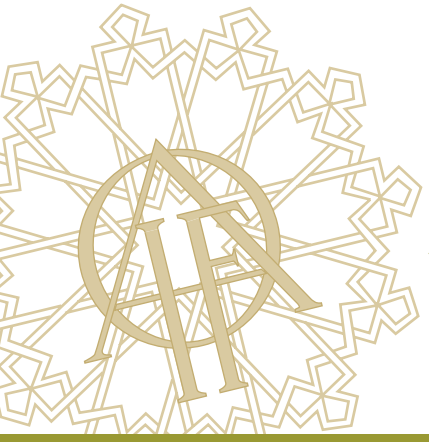
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE



ANNALES ISLAMOLOGIQUES

en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne en ligne

AnIsl 34 (2001), p. 437-465

Eva Saenz-Diez

Al-Ṣūfī: Kitāb al-ʿAmal bi’l-Asṭurlāb. Livre sur l’utilisation de l’astrolabe.

Conditions d’utilisation

L’utilisation du contenu de ce site est limitée à un usage personnel et non commercial. Toute autre utilisation du site et de son contenu est soumise à une autorisation préalable de l’éditeur (contact AT ifao.egnet.net). Le copyright est conservé par l’éditeur (Ifao).

Conditions of Use

You may use content in this website only for your personal, noncommercial use. Any further use of this website and its content is forbidden, unless you have obtained prior permission from the publisher (contact AT ifao.egnet.net). The copyright is retained by the publisher (Ifao).

Dernières publications

9782724711264	*La chapelle d’Osiris Ounnefer Neb-djefaou*	Laurent Coulon
9782724711752	*Guide du Caire Islamique*	Hadrien Collet
9782724711660	*Mélanges de l'Institut dominicain d'études orientales 41*	Adrien Candiard (éd.)
9782724711745	*Bulletin archéologique des Écoles françaises à l'étranger (BAEFE)*	
9782724711271	*Du côté de chez Zeus*	Emmanuel Botte (éd.), Hélène Cuvigny (éd.), Michel Reddé (éd.)
9782724711677	*La Description de l’Égypte*	Paul-Marie Grinevald
9782724711714	*La pensée et la pratique pharmacologiques d’Avicenne*	Sylvie Ayari
9782724711899	*BCAI 40*	

© Institut français d’archéologie orientale - Le Caire

Eva SAENZ-DIEZ

Al-Ṣūfī : Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb
Livre sur l'utilisation de l'astrolabe

PEU d'instruments astronomiques ont connu autant de popularité que l'astrolabe. En effet, la littérature très abondante concernant cet instrument témoigne de son importance auprès des astronomes jusqu'à l'orée de l'époque classique. Il est utilisé jusqu'au XVII^e^ et même dans certains cas jusqu'au XVIII^e^ siècle en Occident. Il existe une quantité considérable de collections aussi bien privées que publiques et il nous est parvenu plus d'astrolabes que n'importe quel autre instrument scientifique.

Nous allons essayer ici de reconstituer l'histoire de l'astrolabe et de présenter des hypothèses quant à son origine, en utilisant notamment l'étymologie du terme astrolabe. Selon Neugebauer, l'astrolabe daterait de l'époque de Ptolémée, alors que d'autres historiens des sciences le feraient plutôt remonter à des astronomes grecs antérieurs tels qu'Apollonius ou Archimède. Néanmoins, nous pensons comme Henri Michel que : « En résumé, l'astrolabe est méditerranéen. Son histoire va du VI^e^ siècle au XVII^e^ siècle de notre ère [1] », bien que Ptolémée possédât indubitablement les outils et connaissances mathématiques et théoriques pour la construction de cet instrument. Il s'agit là d'une question importante dont nous allons présenter les principales thèses avancées, en tentant de mener une étude critique. Ceci est la raison pour laquelle nous n'allons pas effectuer simplement une approche technique de l'instrument, mais également une étude historique de son apparition et de son évolution.

Nous avons choisi de traduire et d'utiliser comme point de départ, le traité sur l'astrolabe de ʿAbd el-Raḥmān al-Ṣūfī (903-986). Al-Ṣūfī est surtout connu pour son chef-d'œuvre, le « Livre sur les figures (constellations) des étoiles fixes » (*kitāb suwār al-kawākib al-ṯābita*) rédigé vers 965, dans lequel toutes les positions d'étoiles de l'Almageste sont recalculées et les erreurs corrigées. Ce livre fit autorité durant cinq siècles, aussi bien en Orient qu'en Occident où il y fut traduit en latin au XII^e^ siècle.

[1] H. Michel, *Traité de l'Astrolabe*. Alain Eneux, Paris 1976, 13. Cela nous donne un avant goût de toute la complexité du problème, à savoir l'origine de l'instrument.

AnIsl 34 (2001), p. 437-465 Eva Saenz-Diez

L'originalité de ce travail réside dans le fait que le *Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb* de ʿAbd el-Raḥmān al-Ṣūfī n'a été traduit en aucune langue occidentale. Son traité de l'astrolabe est un des plus complets, si ce n'est le plus complet qui nous soit parvenu Nous avons choisi de traduire le premier chapitre qui est en fait l'introduction et la présentation de la totalité de l'ouvrage. Il énumère les différentes parties de l'astrolabe qu'il va traiter de façon plus détaillée.

L'intérêt de ce chapitre, est qu'il présente à la fois son livre, et l'instrument. Nous avons pu vérifier qu'il s'agit d'une énumération, voire d'une description dans certains cas, de toutes les parties composant l'instrument.

Nous n'allons nous intéresser ici qu'à l'*astrolabium planisphaerium* (*ṣaṭḥī* ou *muṣaṭṭaḥ*), plus communément appelé astrolabe, ou astrolabe plan. Nous voudrions d'autre part préciser qu'il s'agit de l'astrolabe plan septentrional, et non méridional, qui est le plus commun des astrolabes arabes, mais nous reviendrons sur cette différence ultérieurement. C'est un des instruments astronomiques du Moyen Âge qui a été le plus utilisé. Cela ne s'explique pas simplement par sa taille qui le rendait facilement maniable et transportable, mais également par la quantité importante d'opérations qu'il permettait d'effectuer et d'informations, aussi bien astronomiques qu'astrologiques, qu'il fournissait à son utilisateur. Bien que cet instrument soit sans doute l'instrument astronomique le plus connu, son utilisation et son fonctionnement sont bien loin de jouir de la même notoriété. C'est pour cela que nous pensons qu'il est indispensable d'en présenter ses aspects techniques afin de bien pouvoir saisir l'avancement des techniques et des sciences auquel étaient parvenus les astronomes arabes au X^e^ siècle. La facture de l'astrolabe ne nécessitait pas uniquement un haut degré de savoir-faire technique, voire artistique dans certains cas, mais également mathématique. Il nous semble nécessaire de replacer l'évolution de l'instrument ainsi que les différents outils techniques et scientifiques dans le contexte historique, vu surtout la difficulté conceptuelle atteinte par les mathématiciens, à savoir la projection stéréographique – dont nous allons exposer les principales caractéristiques – qui n'est en fait qu'une application de l'inversion. Bien que l'utilisation de ces outils mathématiques requière un niveau mathématique élevé pour la mise au point de l'instrument, la compréhension de cet article ne nécessite pas la maîtrise de connaissances mathématiques complexes et peut être lu sans grandes difficultés.

Il ne faut pas se laisser impressioner par le fait qu'il s'agit de techniques mathématiques et astronomiques, et nous cherchons à rassurer tout de suite le lecteur. L'astronomie ne serait pas plus technique que l'histoire des villes ou l'histoire des religions, et comme le dit Roshdi Rashed dans l'*Encyclopédie des sciences et des techniques* récemment parue en trois volumes, « les sciences n'entretiennent pas toutes le même rapport à leur histoire : ainsi, l'astronomie est, parmi les sciences mathématiques tout au moins, celle qui est la plus solidairement liée à son histoire ». Et n'oublions pas que l'astronomie arabe fit « figure de privilégiée, en attirant assez tôt l'attention des historiens [2] ».

[2] R. Rashed, *Encyclopédie de l'histoire des sciences et des techniques*, 9.

A. Origine et histoire de l'astrolabe

On ne sait pas exactement à qui attribuer cet instrument. Il existe un grand nombre de textes concernant aussi bien la facture que l'utilisation de l'astrolabe. Kunitzsch [3] estime que la première ébauche de l'instrument remonterait à l'Antiquité, plus particulièrement à la période grecque; il aurait ensuite pénétré à Alexandrie, en Syrie puis dans la civilisation arabo-islamique pour enfin atteindre l'Occident latin, et y perdurer même après le XVI^e siècle: il aurait donc suivi le même parcours de transmission aux Arabes, que la science grecque en général. À ce propos nous voudrions citer Sédillot qui écrivit en 1844:

> «Tandis que l'Europe chrétienne restait plongée dans les ténèbres du Moyen Âge, les Arabes, que leurs conquêtes et des rapports multipliés avec les peuples vaincus avaient conduits à un degré de civilisation avancé, cultivaient les sciences et les lettres et s'appropriaient les travaux des Grecs [4].»

Cette thèse est largement adoptée par les historiens et orientalistes de la fin du siècle dernier, et du début de ce siècle. D'après eux, les Arabes n'ont fait que *s'approprier* les sciences grecques et ont traduit les textes, ce qui nous a permis d'en prendre connaissance ultérieurement en Occident. Mais nous n'allons pas nous attarder sur cet aspect du problème. Notre propos est de savoir s'il était vraiment connu des Grecs.

1. *Les origines grecques de l'astrolabe?*

Comme nous l'avons dit, l'invention de l'instrument a été ensuite attribuée à Hipparque (150 av. J.-C.), ou Ptolémée. Ptolémée mentionne effectivement un instrument astronomique l'*astrolabe*, mais il semble qu'il s'agirait plutôt de la sphère armillaire, et non pas de l'*astrolabe* planisphérique ou plan. Ptolémée possédait indubitablement les éléments théoriques afin de mener à bien la facture d'un tel instrument [5]; la projection stéréographique, principal outil mathématique utilisé pour l'élaboration de l'astrolabe, était déjà connue, et remonterait à Hipparque [6]. L'on peut lire dans le *Planisphaærium* de Ptolémée, au chapitre 14:

> «Cette partie de notre discussion porte sur les parallèles au zodiaque, pour autant qu'ils déterminent les positions des étoiles fixes; elle portera donc sur la partie que l'on appelle araignée dans l'instrument horoscopique [7].»

