



HAL
open science

**Ibn al-Šāṭir, L'achèvement de l'enquête et la correction
des fondements / Kitāb nihāya al-sūl fī taṣḥīḥ al-ʿusūl.
Édition, traduction et commentaire mathématique par
Erwan Penchèvre**

Erwan Penchèvre

► **To cite this version:**

Erwan Penchèvre. Ibn al-Šāṭir, L'achèvement de l'enquête et la correction des fondements / Kitāb nihāya al-sūl fī taṣḥīḥ al-ʿusūl. Édition, traduction et commentaire mathématique par Erwan Penchèvre. 2021, 978-2-9577956-0-4. hal-04403194

HAL Id: hal-04403194

<https://hal.science/hal-04403194>

Submitted on 18 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Ibn al-Šāṭir

L'ACHÈVEMENT DE L'ENQUÊTE
ET LA CORRECTION DES FONDEMENTS

Kitāb nihāya al-sūl
fī taṣḥīḥ al-'uṣūl

Édition critique, traduction
et commentaire par Erwan Penchèvre

2021

INTRODUCTION

Il y a une dizaine d'années, fier de mes balbutiements en arabe, avec un bien maigre bagage, je suis allé voir Roshdi Rashed. Je souhaitais étudier un texte médiéval arabe d'astronomie, et il m'a suggéré de me pencher sur la *Nihāya al-sūl fī taṣḥīḥ al-ʿuṣūl* d'Ibn al-Šāṭir. Il a mis à ma disposition un premier manuscrit.

Le présent ouvrage est le fruit de cet exercice. L'édition du texte arabe et la traduction en français sont l'œuvre d'un débutant surtout intéressé par les questions mathématiques. Le commentaire mathématique (p. 201-295) tient donc une place qui m'est chère ; mais j'y ai seulement analysé la « théorie planétaire » contenue dans la première partie de la *Nihāya*¹.

En guise d'introduction, j'ai réuni ici quelques éléments concernant la tradition matérielle qu'il est impossible de séparer du contexte et de l'histoire ; j'indiquerai ensuite les conclusions générales qui se dégagent de mon étude.

1. ÉLÉMENTS BIOGRAPHIQUES

Comme souvent chez les savants anciens, il est difficile de rassembler suffisamment d'éléments pour tracer un portrait bien net d'Ibn al-Šāṭir². Né à Damas en 1306, il est recueilli après la mort de son père par un oncle qui lui enseigne l'art de ciseler l'ivoire ou la nacre. À l'âge de dix ans, il se rend au Caire et à Alexandrie où il étudie l'astronomie. Il construit des instruments mathématiques (quadrants³), des cadrans solaires, et des astrolabes⁴. Il y a à l'Observatoire de Paris un astrolabe qu'il aurait construit en 1326 : il avait alors seulement vingt ans⁵. Un contemporain a

¹ On rencontrera deux autres titres commençant par le même mot, mais le titre abrégé *Nihāya* désignera toujours la *Nihāya al-sūl fī taṣḥīḥ al-ʿuṣūl* d'Ibn al-Šāṭir.

² Pour le présent paragraphe, mes principales sources sont Wiedemann (1928) et King (1975).

³ Voir Schmalzl, 1929, p. 100-108.

⁴ Outre l'astrolabe de l'Observatoire de Paris mentionné ci-après, il y a eu un astrolabe d'Ibn al-Šāṭir dans les collections de la Bibliothèque nationale de France. Il est décrit par L. A. Sédillot qui le date de 1337 (Sédillot, 1841, p. 191-194) ; mais cet astrolabe, d'ailleurs incomplet, aurait rejoint la collection Hariri du Musée d'Art Islamique du Caire dans les années 1920. Je remercie Catherine Hofmann, conservatrice du département des cartes et plans de la Bibliothèque nationale de France, pour cette dernière information qu'elle tient d'un ouvrage d'A. Turner (2018, p. 324). Une photographie figure dans King, 2004-2005, t. 1 p. 729 fig. 8.2.

⁵ Observatoire de Paris, numéro d'inventaire 1, ancienne cote 14-1. Il en existe une bonne photographie dans le catalogue informatisé. Est gravé au dos de l'astrolabe : *ṣanaʿahu ʿalā b. ibrāhīm b. muḥammad b. ʿabī muḥammad b. ibrāhīm sana sitta wa-ʿiṣrūn wa-sabʿa-miʿa*. D. A. King a fait l'analyse détaillée de cet instrument (King, 2004-2005, t. 2 p. 692-693).

décrit un astrolabe automatique qu'Ibn al-Šāṭir exposait dans sa propre demeure⁶. *Muwaqqit* à la Mosquée de Damas, chargé de calculer les heures des prières⁷, il y a aussi construit un grand cadran solaire horizontal à style incliné, daté de 1371, endommagé puis reconstruit presque à l'identique au XIX^e siècle, « le cadran solaire le plus sophistiqué de la période médiévale » selon David A. King⁸. Ibn al-Šāṭir meurt vers 1375 à Damas.

Outre des ouvrages sur les instruments mathématiques et les astrolabes, il est l'auteur de quatre traités d'astronomie théorique dont l'ordre de rédaction devait être le suivant :

– *Nihāya al-ġāyā fī 'a'māl al-falakiyyāt*, ouvrage aujourd'hui perdu qui aurait été un *zīğ* (recueil de tables astronomiques) strictement ptoléméen⁹ ;

– *Ta'līq al-'arṣād*, le « Commentaire des observations », ouvrage aujourd'hui perdu dans lequel Ibn al-Šāṭir aurait consigné des observations astronomiques et en aurait déduit de nouveaux modèles ;

– *Nihāya al-sūl fī taṣḥīḥ al-'uṣūl*, objet de la présente édition. Y sont décrits de nouveaux modèles astronomiques ; c'est un ouvrage d'exposition dans la tradition des *kitāb al-hay'a*. Les démonstrations en sont absentes ; Ibn al-Šāṭir renvoie pour cela au *Ta'līq al-'arṣād* ;

– *Al-zīğ al-ġadīd* : un *zīğ* construit au moyen des modèles décrits dans la *Nihāya*. De nombreuses copies sont conservées¹⁰.

Que retenir de ces quelques repères biobibliographiques ? Tôt astronome de métier, il ne faut pas chercher en Ibn al-Šāṭir la figure du savant universel qu'on trouverait chez un Bīrūnī ou un Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī. Son œuvre théorique se résume peut-être aux quatre ouvrages mentionnés ci-dessus. Plusieurs traces témoignent de son intérêt pour ces modèles mécaniques des cieux que sont les astrolabes ; ce sont

⁶ Dans la traduction de Sauvaire (1896, t. 2 p. 263), l'historien al-Šafadī contemporain d'Ibn al-Šāṭir rapporte : « Je l'ai vu plus d'une fois et suis entré dans son logis au mois de *ramaḍān* de l'année 743 (= 1345), pour examiner l'astrolabe qu'il avait inventé. Je trouvai qu'il l'avait placé dans la verticale d'un mur, dans sa demeure [...]. Cet astrolabe, qui avait la forme d'une arcade [...] mesurait trois quarts de coudée environ ; il tournait toujours, continuellement, le jour et la nuit, sans sable, ni eau, suivant les mouvements de la sphère céleste, mais il l'avait réglé sur des dispositions particulières. Cet instrument faisait connaître les heures égales et les heures de temps. »

⁷ Sur l'office de *muwaqqit*, voir l'excellente étude de King (2004). Sur les tables préparées par Ibn al-Šāṭir pour cet usage, voir King, 1978, en particulier p. 79.

⁸ King, 2004-2005, t. 2 p. 85. Louis Janin en a donné une description en 1972, réimpr. in Kennedy, Ghanem, 1976, p. 108-121 ; une photographie de la pierre dédicatoire est à la p. 72, un dessin à l'échelle de la copie d'al-Ṭantāwī (1873) à la p. 112, et une photographie du style p. 111.

⁹ D'après la description qu'en donne Ibn al-Šāṭir lui-même dans *Al-zīğ al-ġadīd*.

¹⁰ Une description précise de ce *zīğ* est donnée par Kennedy (1956). Voir aussi Nicoll, Pulsey, 1835, p. 250-257 et notes additionnelles p. 539-540.

aussi des instruments d'observation, et il est assez remarquable que l'observation soit le sujet d'un de ces titres, hélas perdu.

2. LES MANUSCRITS DE LA *NIHĀYA*

Voici les manuscrits dont j'ai connaissance :

– A (ʿalif, أ dans l'apparat critique en arabe) : Oxford, Bodleian Library, Marsh 139. Il compte 64 feuillets. Le colophon indique qu'il a été copié en 768 (= 1366). La page de titre désigne l'auteur comme suit : *al-ṣayḥ al-imām abū al-ḥasan ʿalī b. ibrāhīm b. muḥammad b. al-ḥumām abī muḥammad b. ibrāhīm b. ʿabd al-raḥman al-anṣārī al-muwaqqit bi-al-ḡāmi ʿ al-ummawiy al-maʿrūf bi-ibn al-ṣātir* ;

– B (ب) : Oxford, Bodleian Library, Marsh 290, 63 feuillets. Une date, 941 (= 1535), est indiquée f. 1r ;

– Ğ (ج) : Oxford, Bodleian Library, Marsh 501, 71 feuillets. La page de titre indique qu'il a été copié en 984 (= 1577). Les marges sont annotées de deux écritures : l'une ressemble à celle du copiste, l'autre est maladroite mais c'est celle d'un bon calculateur (on voit qu'il a corrigé les mouvements moyens dans le chapitre I.10 sur la Lune) ;

– D (د) : Oxford, Bodleian Library, Hunt 547. Ce sont les f. 21 à 65 d'un codex¹¹ datant de 979 (= 1571). Les portions inférieures des f. 26r-30v manquent : ces feuillets ont dû être endommagés lors d'un incendie ;

– H (ه) : Bibliothèque de Leyde, Or 194, 101 feuillets, sans date ;

– F : Bibliothèque Nationale d'Égypte, Taymur 154, 74 pages, abîmé, date d'environ 1325 (= 1907), et ne contient que les onze premiers chapitres de la première partie¹² ;

– S (س) : Istanbul, Bibliothèque Süleymaniye, 339, 70 feuillets, date de 751 (= 1349), selon le catalogue Internet de la bibliothèque. Saliba affirme qu'il s'agit d'une première version de la *Nihāya*, différente de celle des autres manuscrits existant¹³ ;

– Q (ق) : Jérusalem, Bibliothèque Ḥālidiyya, 992 / 1-2, 64 feuillets. Comme King (1975) l'indique, ce manuscrit est bien une copie de la *Nihāya*. Al-Juʿbeh (2006, mss 1883 et 1884) estime que cette copie date du XI^e siècle (= XVII^e). De nombreux calculs sont annotés en marge des f. 16v-19v ;

– T (ت) : Téhéran, Bibliothèque Sipahsalar, 598, 46 feuillets¹⁴. Les pages ont

¹¹ Ce codex est décrit par Uri (1787, codex CMXX p. 200).

¹² Ces informations proviennent du catalogue de King (1981-1986, t. I, p. 595 ; t. II, 1/2/15, p. 35).

¹³ Saliba, 1990, p. 36. Dans Rashed, 1997, p. 115, Saliba indique en effet quelques différences notables concernant le chapitre sur la Lune.

¹⁴ Voir l'entrée *Nihāya al-suʿūl fī taṣṣīḥ al-ʿuṣūl* dans Derayati, 2010, vol. 10, p. 769.

été numérotées à partir du f. 1v (p. 1) jusqu'au f. 46r (p. 90). Le colophon indique qu'il a été copié en 935 (=1528) ;

– G (گ) : Mašhad, Bibliothèque Goharšad, 1409, 116 feuillets¹⁵. Les pages sont numérotées par centaines (p. 1 = f. 1v, p. 100 = f. 51r, p. 200 = f. 101r, mais le numéro 200 est répété f. 102r). Le colophon indique que ce manuscrit est une copie de T réalisée en 1275 (= 1858) ;

– Y : Balikesir İl Halk Kütüphanesi, Dursunbey 54. Ce manuscrit que je n'ai pas consulté date de 1075 (= 1664) selon Nikfahm-Khubravan, Ragep (2019, p. 51).

Je n'ai eu accès qu'à A, B, Ğ, D, H, S, Q, T et G. J'ai établi le texte des onze premiers chapitres de la partie I sur la base de ces neuf manuscrits ; mais je n'ai finalement retenu que A, Ğ, D, S dans l'apparat critique de cette édition, ainsi que Q pour les portions de texte absentes dans S. On trouvera néanmoins la foliotation des neuf manuscrits dans l'apparat de mon édition, de sorte qu'un retour au manuscrit sera toujours aisé.

Je n'avais d'abord eu connaissance que de A, B, Ğ, D et H. Ces cinq manuscrits ne présentent aucune différence cruciale pour l'interprétation. Pour mieux les caractériser, je m'attacherai surtout aux omissions, qui sont toujours courtes. H en commet de nombreuses¹⁶, parfois par saut du même au même. B présente des signes de ressemblance avec H : certaines omissions de B sont aussi commises par H mais corrigées par des ajouts en marge de H¹⁷. Il est difficile d'en tirer une conclusion concernant la relation entre B et H car il arrive qu'une omission dans B ne soit pas commise dans H¹⁸. Bien que B commette beaucoup moins d'omissions que H, il présente certains signes de gaucherie qui m'ont finalement conduit à le négliger¹⁹.

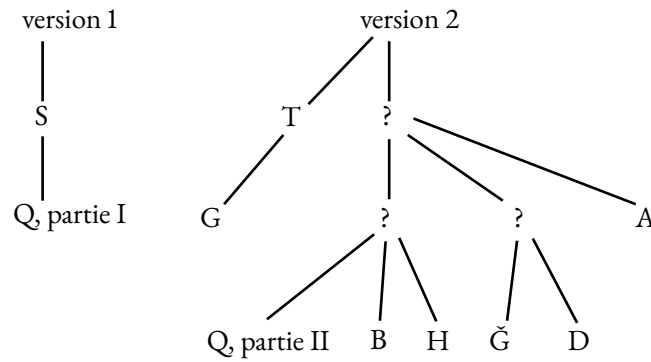
¹⁵ Voir *ibid.*, vol. 10, p. 769. Le catalogue de la bibliothèque Goharšad (Fazil, 1985, vol. 4, p. 1990-1992) donne une description du contenu chapitre par chapitre.

¹⁶ Dans les notes suivantes, on donnera quelques exemples des omissions décrites. Une référence de la forme I.4.14 renvoie, dans mon édition, au 14^e paragraphe du 4^e chapitre (*bāb* ou *faṣl*) de la I^{re} partie (*maqāla*). Ainsi, parmi les nombreuses omissions commises par H, on a : en I.4.14, *wa-al-ḥafīyy min falak al-burūğ* ; en I.8.16, *'alā bu'dihā min markaz al-'ālam ... fi bu'dihā al-'awsaṭ* ; en I.9.22, *z m wa-huwa ma'a al-'awwal*, où les lettres soulignées désignent un nombre en notation sexagésimale (surlignées dans l'édition en arabe) ; en I.25.8, *wa-al-danab ba'da al-'awğ bi-rub' dawr* ; en I.25.17, *'ilā ṭalāt-mi'a wa-sittīn*. Puisque je n'ai pas retenu H pour mon édition, ces omissions ne seront pas mentionnées dans l'apparat critique.

¹⁷ Ainsi en I.1.5, *mutasāwiya wa-'ida qāma ... fa-'immā 'an yubdiṭu zāwiyatayn* ; en I.3.1, *tis'a* (un seul mot) ; mais toutes les omissions n'ont pas été corrigées, ainsi en I.0.32, *lil-kawākib*.

¹⁸ Rarement, ainsi en I.11.2, *ta'ādīl* (un seul mot).

¹⁹ Ainsi en I.0.11, *'in lam yufāriqhu ... wa-'in fāraqahu*, où B et H commettent un contre-sens (corrigé en marge de H) en inversant les deux négations ; en I.3.6, où B et H ajoutent les deux mots *sitt dawā'ir* qui nuisent au sens, après la 2^{de} occurrence de *mutasāwiya* (dans H, les deux mots ont ensuite été barrés) ; en I.6.2, encore un contre-sens par l'inversion de *ğiha wāḥida* et *ğihatayn*, dans l'avant-dernière phrase du paragraphe, contre-sens qui cette fois-ci est pire dans H, car mal

FIG. 1 : *Stemma*

Plusieurs omissions sont propres à Ğ et D²⁰ ; certaines ont toutefois été corrigées dans Ğ, en marge²¹. Je n'ai pas trouvé d'omission propre à D, mais l'écriture y est parfois difficilement lisible ; c'est pourquoi j'ai aussi retenu Ğ qui présente pourtant d'autres omissions en sus de celles partagées avec D²². De rares omissions²³ propres à B, Ğ, D et H, et non commises par A, n'ont pas suffi à me convaincre que B, Ğ, D et H auraient un ancêtre commun non partagé avec A. Sauf une exception²⁴, je n'ai repéré aucune omission propre à A. Tous ces indices renvoient à une partie du *stemma* de la figure 1.

J'ai ensuite pris connaissance de S, Q, T et G. La révision qui s'en est suivi n'a pas beaucoup changé ce *stemma*. Le manuscrit S est, comme l'affirme Saliba, une première version de la *Nihāya*, différente de celle véhiculée dans A, B, Ğ, D, H, T et G. Elle ne contient que la partie I ; mais cette version ne diffère pas de manière

corrigé. Comparées à A, Ğ et D, les figures dans B et H sont aussi d'une qualité assez pauvre : ainsi aux figures 1 et 2, B et H commettent plusieurs erreurs concernant la position des orbes du Soleil dans les quadratures et les octants, et même à l'auge dans H.

²⁰ Ainsi : en II.1.22, *n-d wa-kasr wa-yablağ 18 sã'a haytu al-'ard* ; en II.12.5, *'anhu wa-kull balad yakün tūluhu 'aktar min tūl makka fa-makka*. La figure des trajectoires des centres des orbes de Mars (fig. 9) est aussi omise par Ğ et D seulement.

