construction d'un miroir qui fait voir deux têtes à un seul corps ;
- 6) La construction d'un miroir dans lequel la personne voit qu'elle a quatre yeux ;
- 7) La construction d'un système catoptrique permettant d'éclairer une pièce obscure.

Reprenons ces problèmes.

PROBLÈME 1. La construction d'un gabarit pour un miroir ardent sphérique.

Le texte de la traduction arabe de ce problème est perturbé. Il semble interrompu au bout d'une page environ, pour reprendre ensuite d'une

⁴¹ *Ibid.*, p. 674-683.

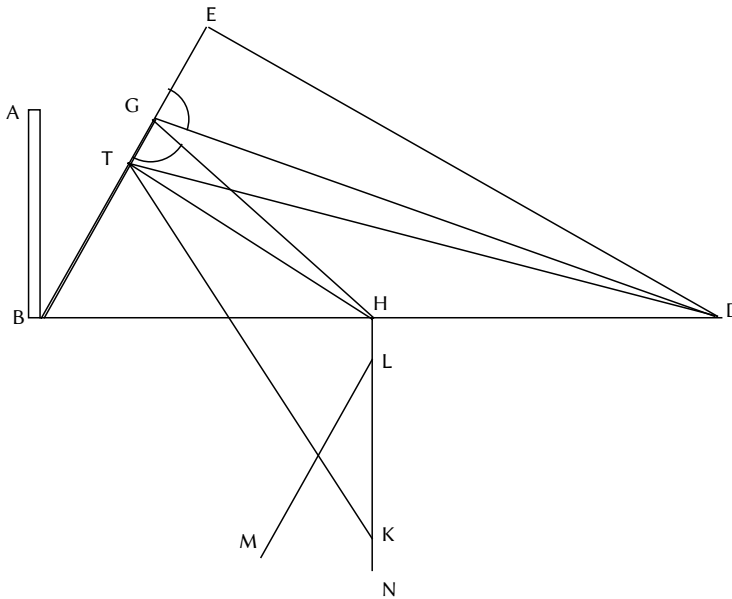


FIG. 18

manière différente. Pour ne pas le citer deux fois, nous renvoyons à nos remarques dans la traduction française.

PROBLÈMES 2, 3 et 4.

Ces trois problèmes, nous l'avons noté, correspondent, dans l'ordre, aux problèmes 1, 2 et 3 du Pseudo-Euclide. Le 2 et le 4 sont également étudiés dans le *De speculis* du Pseudo-Ptolémée (respectivement problèmes 18 et 11). Les solutions du Pseudo-Ptolémée sont plus développées que celles du Pseudo-Euclide et de Thiasos.

Prenons l'exemple du deuxième problème. Les solutions du Pseudo-Euclide et de Thiasos sont équivalentes sans être identiques ; celle du Pseudo-Ptolémée est plus développée. On observe que les figures du Pseudo-Ptolémée diffèrent, au moins légèrement, de celles du Pseudo-Euclide et de celles de Thiasos, lesquelles sont d'ailleurs proches. Le paragraphe B où Pseudo-Ptolémée donne une synthèse de sa solution, et le paragraphe C où il donne des conseils pratiques pour placer les miroirs, n'ont pas d'équivalent dans les livres du Pseudo-Euclide et de Thiasos.

Traduisons la solution de ce problème 18 de Pseudo-Ptolémée.

<A> Soit AB le mur sur lequel il faut apposer le miroir. Que le miroir soit incliné vers celui-ci selon un certain angle ; ce sera convenablement disposé s'il est fait un angle d'un tiers d'un angle droit. Que BG soit la surface

du miroir et que AB fasse des angles droits avec BD , sur laquelle sera posé le point de vision D , de sorte que la perpendiculaire issue de ce point en direction du miroir BG tombe en dehors de celui-ci. Qu'elle soit ED . Que de D à l'extrémité G du miroir on joigne DG , et que l'angle EGD soit égal à l'angle BGH . Donc, si à partir de la vue D un rayon tombe sur l'extrémité G du miroir, il sera réfléchi en H . Soit HN tracé à angles droits jusqu'à DB à partir de H ; et soit un autre rayon incident DT , et joignons H et T . L'angle BTH est donc plus grand que l'angle ETD . Soit l'angle GTD égal à l'angle BTK . Donc la droite TK coupe la droite HN . De même tous les rayons réfléchis tombant sur le miroir coupent la droite HN . Soit donc mené un plan LM parallèle au miroir GB , qu'il soit entre H et N et coupé par le rayon réfléchi. C'est pourquoi il est évident que l'œil ne verra rien d'autre que tout ce qui est entre H et N , pour cette raison que tous les rayons réfléchis tombent entre H et N . Donc, posons une image quelconque que nous voulons auprès du plan LM , et pas un de ceux qui s'approchent n'apparaîtra, mais seulement la dite image. C'est pourquoi il faudra, comme cela a été dit, que LM soit interposé entre H et N , pour que la dite image se place dans le miroir plan parallèle. Il faudra donc tracer une droite AB sur un certain plan, construire un angle ABG qui soit le tiers d'un angle droit, et poser BG égale à la hauteur du miroir et la prolonger jusqu'en E ; tracer BD perpendiculaire à AB et fixer le point E de sorte que la droite EB menée à angles droits à partir du point E tombe à l'extérieur du miroir⁴².

 Ceci étant admis, soit E , et soit EB perpendiculaire à ED , et que soient joints les points D et G . Que l'angle EGD soit égal à l'angle BGH et que HN soit menée perpendiculairement à DB . Le miroir étant donc incliné, comme on l'a dit, il faut l'écarter du mur d'égal à BG ; et il faut qu'un obstacle se tienne droit, un coffre ouvert à la partie supérieure et ayant la hauteur d'un homme, et qu'un plan LM soit interposé parallèle au miroir, dans lequel est posée la dite image. L'œil doit se tenir en D , quelque chose étant là comme obstacle pour qu'il n'aille pas plus à l'intérieur. Ainsi en effet les rayons tombant sur le miroir ne tomberont pas hors de l'intervalle, mais dedans, là où est l'image.

<C> Concernant la disposition de ce qui est à l'extérieur, je n'ai pas de remarque à ajouter. Il faut en effet orner et disposer chaque chose, selon ce qu'acceptent le lieu et le choix de celui qui prépare.

PROBLÈME 5. Construire un miroir qui fait voir deux têtes pour un seul corps.

Partant d'une plaque métallique $ABCD$ dont les dimensions sont d et $\frac{3}{4}d$, avec d le diamètre du cercle, on lime d'abord un miroir plan rectangulaire dont les dimensions sont $\frac{3}{4}d$ et $\frac{1}{8}d$ (surface 1) et dont l'épaisseur est moindre que celle de la plaque (fig. 19).

⁴² Texte latin : *extra m*. Nous suivons W. Schmidt, qui, s'appuyant sur l'analogie avec l'expression de la ligne 6 de la citation, [...] *ad speculum BG extra ipsum cadat*, lit *speculum* au lieu de *m*.

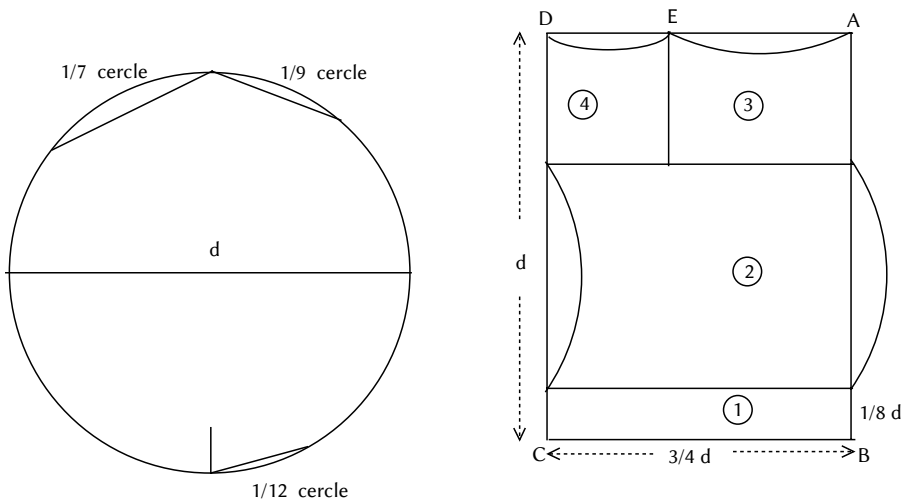


FIG. 19

On lime ensuite dans le sens de la largeur un miroir cylindrique convexe à l'aide du gabarit défini par l'arc d'un cinquième de cercle (surface 2). Ensuite on place le gabarit d'un septième de cercle suivant *AE* et le gabarit d'un neuvième de cercle suivant *ED*, et on lime deux miroirs cylindriques concaves dans le sens de la longueur *AB* (surfaces 3 et 4).

Remarquons que la somme des cordes d'un septième et d'un neuvième de cercle est voisine des $\frac{3}{4}$ du diamètre :

$$d \sin \frac{p}{7} + d \sin \frac{p}{9} \simeq d(\sin 26^\circ + \sin 20^\circ) \simeq 0,7833d.$$

Ainsi le miroir obtenu est composé de quatre surfaces réfléchissantes, une plane et trois cylindriques.

Thiasos ne montre cependant pas que ce miroir permet de résoudre le problème : faire voir deux têtes pour un seul corps.

PROBLÈME 6. Construire un miroir dans lequel l'observateur voit qu'il a quatre yeux.

Thiasos commence par construire les gabarits (fig. 21). On trace un cercle et on prend le côté du pentagone, C_5 , et le côté du décagone, C_{10} , inscrits dans le cercle. On a $2C_{10} > C_5$, et il est donc impossible d'avoir $2C_{10} + l = C_5$, avec l la longueur de la corde de l'arc de $\frac{1}{24}$ de cercle.

Pour utiliser les deux gabarits construits sur C_{10} , il faudrait prendre $AD > C_5$ (fig. 22). Le premier miroir construit pas Thiasos aurait la forme 1.

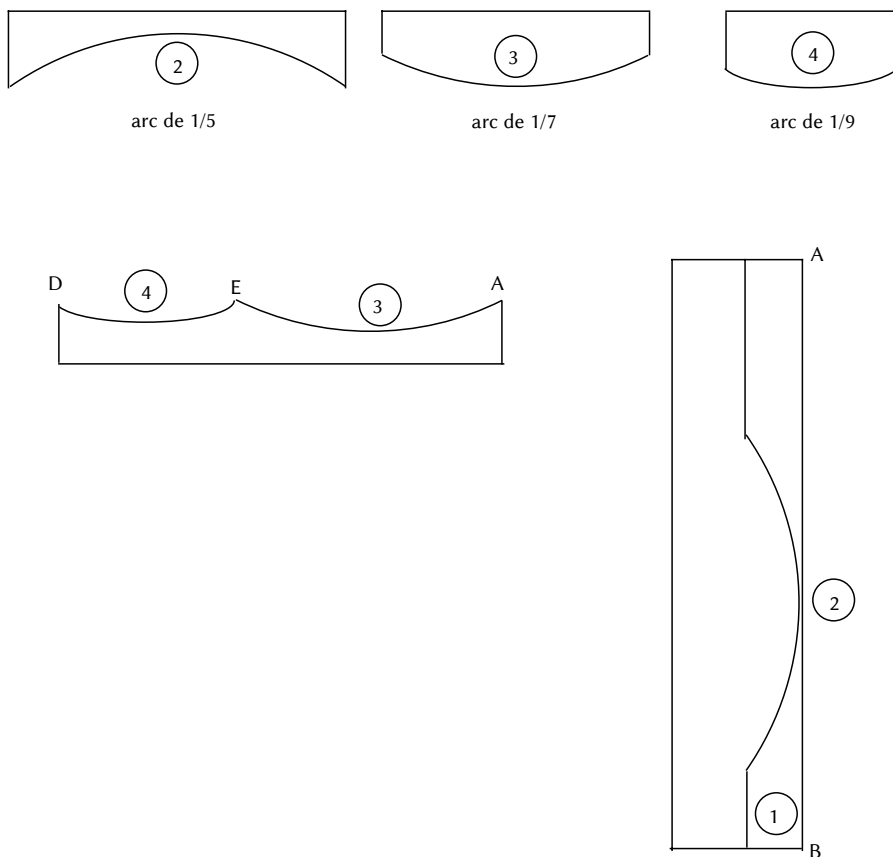


FIG. 20 : Le profil du miroir selon ses deux dimensions

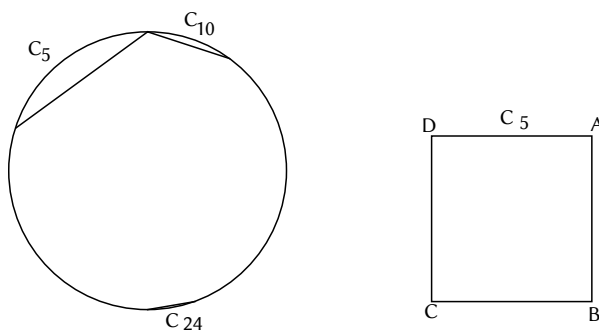


FIG. 21 : Miroir carré

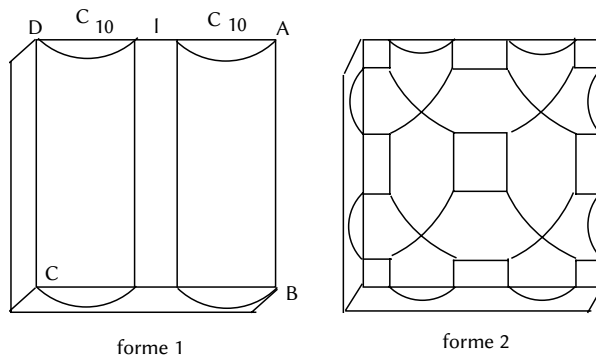


FIG. 22

Thiasos propose ensuite d'utiliser le gabarit construit sur C_{20} , pour lier quatre miroirs cylindriques, deux dans un sens et deux dans l'autre. Ces surfaces cylindriques se coupent deux à deux; le miroir obtenu a la forme 2.

Thiasos n'explique pas comment ces miroirs permettent à l'observateur de voir quatre ou huit yeux. Mais Qusṭā b. Lūqā, dans son livre «Causes de la diversité des perspectives», examine au chapitre 33⁴³ ce phénomène à partir d'un miroir sphérique concave en variant la position du visage. Notons que l'étude de la réflexion sur les miroirs sphériques convexes et concaves, et la diversité des images perçues en fonction de la position du visible par rapport au miroir, de sa distance à celui-ci, etc., orientée vers des buts différents, s'est poursuivie après la traduction des écrits grecs, comme ceux de Pseudo-Euclide et de Pseudo-Ptolémée; à cette différence près cependant que l'on s'intéresse aux causes optiques de ces phénomènes.

PROBLÈME 7. Construire un miroir ou un système catoptrique, permettant d'éclairer une chambre obscure par une ouverture pratiquée dans l'un des murs.

Les rayons du soleil peuvent pénétrer dans une chambre obscure soit directement, soit après réflexion sur un seul miroir, soit encore après réflexion du faisceau des rayons obtenus par réflexion sur plusieurs miroirs.

Il est clair qu'en un lieu donné la position et la direction du miroir dépendent d'une part de la saison et, d'autre part, pour une date donnée, de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon.

L'étude faite par Thiasos correspond au solstice d'été; les directions

⁴³ R. Rashed, *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī*, vol. I, p. 638-645.

du soleil au lever et au coucher sont données respectivement par F et G (fig. 23). Thiasos indique comment noter la position du miroir quand la hauteur du soleil augmente de 6° en 6° .

Remarques.

1) Si M est le centre du miroir, pour que le rayon solaire SM soit réfléchi vers l'ouverture T , il faut que le plan du miroir soit perpendiculaire à la bissectrice MX de l'angle SMT .

Dans le cours de la journée, le rayon MS engendre une surface conique ; il en est de même pour la droite MX ; donc, pour que le miroir M renvoie à tout instant le rayon SM vers l'ouverture T , il faut qu'il puisse pivoter très librement autour du point M .

2) Pour repérer la position du miroir, il faut connaître deux angles (fig. 24) : l'angle que fait FG avec la droite MI , intersection du miroir avec le plan horizontal ; et l'inclinaison, c'est-à-dire l'angle que fait MJ ($MJ \perp MI$) avec le plan horizontal.

Thiasos ne précise pas la position de la droite fixée au dos du miroir.

3) On peut considérer un seul miroir, dont il faut modifier l'orientation au cours de la journée, ou un système de plusieurs miroirs, l'inclinaison de chacun d'eux correspondant à une hauteur du soleil.

4) Thiasos explique que le procédé utilisé pour éclairer une chambre obscure à travers une ouverture T peut être utilisé pour provoquer un embrasement en un lieu T .

À la fin de ce problème, °Uṭārid écrit :

Cet exemple est le dernier de Thiasos ; et ce qui est après est recueilli des livres d'Archimède le philosophe et d'autres⁴⁴.

Mais comme rien de tel ne nous est parvenu d'Archimède, nous éditons et traduisons les problèmes qui suivent sans les attribuer ni à Archimède ni à Thiasos, en attendant de nouveaux documents.

PROBLÈME 1'. Construire un miroir qui embrase à une distance donnée.

Soit d la distance donnée. L'auteur considère ici, comme dans le premier problème, qu'un miroir sphérique concave permet d'embraser en un point à une distance d du centre de la sphère. Le rayon de la sphère doit donc être égal à la distance d , que d soit égal à 20 coudées par exemple.

Pour construire le gabarit de ce miroir, si l'on veut que son diamètre soit de grandeur l , on prend la corde l d'un arc de cercle de rayon d (fig. 25).

⁴⁴ Folio 17^r.

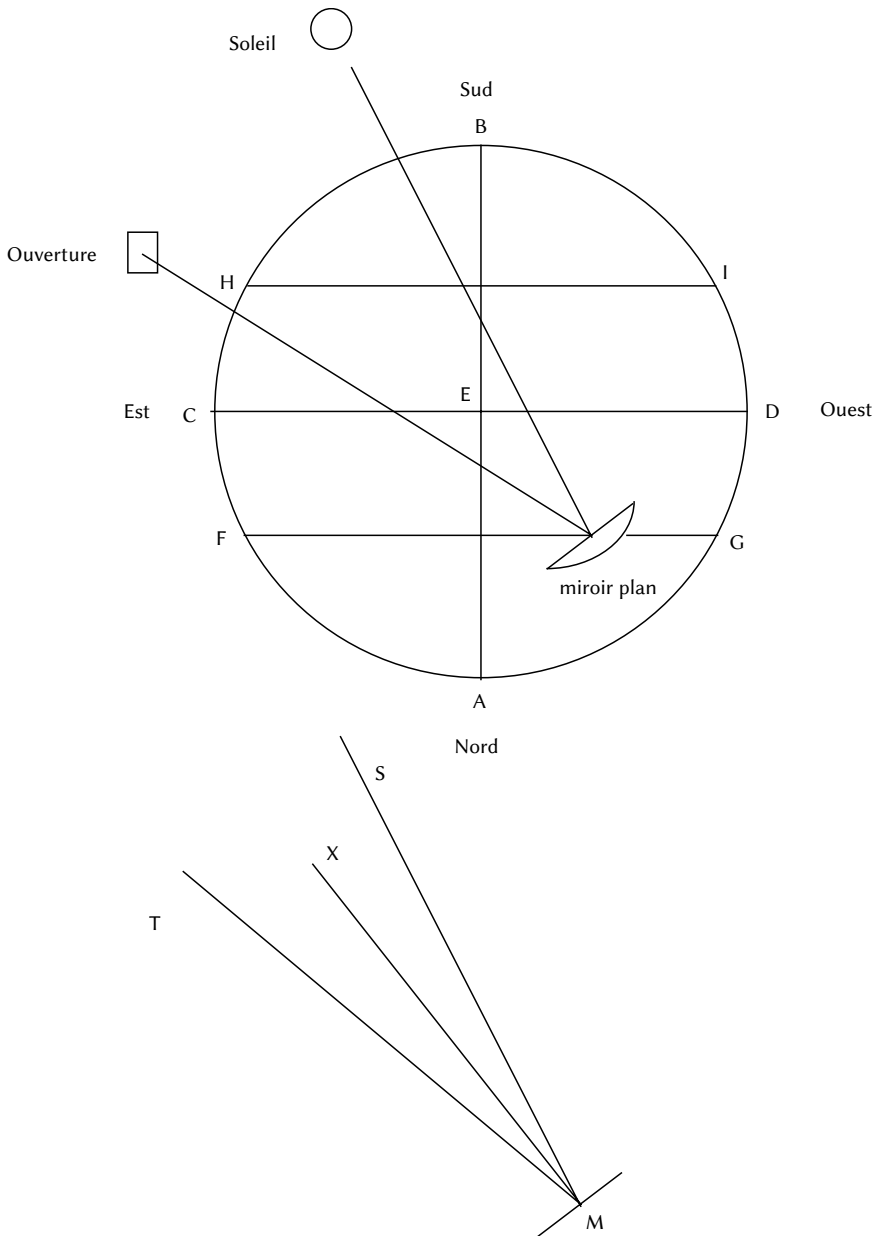


FIG. 23 : *FG* solstice d'été, *HI* solstice d'hiver

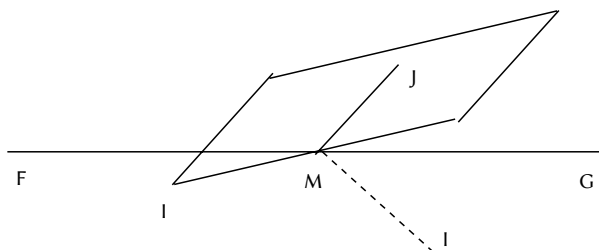


FIG. 24

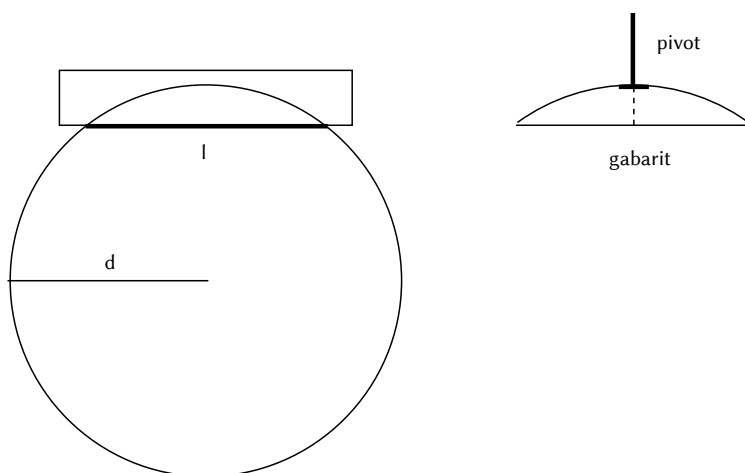


FIG. 25

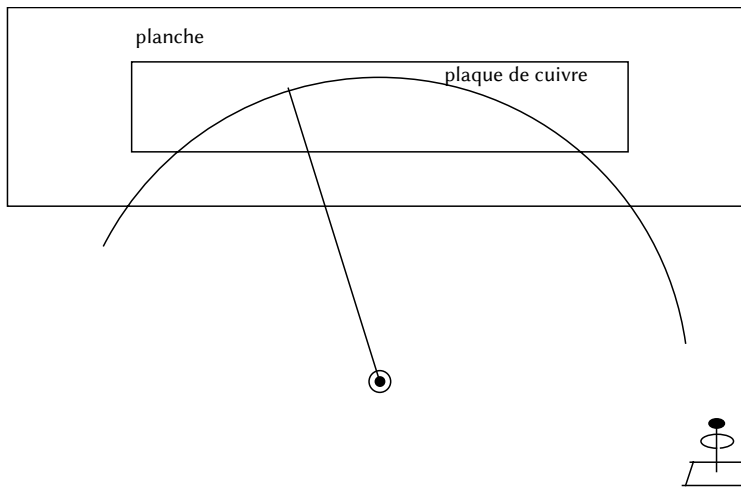


FIG. 26

Le segment de cercle, muni d'un pivot, est le gabarit. Il permet de limer un miroir sphérique concave de courbure d .