[3] P. Kunitzsch, «Observations on the Arabic Reception of the Astrolabe», *Archives internationales d'histoire des sciences* 31: 1981, 243-252, 243.

[4] J. J. Sédillot et L. A. Sédillot, *Traité des instruments astronomiques arabes*. 2 vols. Imprimerie royale, Paris: 1834-1835. Réimprimé par Institut für Geschichte der Arabich-Islamischen Wissenschaften, Francfort: 1984, 1.

[5] Il s'agit en fait d'une projection de la sphère céleste sur son plan équatorial.

[6] O. Neugebauer, *Astronomy and History: Selected Essays*. Dover Publications, New York: 1983, 278-294, 278; O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. 3 volumes. Springer-Verlag, Berlin: 1975, 868-879.

[7] «The present part of our discussion concerns the parallels to the zodiac, as far as they determine the positions of the fixed stars; hence it will contain what is called in the horoscopic instrument the spider.» J. D. Drecker, «Das Planisphaerium des Claudius Ptolemaeus», *ISIS* 9: 1927, 225-278, 271. Ce passage est traduit de l'allemand par Neugebauer. Delambre en donne un commentaire: «la seconde partie a pour objet les cercles parallèles à l'écliptique, et la construction de cette pièce du planisphère qui est connue sous le nom d'araignée.» D. Delambre, *Histoire de l'astronomie ancienne*. 2 volumes. Paris: 1817, II, 446.

Faut-il en déduire d'après cette description de Ptolémée qu'il s'agit effectivement d'un astrolabe ? Ce qu'il appelle *astrolabos organon*, et qui a suscité maintes confusions, correspondrait à un instrument tout à fait différent décrit par Michel [8] :

> « C'est une sphère schématisée par l'Écliptique et le Colure des Solstices. Sur les pôles de l'Écliptique pivotent deux armilles, dont l'une s'oriente vers un astre de longitude connue, l'autre vers l'astre à repérer. […] C'est, à quelques petits détails près, l'Armille zodiacale de Tycho Brahé. »

Segonds cite un passage du *Tétrabible* dans lequel Ptolémée mentionne plusieurs types d'horloges, dont l'horloge astrolabique. Cette horloge astrolabique paraît effectivement correspondre à l'astrolabe plan, mais il eut été étonnant que Ptolémée n'en donnât pas une description plus détaillée et plus longue, surtout s'il se fût agit d'un instrument inconnu jusqu'alors. Nous donnons ici une partie du passage dans lequel Ptolémée décrit l'instrument en question :

> « Étant donné que l'on rencontre souvent une difficulté sur la chose primordiale et capitale (à savoir la fraction d'heure à laquelle s'est faite la naissance), parce que seule, en règle générale, la visée au moyen d'horloges astrolabiques au moment même de la naissance est susceptible de donner, à ceux qui font scientifiquement leurs observations, la minute d'heure, tandis que pratiquement toutes les autres horloges, […] peuvent pour des causes multiples s'éloigner de la vérité […] [9]. »

Il s'agit d'un passage du Livre III du *Tétrabible* [10]. Cette horloge rappelle effectivement l'astrolabe, mais la description est tellement brève, qu'une fois de plus, on ne peut affirmer qu'il s'agisse ici d'une description de l'astrolabe plan. C'est ce que semble pourtant en déduire Segonds : « Cette fois on peut reconnaître dans cet astrolabe particulier notre astrolabe [11]. »

La première description claire et détaillée de l'astrolabe qui nous soit parvenue est celle de Jean Philopon, qui vécut à Alexandrie, dans la première moitié du sixième siècle après J.-C. Jean Philopon d'Alexandrie écrivit un ouvrage en grec sur la facture et l'utilisation de l'astrolabe. Segonds pense qu'entre Ptolémée et Philopon, il n'existe que trois textes qui attestent « positivement » notre astrolabe [12]. Le premier est un texte de Paul d'Alexandrie – astrologue de la fin du IV^e^ siècle – qui dans son *Introduction*, au chapitre 29, examine la question concernant : « Comment calculer le degré à l'horoscope [13]. » On connaît ensuite un ouvrage datant d'à peu près la même époque, composé par Théon d'Alexandrie intitulé *Mémoire sur le petit astrolabe*, dans lequel il compare la grandeur du petit astrolabe à celle de la sphère armillaire qui est nettement plus importante. Segonds est convaincu qu'il s'agit vraiment là de l'astrolabe plan. Et enfin le troisième texte est d'Ammonius, maître de Jean Philopon, dans lequel il décrit l'observation d'une occultation de Saturne par la Lune. Voici ce qu'il dit : « […] À la fin du contact nous avons, mon frère et moi, déterminé l'heure à l'aide d'un astrolabe […] [14]. »

[8] Michel, *Traité de l'astrolabe, op. cit.*, 7.

[9] Jean Philopon. *Traité de l'astrolabe*. Traduit et commenté par A. P. Segonds. Astrolabica 2, Paris : 1981, 21.

[10] Ptolémée, *Tétrabible* III 3, 110.12-111. Ptolémée, *Tetrabiblos ed. and translated into English*, 228-231.

[11] Philopon (Segonds), *Traité de l'astrolabe, op. cit.*, 22.

[12] *Ibid.*, 22.

[13] *Ibid.*, 22. Paul d'Alexandrie. *Isagogica*. Éd. Ae. Bœr, Lipsiae : 1958, 80.13 et 20.

[14] Philopon (Segonds), *Traité de l'astrolabe, op. cit.*, 22.

Le traité de Jean Philopon est très détaillé, mais en même temps incomplet. D'après lui, l'astrolabe remonterait à Ptolémée, puisqu'il le cite dans son sixième chapitre : « Ptolémée s'est avant tout soucié de la clarté et de la commodité […] [15]. » Deux possibilités s'offrent à nous : soit l'affirmation de Philopon est dénuée de tout fondement, soit le texte auquel il fait référence a disparu.

Philopon, au début de son opuscule, précise que ce sujet a déjà été convenablement traité par son maître, « le très philosophe Ammonios », mais qu'il demande encore, afin d'être compris, beaucoup d'explications [16]. Cela pourrait être une preuve supplémentaire que l'astrolabe était un sujet nouveau. Philopon ne décrit ni la manière de tracer les courbes sur l'astrolabe, ni le matériel utilisé afin de construire un astrolabe.

Si l'on croit également la note que l'abbé Adolphe Rome ajoute à la fin de la traduction effectuée par Paul Tannery du traité de Jean le Grammairien d'Alexandrie (Philopon), *Sur l'usage de l'astrolabe et sur les tracés qu'il représente*, comme quoi le lecteur était sans doute censé avoir l'appareil sous les yeux, cela signifierait qu'il existait déjà quelques exemplaires pouvant illustrer le traité de Jean Philopon.

L'école alexandrine laisse place à l'école syriaque, dont nous possédons essentiellement un traité de l'évêque Severus Sebokht [17], qui contribua au développement du principal centre de connaissance en Syrie du Nord, le couvent de Qen-Neshré. Il nous a légué une étude sur la description de l'instrument en syriaque, ainsi que son mode d'emploi en résolvant 25 problèmes [18]. Ce traité du milieu VII^e^ siècle deviendra par la suite l'ouvrage de référence. Basé exclusivement sur des sources grecques, il aurait été en grande partie responsable de la transmission de ce sujet des Grecs aux Arabes. Michel estime que cette étude est définitive [19], et que tous les traités postérieurs ne font que paraphraser ce dernier, opinion que nous ne partageons pas puisque les instruments n'ont cessé d'évoluer, en maintenant tout de même leur mode de fonctionnement d'origine.

2. *École arabe*

En ce qui concerne l'école arabe, c'est dans Bayt al-Ḥikma, que plusieurs ouvrages sont traduits ; notamment la *Syntaxe mathématique* de Ptolémée, du grec à l'arabe par al-Ḥağğāğ en 827, et c'est lors de cette traduction que l'ouvrage de Ptolémée prend le titre d'*Almageste* [20].

L'art de l'élaboration de l'astrolabe est très estimé à l'époque des premiers califes abbassides, et notamment sous le règne d'al-Ma'mūn (170-212 / 786-827).

[15] Philopon (Segonds), *Traité de l'astrolabe, op. cit.*, 162.

[16] Jean le Grammairien d'Alexandrie (Philopon). *Sur l'usage de l'astrolabe et sur les tracés qu'il présente*. Traduit par Paul Tannery dans *Mémoires scientifiques*. Vol. IX. Philologie. Édité par J.-L. Heiberg et H.-G. Zenthen. Édouard Privat, Toulouse et Gauthier-Villars, Paris : 1929, 341-367, 342 ; Philopon (Segonds), *Traité de l'astrolabe, op. cit.*, 142.

[17] Traduit par F. N. Nau, « Le traité sur l'astrolabe plan de Sévère Sabokht », *Journal asiatique* 13 : 1899, 56-101, 238-303.

[18] W. Hartner, « The Principle and Use of the Astrolabe », *in* A.U. Pope ed. *A Survey of Persian Art*. Oxford University Press, Oxford : 1939, 289.

[19] Michel, *Traité de l'astrolabe, op. cit.*, 7.

[20] Plusieurs hypothèses sont avancées quant au nouveau titre adopté, l'intitulé grec étant *Syntaxe mathématique*.