²¹ Ainsi en II.12.5, *wa-min sãhil al-baħr sab'a wa-sittūn ġuz'an wa-suds ġuz'*. En I.7.10, une longue omission par saut du même a été corrigée en marge de Ğ (*al-šams wa-sumkuhã talãt wa-'arba'ün daqīqa wa-muħaddabuhu mumass li-muqa'ar mumattil*) ; dans D, la portion correspondante du texte a été détruite par l'incendie, mais, à en juger par l'espace disponible, il est presque certain que le copiste avait omis le même passage.

²² Ainsi : en I.10.4, *talãt-mi'a wa-ħamsa wa-sittūn yawman ... wa-talãta 'aħmãs talīta wa-ħiya* ; en I.11.5, *alladī huwa w l-h* ; en I.11.11, *'a'nī al-ğayr mu'addala*.

²³ Ainsi : en I.5.14, *'abadīyy al-żubūr 'aw al-ħafã' ... ba'da 'an kãna* (longue omission par saut du même au même) ; en I.9.19, *ğayr mutašãbiħa bal taħtalifu*. Ces deux omissions sont aussi commises par G et T.

²⁴ En I.28.8, *baynanã 'ay* (omission aussi commise par S).

essentielle de celle véhiculée dans la partie I des sept autres manuscrits, sauf pour le chap. 9 (sur la Lune). Quant à Q, sa partie I est un second témoin de cette « première version », corrompu par quelques omissions²⁵. La partie II de Q est entachée de plusieurs omissions conséquentes²⁶. Je projette d'éditer un jour séparément la première version du chapitre I.9, transmise par S et Q. Dans la présente édition de I.9, je n'ai donc retenu que la version transmise par les sept autres manuscrits.

Le manuscrit T (et donc G qui en est une copie) offre de rares éléments qu'omettent tous les autres manuscrits²⁷ ; mais, en ayant eu connaissance tardivement, je ne l'ai pas retenu dans mon appareil critique.

D. A. King mentionne que V. Roberts avait préparé une édition et une traduction anglaise de la *Nihāya* qui n'ont pas été publiées²⁸. G. Saliba a indiqué, il y a trente ans, que sa propre édition critique serait bientôt prête²⁹, mais elle ne l'est pas encore ; quand elle verra le jour, étant l'œuvre d'un spécialiste y ayant consacré tant d'années, cette édition révélera sans doute bien des choses qui m'ont échappé.

Ibn al-Šāṭir mentionne à deux reprises une « troisième partie » contenant des tables³⁰, mais ceci ne figure pas dans le plan donné en introduction. Ce qui n'était peut-être qu'un projet lors de la rédaction des deux premières parties aurait pu ensuite évoluer en l'ouvrage intitulé *Al-zīğ al-ğadīd*. Fuad Abbud a montré en 1962 que les tables dans *Al-zīğ al-ğadīd* peuvent être calculées au moyen des modèles de la *Nihāya*³¹. Certains de ses calculs me semblent erronés, mais la conclusion semble juste. J'indiquerai dans mon commentaire le moyen de calculer les tables comme l'explique Ibn al-Šāṭir dans la *Nihāya* et j'en donnerai des extraits qui se révèlent comparables aux résultats de Fuad Abbud et aux valeurs échantillonnées par lui dans *Al-zīğ al-ğadīd*.

²⁵ Ainsi : dans la préface, *'aḥwāl al-'ağrām* ; en I.4.12, *fawqa al-'ard* ; en I.5.4, *ḥayya al-ḥawwā'*, ainsi que *wa-al-faras*.

²⁶ Ainsi : en II.1.11, *ğazīra Tūlā wa-'ablubā yaskunūna ... alladī 'ardubu s-d ġuz'an* ; en II.1.14-15, *wa-al-'ard 'arba' wa-'iṣrīn dārāğā wa-nisf wa-suds ... talāt 'asara sā'a wa-nisf* (par saut du même au même) ; en II.1.21, *al-'iqlīm al-sādis ... wa-al-ğālib 'alā lawn 'ablibi al-ṣuqra wa-fī al-'iqlīm* (par saut du même au même).

²⁷ T et G introduisent le paragraphe I.5.5 par la phrase suivante, omise des autres manuscrits : *wa-al-ṣuwar allatī 'alā al-minṭaqa wa-biya ṣuwar al-burūğ*. En I.5.7, après *ra's al-ğabbār*, T et G précisent ceci qui est absent des autres manuscrits : *wa-tusammā al-ḥaq'a*. En I.7.15, T et G ajoutent un *wa-allāh 'a'lam* au milieu du paragraphe.

²⁸ King, 1975, p. 362, note 1.

²⁹ Saliba, 1987.

³⁰ I.31.49 et II.1.30.

³¹ Kennedy, Ghanem, 1976, p. 73-80.

3. LES CONCEPTS D'ORBE ET DE MOUVEMENT

En 1959, Kennedy et Roberts, citant Voltaire, enjoignaient les historiens de l'astronomie à « cultiver leur jardin » et ils esquisaient les linéaments d'un programme de recherche *on the general topic of late medieval planetary theory* centré autour de l'œuvre d'Ibn al-Šāṭir et des auteurs qu'il avait lus.

Parmi ces auteurs, les collaborateurs de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī à l'observatoire de Marāḡa (XIII^e siècle) jouent un rôle prépondérant. Ces auteurs sont mieux connus aujourd'hui qu'ils ne l'étaient en 1959, spécialement grâce aux travaux de Ragep sur al-Ṭūsī (al-Ṭūsī, 1993) et de Saliba sur al-'Urḏī (Saliba, 1990), et c'est surtout par rapport à eux que j'ai essayé de situer Ibn al-Šāṭir.

Les modèles planétaires de ces auteurs reposant tous exclusivement sur des mouvements de rotation uniforme, je les ai tous décrits et comparés dans mon commentaire mathématique, dans un langage géométrique moderne, au moyen de rotations affines de l'espace.

Chez ces auteurs, il n'y a, à proprement parler, aucune théorie mathématique du mouvement. On ne connaît pas encore de suite aux débuts d'une théorie cinématique que constituait la « Configuration des mouvements » d'Ibn al-Haytham au XI^e siècle. Comparée à la *Tadkira* de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, la *Nihāya* d'Ibn al-Šāṭir témoigne pourtant d'une légère inflexion.

Dans l'introduction philosophique de la *Nihāya*, Ibn al-Šāṭir mentionne deux doctrines. L'une classe les mouvements ainsi :

1. chose mue par soi
 - (a) volitif (animaux)
 - (b) naturel
 - I. qui ne procède pas d'une manière unique (plantes)
 - II. qui procède d'une manière unique
 - A. rectiligne (éléments et composés)
 - B. circulaire (orbes)
2. chose mue par autre chose
 - (a) par accident
 - (b) violent

L'autre doctrine conduirait à la classification suivante :

1. chose mue par soi
 - (a) volitif
 - I. qui ne procède pas d'une manière unique (animaux)
 - II. qui procède d'une manière unique (orbes)
 - (b) naturel
 - I. qui ne procède pas d'une manière unique (plantes)

- II. qui procède d'une manière unique (éléments et composés)
 - 2. chose mue par autre chose
 - (a) par accident
 - (b) violent
- Al-Ṭūsī a suivi cette seconde doctrine quand il classe les mouvements ainsi ³² :
- 1. chose mue par soi
 - (a) qui ne procède pas d'une manière unique, et qui a une âme
 - I. animaux
 - II. plantes
 - (b) qui procède d'une manière unique, et qui a une nature
 - I. naturel (éléments)
 - II. volitif (orbes)
 - 2. chose mue par autre chose
 - (a) par accident
 - (b) violent

Le mouvement d'un orbe est-il naturel ou volitif? C'est seulement sur ce point que les deux doctrines diffèrent. Ibn al-Šāṭir ne tranche pas entièrement cette question ; il semble opter pour le mouvement naturel, mais il s'écarte probablement des autres tenants de cette doctrine en affirmant que le mouvement des astres est « simple-composé » et que les orbes eux-mêmes sont des corps « composés ».

Le mouvement individuel d'un orbe est un mouvement circulaire uniforme, donc simple en soi, mais composé avec le mouvement des orbes qui l'entraînent. Ainsi ce mouvement présente, du point de vue de l'observateur (qui ne voit jamais qu'un seul mouvement), un caractère « variable » et non uniforme, comme le dit Ibn al-Šāṭir. C'est, en tant que tel, un mouvement composé ; mais il faut se garder de croire que, dans cette physique, la composition des *mouvements* ressemblerait à l'immixtion des *éléments simples* dans les corps composés ³³. Il est impossible à l'observateur de distinguer ces deux phénomènes dans le mouvement : le mouvement simple (naturel ou volitif) propre à l'orbe, et les mouvements (par accident) que lui communiquent les orbes qui l'entraînent. On peut donc bien parler d'un mouvement à la fois simple et composé ³⁴. Chaque mouvement simple, en tant que composé avec d'autres mouvements communiqués au mobile « par

³² Cf. al-Ṭūsī, 1993, p. 100.

³³ Selon Aristote, dans un mixte composé de deux corps, « le résultat du mélange étant en acte autre que [les corps qui ont été soumis au mélange], mais étant encore, en puissance, l'un et l'autre [...], les mélanges proviennent manifestement d'éléments antérieurement séparés et pouvant se séparer de nouveau » (*De la génération et de la corruption* I 10, voir Aristote, 2005, p. 47).

³⁴ Ibn al-Šāṭir insiste sur l'impuissance phénoménologique de l'observateur dans le sixième chapitre de la première partie (en I.6.1).

accident », devient ici une entité nouvelle, un mouvement encore simple, mais « simple-composé » (et non plus circulaire uniforme), et c'est ce mouvement dont l'observateur est témoin. Seule la description mathématique permettra de distinguer les composantes des mouvements des astres.

Si le concept de mouvement « simple-composé » gagne en réalité, c'est d'ailleurs au détriment du concept d'« orbe » qui semble perdre en substance. L'astronome se garde bien de trancher sur l'essence des orbes, et le texte semble même souligner l'ambiguïté du concept. Le mot *falak* est employé dans trois sens distincts : c'est (rarement) *les cieux* c'est-à-dire l'ensemble des corps célestes vus d'ici-bas³⁵, c'est bien plus souvent *un corps solide* à symétrie sphérique, et parfois simplement *un cercle géométrique* trajectoire du centre d'un tel corps solide au sein d'un autre corps solide. Chaque chapitre contenant un modèle planétaire utilise les deux dernières acceptions avec en général deux figures, l'une représentant les sections des corps solides sphériques, l'autre représentant les trajectoires des centres des sphères³⁶. Le caractère impénétrable des orbes solides impose certaines contraintes cosmologiques qu'Ibn al-Šāṭir ne se prive pas de mettre à profit³⁷ pour déterminer la taille minimale du Monde et l'ordre des planètes ; mais si le concept d'orbe solide semble avoir sa préférence, c'est surtout parce qu'il joue le rôle d'un *référentiel solide en mouvement*, rôle essentiel dans les chapitres sur les mouvements en latitude par exemple³⁸.

4. LES EXCENTRIQUES

Si les savants de Marāḡa semblent avoir ignoré la naissance d'une cinématique céleste entre les mains d'Ibn al-Hayṭam, ils ont pourtant poursuivi la remise en cause de l'astronomie de l'*Almageste* que celui-ci avait proposé dans un autre livre, ses « Doutes sur Ptolémée » (*Šukūk 'alā Baṭlamyūs*). La question des excentriques, du point équant et du point de prosneuse était le principal chef d'accusation contre l'astronomie de Ptolémée.

Concernant les excentriques, la position d'Ibn al-Šāṭir semble être encore plus sévère que celle de ses prédécesseurs : il refuse catégoriquement les excentriques, mais ce refus se révèle plus subtil qu'il n'y paraît. Tentons de mieux cerner le problème en raisonnant d'abord par élimination.

Pour simplifier, je me limiterai ici aux mouvements en longitude. Un orbe est alors un cercle portant un point, par exemple une planète P, qui suit ainsi une trajectoire circulaire autour du centre de l'orbe. Soit O le centre du Monde et O₁ le

³⁵ Ainsi en I.15.5.

³⁶ Voir par exemple les figures 1 et 2 pour le Soleil.

³⁷ Dans la conclusion de la première partie (chapitre I.31).

³⁸ Voir les chapitres I.24-25 et mon commentaire p. 202.

centre d'un orbe « excentrique » portant un point P. Alors $O_1 \neq O$. On notera aussi, sur ce cercle, l'auge A dans la direction du point O_1 . Je distinguerai quatre configurations possibles.

Cas 1. O_1 et A sont immobiles, et le mouvement de P le long du cercle de centre O_1 est à vitesse angulaire constante par rapport à O (voir fig. II (a), p. 13).

Cas 2. O_1 et A sont immobiles, et le mouvement de P le long du cercle de centre O_1 est à vitesse angulaire constante par rapport à O_1 .

Cas 3. O_1 est mû autour de O, et ce mouvement entraîne tout l'orbe excentrique et l'auge A. La planète P est mue le long du cercle de centre O_1 , mais sa vitesse angulaire par rapport à O_1 n'est pas constante. Voir fig. II (c).

Cas 4. O_1 est mû autour de O, et ce mouvement entraîne tout l'orbe excentrique et l'auge A. La planète P est mue le long du cercle de centre O_1 , à vitesse angulaire constante par rapport à O_1 .

Les astronomes de Marāga puis Ibn al-Šāṭir refusent d'emblée les cas 1 et 3 qui contiennent un mouvement circulaire *non uniforme* par rapport au centre du cercle : et Ibn al-Šāṭir de nous dire qu'à ce compte, autant imaginer pour chaque planète un unique orbe centré en O et l'emportant dans son mouvement irrégulier³⁹, avec ses accélérations, rétrogradations, etc. Si l'on admettait des mouvements circulaires non uniformes, il ne serait plus besoin d'orbites multiples, d'excentrique, ni d'épicycle : un orbe par planète suffirait ! C'est pour cette raison purement méthodologique qu'Ibn al-Šāṭir refusera systématiquement tout mouvement circulaire non uniforme.

Qu'en est-il du cas 2 ? Si l'on fait abstraction du mouvement diurne⁴⁰, Ptolémée concevait ainsi l'excentrique portant le Soleil qu'il jugeait exempt du mouvement de précession. Il n'est pas question ici de mouvement circulaire non uniforme. Comme les astronomes arabes, depuis le IX^e siècle, imposent aussi au Soleil le mouvement de précession et le mouvement de l'auge, ce cas 2 n'est plus présent dans les textes d'astronomie, et il est donc difficile de deviner les objections qu'Ibn al-Šāṭir aurait adressées à une telle configuration. L'exercice en vaut pourtant la peine. Il me semble que l'astronome d'alors aurait pu répondre en invoquant le premier principe physique mentionné en I.0.10 dans l'introduction de la *Nihāya* :

Premier principe. Le vide est impossible, et dans les orbites, le repos est impossible.

Il aurait fait objection que l'orbe portant l'orbe excentrique ne peut être immobile. L'existence même d'un orbe *fixé* dans une position dissymétrique par rapport au centre du Monde est une brèche à la « perfection de la circularité ». Cette brèche ne peut être compensée qu'en rompant cette fixité, en faisant l'auge et tout l'excentrique se mouvoir d'un mouvement de révolution autour du centre du Monde : on rétablit

³⁹ Voir I.0.18.

⁴⁰ Qui entraîne le point O_1 et l'auge A en un tour toutes les vingt-quatre heures autour de O.

ainsi une sorte de symétrie dynamique. On élimine ainsi le cas 2. D'ailleurs, le cas 1 déjà éliminé tombe aussi sous cette objection.

Toutefois, une telle configuration avec un excentrique où l'auge est immobile, et le point P en révolution uniforme par rapport à O_1 , est cinématiquement équivalente, quant à la trajectoire de P, à un modèle à deux orbes dont l'un, centré en O, entraîne un autre petit orbe portant P : il suffit que le petit soit animé d'un mouvement de rotation sur lui-même dont la vitesse angulaire est l'opposé de la vitesse angulaire du grand orbe⁴¹. Ibn al-Šāṭir et tous les astronomes depuis Ptolémée en étaient conscients. Ne faisant intervenir ni mouvement circulaire non uniforme, ni excentrique, ni repos, un tel modèle serait parfaitement légitime au yeux de l'astronome d'alors.

Qu'en est-il du cas 4 (fig. II (c)) ? Cette configuration ressemble beaucoup à la configuration à deux orbes, déférent et épicycle, que l'on vient de décrire : un orbe meut le point O_1 circulairement autour de O, et un autre orbe meut le point P circulairement autour de O_1 . On parle d'« épicycle » quand le rayon de l'orbe de P est suffisamment petit pour que cet orbe ne contienne pas le point O, et on parle d'« excentrique » dans le cas contraire.

Voici une objection possible au cas 4. Le point O tombe à l'intérieur de l'orbe de P, mais l'orbe de P doit être conçu comme un corps solide dès lors qu'un autre orbe l'entraîne dans un mouvement circulaire uniforme autour de O. Ce corps solide, fait d'éther, doit cependant enclore une cavité puisqu'au centre du Monde se trouve peut-être d'autres orbes – au moins la Terre. Cette cavité doit être centrée en O – si elle était centrée en O_1 , il y aurait du vide en son sein, puisque les orbes inférieurs et la Terre sont à symétrie sphérique de centre O. N'étant donc pas centrée en O_1 mais en O, cette cavité semble empêcher tout mouvement de rotation de l'orbe de P sur elle-même au sein du référentiel constitué par l'orbe portant l'orbe de P (voir fig. II (e)) ; car la substance de l'éther était certainement conçue comme impénétrable. Chez les prédécesseurs d'Ibn al-Šāṭir, la solution était d'imaginer une cavité centrée en O_1 , et de remplir le vide intermédiaire au moyen d'un autre orbe, ou d'une autre composante connexe de l'orbe portant l'orbe excentrique (voir fig. II (f)), compliquant ainsi davantage la hiérarchie des corps célestes⁴². Mais Ibn al-Šāṭir ne semble jamais s'inquiéter d'un tel problème.