Remarquons que l'étude du miroir sphérique concave, comme miroir ardent, faisait partie des livres importants sur les miroirs ardents, comme ceux de Dioclès⁴⁵, de Dtrūms⁴⁶, d'Anthémios de Tralles, etc.

On trouve plus loin des détails pratiques pour la préparation du gabarit étudié. Il s'agit de tracer un arc de cercle sur une plaque de cuivre pour découper un segment de cercle (fig. 26).

Le centre du cercle est marqué par un clou à tête entouré d'un anneau et enfoncé solidement. Une ficelle de longueur égale au rayon souhaité est nouée à cet anneau et porte à l'autre extrémité un stylet qui trace l'arc de cercle.

PROBLÈME 2'. Construction d'un miroir conique.

Il s'agit de construire un miroir pour embraser à une distance égale à cinq fois le diamètre d du miroir.

Soit un rectangle $ABCD$ et une règle de longueur $l = AD$. On veut que l soit voisine du demi-diamètre du miroir conique.

Pour embraser à la distance $5d$, il faut un cône très ouvert. Soient M et S les points définis par $MD = \frac{l}{10}$, $DS = \frac{1}{2}MD$ (fig. 27). On trace le cercle (A, l) et le cercle (D, DS) , soit $(D, \frac{l}{20})$. Ils se recoupent au point J

⁴⁵ R. Rashed, *Les catoptriciens grecs*, p. 63, 112.

⁴⁶ *Ibid.*, p. 171, 204.

et DJ coupe BC en I . On a alors

$$\cos \widehat{ADJ} = \frac{DJ}{2DA} = \frac{1}{40} = \cos \theta.$$

On obtient le gabarit pour construire le miroir conique en enlevant le triangle DIC de la règle $ABCD$.

Par rotation autour de DI , DA engendre un cône dont le diamètre est

$$AA' = 2DA \sin \theta \approx 2l.$$

Si l'axe du cône est dirigé vers le soleil, tout rayon tombant sur un point du cercle décrit par le point K milieu de AD est réfléchi vers le point O de l'axe tel que le triangle DKO soit isocèle ; donc

$$DO = \frac{DK}{2 \cos \theta} = 20DK = 10l = 5d,$$

c'est la distance demandée dans l'énoncé du problème.

De même, tout rayon solaire tombant sur le cercle décrit par le point A est réfléchi vers O' tel que $DO' = 10d$.

Le faisceau cylindrique de rayons solaires tombant sur le miroir est transformé en un faisceau conique de sommet O' ; il y a une concentration des rayons réfléchis sur le segment DO' .

Rappelons pour conclure quelques résultats établis dans les pages précédentes.

1) Il existe une traduction arabe du « Livre sur les miroirs d'Euclide ». Le seul manuscrit que nous connaissions comporte six problèmes qui tous traitent de la réflexion des rayons visuels sur les miroirs pour produire des effets voulus au préalable. Deux de ces problèmes sont suivis chacun d'une glose critique.

2) Le *Tractatus Pseudo-Euclidis* est une traduction latine d'une version arabe de ce livre. Ce n'est plus une conjecture : il suffit pour s'en convaincre de rappeler que les six premiers problèmes sont traduits du « Livre sur les miroirs d'Euclide ». Le septième problème n'en est pas un, mais une définition explicative tirée du précédent livre. Quant aux huit problèmes qui restent, ils traitent de la réflexion des rayons solaires, thématique différente de celle du « Livre sur les miroirs d'Euclide », où il s'agit des rayons visuels. Deux de ces huit problèmes se retrouvent dans le livre d'Ibn 'Īsā.

3) Il existe une traduction arabe d'un livre sur les miroirs et les miroirs ardents, d'un certain Thiasos, dont l'original grec est perdu.

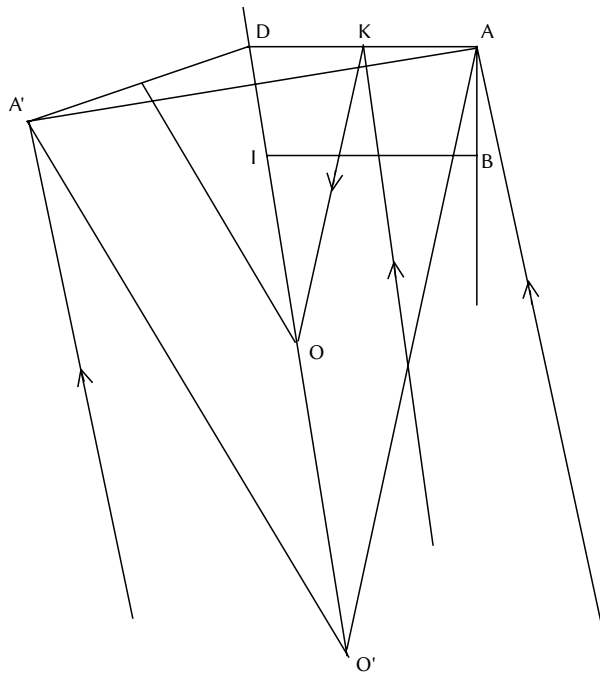
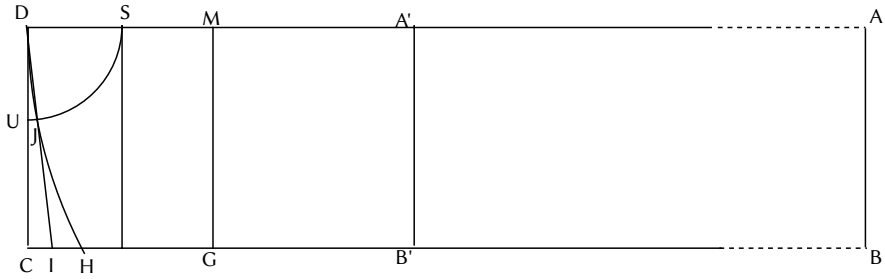


FIG. 27

En plus des trois problèmes que l'on trouve dans le Pseudo-Euclide, ce livre contient trois problèmes : voir dans le miroir deux têtes d'une même personne ; quatre yeux d'un seul visage ; éclairer par les rayons solaires réfléchis une chambre obscure. À ceux-ci s'ajoute l'étude d'un miroir ardent sphérique. Ce livre, comme celui du Pseudo-Euclide, comprend deux problèmes que l'on retrouve dans le Pseudo-Ptolémée.

On note que certains problèmes traités par Thiasos sont du genre de ceux étudiés dans le livre du Pseudo-Ptolémée, lequel sera identifié par plusieurs historiens à la *Catoptrique* de Héron⁴⁷.

4) L'existence des problèmes communs au Pseudo-Euclide, à Thiasos, au Pseudo-Ptolémée (ou Héron) et à Ibn ʿĪsā soulève la question de l'origine et de l'existence d'un fonds commun. Seuls de nouveaux documents, encore à découvrir, permettront de tenter une réponse à cette question.

3. TEXTES ET TRADUCTIONS

1) Le premier texte est l'*editio princeps* et la première traduction de la version arabe du « Livre des miroirs d'Euclide », *Kitāb al-marāʿi li-Uqlidis*. Ce texte nous est parvenu dans le manuscrit Orient n° 152 de la Bibliothèque Laurenziana de Florence, folios 101^v-104^f. Chaque folio est de 23 lignes, de 15 mots environ chacune. L'écriture est en *nashī* ; les lettres utilisées dans les propositions géométriques sont écrites comme on les prononce, comme si elles avaient été dictées – c'est-à-dire qu'au lieu d'écrire A, B, etc., on écrit Alef, Bā, etc. Le copiste a laissé des espaces vides pour les figures, sans doute dans l'intention de les tracer ensuite ; ce qu'il n'a pas fait.

Le texte de ce manuscrit fait partie d'une collection qui comprend d'autres écrits sur les miroirs, comme celui d'Ibn al-Hayṭam sur le miroir ardent parabolique (folios 90^v-97^v), tous copiés de la même main et de la même écriture⁴⁸.

2) Le fragment de la traduction arabe de l'écrit de Thiasos est cité, comme l'écrit d'Anthémius de Tralles, par ʿUṭārid dans son livre intitulé « Les lumières brillantes dans la construction des miroirs ardents ». Ce fragment, dont nous donnons ici l'*editio princeps*, nous est parvenu en bonne et due forme dans le manuscrit n° 2759/1 de la collection Laleli de la Bibliothèque Suleymanye d'Istanbul. Nous avons déjà décrit ce

⁴⁷ Voir par exemple G. Venturi, T. H. Martin et W. Schmidt.

⁴⁸ Sur la description du codex, voir A. Sabra, « A note on codex Biblioteca Medicea-Laurenziana, Or. 152 », *Journal for the history of Arabic science*, vol. 1, n° 2 (1977), p. 276-283.

manuscrit⁴⁹. Au folio 1^r, on lit le titre de l'ouvrage et le nom de l'auteur :

Les lumières brillantes dans la construction des miroirs ardents. Composé par le philosophe du temps et l'unique de l'époque et du présent, le savant °Uṭārid b. Muḥammad al-Ḥāsib.

Le manuscrit a été copié en écriture *nashī* orientale, mais sans que soit notée la date de la fin de la transcription. L'écriture est régulière, dix-sept lignes par page et treize mots environ par ligne. Les figures ont été tracées avec soin et bien placées. Le texte de °Uṭārid est suivi du livre d'Ibn °Īsā : « Livre de l'optique et des miroirs ardents », *Kitāb al-manāẓir wa-al-marāyā al-muḥriqa*. Nous avons désigné ce manuscrit par la lettre A.

Un fragment de ce livre se trouve également à la Bibliothèque Mar°ašī, à Qum, en Iran. Il s'agit de quelques uns des huit folios n° 13340, de forme 13×18. Ces folios sont mêlés à d'autres, qui ne sont pas de °Uṭārid. Ils sont écrits en *nashī* soignée, et les figures sont tracées. Sur l'histoire de ce fragment, nous ne savons rien. Nous avons noté ce fragment par la lettre B.

Nous avons également comparé le fragment A à un second manuscrit, n° 2676, f. 1^v-18^v, de la collection Aya Sofia de la Bibliothèque Suleymānye d'Istanbul. Mais nous avons constaté que le copiste de ce manuscrit ne s'engage pas à transcrire rigoureusement le texte, mais qu'il lui arrive souvent de le reprendre dans son propre langage. Or ceci alourdit inutilement l'apparat critique, comme l'a montré notre édition du fragment d'Anthémius⁵⁰. Nous n'y recourons donc que pour vérifier les cas douteux de certaines lectures.

⁴⁹ R. Rashed, *Les catoptriciens grecs*, p. 242-244.

⁵⁰ R. Rashed, *Les catoptriciens grecs*, p. 290-315.

TEXTES ET TRADUCTIONS

Livre des miroirs d'Euclide

Nous voulons montrer comment dresser un miroir dans lequel tu vois l'image d'un autre et tu ne vois pas ta personne⁵¹.

Faisons la surface du mur une droite AB perpendiculaire à la surface <qui est> la droite BC , et la droite BD qui est dans la surface du miroir incliné de la grandeur du tiers de l'angle ABC qui est droit. Que le miroir soit carré. Prolongeons ensuite la droite BD jusqu'à E , l'angle ABD est un tiers d'un droit, il reste donc l'angle EBC . Quand on mène du point E une perpendiculaire à la droite BE qui est la position de la surface du dos du miroir (dans la copie-mère : qui tient lieu de miroir, et ce qui est correct : qui est la face du miroir), et qu'on la prolonge jusqu'à la droite CB , elle la rencontre, car on les a menées en faisant moins que deux droits ; elles se rencontrent au point C ; donc l'angle BEC est droit et le point C est la position de l'œil qui est donnée. Tu mènes la droite BE indéfiniment et du point C tu fais tomber une droite au point D , et tu construis sur la droite CD , du point D , dans la surface du triangle BCD , un angle égal à l'angle ECD , tu prolonges <le deuxième côté de l'angle> jusqu'à ce qu'il rencontre la droite BC au point G . Il est clair qu'il la rencontre, car il est parallèle à EC – puisque les deux angles alternes-internes qui sont ECD et GDC sont égaux –, et la droite EC a rencontré la droite BC au point C . Or si la droite DG ne la rencontrait pas, alors qu'elle est avec elle dans le même plan, elle lui serait parallèle. Mais Euclide a démontré dans le premier livre des *Éléments* que les droites parallèles à une droite sont parallèles, donc la droite EC devrait être parallèle à la droite BC ; or elles se rencontrent, ce qui est absurde. Il est donc nécessaire qu'elle la rencontre.

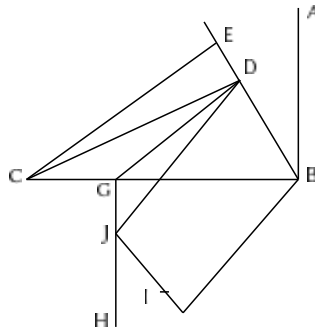
⁵¹ Les figures ne sont pas tracées dans le manuscrit ; les numéros des figures donnés dans la traduction font référence aux figures de l'introduction ci-dessus.

بسم الله الرحمن الرحيم
وبه أستعين

كتاب المرايا لأوقليدس

نريد أن نبين كيف ننصب مرآة ترى فيها صورة غيرك ولا ترى شخصك.
 ٥ فنجعل سطح $\overline{حا}$ (نط) خط $\overline{اب}$ المستقيم قائماً على سطح خط $\overline{ب ج}$ المستقيم
 «وخط $\overline{ب د}$ وهو في سطح المرآة مميّلة بقدر ثلث زاوية $\overline{اب ج}$ القائمة. ولتكن المرآة
 مربعة. ثم نخرج خط $\overline{ب د}$ على استقامة إلى $\overline{ه}$ ، فزاوية $\overline{اب د}$ ثلث قائمة، فتبقى زاوية
 $\overline{ه ب ج}$. فمتى أخرج من نقطة $\overline{ه}$ عموداً على خط $\overline{ب ه}$ الذي هو موضع سطح ظهر
 المرآة، (في الأم بمنزلة المرآة والصواب وجه المرآة)، وأخرج على استقامة إلى خط $\overline{ب ج}$ ،
 ١٠ فإنه سيلقاه لأنهما خرجا من أقلّ من قائمتين، فسيلتقيان على نقطة $\overline{ج}$ ؛ فزاوية $\overline{ب ه ج}$
 قائمة ونقطة $\overline{ج}$ موضع البصر مفروضة. أخرجت خط $\overline{ب ه}$ إلى ما لا نهاية له وأوقعت
 من نقطة $\overline{ج}$ خطأً إلى نقطة $\overline{د}$ ، وتعمل على خط $\overline{ج د}$ من نقطة $\overline{د}$ منه في سطح مثلث
 $\overline{ب ج د}$ مثل زاوية $\overline{ه ج د}$ ، وتخرجه على استقامة حتى يلقي خط $\overline{ب ج}$ على نقطة $\overline{ز}$.
 وبينّ أنه يلقيه لأنه مواز له $\overline{ج د}$ لأن المتبادلتين وهما $\overline{ه ج د}$ و $\overline{ز د ج}$ متساويتان، وقد لقي
 ١٥ خط $\overline{ه ج}$ خط $\overline{ب ج}$ على نقطة $\overline{ج}$. فلو لم يلقيه خط $\overline{د ز}$ ، وهو معه في سطح واحد،
 لكان موازياً له. وقد قال أوقليدس في المقالة الأولى من كتاب الأركان له الخطوط الموازية
 لخط هي متوازية، فكان يجب أن يكون خط $\overline{ه ج}$ موازياً لخط $\overline{ب ج}$ ؛ وهما ملتقيان،
 هذا خلف. فلا بدّ أن يلقيه.

^٣ المرايا: المرآة هكذا في المخطوط وسنكتبها المرايا. ^٨ عموداً: عموداً. ^٩ $\overline{ب ج}$: $\overline{ب ج}$. ^{١٢} وتعمل: ونعمل.
^{١٣} وتخرجه: ونخرجه. ^{١٣} يلقي: يلتقي.



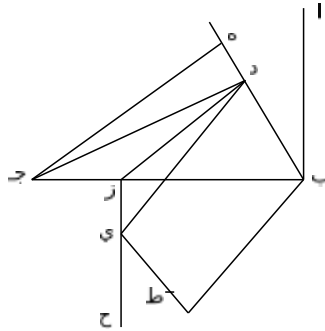
Si tu veux, | tu dis que les deux angles CDB et CBD sont plus petits A2^r que deux droits, donc les deux angles GDB et GBD sont beaucoup plus petits que deux droits, donc les deux droites GD et GC se rencontrent nécessairement.

Menons GH perpendiculaire à la surface BC de l'autre côté, parallèlement à la droite AB , et menons la droite JI parallèle à la droite DB qui est le miroir ; faisons IJ égale à BD qui est le miroir et faisons GJ égale à GC . Dessinons sur la droite JI , qui est une planche, les images que nous voulons. Plaçons-la dans la position de la droite JI tout entière. Si nous regardons à partir de la position C , nous voyons l'image dans le miroir par la réflexion du rayon vers nous à partir du miroir et nous ne voyons pas nos personnes dans celui-ci, étant donné que le rayon ne se réfléchit vers nous qu'à partir d'un angle droit⁵². Ce qu'il fallait démontrer.

On a introduit auparavant la figure (figure 1).

Cette glose était dans la copie-mère dans le propos précédent, dans la première proposition du « Livre des miroirs » d'Euclide, et nous l'avons intégrée dans ce livre telle qu'elle était dans la copie-mère, mot à mot. C'est : « Il est incorrect de procéder ainsi : si l'angle EBC est deux tiers d'un droit, car il a posé CG égale à GJ et a souhaité que < sous > l'angle CDG on voie tout cela comme < sous > l'angle GDJ ; ceci n'est pas nécessaire car l'angle DGJ du triangle DGJ est égal à un droit plus un tiers d'un droit et l'angle DGC est égal à un droit plus deux tiers et ils sont inégaux. Le procédé correct est que si l'angle GDB est droit, nous posons sur la droite GD au point D de celle-ci un angle égal à l'angle CDG et nous menons la droite jusqu'à ce qu'elle rencontre la perpendiculaire GH au point J ; il est clair qu'elle la rencontre car l'angle DGC est plus

⁵² C'est ainsi dans le texte, ce qui est évidemment incorrect. Peut-être la phrase initiale était-elle « le rayon ne se réfléchit vers nous à partir d'un angle droit » ? En effet tout rayon parvenant à l'œil est entre CB et CD .