Hartner estime que le plus ancien traité arabe concernant l'astrolabe qui nous est parvenu, remonte à une date antérieure à 815 [21]. Il est l'œuvre de Messahalla (Masha'allah), un juif d'origine égyptienne dont le nom correct est en fait Manasse [22]. Il semble néanmoins logique de croire en l'existence de textes arabes antérieurs, retraçant la transmission du syriaque à l'arabe [23]. L'histoire de l'astrolabe est étroitement liée à son origine et à son étymologie. Quelques-unes des études entreprises afin de déterminer l'époque et le lieu d'apparition du premier astrolabe, se basent notamment sur l'étymologie même du mot. C'est ce que nous allons présenter rapidement, en essayant également de donner un rapide aperçu des diverses hypothèses avancées.

3. *Étymologie de l'astrolabe*

Les auteurs arabes s'interrogent quant à l'origine de l'astrolabe, et émettent un grand nombre d'hypothèses. Dans certains textes arabes [24], l'on peut lire que le terme *asṭurlāb* serait dérivé de *aḫḍ al-kawākib*, qui veut littéralement dire « prendre les étoiles ». C'est sans doute une interprétation du mot grec ἀστρολάβος, en supposant néanmoins que λάβιον, viendrait du verbe λαμβάνω, qui signifie « prendre », et qui donne ἔλαβον au passé.

D. A. King, dans son article *The Origin of the Astrolabe According to the Medieval Arabic Sources*, retrace toutes les hypothèses avancées quant à l'origine de l'instrument, en se basant sur l'étymologie du terme [25]. L'une d'elle – et d'ailleurs celle qui nous semble être la plus probable –, est que le mot astrolabe proviendrait du grec ἀστρολάβος, ou ἀστρολάβος ὄργανον – que l'on retrouve chez Ptolémée – qui était en fait également utilisé pour d'autres instruments astronomiques. Dans son ouvrage sur le « Traité de l'astrolabe » de Jean Philopon, Segonds confirme cette hypothèse. Le terme astrolabe serait en effet dérivé des termes grecs ἄστρον et λαβή – *labê* signifiant « prise ». L'astrolabe signifierait donc « qui prend les astres ». Segonds illustre cette théorie en donnant plusieurs termes techniques grecs qui se construisent suivant le même schéma :

– *akantholabos* = pince pour enlever les épines,
– *tricholabis* = pince à épiler, etc. [26].

Selon certains historiens [27], l'astrolabe serait antérieur à Ptolémée. Il remonterait à Apollonius et Archimède (200 av. J.-C.), ou même à Eudoxe (350 av. J.-C.). Drachmann avance dans son article qu'on ne peut plus avoir de doute aujourd'hui : l'astrolabe plan a été inventé dans l'Antiquité, probablement par Hipparque, et certainement avant Ptolémée [28].

[21] 200 de l'ère de l'hégire.

[22] Hartner, « The Principle and Use of the Astrolabe », *op. cit.*, 292.

[23] Kunitzsch, *Observations on the Arabic Reception of the Astrolabe*, *op. cit.*, 244.

[24] Textes écrits en arabe, abstraction faite de la religion ou de l'ethnie de l'auteur.

[25] D. A. King, « The Origin of the Astrolabe According to the Medieval Arabic Sources », *Journal for the History of Arabic Science* 5 : 1981, 43.

[26] Philopon (Segonds), *Traité de l'astrolabe*, *op. cit.*, 18.

[27] Michel, *Traité de l'astrolabe*, *op. cit.*, 6 ; Neugebauer, *Astronomy and History : Selected Essays*, *op. cit.*, 278.

[28] « *There can now be no doubt that the plane astrolabe was invented during Antiquity, probably by Hipparchos, and certainly before Ptolemaios.* » A. G. Drachmann, « The Plane Astrolabe and the Anaphoric Clock », *Centaurus : International Magazine of the History of Mathematics, Science, and Technology*, 3 : 1953, 183.

L'origine perse, bien que moins plausible, fut également considérée: *aḥḍ al-kawākib*, *sītara yāb* en perse – *sītara* étant «étoile», et *yāb* du verbe *yāftān* signifiant «trouver» ou «prendre». L'hypothèse suivante rapportée par King, bien qu'erronée est intéressante, car émise par deux grands savants, al-Ḫwārizmī et al-Bīrūnī; *asṭurlāb* voudrait dire *mir'āt al-Šams*, «miroir du Soleil» en supposant que le terme λάβιον signifie miroir, ce qui est incorrect [29].

Le terme *astrolabe* est donc probablement dérivé du grec ἀστρολάβος, puis donnera *asṭurlāb* en arabe bien que le terme exact soit *Waḍʿat al-Kura* qui signifie position ou plus exactement projection du globe [30].

Quelques légendes ne présentant aucun intérêt scientifique sont également présentées par King. Une des plus pittoresques, est celle avancée par Ibn Ḫallikān qui prétend que l'invention de l'astrolabe reviendrait à Ptolémée lui-même. Celui-ci, alors qu'il chevauchait monté sur le dos d'un animal, tenait une sphère céleste en main. La sphère tomba à terre, et fut écrasée par l'animal. Il en résulta un astrolabe. Ṯābit Ibn Qurra quant à lui, propose une autre version tout aussi fantaisiste, dans laquelle l'astrolabe fut inventé par Hipparque [31]. Al-Bīrūnī prétend avoir trouvé d'anciens livres concernant la construction de l'instrument par les Grecs, mais non pas par d'autres peuples. Selon lui, les Indiens ne connaissaient pas l'instrument, et utilisaient simplement les ombres [32]. Une autre hypothèse tout aussi dépourvue de base scientifique, est celle donnée par Stœffer, qui dans un passage d'*Elucidatio Astrolabii*, ferait remonter l'astrolabe au temps d'Abraham, puis de Salomon fils du roi David [33].

4. *Évolution de l'instrument*

Citons quelques astronomes renommés, qui ont écrit des traités sur l'astrolabe en arabe: al-Farġānī – connu sous le nom d'al-Fraganus dans la littérature latine –, al-Ḫwārizmī, ʿAlī ibn ʿIsa et Albumazar. Il serait ensuite bien difficile de mentionner tous les traités écrits dans la matière, car l'astrolabe devint un sujet de grand intérêt, et la littérature le concernant excessivement proliférante.

On assiste également à une évolution quant à la conception et confection de l'instrument. Au IXe siècle apparaissent de nouvelles courbes sur l'astrolabe: les cercles d'égal azimut [34], qui permettent de s'orienter dans le désert. Philopon, y avait déjà dessiné les cercles d'égale hauteur, qui recevront le nom arabe d'*al-muqanṭarāt* [35], mais qui n'avaient pas encore reçus cette dénomination dans le texte de Philopon.

[29] King, «The Origin of the Astrolabe According to the Medieval Arabic Sources», *op. cit.*, 44.

[30] Ce terme correspond tout à fait à la conception de l'instrument, puisqu'il s'agit en fait d'une projection stéréographique de la sphère céleste sur un disque.

[31] King, «The Origin of the Astrolabe According to the Medieval Arabic Sources», *op. cit.*, 45.

[32] King, «The Origin of the Astrolabe According to the Medieval Arabic Sources», *op. cit.*, 51.

[33] Cette légende, évidemment fausse, est sans doute due à une mauvaise interprétation du traducteur du texte arabe d'Abū'l-Ḥasan ʿAlī ibn Ridwān. Michel, *Traité de l'astrolabe*, *op. cit.*, 5. *Elucidatio Astrolabii* fit autorité au début du XVIe siècle.

[34] Ces termes seront expliqués ultérieurement.

[35] Appellation maintenue dans la terminologie occidentale, bien que l'on puisse la trouver sous diverses orthographes: *al mucantarats*, *almacantar*, *almicantarat*, etc.

L'utilisation de l'astrolabe eut un essor considérable, essor qui dépassa même les frontières du monde arabe. Il suffit de mentionner le développement d'astrolabes en Perse et en Inde, ainsi qu'en Afrique du Nord et en Espagne. Gerbert d'Aurillac, qui devint pape en 999, connu sous le nom de Sylvestre II, donna une grande impulsion à l'introduction de la science arabe en Occident [36], et donc à l'astrolabe.

Au début du XIII^e siècle, nous avons plusieurs exemples fabriqués à Tolède notamment. Il faut néanmoins attendre la fin du XIII^e siècle, ou début du XIV^e siècle pour que l'astrolabe connaisse un véritable essor en Europe. Il est en fait adopté, en même temps que les mathématiques et l'astronomie gréco-arabes. L'on peut retenir certains noms comme ceux de Raymond de Marseille, Llobet de Barcelone ou du Comte Hermann, et un siècle plus tard, Geoffroy Chaucer, qui écrit un conte à son fils intitulé *The Conclusions of the Astrolabie* [37].

L'astrolabe est resté essentiellement inchangé à travers les siècles. Quelques ajouts et améliorations y sont apportés, sans pour autant affecter le fonctionnement de l'instrument [38] : l'on peut distinguer les astrolabes orientaux des astrolabes occidentaux par certains détails, mais l'utilisation de l'instrument demeure néanmoins la même, et cela jusqu'au XVII^e et même XVIII^e siècle.

Après avoir présenté les différentes hypothèses émises par les historiens, nous ne pensons pas que l'on doive l'invention de l'astrolabe à Ptolémée. Drachmann mentionne dans son article les horloges anaphoriques, qui rappellent beaucoup l'astrolabe, sans pour autant correspondre à la description donnée par Philopon. Il existait effectivement plusieurs instruments de petite taille dont nous avons donné la description, sûrement très proches de l'astrolabe plan, tel que nous le connaissons aujourd'hui : c'est le cas des horloges anaphoriques. Les descriptions sont trop brèves pour que l'on puisse se faire une idée précise de l'aspect de ces instruments. Ce qui est certain c'est que le terme astrolabe était employé par Ptolémée ; mais il correspondait sans doute à un autre instrument que nous avons déjà décrit – la sphère armillaire.

B. Présentation de l'astrolabe

1. *Projection stéréographique*

La projection stéréographique, qui est la base même de la conception et du fonctionnement de l'astrolabe planisphérique, fut probablement mise en place par Hipparque de Nicée, vers 150 av. J.-C. [39].

Le *Planisphaerium* de Ptolémée, est un traité sur la représentation de la sphère céleste sur un plan, connu de nos jours sous le nom de « projection stéréographique ». North estime

[36] R. D'Hollander, *L'Astrolabe*. Le Musée Paul Dupuy et l'Association française de topographie, Toulouse : 1993, 1.