Si l'orbe de P est un « excentrique », on peut échanger les rayons des deux orbes et obtenir ainsi une configuration cinématiquement équivalente quant à la trajectoire du point P, mais dans laquelle l'orbe de P est un petit orbe de rayon inférieur au

⁴¹ Voir fig. II (b) p. 13, et prop. 1 p. 201 *infra*.

⁴² D'ailleurs, si le repos est impossible dans les orbes, comment expliquer que ces deux composantes connexes sont immobiles l'une par rapport à l'autre ?

rayon de l'orbe le portant : il ne contient plus le point O (voir fig. II (c) et (d)). En général, c'est la situation de la fig. II (d) qu'on rencontrera dans les modèles d'Ibn al-Šāṭir.

Pourquoi Ibn al-Šāṭir refuse-t-il donc l'excentrique du cas 4 ? Aussi étrange que cela puisse paraître, dans la *Nihāya*, on ne trouve aucune raison générale justifiant un tel refus par un recours aux principes de la philosophie naturelle.

Résumons le problème. On rencontrait le cas 3 dans tous les modèles planétaires de Ptolémée⁴³. Les astronomes de Marāḡa étaient parvenus à remplacer, dans chaque modèle ptoléméen, l'excentrique de la fig. II (c), dont le mouvement n'est pas uniforme par rapport à O₁, par un déférent en rotation uniforme par rapport à son centre. Pour ce faire, il faut changer la position de O₁, adjoindre un épicycle, etc. : je décrirai ces modèles dans mon commentaire, et ils relèvent du cas 4. Ibn al-Šāṭir, quant à lui, préfère toujours une solution usant de la fig. II (d) *sans excentrique*, même quand elle est cinématiquement équivalente à la fig. II (c). Pourquoi ?

G. Saliba a qualifié une telle attitude de « purisme⁴⁴ ». Ragep a récemment remarqué que cette attitude conduit, dans le cas de Mercure et Vénus, à des modèles où le centre de l'épicycle est, vu de la Terre, dans la direction du Soleil moyen, et que ce « biais héliocentriste » des modèles d'Ibn al-Šāṭir rendait davantage plausible l'hypothèse d'une transmission entre l'astronomie arabe et la science de Copernic⁴⁵ ; mais il concède lui-même que ce jugement *a posteriori* ne peut valoir comme explication d'une telle préférence dans l'esprit du savant du quatorzième siècle.

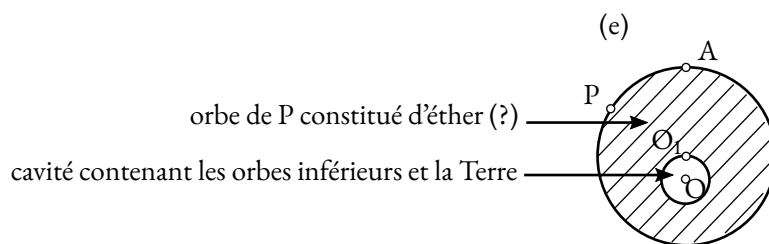
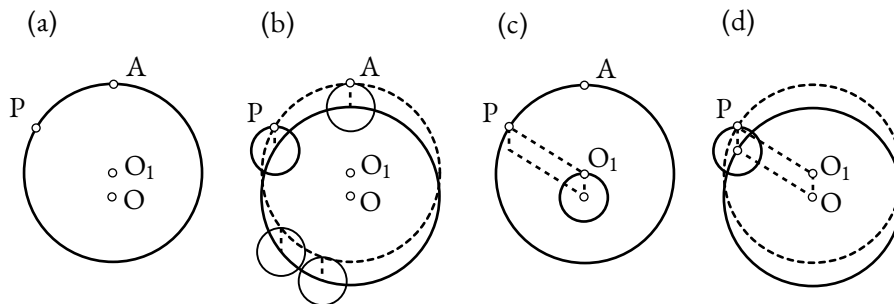
Qu'il me soit permis de formuler une conjecture : *quand Ibn al-Šāṭir reproche aux savants de Marāḡa leurs modèles usant de la fig. II (c), c'est en fait la démonstration de ces modèles qui est l'objet du reproche.*

Quand les auteurs de Marāḡa démontrent, ils le font en prouvant que le mouvement décrit par l'astre dans leur modèle est *proche* du mouvement décrit par l'astre

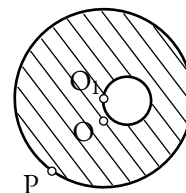
⁴³ Sauf le Soleil mentionné dans le cas 1.

⁴⁴ Saliba, 1990, p. 66.

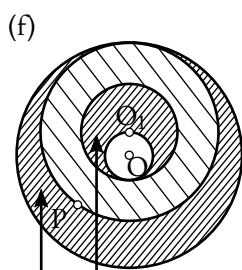
⁴⁵ Voir Ragep, 2016. Sur cette thématique du rapport à Copernic qui a peu occupé mon attention une longue littérature existe déjà, et cet article en constitue certainement le meilleur point d'entrée. Les faits importants sont dans Swerdlow, 1984 : (1) le modèle des planètes supérieures du *Commentariolus* de Copernic est identique au modèle d'Ibn al-Šāṭir après changement d'origine ; (2) le modèle des planètes supérieures du *De revolutionibus* est identique à celui d'al-'Urḡī (lui-même cinématiquement équivalent au modèle d'Ibn al-Šāṭir) ; (3) les modèles des planètes inférieures dans le *De revolutionibus* sont une adaptation facile de ceux d'Ibn al-Šāṭir ; (4) le modèle de la Lune du *Commentariolus* et du *De revolutionibus* est identique à celui d'Ibn al-Šāṭir (pas besoin de changer d'origine puisque la Lune tourne autour de la Terre). Ragep montre que les modèles des planètes inférieures du *Commentariolus* sont aussi une adaptation facile et cinématiquement équivalente des modèles d'Ibn al-Šāṭir (Ragep, 2016, p. 402 pour Vénus et p. 404-406 pour Mercure) ; enfin, il remarque que le « biais héliocentriste » des modèles d'Ibn al-Šāṭir a pu faciliter le passage à l'héliocentrisme de Copernic.



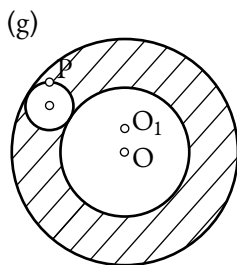
Dans le référentiel attaché à l'orbe portant l'orbe de P,
si l'orbe de P est en rotation autour de O_1 ,
après rotation d'un quart de tour :



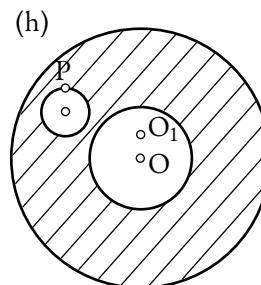
Impossible ! La Terre est en O...



deux composantes connexes
d'un même orbe
contenant l'orbe de P



solution économique pour (d)



la même chose
avec de la matière superflue
en deçà et au-delà de l'épicycle

FIG. II : Les apories de l'orbe excentrique

dans le modèle de Ptolémée. Ils le font au moyen de figures géométriques. Cette technique a d'ailleurs été reprise par les commentateurs modernes à partir de Kennedy ⁴⁶ dans leurs efforts pour comprendre la genèse des modèles planétaires.

Le point de départ heuristique et le garant final de vérité étaient le modèle géométrique ptoléméen dont les paramètres seulement étaient adaptés aux observations récentes. Ainsi Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, pour démontrer son nouveau modèle pour la Lune ⁴⁷, prouve que la trajectoire du centre de l'épicycle y est proche du cercle excentrique de Ptolémée : et Ibn al-Šāṭir lui reproche alors, avec raison, d'avoir conservé le concept d'excentrique !

Si cette conjecture est exacte, le projet d'Ibn al-Šāṭir était celui d'une reconstruction globale de l'astronomie, *en partant des données de l'observation*, et sans plus avoir recours aux modèles de l'*Almageste*. S'explique alors qu'il renvoie à un ouvrage intitulé « Commentaire des observations » pour la démonstrations de ses modèles. Le scénario imaginé par Saliba (1987) pour déduire le modèle du Soleil d'Ibn al-Šāṭir me semble appuyer cette hypothèse. Le sens qu'Ibn al-Šāṭir donne au mot « observation » n'est d'ailleurs pas ambigu : ses usages dans la *Nihāya* confirment qu'il s'agit toujours d'observer les positions des astres à une date donnée, ou bien leur diamètre apparent, ou encore des durées (d'une éclipse). C'est à peu près le concept moderne d'observation astronomique, sans toutefois la théorie des erreurs ni aucune réflexion approfondie sur la précision des mesures : il faudra attendre bien des siècles pour voir éclore de tels outils.

Cette conjecture que certains jugeront peut-être audacieuse s'est graduellement imposée à moi ; elle devrait gagner en plausibilité à la lecture du texte et du commentaire ; hélas, seul l'ouvrage perdu « Commentaire des observations » pourrait l'infirmier ou l'étayer pleinement.

⁴⁶ Cf. la figure dans Kennedy, Ghanem, 1976, p. 88 ; je l'ai reproduite en fig. xxxiv p. 263 *infra*. Je ne me priverai pas de tels outils que j'ai résumés dans les propositions 1, 2 et 3 de mon commentaire p. 201 *sq.* ; mais tandis que Kennedy et Roberts y voyait la commutativité de l'addition vectorielle, parfaitement comprise par Copernic et peut-être en gestation chez des savants comme Ibn al-Šāṭir (Kennedy, Ghanem, 1976, p. 60), il me semble que les travaux de ce dernier se situent à un autre niveau. Il s'agit de *composer des rotations affines spatiales*, geste autrement plus avancé qu'une simple addition vectorielle. Des recherches récentes ont montré qu'il n'est pas incongru de parler de transformations géométriques dans les mathématiques médiévales arabes dès le IX^e siècle. Voir l'usage des projections cylindrique et conique dans le *Traité sur l'astrolabe* d'al-Qūhī étudié par Rashed (2005) et Abgrall (2004) ; plus généralement, voir l'introduction de Rashed, 2004.

⁴⁷ C'est un modèle qui n'utilise pourtant aucun orbe excentrique au sens ci-dessus, voir fig. xx p. 236 *infra*.

5. ORIGINE DU MOUVEMENT DE L'ÉPICYCLE

Si l'excentrique est le principal chef d'accusation contre l'astronomie ptoléméenne, il y a un autre thème qui revient souvent dans les doutes exprimés par Ibn al-Šāṭir : le fait que « l'apogée de l'épicycle suit un point autre que le centre de l'orbe qui le porte ». Considérons un modèle contenant un orbe de centre P_1 portant un épicycle de centre P_2 , et l'épicycle portant à son tour un astre en P (voir fig. III p. 16). Les principes adoptés par Ibn al-Šāṭir imposent au point P_2 d'être immobile au sein de l'orbe centré en P_1 . Bien sûr l'orbe centré en P_1 est lui-même en rotation uniforme autour d'un axe passant par P_1 , et ce mouvement entraîne P_2 et l'épicycle. De même, l'épicycle est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe passant par P_2 , et ce mouvement est uniforme *par rapport au référentiel constitué par l'orbe centré en P_1* . Notons A l'apogée de l'épicycle sur la droite (P_1P_2) ; comme la direction (P_1P_2) est immobile au sein de l'orbe centré en P_1 , alors l'angle AP_2P doit croître uniformément. Mais il en est rarement ainsi dans les dispositifs proposés depuis Ptolémée pour sauver les phénomènes ! En général, l'origine A' du mouvement uniforme de P autour de P_2 oscille autour de A de sorte à rester alignée avec P_2 et un autre point N distinct de P_1 . Dans le deuxième modèle de la Lune dans l'*Almageste*, N est le centre du Monde, distinct du centre P_1 de l'excentrique portant l'épicycle⁴⁸. Dans le troisième modèle de la Lune, N est le point de *prosneuse*, distinct du centre de l'excentrique et du centre du Monde. Dans les modèles planétaires de l'*Almageste*, N est le point *équiant*, distinct du centre de l'excentrique et du centre du Monde.

On retrouve ici à peu près la même attitude que vis-à-vis des excentriques chez notre auteur. Par exemple, quand al-Ṭūsī conçoit un modèle à base de « couple de Ṭūsī curviligne » pour éliminer le problème du point de prosneuse de la Lune, Ibn al-Šāṭir lui reproche précisément d'avoir recours à l'excentrique *et* au point de prosneuse ! Mais là encore, la solution d'al-Ṭūsī consiste à offrir un modèle sans expliquer sa genèse, puis à montrer que son comportement est cinématiquement équivalent à celui de Ptolémée, au moins approximativement. Ce qui gêne Ibn al-Šāṭir, n'est-ce pas cette méthode démonstrative, en l'absence d'un exposé déduisant le modèle à partir de l'observation, dans un traité d'astronomie ?

6. POSSIBILITÉ MATHÉMATIQUE D'UNE NOUVELLE ASTRONOMIE

Si tel était le projet d'Ibn al-Šāṭir, il ne s'agissait plus d'imaginer un modèle reproduisant les effets d'une théorie géométrique transmise depuis douze siècles pour

⁴⁸ Voir Pedersen, 1974, p. 186-187.

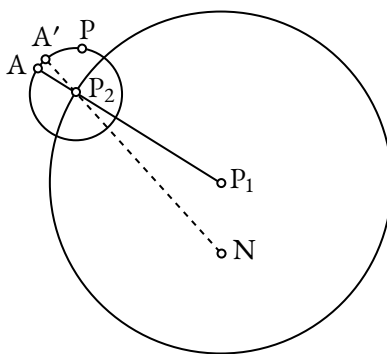


FIG. III : Quand l'apogée de l'épicycle suit un point autre que le centre de l'orbe qui le porte

résoudre enfin le problème de son insertion dans un édifice philosophique contraignant. Il s'agissait d'imaginer une méthode universelle conduisant directement des données de l'observation continue, toujours susceptibles d'être révisées, à un modèle dont les éléments étaient choisis dans un ensemble restreint (rotations affines spatiales) mais avec une liberté de combinaison que les mathématiques permettaient d'embrasser depuis seulement quelques siècles, en composant des rotations non homocentriques et d'axes pas nécessairement parallèles. On ne peut éluder la question de la possibilité mathématique de la réussite d'un tel projet ; Ibn al-Šāṭir lui-même a dû se la poser. Faute de source, je suis réduit à formuler cette question dans un langage moderne. Tout mouvement curviligne, suffisamment régulier, dans l'espace affine \mathbb{R}^3 , peut-il être décrit par une composée de rotations uniformes ?

Il ne faut certes pas se limiter aux mouvements plans, car les modèles les plus intéressants conçus par les savants de Marāḡa et par Ibn al-Šāṭir décrivent aussi les latitudes des astres⁴⁹. J'ai montré (Penchèvre, 2016) comment le modèle d'Ibn al-Šāṭir pour Vénus rend très bien compte des mouvements en longitude *et* en latitude de l'astre. Il en est de même pour les autres planètes⁵⁰. Les prédictions en latitude ne sont pas meilleures, d'un point de vue moderne, que celles de Ptolémée, car Ibn al-Šāṭir s'appuyait sur les données phénoménologiques recueillies par Ptolémée et non

⁴⁹ Et certes il ne faut pas non plus oublier la variation des distances des astres à la Terre. À la rigueur, un modèle d'Univers formé de sphères toutes homocentriques, en rotation uniforme les unes par rapport aux autres, pourrait suffire à décrire les longitudes et les latitudes des astres. Duhem s'était enthousiasmé de ce phénomène dans son analyse de l'astronomie d'Eudoxe et de la physique péripatéticienne (Duhem, 1913, vol. I p. 126-129 et vol. II p. 42-43) ; mais dans les modèles purement homocentriques, la distance de chaque astre à la Terre est inévitablement constante.

⁵⁰ Voir commentaire mathématique *infra*, p. 246-274 pour les planètes supérieures, p. 282-294 pour Mercure.

sur de nouvelles observations ; mais il s'agit bien d'un modèle composé exclusivement de mouvements de rotation uniforme ⁵¹.

Soit donc un repère spatial d'origine O et un point matériel dont la position P' au temps t sera décrite par le vecteur $\overrightarrow{OP'}$. Les méthodes modernes de l'analyse fonctionnelle et la transformée de Fourier donnent une description du mouvement coordonnée par coordonnée comme somme de fonctions harmoniques, d'où une expression de la forme :

$$\overrightarrow{OP'} = \int (\cos(\omega t) \mathbf{u}_\omega + \sin(\omega t) \mathbf{v}_\omega) d\omega.$$

Sous l'hypothèse que le mouvement est suffisamment régulier, on doit pouvoir approcher une telle expression au moyen d'une somme discrète, voire même finie. Posons donc :

$$\overrightarrow{OP'} = \sum_{k=1}^N \cos \alpha_k \mathbf{u}_k + \sin \alpha_k \mathbf{v}_k. \quad (*)$$

où les $\mathbf{u}_k, \mathbf{v}_k$ sont des vecteurs constants et les α_k sont des fonctions affines de t , de la forme $\omega t + \phi$. Peu importe que les fréquences soient toutes, ou non, des multiples entiers d'une même fréquence fondamentale : c'est le cas si le mouvement est périodique, mais il n'est guère évident que les mouvements célestes le soient. On notera

$$\overrightarrow{OP} = \sum_{k=1}^N \mathbf{u}_k.$$

On va à présent essayer de décrire P' comme étant l'image du point P par une composée de rotations affines.

Remarquons d'abord que l'extrémité de chaque vecteur de la forme $\cos \alpha \mathbf{u} + \sin \alpha \mathbf{v}$ décrit une ellipse dans le plan (\mathbf{u}, \mathbf{v}) , et que cette ellipse est un cercle si et seulement si $\|\mathbf{u}\| = \|\mathbf{v}\|$ et $\mathbf{u} \perp \mathbf{v}$. Soit (\mathbf{i}, \mathbf{j}) une base orthonormée du plan vectoriel (\mathbf{u}, \mathbf{v}) . Notons :

$$\mathbf{u} = u_x \mathbf{i} + u_y \mathbf{j}, \quad \mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j}.$$

⁵¹ Dans le commentaire mathématique, je montre ce qu'Ibn al-Šāṭir doit à ses prédécesseurs Ibn al-Hayṭam et al-Ṭūsī concernant les latitudes.