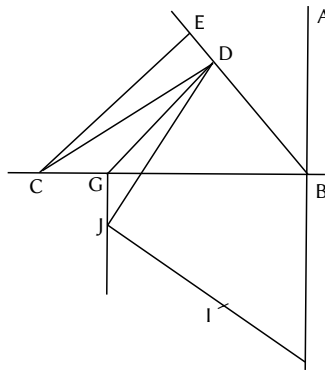
وإن شئت، | قلت : زاويتا $\overline{ج د ب}$ و $\overline{ج ب د}$ أقل من قائمتين، فزاويتا $\overline{ز د ب}$ و $\overline{ز ب د}$ أقل من قائمتين بكثير، فخطا $\overline{ز د}$ و $\overline{ز ج}$ لا بد أن يلتقيا.
 ونخرج $\overline{ز ح}$ عموداً على سطح $\overline{ب ج}$ في الجهة الثانية موازياً لخط $\overline{ا ب}$ ، ونخرج خط $\overline{ي ط}$ موازياً لخط $\overline{د ب}$ الذي هو المرآة، ونجعل $\overline{ط ي}$ مثل $\overline{ب د}$ التي هي المرآة ونجعل $\overline{ز ي}$ مثل $\overline{ز ج}$. ونصور في خط $\overline{ي ط}$ الذي هو لوح، أي صور شئنا، ونسيره في موضع $\overline{ي ط}$ الخط كله. فإذا نظرنا من موضع $\overline{ج د}$ رأينا الصورة بالمرآة بانعكاس الشعاع إلينا من المرآة ولم نر أشخاصنا فيها إذ لا ينعكس إلينا الشعاع إلا على زاوية قائمة؛ وذلك ما أردنا أن نبين.
 وقد تقدمت الصورة.

وهذه طرّة كانت في الأم في متن الكلام المتقدم في الشكل الأول من كتاب المرايا لأوقليدس، أدخلناها في داخل الكتاب على ما كانت في الطرة الأم حرفاً بحرف. وهو:
 ”هذا لا يصحّ عمله إذا كانت زاوية $\overline{هـ ب ج}$ ثلثي قائمة، لأنه جعل $\overline{ج ز}$ مثل $\overline{ز ي}$ ورجا أن تكون زاوية $\overline{ج د ز}$ ترى كل ذلك مثل زاوية $\overline{ز د ي}$ ؛ وليس ذلك بلازم لأن زاوية $\overline{د ز ي}$ من مثلث $\overline{د ز ي}$ كانت تكون قائمة وثلث وزاوية $\overline{د ز ج}$ كانت تكون قائمة وثلثي قائمة، فكانتا تكون غير متساويتين. والعمل الذي يصحّ إذا كانت زاوية $\overline{ز د ب}$ قائمة أن نضع على خط $\overline{ز د}$ نقطة $\overline{د}$ منه مثل زاوية $\overline{ج د ز}$ ونخرج الخط حتى يلقى عمود $\overline{ز ح}$ على نقطة $\overline{ي}$. ويبين أنه يلقاه لأن زاوية $\overline{د ز ج}$ أعظم من زاوية $\overline{د ز ي}$ وزاوية $\overline{د ز ي}$ الخارجة

٢ فخطا: فخط. ٢ وز ج: وزاي. ٢ يلتقيا: يلتقيان. ٤ ي ط: كتب الياء بآء ولن نشير إليها فيما بعد. ° صور: الصور. ٦ ي ط: زاي حا. ٧ إذ لا... قائمة: هكذا في النص، وهو غير صحيح، انظر التعليق. ١٠ متن: حتى تقرأ: هذا، فالنص غير واضح. ١٣ د ز ي: دال زاي. ١٤ قائمة: قائمتين. ١٥ ز د ب: دال با زاي. ١٦ ج د ز: جيم دال با. ١٦ عمود: العمود ١٧ د ز ج: دال با زاي. ١٧ د ز ي: دال زاي با (مرتين).

grand que l'angle DGJ , l'angle DGJ extérieur est plus grand que l'angle GDC intérieur et l'angle GDJ est égal à l'angle GDC car nous l'avons construit ainsi. Donc l'angle DJG est beaucoup plus grand que l'angle GDJ , mais l'angle droit HGB est égal à l'angle droit BDG et les angles du triangle GDB sont égaux à deux droits, donc les deux angles HGD et JDG sont plus petits que deux droits, donc les droites HG et JD se rencontrent nécessairement.»

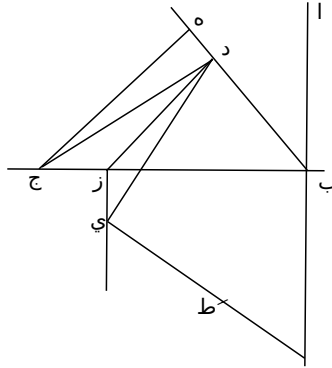
«Si tu veux corriger le procédé qui est dans le livre, tu supposes l'angle DBC un demi-droit et tu achèves le procédé, comme on l'a mentionné à l'intérieur du livre (figure 2).»



«*Démonstration.* Les deux angles JGD et CGD | sont égaux car cha- A2^v
 cun d'eux est égal à un droit plus un demi-droit, alors les deux côtés CG et GD sont égaux aux deux côtés JG et GD et l'angle entouré par les deux premiers côtés est égal à l'angle entouré par les deux autres côtés et le reste des angles d'un triangle sera égal à son homologue, donc l'angle CDG est égal à l'angle GDJ et les angles GDE et GDB sont égaux, car chacun d'eux est droit, il reste l'angle JDB égal à l'angle CDE . Si le rayon émane de l'œil, qui est le point C , vers le point D dans le miroir BD , il se réfléchit vers le point J de la planche JI qui est le début de l'image dessinée, et si le rayon émane de C , qui est l'œil, vers un point sur la droite BD , après le point D , le rayon se réfléchit vers un point de la droite JI , qui est dans le plan de la planche sur laquelle on a dessiné l'image, ou vers la droite qui la continue suivant le prolongement, et à mesure que le point de la droite DB , sur lequel tombe la vision, s'approche du point D , le point de la droite JI vers lequel se réfléchit le rayon visuel s'approche de J . Mais, étant donné que la droite BD est parallèle à la droite IJ et que le rayon émanant du point C vers D se réfléchit vers le point J , le rayon mené du point C au <point> B se réfléchit vers un point de la droite continue sur le prolongement de la droite IJ . La droite

أعظم من زاوية $\overline{ز د ج}$ الداخلة، وزاوية $\overline{ز د ي}$ مثل زاوية $\overline{ز د ج}$ لأننا كذلك عملناها. فزاوية $\overline{د ي ز}$ أعظم بكثير من زاوية $\overline{ز د ي}$ ، وزاوية $\overline{ح ز ب}$ القائمة مثل زاوية $\overline{ب د ز}$ القائمة، وزوايا مثلث $\overline{ز د ب}$ مثل قائمتين، فزاويتا $\overline{ح ز د}$ و $\overline{د ز أ}$ من قائمتين، فخط $\overline{ح ز}$ و $\overline{د لا}$ بد أن يلتقيا.

”فإن أردت أن تصحح العمل الذي (في) داخل الكتاب، فرضت زاوية $\overline{د ب ج}$ نصف قائمة وأكملت العمل على ما ذكره الكتاب.“



”وبرهانه: أن زاويتي $\overline{ي ز د}$ و $\overline{ج ز د}$ تكونان متساويتين لأن كل واحدة منهما تكون قائمة ونصفئة. فيكون ... ضلعا $\overline{ج ز د}$ مثل ضلعي $\overline{ي ز د}$ ، والزاوية التي يحيط بها الضلعان الأولان كالزاوية التي يحيط بها الضلعان الآخران وباقي زوايا المثلث كل واحدة مثل نظيرتها، فزاوية $\overline{ج د ز}$ مثل زاوية $\overline{ز د ي}$ وزاويتا $\overline{ز د ه}$ و $\overline{ز د ب}$ متساويتان، لأن كل واحدة منهما قائمة، يبقى زاوية $\overline{ي د ب}$ مثل زاوية $\overline{ج د ه}$. وإذا خرج الشعاع من البصر، الذي هو نقطة $\overline{ج}$ ، إلى نقطة $\overline{د}$ في مرآة $\overline{ب د}$ ، انعكس إلى نقطة $\overline{ي}$ من لوح $\overline{ي ط}$ التي هي أول الصورة المصوّرة؛ وإذا خرج الشعاع من $\overline{ج}$ ، الذي هو البصر، إلى نقطة في خط $\overline{ب د}$ بعد نقطة $\overline{د}$ ، انعكس الشعاع إلى نقطة من خط $\overline{ي ط}$ الذي هو في سطح اللوح المصور فيه الصورة، أو إلى الخط المتصل به على استقامة، وكلما قربت النقطة التي يقع البصر عليها من خط $\overline{ب د}$ من نقطة $\overline{د}$ ، قربت النقطة التي ينعكس إليها (شعاع) البصر في خط $\overline{ي ط}$ من $\overline{ي}$. و من أجل أن خط $\overline{ب د}$ موازٍ لخط $\overline{ط ي}$ والشعاع الخارج من نقطة $\overline{ج}$ إلى $\overline{د}$ انعكس إلى نقطة $\overline{ي}$ ، يكون الشعاع الخارج من

^٨ ... كلمة مطموسة. ^{١٠} $\overline{ج د ز}$: جيم دال. ^{١١} $\overline{ي د ب}$: با دال.

IJ tout entière est donc vue dans la droite *BD*, donc la surface *IJ* tout entière qui est parallèle à la surface plane du miroir dans lequel on a la droite *BD* est vue dans le miroir. Ce qu'il fallait démontrer.»

Ici s'achève la glose qui était dans la copie-mère, sache-le si Dieu le veut.

Nous voulons montrer comment dresser deux miroirs dans lesquels la personne se voit de face et de dos (figure 4).

Nous traçons une droite d'une longueur de quatre coudées sur laquelle il y a *AB* et on coupe de celle-ci une portion égale au quart de la largeur du miroir qui est la droite *AC*. Nous partageons la droite *BC* en deux moitiés au point *D*. Nous menons du point *D* une perpendiculaire égale à la largeur du miroir, soit la droite *DG*. Nous menons du point *B* une perpendiculaire égale à la moitié de la largeur du miroir, soit la droite *BI*. Joignons le point *I* au point *G* par une droite que nous prolongeons. Menons du point *C* une perpendiculaire qui rencontre la droite *IG* au point *E*; il est clair qu'elle la rencontre, car les deux droites *IB* et *CE* | sont parallèles, car elles sont deux perpendiculaires à la droite *CB*. Or, à propos de la réflexion du rayon à partir du miroir, Euclide a dit dans le premier livre des *Éléments* que, si des droites sont parallèles à une droite, chacune d'elles est parallèle à celles qui restent. Les deux droites *BI* et *IE* se rencontrent; le point *E* devient un centre autour duquel on trace un cercle à la distance que nous voulons; soit la portion *JK*; partageons-la en deux moitiés au point *L*, joignons le point *L* au point *E*, et menons de part et d'autre de la droite *LE*, du point *E*, deux perpendiculaires, l'une est adjacente à l'autre sur le prolongement et la longueur de chacune est égale à la moitié de la largeur du miroir; soient les deux droites *EM*, *EN*. Menons du point *B* une droite adjacente à la droite *BI* et sur son prolongement, qui lui est égale; soit la droite *BH*⁵³. Si nous procédons ainsi, nous dressons l'un des deux miroirs sur la droite *MN*; la droite *MN* le coupe en deux moitiés et la position de l'œil sera le point *D*. C'est alors qu'à lieu ce que nous avons dit, que l'homme se voit dans l'un des deux miroirs, le miroir *MN*, de face et de dos; la grandeur des deux miroirs sera la même et les deux miroirs seront carrés. Ce qu'il fallait démontrer.

Les propos qui suivent étaient en glose dans la copie-mère vis-à-vis de son affirmation – et le point *E* devient un centre : «Il est plus correct que nous disions : faisons du point *E* un centre, traçons un cercle à une distance à volonté – qui est une portion *JL*⁵⁴ –, partageons cette

⁵³ On doit supposer qu'un miroir est placé suivant *BH*.

⁵⁴ Ainsi dans le manuscrit : il faut lire *JK*.

نقطة جـ إلى بـ ينعكس إلى نقطة من الخط المتصل على استقامة بخط ط ي. فجميع خط ط ي يُرى فيه خط بـ د، فجميع سطح ط ي الموازي لسطح المرآة المستوي الذي فيه خط بـ د يُرى من المرآة؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

هنا تمّ كلام الطرّة التي كانت في الأم، فأعلمه إن شاء الله.

نريد أن نبين كيف نصب مرآتين ترى الشخص فيها نفسه مقبلاً ومدبراً.

فنخط خطاً طوله أربعة أذرع عليه ا ب، وتقطع عليه قطعة مثل ربع سمك المرآة وهو خط ا ج. ونقسم خط ب ج بنصفين على نقطة د. ونخرج من نقطة د خطاً على زاوية قائمة مثل سمك المرآة، وهو خط د ز. ونخرج من نقطة ب خطاً على زاوية قائمة مثل سمك المرآة، وهو خط ب ط. ونصل نقطة ط بنقطة ز بخط ونمدّه على استقامة؛ ونخرج من نقطة ج خطاً على زاوية قائمة يلقي خط ط ز على نقطة ه. وبينّ أنه يلقيه

لأن خطا ط ب و ج ه | متوازيان، لأنهما عمودان على خط ج ب. وقد قال أوكليدس ١٠٣ و

بانعكاس الشعاع إليها من المرآة في المقالة الأولى من كتاب الأركان : له الخطوط الموازية لخط كل خط منها مواز لكل واحد من باقيها. وخطا ب ط و ط ه ملتقيان، وتصير نقطة ه مركزاً وندير عليه دائرة بأيّ بعد شئنا، وهي قطعة ي ك؛ ونقسمها بنصفين على نقطة ل ونصل نقطة ل بنقطة ه، ونخرج عن جنبتي خط ل ه من نقطة ه خطين

على زاوية قائمة، أحدهما لاصق بالآخر على استقامة، طول كلاهما مثل نصف سمك المرآة، وهما خطا ه م ه ن. ونخرج من نقطة ب خطاً على استقامة لاصقاً بخط ب ط ومساوياً له، وهو خط ب ح. فإذا فعلنا ذلك، نصبنا إحدى المرآتين على خط م ن، ويكون خط م ن قاطعاً لها بنصفين، ويكون موضع العين نقطة د. فحينئذ يكون ما قلنا أن يرى الإنسان نفسه في إحدى المرآتين مقبلاً ومدبراً في مرآة م ن، ويكون قدر المرآتين

واحدًا وتكونان مربعيتين؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

وهذا الكلام الذي يأتي بعد هذا كان في الأم في الطرّة بإزاء قوله : ويصير نقطة ه مركزاً. الصواب أن نقول ونعمل نقطة ه مركزاً وندير دائرة بأيّ بعد شئنا وهي قطعة ي ل، ونقسمها بنصفين على نقطة ص، ونصل ص بـ ه بخط ص ه، فالزاويتان متساويتان ومن أجل أنهما على مركز الدائرة وتوترهما قوسان متساويتان، ونخرج عن جنبتي خط ص ه

٢ فيه: في. ٢ المستوي: لمستوي. ٥ مرآتين: مرآة. ٨ نقطة: خط. ١١ خطا: خط. ١٢ بانعكاس الشعاع: مطموسة. ١٧ ه م ه ن: ميم ها نون. ١٧ ب: ها. ١٧ لاصقاً: لاصق. ١٨ مساوياً: مساوي. ٢٢ نقطة: نقط. ٢٣ ونعمل: ونصل. ٢٤ ونقسمها: ونقسم با. ٢٥ متساويتان: متساويان.

portion en deux moitiés au point U ⁵⁵ et joignons U à E par une droite UE , les deux angles sont alors égaux puisqu'ils sont au centre du cercle et interceptent des arcs égaux; menons de part et d'autre de la droite UE , du point E , deux droites dont chacune entoure avec la droite UE un angle droit; elles sont adjacentes sur le prolongement et deviennent une seule droite, ce qui est clair; soit la droite NM . Il a mentionné dans son livre: posons la longueur NM égale à la largeur du miroir, ce dont nous n'avons | pas besoin; mais il est nécessaire que la partie la plus grande de la longueur du miroir soit dans la direction de N et la plus petite dans la direction de M , soit NO la longueur du miroir. Prolongeons IB dans l'autre direction vers H et supposons BH égale à BI . Il a posé, dans son livre, que le miroir est sur la droite HB et ceci est une erreur du copiste. N'as-tu pas remarqué qu'il a dit que la grandeur des deux miroirs doit être la même?»

A3^v

«Il est plus correct de faire la longueur du miroir, HI tout entière; et s'il veut voir le sommet de sa tête, le miroir sera plus grand que cela, c'est-à-dire la droite HR . Si l'observateur regarde le miroir à partir du point D , le rayon visuel tombe de ce point à la position du point D ⁵⁶ qui est la position de son œil et le rayon s'étend dans son voisinage. N'as-tu pas remarqué qu'Euclide a dit que le rayon visuel se superpose au visible? Peut-être le rayon émane-t-il de ce qui est voisin du point D suivant des angles non droits dans chacune des quatre directions et se réfléchit dans le voisinage de D à partir des quatre directions, donc de D tout entier; la personne se voit dans le miroir HI . Joins D à I et suppose la droite BI la moitié de la droite DG , de laquelle on coupe ce qui lui est égal, c'est-à-dire DQ ; DQ lui est donc égale et parallèle, les deux droites QI et DB sont parallèles et égales et l'angle IQG est droit en raison du parallélisme, donc l'angle IGQ est égal à l'angle BID et il est aussi égal à l'angle alterne-interne qui est l'angle GIR , donc l'angle DIB est égal à l'angle GIR , donc le rayon DI se réfléchit suivant la droite IO au point O ⁵⁷ du miroir NM et se réfléchit du point O sur le miroir vers le point D , à la position de l'œil, car les deux angles LOM et LON sont égaux, car ils sont droits, et les deux angles IOU ⁵⁸ et DOU sont égaux, il reste les deux angles MOI et NOD égaux. La personne voit son visage dans le miroir HI et l'arrière de sa tête dans le miroir NM . Si tu veux voir le sommet de sa tête, car en fait il ne voit de la sorte de l'arrière de sa tête

⁵⁵ Ainsi dans le manuscrit. Le point U n'est autre que le point L précédent.

⁵⁶ Après réflexion sur les deux miroirs.

⁵⁷ Ainsi dans le manuscrit; il faut lire E au lieu de O dans le paragraphe qui suit.

⁵⁸ Les lettres U et L désignent le même point.

من نقطة \bar{e} خطين يحيط كل واحد منهما مع خط $\bar{ص}$ بزواوية قائمة، فيتصلان على استقامة ويصيران خطاً واحداً وذلك بين وهما خط $\bar{ن م}$. وذكر داخل الكتاب أن نجعل طول $\bar{ن م}$ مثل سمك المرأة وهذا ما | لا نحتاج إليه، وإنما يجب أن يكون أكثر طول المرأة إلى جهة $\bar{ن}$ وأقلها إلى جهة $\bar{م}$ ، وكان طول المرأة $\bar{ن ع}$ ؛ ونخرج $\bar{ط ب}$ على استقامة في الجهة الثانية إلى $\bar{ح}$ ، ونفرض $\bar{ب ح}$ مثل $\bar{ب ط}$. ووضع داخل الكتاب المرأة على خط $\bar{ح ب}$ وهو من تصحيف الناسخ. ألا ترى أنه قال: ويكون قدر المرأتين واحداً؟“

”والصواب أن نجعل طول المرأة جميع $\bar{ح ط}$ ، فإن أراد أن يرى قمة رأسه كانت المرأة أكبر من ذلك كخط $\bar{ح ر}$. فإذا نظر الناظر إليها من نقطة $\bar{د}$ وقع شعاع البصر منها على $\bar{موضع}$ نقطة الذي هو بصره [ط] وانبسط الشعاع فيما يقرب منه. ألا ترى أن أوقليدس قال إن $\bar{شعاع}$ البصر يطبق على المبصر؟ وربما خرج الشعاع مما يقرب من نقطة $\bar{د}$ على غير زوايا قائمة في كل واحدة من الجهات الأربع، فينعكس إلى ما يقرب من $\bar{ب}$ في الجهات الأربع، فيكون عن جميع $\bar{د}$ أن يرى الإنسان في $\bar{مرآة ح ط}$ نفسه. وتصل $\bar{د ب ط}$ وتفرض خط $\bar{ب ط}$ نصف خط $\bar{د ز}$ ، فيقطع منه مثله وهو $\bar{د ق}$ ، فهو مثله وموازي له، فخطا $\bar{ق ط}$ و $\bar{د ب}$ متوازيان متساويان وزاوية $\bar{ط ق ز}$ قائمة من أجل التوازي، فزاوية $\bar{ط ز ق}$ مثل زاوية $\bar{ب ط د}$ وهي أيضاً مثل المبادلة لها وهي زاوية $\bar{ز ط ر}$ ، فزاوية $\bar{د ط ب}$ مثل زاوية $\bar{ز ط ر}$ ، فشعاع $\bar{د ط}$ ينعكس على خط $\bar{ط ع}$ إلى نقطة $\bar{ع}$ من $\bar{مرآة ن م}$ وينعكس من نقطة $\bar{ع}$ من المرأة إلى نقطة $\bar{د}$ إلى موقع البصر، لأن زاويتي $\bar{ل ع م}$ و $\bar{ل ع ن}$ متساويتان، لأنهما قائمتين، وزاويتي $\bar{ط ع ص}$ و $\bar{د ع ص}$ متساويتان، فتبقى زاويتي $\bar{م ع ط}$ و $\bar{ن ع د}$ متساويتين. فيرى الإنسان وجهه في $\bar{مرآة ح ط}$ ويرى قفاه في $\bar{مرآة ن م}$. فإن أردت أن ترى قمة رأسه، لأنه لا يرى على هذا القياس على الحقيقة من قفاه إلا ما يقابل بصره.