[37] Il s'agit d'un des premiers textes en Occident sur le sujet qui ne soit pas écrit en latin. Hartner, « The Principle and Use of the Astrolabe », *op. cit.*, 290.

[38] Hartner, « The Principle and Use of the Astrolabe », *op. cit.*, 291.

[39] Hartner, « The principle and Use of the Astrolabe », *op. cit.*, 288.

que le *Planisphaerium* est un traité sur la projection stéréographique et non pas l'astrolabe. Ptolémée décrit la projection stéréographique comme suit :

> « dessine une ligne droite passant par chaque point X de la sphère, (excepté le pôle Sud) tel que cette ligne rejoigne le pôle Sud. L'intersection X' avec le plan de l'équateur, est la projection du point X. »

Nous allons à présent exposer les principales caractéristiques de la projection stéréographique. Les propriétés données ci-dessous concernent la projection faite à partir du pôle Sud :

1. La projection stéréographique est bijective : à chaque point de la sphère céleste, correspondra un point et un seul sur le plan, et vice versa ;
2. La projection du pôle Nord est le centre de la sphère qui représente également le centre de l'équateur [40] ;
3. Les points situés dans l'hémisphère Nord sont projetés à l'intérieur de l'équateur, alors que ceux se trouvant dans l'hémisphère Sud se voient projetés à l'extérieur ;
4. N'importe quel cercle passant par le pôle Sud est projeté en une ligne droite ;
5. Un grand cercle passant par les deux pôles (méridien), est projeté en une ligne droite passant par le centre de l'équateur.

Les deux propriétés importantes de la projection stéréographique sont la préservation des cercles et la conformité des angles [41] :

- préservation du cercle : toute projection d'un cercle ne passant pas par le pôle Sud est également un cercle ;
- conformité : tout angle compris entre la projection de deux cercles, est égal à l'angle des deux cercles.

La projection stéréographique est donc très utile afin de projeter la sphère céleste sur un plan : et l'on voit bien que la conception de l'astrolabe est rendue plus difficile sans l'utilisation de cette projection.

La préservation des cercles, et conformité des angles sont absentes des mathématiques grecques, bien que le théorème 1.5 des *Coniques* d'Appollonius, semble avoir été fait afin de prouver la préservation des cercles [42].

La théorie de la projection semble s'être développée au cours du premier siècle avant notre ère, mais il faut attendre les savants arabes pour voir apparaître des preuves de la préservation des cercles. Les premières sont proposées par al-Farġānī (820-861), et Ibrāhīm ibn Sinān (908-946) [43]. En ce qui concerne la conformité des angles, selon Neugebauer et Anagnostakis, il faut attendre le XVII[e] siècle. En effet, Neugebauer s'étonne que la confomité des angles ne soit nulle part mentionnée dans les écrits anciens ou médiévaux concernant l'astrolabe. Cela est surprenant puisque le système de coordonées orthogonales de l'astronomie sphérique, est reproduit en tant que réseaux orthogonaux dans le plan, comme chaque

[40] Il est donc situé au centre de l'astrolabe.

[41] Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, *op. cit.*, 857-858.

[42] Heath, *A History of Greek Mathematics*, II, 292 ; Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, *op. cit.*, 218-219 ; Apollonius. *Les coniques d'Apollonius de Perge*. Traduit et commenté par P. Ver Eecke, Albert Blanchard, Paris : 1959, 9-11.

[43] C. Anagnostakis, *The Arabic Version of Ptolemy's Planisphaerium*. Thèse de Doctorat. New Haven, Conn., Yale University : 1984, 3.

« astrolabiste » a dû remarquer [44]. On doit la première preuve de la conformité des angles à Harriot (1613-1614), et la première publiée reviendrait à Halley (1697) [45] qui prétend tenir le théorème de Moivre, mais l'avoir démontré lui-même. L'une des principales raisons pour l'intérêt porté à la projection stéréographique, est la possibilité qu'elle présente de résoudre des problèmes de géométrie sphérique, par le moyen de la géométrie plane.

2. *Description de l'astrolabe planisphérique*

La description de l'astrolabe par al-Ṣūfī n'obéit à aucun ordre apparent, dû sans doute au fait que l'instrument était bien connu. Le lecteur devait, sans doute également, avoir un exemplaire sous les yeux.

Voici donc la description telle qu'on la trouve dans l'ouvrage d'al-Ṣūfī :

- l'alidade :
  - pinnules,
  - œilletons (trous des pinnules) ;
- degrés de la hauteur : indiquent la hauteur du Soleil, de la Lune, etc. et se trouvent sur la circonférence du dos de l'astrolabe ;
- le limbe : divisé en 360° ;
- tympans conçus pour chaque climat ;
- le trône ;
- l'étrier ;
- l'araignée :
  - série d'index représentant les principales étoiles fixes ;
  - cercle complet correspondant à l'écliptique ;
- l'essieu : pivot de l'araignée ;
- la clavette ou cheval permet de maintenir l'araignée ainsi que les tympans ;
- l'index des degrés qui se situe sur la tête du signe du Capricorne sur l'araignée ;
- les lignes d'ombres : divisées en doigts ou en pieds ;
- les lignes indiquant les heures ;
- le cercle du tropique du Cancer ;
- le cercle du tropique du Capricorne ;
- les cercles *almucantarat* de hauteur égale ;
- les douze lignes d'heures saisonnières ;
- le cercle d'horizon : le plus grand des cercles d'*almucantarat* ;
- la ligne est-ouest qui est en fait la ligne d'horizon ;
- la ligne du méridien ;
- les douze signes du zodiaque, chacun étant de 30° ;
- les lignes d'heures égales ;
- les cercles d'azimut : azimuts orientaux, et occidentaux.

[44] Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy, op. cit.*, 860.

[45] Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy, op. cit.*, 859 ; Anagnostakis, *The Arabic Version of Ptolemy's Planisphaerium, op. cit.*, 4.

L'astrolabe est fait normalement en bronze ou en cuivre. Pour l'utilisation, l'astrolabe est suspendu par un anneau, les étoiles sont observées par un bras mobile, l'alidade, et l'altitude est lue sur une échelle. De l'autre côté, sur la face de l'instrument, sont représentés les cieux boréaux avec les principales étoiles, et la projection de la sphère céleste jusqu'au tropique du Capricorne, à partir du pôle Sud. Les étoiles y sont indiquées par un réseau de pointeurs, l'araignée, qui tourne autour d'un pivot.

L'astrolabe sert à mesurer l'altitude des étoiles, de la Lune, du Soleil, et permet de déterminer l'heure au moment de la mesure, et la position d'étoiles fixes, ou tout autre renseignement d'intérêt astrologique [46].

Neugebauer soulève le problème de la facture de l'astrolabe : quels instruments de dessin étaient utilisés afin d'obtenir avec autant d'exactitude des constructions aussi complexes [47] ? Price [48] nous dit que les « astrolabistes » avaient atteint une grande exactitude dans l'élaboration de ces instruments, sans pour autant nous donner plus de détails.

L'astrolabe plan ou planisphérique, ne doit pas être confondu avec l'astrolabe sphérique ou avec l'astrolabe nautique [49].

Comme nous l'avons vu, l'astrolabe planisphérique, a deux fonctions :
– mesure de la hauteur des astres ;
– fonction de calcul analogique qui permet de résoudre les mêmes problèmes qu'avec l'astrolabe sphérique, mais avec l'avantage d'être beaucoup plus maniable. Il faut néanmoins, recourir à une double projection stéréographique polaire, celle de la sphère des fixes, l'araignée, et celle de la sphère locale, les tympans.

L'astrolabe sphérique permet de résoudre différents problèmes d'astronomie. Il suffit de faire tourner une sphère céleste découpée, la sphère des fixes, sur laquelle se trouvent quelques étoiles et l'écliptique [50], par rapport à une autre sphère locale intérieure, sur laquelle on a tracé deux réseaux de courbes représentant les coordonnées horizontales locales, c'est-à-dire les cercles de hauteurs égales, et les cercles d'égal azimut.

Les astrolabes qu'on qualifie d'orientaux, en opposition aux occidentaux, comportent des détails utiles à la vie quotidienne des musulmans. On y voit tracé par exemple, l'azimut de La Mecque, qui permet pour certaines villes importantes, de déterminer en chaque période de l'année, la hauteur du Soleil, lorsqu'il a le même azimut que la Kaʿba. L'astrolabe permet également de déterminer le moment du lever et du coucher du soleil, de l'aube et du crépuscule, donc de connaître l'heure des prières.

L'une des fonctions pratiques de l'astrolabe est de déterminer l'heure de jour et de nuit. Il faut pour cela, en premier lieu mesurer la hauteur du Soleil, ou celle d'une étoile.

[46] M. A. Hoskin, « Astrolabe », *Dictionnary of the History of Science*. Éd. W. F. Bynum, E. J. Browne, R. Porter. The Macmillan Press Ltd., Londres : 1983.

[47] Cf. figures astrolabiques 1 à 8 dans A. D. Delatte, *Anecdota Athenensia et alia. Textes grecs relatifs à l'histoire des sciences*, Fasc. 38. Bibliothèque de la faculté de philosophie et lettres de l'université de Liège, Liège-Paris : 1939. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy, op. cit.*, 754, n.17.

[48] D. J. Price, « Precision Instruments : to 1500. "The Astrolabe" », *A History of Technology*. Éd. C. Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall et T. I. Williams. Volume III. Oxford University Press, Oxford : 1969, 584.

[49] On ne connaît pas l'ampleur de l'importance de l'astrolabe nautique dans la civilisation arabe, mais cet instrument fut très utilisé par les Portugais et par les grands navigateurs.

[50] Il s'agit de la trajectoire annuelle du soleil sur la sphère céleste.

L'astrolabe permet également de s'orienter, grâce à la mesure de la hauteur du Soleil ou d'une étoile.

Nous ne faisons ici que présenter les diverses fonctions de l'astrolabe.