Posons :

$$\begin{aligned}\mathbf{u}_1 &= \frac{u_x + v_y}{2} \mathbf{i} + \frac{u_y - v_x}{2} \mathbf{j}, \\ \mathbf{v}_1 &= \frac{-u_y + v_x}{2} \mathbf{i} + \frac{u_x + v_y}{2} \mathbf{j}, \\ \mathbf{u}_2 &= \frac{u_x - v_y}{2} \mathbf{i} + \frac{u_y + v_x}{2} \mathbf{j}, \\ \mathbf{v}_2 &= \frac{u_y + v_x}{2} \mathbf{i} + \frac{-u_x + v_y}{2} \mathbf{j}.\end{aligned}$$

Il est alors facile de vérifier que :

$$\cos \alpha \mathbf{u} + \sin \alpha \mathbf{v} = (\cos \alpha \mathbf{u}_1 + \sin \alpha \mathbf{v}_1) + (\cos \alpha \mathbf{u}_2 + \sin \alpha \mathbf{v}_2),$$

et $\|\mathbf{u}_1\| = \|\mathbf{v}_1\|$, $\mathbf{u}_1 \perp \mathbf{v}_1$, $\|\mathbf{u}_2\| = \|\mathbf{v}_2\|$, $\mathbf{u}_2 \perp \mathbf{v}_2$; les extrémités des deux vecteurs $(\cos \alpha \mathbf{u}_1 + \sin \alpha \mathbf{v}_1)$ et $(\cos \alpha \mathbf{u}_2 + \sin \alpha \mathbf{v}_2)$ décrivent donc des cercles à vitesse angulaire constante dans le plan (\mathbf{u}, \mathbf{v}) . Grâce à cette réécriture, on peut donc supposer que, dans (*), pour tout k , $\|\mathbf{u}_k\| = \|\mathbf{v}_k\|$ et $\mathbf{u}_k \perp \mathbf{v}_k$.

Notons $\mathbf{w}_k = \mathbf{u}_k \wedge \mathbf{v}_k$. Je désignerai par $R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k}$ la rotation *vectorielle* d'angle α_k autour du vecteur \mathbf{w}_k ; l'équation (*) devient alors :

$$\overrightarrow{OP'} = \sum_{k=1}^N R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k}(\mathbf{u}_k),$$

où seuls les α_k dépendent de t . Notons P_1, P_2, \dots, P_{N+1} les points définis par :

$$O = P_1, \quad \overrightarrow{P_k P_{k+1}} = \mathbf{u}_k \quad \text{pour } 1 \leq k \leq N.$$

En particulier $P = P_{N+1}$. Je désignerai par $R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k, P_k}$ la rotation *affine* d'angle α_k autour de la droite de vecteur directeur \mathbf{w}_k passant par P_k . On va démontrer que (*) entraîne :

$$P' = R_{\alpha_1, \mathbf{w}_1, P_1} (R_{-\alpha_1, \mathbf{w}_1, P_2} R_{\alpha_2, \mathbf{w}_2, P_2}) (R_{-\alpha_2, \mathbf{w}_2, P_3} R_{\alpha_3, \mathbf{w}_3, P_3}) \cdots \\ \cdots (R_{-\alpha_{N-1}, \mathbf{w}_{N-1}, P_N} R_{\alpha_N, \mathbf{w}_N, P_N}) (P).$$

Bien que cette représentation ne soit pas unique, on tient là une description du mouvement comme composé de rotations uniformes.

Démonstration. On posera $\alpha_0 = 0$ de sorte que $R_{\alpha_0, \mathbf{w}_0, P_1} = \text{id}$. Soit $P^{(N+1)} = P$, et on définira des points $P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(N)}$ par la relation suivante pour $1 \leq k \leq N$:

$$P^{(k)} = R_{-\alpha_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}, P_k} R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k, P_k} (P^{(k+1)}).$$

En termes de rotations vectorielles, ceci revient à poser :

$$\overrightarrow{P_k P^{(k)}} = R_{-\alpha_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}} R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k} (\overrightarrow{P_k P^{(k+1)}}).$$

Reste à démontrer que :

$$\overrightarrow{P_1 P^{(1)}} = \sum_{k=1}^N R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k} (\mathbf{u}_k).$$

En fait, on va démontrer, par récurrence descendante sur k , que pour tout $k \leq N$:

$$\overrightarrow{P_k P^{(k)}} = R_{-\alpha_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}} \left(\sum_{m=k}^N R_{\alpha_m, \mathbf{w}_m} (\mathbf{u}_m) \right).$$

Pour $k = N$, c'est vrai par définition de $P^{(N)}$. Supposons que l'égalité est vérifiée au rang $(k+1)$, alors :

$$\overrightarrow{P_{k+1} P^{(k+1)}} = R_{-\alpha_k, \mathbf{w}_k} \left(\sum_{m=k+1}^N R_{\alpha_m, \mathbf{w}_m} (\mathbf{u}_m) \right).$$

Au rang k , on aura :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_k P^{(k)}} &= R_{-\alpha_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}} R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k} \left(\overrightarrow{P_k P_{k+1}} + \overrightarrow{P_{k+1} P^{(k+1)}} \right) \\ &= R_{-\alpha_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}} R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k} \left(\mathbf{u}_k + R_{-\alpha_k, \mathbf{w}_k} \left(\sum_{m=k+1}^N R_{\alpha_m, \mathbf{w}_m} (\mathbf{u}_m) \right) \right) \\ &= R_{-\alpha_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}} \left(R_{\alpha_k, \mathbf{w}_k} \mathbf{u}_k + \sum_{m=k+1}^N R_{\alpha_m, \mathbf{w}_m} (\mathbf{u}_m) \right) \\ &= R_{-\alpha_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}} \left(\sum_{m=k}^N R_{\alpha_m, \mathbf{w}_m} (\mathbf{u}_m) \right), \end{aligned}$$

q. e. d.

7. LE PROJET D'IBN AL-ŠĀṬIR A-T-IL RÉUSSI?

Il est certes impossible qu'Ibn al-Šāṭir ait réussi à formuler une méthode universelle de calcul des fréquences propres et des coefficients intervenant dans une quelconque combinaison linéaire de fonctions harmoniques pour en déduire ensuite les

rotations spatiales souhaitées. Nous frôlons là l’anachronisme. Pour jauger la réussite de ses recherches d’une manière plus respectueuse de l’histoire, il faut d’abord se poser la question de l’adéquation entre les prédictions de son modèle achevé et les données de l’observation, non seulement sur le plan qualitatif (rétrogradation, occurrence d’une éclipse, variation des distances à la Terre, etc.), mais jusque sur le plan quantitatif de la précision des prédictions. Nos moyens sont maigres puisque nous ne disposons pas des observations de l’époque : aucune observation datée n’est recueillie dans la *Nihāya*. Si l’on retrouvait un jour le « Commentaire des observations », il ne faut pas s’attendre non plus à un recueil consignait la précision des mesures puisqu’aucune théorie des erreurs n’existait alors : de telles données nous seraient donc de peu d’usage, à moins d’en avoir un nombre suffisant pour faire nous-mêmes des statistiques.

Pour estimer l’adéquation du modèle à l’observation, il ne nous reste guère d’autre solution que de comparer ses prédictions aux prédictions de modèles modernes dont l’erreur, même pour une époque éloignée de la nôtre d’environ sept siècles, est certainement d’un ordre de grandeur bien moindre que celle entachant les modèles d’Ibn al-Šāṭir. C’est ce que j’ai fait pour chaque astre ; dans le commentaire mathématique, je donne les courbes de l’équation en longitude⁵² et de la latitude, calculées au moyen de différents modèles à comparer (les modèles de Ptolémée, ceux des savants de Marāḡa, ceux d’Ibn al-Šāṭir), sur un même système d’axes pour chaque astre, et j’y adjoins en général le tracé des données calculées par le serveur d’éphémérides de l’IMCCE⁵³. J’ai tracé ces courbes en général pour une demi-révolution, une entière, ou bien quelques révolutions de l’astre autour du Soleil : elles permettent de se faire une première idée des défauts propres à chaque modèle.

Pour estimer plus systématiquement l’incertitude des modèles d’Ibn al-Šāṭir, j’ai calculé l’erreur absolue, en longitude et en latitude, *par rapport aux longitudes et latitudes calculées par le serveur de l’IMCCE*, pour un échantillon d’environ 2000 dates, sur une période de 60 ans à partir de l’époque de référence choisie par Ibn al-Šāṭir (1331 ap. J.-C.) ; j’ai calculé pour chaque astre les fréquences cumulées de l’erreur absolue en degrés. Les résultats sont consignés dans le tableau 1.

*Grosso modo*⁵⁴, on retiendra que la précision des prédictions délivrées par les mo-

⁵² L’équation en longitude désigne l’écart entre la longitude de l’astre et sa longitude moyenne.

⁵³ Observatoire de Paris. Ce serveur d’éphémérides utilise la théorie planétaire moderne INPOP13c qui tient compte des perturbations entre les différents corps du système solaire et des effets relativistes. L’incertitude d’INPOP13c est de l’ordre de 15 mas sur une période contemporaine d’un siècle (Fienga *et al.*, 2014, p. 11). En gros, 15 mas / siècle \times 7 siècles = 0,105'' serait l’ordre de grandeur de l’incertitude d’INPOP13c pour l’époque d’Ibn al-Šāṭir il y a environ sept siècles. Je souhaiterais qu’un astronome de métier confirme ce raisonnement. Le cas échéant, cet ordre de grandeur est bien inférieur à l’erreur entachant les prédictions d’Ibn al-Šāṭir.

TABL. 1 : Fréquences cumulées de l'erreur absolue en degrés de longitude et latitude des modèles d'Ibn al-Šāṭir.

fréquence	Soleil		Mercure		Vénus	
	long.	long.	long.	lat.	long.	lat.
50 %	< 0°6'	< 0°35'	< 1°34'	< 0°18'	< 0°22'	< 0°15'
70 %	< 0°7'	< 0°53'	< 3°6'	< 0°44'	< 0°31'	< 0°23'
90 %	< 0°10'	< 1°18'	< 5°51'	< 1°15'	< 0°46'	< 1°6'
95 %	< 0°10'	< 1°28'	< 8°53'	< 1°32'	< 1°22'	< 1°41'
98 %	< 0°10'	< 1°37'	< 10°36'	< 2°3'	< 2°10'	< 2°15'

fréquence	Mars		Jupiter		Saturne	
	long.	lat.	long.	lat.	long.	lat.
50 %	< 0°28'	< 0°26'	< 0°10'	< 0°26'	< 0°18'	< 0°15'
70 %	< 0°45'	< 0°37'	< 0°15'	< 0°32'	< 0°25'	< 0°18'
90 %	< 1°28'	< 0°51'	< 0°23'	< 0°45'	< 0°36'	< 0°23'
95 %	< 1°59'	< 0°56'	< 0°27'	< 0°50'	< 0°40'	< 0°25'
98 %	< 2°36'	< 1°2'	< 0°31'	< 0°53'	< 0°43'	< 0°30'

dèles d'Ibn al-Šāṭir était de l'ordre *du degré*. C'est peu satisfaisant, mais cet ordre de grandeur nous renseigne aussi sur la précision des observations avec les instruments d'alors.

8. LA DEUXIÈME PARTIE DE LA *NIHĀYA*

Il ne me semble pas utile de faire un commentaire détaillé de la deuxième partie de la *Nihāya* : celle-ci est moins originale, elle ressemble de très près à la partie III de la *Tadkira* de Ṭūsī qu'Ibn al-Šāṭir cite abondamment. Quelques ajouts notables dont des emprunts à Théodose, en particulier des observations empiriques concernant la durée des parties du jour sous différentes latitudes. Un chapitre fait exception : le chapitre de géographie où Ibn al-Šāṭir nomme les principales villes et contrées situées sous chaque climat. Je me suis beaucoup aidé de l'atlas des Kennedy (Kennedy, 1987) pour identifier les toponymes. Le *Ziğ al-ğadid* d'Ibn al-Šāṭir compte parmi les sources utilisées par les Kennedy ; hélas les toponymes de la *Nihāya* ne sont pas un sous-ensemble de ceux du *Ziğ*, ni l'inverse.

⁵⁴ Voici un exemple pour expliquer comment lire le tableau 1 : sur l'échantillon considéré, 70 % des prédictions du modèle d'Ibn al-Šāṭir concernant la latitude de Saturne présentent une erreur dont la valeur absolue est inférieure à 0°18'.

9. ASTRONOMIE ET COSMOLOGIE

La première partie de la *Nihāya*, si originale, se conclut sur des considérations cosmologiques, dans la lignée des « Hypothèses planétaires » de Ptolémée, sur les distances des astres à la Terre et la taille du monde. Quelle valeur donner à un tel choix ?

Ces considérations cosmologiques montrent d'abord un Ibn al-Šāṭir conscient de la *sensibilité* de certains calculs à la précision des données de l'observation. Premier talon d'Achille de la cosmologie antique : la méthode attribuée à Aristarque pour calculer la distance Terre-Soleil est *très sensible* à la précision d'une observation pourtant *si peu précise* que pouvait l'être celle du rayon de l'ombre lors des éclipses de Lune⁵⁵. Cela n'empêche pas Ibn al-Šāṭir d'en tirer un maigre indice sur l'ordre des planètes, Lune-Mercure-Vénus-Soleil-Mars-Jupiter-Saturne selon lui contrairement à ce qu'affirmait al-'Urḍī à Marāḡa ; mais autre chose semble dominer son intérêt pour la question cosmologique. Profusion des distances, surfaces, volumes, vitesses calculées dans plusieurs unités, tantôt en parasanges, tantôt en rayons terrestres, tantôt par quinzième d'heure, tantôt toutes les quatre secondes⁵⁶ : établissement d'ordres de grandeurs. Car ce n'est que cela. L'édifice ne donne aucune certitude sur des valeurs exactes, non seulement à cause de la sensibilité des calculs, mais aussi parce que les modèles planétaires ne prescrivent qu'une borne inférieure à l'épaisseur relative de chaque système d'orbites⁵⁷ ! Ibn al-Šāṭir le répète sans cesse : ces distances ne peuvent être moindres, mais elles pourraient être plus grandes. Il en est ainsi du rayon du monde (supérieur ou égal à 79 088 rayons terrestres) comme de la vitesse des astres les plus éloignés, les étoiles entraînées par le mouvement diurne à une vitesse d'au moins 23 rayons terrestres toutes les quatre secondes. Un intérêt tout physique pour la mesure du monde.

Ces considérations ne peuvent être justifiées que si elles sont compatibles avec la théorie planétaire : or on ne peut faire justice à Ibn al-Šāṭir sans insister sur le fait que, pour la première fois dans l'histoire de l'astronomie, la théorie planétaire et la cosmologie sont unies en un tout cohérent. Jusqu'alors en effet, le modèle de la Lune impliquait des variations de la distance Terre-Lune aberrantes et en contradiction flagrante avec l'observation ; mais la distance Terre-Lune déduite de la parallaxe étant un autre ingrédient essentiel de la cosmologie ancienne, cette contradiction était un second talon d'Achille pour l'édifice entier. Le modèle de la Lune d'Ibn al-

⁵⁵ Voir note 209 p. 160 *infra*

⁵⁶ Quatre secondes : la durée qu'il faut à un homme « pour compter rapidement jusqu'à six », cf. I.31.43.

⁵⁷ Voir fig. II (h) p. 13 *supra* : rien n'empêche la présence de matière superflue en deçà et au delà des épicycles dans les orbites déferents.

Šāṭir donne, pour la première fois, une estimation raisonnable des variations relatives de la distance Terre-Lune⁵⁸.

10. REMERCIEMENTS

Chers professeurs, collègues, amis et proches qui m'avez inspiré, conseillé, rectifié, écouté et répondu : Roshdi Rashed, Christian Houzel, Régis Morelon, Pascal Crozet, Ahmad Hasnawi, Marouane Ben Miled, Philippe Abgrall, George Saliba, Guillaume Loizelet, María José Parra, Hüseyin Şen, Zeinab Karimian, Jan Hogendijk, Valeria Candeli, Aline Auger, Lila Lamrani, Houda Ayoub, les lecteurs anonymes de mon article (Penchèvre, 2016), et Françoise mon épouse ; ce travail n'aurait pu voir le jour sans votre aide. Merci.

⁵⁸ Voir fig. xvii p. 232 *infra*.

TEXTE ET TRADUCTION

Dans le texte arabe comme dans la traduction, j'utilise les crochets carrés [...] pour désigner (1) d'éventuels ajouts et (2) les sigles des manuscrits dans l'apparat critique de l'arabe. Par exemple, comme les figures sont éditées séparément (p. 164-199), leur emplacement dans le texte est toujours donné sous la forme [Figure ...].

Les nombres en notation arabe sexagésimale sont surlignés et respectent la convention d'écriture suivante : 1 = ا, 2 = ب, 3 = ج, 4 = د, 5 = ه, 6 = و, 7 = ز ou ر, 8 = ح, 9 = ط, 10 = ي ou ى, 20 = ك, 30 = ل, 40 = م, 50 = ن. L'absence d'un symbole zéro ressemblant à celui utilisé en sexagésimal dans les manuscrits d'astronomie arabe médiévale⁵⁹ m'a contraint à utiliser le point . (dénnotant le zéro dans la numération décimale hindoue aussi utilisée dans ces mêmes manuscrits).

Les notes à la traduction, auxquelles renvoient les numéros suscrits, sont aux pages 152-163. Les titres courants de la traduction permettent de retrouver aisément un paragraphe : par exemple, II.5.9 renvoie au 9^e paragraphe du 5^e chapitre (*bāb* ou *faṣl*) de la II^e partie (*maqāla*). Cette même convention est suivie dans tout l'ouvrage.