^٢ $\bar{ن م}$: نون وها. ^٧ نجعل: تجعل. ^٨ $\bar{ح ر}$: حا ما. ^٨ $\bar{د}$: دا. ^{١٣} وتفرض: وفرضنا. ^{١٥} $\bar{ز ط ر}$: زاي ط ها. ^{١٦} $\bar{ز ط ر}$: زاي طا كاف. ^{١٦} $\bar{ط ع}$: عين. ^{١٧} $\bar{ل ع م}$: با عين ميم. ^{١٨} $\bar{ط ع ص}$ و $\bar{د ع ص}$: با عين صاد ولام عين. ^{١٨} $\bar{م ع ط}$ و $\bar{ن ع د}$: ميم عين با و نون عين لام. ^{١٩} متساويتين: متساويتان. ^{١٩} $\bar{ن م}$: نون.

que ce qui est opposé à son œil ; si tu veux cela, la longueur de l'un des deux miroirs sera *NO* et l'autre *HIR*.»

Ici s'achève le propos de la glose qui était dans la copie-mère, sache-le.

Nous voulons montrer comment construire un miroir tel que, si un observateur bouge un de ses membres, | l'image⁵⁹ bouge ce membre, le droit à droite et le gauche à gauche. A4^r

Si nous voulons cela nous traçons un cercle à la distance que nous voulons sur une planche et nous prenons son cinquième qui est de la grandeur de la longueur du miroir⁶⁰. Si nous traçons le cercle nous prenons l'arc du sixième, nous faisons de l'arc un gabarit, nous prenons ensuite l'arc du cinquième, nous en faisons un gabarit aussi et nous faisons <le miroir> rectangulaire comme une brique en fer qui a l'épaisseur plus grande que le cinquième⁶¹ ; sa longueur est de la grandeur de la corde du cinquième et sa largeur de la grandeur de la corde du sixième. Plaçons l'arc du cinquième sur elle et ceci en montant la corde du cinquième sur la longueur de la brique de façon que sa convexité⁶² soit égale à l'arc du cinquième. Puis tu la limes progressivement dans sa largeur – en profondeur – à partir de la courbure de la convexité du gabarit qui est l'arc du cinquième, de sorte que l'arc du cinquième soit sa profondeur, et tu limes dans sa longueur – en profondeur – à partir de la courbure de la convexité du gabarit qui est l'arc du sixième, de sorte que l'arc du sixième soit sa profondeur. Tu le polis ensuite comme on polit les miroirs afin d'y voir le visage. Si on fait ainsi et si on regarde dans ce miroir, si on bouge sa main droite, l'image bouge sa main droite et si on bouge sa main gauche, l'image bouge sa main gauche, et les <autres> miroirs⁶³ ne sont pas ainsi. Si nous voulons renverser le visage dans le miroir, nous renversons le miroir afin que le regard soit dans sa largeur qui est d'une longueur égale à la corde d'un cinquième⁶⁴, le visage se renverse (figures 8, 9, 10, 11, 12, 13).

À propos de la propagation des rayons, de leur réflexion et de la propagation du rayon à partir de l'œil et sa réflexion. De l'œil surgit une force puissante qui imprime dans toute l'atmosphère une luminosité de surface conique, comme le sommet de la flèche, c'est-à-dire que son sommet est l'œil lui-même et à mesure qu'elle s'éloigne, sa base s'élargit et

⁵⁹ Litt. : la personne.

⁶⁰ La longueur du miroir sera celle de la corde qui est le côté du pentagone.

⁶¹ C'est-à-dire un peu plus grande que la flèche de l'arc d'un cinquième de cercle.

⁶² La convexité du gabarit.

⁶³ C'est-à-dire les miroirs plans ou sphériques.

⁶⁴ La largeur est la corde du sixième.

فإذا أردت ذلك، كان طول إحدى المرأتين $\overline{ن ع}$ والثانية $\overline{ح ط ر}$.
هنا تمّ كلام الطرّة التي كانت في الأم وأعلم ذلك.

نريد أن نبين كيف نعمل مرآة إذا حرّك الناظر جزءًا من أجزائه حرّك | الشخص ذلك ١٠٤ و
الجزء سواء يمين مع يمين وشمال مع شمال.

فإذا أردنا ذلك، أدركنا دائرة في لوح على أي بعد شئنا، «وأخذنا» خمسها بقدر طول
المرآة. فإذا أدركنا الدائرة، أخذنا منها «قوس السدس وعملنا» القوس مسطرةً، ثم أخذنا
قوس الخمس، فعملناها مسطرته أيضًا، «وعملناها» مربعًا مستطيلة مثل اللبنة من حديد
لها غلظ أزيد «من» الخمس، ويكون طولها بقدر وتر الخمس ويكون عرضها بقدر «وتر
السدس». ونضع قوس الخمس عليها، وذلك بأن نركب وتر الخمس على «طول اللبنة»،
يكون حدبتها مثل قوس الخمس. ثم تبردها في عرضها - في عمقها - من تقويس
حدبتها الذي هو قوس الخمس شيئًا «فشيئًا»، حتى تكون «قوس الخمس في عمقها»،
وتبردها في طولها - في عمقها - من تقويس حدبتها الذي هو قوس السدس حتى تكون
قوس السدس في عمقها. ثم تجلوها كما تجلو المرايا حتى ترى الوجه فيها. فإذ فيها إن
حرّك يده اليمنى حرّكت الصورة يدها اليمنى، وإن حرّك اليسرى «حرّكت» الصورة يدها
اليسرى، وليست المرايا كذلك. وإذا أردنا أن نقلب الوجه فيها، قلبناها حتى يكون النظر
في عرضها في طول وتر الخمس فينقلب. ١٥

في خروج الشعاعات وانعكاسها، في خروج الشعاع من البصر وانعكاسه، من العين
ينبث من ناظرها قوة قوية تؤثر فيما لاقت من الجو أجمع ضياءً صنوبريًا كالزُّج، أعني
مستحدثه عين الناظر نفسه، وكلما أبعدت، اتسعت قاعدته، ويكون الشكل الذي يحيط

١ إحدى: احد. ١ ح ط ر: حا قافا ميم. ٨ أزيد: أزيده. ٨ بقدر: قد. ١٠ عمقها: عمق. ١٣ تجلو: تجلوا.
١٨ من: إلى. ١٨ تؤثر: توتر. ١٨ كالزُّج: رجه.

la figure entourée par cette luminosité est un cône cylindrique⁶⁵ dont le sommet est l'œil de l'observateur et dont l'extrémité est du côté du visible. L'œil voit ce sur quoi tombe cette luminosité et ne voit pas ce sur quoi elle ne tombe pas.

Exemple. Posons l'œil au point D ; soit le rayon issu du point D les deux rayons $|DC, DE$ et soit CE la droite sur laquelle tombent les deux rayons DC, DE . DEC est la surface de la luminosité issue de l'œil et dont le sommet est le point D et dont la base est la droite CE . Ainsi à mesure que le rayon s'éloigne sa base s'élargit, il est par conséquent de la forme d'une figure conique. Ce qu'il fallait démontrer (figures 14 et 16). A4^v

Cette forme ou ce rayon, qu'il sorte de l'œil ou du soleil, s'il rencontre un corps opaque poli, dont la surface est plane, se réfléchit suivant des angles égaux, c'est-à-dire s'il sort incliné ; s'il sort perpendiculaire, il se réfléchit sur lui-même et il se réfléchit suivant des angles égaux.

La droite AB est une surface opaque, polie, réfléchissante et le point E est la position de l'œil. La droite EC est le passage du rayon à partir de l'œil en ligne droite, s'il n'est pas renvoyé par la droite AB . Si le corps de la droite AB est dans sa position et s'il est opaque, poli, réfléchissant, le rayon, une fois issu, tombe sur le point D , de la droite AB , il se réfléchit ensuite en D vers G .

Démonstration. La droite EC est le passage du rayon en ligne droite s'il n'est pas renvoyé par un obstacle. Si nous imaginons la droite DC comme un tuyau fin en fer qu'on fixe à la droite AB dans la direction de la droite EC , c'est-à-dire qu'on conserve la droite BD et le tuyau de fer fin imaginé à la place de la droite CD , l'angle CDB restant dans son état sans augmenter ni diminuer. Si nous imaginons cela, alors l'angle EDA sera égal à l'angle GDB ; ils ont en commun la droite AB et ils sont du côté de E . La droite DC se superpose à la droite DG , car l'angle ADE est égal à l'angle CDB – puisque les deux droites EC et AB se coupent et les deux angles opposés sont égaux.

Si nous disons que la droite AB | est comme nous l'avons dit et que la droite DC se superpose à la droite DG , alors l'angle BDG sera égal à l'angle ADE ⁶⁶. Donc ED s'est réfléchi en D vers G et alors les deux angles ADE et GDB sont égaux <, et de là DG est le passage du rayon réfléchi>. Si l'œil est au point I et ID est perpendiculaire à la droite AB , alors le rayon ID se réfléchit sur lui-même, car l'angle ADI tout entier est droit et l'angle BDI est aussi droit, donc le rayon ID se réfléchit sur lui-même. Ce qu'il fallait démontrer. A5^f

⁶⁵ C'est ainsi dans le texte, il s'agit ici d'un cône.

⁶⁶ Car $BDG = BDC$ et $BDC = ADE$.

به ذلك الضياءً مخروطاً أسطوانياً مستحده عين الناظر ونهايته تلي المنظور إليه. فما وقع عليه ذلك الضياء < يدركه البصر > وما لم يقع عليه لم يدركه البصر.

مثال ذلك: أنا نجعل البصر نقطة $\bar{د}$ والشعاع الخارج من نقطة $\bar{د}$ شعاعاً $\bar{د ج}$ ^{١٠.٤} $\bar{د ه}$ والواقع عليه شعاعاً $\bar{د ج}$ $\bar{د ه}$ خط $\bar{ج ه}$. $\bar{د ه ج}$ هو سطح النور الخارج من البصر ومستحده نقطة $\bar{د}$ وقاعدته خط $\bar{ج ه}$. وكذلك كلما بُعد الشعاع، اتسعت قاعدته، فهو إذاً في صورة شكل صنوبري؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

وهذه الصورة وهذا الشعاع كان مخرجه من العين أو من الشمس، إذا لقي جسمًا كثيفًا صقيلاً مستوي السطح، فإنه ينعكس منه على زوايا متساوية، أعني إذا خرج منحرفاً؛ وإن < خرج > عموداً، انعكس على نفسه < و > انعكس على زوايا متساوية.

إن خط $\bar{أ ب}$ سطح كثيف صقيل مرائي ونقطة $\bar{ه}$ موضع البصر. فخط $\bar{ه ج}$ مخرج الشعاع من البصر على استقامة، إذا لم يرده خط $\bar{أ ب}$. فإذا كان جرم خط $\bar{أ ب}$ في موضعه وكان كثيفاً صقيلاً مرائياً، خرج الشعاع مرةً، فوقع على نقطة $\bar{د}$ من خط $\bar{أ ب}$ ، ثم انعكس من $\bar{د}$ إلى $\bar{ز}$.

برهان ذلك: إن خط $\bar{ه ج}$ ممر الشعاع على استقامة إن لم يرده راد. فإن توهمنا أن خط $\bar{د ج}$ قضيب من حديد دقيق فيثبت في خط $\bar{أ ب}$ على هيئة سمت خط $\bar{ه ج}$ ، أعني أن يحفظ خط $\bar{ب د}$ وقضيب الحديد الدقيق المتهم عوضاً من خط $\bar{ج د}$ ، زاوية $\bar{ج د ب}$ على حالها، فلا يزيد ولا ينقص. فإذا توهمنا ذلك، فكانت زاوية $\bar{ه د أ}$ مثل زاوية $\bar{ز د ب}$ ، فيهما خط $\bar{أ ب}$ إلى ما يلي جهة $\bar{ه}$. وإن خط $\bar{د ج}$ ينطبق على $\bar{د ز}$ ولأن زاوية $\bar{أ د ه}$ مثل زاوية $\bar{ج د ب}$ لأن خطي $\bar{ه ج}$ و $\bar{أ ب}$ متقاطعان والزائيتين المتقابلتين متساويتان. ^{٢٠}

وإذا قلنا خط $\bar{أ ب}$ | كما قلنا، انطبق خط $\bar{د ج}$ على خط $\bar{د ز}$ ، <زاوية $\bar{ب د ز}$ مثل $\bar{ز د ب}$ > ^{١٠.٥} زاوية $\bar{أ د ه}$ ، فقد انعكس $\bar{ه د}$ <من $\bar{د}$ إلى $\bar{ز}$ ، فصارت زاويتا $\bar{أ د ه}$ و $\bar{ز د ب}$ متساويتين. فإن كان البصر عند نقطة $\bar{ط}$ وكان <ط $\bar{د}$ عموداً > على خط $\bar{أ ب}$ ، فإن شعاع $\bar{ط د}$ ينعكس على نفسه، لأن زاوية $\bar{أ د ط}$ كلها قائمة وكذلك زاوية $\bar{ب د ط}$ أيضاً قائمة. فشعاع $\bar{ط د}$

^٤ $\bar{د ه ج}$: دال ها. ^٤ سطح: السطح. ^٩ انعكس: ينعكس. ^٩ متساوية: الكلمة مطموسة. ^{١٧} $\bar{ج د ب}$: جيم دال. ^{١٨} ولأن: لأن. ^{١٩} $\bar{أ د ه}$: الف ميم ها. ^{١٩} والزائيتين المتقابلتين: والزائيتان المتقابلتان. ^{٢١} وإذا: فإذا. ^{٢٢} $\bar{أ د ه}$: الف ميم ها. ^{٢٢} $\bar{ه د}$: ها دال جيم. ^{٢٢} $\bar{أ د ه}$ و $\bar{ز د ب}$: ميم وسين. ^{٢٢} متساويتين: بعدها "مسك المحرفة" مما لا معنى له؟ ^{٢٤} $\bar{أ د ط}$: الف ميم طا. ^{٢٤} $\bar{ب د ط}$: با سين طا.

On a donné précédemment la forme de ce problème (figure 17).

De même si nous dressons un miroir AB et si nous plaçons l'œil au point C , et si nous avons limité le rayon en mettant devant l'œil un tuyau fin en roseau par lequel nous regardons pour que le rayon sorte de l'œil et passe par le tuyau jusqu'à ce qu'il tombe sur <la surface> du miroir au point D , alors l'œil voit dans le miroir tout ce qui est sur la droite DE , car si le rayon CD n'est pas empêché par la droite AD , il passe suivant sa direction jusqu'en L , et si la droite AB le renvoie, il se réfléchit jusqu'en E pour la cause que nous avons invoquée précédemment. On a donné précédemment la forme de ce problème.

ينعكس على نفسه ؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

وقد تقدمت الصورة في هذه المسألة.

وأيضاً متى نصبنا مرآة $\overline{اب}$ ووضعنا البصر \langle في نقطة $\overline{ج}$ وحصرنا الشعاع بأن نضع بين يدي البصر أنبوب قصب دقيق، ننظر منها ليخرج الشعاع من البصر، فيمر في الأنبوب حتى يقع على المرآة عند نقطة $\overline{د}$ ، فإنه يرى في المرآة كل ما كان على خط $\overline{ده}$ ، لأن شعاع $\overline{ج د}$ \langle إن \rangle لم يمنعه خط $\overline{اب}$ ، فإنه يمر على سمتة إلى $\overline{ل}$ ؛ وإذا رده خط $\overline{اب}$ ، انعكس إلى $\overline{ه}$ للعلة التي قد بينا.

وقد تقدمت الصورة \langle في \rangle هذه المسألة.

^٨ \langle في \rangle هذه: صرد.

°Uṭārid b. Muḥammad al-Ḥāsib a dit⁶⁷ :

Le mal des sciences des anciens est que ceux qui les vénèrent leur vouent une admiration excessive, en les laissant dans un état où les copistes ont pu les corrompre et les traducteurs se méprendre dans leur lecture.

Étant donné que je suis porté à éliminer le surplus des écrits et à rejeter ce dont il n'est nul besoin ni utilité, je pense éliminer ce qui est en trop dans la construction, et qui n'apporte rien ni à ceux qui veulent apprendre, ni à ceux qui veulent appliquer.

J'ai lu le livre d'Anthémius sur la construction des miroirs ardents, entre autres miroirs, et j'ai trouvé dans ses propositions des ajouts de lignes et de points dont n'ont pas besoin ceux qui veulent apprendre, non plus que d'autres. Je les ai donc éliminés des propositions, que j'ai résumées, et j'ai contrôlé la mise en place des points et des lignes dans les lieux et positions qui leur sont propres ; j'ai mené le propos selon la doctrine d'Anthémius, en amplifiant l'explication et en mettant en ordre la pratique qui en indique la science ; j'ai illustré cela par des figures parfaites, qui montrent l'exactitude à celui qui procède par leur moyen, j'ai représenté les miroirs et ce qui leur est nécessaire, ce qui peut aider à les construire selon la meilleure forme, j'ai ajouté à cela ce que j'ai pu obtenir et l'ai rectifié à l'aide de ce que j'ai recueilli du livre de Thiasos, également sur les miroirs ardents.

Si ce Thiasos est Anthémius, alors, je les réunis dans un même livre, et louanges à Dieu pour le succès.

Et si c'est un autre, alors nous avons ajouté une espèce de cette science à sa semblable, et l'avons jointe à sa pareille.

Je dis cela car les noms étrangers se ressemblent, et nos contemporains sont déconcertés par ces noms, les confondent, se piquent de les altérer et les répètent | à l'envi, en raison de leur admiration excessive que nous avons évoquée. A2^f

C'est de Dieu que vient l'assistance, et sur Lui nous nous appuyons dans ce que nous faisons.

Celui qui est enclin à copier cela, alors qu'il suive sa voie pour les propositions et les figures, afin d'en profiter, si Dieu le veut.

⁶⁷ Les renvois sont aux figures de l'introduction. On a introduit ici de nouvelles figures, nécessaires. Le lecteur du texte arabe pourra s'y référer (la correspondance est aisée entre les lettres des deux langues). Nous avons opté pour cette présentation pour ne pas charger le texte en reproduisant plusieurs fois les mêmes figures.

بسم الله الرحمن الرحيم

قال عطار بن محمد الحاسب: آفة علوم الأوائل فرط إعجاب مَنْ مالَ إلى علومهم بها، وتركه إيَّاهَا على الحال التي رُبَّما أفسدها النساخ، وُصِّفها النَّقْلَة. ولمَّيَّلي إلى حذف فضول القول، وإطراحي ما لا يُحتاج إليه ولا يُنتفع به، أرى أن ألغي ما زاد في العمل، ولم يُجدَّ على المتعلمين ولا على العاملين خيراً.

وقد كنت قرأت كتاب أنتميس في عمل المرايا المحرقة وغيرها، فوجدت في أشكاله زيادات خطوط ونقط لا حاجة بالمتعلمين ولا غيرهم إليها، فحذفت ذلك من الأشكال ولخصتها وأحكمت وضع النقط والخطوط في خواص أماكنها ومواضعها، وسقت القول على مذهب أنتميس بزيادة في الشرح وترتيب العمل الدال على علم ذلك، وشكلت ذلك بأتم أشكال وأدلها لمن عمل بها على الصواب، وصوّرت المرايا وما تحتاج إليه مما يُعين على عملها بأحسن صور، وأضفت إليه ما وقع إليّ من ذلك وصحّحته مما جمعته من كتاب ثياسوس في المرايا المحرقة أيضاً. فإن كان ثياسوس هذا هو أنتميس، فالجمع مني لكتاب واحد، ولله الحمد على التوفيق.

وإن يكن غيره، فقد أضفنا نوعاً من العلم إلى شكله، وضمّناه إلى لفقه وإنما قلت هذا لأنّ الأسماء الأعجميّة متشابهة، وأهل زماننا يستغربون هذه الأسماء، ويُمَوِّهون بتحريفها، ويكثرّون تردّادها | لفرط الإعجاب الذي ذكرناه. وباللّه نستعين، وعليه نتوكّل فيما نحن بسبيله. فمن مال إلى نسخ هذا فاسلك سبيلها في الأشكال والصور لينتفع بذلك، إن شاء الله تعالى.