3. *Al-Ṣūfī*

Abū al-Ḥusayn ʿAbd al-Raḥmān ibn ʿUmār al-Ṣūfī, né à Rayy en décembre 903(?). ʿAḍud al-Dawla, sultan de la dynastie des Bouyides (936-978-983) semble avoir été son patron, aussi bien que son élève et son ami.

L'énorme travail accompli par al-Ṣūfī sur l'astrolabe, a été effectué du vivant de ʿAḍud al-Dawla, et dédié à l'un de ses fils, Šīrdil, qui régna sous le nom de Šaraf al-Dawla.

Cet ouvrage de ʿAbd el-Raḥmān al-Ṣūfī, *Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb*, est sans doute le plus complet en ce qui concerne l'astrolabe [51]. Mais nous ne disposons pas de preuves attestant qu'il en ait lui-même construit un [52].

Entre les années 965-970, des observations solaires sont menées à Shiraz, comportant notamment celles du solstice d'hiver de 969. Les observations suivantes portent sur le solstice d'été, et les équinoxes d'automne de 971 et 972.

Parmi les travaux d'al-Ṣūfī, se trouve un ouvrage expliquant les opérations pouvant être menées dans la sphère céleste. Ce traité est dédié à un des fils de ʿAḍud al-Dawla [53]. Al-Ṣūfī s'est beaucoup intéressé à la théorie astrologique, et a écrit un traité sur ce sujet.

Al-Ṣūfī a également recueilli un *zīǧ*, un ensemble de tables astronomiques.

Il meurt en mai 986, à 80 ans passés [54].

Le chef-d'œuvre d'al-Ṣūfī est sûrement son catalogue des étoiles [55]. Destombes [56] nous dit qu'il a composé le *Livre des constellations* et l'a dédié à ʿAḍud al-Dawla à Shiraz. Il y expose au moyen d'illustrations et de tables, la manière de placer les étoiles sur les globes et de tracer les images de constellations. Il corrige toutes les erreurs de copies introduites dans les coordonnées du catalogue des étoiles de Ptolémée, et leur positions sont recalculées pour la composition de cet ouvrage. Il fut utilisé pour la construction des globes jusqu'à l'époque d'Ulug Beg, c'est-à-dire au XV^{e} siècle. Le catalogue d'al-Ṣūfī fut adopté dans l'Occident chrétien.

Son livre des constellations a été traduit par H.C.F.C. Schjellerup, *Description des étoiles fixes, composée par l'astronome persan Abd-al-Rahman al-Sûfi*, Saint-Pétersbourg, 1874.

[51] E. S. Kennedy, «Introduction to "Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb"», *Studies in the Islamic Exact Sciences*. The American University of Beirut, Beirut: 1983, 405.

[52] P. Kunitzsch, «Al-Ṣūfi and the Astrolabe Stars», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, 6: 1990, 152.

[53] Kennedy, «Introduction to "Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb"», *op. cit.*, 406.

[54] Kennedy, «Introduction to "Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb"», *op. cit.*, 407.

[55] Kennedy, «Introduction to "Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb"», *op. cit.*, 408.

[56] M. Destombes, «La diffusion des instruments scientifiques du haut Moyen Âge au XV^{e} siècle», *Cahiers d'histoire mondiale*, 10: 1966, 39.

4. *Le texte*

La traduction que nous avons présentée, a été effectuée à partir d'une copie fac-similé du manuscrit de Topkapi Sarayi et Ahmet II, 3509, de l'année 605 H / 1277-1278, reproduit par Fuat Sezgin à l'Institute for the History of Arabic-Islamic Science at the Johann Wolfgang Gœthe University à Francfort en 1986, sous le titre *Two Books on the Use of the Astrolabe*. Nous avons pu comparer ce manuscrit à une autre version publiée à Hyderabad en 1962, aux éditions Osmania, à partir du manuscrit de la Bibliothèque nationale de Paris nº 2493, *Kitāb al-ʿAmal bi'l-Asṭurlāb*, copié en safar 1283 H / juin 1866, sans doute d'un manuscrit antérieur, qui fut copié en 871 de l'ère de l'hégire. En ce qui concerne la partie étudiée, la version de la BN se trouve être moins bonne que celle de Topkapi Sarayi et Ahmet II, et souvent moins complète. Ceci semble d'ailleurs être vrai pour la totalité du texte.

C. Traduction

Livre sur l'utilisation/facture de l'astrolabe

Chapitre premier *Relatif aux droites, aux cercles, et aux arcs dessinés sur l'astrolabe, et aux noms des signes* [57]

I. L'alidade située sur le dos de l'astrolabe, est dotée de deux têtes précises dont l'une coupe les 90 degrés (graduations) de la hauteur qui se trouvent au dos de l'astrolabe. L'autre tête indique l'ombre, si cette dernière est tracée sur l'astrolabe. Son sinus permet de connaître les heures inégales si elles figurent sur l'astrolabe. Parfois les heures inégales sont tracées sur la même alidade ; on peut donc connaître l'heure lors de la mesure.

II. Les deux pinnules sont les deux éléments saillants fixés sur l'alidade ; chacune de ces pinnules a un petit trou nommé œilleton, qui permet de situer la position du Soleil au moment où l'on mesure sa hauteur. Le rayon de soleil pénètre par l'œilleton supérieur, et passe également par l'œilleton inférieur. Parfois chaque pinnule a un œilleton plus grand que l'autre, alors le plus étroit [58] nous indique ce que nous avions décrit à propos de la détermination de la hauteur du Soleil. Le plus grand, nous permettra d'obtenir la situation des astres fixes et mobiles durant la nuit, ainsi nous obtenons la position de la Lune de jour, et le Soleil si les nuages faisaient obstacle, et nous donnera une vision du disque du Soleil à travers les nuages, même si ses rayons ne nous parviennent pas.

III. Les degrés de la hauteur se trouvent sur le quart divisé au dos de l'astrolabe. Soit ce quart est divisé en quatre-vingt-dix degrés, soit la moitié supérieure se divise en cent quatre-vingts degrés dont quatre-vingt-dix degrés représentent la hauteur est, et les autres quatre-vingt-dix degrés la hauteur ouest. ‖ Cela nous indiquera quelle est la hauteur du Soleil,

[57] ... et à la nomenclature de l'instrument.

[58] Cela dépendant de la facture de l'astrolabe.

de la Lune, des planètes, ainsi que les hauteurs des murs, des pics montagneux, et des sommets des arbres, etc.

IV. Le limbe est le cercle qui se trouve sur la face de l'astrolabe ; il est divisé en trois cent soixante degrés. Il entoure les tympans conçus pour chaque climat [59]. Le trône est l'élément supplémentaire ajouté au cercle divisé qui est le limbe. L'étrier est traversé par l'anneau ; il permet de suspendre l'astrolabe lors de la prise de mesures.

V. L'araignée est la plaque travaillée ajourée [60] où se trouve la région du zodiaque, ainsi que les étoiles fixes.

VI. Les index précis se trouvant sur l'araignée, représentent les étoiles fixes, ainsi qu'elles se situent dans la sphère céleste.

VII. Le cercle complet se trouvant sur l'araignée, représente la région zodiacale qui est le trajet du Soleil [61].

VIII. L'axe [62] formé par les signes du Bélier et de la Balance, est l'axe qui divise l'araignée en deux moitiés [63] sur lesquelles se trouvent quelques étoiles fixes.

IX. L'essieu, élément fixe saillant sur la face de l'araignée, est celui par lequel l'araignée tourne, et ne peut avoir d'autre fonction. L'essieu [64] est ce qui se trouve au centre des tympans et de l'araignée.

X. La rondelle est ce qui est pénétré par l'essieu également, et on ne s'en sert que pour soulever le cheval au-dessus de l'araignée, pour éviter que ne s'use l'inscription se trouvant sur le petit cercle de l'araignée, situé autour du pôle lors du passage [65] du cheval.

XI. Le cheval [66] est ce qui se trouve ‖ sur le pôle ; elle le maintient ainsi que les tympans.

XII. La protubérance qui se trouve sur la tête du Capricorne se nomme l'index des degrés. Il parcourt les trois cent soixante degré du limbe. Cet indicateur nous permet de déduire les levers et l'arc de jour, ainsi que les fractions d'heures, et d'autres phénomènes dont nous préciserons la nature ultérieurement par la grâce de Dieu. Les lignes divisées se situant

[59] Il s'agit ici de latitude, car en effet, à chaque latitude donnée, correspond un tympan précis.

[60] Il s'agit en fait de la seule partie frontale de l'astrolabe, qui pivote autour de l'essieu (le pivot situé au centre de l'astrolabe). Au dos, l'alidade tourne autour du pivot.

[61] L'écliptique.

[62] L'auteur emploie dans ce cas le terme *ʿamūd* qui signifie colonne. Nous avons donc interprété ce mot comme axe.

[63] Il s'agit d'une division horizontale.

[64] L'essieu est situé au même endroit que le pôle Nord ; on peut donc comprendre cette phrase ainsi : « Le pôle est ce qui se trouve au centre, etc. »

[65] C'est sans doute montage.

[66] Ou *clavette*.

sur la moitié inférieure du dos de l'astrolabe, indiquent l'ombre, si cela était indiqué sur le dos de l'astrolabe. Ces lignes peuvent être divisées en doigts ou en pieds. Si la division se fait en doigts, et si nous posions une des têtes de l'alidade sur les quarante-cinq degrés de la hauteur, alors l'autre tête se situerait sur la douzième partie des lignes de l'ombre. Si la division était effectuée en pieds, elle serait située sur la sixième partie et demie, relativement aux lignes d'ombre.

XIII. Si l'alidade se trouve placée sur la ligne de la corde [67], alors les lignes des degrés de hauteur tracées vers l'extrémité de l'alidade, représentent le sinus s'il est indiqué sur l'astrolabe.

XIV. Le quart de cercle tracé sur le dos de l'astrolabe à partir du rayon oriental du cercle jusqu'à la ligne de midi, et passant sur le dos de l'alidade, comporte les inscriptions des signes zodiacaux ; du Capricorne au Cancer, ils débutent à l'extrémité de l'astrolabe et continuent jusqu'au pôle. Du Cancer au Capricorne, on commence au centre et on continue jusqu'à ‖ la circonférence du cercle conçu afin de nous donner connaissance des heures indiquées sur le dos de l'astrolabe.