L'apparat critique de l'arabe comprend trois niveaux. Le premier recueille les variantes des différents manuscrits. Le deuxième décrit les changements de folio, changements indiqués par des barres verticales dans le texte : l'information correspondante dans l'apparat donne le numéro du folio suivant. Les notes de troisième niveau, plus rares, précisent l'origine de certains emprunts faits par Ibn al-Šāṭir à d'autres auteurs, et elles ajoutent quelques détails matériels concernant les manuscrits.

⁵⁹ Voir Irani, 1955.

L'achèvement de l'enquête et la correction des fondements

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux, nous l'implorons
Louer Dieu convient à sa majesté
Que Dieu bénisse notre seigneur Mahomet et sa descendance

‘Alī b. Ibrāhīm b. Muḥammad b. al-Šāṭir, *muwaqqit*⁶⁰ à la Grande Mosquée des Omeyyades, dit :

Dans ce traité, nous avons voulu exposer la configuration des orbés des astres selon la méthode que nous avons inventée – méthode sauve des doutes et en accord avec les observations – mais sans les démonstrations, à la manière d'un abrégé, pour en simplifier l'apprentissage et l'usage. Nous y ajoutons ce qu'il faut parmi ce dont nous avons besoin et que nous déduisons des fondements et des principes.

C'est une noble intention, car elle fait connaître les états des corps supérieurs et inférieurs (du point de vue de leurs quantités), leurs grandeurs et leurs distances (du point de vue de leurs quantités et de certaines de leurs qualités), les lieux de leurs mouvements, la grandeur et le sens de ces mouvements, et ce qui, parmi les choses connues, découle des grandeurs et des distances des corps.

Ptolémée, et d'autres parmi les anciens et les modernes, avaient entrepris d'établir des fondements, mais ils ne suffisent pas car ils contredisent les fondements déjà admis en géométrie et en physique. Plusieurs spécialistes ont déjà exposé des doutes réfléchis sur ces fondements. Nous en avons exposé d'autres que l'observation (entre autres) nous a engagé à considérer.

Aucun de nos prédécesseurs n'a su établir de fondements suffisants sans contredire les observations, et ils l'ont avoué dans leurs livres. Nous avons étudié ces doutes avec soin et nous avons expliqué cela dans notre livre intitulé « Commentaire des observations⁶¹ ». Nous exposerons aussi ces doutes au début du présent traité, sans démonstration ni explication : nous ferons ainsi savoir notre excuse pour avoir dit ce que nous y disons, et nous montrerons la grande utilité de ce que nous avons inventé. Seul le saura qui embrasse la connaissance de ce qu'ont inventé anciens et modernes, la contradiction des fondements, et l'épuisement de leur effort à établir des fondements suffisants.

Nos prédécesseurs n'ont pu faire réussir cette entreprise, mais Dieu (loué soit-il) l'a fait réussir : nous avons indiqué toutes les prémisses

كتاب نهاية السؤل في تصحيح الأصول

بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

الحمد لله حمداً يليق بجلاله

وصلّى الله على سيدنا محمد وآله

وبعد فإنه يقول على بن إبراهيم بن محمد بن الشاطر الموقّت بالجامع الأموي، عفا الله عنه: ^٥ غرضنا أن نورد في عذة المقالة هيئة أفلاك الكواكب على الوجه الذي ابتكرناه، وهو السالم من الشكوك الموافق للأرصاء الصحيحة، مجردة عن البراهين، بقولٍ وجيز ليسهل الاطلاع عليها، والانتفاع بها. ونضيف إلى ذلك ما يجب إضافته ممّا يحتاج إليه ونستدلّ عليه من الأصول والمسائل الضرورية.

^{١٠} وهذا مطلبٌ جليلٌ، إذ يعرف به أحوال الأجرام العلوية والسفلية من جهة كمياتها، ومقادير الأبعاد والأجرام العلوية والسفلية من جهة كمياتها، وبعض كمياتها، وأوضاع حركاتها، ومقاديرها وجهاتها، ومقادير الأبعاد والأجرام وما يتفرّع من ذلك ممّا هو معلومٌ مشهورٌ.

وقد تقدّم بطلميوس وغيره من المتقدمين والمتأخّرين بوضع أصولٍ، إلاّ أنّها لا تفي بالمطلوب، | لأنّها مخالفةٌ لما قد تقرّر من الأصول الهندسيّة والطبيعيّة. وقد أورد جماعة من محقّقي | هذا العلم على تلك الأصول شكوكاً يقينية. وأوردنا نحن شكوكاً آخر وقفنا عليها بالرصد وغيره. ^{١٥}

ولم يمكن من كان قبلنا وضع أصولٍ تفي بالمقصود من غير مخالفةٍ للأرصاء الصحيحة، كما ذكروا في كتبهم. وقد تتبّعنا تلك الشكوك الواردة على تلك الأصول، وشرحنا ذلك في كتابنا الذي سميناه بتعليق الأرصاء ونورد هذه الشكوك في أوّل | هذه المقالة من غير براهين عليها ولا شرح لها، حتّى يعلم عدزنا فيما قلناه، وعظم فائدة ما ابتكرناه. ولا يعلم ذلك إلاّ من أحاط علماً بما ابتكره المتقدمون والمتأخّرون، من مخالفة تلك الأصول لما يجب من الأصول، واستفراغ الجهد ^{٢٠} منهم على وضع أصولٍ تفي بالمقصود.

فلم يوفّقوا لذلك، وقد وفق الله تعالى وله الحمد للأمر المعجوز عنه، وذكرنا جميع مقدّمات

^٢ وبه نستعين: اللهم صلّى على محمد وآله [أ]، رب هوز [ج]، رب يسر [د]. ^٤ وصلّى الله: وصلّى الله وسلّم [ج].
^٥ عفا الله عنه: رحمه الله [د، ج]. ^٨ ونستدلّ: ويستدلّ [ج، د]. ^٨ عليه: عليه به [س]. ^{١٠} أحوال الأجرام: ناقص [ج]، أحوال الأجرام [أ]. ^{١٣} بوضع أصول: بوضع [ج، د]. ^{١٣} إلاّ أنّها لا: في الهامش مع إشارة إلى موضعه [س].
^{١٤} لأنّها: مجازاً إلاّ أنّها [س]. ^{١٤} قد: ناقص [ج]. ^{٢٠} ابتكره: انكرته [أ، س]، ابتكرته [ج، د]. ^{٢٠} تلك: سلك [ج]. ^{٢٠} واستفراغ: واستفراغ [أ]. ^{٢٢} تعالى: ناقص [أ]. ^{٢٢} للأمر: للأمل [ج، د].

١ اظ، ب اظ، ت اظ، ج اظ، د اظ، س اظ، ق اظ، ك اظ. ^{١٤} ك اظ. ^{١٤} ه اظ. ^{١٨} س اظ.

de ces fondements, leurs conséquences, et leurs démonstrations, dans notre « Commentaire des observations ». Dans le présent traité, nous avons voulu détacher les fondements des démonstrations, et exposer ces doutes comme nous avons dit – nous demandons à Dieu réussite et protection. Ce traité se compose de deux parties. La première compte trente chapitres et une conclusion. L'introduction comprend deux sections.

Introduction

Première section

[1] Sache que le *monde* est le nom de ce qu'embrasse la surface visible de l'orbe supérieur. Cet orbe est ce qui définit les directions, car lui et son centre définissent deux directions : le haut et le bas. Il est [l'orbe] absolument simple.

[2] Les corps sont classés en corps *simples* et corps *composés*. Le corps simple est ce dont les parties et la nature sont semblables, c'est-à-dire ce qui ne se divise pas en corps de figures et de natures différentes : le corps simple a une nature unique et ce qui en émane procède d'une manière unique⁶². Le corps composé, c'est le contraire.

[3] Parmi les corps simples, on distingue l'*éther* et les *éléments*. L'éther, c'est les orbes et les astres situés en eux. On appelle cela monde supérieur ou monde des orbes et des cieux. Les autres corps simples sont les quatre éléments bien connus. On appelle cela les éléments (y compris ce qui se compose [d'éléments]). On appelle cela monde inférieur, monde de la génération et de la corruption, lieu des éléments et des corps qui en sont composés sous l'orbe de la Lune.

[4] Dans les corps composés, on distingue une première division – ce dont la composition est parfaite et dont la forme se conserve un temps – et une seconde division – sans perfection ni forme qui se conserve. La première division, c'est les trois règnes : minéral, végétal, animal. Le minéral est ce qui ne possède pas la faculté de croissance, la plante est ce qui possède la faculté de croissance, sans la perception, et l'animal est ce qui possède la faculté de croissance avec la perception. La seconde division des corps composés, c'est les météores : les nuages, les comètes⁶³, etc. Les lieux des corps composés sont les lieux des parties qui sont majoritaires en eux pourvu qu'il n'y ait pas d'attraction en sens contraire.

هذه الأصول، وما يتفرّع منها والبراهين عليها في كتاب تعليق الأرساد. وغرضنا أن نجرّد تلك الأصول عن البراهين، ونورد تلك الشكوك كما قلنا، ونسأل الله | التوفيق العصمة. وقد جعلتها | تشتمل على مقاليتين؛ أمّا المقالة الأولى فإنّها مشتملة على ثلاثين باباً وخاتمة. فالمقدمة نذكرها | في فصلين.

المقدّمة الفصل الأوّل

- [١] اعلم | أنّ العالم اسم لما حواه السطح | الظاهر من الفلك الأعلى الأوّل المسمى محدّد الجهات إذ به وبمركزه تتحدّد جهتا العلو والسفل، وهو البسيط المطلق.
- [٢] والأجسام تنقسم إلى بسيط ومركب. فالبسيط ما تتشابه أجزأه وطباعه، أعني لا ينقسم إلى أجسام مختلفة الصور والطباع؛ بل له طبيعة واحدة يصدر عنها ما يصدر على نهج واحد. والمركب ضدّه.
- [٣] والبسيط، ينقسم إلى أثيري وعنصري. فالأثيري، هو الأفلاك بما فيها من الكواكب. ويُسمّى العالم العلوي وعالم الأفلاك والسموات. والقسم الثاني، هو العناصر الأربعة المشهورة. ويُسمّى الاستقصات بما فيها من المركّبات. ويُسمّى بالعالم السفلي وعالم الكون والفساد، ومكان العناصر والمركّبات منها تحت فلك القمر.
- [٤] وينقسم إلى تامّ التركيب حافظ الصورة مدّة وإلى غير تامّة غير حافظ للصورة. والقسم الأوّل، هو المواليث الثلاثة، وهي المعدن، والنبات، والحيوان. فالمعدن ما لا تكون | فيه قوّة نامية، والنبات ما فيه قوّة نامية من غير إدراك، والحيوان ما فيه | قوّة نامية | مع إدراك. والقسم الثاني من المركب، هو المسمّى بالآثار العلوية، كالسحب والشهب | ذوات الأذنان ونحوها. وأمكنة المركبات أمكنة الجزء الغالب فيها، مع عدم | المجاذبات.

^١ كتاب: كتابنا [ج]. ^{٢-٣} على مقاليتين... في فصلين: على مقدّمة وخاتمة [س]، على مقدّمة وخاتمة أمّا المقدّمة نذكرها في فصلين (وكُتِب في الهامش "وثلاثين باباً") [د]، على مقدّمة وخاتمة أمّا المقدّمة (وكُتِب في الهامش "نذكرها في فصلين") [أ]. ^{٤-٥} المقدّمة، الفصل الأوّل: أمّا المقدّمة [س]، كُتِب "الفصل الأوّل" فوق السطر [أ]. ^٦ تتحدّد: يتحدّد [د]. ^{٧-٩} بسيط ومركب... لا ينقسم إلى: في الهامش مع إشارة إلى موضعه [س]. ^{١٠} ويُسمّى: وتسمّى [ج، د]. ^{١١} ويُسمّى: وتسمّى [س]. ^{١٢} وينقسم: تنقسم [س]. ^{١٣} تامّة: تام [ج]. ^{١٤} الثلاثة: التلثة [د] (لن نشير إلى مثله مرّة أخرى). ^{١٥} كالسحب والشهب ذوات الأذنان: كالشهب ذوات الأذنان والسحب [ج].

^{١٦} ٢٠. ^{١٧} ٢. ^{١٨} ٢. ^{١٩} ٢. ^{٢٠} ٢. ^{٢١} ٢. ^{٢٢} ٢. ^{٢٣} ٢. ^{٢٤} ٢. ^{٢٥} ٢. ^{٢٦} ٢. ^{٢٧} ٢. ^{٢٨} ٢. ^{٢٩} ٢. ^{٣٠} ٢.

[5] Le mouvement est la condition de la chose mue entre l'origine et le terme, en tant que son état à chaque instant diffère de ce qu'il sera après et de ce qu'il était avant. Le mouvement est ou par accident, ou violent, ou volitif, ou naturel (ou bien il se compose de mouvements naturels, comme les mouvements des astres, et c'est alors un composé simple que certains disent aussi être un composé volitif). Le *mouvement par accident* est comme le mouvement du passager du bateau. Le *mouvement violent* est comme le mouvement du bateau et il lui vient d'une cause extérieure. Le *mouvement volitif* est comme le mouvement des animaux qui ont une conscience. Le mouvement est *naturel* s'il est celui d'êtres qui n'ont pas conscience de ce qui précède d'eux, comme les éléments, les orbes (à ce que certains disent), et les plantes ⁶⁴.

[6] On distingue le mouvement naturel *qui n'agit pas d'une manière unique* (le mouvement des plantes) du mouvement naturel *qui agit d'une manière unique*. Selon moi, il y a dans celui-ci deux divisions : le mouvement droit et le mouvement circulaire. Le *mouvement droit* tend vers le centre et il est propre aux éléments, ainsi qu'à leurs composés. Le *mouvement circulaire* est comme le mouvement des orbes selon moi.

[7] Il y a une doctrine distinguant le mouvement volitif *qui ne procède pas d'une manière unique* (le mouvement des animaux) du mouvement volitif *qui procède d'une manière unique* comme le mouvement des orbes autour de leurs centres. Selon cette doctrine, les orbes et les astres ont une conscience, mais selon une autre doctrine ce sont des corps simples qui n'ont pas de conscience. Mon point de vue est qu'ils sont composés (sauf le neuvième orbe), mais pas composés d'éléments ⁶⁵.

[8] Le mouvement céleste individuel est ce qui émane d'un moteur simple unique, et le mouvement composé ce qui émane d'une multiplicité de moteurs simples. Chaque mouvement individuel est simple, mais chaque mouvement irrégulier est composé ; car il y a certains mouvements célestes simples-composés, comme on le montrera si Dieu le veut ⁶⁶.

[9] On a besoin de sept principes ⁶⁷ physiques :

[10] *Premier principe*. Le vide est impossible, et dans les orbes, le repos est impossible.

[11] *Deuxième principe*. Tout mouvement a un principe. Si le principe n'est pas séparé de la chose mue quant à sa position, de sorte que l'indication sensible qui le montre est une, on dit qu'elle est *mue par soi*. Si au contraire il en est séparé, de sorte que le mouvement se rapporte à la chose mue et que l'action de mouvoir se rapporte à ce en quoi est son principe, on dit alors qu'elle est *mue par un autre*.

[12] *Troisième principe*. Un corps qui n'est pas mû par soi mais par le mouvement d'un autre corps mû par soi paraît se mouvoir par soi.

[٥] والحركة هي كون الشيء المتحرك فيما بين المبتدأ والمنتهى، بحيث يكون حاله في كلّ آن مخالفاً لما بعده وما قبله. والحركة إما عرضيّة، أو قسريّة، أو إراديّة، أو طبيعيّة، أو ما يتركب من الطبيعيّة، كحركات الكواكب فإنّها مركّبة بسيطة وعلى قولٍ مركبة إرادية. فالحركة العرضية هي كحركة ساكن السفينة. والقسرية هي كحركة السفينة وهي مستفادّة من سبب خارجي. والإرادية كحركة الحيوان التي يكون لها شعور. والطبيعية أن لا يكون لها شعور بما يصدر عنها، كحركة العناصر، والأفلاك على قول، والنبات.

[٦] والحركة الطبيعيّة تنقسم إلى ما لا يكون على نهج واحد، كحركة النبات، وإلى ما يكون على نهج واحد. وهي تنقسم على ما | أرى قسمين: مستقيمة ومستديرة. فالمستقيمة طلب الوسط وتختص بالعناصر، | والمركبات منها. والمستديرة كحركة | الأفلاك عندي.

[٧] وعند طائفة أن الإرادية تنقسم إلى ما لا يكون على نهج واحد كحركة الحيوان وإلى ما يكون على نهج واحد كحركة الأفلاك على مراكزها. وعند هذه الطائفة | أن الأفلاك | والكواكب لها شعور، | وعند أخرى أنّها بسائط ليس لها شعور. وأنا أرى أنّها مركبة، غير التاسع منها، لكن من غير العناصر.

[٨] والحركة الفلكية المفردة ما تصدر عن محرّك واحد بسيط، والمركبة | ما تصدر من جملة بسائط فوق واحدة. فكلّ مفردة بسيطة، وكلّ مختلفة مركبة؛ لكون بعض الحركات الفلكية بسيطة مركبة على ما يأتي بيانه إن شاء الله تعالى.

[٩] والمحتاج إلى تقديمه من الطبيعيّات سبع مسائل:

[١٠] المسألة الأولى، أن الخلاء محال، والسكون في الأفلاك محال.

[١١] المسألة الثانية، أن لكلّ حركة مبتدأً. والمتحرك إن لم يفارقه مبدؤه بالوضع، بحيث أن تكون الإشارة الحسية إليه واحدة، قيل إنّه متحرك بنفسه. وإن فارقه بحيث يُنسب التحرك إليه والتحريك إلى ما فيه مبدؤه، قيل إنّه متحرك بغيره.

[١٢] المسألة الثالثة، ظهور حركة أجسام لا تكون متحرّكة بنفسها، بل تكون من تحريك أجسام آخر متحرّكة بنفسها.