^١ بسم الله الرحمن الرحيم: بعدها كتب: عفوك اللهم [١]. ^٢ علوم: العلوم [١]. ^٣ إيَّاهَا: ناقصة [١]. ^٣ أفسدها: أفسدها به [ب]. ^٣ وُصِّفها: وتجهها [ب]. ^٣ النَّقْلَة: الناقلَة [ب]. ^٤ فضول: ناقصة [١]. ^٤ العمل: في الهامش. ^٥ العاملين: العالمين [١]. ^٦ العمل: للعمل [ب]. ^٦ علم: ناقصة [١]. ^{١٢} هذا هو: هو هذا [١]. ^{١٤} يكن: لم يكن [ب]. ^{١٤} إلى لفقه: الفقه [١] (اللفق هو الشق، بمعنى أضافه إلى شقه الآخر). ^{١٦} نستعين: هنا يتوقف ناسخ [ب] ليبدأ فيما بعد.

L'auteur du livre qui nous a devancé dans la vertu et nous a enrichi par son travail dit :

<1> Si nous voulons construire les miroirs ardents, nous traçons la droite AB . [Et moi, j'ajoute, et ceci est un liminaire, que la première action est de rectifier les règles et la seconde de couper les arcs qui sont les limes de ces miroirs correspondant à cette figure]. Nous revenons ensuite à la droite AB que nous traçons et partageons en deux moitiés au point C . De part et d'autre du point C , nous marquons deux points à égale distance, qui sont les deux points D et E . Nous élevons au point C une perpendiculaire de même grandeur que la droite CD , soit la perpendiculaire CF ; nous la prolongeons de l'autre côté du point C jusqu'au point G , indéfiniment. Nous menons la droite FD jusqu'au point H , nous élevons au point D une perpendiculaire qui tombe en un point quelconque de la droite CG et nous y marquons le point I . De la grandeur CD , nous traçons un cercle qui passe par les points D , F et E . Par le point F on fait passer la droite FK tangente au point F et parallèle à la droite AB . De part et d'autre des points D et E nous prenons deux distances égales, qui sont EL et DM ; nous élevons au point L la perpendiculaire LJ et au point M la perpendiculaire MK ⁶⁸. Partageons ensuite les deux perpendiculaires LJ et MK en autant de parties que nous voulons : plus nous multiplions les parties, plus ceci est précis pour la construction. Nous faisons ensuite passer par <les extrémités> de chacun des couples de parties opposées sur les deux perpendiculaires une droite parallèle à la droite AB qui coupe les deux arcs EF et DF du cercle en des parties égales, | comme ce qui est dans l'exemple⁶⁹.

A2^v

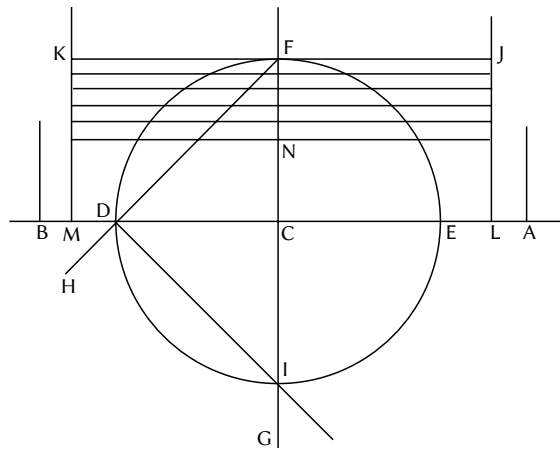
⁶⁸ On suppose que $LJ = MK = CF$, et par conséquent les trois points J , F et K sont alignés.

⁶⁹ Ce fragment de texte semble s'interrompre ici sans que soit dégagé l'intérêt des points de division des droites LJ et MK et des parallèles qui en sont déduites. Dans les paragraphes qui suivent, on ne trouve aucune trace de l'utilisation de ces premières constructions, comme le remarque le commentateur. Les deux figures suivantes ne sont pas dans le manuscrit.

يقول صاحب هذا الكتاب السابق إلى الفضيلة، الذي أفادنا عمله:
 «١» إذا أردنا عمل المرايا المحرقة نخطّ خطّ $\overline{اب}$.

وأنا أقول زيادة قول، وتلك مقدمة: أول العمل تصحيح المساطر، والثاني: تقطيع
 القسي التي هي المبارد لهذه المرايا من هذا الشكل، ثمّ تعود إلى خط $\overline{اب}$ ، فتخطّه
 على استقامة، وتقسمه بنصفين على نقطة $\overline{ج}$ ، وتعلم على جنبتي نقطة $\overline{ج}$ علامتين
 متساويتي البعد، وهما نقطتا $\overline{د ه}$ ، ونقيم على نقطة $\overline{ج}$ عمودًا بمقدار خط $\overline{ج د}$ ، وهو
 عمود $\overline{ج و}$ ، وننفذه في الجهة الأخرى من نقطة $\overline{ج}$ إلى نقطة $\overline{ز}$ ، وبلا نهاية. ونخرج خط
 $\overline{و د}$ إلى نقطة $\overline{ح}$. ونقيم على نقطة $\overline{د}$ عمودًا يقع من خط $\overline{ج ز}$ أين وقع منه، فننتعلم
 هناك نقطة $\overline{ط}$. وندير ببعد $\overline{ج د}$ دائرة تمرّ بنقط $\overline{د و ه}$ ، ثمّ تجيز على نقطة $\overline{و ك}$
 مماسًا لنقطة $\overline{و}$ ، وموازيًا لخط $\overline{اب}$. ثمّ نأخذ عن جنبتي $\overline{د ه}$ بعدين متساويين وهما $\overline{ه ل}$
 $\overline{د م}$ ، ونقيم على نقطة $\overline{ل}$ عمود $\overline{ل ي}$ ، وعلى نقطة $\overline{م}$ عمود $\overline{م ك}$ على خط مستقيم.
 ثمّ نقسم عمودي $\overline{ل ي م ك}$ بأقسام كما شئنا، وكلّما أكثرنا الأقسام كان أدق للعمل،
 ثمّ نجيز على كل قسمين متقابلين من العمودين خطًا موازيًا لخط $\overline{اب}$ يقطع قسمي $\overline{ه و}$
 $\overline{د و}$ من الدائرة على أقسام متساوية | حسب ما هو في المثال.

٢١ ظ



Je dis que l'auteur de ce propos n'a pas montré pourquoi ces droites conviennent ni n'a fait appel à celles-ci pour quoi que ce soit dans sa construction. Leur utilité est qu'elles découpent les arcs que nous appelons, avec leurs cordes, des règles, pour que ceux-ci soient valables, sans qu'il y ait des erreurs dans les arcs et pour qu'on ait des points et les distances de ces points qui tombent sur la circonférence du cercle, comme nous allons le montrer après cela, si Dieu très Haut le veut.

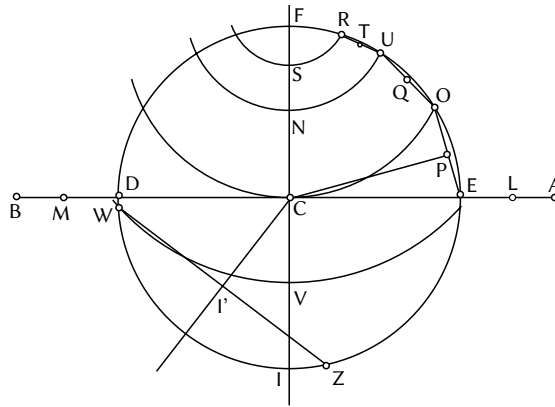
Il a dit : partageons ensuite la droite FC qui est le demi-diamètre en deux moitiés au point N , et la droite NF en deux moitiés au point S . Nous prenons ensuite la distance CF , qui est le demi-diamètre, par le compas. Nous posons l'une des branches du compas au point F et nous marquons par l'autre branche sur la circonférence du cercle, là où il le coupe, le point O ; tu mènes ensuite la droite OE ; <l'arc> EO est la moitié du sixième du cercle et, une fois coupé, il sera une lime d'un miroir tel que la distance de son embrasement sera de la grandeur de la longueur de la droite CP menée du point C au milieu de la droite EO ⁷⁰. Cet arc est une lime, que, s'il est coupé, nous appelons règle ; et il touche⁷¹ l'une des droites parallèles à la droite LM , qui a été obtenue par le partage au début, ainsi que les arcs. Nous construisons ensuite une lime⁷² suivant sa circularité et de sa grandeur tu limes la face d'un miroir dont la surface est rectifiée suivant une droite ; l'embrasement de ce miroir sera à

⁷⁰ On compte habituellement une distance d'embrasement à partir du miroir qui embrase. Que le point P soit le milieu du segment EO ou de l'arc EO , l'embrasement provoqué par le miroir sphérique engendré à l'aide de l'arc EO pris comme gabarit ne peut pas se produire à la distance CP .

⁷¹ Peut-être faut-il comprendre ici que l'extrémité O de l'arc est sur une des parallèles à EM tracées au début ?

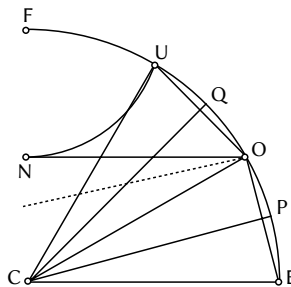
⁷² La lime est constituée par le segment limité par l'arc et la corde.

la distance de la droite CP , comme nous l'avons montré, si Dieu le veut.



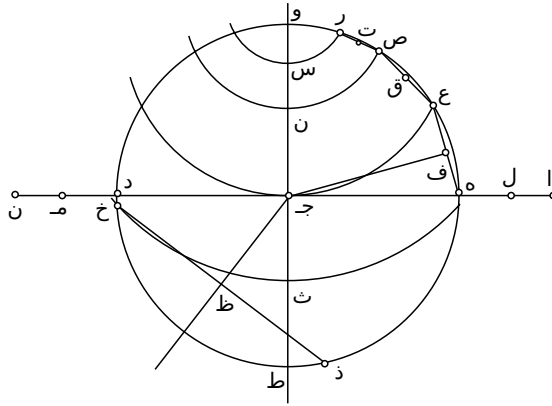
De même, si nous posons le compas au point F , si nous l'ouvrons de la distance FN , si nous marquons avec cette distance sur la circonférence du cercle le point U et si nous menons ensuite la droite UO , alors l'arc UO sera une règle et une lime pour un miroir dont la distance d'embranchement est la droite CQ ⁷³ menée du point C jusqu'au milieu de la droite OU . A3^f

De même, si nous prenons la distance FS , si nous marquons par cette distance sur la circonférence du cercle le point R et si nous menons la droite RU , alors l'arc RU sera une lime et une règle <d'un miroir> dont la distance d'embranchement est d'une grandeur égale à la droite CT , menée du centre jusqu'au milieu de l'arc RU ⁷⁴.

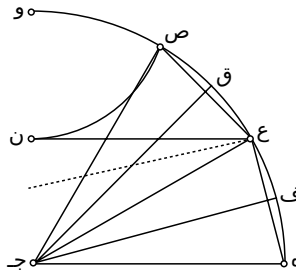


⁷³ Voir note 70.

⁷⁴ Ici, l'auteur prend T milieu de l'arc UR . Pour que les distances d'embranchement soient les mêmes dans les trois cas, il faudrait que les points P et Q soient respectivement les milieux des arcs EO et OR . La distance commune est alors le rayon du cercle. Le résultat énoncé est faux, l'embranchement produit par un miroir sphérique ne se fait pas au centre de la sphère. D'où peut provenir une telle erreur? Remarquons que, si le segment EO représente un miroir plan, le rayon NO parallèle à CE tombant en O sur ce miroir est réfléchi vers C car la normale en O à EO est parallèle à CP . Mais un rayon tombant en un point quelconque du segment OE n'est pas réfléchi vers C .



وكذلك إن وضعنا المدوار في نقطة و، وفتحناه ببعد و ن، وتعلمنا بذلك البعد على محيط الدائرة علامة ص، ثم أخرجنا خط | ص ع > كان قوس ص ع مسطرة ومبرداً ٣١ و لمرآة بُعد إحراقها ج ق، الخارج من نقطة ج إلى منتصف خط ع ص. وكذلك إن أخذنا بُعد ف س وتعلمنا به على محيط الدائرة علامة ر وأخرجنا خط ر ص، كان قوس ر ص مبرداً ومسطرة بعد إحراقها بمقدار ج ت الخارج من المركز إلى منتصف قوس ر ص.



٦ ر ص: ود [١].

La distance d'embrasement des trois miroirs est une même distance ; mais le diamètre des uns est plus grand que celui des autres ; celui qui a le plus grand diamètre a le plus grand contour, celui qui a le plus grand contour a plus de rayons, celui qui a plus de rayons reçoit plus et celui qui reçoit plus embrase plus vite, si Dieu le veut.

Si tu veux agrandir le miroir pour que l'arc de l'un de ses quarts soit la règle d'un grand miroir, prends alors l'arc du quart, qui est l'arc FD , prends-le comme lime et à l'aide de celle-ci façonne un grand miroir.

Si tu veux un miroir encore plus grand que celui-ci, partage la droite CI en deux moitiés au point V , prends par le compas la distance FV et marque par celui-ci, comme on l'a marqué, le point W sur la circonférence du cercle. Pose ensuite la pointe du compas au point W et marque par l'autre pointe, là où il coupe le cercle, le point Z . Mène ensuite la droite ZW ; l'arc ZW est alors une lime d'un miroir dont le diamètre est trois quarts du diamètre du cercle et dont la distance d'embrasement est plus petite que la distance d'embrasement de ce qui précède d'une distance égale à la droite CI' menée du centre du cercle au milieu de la droite ZW . Ceci est une proposition générale à partir de laquelle on peut déterminer les limes des miroirs | de grandeurs différentes, comme il a été montré, A3^v si Dieu le veut, et le plus grand embrase plus vite.

Je poursuis ce qui précède par une proposition qui m'est propre pour montrer la construction des miroirs ardents : je dis que, si le demi-diamètre est une distance quelconque et si on prend sur le cercle des arcs quelconques, donnés ou non donnés, après avoir mené du centre aux deux extrémités de l'arc deux droites qui le limitent ; si ensuite on joint les deux extrémités de l'arc par une droite qui tient lieu de corde et si on mène du centre au milieu de celle-ci une droite, alors cette droite sera la distance d'embrasement du miroir, comme dans l'exemple du cercle $ABCD$ dont l'arc est CD et les deux droites EC et ED ; ce qui les joint est la droite CD et la droite menée du milieu de la droite CD au centre est la droite EF ⁷⁵, qui est la distance d'embrasement du miroir dont la lime est l'arc CD , si Dieu le veut.

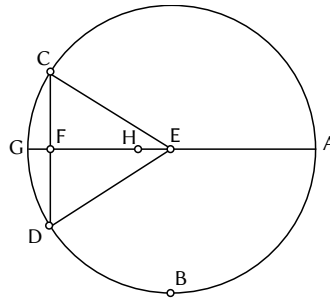
⁷⁵ Si G est le milieu de l'arc CD , aucun rayon tombant sur le miroir ne sera réfléchi vers un point H de la droite AF tel que $GH = FE$. La figure suivante est dans le manuscrit.

فالمرايا الثلاث بُعد إحراقهنّ بعداً واحداً، وأقطار بعضها أعظم من بعض، وأعظمها قطرًا أكثرها إحاطة، وأكثرها إحاطة أكثرها شعاعًا، وأكثرها شعاعًا أكثرها قبولًا، وأكثرها قبولًا أسرعها إحراقًا، إن شاء الله.

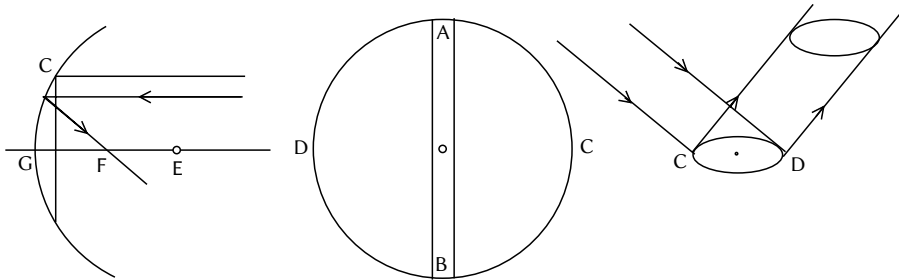
فإن أردت أن تزيد في كبر المرآة ليكون قوس ربع من أرباعها مسطرة لمرآة عظيمة، فخذ قوس الربع الذي هو قوس $\overline{ف د}$ فاتخذها مبردًا واعمل به في مرآة عظيمة. وإن أردت أعظم منها أيضًا، فاقسم خط $\overline{ج ط}$ بنصفين على نقطة $\overline{ث}$ ، وخذ بُعد $\overline{و ث}$ بالمدوار، وتعلم به كما تعلمنا على محيط الدائرة علامة $\overline{خ}$ ، ثم ضع طرف المدوار في علامة $\overline{خ}$ ، وتعلم بالطرف الآخر حيث قطع من الدائرة علامة $\overline{ذ}$ ، ثم اخرج خط $\overline{ذ خ}$ فيكون «قوس» $\overline{ذ خ}$ مبردًا لمرآة قطرها ثلاثة أرباع قطر الدائرة، ويُعد إحراقها أقلّ من إحراق ما تقدّم بمثل بعد خط $\overline{ج ط}$ الخارج من المركز إلى منتصف خط $\overline{ذ خ}$ ؛ وهذا شكل جامع يخرج منه مبادر لمرايا | مختلفة الأقدار على ما بيّنت إن شاء الله، والكبرى أسرع إحراقًا. ^{١٣} ظ

واتبع ما تقدّم من الشكل قولاً ليّ في تبيان عمل المرايا المحرقة.
أقول: إذا كان نصف القطر بُعدًا ما، وأخذ من قوس الدائرة أي قسي كانت مفروضة أو غير مفروضة، بعد أن تخرج من المركز إلى طرفي القوس خطين يحيزانها، ثم وصل بين طرفي القوس بخط يقوم مقام الوتر، وأخرج من المركز إلى منتصفه خط، كان هذا الخط بُعد إحراق المرآة حسب ما في المثال من دائرة $\overline{ا ب ج د}$ والقوس منها $\overline{ج د}$ والخطان خطا $\overline{ه ج}$ و $\overline{ه د}$ والوصل بينهما خط $\overline{ج د}$ والخط الخارج من منتصف خط $\overline{ج د}$ إلى المركز خط $\overline{ه و}$ وهو بُعد إحراق المرآة التي يكون قوس $\overline{ج د}$ مبردها، إن شاء الله.

^١ فالمرايا: بالمرايا [١]. ^١ بُعد: بعد [١]. ^٢ أكثرها قبولًا: مكررة [١]. ^٥ $\overline{ف د}$ و $\overline{د}$ [١]. ^{١٢} ليّ: أي لعطارد.
^{١٥} خط: خطأ [١]. ^{١٦} إحراق: اقرق [١]. ^{١٧} $\overline{ه ج}$ و $\overline{ه د}$: مطموسة [١]. ^{١٧} خط: مطموسة [١].



Ceux qui traitent de cet art s'accordent tous sur cette assertion. Mais certains mentionnent également un tel arc, sans aucune hypothèse à son propos, qu'il soit petit | ou grand, si ce n'est que le quart du diamètre est A4^r la distance de l'embrasement, ce qu'ils n'ont pas vérifié ⁷⁶.

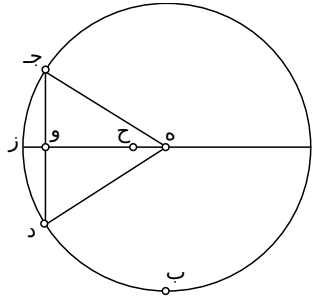


Quant au miroir qui embrase à toute distance et à l'infini – s'il n'est pas supposé <fait> à partir d'un cercle – c'est celui dont la face est aplaniée par la règle *AB*, qui est en vérité une ligne plane et également rectifiée. La règle *AB* adhère à toute la surface du miroir qui est le miroir *CD* et, quelle que soit la manière selon laquelle on tourne la règle sur le miroir, elle reste véritablement ⁷⁷ en contact avec lui. Tout rayon réfléchi de ce miroir, lorsque le rayon du soleil tombe sur lui, est réfléchi suivant une forme circulaire selon la circularité de la surface du miroir *CD*, également, sans ajout ni diminution, et s'éloigne sans fin jusqu'à ce qu'il rencontre un corps opaque sur lequel le rayon sera donc vu circulaire, de la même grandeur que la circularité du miroir ⁷⁸. Quand on construit

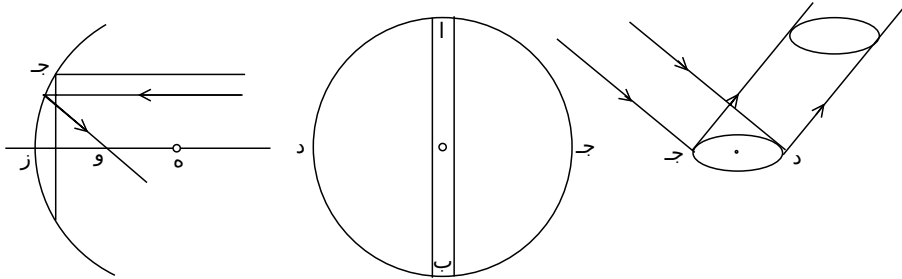
⁷⁶ Si le miroir sphérique est de faible ouverture, la distance d'embrasement est bien le quart du diamètre pour des rayons parallèles à l'axe du miroir. Des trois figures suivantes, seule la seconde est dans le manuscrit.