XV. Les six lignes qui coupent ces cercles [68] à partir du centre de l'astrolabe jusqu'à sa circonférence et qui souffrent quelques distorsions, sont les lignes indiquant les heures [69]. Elles ne sont que six car elles s'arrêtent à midi. Il en résulte donc que les heures de l'après-midi, conduisant à la nuit, sont les heures restantes du jour. Nous en indiquerons le fonctionnement précis en temps utile par la grâce de Dieu.

XVI. Les deux autres lignes restantes consacrées aux heures qui coupent ces cercles au-dessus des six lignes supérieures qui sont pour les heures, subissent également des distorsions. Ces deux lignes représentent le début ainsi que la fin de l'heure du *ʿaṣr*.

XVII. Le début de l'heure de midi est représenté par la dernière des six lignes représentant les heures.

XVIII. Les trois cercles se situant sur chaque tympan sont les cercles de circulation des signes du zodiaque mobiles ; je veux dire le Bélier, le Cancer [70] et le Capricorne. Le cercle le plus petit est le tropique du Cancer, dont le mouvement se conjugue de manière permanente à la tête du signe du Cancer. Le cercle qui lui succède est le cercle de circulation de la tête du Bélier ainsi que de celle de la Balance. Le cercle le plus grand qui se trouve sur le bord du tympan, représente le cercle de circulation de la tête du Capricorne. Il est égal, équilibré sur tous les tympans. Les *almucantarat*, sont les cercles étroits qui se trouvent

[67] Hartner, «The Principle and Use of the Astrolabe», *op. cit.*, 302.
[68] Les cercles des signes.
[69] Lignes horaires.
[70] La Balance (biffé dans le texte).

dans chaque tympan et comprenant entre chacun d'eux les degrés ‖ représentant la hauteur, inscrits conformément à la conception de l'astrolabe. S'il est sixième, il en résultera une gradation de six en six degrés [71]. S'il est cinquième, de cinq en cinq degrés ; s'il est tiers, de trois en trois, s'il est demi, la division se fera de deux en deux, et si l'astrolabe est complet, on procédera de degré en degré.

XIX. Les lignes d'heures saisonnières sont représentées par 12 petites lignes en rangs qui débutent à la tête du signe du Cancer, et s'étendent jusqu'à la tête du signe du Capricorne allant d'ouest en est. Entre chacune de ces lignes, figurent les chiffres des douze heures indiquées.
Il pourrait exister parmi ces lignes [72], deux lignes supplémentaires, dont l'une serait orientée à l'est et l'autre à l'ouest. La ligne dont l'orientation serait à l'est, nous permet de connaître l'aurore, et l'autre provenant de l'ouest, nous indique le crépuscule [73].

XX. L'horizon d'est en ouest représente le plus grand cercle des cercles *almucantarat* [74]. Il est désigné comme l'*almucantara* du levant (Est) et l'*almucantara* du coucher (Ouest).

XXI. La ligne est-ouest, est la ligne coupant le tympan en deux moitiés passant par le centre [75] ; il s'agit de la ligne de l'équateur est-ouest.

XXII. La ligne du méridien se trouvant sur tout tympan, est la ligne issue de l'anneau, qui coupe la ligne est-ouest en deux moitiés au centre : cette ligne se nomme la ligne du milieu du ciel nord-sud à partir de l'anneau jusqu'à la ligne d'horizon est-ouest [76]. ‖ Le prolongement de cette ligne [77] jusqu'au bas du tympan s'appelle la ligne du pivot de la Terre [78].
Les parties divisées vers le cercle du zodiaque, représentent les parties égales des signes du zodiaque. Chaque signe est de trente degrés. Si l'astrolabe est sixième, la division se fait de cinq degrés en cinq degrés. S'il est cinquième, de six degrés en six degrés. S'il s'agit d'un astrolabe tiers, de dix degrés en dix degrés, s'il est demi, de quinze degrés en quinze degrés et s'il est complet, de trente degrés en trente degrés.

XXIII. Les douze parties qui se situent sur la région du zodiaque représentent en fait les divisions de ces douze signes.
Sur chaque partie est inscrit le nom de chaque signe.

[71] Cela correspond à la numération des *almucantarat*. On ne représente que tous les six degrés, ou cinq, etc., ou tous les degrés si l'astrolabe est complet.
[72] Selon l'instrument.
[73] Il s'agit en fait des *almucantarat* -18° à l'Est et à l'Ouest qui représentent le lever et le coucher du jour.
[74] Nous nous sommes maintenus fidèle au texte, mais « le plus grand des cercles » aurait tout à fait convenu.
[75] Verticalement.
[76] Sur la partie supérieure de l'astrolabe donc.
[77] À partir de la ligne d'horizon est-ouest.
[78] La ligne du point de révolution de la terre. Hartner, « The Principle and Use of the Astrolabe », *op. cit.*, 308.

XXIV. Le chiffre qui est écrit autour du limbe, est l'indication numérique des divisions [79] de celui-ci ; si la division se fait de deux en deux, la numération est de dix degrés en dix degrés. S'il est divisé en cent quatre-vingt degrés, la numération se fait de dix en dix, chaque tiret représentant deux degrés. Et si la division se fait de degré en degré, alors la graduation se fait de cinq degrés en cinq degrés [80].

XXV. Les lignes se situant en dessous de l'*almucantara* est-ouest allant jusqu'à l'extrémité inférieure du tympan, qui débutent à l'*almucantara*, et finissent à l'extrémité dudit tympan, représentent les lignes d'heures égales.
Il s'agit du nombre d'heures du jour le plus long de l'année dans ce climat pour lequel le tympan a été conçu. Il se peut que la division de ces heures figure sur la moitié supérieure de l'astrolabe, elles se trouvent alors à partir de l'*almucantara* ‖ est-ouest, jusqu'au bord supérieur du tympan ; elles coupent alors les cercles des *almucantarat*. Mais il est plus fréquent qu'elles se trouvent en dessous de la ligne d'horizon, c'est-à-dire de l'*almucantara* est [81]-ouest jusqu'à l'extrémité inférieure du tympan où se trouvent les lignes d'heures inégales. Les arcs qui coupent les *almucantarat*, dont certains commencent à la ligne d'*almucantara* est-ouest, alors que d'autres débutent à la partie supérieure du tympan dans ses deux directions est et ouest, jusqu'au point C [82], sont les cercles d'azimut.
Il se peut qu'ils soient tracés sur les heures (égales ou non) ; l'on commencera par l'*almucantara* de l'Est et de l'Ouest, et cela jusqu'à l'extrémité [83] inférieure du tympan. Si les cercles d'azimut se situent sur les *almucantarat*, il se peut que le début de la graduation se fasse à partir du point C, jusqu'à la suite du point du Bélier, et jusqu'à la ligne du pivot [84] de la terre, alors le nombre de ces lignes représente cent quatre-vingt degrés en ce qui concerne le côté est ; et de même à partir du point C, jusqu'au point ouest du Bélier [85] jusqu'à la ligne de pivot [86] de la Terre, est de cent quatre-vingt degrés. Ce qui est du côté est, est pour les azimuts orientaux, du côté ouest, pour les azimuts occidentaux. Leur nombre est inscrit entre chaque arc. La graduation peut se faire de dix degrés en dix degrés, ou de cinq degrés à cinq degrés, et le commencement du comptage est pourrait s'effectuer à partir du point du levant du Bélier, et l'Ouest à partir du point de son coucher succédant au point C : dans chaque direction l'on trouvera quatre-vingt-dix degrés pour les azimuts sud. ‖ À partir du point du lever du Bélier ainsi qu'au point de son couchant, jusqu'à l'intersection du tropique du Cancer et de la ligne d'horizon dans les deux directions : cela aura la valeur de l'azimut du signe du Cancer au Nord. Si les lignes sont tracées sur les heures [87], le début du comptage se situe à partir du lever du Bélier et de son coucher jusqu'au point [88] de pivot de la terre comportant en chaque direction quatre-vingt-dix degrés à partir du lever du Bélier et de son coucher. Ce sont là les points d'intersection du tropique du Capricorne et du cercle d'horizon en toutes leurs directions avec la valeur de l'azimut de la tête du Cancer au Nord. Si les lignes sont tracées

[79] Il s'agit en fait de degrés, bien que le mot *aǧza'* signifie fragments.
[80] Conformément au modèle de l'instrument.
[81] Terme ajouté en diagonale dans le texte.
[82] Ce point C représente le zénith de l'observateur.
[83] La marge.
[84] La ligne du point de révolution.
[85] Point du couchant du Bélier.
[86] Point de révolution.
[87] Sur les lignes des heures.
[88] Point de révolution.

sur les heures, le début du comptage se situe à partir du lever du Bélier et de son coucher jusqu'au point de pivot de la terre comportant en chaque direction quatre-vingt-dix degrés à partir du lever du Bélier et de son coucher. Ce sont là les points d'intersection du tropique du Capricorne et du cercle d'horizon en toutes leurs directions avec la valeur de l'azimut de la tête du Cancer au Nord. Si les lignes se situent dans les *almucantarat*, on peut déterminer le zénith par le degré dont nous voulons l'azimut.
Si ces lignes se situent sur les heures, ce sera le nadir de ce degré. Cela fera l'objet d'une autre partie de cet ouvrage que nous exposerons en temps voulu *in sha' allah*.
Il est clair que tout ce que nous avons décrit et ce que nous exposerons par la suite sera relatif à l'astrolabe dans son orientation nord.