^٤ ساكن: تحت السطر [س]. ^٤ والإرادية: وإرادية [أ، د، س]. ^٦ على قول: في الهامش مع إشارة [س]. ^٩ والمركبات منها: والمركبات منها عندي [أ، ج، د، س]. ^٩ المستديرة: مستديرة [س]. ^٩ عندي: ناقص [أ، ج، د، س]. ^{١٤} محرّك: تحرك [ج]. ^{١٤} من: عن [د]. ^{١٩-٢٠} بحيث أن تكون: يجب أن تكون [ج، د]، غير مقروء [أ]. ^{٢٠} بحيث يُنسب التحرك: بنسب التحريك [أ، د]، بسبب التحريك [س]، سبب التحرك [ج]. ^{٢١} والتحريك: والتحريك [ج]. ^{٢١} قيل إنّه متحرك بغيره: في الهامش [س]. ^{٢٢} بل: ناقص [س].

^٨ ج ظ. ^٩ ب ظ. ^٩ أ ظ. ^{١١} ه ظ. ^{١١} س و. ^{١٢} ق ظ. ^{١٤} ك ظ.

[13] *Quatrième principe.* Aucune chose ayant en elle un principe de mouvement circulaire n'accepte le mouvement rectiligne, et inversement, sauf par violence.

[14] *Cinquième principe.* Il ne peut y avoir de principe de deux mouvements différents dans une chose mue simple car la différence des mouvements exigerait une différence des choses mues. À chaque fois qu'il y a plusieurs mouvements différents dans un orbe, c'est qu'il a un mouvement par soi et un mouvement par un autre.

[15] *Sixième principe.* Les orbes n'acceptent pas le mouvement rectiligne, et il ne peut en être du mouvement de l'astre dans les cieux comme du mouvement du poisson dans l'eau.

[16] *Septième principe.* Les mouvements des orbes agissent d'une manière unique, donc il n'accélèrent ni ne ralentissent, ni ne reviennent avant complétion d'un tour, ni ne s'arrêtent, ni ne sortent de leur lieu, ni ne changent d'état. Au contraire, ils sont constamment mus d'un mouvement simple, circulaire, dans la direction vers laquelle ils tendent. Les mouvements que l'observation trouve différents de cela sont des mouvements par accident dus à la composition de mouvements simples.

[17] On ne peut sortir des limites imposées par ces fondements, or ils sont incompatibles avec la configuration admise par Ptolémée et les autres, même les meilleurs parmi les modernes, comme en témoignent leurs livres.

Deuxième section

Des doutes et des impossibilités qui nous ont arrêtés
dans les configurations connues

[18] Parmi ces [doutes], il y a *l'orbe excentrique*. Un orbe excentrique rapporté au centre du monde, c'est impossible, car cela entraîne nécessairement qu'il y ait dans les orbes rapportés au centre du monde des formes sans la perfection de la circularité et qui ne sont pas mues. S'il se meut autour du centre du monde cela entraîne une irrégularité, et si l'excentrique se meut d'un mouvement uniforme autour de son propre centre, alors il y a des mouvements qui ne sont pas uniformes par rapport au centre du monde. Si l'on permettait cela, alors il n'y aurait plus aucune nécessité de poser des orbes multiples : autant dire qu'à chaque astre appartient un orbe qui le meut d'un mouvement irrégulier, qui stationne, rétrograde, accélère ou ralentit. C'est impossible. Avec le mouvement de l'auge, c'est encore plus impossible. Comme Ptolémée pensait que l'auge est fixe, il a adopté l'excentrique. Quant à l'orbe épicycle⁶⁸ pour le Soleil, il est permis, mais il n'est pas en accord avec des observations précises, comme tu en prendras connaissance

- [١٣] المسألة الرابعة، كلّ ما فيه مبدأً حركةً مستديرة فهو لا يقبل الحركة المستقيمة، وبالعكس، إلا بالقسر.
- [١٤] المسألة الخامسة، لا يمكن أن يكون في متحركٍ بسيطٍ مبدأً حركتين مختلفتين، لأنّ اختلاف | الحركات يقتضي اختلاف المتحركات. ولكلّ مختلف الحركة من الفلكيات حركة من نفسه وأخرى من غيره.
- [١٥] المسألة السادسة، الأفلاك لا تقبل الحركة المستقيمة، ولا يجوز أن تكون حركة الكوكب في السماء كحركة السمك | في الماء.
- [١٦] المسألة السابعة، أنّ حركات الأفلاك على نهج واحدٍ، فلا تسرع ولا تُبطئ، | ولا يكون لها رجوع قبل تمام الدورة، ولا وقوف، ولا خروج من حيزٍ، ولا اختلاف حالٍ. بل أبدأً متحركة حركةً بسيطةً مستديرةً إلى الجهة التي كانت تميل إليها. وما وجد فيها بالرصد خلاف ذلك فهو بالعرض من تركيب حركات بسيطة.
- [١٧] فهذه الأصول لا يجوز الخروج عن مقتضاها. ومقتضى الهيئة التي وافق عليها بطليموس ووافق | عليها غيره لا يوافق هذه | الأصول ولا ما تكلفوه أفاضل المتأخرين على ما ظهر عنهم في كتبهم.

الفصل الثاني

في الشكوك والمحالات التي وقفنا عليها في الهيئة المشهورة

- [١٨] | فمن ذلك الفلك الخارج المركز إذا كان محيطاً بمركز العالم محال، لأنّه يلزم منه أن يكون في الأفلاك المحيطة بمركز العالم أشكال غير تامّة | الاستدارة وغير متحركة. وإن تحرك حول مركز العالم لزم أن يكون هناك خلاف؛ وإن | تحرك الخارج | المركز حركة مستوية عند مركزه لزم أن يكون محيطاً بمركز العالم حركات | غير متساوية، فإن جاز ذلك فلا ضرورة لوضع الأفلاك، بل نقول إنّ لكلّ كوكبٍ فلكٍ يحركه حركة مختلفة فيقف ويرجع ويسرع ويبطئ وهذا محال. وهو مع حركة الأوج أشدّ محالاً، | ولمّا كان الأوج في رأي بطليموس ثابتاً اختار الخارج المركز. وأمّا فلك التدوير | في الشمس فهو جائز إلا أنّه لم يوافق دقيق الرصد على ما تفق عليه

^١ ما فيه مبدأً ناقص [أ]. ^١ حركة: حركته [أ]. ^١ فهو لا يقبل: فهي ما تقبل [ج، د]. ^١ المستقيمة: المستقيمة أصلاً [س]. ^٨ حركات: حركة [ج، د]. ^٨ الأفلاك: فوق السطر [س]. ^{١٣} تكلفوه: تكلفه [ج]. ^{١٨} تحرك: تحركه [د]. ^{٢٠} محيطاً: محيط [أ، س]. ^{٢٢} ثابتاً: ثابت [س].

^٤ ه.و. ^٧ س.ظ. ^٨ گ.و. ^{١٣} ج.و. ^{١٣} ب.و. ^{١٧} أ.و. ^{١٨} ت.ظ. ^{١٩} ه.ظ. ^{٢٠} د.ظ. ^{٢٠} ق.و. ^{٢٢} گ.ظ. ^{٢٣} س.و.

à propos de la configuration du Soleil. Car nous avons trouvé que l'irrégularité du Soleil, c'est-à-dire l'équation du Soleil, n'est pas en accord avec des observations précises dans les octants.

[19] Parmi les doutes concernant les orbites de la Lune, il y a aussi l'excentrique. L'excentrique dans les orbites de la Lune est impossible, et l'uniformité du mouvement de l'excentrique autour d'un point autre que son propre centre est aussi impossible⁶⁹. Le fait que le rayon de l'épicycle suive un point autre que le centre de l'orbite qui le porte est impossible⁷⁰ : l'orbite épicycle paraîtrait alors avoir un mouvement multiple. Il y aurait en lui deux mouvements, l'un uniforme et l'autre irrégulier, or le mouvement irrégulier ne fait pas un tour complet et c'est impossible. [Ces hypothèses] entraînent que le rayon de la Lune dans les quadratures est double du rayon de la Lune dans les syzygies, or c'est impossible : on n'a jamais vu ça. D'après des observations précises, quand la distance de la Lune au Soleil est d'un signe et demi, la Lune vraie déduite de ces principes contredit ce qu'exige l'observation. D'ailleurs ni Ptolémée ni aucun autre n'a mentionné d'observation de la Lune vraie dans ces positions. La localisation de l'astre moyen et du centre de l'astre dans un cercle semblable à l'orbite de l'écliptique est impossible car ils ne sont pas pris dans le même cercle, ni par rapport au même point.

[20] L'orbite excentrique est aussi impossible pour les autres astres errants, puisque nous avons dit que l'uniformité du mouvement des excentriques autour de points autres que leurs centres est impossible. Quand ils disent que l'excentrique est dans le plan de l'orbite incliné et que le plan de l'excentrique coupe le parécliptique en deux points opposés (la tête et la queue), c'est impossible, car rien sauf un grand cercle ne coupe un grand cercle en deux moitiés, or l'excentrique n'est pas un grand cercle ; il est donc impossible que le parécliptique soit coupé en deux points opposés, et il y a là une subtilité, prête attention. Que le rayon de l'épicycle suive un point autre que le centre de l'orbite qui le porte, c'est impossible, or ils l'ont posé ainsi dans les orbites des cinq planètes. L'orbite équant est impossible. C'est une image fautive. Imaginer une droite dont l'un des deux bouts est fixe au centre de l'orbite équant, et l'autre s'allonge ou se raccourcit, passe par le centre des épicycles des astres et les fait tourner autour de ce point, c'est impossible. La droite n'est pas corporelle, il faudrait du vide, et d'autres choses impossibles qui en dépendent. Le fait que Mercure soit plus proche ailleurs qu'au point opposé à l'auge est impossible à vérifier par l'observation, bien que cela ne soit pas impossible à concevoir. Concevoir des orbites dans les orbites des épicycles des astres errants, de la manière indiquée par Ptolémée dans les « Hypothèses planétaires », orbites qui inclinent leurs plans par rapport au plan du zodiaque, pour le mouvement en latitude des astres, c'est impossible.

[21] La position mentionnée par Naṣīr al-Ṭūsī dans son « Mémoire », sur l'élimination des doutes des orbites de la Lune, est impossible

في ذكر هيئة الشمس؛ وذلك أنّنا وجدنا اجتلاف الشمس، وهو التعديل، غير موافق في أنصاف أرباع منطقة البروج لدقيق الرصد.

[١٩] ومن الشكوك في أفلاك القمر، الخارج المركز فيها محال. واستواء حركة الخارج المركز عند غير مركزه محال. ومحاذاة قطر التدوير لغير مركز حامله محال؛ فإنّه يظهر منه أنّ فلك التدوير تكون حركته مختلفة ويكون فيه حركتان: مستوية ومختلفة. والمختلفة لا تكمل الدورة وهذا محال. وذلك يقتضي أن يكون قطر القمر في التربيعة ضعف قطر القمر في الإبدار، وهذا محال لأنّه لم يُر كذلك. ويظهر بدقيق الرصد أنّه، إذا كان بعد القمر من الشمس برج ونصف، مخالفة في تقويمه بتلك الأصول لما يقتضيه الرصد الصحيح. ولم يذكر بطليموس ولا غيره رصد تقويم القمر في تلك المواضع. | وتحديد وسطه ومركزه من دائرة شبيهة من فلك البروج محال لأنها لم تؤخذ من دائرة واحدة ولا نقطة واحدة.

[٢٠] والفلك الخارج المركز في باقي السيارة محال، لمّا قلنا | واستواء حركة الخواارج المراكز عند غير مراكزها محال. وقولهم إنّ الخارج المركز في سطح المائل، | وسطح الخارج المركز يُقاطع الممثل على نقطتين متقابلتين (وهما الرأس والذنب)، محال، لأنّ العظيمة ما يقطعها بنصفين إلاّ عظيمة، | والخارج المركز | ليس بعظيمة؛ فمحال أن يقطع الممثل على نقطتين متقابلتين، وفيه دقّة، فتأملّه. ومحاذاة قطر التدوير لغير مركز حامله، محال، كما وضعوا ذلك في أفلاك الكواكب الخمسة. والفلك المعدّل المسير محال. | وهو توهم كاذب. وتوهم خطأ أحد طرفيه ثابت في مركز معدّل المسير، وطرفه الآخر يطول ويقصر ويمرّ بمركز تداوير الكواكب ويديرها حول تلك النقطة، محال. وليس للخطّ جسم، ويحتاج إلى خلاء، وإلى غير ذلك من المحالات اللازمة عنه. وكون أقرب قرب عطارد في غير مقابلة الأوج محال بما تحقّق بالرصد، لا بالتصور.

[٢١] وتصور أفلاك في أفلاك تداوير الكواكب السيّارة، على الوجه الذي ذكره بطليموس في الاقتصاد، تميل سطوحها عن سطح البروج، لأجل حركة عرض الكوكب، محال.

[٢١] الوضع الذي ذكره النصير الطوسي في التذكرة | في إزالة شكوك أفلاك القمر محال

^٣ ومن الشكوك في: في الهامش [س]. ^٣ الخارج: الفلك الخارج [س]. ^٣ الخارج المركز: المركز [ج، د]، الخارج [س]. ^٦ يقتضي: يعطي [أ، س]، المقتضى [ج]. ^{٦-٦} لأنّه لم يُر كذلك: في الهامش مع إشارة [س]. ^٧ ويظهر: وظهر [س]. ^٧ أنّه: لأنّه [ج]. ^٧ برج ونصف: يجوز ذلك على أنّه عدد. ^٧ مخالفة: محال [ج، د]. ^٩ وتحديد: وتحديد [ج]. ^٩ من دائرة: في الهامش [أ]. ^٩ شبيهة: تشبيهه [أ، د]. ^{١٢} غير: في الهامش [س]. ^{١٢} المركز: ناقص [س]. ^{١٣} الممثل: للممثل [س]. ^{١٥} لغير: لغير [أ]. ^{١٥} محال: فوق السطر [د]. ^{١٧} بمركز: مراكز [س]. ^{١٧} تداوير: بدوائر [د]. ^{١٩} بالرصد: الرصد [د]. ^{٢٠} ذكره: ذكر [أ، س]. ^{٢١} تميل: يمثل [ج، د].

^٩ هـ. ^{١١} گ. ^{١٢} ب. ^{١٤} ج. ^{١٤} س. ^{١٤} ظ. ^{١٦} أ. ^{٢١} ق. ^{٢٢} هـ. ^{٢٢} هـ. ^{٢٢} هـ. ^{٢٢} هـ.

parce qu'on y trouve l'excentrique et que le diamètre de l'épicycle suit un point autre que le centre de l'orbe portant l'épicycle.

[22] La position mentionnée par Naṣīr al-Ṭūsī dans la correction de la configuration des quatre planètes Saturne, Jupiter, Mars et Vénus est impossible, car y demeurent les excentriques, les orbes équants, l'irrégularité du mouvement propre à cause du mouvement de l'apogée⁷¹ des épicycles, et d'autres choses impossibles. Il l'a lui-même reconnu – Dieu le pardonne : il lui manquait un fondement suffisant.

[23] La position conjecturée par al-Mu'ayyad al-'Urḍī dans la configuration des orbes de la Lune, concernant son inversion du sens du mouvement de l'excentrique et la variation de l'apogée de l'épicycle qui suit un point autre que le centre de l'orbe portant l'épicycle, c'est impossible.

[24] La position mentionnée par al-Mu'ayyad al-'Urḍī dans la réforme des orbes des astres errants est impossible car y demeurent l'excentrique, les orbes équants, etc.

[25] La position mentionnée par Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī dans la réforme de la configuration des orbes de la Lune est impossible car y demeurent l'excentrique et le point de prosneuse. L'argument qu'il a avancé (Dieu ait pitié de lui) pour permettre le point de prosneuse de la Lune est la plus impossible des impossibilités et c'est une image fausse. Il en est revenu dans la *Tuhfa* ; il y indique une autre manière, mais elle est aussi impossible.

[26] Le fondement qu'il a qualifié d'« innovant » concernant le désordre des latitudes des astres est impossible.

[27] La position qu'il a mentionnée dans la réforme des orbes des astres errants est impossible à cause qu'on y trouve les excentriques, les équants, et l'irrégularité des apogées de l'épicycle.