⁷⁷ Littéralement : selon la vérité de la déduction ; c'est-à-dire, selon la vérité du raisonnement.

⁷⁸ On engendre le miroir *CD* en faisant pivoter la règle *AB* autour du point central. Le miroir est de forme circulaire. Le faisceau de rayons solaires tombant sur *CD* est



هذا قول تواطأ عليه أهل الصناعة، ويذكر بعضهم القوس أيضًا بلا فرض، صغرت | ١؛
أم كبرت، إلا أنه أن ربع القطر هو بُعد الإحراق، وذلك ما لم يحقه.



فأما المرآة المحرقة من كلِّ بُعد وإلى غير نهاية، إذا ليست مفروضة من دائرة، فهي التي تسطح وجهها على مسطرة $\overline{اب}$ المستوية الخط بالحقيقة المصححة كذلك. وتكون مسطرة $\overline{اب}$ لازمة لجميع سطح المرآة، وهي مرآة $\overline{جـ د}$ كيف أُديرَت المسطرة عليها كانت لاصقة بها على حقيقة القياس، فإنَّ شعاع هذه المرآة الراجع منها عند وقوع «شعاع» الشمس عليها فهو يرجع مستديرًا على استدارة سطح مرآة $\overline{جـ د}$ سواء بلا زيادة ولا نقصان ذاهب بلا غاية إلى أن يصطكه جسم كثيف فيرى الشعاع عليه مستديرًا بقدر استدارة المرآة. ومتى عُملَ مرايا كثيرة على هذه الهيئة والمقدمة التي قدّمنا، وأمسكها رجال يلقون

^١ تواطأ: تواطوا [١]. ^٢ يحقه: يخصه [١]. ^٤ كذلك: لذلك [١].

de nombreux miroirs de cette forme et selon le liminaire que nous avons introduit, et si ces miroirs sont tenus par des hommes qui projettent leur lumière sur un corps quelconque à une distance quelconque, il se produit un embrasement rapide dans ce corps, si Dieu très Haut le veut.

Son affirmation, une distance d'éloignement infinie, n'est pas qu'on cherche que le miroir embrase à la distance d'un parasange⁷⁹, ou une distance proche, ou d'un mille ou d'une distance proche, ceci est une exagération de celui qui aspire à cela, | mais il s'agit d'un embrasement à une distance d'une grandeur qui dépasse le diamètre d'un cercle <tracé> avec le plus grand compas. A4^v

L'auteur a dit que ce miroir fait voir la vérité de la chose, sans ajout ni diminution, s'il est vérifié selon les conditions de rectitude de la droite <qui sert de règle>, si Dieu le veut⁸⁰.

<2> Comment dresser deux miroirs tels qu'on voie dans l'un une personne de face et de dos (fig. 4).

Tu traces une droite de longueur quatre coudées ou plus sur laquelle on a AB , et tu coupes de celle-ci une portion égale au quart de la largeur du miroir⁸¹, soit la droite AC ; tu partages la droite CB en deux moitiés au point D , tu mènes du point D une droite suivant un angle droit, égale à la moitié de la largeur du miroir, soit la droite DG . Du point B , nous menons une droite suivant un angle droit, égale à la moitié de la largeur du miroir, soit la droite BI . Joins le point I au point G , prolonge la droite < IG > indéfiniment et mène du point C une droite suivant un angle droit, qui la rencontre au point E ; fais du point E un centre et trace une portion de cercle avec une distance à volonté; soit l'arc JK ; partage-le en deux moitiés au point L et joins le point L au point E ; mène de part et d'autre de LE à partir du point E deux droites suivant un angle droit – l'une est adjacente à l'autre | et sur son prolongement – et telles que la longueur de chacune dans les deux directions soit égale à la moitié de la largeur du miroir; ce sont les deux droites EN et EM , elles seront une seule droite qui est la droite MN . Menons du point B une droite qui est adjacente à la droite BI et qui lui est égale, soit la droite BH . Si nous faisons cela selon la vérité de ce que nous avons décrit, alors nous dressons l'un des miroirs suivant la droite MN ; la droite MN le coupe en deux moitiés. A5^f

alors cylindrique, et le faisceau réfléchi, cylindrique également, a pour base le cercle CD .

⁷⁹ Ancienne unité de distance perse.

⁸⁰ C'est le miroir CD qui, corrigé suivant la rectitude de la règle, embrase au loin et fait voir la forme selon sa vérité.

⁸¹ Le miroir est supposé carré, comme on le voit plus loin. Sa largeur l est donc le côté du carré.

نورها على جسم ما بأيُّ بُعد كان، حدث لذلك إحراقاً سريعاً في ذلك الجسم، إن شاء الله تعالى.

وليس قوله بُعد بلا نهاية في البُعد، هو أن يطالب أن تحرق المرأة من فرسخ أو ما قاربه، أو ميل وما شاكله، هذا تعدي ممن يسوم ذلك، | لكنه إحراق بعيد من مقدار ١٤٤ ظ
 ٥ يتجاوز قطر دائرة من أعظم مداوار.

وقال صاحبها: إن هذه المرأة تُري حقيقة الشيء بلا زيادة ولا نقصان، إذا حكمت على شرائط الاستواء من الخط، إن شاء الله عز وجل.

٢٠ كيف نصب مرأتين يُرى في إحداهما الشخص مُقبلاً ومُدبراً.

نخطُ خطاً طوله أربعة أذرع «أو أكثر» عليه $ا ب$ ، ونقطع منه قطعة مثل ربع سمك المرأة، وهو خط $ا ج$ ، وتقسم خط $ج ب$ بنصفين على نقطة $د$ ، وتخرج من نقطة $د$ خطاً على زاوية قائمة مثل نصف سمك المرأة وهو خط $د ز$ ، وتخرج من نقطة $ب$ خطاً على زوايا قائمة مثل نصف سمك المرأة وهو خط $ب ط$ ، وتصل نقطة $ط$ بنقطة $ز$ ، وتمدّه على استقامة بلا نهاية، وتخرج من نقطة $ج$ خطاً على زاوية قائمة يلقاه عند نقطة $هـ$ ، وتُصير نقطة $هـ$ مركزاً وتدير قطعة دائرة بأيُّ بُعد شئنا، وهي قوس $ي ك$ ، وتقسّمها بنصفين على نقطة $ل$ ، وتصل نقطة $ل$ بنقطة $هـ$ ، وتخرج على جنبتَي $ل هـ$ من نقطة $هـ$ خطين على زاوية قائمة، أحدهما لاصق بالآخر | على استقامة، ويكون طول كلاهما ١٥
 في الجهتين مثل «نصف» سمك المرأة، وهما خطا $هـ ن هـ م$ ، فيصيران خطاً «واحدًا» وهو خط $ن م$ ، وتُخرج من نقطة $ب$ خطاً على استقامة لاصق بخط $ب ط$ ومساوٍ له، وهو خط $ب ح$ ، فإذا فعلنا ذلك على حقيقة ما وصفنا، نصبنا إحدى المرأتين على خط $م ن$ ، ويكون خط $م ن$ قاطعاً لهما بنصفين، ونصبنا المرأة الأخرى على خط $ط ح$ قاطعاً لهما بنصفين، ويكون موضع العين، وهو مقام القائم $د$ ، فحينئذ يكون ما قلنا، وهو أن يُرى في مرآة $م ن$ الشخص مقبلاً ومُدبراً، وذلك ما أردنا*.

١٢-١١ وتخرج ... خط $ب ط$: كتبها الناسخ في الهامش مع بيان موضعها. ١٥ وتصل ... هـ: كتبها الناسخ في الهامش مع بيان موضعها. ١٦ بالآخر: بالأخرى [١]. ٢٠-٢١ ونصبنا المرأة ... بنصفين: في الهامش مع بيان موضعها.

* كتب الناسخ بإزاء الشكل ما نقله من نسخة أخرى: "يكون قدر المرأتين متساوي، أو يكونان مربعين. والله أعلم بالصواب."

Nous dressons l'autre miroir suivant la droite IH ; la droite IH le coupe en deux moitiés. La position de l'œil tient lieu de la personne qui est en D . C'est alors qu'on aura ce que nous avons dit, c'est-à-dire qu'on voit dans le miroir MN la personne de face et de dos⁸².

<3> Dresser un miroir dans lequel l'observateur voit une image autre que la sienne (fig. 3).

Prends un miroir à face parfaitement plane et dresse le miroir selon ce que je décris.

Que la droite AB soit un mur perpendiculaire au plan BC ; menons la droite BD , inclinée sur la droite AB suivant le tiers d'un angle droit, sur laquelle on colle le dos du miroir ; menons ensuite la droite DE faisant avec le dos du miroir une seule droite ; l'angle ABD est donc | le tiers d'un droit. Menons ensuite du point E , de la droite EDB qui est sur la surface du dos du miroir, une droite qui fait un angle droit au point E , soit la droite EC . L'angle BEC est donc droit au point E et le point C est la position de l'œil. Menons du point D une droite jusqu'au point C et menons également du point D une droite qui tombe sur le plan BC telle que l'angle GDC soit égal à l'angle ECD ; menons du point G la perpendiculaire à la droite BC et menons la droite JI parallèle à la droite DB qui est le miroir et telle que la grandeur de GJ soit égale à DB ; la droite JI est une planche perpendiculaire, comme nous l'avons décrit. Nous formons sur la droite IJ , qui est une planche, une image à volonté, que nous cachons par rapport à la position C en même temps que la droite entière. Si nous regardons à partir de la position C , nous voyons dans le miroir seulement l'image ; on ne voit aucune autre personne : ce que nous voulions construire. A5^v

Il convient pour ce miroir que la hauteur de la droite BD par rapport au sol, qui est la surface BC , soit d'une coudée et demie pour que l'observateur puisse <voir la planche>, car s'il était plus bas que cela il empêcherait la vision. C'est d'après la hauteur et l'extension de la droite BD que l'on fait la droite GJ pour achever la construction, si Dieu le veut.

| <4> Un autre miroir

Construire un miroir dans lequel la personne voit ses membres vis-à-vis de ses membres, le droit vis-à-vis du droit et le gauche vis-à-vis du gauche. Ceci est différent de ce que tu vois dans nos miroirs, car l'observateur, dans ceux-ci, voit sa droite vis-à-vis de sa gauche, et ces miroirs ne sont pas ainsi. Ce miroir est carré⁸³, si tu regardes dans sa largeur

⁸² Le copiste a écrit vis-à-vis de cette figure ce qu'il a copié d'une autre version : « et les deux miroirs seront de grandeur égale et carrés ».

A6^r

﴿٣﴾ نصب مرآة يرى الناظر فيها غير صورته

تتخذ مرآة مستوية الوجه على الحقيقة، ثم تنصب المرآة على ما أصف من النصب:
 يكون خط $\overline{آب}$ الحائط القائم على سطح $\overline{ب ج}$ على زوايا قائمة، وتخرج خط $\overline{ب د}$
 على ثلث زاوية قائمة مائلاً عن خط $\overline{آب}$ ، وتلصق ظهر المرآة «عليه»، ثم تخرج، ثم
 تخرج خط $\overline{د هـ}$ مع سطح ظهر المرآة خطاً واحداً، فيكون لذلك زاوية $\overline{آ ب د}$ ثلث
 قائمة. ثم تخرج من خط $\overline{هـ د ب}$ ، الذي «هو» مع سطح ظهر المرآة، من نقطة $\overline{هـ}$ خطاً
 «واحداً»، وهو خط $\overline{هـ ج}$ على زوايا قائمة من نقطة $\overline{هـ}$ ، وتكون زاوية $\overline{ب هـ ج}$ قائمة،
 ونقطة $\overline{ج}$ موضع النظر، وتخرج من نقطة $\overline{د}$ خطاً إلى نقطة $\overline{ج}$ ، وتخرج أيضاً من نقطة $\overline{د}$
 خطاً يقع على سطح $\overline{ب ج}$ تكون زاوية $\overline{ز د ج}$ مثل زاوية $\overline{هـ ج د}$. وتخرج من نقطة $\overline{ز}$
 عموداً على خط $\overline{ب ج}$ ، وتخرج خط $\overline{ي ط}$ موازياً لخط $\overline{د ب}$ ، الذي هو المرآة، ومقدار
 $\overline{ز ي}$ مثل $\overline{د ب}$ ، وخط $\overline{ي ط}$ هو لوح قائم على ما وصفنا، ونصوّر في خط $\overline{ي ط}$ ، الذي
 هو اللوح، أي صورة أردنا، ونستره في موضع $\overline{ج}$ والخط كله.
 فإذا نظرنا من موضع $\overline{ج}$ ، رأينا الصورة في المرآة فقط، ولم نر شخصاً غيرها، وذلك
 ما أردنا عمله.

١٥ وحق هذه المرآة أن يكون ارتفاع خط $\overline{ب د}$ عن الأرض، التي هي سطح $\overline{ب ج}$ ،
 بمقدار ذراع ونصف ليتمكن الناظر «من رؤية اللوح» لأنها إن انحطت عن ذلك منعت
 النظر. ويقدر ارتفاع وامتداد خط $\overline{ب د}$ يكون خط $\overline{ز ي}$ ليتم العمل، إن شاء الله تعالى.
 | ﴿٤﴾ مرآة أخرى

٢٠ نريد أن نعمل مرآة تُري الشخص محاذياً أعضائه لأعضاء الناظر فيها، يمين الناظر
 بإزاء يمين الشخص ويساره بإزاء يساره، وهذا بخلاف ما تراه في مرايانا لأن الناظر فيها
 يرى يمينه بإزاء يسار شخصه، وليست هذه المرايا كذلك، والمرآة مربعة، فإذا نظرت في
 عرضها أيضاً نكست الصورة نكساً عجيباً.

٤ مائلاً: مائل [١]. ٤ $\overline{آ ب}$: ايه [١]. ٧ وتكون زاوية ... قائمة: مكررة [١]. ٢١ يسار: في الهامش مع الإشارة إلى موضعها.

aussi, il inverse l'image d'une manière surprenante (fig. 8, 9, 10, 11, 12, 13)⁸⁴.

Si nous voulons cela, nous traçons un cercle de grandeur à volonté dans une plaque ou une planche et nous prenons sur le cercle deux arcs, un arc du sixième que nous prenons comme règle, et qui est l'arc AB ; nous prenons ensuite sur ce cercle l'arc d'un cinquième, que nous prenons comme règle, et qui est l'arc BC . Et, en même temps, nous avons les règles – comme nous l'avons dit précédemment – qui sont les limes. Nous prenons ensuite une portion carrée d'acier sans mélange, bon et pur, telle que sa longueur soit égale à la corde de l'arc d'un cinquième et sa largeur égale à la corde de l'arc d'un sixième; ces cordes sont les dimensions du miroir. Tu poses ensuite l'arc d'un cinquième dans une position du miroir et tu le limes jusqu'à ce que ses bords soient en contact avec cette position⁸⁵, et tel que sa convexité – c'est-à-dire la convexité de l'arc d'un cinquième que tu as pris pour lime – touche le creux de ce que tu as limé par lui du miroir. Tu poses ensuite l'arc du sixième dans sa largeur, c'est-à-dire la largeur du miroir, que tu limes avec l'arc d'un sixième jusqu'à ce que ses bords soient en contact avec cette position, sans que tu diminues en rien la courbure de sa convexité, qui est l'arc d'un cinquième. C'est pourquoi l'arc d'un sixième sera creusé dans la profondeur suivant la largeur, et l'arc d'un cinquième suivant la longueur. Ensuite tu le polis d'un bon polissage. | La vision dans ce miroir sera A6^v comme nous l'avons dit.

Si nous voulons inverser l'image, nous renversons le miroir, et la vision suivant sa largeur sera par l'arc du sixième; l'image sera alors inversée, si Dieu le veut.

<5> Un autre miroir

Construire un miroir qui fait voir deux têtes pour un seul corps (fig. 19, 20).

Si nous voulons cela, traçons un cercle sur une planche et déterminons la corde du neuvième et la corde du septième, comme nous avons fait pour déterminer les arcs dans le problème précédent. Tu prends ensuite la grandeur de cinq parties de soixante parties, qui est la circonférence du cercle; nous faisons également de cela une règle. Tu construis ensuite un miroir carré⁸⁶ dont la longueur est la longueur du diamètre

⁸³ Il veut dire rectangulaire.

⁸⁴ Dans le manuscrit, on a la figure 8 pour l'arc d'un sixième et l'arc d'un cinquième.

⁸⁵ Le gabarit BC utilisé comme lime est placé parallèlement à la longueur $B'C'$ de la brique, et on lime en profondeur, dans le sens de la largeur, jusqu'à ce que les points B et C coïncident avec les points B' et C' .

فإذا أردنا ذلك، أردنا دائرة في صفيحة أو لوح بأيّ قدر شئنا، وأخذنا من الدائرة قوسين، قوس السدس فعملناها مسطرة، وهي قوس $\overline{أ ب}$ ، ثم أخذنا قوس الخمس أيضًا من هذه الدائرة فعملنا منها مسطرة، وهي قوس $\overline{ب ج}$ ، ومعنا المساطر كما قدمنا، وهي المبارد، ثم نأخذ قطعة مربعة من حديد فولاذ مُصفى جيد نقي، ويكون طولها بقدر وتر قوس الخمس، والعرض بقدر وتر قوس السدس، وهذه الأوتار قدر هذه المرأة. ثم نضع قوس الخمس في موضع من المرأة ونبردها حتى تلتقي فصولها به، حتى تكون حديبتها، أعني حدبة القوس التي قد اتخذت مبردًا، تماس باطن ما بُرد من المرأة بها، ثم تضع قوس السدس في عرضها، أعني عرض المرأة، فتبردها بقوس السدس وتلقى فصولها أيضًا به، من غير أن تنقص من تقويس حديبتها الذي هو قوس الخمس شيئًا، فيكون لذلك قوس السدس غائصة في عمقها عرضًا وقوس الخمس طولًا، ثم تجلوها جلاء حسنًا | ١٠

فيكون النظر فيها كما قلنا.

فإذا أردنا أن ننكس الصورة قلبناها، فيكون النظر في عرضها في قوس السدس، فإن الصورة هناك تُرى منكوسة، إن شاء الله تعالى.

﴿٥﴾ مرآة أخرى

١٥ نريد أن نعمل مرآة تُري رأسين من بدن واحد. إذا أردنا ذلك، أردنا دائرة على لوح، ثم يُستخرج وتر التسع ووتر السبع كما عملنا في استخراج القسي في الأولة. ثم تأخذ قدر خمسة أجزاء من ستين جزءًا الذي هو قطر الدائرة، فتعمل أيضًا منها مسطرة، ثم تعمل مرآة مربعة يكون طولها بطول قطر الدائرة وعرضها بقدر ثلاثة أرباع القطر. وقد حصلنا

^٨ فصولها: فصولها [١]. ^{١٧} قطر: محيط [١].

du cercle et dont la largeur a la grandeur des trois quarts du diamètre. Nous avons obtenu la grandeur de l'arc de cinq parties. Tu prends ensuite le huitième du diamètre également et tu construis à partir de lui une règle de face plane. Tu limes ensuite le bas du miroir d'une grandeur égale à la largeur de cette règle plane, cependant que la largeur de ce miroir ne l'excède pas. C'est pourquoi ce qui a été limé du bas du miroir est de la grandeur de la largeur de | la règle, par la longueur de la largeur donnée du miroir. C'est pourquoi on aura un carré⁸⁷. A7^r

Considère ensuite que l'arc de cinq parties soit une convexité au milieu de ce miroir, là où parvient la lime, et <forme> une bosse perpendiculaire dans son milieu, et l'un des côtés de cette bosse touche la première lime, qui est un plan rectifié par la règle qui est le huitième du diamètre. Pose ensuite la lime de l'arc du septième vis-à-vis du côté droit de l'observateur ou de son artisan, lime ensuite d'après lui ; la lime touche la convexité qui est l'arc de cinq parties. Pose ensuite la lime qui est l'arc du neuvième vis-à-vis du côté gauche de l'observateur ou de l'artisan, et lime le miroir avec elle sans que l'arc de cinq parties, qui est la convexité, dépasse ; mais il la touche pour que les deux limes, ensemble, s'enfoncent dans sa profondeur, le septième à droite, le neuvième à gauche, et le huitième, qui est plan, dans le bas du miroir ; et la convexité, qui est les cinq parties, dans son milieu, touche les trois côtés. Que l'on polisse ensuite toutes ces positions, parfaitement, et qu'on les rende brillantes. Ainsi cela s'achève d'après ce que nous avons dit précédemment. | A7^v

<6> | Construire un miroir dans lequel l'observateur voit qu'il a quatre yeux (fig. 21, 22). B2^v

Si nous voulons cela, traçons sur une planche un cercle sur lequel nous prenons un arc d'un dixième duquel nous faisons une lime. Nous faisons ensuite la longueur du miroir de la grandeur de la corde de l'arc d'un cinquième, | nous le limons suivant cet arc qui est l'arc du dixième. Que le miroir soit carré. Avant de le limer, nous traçons dans son milieu deux droites telles que la distance entre elles soit une certaine largeur, d'une grandeur égale à deux parties et demie de soixante, qui est la circonférence du cercle. Que le limage soit de part et d'autre de ces deux droites, jusqu'à ce que la règle du dixième touche tout ce qui a été limé d'une manière exacte, selon la coutume des artisans pour parfaire cela. On le polit ensuite parfaitement. L'observateur verra donc dans ce miroir quatre yeux les uns à la suite des autres. Si on fait dans la profondeur⁸⁸ quatre arcs de la moitié du dixième, deux dans la longueur B3^r

⁸⁶ Il s'agit d'un miroir rectangulaire.