D. Conclusion

En étudiant l'un des tout premiers auteurs ayant créé la technique de l'astrolabe, nous faisons apparaître un moment où des acquis scientifiques, ici géométriques et astronomiques, sont mis à la disposition d'un nombre croissant de personnes par l'intermédiaire de l'astrolabe, ce qui fournit d'intéressants recoupements entre l'histoire des sciences et l'histoire sociale. D'autre part, nous avons pensé avoir éclairci des questions dont la complexité mathématique échappe trop souvent aux historiens ; le travail de représentation sur une surface plane des phénomènes astronomiques, tridimensionnels par nature, fait appel à une belle conquête des géomètres : la projection stéréographique. Il nous a semblé donc indispensable que les propriétés géométriques soient clairement, mais brièvement exposées dans cet article. Une rapide description de l'instrument et de son fonctionnement ainsi que quelques exemples de son utilisation sont exposés ci-dessous.

L'astrolabe que nous avons décrit – l'astrolabe plan ou planisphérique – représente la variante la plus utilisée. Nous avons en effet l'astrolabe sphérique, l'astrolabe linéaire et l'astrolabe-quadrant…

L'astrolabe suscite à partir du IX^e^ siècle un véritable enthousiasme chez ses utilisateurs. C'est le roi des instruments, un « joyau mathématique » mis au service de la science la plus noble et la plus belle pour les Arabes, l'astronomie. Celle-ci permet aux fidèles de régler leur vie religieuse et de contempler la puissance de Dieu en observant l'organisation de l'univers comme il est écrit dans le Coran. L'utilisation de cet instrument par les astrologues, pour répondre aux demandes des grands de ce monde, l'auréole d'une dimension magique et enflamme les imaginations ; et ce, malgré le fait que les hommes de religion aient vigoureusement condamné l'utilisation de l'astrolabe pour connaître l'avenir.

Cet instrument, demeure présent chez les Arabes pendant plus d'un millénaire, où il reste en usage jusqu'au début du XIX^e^ siècle.

٣٦

العضادة هي التي تكون على ظهر الاسطرلاب ولها اربعة حدان احدى راسها
بقطع درج الارتفاع الذي على ظهر الاسطرلاب وبالراس الاخر يعرف الظل
اذا كان معمولا على الاسطرلاب وجنبيه تعرف الساعات المعوجة اذا كان معمولا
على الاسطرلاب وربما كانت الساعات المعوجة معمولة له على نفس العضاده
فتعرف بها الساعات عند القياس ❊ والدفتان هما الشظيتان المركبتان
على العضاده في كل واحدة منهما ثقب صغير ليرصد بهما الشمس عند اخذ الارتفاع
يدخل شعاع الشمس من ثقبة الشظية العليا وتنفذ في ثقبة الشظية السفلى
وربما كان في كل شظية ثقبتان احديهما اكبر من الاخرى لمعرفة الصغرى ما وصفنا
من معرفة ارتفاع الشمس والكبرى ترصد الكواكب الثابتة والمحرة بالليل
فترصد بها القمر بالنهار والشمس اذا كان في يوم غيم ومرى قرصة الشمس من وراء
الغيم ولا يكون لها شعاع ❊ اجزاء الارتفاع هي التي في الربع المقسوم على ظهر
الاسطرلاب وربما كان الربع منها مقسوما بتسعين وربما كان النصف الاعلى مقسوما
بمايه وثمانين ليكون تسعون منها للارتفاع الشرقي وتسعون منها للارتفاع الغربي

ومنها يعرف ارتفاع الشمس والقمر والكواكب وهو رؤس الحيطان والجبال
والاشجار وغير ذلك كم هو • الحزة هي الحلقة التي على وجه الاسطرلاب
المقنبونة بثلثمايه وستين حزوا وهي محيطة بالصفائح التي للاقليم الكرسي هو
الزيادة التي في الحلقة المقنبونة التي هي الحزة • العروة هي التي فيها الحلقة يعلق
بها الاسطرلاب عند القياس • العنكبوت هو الصفيحة التخيية الحزة التي
فيها منطقة البروج والكواكب الثابتة • الشظايا الحديد التي في العنكبوت
هي للكواكب الثابتة وهي مواضعها من الفلك • الدايرة التامة التي في العنكبوت
هي منطقة البروج التي هي طريق الشمس • عمود الحمل والميزان هو العمود الذي
يقطع العنكبوت نصفين وعليها بعض الكواكب الثابتة • الشظية التي هي بايتة
على وجه العنكبوت هي التي يدار بها العنكبوت وليس لها فعل غير ذلك القطب
هو الذي في مركز الصفائح والعنكبوت • الفلس هو الذي فيه القطب ايضا وانما
اتخذ ذلك ليرفع الفرس عن وجه العنكبوت لئلا تدرس الثابتة التي على الدايرة
الصغيرة التي حوالي القطب في العنكبوت بمرور الفرس عليها • الفرس هو الذي

٣٨

في القطب وسمك القطب والصفائح • الزايده في راس الجدي يقال لها
مرئي للاجزاء وهي التي تدور على اجزاء الجمرة الثلثمايه والستين فيها يعرف
المطالع وقوس النهار واجزا البساعات وغير ذلك مما ذكره في موضعه ان شا الله
الخطوط المقبسومة التي في النصف الاسفل من ظهر الاسطرلاب هي اخر الظل
ان كان ذلك معمولا على ظهر الاسطرلاب وربما كان مقبسوما بالاصابع وربما كان
بالاقدام فاذا كان مقبسوما لاصابع اذا وضعنا احد راسي العضاده على خمسه
واربعين جزا من اجزاء الارتفاع وقع الراس الاخر من العضاده على اثني عشر جزا منها
واذا كان مقبسوما بالاقدام وقع على ستة اجزا او نصف جزو منها • الخطوط
المخطوطة من اجزا الارتفاع الى حرف العضاده اذا كانت العضاده موضوعه
على خط العلاقه في الحد اذا كان معمولا على الاسطرلاب • الاباع الدوايب
المخطوطة على ظهر الاسطرلاب من نصف قطر الدايره الشرقي الى خط نصف
النهار ومر على ظهر العضاده مكتوب عليها البروج من الجدي الى السرطان بتدي
من حرف الاسطرلاب الى عند القطب ومن السرطان الى الجدي بتدي من المركز الى

السته

حرف الصفيحة علت لمعرفة البساعات المعمول له على ظهر الاسطرلاب ❊ والخطوط
التي تقطع هذه الدوايز من ناحية المركز إلى حرف الاسطرلاب ويكون فيها اعوجاج
هي خطوط الساعات وانما علت سته لانها إلى النصف من النهار ويكون
لبساعات الماضيه من النهار وإلى الليل تكون البساعات الباقيه من النهار
وتبين العمل بها في موضعه ان شاء الله ❊ والخطان الاخران اللذان
يقطعان هذه الدوايز فوق هذه الخطوط الستة التي للبساعات
وفيهما اعوجاج ايضا انما خطا اول العصر واخره ❊ فاما اول الظهر فهو الخط
الاخير من الخطوط الستة التي للبساعات ❊ الدوايز الثلثة التي على
كل صفيحه هي مدارات البروج المتقلبه اعني الحمل والميزان والميزان والجدي
واصغر دايره منها هي مدار دايز السرطان وهي ملاقية ابدا دايز السرطان
والدايرة التي بعدها هي مدار دايز الحمل وراس الميزان والدايرة الكبيرة
التي على حرف الصفيحة هي مدار دايز الجدي وتكون في جميع الصفايح قدرا واحدا
المقنطرات هي الدوايز المتضايفه التي في كل صفيحة وفيما بينها عدد

الارتفاع مكتوب على نحو ما يلون الاسطرلاب ان كان سدسا فسمته بسته
وان كان خمسا فخمسه خمسه وان كان ثلثا فثلثه ثلثه وان كان نصفا فجزئين
جزئين وان كان تاما فجزء جزء ٭٭ خطوط البياعات المعوجة هي الخطوط الاثنى
عشر المصطفه الصغار التي من مدار راس السرطان الى مدار راس الجدي وابتداوه
من ناحية المغرب الى ناحية المشرق وفيما بينها عدد البياعات الاثنى عشر
مكتوب وربما كان فيما بين هذه الخطوط خطان احدهما من ناحية المشرق
والاخر من ناحية المغرب فالذي من ناحية المشرق يعرف به طلوع الفجر والذي من
ناحية المغرب يعرف مغيب الشفق ٭٭ افق المشرق والمغرب هو اعظم دايرة من دوايرة
المقنطرات ويقال لها مقنطرة المشرق في الناحية الشرقية ومقنطرة المغرب
في الناحية الغربية ٭٭ خط المشرق والمغرب هو الخط الذي يقطع الصفيحة نصفين
على المركز وهو خط مشرق ومغرب الاعتدال ٭٭ خط نصف النهار هو الخط الذي
يخرج من عند العلاقة في كل صفيحة ويقطع خط المشرق والمغرب نصفين على
المركز وسمي هذا الخط خط وسط السما من عند العلاقة الى افق المشرق والمغرب

وتمام هذا الخط من دايرة الافق الى اسفل الصفيحة يسمى خط وتد الارض
الاجزاء المفنيومة الى نطاق البروج هي اجزاء البروج المبسوطة لكل برج ثلثون
جزوا فان كان الاسطرلاب مبسطا فخمسه وان كان خمسا فبسبسته
وان كان ثلثا فبعشر وان كان نصفا فبخمسه عشر خمسه عشر وان كان تاما
فبثلثين ثلثين ❊ الفنية الاثني عشر التي على منطقة البروج هي فنية البروج
الاثني عشر وعلى كل فنية مكتوب اسم كل برج ❊ العدد المكتوب على
حواشي الجزم هو عدد الاجزاء على الجزم ان كانت القسمة جزئين جزئين فان العدد عشرة
عشر وان كانت الجزم مثنومة بمايه وثمانين فالعدد عشر عشرة ويكون كل
خط جزئين وان كان ذلك جزوا اجزوا فان العدد خمسة خمسة ❊ الخطوط
التي تحت منقطرة المشرق والمغرب الى حرف الصفيحة السفلي وتكون ابتداوها
من المقنطرة الى حرف الصفيحة هي خطوط الساعات المبسوطة وهو عدد
بساعات نهار اطول يوم في السنة في ذلك الاقليم التي عملت له تلك الصفيحة
وربما فضلت هذه البساعات على نصف الاسطرلاب الاعلى فيكون من منقطرة