[28] Le mouvement de trépidation⁷² n'est pas vrai car cela diffère de ce qu'on vérifie dans les observations anciennes et modernes. C'est d'ailleurs une idée fausse bien qu'on puisse concevoir de poser des orbes qui causent ces mouvements. S'ils étaient réels, j'ai déterminé le Soleil du point de vue d'al-Zarqālluh et je l'ai trouvé inférieur à la vérité de plus de trois degrés et demi – si le mouvement est en accés. S'il est en recès, la différence serait de plus de douze degrés s'il est en fin de recès. J'ai déjà déterminé le cœur du Lion avec ce mouvement, or cela n'est pas en accord avec sa position [observée], et cela contredit toutes les autres observations de cet astre, anciennes et présentes. La différence est grande et ajoute souvent quatre degrés à deux degrés. Dans les fondements, je n'ai rien trouvé en quoi il puisse manquer [quelque chose] de la même grandeur. On a vérifié par l'observation que le mouvement des fixes est un mouvement simple et uniforme autour du centre du monde et sur les pôles du zodiaque, vers l'est. Que cela soit

- لوجود الخارج المركز ولمحاذاة قطر التدوير لغير مركز حامل | التدوير.
- [٢٢] الوضع الذي ذكره النصير الطوسي في إصلاح هيئة الكواكب الأربع، زحل، والمشتري، والمريخ، والزهرة، محال، لبقاء الخوارج المراكز، ومعدّلات المسير، واختلاف الخاصة لحركة ذروة التدوير، إلى غير ذلك من المحالات. وقد اعترف رحمه الله بالعجز عن أصل يفني بالمقصود.
- [٢٣] الوضع الذي حدسه المؤيد العرضي في هيئة أفلاك القمر من قلبه لجهة حركة الخارج المركز واختلاف ذروة التدوير بمحاذاتها لنقطة غير مركز حامل التدوير، محال.
- [٢٤] | الوضع الذي ذكره المؤيد العرضي في إصلاح أفلاك السيّارة محال لبقاء الجارج المركز، ومعدّلات | المسير، وغير ذلك.
- [٢٥] الوضع الذي ذكره قطب الدين الشيرازي في إصلاح هيئة أفلاك القمر محال، لبقاء الخارج المركز ولنقطة المحاذاة. والحجّة التي احتج بها، رحمه الله، على جواز نقطة المحاذاة قي القمر، من أمحل المحالات وتوهم كاذب. وقد رجع عن ذلك في التحفة، وذكر فيها وجه آخر، وهو محال أيضًا.
- [٢٦] الأصل الذي سمّاه الإبداعي في فاسد | عروض الكواكب محال.
- [٢٧] الوضع الذي ذكره في إصلاح أفلاك الكواكب السيّارة محال لوجود الخوارج المراكز فيها، ومعدّلات المسير، واختلاف ذروتي التدوير.
- [٢٨] | حركة الإقبال والإدبار غير صحيحة لمخالفتها | لما صحّ بالأرصاد قديمًا وحديثًا. مع أنه تصوّر كاذب مع إمكان تصوّر وضع أفلاك يلزم عنها تلك الحركة. لو كان لها حقيقة، ولقد قومت الشمس برأي الزرقالّه، فوجدتها تنقص عن الصحيح ثلاث درجاتٍ وأكثر من نصف درجة، هذا والحركة مقبلة. فلو كانت مدبرة | كانت المخالفة أكثر من اثني عشر درجة إذا كان في نهاية الإدبار. وقد قومت قلب الأسد بتلك الحركة، فلم يوافق لما هو عليه، وخالف سائر ما ذكر من أرصاد ذلك الكوكب من قديم إلى يومنا هذا مخالفة فاحشة تزيد في الغالب أربع درجاتٍ إلى درجتين. ولم أجد في الأصول ما فيه هذا المقدار من الخلل. وقد تحقّق بالرصد أنّ حركة الثوابت حركةً بسيطةً مستويةً حول مركز العالم وعلى قطبي البروج إلى جهة المشرق. فخلافاً
- ^١ لوجود: لوجد [أ، س]. ^١ المركز: ناقص [ج، د]. ^٥ أفلاك: في الهامش مع إشارة [س]. ^٦ بمحاذاتها: لمحاذاتها [ج، د]. ^٦ لنقطة: النقطة [ج]. ^{١١} وتوهم: وهو توهم [س]. ^{١١-١٣} وقد رجع عن ذلك ... وهو محال أيضًا: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١١} وجه: وجهها [د]. ^{١٣} فاسد: حلّ فاسد [س]. ^{١٤} الوضع: والوضع [ج]. ^{١٤} أفلاك: فوق السطر [ج]. ^{١٤} السيّارة: فوق السطر [د]. ^{١٨} برأي: برى [ج]. ^{١٩} كانت: لكانت [ج]. ^{١٩} أكثر: بأكثر [س]. ^{٢١-٢٢} في الغالب ... درجتين: على د درجات إلى درجتين في الغالب [ج].

^١ گ هظ. ^٧ س هو. ^٨ د ٢٣ وت ٣. ^{١٣} ب هو. ^{١٦} ه و گ ٦. ^{١٦} ج هو. ^{١٩} أ هو.

différent est impossible.

[29] Al-Mağrītī a affirmé que les mouvements de tous les orbes des astres vont d'est en ouest, et que ce qu'on voit aller vers l'est vient de la « carence » des mouvements venant de l'est à rejoindre le mouvement diurne. C'est impossible.

[30] Son affirmation que le pôle de l'orbe du zodiaque tourne en un cercle (autour du pôle du monde) dont l'azimut est de la grandeur de l'inclinaison maximale, vers l'est, par carence du mouvement du huitième orbe, c'est impossible. Il affirme cela parce qu'il confond entre les parts de l'équateur et les parts du zodiaque. En fait c'est le contraire. Par exemple, si les pôles de l'orbe du zodiaque se meuvent, par carence, vers l'est, d'un quart de cercle, et si nous traçons un grand cercle qui passe par les pôles de l'orbe du zodiaque, par les pôles de l'équateur, et par les solstices, alors il passera par la part de l'équateur qui suit le commencement du Bélier. On avait vérifié par l'observation l'immobilité des quatre points de l'équateur ; seulement il confond avec ces points les parties du zodiaque étoilé qui n'est pas le zodiaque véritable. Ce qu'il a dit est impossible à imaginer et cela n'existe pas.

[31] De même qu'il a rendu possible un mouvement des pôles du zodiaque vers l'est autour des pôles de l'équateur, il a permis d'autres mouvements vers l'est d'une manière semblable ; mais ceci est différent de ce que j'ai contesté [ci-dessus] sur l'existence des mouvements vers l'est. Son énoncé selon lequel les mouvements vers l'est sont dus à la carence du huitième, etc. est futile. La démonstration a déjà établi l'existence de ces mouvements et a montré qu'une carence de l'orbe pour un mouvement de cette grandeur est impossible.

[32] L'énoncé qui dit qu'à chaque astre il y a un orbe unique avec lequel il se meut autour des pôles du zodiaque vers l'est, encore par carence, et que ces deux mouvements produisent, dans les astres, arrêt, retour, mouvement droit ou incliné de la trajectoire de part et d'autre, et d'autres choses qu'on rencontre dans les astres, est un énoncé futile. Je l'ai déjà étudié avec soin et j'ai établi par la démonstration sa futilité dans mon livre intitulé « Commentaire des observations ».

[33] Tout ce qu'a suivi al-Mağrītī dans son épître sur la modification des mouvements et l'établissement de l'orbe du Soleil autour du centre du monde, son centre sortant des pôles du monde, et que les pôles de l'orbe du Soleil tournent sur ce cercle excentrique vers l'est par carence de cet orbe, c'est une impossibilité. Et cela que, quand l'axe de l'orbe du Soleil tournait dans l'excentrique sur les pôles de l'équateur, le Soleil, voire tout point dans le plan

ذلك محال.

[٢٩] قول المجريطي إنّ حركات جميع أفلاك الكواكب | من المشرق إلى المغرب، وما يُرى من الحركات | إلى جهة المشرق فذلك من تقصير الحركات الشرقيّة من اللحوق بالحركة اليوميّة، محال.

٥ [٣٠] وقوله إنّ قطب فلك البروج يدور في دائرة (حول قطب العالم) سمتها مقدار الميل الأعظم، إلى جهة المشرق، | من تقصير حركة | الفلك الثامن، محال. وذلك لتبدّل أجزاء معدّل النهار مع أجزاء البروج. والتحقيق خلافه. ومثال ذلك، أنّ قطب فلك البروج إذا تحرك، بتقصيره، إلى جهة المشرق، ربع دائرة الميل، وأخرجنا دائرة عظيمة تمرّ بقطبي فلك البروج وقطبي معدّل النهار وبالمقلبين، مرّت بالجزء الذي كان يحاذي الأول من برج الحمل من دائرة معدّل النهار. وقد تحقّق بالرصد ثبات النقط الأربع من معدّل النهار: وإنّما يتبدّل على تلك النقط بأجزاء البروج المكوّبة لا البروج الحقيقيّة. فما قاله محال في التوهّم والوجود.

[٣١] وكما جوّز حركة قطبي فلك البروج إلى جهة المشرق حول قطبي معدّل النهار، يجوز حركة غيره إلى المشرق؛ فهذا غير ما أنكره من وجود حركة إلى جهة المشرق. وقوله إنّ الحركات التي إلى جهة المشرق من تقصير الثامن | وغيره باطل. وقد قام البرهان على وجودها ودلّ على | أنّ تقصير الفلك بمقدار هذه الحركة محال.

[٣٢] قول من قال إنّ لكلّ كوكب فلك واحد يتحرك به حول قطبي فلك البروج إلى جهة المشرق، | بتقصيره أيضًا، يتولّد من هاتين الحركتين للكواكب وقوف ورجوع، واستقامة وميل إلى الجهتين، وغير ذلك ممّا | وجد للكواكب، قول باطل. وقد تتبّعت ذلك وأقمّت البرهان على إبطاله في | كتابي المسمّى بتعليق الأرصاد.

٢٠ [٣٣] جميع ما تكلفه المجريطي في رسالته من تغيير الحركات وإثبات فلك الشمس حول مركز العالم، مركزه جارج عن قطب | العالم، وأنّ قطبي فلك الشمس يدور على تلك الدائرة الخارجة المركز إلى جهة المشرق بتقصير ذلك الفلك، محال. وذلك أنّ محور فلك الشمس إذا دار في خارج المركز على قطبي معدّل النهار، | رسمت الشمس، بل كلّ نقطة تفرض في سطح

^٢ أفلاك: تحت السطر [س]. ^٥ قطب: ناقص [د]. ^٦ وذلك: ولذلك [س]. ^٩ الأول من: أول [أ، ج، د، س]. ^٩ برج: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١٠} النقط: النقطة [ج، د]. ^{١٠} بأجزاء: أجزاء [س]. ^{١١} الحقيقيّة: الحقيقة [د]. ^{١٢} فلك: فوق السطر [ج، د]. ^{١٤} من ققصير الثامن وغيره: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١٤} باطل: قول باطل [س]. ^{٢١} الدائرة: الدوائر [ج، د].

^٢ س هـ ظ. ^٣ ق و. ^٦ ك غ. ^٦ هـ ظ. ^{١٤} ب ع ظ. ^{١٤} ج هـ ظ. ^{١٧} س و. ^{١٨} ك و. ^{١٩} هـ و. ^{٢١} أ ع ظ. ^{٢٣} ت ح ظ.

de l'orbe du Soleil, décrivait l'orbe excentrique, c'est différent de ce que j'indique. D'autant plus que ce qu'ils ont indiqué n'est pas fondé sur l'observation ; or nous en avons déjà montré la futilité.

[34] Le mouvement hélicoïdal qu'à mentionné Aristote ne fait apparaître ni vitesse, ni lenteur, ni arrêt, ni retour dans les astres. Ce n'est qu'une indication de leur trajectoire décrite par deux mouvements : le mouvement diurne et le mouvement qui leur est propre. Quand le Soleil était à la tête du Capricorne puis se mouvait pendant une demi-année jusqu'à la tête du Cancer, alors il décrivait une trajectoire hélicoïdale autour du centre du monde. Aristote n'a indiqué que cela, par le mouvement hélicoïdal ; mais qui entend cela pense que l'intention d'Aristote était que, si le Soleil se meut d'un mouvement hélicoïdal, alors l'irrégularité du mouvement du Soleil se produit, ainsi que celle des autres astres, or c'est impossible.

[35] Tout mouvement uniforme par rapport à un point est irrégulier par rapport à un autre, et inversement. De plus, tout orbe dont le mouvement est uniforme autour d'un point autre que son centre a un mouvement composé.

[36] L'existence de petits orbes comme les orbes des épicycles, sans rapport au centre du monde, n'est pas interdit sauf dans la neuvième sphère. En effet, c'est comme le fait qu'il existe dans chaque orbe un astre, et dans le huitième orbe de nombreux astres sphériques, chacun plus grand que les épicycles de certains des astres tandis que cet astre lui-même est distinct du corps de l'orbe. Donc il n'est pas interdit qu'il existe des orbes d'épicycles et de choses semblables, et à partir de là on comprend qu'il y a dans les orbes une certaine composition ; celui qui est absolument simple, c'est le neuvième orbe, et l'on ne peut imaginer d'astre sur cet orbe ni rien d'autre semblable.

[37] Les *manšūra* qu'indique Ptolémée dans son livre intitulé « Hypothèses planétaires » sont futiles.

[38] Ce qu'ont indiqué Ibn 'Aflah et al-Mu'ayyad al-'Urđi quant au fait que Vénus est au-dessus du Soleil, et ce qu'ils en ont conclu, c'est impossible⁷³.

[39] Le rapprochement de la circonférence de l'écliptique et de la circonférence de l'équateur, et leur éloignement, c'est impossible.

[40] La variation de l'inclinaison maximale n'est pas due à une différence de temps ni de lieu. Ce qu'on y trouve de variable est dû aux instruments, à ce qui diffère dans leur érection, c'est dû à l'irrégularité de l'ombre des extrémités des gnomons, c'est dû à une variation de la lumière du Soleil dans le corps de la cible, c'est dû au fait que le centre du volume de la Terre n'est pas fixe par rapport au centre du monde, comme nous l'avons exposé dans mon livre intitulé « Commentaire des observations ».

فلك الشمس، فلك خارج المركز؛ وهو غير ما ذكره. وعلى أنّ ما ذكره غير مطابق للرصد؛ فقد تبين إبطال ذلك.

[٣٤] الحركة اللولبية | التي ذكرها أرسطو لا يظهر منها للكوكب سرعة ولا بطء ولا وقوف ولا رجوع. وهي إشارة إلى مدارها الذي ترسمه بالحركتين اليومية والخاصّة بها، لا غير. وبيان ذلك أنّ الشمس إذا كانت في رأس الجدي ثمّ تحرّكت في نصف سنة إلى رأس | السرطان، فإنّ الشمس ترسم مدارًا حلزونيًا حول مركز العالم. وإلى هذا أشار أرسطو بالحركة اللولبية، لا غير. فظنّ من سمع ذلك أنّ مقصود أرسطو أنّ الشمس، إذا تحرّكت حركة لولبية، حصل اختلاف | حركة الشمس، وعلى ذلك غيرها من الكواكب، وهو محال.

[٣٥] | كلّ حركة مستوية عند نقطة فهي مختلفة عند أخرى، وعكسه. فعلى ذلك كلّ فلك حركته مستوية عند مركزه فحركته مركّبة.

[٣٦] | من وجود أفلاك صغار كأفلاك التداوير، غير محيطة بمركز العالم، غير ممتنع في سوى الفلك التاسع. ويدلّ على ذلك أنّه كما وجد في كلّ فلك كوكب، وفي الثامن كواكب كثيرة كرية، كلّ واحد منها أعظم من بعض تداوير بعض الكواكب والكوكب مخالفٌ لجسم الفلك. فلا يمتنع وجود أفلاك تداوير ونحوها، | ومن هنا يفهم أنّ الأفلاك | فيها تركيب ما؛ والبسيط المطلق، هو التاسع، ولا يمكن أن يتصوّر فيه كوكب ولا غيره.

[٣٧] وضع المنشورات التي ذكرها بطلميوس في كتابه المعروف بالاختصاص باطلٌ.

[٣٨] ما ذكره ابن أفلح والمؤيد العرضي من كون الزهرة فوق الشمس، وما استدلّ به، محال.

[٣٩] تقارب منطقة فلك البروج من منطقة معدّل النهار، وتباعدها عنها، محال.

[٤٠] الميل الأعظم لا يختلف باختلاف الزمان ولا باختلاف المكان. وما وجد فيه من الاختلاف فذلك من قبل الآلات، واختلاف نصبها، ومن قبل اختلاف ظل أطراف المقاييس، ومن قبل اختلاف شعاع الشمس الداخل من جرم الهدف، ومن كون مركز حجم الأرض غير مطابق لمركز العالم، | على نحو ما شرحناه في كتابي الموسوم بتعليق الأرصاد.

^١ أذكره وعلى: غير مقروء [أ]، انكروه على [ج، د، س]. ^٢ للرصد: الرصد [أ، ج، د، س]. ^٣ اللولبية: الطولية [ج، د]. ^٤ أرسطو: فوق السطر [د]. ^٥ الذي: التي [ج]. ^٦ فإنّ الشمس: فإنّها [ج]. ^٧ اللولبية: الكوكبية [ج، د]. ^٨ لولبية: كوكبية [ج، د]. ^٩ من: ناقص [أ، ج، س]، في الهامش [د]. ^{١٠} والكوكب: ناقص [ج، د]. ^{١١} هنا: هذا [ج، د]. ^{١٢} وضع: فوق السطر [ج]. ^{١٣} المنشورات: المنشورة [أ]. ^{١٤} التي: الذي [أ، س]. ^{١٥} ذكرها: ذكره [س]. ^{١٦} المعروف: المسمّى [ج]. ^{١٧} فلك: فوق السطر [ج]. ^{١٨} الآلات: آلات [س]. ^{١٩} اختلاف: في الهامش مع إشارة [ج]. ^{٢٠} جرم: خرم [ج، س]. ^{٢١} كتابي: كتابنا [ج].

٣ د ٢٣ ظ. ٤ ق ٤ ظ. ٥ ق ٤ ظ. ٦ س ٦ ظ. ٧ ه ٧ ظ. ٨ ب ٥. ٩ ج ٥. ١٠ ك ٨. و.

[41] D'après les Indiens et d'autres, on indique que l'inclinaison totale du Soleil est vingt-quatre degrés. C'est futile et il n'y aucune vérité là-dedans. C'est comme si cette doctrine indiquait le corps qui contient l'inclinaison du Soleil des deux côtés ; son extension en latitude est de quarante-huit degrés dont la moitié est vingt-quatre degrés ; ceci est à peu près la latitude maximale du soleil mais *son centre* ne dépasse pas 23;31. Si l'on prend cette doctrine de ce point de vue, alors c'est vrai et sans défaut.

Chapitre un

Fondements posés comme axiomes en géométrie

[1] Le point, la ligne, l'angle, la surface, le cercle et la sphère sont des êtres de figures connues.

[2] Chaque point, droite, plan ou angle s'ajuste sur son semblable.

[3] L'intersection de deux lignes quelconques est un point, celle de deux surfaces est une ligne, et celle de deux solides est une surface.

[4] Nous pouvons supposer une droite donnée sur n'importe quel plan ou bien passant par un point arbitraire. Nous pouvons fixer un point sur n'importe quelle droite ou plan. Nous pouvons reporter une droite finie sur n'importe quel plan ou solide. Nous pouvons tracer un cercle en un point quelconque avec un rayon quelconque.

[5] Les angles droits sont égaux.

[6] Lorsqu'une droite tombe sur une droite, cela produit deux angles droits, ou bien un angle aigu et un angle obtus ; la somme des deux angles est égale à deux droits.

[7] La somme des angles de tout triangle est égale à deux droits.

Chapitre deux

Fondements déjà établis

[1] La surface de la Terre et de l'eau est approximativement ronde.

[2] La rotondité des cieux est comme celle de la sphère.