⁸⁷ Voir note précédente.

قدر وتر قوس الخمسة الأجزاء. ثم تأخذ ثمن القطر أيضًا، فتعمل منه مسطرة مستوية الوجه، ثم تبرد أسفل المرآة بقدر عرض هذه المسطرة المستوية مع عرض هذه المرآة لا يزيد، فيكون لذلك ما برد من أسفل المرآة بقدر عرض هذه المسطرة في طول العرض ^{٧١} المفروض للمرآة، فيكون لذلك مربع، ثم قدر أن يكون قوس الخمسة الأجزاء حده في وسط هذه المرآة من حيث بلغ المبرد وسنام قائم في وسطها، يماس أحد جوانب هذا السنام هذا المبرد الأول، الذي هو مستوي مسطوح بمسطرة ثمن القطر، ثم ضع مبرد قوس السبع بإزاء يمين الناظر أو الصانع لها، ثم تبرد عليه ويماس المبرد الحدية التي هي قوس الخمسة الأجزاء. ثم تضع المبرد، الذي هو قوس التسع، بإزاء يسار الناظر أو الصانع، وأبردها به، ولا تتجاوز قوس الخمسة الأجزاء، الذي هي الحدية، بل يماسها حتى يغوص المبردان جميعًا في عمقها، السبع عن اليمين والتسع عن اليسار، والثمن الذي هو مستوي في أسفلها، والحدبة التي هي الخمسة الأجزاء في وسطها تماس الجوانب الثلاثة. ثم تجلي كل هذه المواضع جليًا جيدًا صقيلاً. وقد تمت على ما قدمنا به القول. | ^{٧١} ظ

٦٦* نريد أن نعمل مرآة يُرى الناظر فيها له أربعة أعين.

إذا أردنا ذلك، ندير دائرة على لوح، ونأخذ منها قوس العشر، فنعمل منه مبردًا، ثم نعمل طول المرآة بقدر وتر قوس الخمس، ثم | نبردها على هذا القوس، الذي هو قوس ^{١٥} ب العشر، ولتكن المرآة مربعة. ونخط، قبل البرد في وسطها خطين، يكون قدر ما بينهما عرضًا ما بمقدار جزأين ونصف من دور ستين الذي هو قطر الدائرة. وليكن البرد على جنبتي هذين الخطين حتى تماس مسطرة العشر جميع ما بردت منه على إحكام حسب ما جرت به عادة الصانع في إحكام ذلك. ثم تجلي جلاءً محكمًا. فهذه المرآة يرى الناظر فيها لشخصه أربعة أعين يتلو بعضها بعضًا. وإن جعل في عرضها أربع قسي من نصف العشر، اثنان منها في الطول واثنين في العرض، حدث لذلك فيها أربعة أشكال في عمقها، ويرى الناظر فيها له ثمانية أعين، عينان عن يمينه وعينان عن شماله، وفوق

^١ الأجزاء: أجزاء [١] ^٤ مربع: مربع عرى (كذا مهملة) الحساب يعطي مستطيل، انظر الشرح. ^٩ الأجزاء: أجزاء [١]. ^{١٤} العشر: للعشر [ب]. ^{١٥} هذا: هذه [ب]، وهذا أيضًا جائز. ^{١٥} الذي: التي [ب]. ^{١٦} العشر: للعشر [ب]. ^{١٦} البرد: المبرد [ب]. ^{١٧} عرضًا ما: عرض ما [١]، من للعرض [ب]. ^{١٧} ستين: ثلثمائة وستين [ب]. ^{١٧} قطر: محيط [ب]. ^{٢٠} يتلو: يتلوا [ب]. ^{٢١} منها: ناقصة [ب]. ^{٢٢} له: في الهامش مع بيان موضعها [١]. ^{٢٢} شماله: يساره [ب].

* هنا فقرة من مخطوط [ب] وتبدأ هكذا: "عمل مرآة أخرى يرى الناظر فيها لشخصه أربعة أعين."

et deux dans la largeur, on a grâce à cela quatre figures dans sa profondeur, et l'observateur se voit avec huit yeux, deux yeux à sa droite, deux yeux à sa gauche, et au-dessus de chaque sourcil de son visage, deux yeux également. Ce qu'il fallait construire. |

A8^r

Ici s'achève ce que je connais de Thiasos dans la construction des miroirs, | et ceci est le commencement d'Anthémios sur les miroirs ardents.

A14^v

Deuxième partie⁸⁹

Uṭārid b. Muḥammad a dit : ce qui précède est dû à Anthémios, dont j'ai montré et rejeté beaucoup de propos dont on n'avait pas besoin, à moins de dire que le traducteur les a ignorés et négligés. Plus encore, si je dis que la plupart des propos sont les miens, je dirai vrai en cela, jusqu'à placer les points et les lignes dans les lieux qui leur sont propres, et à corriger les propositions.

Ce livre, si quelqu'un s'y applique, nul n'arrivera à sa limite et à parfaire son action comme les artisans, et celui qui a exercé la pratique de la construction. Je continue le livre, si l'ensemble de mes propos dit la construction des miroirs et le renvoi des rayons là où quiconque veut les renvoyer. Celui qui connaît la science de l'astronomie | sait cela, ce qui

A15^r

renforce et lui sera utile pour ces arts et leurs espèces, si Dieu le veut. Je pense faciliter les propos dans cette introduction, pour que cela soit plus accessible à la compréhension de celui qui s'attache à construire les miroirs et à renvoyer les rayons.

Le rayon parvient à trois positions : il parvient, à partir d'un miroir sur le sol ou de plusieurs miroirs, jusqu'au plafond d'une chambre obscure ; ce rayon pénètre par la porte de cette chambre ou par une ouverture d'une certaine grandeur dans l'un des murs, ou bien il est réfléchi sur un mur de cette chambre obscure. Ce rayon parvient au mur également par la porte ou par une ouverture dans l'un ou l'autre des murs, ou bien plusieurs miroirs réfléchissent le rayon au centre d'un miroir suspendu au-dessus d'eux à une certaine distance ; ce miroir fait parvenir le rayon par une ouverture d'une certaine grandeur à l'intérieur d'une chambre obscure, soit à son sol, soit à l'un de ses murs. C'est le cas le plus difficile des trois⁹⁰.

⁸⁸ Litt. : largeur.

⁸⁹ Entre les deux parties (8^r-14^v) on trouve la traduction arabe du livre d'Anthémios, qui a été établie et traduite dans *Les catoptriciens grecs*, p. 290-315.

⁹⁰ On peut considérer un seul miroir dont il faut modifier l'orientation au cours de la journée, ou un système de plusieurs miroirs, l'inclinaison de chacun d'eux correspondant à une hauteur du soleil (figure 24).

كل حاجب من وجهه عينان أيضًا، وذلك ما أردنا عمله. | تمّ ما كنت أعرفه لثياسوس،^١ وهذا ابتداء كتاب أنتميس في المرايا المحرقة. كمل قول أنتميس في صنعة مرآة*.^٢ |

١٤١ ظ

الفصل الثاني

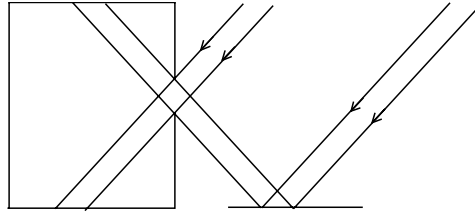
٥ قال عطارد بن محمد: عامة ما تقدم لأنتميس قد بيّنته واطرحت منه كلامًا كثيرًا لم يكن إليه حاجة، دون قولنا إن المترجم أغفل وأهمّل. بل إن قلت إنّ عامة الكلام ليّ كنت صادقًا في ذلك إلى وضع النقط والخطوط في خواص أماكنها إلى غير ذلك من تصحيح الأشكال.

١٠ وهذا الكتاب، وإن كان يميل إليه أحد، فليس يبلغ أقصاه ويتقن عمله مثل أصحاب المهنة ومن قد تدرب ممارسة العمل. وقد أردفت الكتاب، فإنّ كافة عامة كلامي بقول في عمل المرايا وردّ الشعاع إلى حيث أرادته مريد، ويعلم ذلك من عرف علم التنجيم |^{١٥} ما يحتاج إليه مما يقوى به وينفعه في هذه الفنون والأنواع، إن شاء الله تعالى. وأنا أرى أن أقرب القول في هذه المقدمة ليكون أقرب لفهم من أحبّ عمل المرايا وردّ الشعاع. الشعاع يرد إلى ثلاثة مواضع: يرد من مرآة على الأرض، ومرايا عدة إلى سقف بيت مظلم،^{١٥} يلج ذلك الشعاع من باب البيت أو من ثقب له مقتدر من حيطانه، ويرد إلى حائط بيت مظلم، يصل ذلك الشعاع الحائط أيضًا من بابه أو من كوة في بعض حيطانه، أو ترد مرايا كثيرة الشعاع إلى مركز مرآة معلقة فوقهنّ ببعد ما؛ توصل تلك المرآة الشعاع في ثقب مقتدر إلى داخل بيت مظلم، إما إلى أرضه أو إلى أحد حيطانه. وهذا الوجه

^١ عينان: عينين [ب].^١ عمله: بعدها في [ب] إن شاء الله وحده. ^١ لثياسوس: لا تتميس [أ، ب]. ^٢ أنتميس: ثياسوس [أ، ب]. ^٥ لأنتميس: لثياسوس [أ]. ^٥ كلامًا كثيرًا: كلام كثير [أ].

* من ورقة ٨ و إلى ورقة ١٤ نقل عطارد نص أنتميس ولقد سبق أن حققناه ونقلناه إلى الفرنسية. انظر كتابنا *Les catoptriciens grecs* ص. ٢٩٦-٣١٥.

Si nous voulons cela, nous déterminons, à l'endroit où nous voulons poser le miroir ou les miroirs, le méridien, que nous coupons par la droite de l'Est et de l'Ouest de la manière la meilleure possible, et nous traçons un cercle; nous allons le représenter pour faciliter la compréhension (fig. 23).



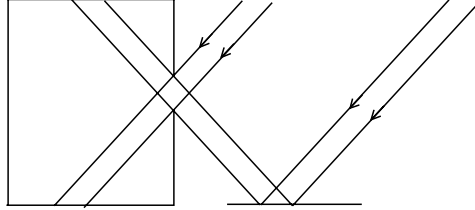
Soit AB le méridien et CD la droite de l'Est et de l'Ouest, qui se coupent au point E ; A est le point du Nord, B le point du Sud, C le point de l'Est et D le point de l'Ouest. Traçons ensuite, avec le point E <comme centre> et par les quatre points, un cercle qui tient lieu d'horizon. La droite Est-Ouest, dans les villes de la terre <du même méridien>, est parallèle à la droite Est-Ouest de l'équateur; nous menons après cela la ligne Est-Ouest au centre du cercle, | et, dans la direction du Nord et du Sud, par rapport aux deux points Est et Ouest, nous traçons l'amplitude ortive du début du solstice d'été⁹¹ et du solstice d'hiver dans les deux directions, qui sont deux arcs égaux, et on joint le couple de points de chaque solstice par une droite – comme dans l'exemple, la droite FG , celle du haut, pour le solstice d'été, et la droite HI pour le solstice d'hiver. Ces deux droites représentent deux parallèles à l'équateur. On prépare ensuite un miroir à face plane, celui par lequel on veut projeter le rayon ou bien sur le plafond, ou bien sur le mur, ou bien sur le miroir suspendu. Tu le poses d'abord sur la droite FG ⁹² qui est le solstice d'été. Il suffit dans l'exemple d'un seul miroir; pose-le lorsque la hauteur du soleil à l'Est est de six degrés. Tu caches le soleil par le miroir que tu inclines toujours jusqu'à ce que tu puisses faire parvenir le rayon à l'endroit sur lequel tu veux le projeter; et ceci est facile en raison de la possibilité de mouvoir le miroir sur cette droite comme on veut. Si le rayon tombe là

A15^v

⁹¹ Si M est le centre du miroir, pour que le rayon SM venant du soleil soit réfléchi vers l'ouverture T , il faut que le plan du miroir soit perpendiculaire à la bissectrice MX de l'angle SMT . Dans le cours de la journée, le rayon MS engendre une surface conique; il en est de même pour la droite MX ; donc, pour que le miroir M renvoie à tout instant le rayon SM vers l'ouverture T , il faut qu'il puisse pivoter très librement autour du point M .

⁹² En un point de la droite FG .

أصعب الوجوه الثلاثة، فإذا أردنا ذلك استخرجنا في الموضوع الذي تدير أن تضع المرآة أو المرايا فيه خط نصف النهار وتقاطععه بخط المشرق والمغرب بأصح ما يتهيأ وأدره. ونحن نمثله ليقرب من الفهم:



ليكن خط نصف النهار $\overline{أ ب}$ ، وخط المشرق والمغرب $\overline{ج د}$ يتقاطعا على نقطة $\overline{هـ}$ ،
 و $\overline{أ}$ نقطة الشمال و $\overline{ب}$ نقطة الجنوب و $\overline{ج}$ نقطة المشرق و $\overline{د}$ نقطة المغرب. ثم ندير
 على نقطة $\overline{هـ}$ والنقط الأربع دائرة تقوم مقام الأفق. وخط المشرق والمغرب في المدن
 ذوات الأرض يوازي مشرق الاعتدال ومغربه. فنخرج بعد ذلك إلى مركز الدائرة $\overline{أ}$ وفي
 جهة الشمال والجنوب عن نقطتي المشرق والمغرب سعة مشرق رأس المنقلب الصيفي
 والشتوي في الجهتين، وهما قوسان متساويان. ونصل بين كل نقطتين منقلب بخط كهيئة
 ما في المثال من خط $\overline{وز}$ لرأس منقلب الصيف وخط $\overline{ح ط}$ لمنقلب الشتاء. وهذا
 الخطان مداران لمعدل النهار. ثم تعد مرآة مسطوحة مستوية الوجه أو هي التي تريد أن
 تلقي شعاعها إما على السقف وإما على الحائط أو على المرآة المتعلقة. فتضعها أولاً
 على خط $\overline{وز}$ ، الذي هو المنقلب الصيفي. ويكتفى بالمثال في ذلك بمرآة واحدة،
 فضعها حيث يكون ارتفاع الشمس من المشرق وست درج، وتواري المرآة عين الشمس
 وتميلها أبداً حتى يصل الشعاع الموضوع الذي تريد إلقائه عليه، وذلك يسهل لمنقلب
 المرآة على هذا الخط كيف شئنا. فإذا وقع الشعاع حيث أردنا، أقرنا المرآة على الحال

^٤ ليكن: ليكون [١]. ^٨ المنقلب: العلب [١]. ^٩ منقلب: لنقلب [١]. ^{١٠} منقلب: مقلب [١]. ^{١٠} ح ط: خط [١].

où on veut, tu laisses le miroir dans l'état dans lequel il était quand il a réfléchi le rayon, et tu fixes son dos pour qu'il touche la droite parallèle. Tu connais ainsi l'angle formé par son inclinaison, tu le notes et tu vérifies.

Tu sauras ensuite la grandeur de l'azimut correspondant à ces six degrés, qui sont la hauteur du soleil; tu mènes une droite du centre du cercle suivant l'arc de l'azimut et tu la prolonges jusqu'à ce qu'elle coupe la droite parallèle; tu détermènes ensuite les droites des azimuts correspondant à des degrés des hauteurs du soleil de six degrés en six degrés, jusqu'à la fin du jour, dans le cercle | conformément à la détermination A16^r de cela dans les cercles et selon l'habitude.

Mais, avant de déterminer les azimuts qui restent après les premiers six degrés, mène une droite du lieu où la droite de l'azimut a rencontré la droite parallèle, au centre⁹³ du rayon que nous avons fait réfléchir par le miroir; il se forme alors un angle dont on doit connaître la grandeur. Nous faisons les autres angles comme lui, à partir de là où les différentes droites de l'azimut touchent la droite parallèle. Si nous obtenons ces angles et si tous sont égaux, on dresse selon eux les miroirs⁹⁴ qui réfléchissent les rayons à l'endroit dans lequel on veut les réfléchir toute la journée, pour toute hauteur et pour tout azimut, si Dieu le veut.

Nous faisons de même pour l'équinoxe qui est la droite Est-Ouest et pour la droite, parallèle, du solstice d'hiver, en menant les droites correspondant aux azimuts des degrés des hauteurs du soleil, jusqu'à ce qu'elles coupent la droite parallèle, pour déterminer les droites à partir de leurs intersections avec la droite parallèle jusqu'à la position du rayon réfléchi; et les angles formés à partir de cela sont égaux. Tu dresses les miroirs selon eux pour achever ce qui est cherché, comme nous l'avons dit.

Et sache que si, pour réfléchir les rayons au plafond ou au mur, les angles ne sont pas égaux, cela ira quand même, sauf si les angles augmentent ou diminuent d'une manière excessive. En effet, une telle augmentation ou une telle diminution, aussi petite soit-elle, fait tourner le rayon soit sur le plafond, soit sur le mur, d'une petite grandeur par rapport à la position du premier rayon. Ceci est le premier contrôle | pour A16^v ramener le rayon au centre du miroir suspendu seulement.

J'ai montré cela seulement pour rendre valide l'idée d'Archimède : embraser les bateaux de l'ennemi en réfléchissant les rayons à partir de nombreux miroirs sur un seul miroir; et les meilleures grandeurs

⁹³ Litt. : au milieu de centre.

⁹⁴ Voir commentaire.

الذي كانت عليه وقد ردت الشعاع، وتمكن ظهرها مماسًا خط المدار، فتعرف بذلك الزاوية التي حدثت من ميلها، وتحفظ بذلك وتحقق؛ ثم تعرف كمية سمت تلك الست درج، التي هي ارتفاع الشمس، وتخرجه خطأً من مركز الدائرة على قوس السم، وتخط خطأ يقع «على» خط المدار، ثم تستخرج خطوط ارتفاعات جزء الشمس لست درج ست درج إلى آخر النهار في الدائرة | على حسب ما يُستخرج في الدوائر، وكما جرت ١٦١ به العادة.

وقبل استخراج السموت الباقية، التي بعد الدرج الست الأول فأخرج خطأً من الموضوع الذي لقي فيه خط السموت خط المدار، إلى وسط مركز الشعاع، الذي رددناه بالمرآة، فإنه يحدث لذلك زاوية هي التي ينبغي أن تعرف كميتها. ونعمل سائر الزوايا مثلها من حيث تماس سائر خطوط السموت خط المدار. فإذا حصلنا تلك الزوايا، وتساوت كلها، فعليها تنصب المرايا التي ترد الشعاع إلى المكان المطلوب ذلك فيه عامة النهار، ومع كل ارتفاع وسمته، إن شاء الله تعالى.

فكذلك نعمل بخط الاعتدالين، الذي هو المشرق والمغرب، وبخط مقدار المنقلب الشتوي من إخراج خطوط سموت درج ارتفاع الشمس حتى تقاطع خط المدار، وإخراج الخطوط من عند تقاطعها لخط المدار إلى موضع الشعاع المردود، وتصير الزوايا التي تحدث من ذلك متساويات، ونصب المرايا عليها ليتم المطلوب من ذلك كما قلنا.

واعلم أن الزوايا إن لم تتساوى في ردّ الشعاع إلى السقف وإلى الحائط، فلا بأس بذلك، إلا أن تزيد الزوايا أو تنقص نقصانًا فاحشًا؛ فإن تلك الزيادة أو النقصان اليسير يدور به الشعاع إما في السقف أو على الحائط بمقدار يسير عن موضع الشعاع الأول وإنما ذلك الضبط الأول | لرد الشعاع إلى مركز المرآة المعلقة فقط. ١٦١ ظ

وإنما بيّنتُ هذا ليصح رأي أرشميدس من إحراقه مراكب العدو برد الشعاع من مرايا كثيرة إلى مرآة واحدة؛ ومن أحسن مقادير الدائرة أن يكون قطرها ثلاثة أذرع إلى الأربعة،

١ مماسًا: مماس [١]. ٧ فأخرج: ما يخرج [١]. ٨ رددناه: في الهامش بنفس القلم [١].

des cercles, tels que leurs diamètres soient de trois à quatre coudées et tels que les miroirs soient ordonnés selon les angles du côté de l'Est au côté de l'Ouest, suivant les deux droites parallèles et sur la parallèle de l'équateur.

Si sur les miroirs on construit un bâtiment, si on s'assure de leurs positions, si on connaît les angles et si on construit pour ce bâtiment un couvercle qui protège les miroirs et ne les découvre qu'au moment où il en est besoin pour voir cela, ceci permet d'entretenir les miroirs et convient à leur maintien en état, sans qu'ils rouillent ni s'abîment, si Dieu le veut.

Quand on peut disposer le couvercle pour qu'il s'enlève au moment où il en est besoin également, à mesure de l'arrivée de la lumière du soleil sur les miroirs par la voie qui lui correspond, sans ôter le reste des couvercles, ceci sera meilleur.