المشرق والمغرب الى محيط الصفيحة الاعلى وتقطع دوائر المقنطرات وانما يكون
ذلك تحت الارض اعني من مقنطرة المغرب الى محيط الصفيحة الاسفل فيما بين
خطوط الساعات المعوجة التي المعترضة على المقنطرات الفاصلة لها وتبتدئ
بعضها من مقنطرة المشرق والمغرب وبعضها من الحرف الاعلى من الصفيحة في جهتي المشرق
والمغرب الى نقطة ص هي قطب السموت وربما كانت مخطوطة على البياعات
وسدسي من مقنطرتي المشرق والمغرب الى حرف الصفيحة الاسفل فاذا كانت على المقنطرات
فربما كان ابتداء عددها من نقطة ص الى ما يلي نقطة الحمل الى خط وتد الارض
ويبلغ عددها ما يه وتمس جزوا فالتي في الناحية الشرقية وكذلك من نقطة ص
الى نقطة مغرب الحمل الى خط وتد الارض ما يه وتمس جزوا فالتي من ناحية
المشرق للبيموت الشرقية والتي من ناحية المغرب للبيموت الغربية وفيما بين كل
قوسين عددها محسوب فربما كانت تفاصل اجزائها بعشرة عشرة وربما كانت بخمسة
خمسة وربما كان ابتداء العدد الشرقي من نقطة مطلع الحمل والغربي من نقطة
مغرب الى ما يلي نقطة ص في كل جهة تسعين جزوا للبيموت الجنوبية

ومن نقطة مطلع الحمل ومغربه الى تقاطع خط مدار السرطان ودايرة
الافق في الجهتين جميعا بمقدار سمت راس السرطان في الشمال وإذا كانت مخطوطه
على السياعات فان ابتدا العدد يكون من ابتداء نقطه مطلع الحمل ومغربه الى
خط وتد الارض في كل جهة تسعين جزوا ومن نقطتي مطلع الحمل ومغربه الى
نقطتي تقاطع خط مدار الجدي ودايرة الافق في كل جهة بمقدار سمت
راس السرطان في الشمال واذا كانت مخطوطه على الساعات فان ابتدا العدد
يكون من نقطة مطلع الحمل ومغربه الى خط وتد الارض في كل جهة تسعين
جزوا ومن نقطتي مطلع الحمل ومغربه الى نقطتي تقاطع مدار الجدي ودايرة
الافق في كل جهة بمقدار سمت راس السرطان في ناحية الشمال وإذا كانت في
المقنطرات فانه يعرف السمت بالجزء الذي يريد سمته وإذا كانت فيما بين الساعات
فنظير ذلك الجزء وسنذكر في موضعه ان شاء الله وتعلم ان جميع ما وصفنا
ونصف مستانفا ان يكون الاسطرلاب شماليا

الباب الثاني

في معرفة اخذ الارتفاع

E. Annexe. Utilisation de l'astrolabe

Nous allons à présent passer à l'usage de l'astrolabe. Notre but n'est pas de présenter tous les problèmes jusque-là abordés. « […] On nous en voudrait de reprendre les 25 questions qu'exposait Severus Sebôhkt vers l'an 650 ; les 43 d'al-Ḫwārizmī vers 840 ; […] les 64 de Blundeville en 1613, pour ne point parler des 103 problèmes de Clavius et des 1000 de Jabîr-al-Sûfî [89]. » Nous voudrions d'autre part préciser, que nous allons exclusivement nous intéresser à des problèmes d'ordre astronomique ou mathématique, bref, scientifique, en laissant de côté les problèmes astrologiques que sont inadéquats dans le cadre de cette étude.

Notons que l'astrolabe était un instrument très apprécié et utilisé par les astronomes et les astrologues. Ceux-ci s'en servaient pour prédire des événements qui allaient influencer la vie des dirigeants politiques, ce qui représentait une fonction aussi bien prestigieuse que lucrative.

Nous voulons à présent exposer quelques usages de l'astrolabe. Afin d'établir cette liste de problèmes que l'on peut résoudre grâce à l'astrolabe, nous nous sommes inspirée des ouvrages de Michel, d'Hollander et du traité de Jean Philopon, traduit par Segonds.

1. *Observer la hauteur du Soleil*

Nous avons déjà exposé cette opération, mais la rappellerons rapidement. Il suffit de suspendre l'instrument par son anneau, et après avoir orienté son plan dans l'axe des rayons du soleil, d'ajuster l'alidade de telle sorte que le rayon solaire passe par les deux pinnules. L'on peut donc lire la hauteur du Soleil au moment de l'observation, à l'aide du système de graduation situé sur le dos de l'astrolabe : c'est ainsi que l'on détermine la hauteur du Soleil, c'est à dire son *almucantara*. Remarquons que si l'on observe le Soleil à son lever, l'on se placera dans la partie orientale des *almucantarat*, et vice versa.

2. *Observer la hauteur d'une étoile*

Il s'agit du même procédé que pour le soleil ; pour l'observation d'une étoile, il faut directemement observer l'étoile dans les pinnules. On en détermine la hauteur en se rapportant au système de graduation inscrit sur le limbe.

3. *Positionner l'araignée*

Une fois que l'on a obtenu l'*almucantara* du Soleil, de la Lune ou de l'étoile, il faut ajuster la position de l'araignée, afin d'obtenir la configuration du ciel au moment de l'observation. Si l'on a procédé à une observation diurne, il faut connaître le degré zodiacal du jour de l'observation, c'est-à-dire la position du soleil sur l'écliptique – dans quel signe

[89] Michel, *Traité de l'Astrolabe*, *op. cit.*, 86.

il se situe, et dans quelle partie du signe. Il faut ensuite tourner l'araignée, jusqu'à ce que le degré zodiacal inscrit sur l'écliptique, coïncide avec la valeur de l'*almucantara* observée, en ayant pris soin auparavant de placer le tympan correspondant au climat dans lequel l'observation a été menée.

Si par contre, on a effectué une observation nocturne, il faut positionner l'index de l'étoile observée, sur le cercle de l'*almucantara* obtenu.

L'on obtient ainsi la disposition du ciel par rapport à la terre.

4. *Détermination de l'heure inégale de jour*

Une fois l'araignée mise en position, il faut observer le degré zodiacal diamétralement opposé à celui du jour de l'observation : le nadir du soleil, touche une ligne horaire qui se trouve en dessous de la ligne d'horizon. Ce point d'intersection donne l'heure à laquelle l'observation a été menée. Nous utiliserons le nadir du soleil, car pour plus de clarté, les lignes horaires ont été tracées en dessous des *almucantarat*. Si elle avaient été tracées au-dessus, on aurait directement considérer la position du soleil sans avoir recours à son point diamétralement opposé.

5. *Détermination de l'heure inégale de nuit*

L'araignée étant positionnée correctement suite à l'observation de l'étoile, il faut prendre le point d'intersection entre le degré zodiacal correspondant au jour de l'observation, et des lignes horaires.

Vu que l'on opère de nuit, et que le Soleil se trouve en dessous de l'horizon, le degré zodiacal montre directement les heures inégales de nuit, et il ne faut plus dans ce cas avoir recours au point diamétralement opposé.

6. *Détermination de la durée du jour*

Il suffit pour déterminer la durée du jour de faire tourner le point représentant le degré zodiacal dudit jour à partir de l'horizon est – à gauche de l'instrument lors de l'observation – jusqu'à l'horizon ouest ; on note alors le « temps » parcouru par le point diamétralement opposé, en observant combien de lignes horaires il traverse.

7. *Détermination de l'heure des prières musulmanes*

Les prières du matin et du soir doivent avoir lieu à l'instant du crépuscule. Les astronomes avaient établi que le jour se levait ou se couchait quand le Soleil était situé à 18° en dessous de l'horizon. Sur certains astrolabes, sont donc tracés les *almucantarat* correspondant à

-18° du côté est et ouest. Il suffit donc de positionner le degré zodiacal du Soleil du jour dit sur l'*almucantara* −18° du côté est pour la prière du matin, *al-fağr*, et à −18° du côté ouest pour la prière du soir, *al-maġreb*. La prière de midi, *al-ẓuhr*, a été fixée par al-Ḫwārizmī à l'instant où le soleil est descendu de 7° après sa culmination. Celle de l'après-midi, *al-ʿaṣr*, fut définie par Abū Ḥanīfa comme correspondant au moment de l'après-midi où l'ombre du gnomon atteint le double de la longueur du gnomon. Certains astrolabistes orientaux complétaient donc les astrolabes par les lignes de prière, comme le mentionne al-Ṣūfī dans son texte.

8. *Détermination de l'heure à l'aide des diagrammes du dos de l'astrolabe*

Nous traiterons ici les heures inégales. Afin de connaître la hauteur du Soleil à midi, il suffit de poser le degré zodiacal du jour considéré sur la ligne méridienne. L'*almucantara* que ce degré touche, représente la hauteur du Soleil à midi.

Il faut alors disposer l'alidade de telle sorte qu'elle marque cette hauteur, et noter en quel endroit de l'alidade passe la ligne des 6 heures. Une fois ce point marqué sur l'alidade, suspendons l'instrument par son anneau, et dirigeons l'alidade en direction du Soleil comme pour en observer sa hauteur. La courbe des heures qui sera désignée par une marque effectuée sur l'alidade tracée à l'encre, à la cire, etc., indiquera l'heure.

9. *Détermination de la longueur de l'ombre à une heure et un jour donnés*

Si l'on connaît la hauteur du soleil, il suffit de placer l'alidade sur cette hauteur ; elle coupera le carré des ombres en un point qui indiquera, sur l'échelle des pieds, la longueur des ombres d'un gnomon de 7 pieds – les gnomons sont généralement d'une hauteur de 7 pieds, mais rappelons qu'al-Ṣūfī parle d'une valeur de 6,5 pieds –, et sur l'échelle des doigts, la longueur des ombres d'un gnomon de 12 pouces. Pour les degrés supérieurs à 45° , il faut avoir recours à l'échelle des cotangentes que nous avons déjà présentée ci-dessus.