Si on construit ce bâtiment et si on trace les angles par des marques qui ne disparaîtront pas avec le temps, et si on a un seul miroir qu'on peut déplacer d'un azimut⁹⁵ à l'autre et d'un angle à l'autre, il fera la même action ; cependant, dresser plusieurs miroirs est moins pénible et n'exige pas de gens pour en prendre soin. Ceci est suffisant pour réfléchir le rayon là où on le veut, | par les miroirs ardents dont les surfaces sont rectifiées. A17^r

Thiasos déclare ceci à propos de la chambre obscure :

Il dit comment faire une ouverture plus petite que la grandeur de quatre doigts pour éclairer une chambre de longueur et de largeur cinquante pieds. Ceci est possible par le procédé ingénieux précédent, si nous imaginons en haut de la chambre ou sur son côté une ouverture et plusieurs miroirs qui l'entourent et d'une certaine grandeur, afin que l'ouverture reçoive le rayon et que tous les miroirs réfléchissent ensemble le rayon vers l'ouverture que j'ai décrite, étant donné que ces miroirs sont dans des endroits différents pour qu'ils reçoivent le rayon selon les différentes positions du soleil, et réfléchissent tout le rayon qu'ils ont reçu vers l'ouverture, afin que le rayon soit dans des endroits différents de la chambre pour l'éclairer.

Ceci est le dernier exemple de Thiasos, ce qui suit est recueilli à partir des livres d'Archimède le philosophe, entre autres.

Chapitre. Si tu veux prendre un miroir qui embrase à la distance que tu veux, prends un compas tel que, si tu l'ouvres pour tracer avec lui un cercle, tu auras comme demi-diamètre | la grandeur de la distance à laquelle tu veux que le miroir embrase. Si tu veux prendre un miroir qui A17^v

⁹⁵ C'est-à-dire suivant la position du soleil.

وتكون المرايا منتظمة على الزوايا من قرب المشرق إلى قرب المغرب على خط المدارين والخط الموازي لمعدل النهار، وإذا بني على المرايا بناء واستوثق من أماكنها وعُرفت الزوايا، ثم جعل لذلك البناء طبق يكن المرايا فلا تكشف إلا في وقت الحاجة إلى رؤية ذلك، كان أصون لها وأجدر لبقائها ولأن لا تصدأ وتفسد، إن شاء الله تعالى.

ومتى تهيأ أن يُزال الطبق في وقت الحاجة أيضًا بمقدار وصول ضوء الشمس إلى المرايا من طريقها دون كشف سائر الطبق كان أجود. وإذا بني هذا البناء، ورسمت الزوايا بمعالم لا تدرسها من الأيام، ثم كانت مرآة واحدة تنقل مع كل سمت، وعلى كل زاوية فعلت ذلك الفعل، إلا أن نصب مرايا كثيرة أخفّ للمؤنة ولا يحتاج إلى من يخدمها. وهذه جملة كافية في ردّ الشعاع إلى حيث طلب | بالمرايا المحرقة المصححة الوجوه. ١٧١ و
ولثياسوس قول في البيت المظلم. يقول: كيف يثقب أقل من مقدار أربعة أصابع ليضيء به بيت طوله وعرضه خمسين قدمًا.

وبهذه الحيلة التي تقدمت بعينها يمكن أن يكون ذلك إن توهمنا أن في أعلى البيت أو في جانبه ثقبًا ومرايا كثيرة محيطة به من العظم ما هي كيما يكون الثقب الذي يقبل الشعاع وتكون كل المرايا ترد الشعاع معًا إلى الثقب الذي وصفت بعد أن تكون المرايا مختلفة الأماكن لتقبل الشعاع من تتقلب الشمس، وترد جميع ما قبلته من الشعاع إلى الثقب ليكون ذلك في أماكن في البيت مختلفة ليضيء بها لبيت. ١٥
وهذا المثال آخر ما لثياسوس، وما بعدها فمجموع من كتب أرشميدس الفيلسوف وغيره.

باب: إذا أردت أن تتخذ مرآة محرقة من أيّ بُعد أردت. فاتخذ مدورًا إذا أنت فرجته وأردت به، كان نصف قطر دائرة | مقدار البعد الذي تريد أن يكون حرق المرآة منه. فإن ١٧١ ظ
أردت أن تتخذ مرآة تحرق على بعد عشرين ذراعًا، فاتخذ مدورًا إذا أنت أردت به كان

embrase à la distance de vingt coudées, prends donc un compas, et si tu traces <un cercle> avec son aide, tu auras comme demi-diamètre vingt coudées, ou plus petit que cela ou plus grand que cela, selon ce que tu veux. Prends ensuite une règle dont la longueur est égale au diamètre du miroir que tu veux façonner ; colle la parfaitement sur une planche et puis écarte le compas d'une grandeur de vingt coudées, si tu veux que le miroir embrase à vingt coudées ; pose ensuite l'une de ses pointes sur un endroit quelconque tel que, si par lui tu traces un cercle, l'autre pointe, en tournant, sépare de la règle que tu as collée sur la planche une portion quelconque. Prends cette portion comme règle pour la construction, après avoir limé de la règle ce qui dépasse du cercle. Prends ensuite suivant cette grandeur une lime, si cela est préparé, et laisse pour la règle un pivot dans son milieu ; monte ce pivot au centre du miroir et façonne à l'aide de la lime la surface du miroir d'une manière régulière suivant la surface de la règle, c'est-à-dire en ligne droite et suivant la circularité de la portion. Quand tu achèves de limer, polis le miroir une fois que cette circularité est parfaite. Plus le limage du miroir est bien lisse et moins concave, plus son embrasement sera éloigné. Je présente cela comme exemple, | saisis-le.

A18^F

Si on s'est préparé pour façonner la règle comme une lime par laquelle on lime le miroir, et de la manière de limer que nous avons mentionnée, elle sera plus parfaite pour la construction, si Dieu le veut. Voici l'exemple.

Chapitre. Si tu veux prendre une règle pour un miroir ardent, soit une règle égale au rectangle $ABCD$ telle que sa longueur soit égale au demi-diamètre du miroir que tu veux préparer. Si tu veux embraser à une distance de cinq fois son diamètre, alors partage la longueur⁹⁶ de la règle en dix parties égales ; que l'une des parties soit MD , mène-la de l'autre côté en suivant MG qui est parallèle à la droite DC et telle que les droites MG et DC soient perpendiculaires aux droites BC et AD . Que la largeur de la règle, qui est la droite DC , soit un peu plus grande que DM , qui est la dernière partie, car, plus elle est ainsi et plus elle est large, mieux elle convient à la construction et mieux elle se prête à l'artisan. Pose ensuite le compas dans la position du point A , écarte-le de l'ouverture AD et fais-le tourner de la position D jusqu'à ce qu'il parvienne à la droite BC ; on aura alors la forme de l'arc DH . Partage ensuite la droite MD en deux moitiés au point S . Pose ensuite le compas dans la position du point D , écarte-le de la distance DS et trace à partir du centre D et avec la distance SD une portion de cercle, comme la forme

⁹⁶ Litt. : le diamètre.

نصف قطر الدائرة عشرين ذراعاً أو أقل من ذلك أو أكثر على حسب ما تريد. ثم اتخذ مسطرة يكون طولها مثل قطر المرآة التي تريد أن تخرطها، ثم الصقتها على لوح إصاقاً بليغاً، ثم افرج البركار مقدار عشرين ذراعاً إن أردت أن تكون المرآة تحرق على عشرين ذراعاً، ثم ضع أحد طرفيه على موضع ما إذا أنت أردت به دائرة قطع الطرف الآخر بدوره من المسطرة التي الصقتها على اللوح قطعاً ما أي قطع كان، ثم اتخذ تلك القطعة مسطرة للعمل بعد أن تبرد من المسطرة ما فضل عن الدائرة، ثم اتخذ على ذلك القدر مبرداً إن تهيأ، واترك للمسطرة رواجاً في وسطها، ثم ركب هذا الروانج في مركز المرآة، واخرط به وجه المرآة خراطاً مستويّاً على وجه المسطرة، أعني على استقامة واستدارة القطع منها. فإذا فرغت من الخراط، فاجلو المرآة بعد أن تصح على تلك الاستدارة.

١٠ وكلما كان خراط المرآة أشد ملوسة واقل تقعيماً، كان أبعد لحرقها. وقد صورت لذلك مثلاً، فافهمه منه.

وإن تهيأ أن نعمل المسطرة مبرداً به تبرد المرآة، وهو الخراط الذي ذكرنا، كان ذلك أبلغ في العمل إن شاء الله تعالى.

وهذا المثال |

١٨١

١٥ باب: إذا أردت أن تتخذ مسطرة لمرآة محرقة.

فلتكن المسطرة مثل مربع ab ج d ، ويكون طولها مثل «نصف» قطر المرآة التي أردت اتخاذها. فإن أردت أن تحرق المرآة على بُعد خمسة أضعاف قطرها، فاقسم قطرها [المسطرة] بعشرة أقسام متساوية؛ فيكون أحد الأقسام $مد$ ، واخرجه إلى الشق الآخر كهيئة خط $مز$ ، وهو موازي لخط $دج$ ، ويكون خطا $مز$ $دج$ قائمين على خطي $بج$ $اد$ على زاويتين قائمتين. وليكن عرض المسطرة، الذي هو خط $دج$ أكثر من $د$ $م$ ، الذي هو آخر الأقسام قليلاً، لأنه كلما كان كذلك وثخن كان أصلح للعمل وأمكن للعامل.

٢٥ ثم ضع المدوار موضع نقطة $أ$ وافتحه بسعة $اد$ وادر به من موضع $د$ إلى ما بلغ من خط $بج$ ، فيكون ذلك كهيئة قوس $دح$ ، ثم اقسام خط $مد$ بنصفين كهيئة نقطة $س$ ، ثم ضع المدوار في موضع نقطة $د$ وافتحه ببعد $دس$ وادر به على مركز $د$ وبعده $س$ $د$ قطعة دائرة كهيئة قوس $سص$ ، ثم علم $ا$ على ملتقى قوس $سص$ وخط $دح$

١٨١ظ

٤ أنت: في الهامش [١]. ٤ أدت: أدت [١]. ٧ وسطها: وسطه [١]. ١٢ الخراط الذي: الخراط التي [١].

١٩ خطا: خط [١]. ١٩ خطي: خط [١].

de l'arc SU . Marque ensuite | à la rencontre de l'arc SU et de la ligne DH le point J ; mène ensuite du point D au point J une droite, que tu prolonges jusqu'à la droite BC ; soit la droite DI . Lime ensuite de cette règle ce qui dépasse la droite DI , c'est-à-dire le triangle DCI . Fais ensuite sortir un pivot du point D sur le prolongement de DI ; soit le pivot DE ; monte ensuite ce pivot au centre du miroir, il se trouve alors avec la règle et la lime. Fais tourner la règle dans le miroir jusqu'à ce que la droite AD rencontre le creux du miroir et soit tangente à tout ce qu'elle a pris de sa surface. Si tu rends régulier le miroir suivant la droite AD , alors c'est le miroir que tu as voulu construire. A18^v

Et d'une manière analogue procède pour tout miroir que tu veux et pour toute distance que tu veux, si Dieu très Haut le veut, ceci est la figure du miroir.

Chapitre. Sur la fabrication du miroir qui embrase à une grande distance (fig. 27).

Si tu veux cela, prends une planche régulière dont on a rectifié la surface en la ponçant; prends ensuite une plaque de cuivre rouge dont l'épaisseur est la moitié du petit doigt, dont la largeur est trois doigts et dont la longueur est selon le diamètre du miroir que tu veux faire. Tu cloues solidement la plaque sur la planche, fermement, puis tu cloues la planche sur le sol, pour qu'elle ne s'en détache pas et ne bouge pas; que | cela soit dans un endroit plan du sol. Tu considères ensuite à quelle distance en coudées tu veux embraser par le miroir. Mesure donc cette distance à partir du lieu de la plaque et de la planche <qui sont> au sol et plante dans le sol, là où cette distance a abouti, un piquet qui tient lieu de pivot et dans lequel il y a un clou – qui est enfoncé solidement et qui a une tête – et un anneau que la tête du clou empêche de sortir. Attache solidement à cet anneau un cordeau (ou une ficelle), solide et qui se tend fortement si on le tire, mais qui ne se relâche pas quand on le libère; que cette ficelle soit l'une des plus solides que l'on fait et très solidement tressée; attache ensuite à l'autre bout un stylet en acier, très aigu, et façonné pour que tu puisses le tenir dans ta main. Si tu maîtrises tout cela, prends ce stylet dans ta main, tire la ficelle et trace sur la plaque, par ce stylet, une portion d'arc de cercle telle que le demi-diamètre du cercle soit la longueur de la ficelle d'une grandeur en coudées; et ceci est la grandeur de la distance de l'embrasement. Arrache ensuite la plaque de la planche et prends à l'aide d'une lime l'excédent de la ligne tracée par le stylet. Il se forme ainsi une règle, qui est une portion de cercle⁹⁷, comme je te l'avais montré; si tu le rectifies par une lime, tu t'occupes A19^f

⁹⁷ Litt. : une portion d'arc.

علامة \bar{Y} ، ثم اخرج من \bar{D} إلى \bar{Y} خطاً مستقيماً تنفذه إلى خط \bar{B} ج، وهو خط \bar{D} ط، ثم ابرد من هذه المسطرة ما خرج وفضل عن خط \bar{D} ط، وهو مثلثة \bar{D} ج ط، ثم اخرج رواجاً من نقطة \bar{D} على استقامة خط \bar{D} ط، وهو رواج \bar{D} ه؛ ثم ركب هذا الروانج في مركز المرآة، وهي إذ ذاك «مع» المسطرة والمبرد، فأدر المسطرة في المرآة حتى يلقي خط \bar{A} \bar{D} بطن المرآة ويكون مماساً لكل ما أخذه من وجهها، فإذا سويت المرآة على خط \bar{A} \bar{D} ، فهي المرآة التي أردت عملها، وعلى هذا القياس فاعمل لأي مرآة أحببت لأي بعد أردت إن شاء الله تعالى. وهذه صورة المسطرة.

باب: في صنعة المرآة المحرقة ببعد كبير.

إذا أردت ذلك فاتخذ لوحاً مستويًا مصحح الوجه بالجرد، ثم خذ صفيحة شبيهة في غلظ نصف عرض الخنصر وفي عرض ثلاثة أصابع، ويكون مقدار الطول حسب ما تريد أن تجعل قطر المرآة، ثم تسمر الصفيحة على اللوح سمرًا وثيقًا، ثم تسمر اللوح على الأرض على استيثاق لثلا يزول ولا يتحرك، وليكن ذلك في موضع مستو من الأرض،^{١٩١} ثم تنظر بأي بُعد تريد أن يكون إحراق المرآة من ذراع، فاذرع من موضع الصفيحة واللوح في الأرض ذراعًا بذلك البعد، ثم ادقق في الأرض حيث انتهى ذلك بك البعد وترًا يقوم مقام قطب فيه مسمار وثيق ممكن له رأس، وفي المسمار حلقة يمنعها رأس المسمار من الخروج عنه. ثم شد في هذه الحلقة ترًا أو مقطًا صلبًا شديد الامتداد إذا مد ولا يسترخي إذا طلق، وليكن هذا التّر من أوثق ما يُعمل وأشدّه فتلاً. ثم شد في الرأس الآخر منه مخطًا من فولاذ حاد مُسقى، وتهيأ أن تتمكن منه بيديك. فإذا أحكمت كل ذلك، فخذ المخط بيديك، واجذب التّر ثم أدر على الصفيحة بذلك المخط قطعة قوس من دائرة يكون نصف قطر دائرتها طول التّر بمقدار الذراع وذلك مقدار الإحراق، ثم تنزع الصفيحة من اللوح وتأخذ الفضل من خط المخط بالمبرد، فتحدث لذلك مسطرة، وهي قطعة من قوس على ما بيّنت لك، فإذا صححتها بالمبرد عمدت إلى مرآة يكون قطرها يفضل عن المسطرة، فتخرطها بالجهر أبدًا حتى تلزم حدبة المسطرة، التي هي القطعة من القوس باطن الخرط من المرآة وتماسها بكل استدارة الحدبة. ثم تأمر بجلائها بعد ذلك وإحكامه، فإن هذه المرآة إذا استقبلت شعاع الشمس، اجتمع كل الشعاع إلى

^١ تنفذه: بعده [١]. ^٢ \bar{D} ط: خط [١]. ^٣ سويت: اسويت [١]. ^٤ ادقق: ادقت [١]. ^٥ وترًا: وتوا [١].

d'un miroir tel que son diamètre excède de peu cette règle ; tu le limes avec le *ğahr*, de façon continue, jusqu'à ce que la convexité de la règle qui est une portion de cercle⁹⁸ s'applique sur la partie coupée à l'intérieur du miroir, et pour qu'elle le touche selon la circularité de sa convexité. Tu ordonnes ensuite qu'on le polisse d'une manière parfaite.

Si ce miroir reçoit le rayon du soleil, tout rayon | se rassemble en une seule portion et l'embracement a lieu à une distance de la grandeur du demi-diamètre du cercle qui est la longueur de la ficelle après l'enfoncement, si Dieu le veut (fig. 26). A19^f

Comment procéder pour fabriquer à la perfection une règle pour un miroir qui embrase à une distance égale à dix coudées, à partir du tableau calculé et établi et de l'exemple dessiné après ce propos.

Si tu veux construire cette règle, trace une droite sur la face d'une règle, partage-la en douze parties égales, <chacune d'elles est de la grandeur d'un doigt, et partage-la ensuite en dix-huit parties égales> ; mène de chaque division une perpendiculaire à chaque partie, prends ensuite deux parties de l'extrémité de la règle, une à chaque bord, jusqu'au milieu, jusqu'à ce qu'il ne reste plus de doigts. À moins que tu la poses selon les premiers doigts, puis tu dépasses de deux doigts jusqu'à ce que tu parviennes au milieu⁹⁹. Joins ensuite les extrémités des droites et lime-le, comme tu sais, et tu fais le miroir, si Dieu très Haut le veut. | A20^f

⁹⁸ Voir note précédente.

⁹⁹ Cette phrase, que nous avons tenu à rendre littéralement, signifie que, de part et d'autre de la règle, on passe d'une division à l'autre jusqu'à ce qu'on arrive au milieu, et on reporte, à chaque fois, sur la perpendiculaire, la hauteur donnée par le tableau.

قطعة واحدة وحدث الإحراق بقدر بُعد نصف قطر الدائرة، وهو طول التّر بعد الذرع، إن شاء الله تعالى.

تمام العمل في كَيْفِيَّةِ عمل مسطرة لمرآة بُعد إحراقها عشرة أذرع عن الجدول المحسوب المثبت والمثال المرسوم بعد هذا القول.

إذا أردت أن تعمل هذه المسطرة، فخط خطاً مستقيماً على وجه مسطرة، واقسمه باثني عشرة قسمًا متساوية، ثم اخرج منها أعمدة مستقيمة على كل قسم منها على زاوية قائمة، ثم خذ منها جزأين من طرف المسطرة من الرأسين جميعاً إلى الوسط حتى تفنى الأصابع، إلا أن وضعك إياه على الأصابع الأولى. ثم تتجاوز به بإصبعين حتى تبلغ الوسط، ثم تصل أطراف الخطوط ثم تبردها كما تعلم وتعمل المرآة، إن شاء الله تعالى. هكذا نخرج الخطوط ونصل بينها ونسويها بالمبرد وهي منتصف العمدة لتلك المرآة. | تم كتاب المرايا المحرقة.

٢٠١ و

^١ نصف: مطموسة [١]. ^٢ وهو: وهي [١]. ^٣ هكذا: هذا [١]. ^٤ بينها: بينهما [١]. ^٥ المحرقة: كتب بعدها [١]، "لحكيم زمانه عطار بن محمد، والحمد لله وحده وصلواته على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم، ورضي الله عن الصحابة أجمعين، وحسبنا الله ونعم الوكيل. يثق بالعلي الكبير كاتبه: عبد الرحمن بن كثير."

nombre	doigts	minutes ¹⁰⁰
1	1	0
2	2	30
3	3	30
4	4	30
5	5	45
6	6	30
7	6	45
8	7	0
9	7	0

¹⁰⁰ On peut se demander comment ce tableau a été établi. Les valeurs semblent être données par excès ou par défaut, avec une marge inférieure à $7'30'' = 1/8$ de doigt. D'autre part, si nous considérons les écarts d'ordre 2 dans la liste des nombres donnés par l'auteur, ces écarts sont trop différents les uns des autres pour que, même en tenant compte de l'approximation des données, on puisse assimiler cette courbe à une parabole. La liste des nombres donnés est 1 2,30 3,30 4,30 5,45 6,30 6,45 7 7. Les écarts d'ordre 1 sont 1,30 1 1 1,15 0,45 0,15 0,15 0. Les écarts d'ordre 2 sont 0,30 0 0,15 0,30 0,30 0 0,15.

عدد	أصابع	دقائق
ا	ا	ه*
ب	ب	ل
ج	ج	ل
د	د	ل
ه	ه	مه
و	و	ل
ز	ز	يه
ح	ح	ه
ط	ط	ه

*يشير إلى الصفر بالعلامة ه.