[٤١] ما ذكر عن الهنود | وغيرهم، أنّ جملة ميل الشمس أربعة وعشرون درجة، باطل، لا حقيقة له. وكانّ هذه الطائفة | تشير إلى الجسم الذي يحوى ميل الشمس إلى الجهتين؛ وأنّ عرضه ثمانية | وأربعون درجة ونصفه أربعة وعشرون درجة، وذلك إلى منتهى عرض الشمس، فيكون إلى مركزها لا يزيد على كج لا. فإن كان على هذا رأي هذه الطائفة فهو صحيح وإلا فلا.

الباب الأوّل

في أصولٍ موضوعة مسلّمة في الهندسة متّفق عليها

- [١] النقطة والخطّ والزاوية والسطح والدائرة والكرة موجودة معلومة الصور.
- [٢] وإنّ كلّ واحد من النقطة والخطّ المستقيم والسطح المستوي والزاوية ينطبق على مثله.
- [٣] وإنّ الفصل المشترك بين كلّ خطّين نقطة، | وبين كلّ سطحين خطّ، وبين كلّ جسمين سطح.
- [٤] ولنا أن نفرض خطًّا على أيّ سطحٍ كان، أو مارًّا بنقطة كيف شئنا، وأن نعيّن نقطة على أيّ خطّ أو سطحٍ كان، وأن نصل خطًّا مستقيمًا محدودًا على أيّ سطحٍ أو جسمٍ شئنا، وأن نرسم على كلّ نقطةٍ وبكلّ بعدٍ دائرة.
- [٥] وإنّ الزوايا القائمة متساوية.
- [٦] وإذا قام خطّ مستقيم على خطّ مستقيم فإمّا أن يُحدِث زاويتين قائمتين أو زاويتين حادّة ومنفرجة، ومجموع الزاويتين قائمتين.
- [٧] وإنّ مجموع زوايا | كلّ مثلث قائمتين.

الباب الثاني

فيما تقرّر من الأصول

- [١] قد تقرّر استدارة السطح الظاهر من الأرض | والماء بالتقريب.
- [٢] وأنّ استدارة السماء كاستدارة الكرة.
- ^١ وغيرهم: في الهامش مع إشارة [ج]. ^٤ فإن كان على: في الهامش مع إشارة [س]. ^٤ هذا: فوق السطر [ج]. ^٤ وإلا فلا: في الهامش [س]. ^٧ الصور: الصورة [س]. ^{٩-١٠} وبين كلّ جسمين سطح: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١١} نعيّن: تعين [أ، ج]. ^{١٢} نصل: يصل [د]. ^{١٥} قائمتين: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١٦} ومجموع: مجموع [أ، د، س].
- ^١ أ هـ. ^٢ هـ ٨. ^٣ س ٧. ^٩ ق هـ. ^{١٧} ك ٨. ^{٢٠} ت ٤.

[3] La Terre est au cieus comme le centre de la sphère est à son bord.

[4] La grandeur de la Terre est sensible comparée à ce qui est au-dessous de l'orbe de Mars⁷⁴.

[5] Le centre de gravité de la Terre (et non le centre de son volume) coïncide avec le centre du monde où elle réside sans mouvement d'aucun côté.

[6] Le haut est ce qui est vers les cieus et s'éloigne du centre ; le bas est ce qui est vers le centre. Tous les graves tendent vers le centre, et ce qui est léger, vers le bord, à la recherche de son lieu propre.

Chapitre trois

Disposition des orbes

[1] Il y en a neuf. Le premier est celui qui entoure les huit. Sa forme est sphérique et son centre est le centre du monde. Il a deux pôles sur lesquels il tourne autour de son centre, centre du monde et centre du tout, d'un mouvement uniforme qui fait, en un jour et une nuit, une révolution plus la coascension du Soleil en un jour et une nuit⁷⁵. De ce mouvement, l'ensemble des orbes se meut d'est en ouest autour de son centre et sur ses pôles.

[2] La ceinture de ce mouvement, lieu équidistant des pôles de cet orbe, est appelé *équateur* ; le pôle situé à gauche quand on est tourné vers l'est est appelé pôle nord de l'équateur, et son homologue, pôle sud. Dans le plan de l'équateur on suppose qu'il y a un second cercle dont le bord est divisé selon les parts et leurs fractions, au nombre de trois cent soixante parts. Ces divisions s'appellent temps de l'équateur ou encore parts de l'équateur ; à cause de l'immobilité de ce cercle, c'est par lui qu'on mesure les mouvements. Cet orbe, le premier, est celui qui est absolument simple ; il définit les directions et on l'appelle l'*Atlas*.

[3] Le deuxième orbe est l'orbe des astres appelés étoiles fixes. Sa forme est sphérique, sa partie convexe touche la partie concave du neuvième et sa partie concave touche la partie convexe du septième qui entoure les orbes de Saturne. Il a deux pôles fixes sur lesquels il tourne autour du centre de monde d'un mouvement simple et uniforme d'ouest en est, comme on l'a vérifié par la démonstration et par l'observation.

- [٣] وأنّ الأرض | عند | السماء كمركز الكرة عند محيطها.
 [٤] وأنّ لها قدر محسوس فيما دون فلك المريخ.
 [٥] وأنّ مركز ثقلها مطابق لمركز العالم، لا مركز حجمها، ساكنة فيه غير متحرّكة إلى جهة من الجهات.
 [٦] وأنّ الفوق، إلى ما يلي السماء | ويبعد | من المركز؛ والتحت ما يلي المركز. وميل الأثقال جميعها إلى المركز، وميل ما هو خفيف إلى المحيط، يطلب حيّزه.

الباب الثالث

في ترتيب الأفلاك

- [١] وهي تسعة، أولها وهو المحيط بالثمانية، وشكله كروي، ومركزه مركز | العالم، وله قطبان يتحرّك عليهما حول مركزه الذي هو مركز العالم ومركز الكل، حركة مستوية في اليوم بليته دورة واحدة بنفس مطالع ما يتحركه الشمس في يوم بليته، وبهذه الحركة تتحرّك جميع الأفلاك من المشرق إلى المغرب حول مركزه وعلى قطبيه.
 [٢] ومنطقة هذه الحركة، | وهي التي بعدها من القطبين على السواء، وتسمّى منطقة معدّل النهار. والقطب الذي على شمال مستقبل المشرق يقال له قطب معدّل النهار الشمالي، ونظيره القطب الجنوبي. ويفرض في سطح دائرة معدّل النهار دائرة ثانية، ومحيطها مقسوم بالأجزاء | وكسورها التي هي ثلاثمائة وستين جزءًا، وتسمّى هذه الأقسام بأزمان معدّل النهار، وأجزاء معدّل النهار أيضًا؛ ليقاس بها الحركات لفرض ثباتها. وهذا الفلك، أعني الأول، هو البسيط المطلق المحدّد للجهات المسمّى بالأطلس.
 [٣] | والفلك الثاني، وهو فلك الكواكب المسمّاه بالثوابت، وشكله كروي، محدّبه مماسّ لمقرّ التاسع، ومقرّهُ مماسّ لمحدّب الفلك السابع المحيط بأفلاك زحل. وله قطبان ثابتان ويتحرّك عليهما حول مركز العالم حركة بسيطة مستوية من جهة المغرب إلى جهة المشرق، | على ما تحقق بالبرهان والرصد.

^٢ قدر محسوس: قدرًا محسوسًا [ج]. ^٣ مطابق: يطابق [ج]. ^٤ غير: لا [ج]. ^٥ يطلب حيّزه: ناقص [أ، ج، د]. ^٦ كروي: في الهامش مع إشارة [س]. ^٧ بنفس مطالع ما يتحركه الشمس في يوم بليته: في الهامش مع إشارة [ج]. ^٨ بنفس: بشمس [د]، تنقص [س]. ^٩ وتسمّى: تسمّى [ج]. ^{١٠} دائرة: فوق السطر [ج]. ^{١١} الأقسام: في الهامش [ج]. ^{١٢} أعني الأول: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١٣} الفلك: ناقص [ج]. ^{١٤} ويتحرّك: يتحرّك [ج، س].

^{١٥} هـ ٨. ^{١٦} ج هـ ٨. ^{١٧} ب هـ ٨. ^{١٨} د هـ ٨. ^{١٩} أ هـ ٨. ^{٢٠} ب هـ ٨. ^{٢١} س هـ ٨.

[4] Dans le plan de la ceinture de ce mouvement (lieu équidistant des pôles de cet orbe), sont dessinés les douze divisions du zodiaque, leurs degrés et leurs fractions, en commençant par la partie qui longe la figure du Bélier dans l'orbe des étoiles fixes dans la première des désignations⁷⁶, comme on sait.

[5] Le plan de ce lieu est incliné de 23;31 degrés par rapport au plan de l'orbe de l'équateur (c'est là l'inclinaison maximale). Considérons le grand cercle qui touche les deux pôles de l'équateur et les deux pôles de l'écliptique ; il coupe la ceinture de l'écliptique en deux points. L'intersection proche du pôle nord s'appelle *solstice d'été*, et la seconde, *solstice d'hiver*.

[6] Le plan de l'écliptique coupe l'équateur en deux points : le point qui précède le solstice d'été s'appelle l'*équinoxe de printemps*, et celui qui précède le solstice d'hiver, l'*équinoxe d'automne*. Ces quatre points sont immobiles ; ils ne se meuvent pas par rapport au lieu qu'ils longent dans l'équateur. On découpe en trois portions égales chacun des arcs délimités par ces points : nous imaginons six grands cercles qui passent par les pôles de l'écliptique, et la ceinture est coupée par eux en douze portions égales, de même que toute la figure du huitième orbe. On appelle chacune de ces portions un *signe du zodiaque*, et chaque signe est divisé en trente portions égales qu'on appelle degrés de l'écliptique.

[7] Il y a très longtemps, la constellation du Bélier (dans le huitième orbe, l'orbe des étoiles fixes) longeait la portion dont le commencement est l'équinoxe de printemps. Cette portion s'appelle le signe du Bélier. La deuxième portion s'appelle selon la constellation qui la longeait, c'est-à-dire le Taureau, puis les Gémeaux, puis le Cancer, etc., comme vous savez. Mais à la fin de l'an huit cent vingt de l'hégire la première portion longera la constellation des Poissons de l'orbe des étoiles fixes, donc les constellations se déplaceront d'un signe dans le sens des signes⁷⁷. Les portions immobiles longeront d'autres constellations que celles qu'elles longeaient autrefois. On pourra alors appeler Poissons la première portion, Bélier la deuxième, Taureau la troisième, etc. Ou bien on gardera leurs noms, mais on ne considérera plus les constellations qu'ils longent dans le zodiaque étoilé.

[8] On a observé que ce mouvement est d'un degré en soixante-dix années persanes. Chez

[٤] | ومنطقة هذه الحركة، التي بعدها من قطبي هذا الفلك على السواء، مرسومة على سطحه، مقسومة بالبروج الاثني عشر ودرجها وكسورها، مبتدئاً من التقاطع المحاذي لصورة الحمل من المكوكب عند أول التسمية على ما هو مشهور.

[٥] | وسطح هذه المنطقة مائل عن سطح فلك معدّل النهار كج لا، وهو الميل الأعظم.

٥ ونفرض دائرة عظيمة تمرّ بقطبي معدّل | النهار وبقطبي فلك البروج فتقطع منطقة فلك البروج على نقطتين، والتقاطع القريب من القطب الشمالي يسمّى المنقلب الصيفي، والثاني المنقلب الشتوي.

[٦] | وسطح البروج يقطع معدّل النهار على نقطتين، فالنقطة التي قبل المنقلب الصيفي تسمّى الاعتدال | الربيعي، والتي قبل المنقلب الشتوي | تسمّى الاعتدال الخريفي. وهذه النقط الأربعة ثابتة غير متحركة عمّا تحاذيه من دائرة معدّل النهار. فيفرض ما بين كلّ نقطتين مقسوم بثلاثة أقسامٍ متساوية، | ويؤنّه ستّ دوائر عظام مارةً بقطبي البروج وتلك الأقسام، فتقسم بها المنطقة اثني عشر قسماً متساوية، وكذلك جملة بسيط الثامن. وكلّ قسمٍ منها يُسمّى برجاً وكلّ برج مقسوم ثلاثين قسماً مستوية تسمّى درج البروج.

[٧] | وكان في قديم الزمان محاذي للقسم الذي أوله الاعتدال الربيعي صورة الحمل من الفلك الثامن المكوكب. يُسمّى هذا القسم بالحمل، والثاني بما كان يحاذيه وهو الثور، ثمّ الجوزاء، | تمّ السرطان، إلى آخر الاثني عشر، على ما هو مشهور. وإلى حدود ثمان مائة وعشرين من تأريخ الهجرة، يحاذي القسم الأول صورة الحوت من المكوكب؛ فتنتقل الصور إلى توالي البروج برج واحد، فيحاذي الأقسام الثابتة غير ما كان يحاذيها. فيجوز | حينئذ أن يُسمّى القسم الأول الحوت والثاني الحمل والثالث الثور | إلى آخرها. ويجوز بقاء أسمائها عليها، ولا ينظر إلى ما يحاذي من صور البروج المكوكبة.

[٨] | وقد تحقق بالرصد أنّ مقدار هذه الحركة في كلّ سبعين سنة فارسيّة درجة واحدة، وعند

^٣ عند أول التسمية: في الهامش مع إشارة [س]. ^٥ فلك: ناقص [س]. ^٦ والتقاطع: فالتقاطع [أ، س]. ^{٨-٩} التي قبل ... الاعتدال الربيعي: في الهامش مع إشارة [س]. ^٩ تسمّى: ناقص [أ، د، س]. ^٩ الأربعة: الأربع [أ، س]. ^{١١-١٢} ويؤنّه ... بسيط الثامن: في الهامش [س]. ^{١١} ويؤنّه: ننوّه [أ]. ^{١١} وتلك الأقسام: في الهامش مع إشارة [أ]، وبالأقسام المذكورة [س]. ^{١٥} يُسمّى: فُسْمِي [س]. ^{١٦-١٧} وإلى حدود ... الهجرة: في الهامش [س]. ^{١٨} برج واحد: فوق السطر [س]. ^{١٨} الثابتة: الثانية [ج]. ^{١٨} غير ما كان يحاذيها: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١٨} أن: بأن [ج]. ^{١٩} آخرها: الآخر [ج]. ^{٢٠} يحاذي: يحاذيها [ج]. ^{٢١} مقدار: معدّل (وكُتِب "مقدار" تحت السطر) [د]. ^{٢١} كلّ: ناقص [أ، د، س].

^١ ق ه ظ. ^٥ ج و. ^٩ ك ظ. ^٩ ب و. ^{١١} ه ظ. ^{١٦} أ و. ^{١٨} ت ع ظ. ^{١٩} س ظ.

Ptolémée il est d'un degré par siècle, chez les modernes il est d'un degré et demi par siècle, et chez certains d'entre eux il est d'un degré tous les soixante-dix ans, en années persanes.

[9] Ceci étant dit, sachez que l'orbe inférieur (le premier) appartient à la Lune, le deuxième à Mercure, le troisième à Vénus, le quatrième au Soleil, le cinquième à Mars, le sixième à Jupiter, le septième à Saturne, et dans le huitième sont enchâssées les étoiles fixes, appelées ainsi car leurs positions les unes par rapport aux autres sont fixes. Le neuvième, mentionné ci-dessus, se meut sur ses pôles et autour de son centre d'est en ouest. C'est le mouvement diurne, et les orbites des sept astres sont mus par ce mouvement parallèlement à l'équateur.

[10] Sous l'orbe de la Lune, il y a l'orbe du feu, puis l'air, puis l'eau, puis la terre, c'est-à-dire le globe terrestre.

[11] Nous avons déjà dénoncé la faiblesse du raisonnement selon lequel Vénus est au-dessus du Soleil. Rare sont les savants qui ont vu cela. Nous avons expliqué cela ailleurs dans nos livres. Dieu est le plus savant.

Chapitre quatre

Cercles remarquables et latitude locale

[1] Le plus remarquable des grands cercles est le cercle de l'*équateur*. C'est celui qui est équidistant des pôles de l'équateur, qui est ceinture du mouvement diurne et cercle équinoxial. Qu'on conçoive son plan coupant le globe terrestre, la ligne de coupe s'appelle équateur terrestre en raison de l'égalité du jour et de la nuit pour tous les habitants qui s'y trouvent, parce que les cieux y tournent en roue avec les pôles de l'équateur à l'horizon. Puisque la Terre est sphérique et stable au centre du monde, pour qui avance sur Terre de l'équateur en allant vers le nord, le pôle nord s'élève au-dessus de l'horizon ; et pour qui avance vers le sud, le pôle sud s'élève au-dessus de l'horizon. Plus l'un des deux pôles s'élève, plus l'autre s'abaisse.

[2] L'élévation du pôle s'appelle *latitude locale*. C'est un arc du grand cercle⁷⁸ passant par le zénith et par les pôles de l'équateur, cet arc est égal à l'abaissement de l'autre pôle [sous l'horizon], et il est aussi égal à la distance

بطللميوس في كلّ مائة سنة درجة | واحدة، وعند المتأخرين في كلّ مائة سنة درجة ونصف، وعند بعضهم في كلّ سبعين سنة درجة من السنين الفارسيّة.

[٩] وإذا تقرّر ذلك | فاعلم أنّ الفلك الأدنى وهو الأوّل للقمر، والثاني لعطارد، والثالث للزهرة، والرابع للشمس، والخامس للمريخ، والسادس للمشتري، والسابع لزحل، والثامن مرصع فيه الكواكب الثابتة سمّيت بذلك لثبات أوضاعها بعضها من بعض، ثمّ التاسع | المتقدم ذكره المتحرّك على قطبيه وحول مركزه من المشرق إلى المغرب الحركة اليوميّة. ويتحرّك بهذه الحركة أفلاك | الكواكب السبعة على موازاة منطقة معدّل النهار.

[١٠] ويلى فلك القمر فلك النار، ثمّ الهواء ثمّ الماء ثمّ التراب وهو كرة الأرض. وقد تقدّم تقرير ذلك.

[١١] وقد بيّنا ضعف دليل من استدللّ على أنّ الزهرة فوق الشمس، ولم ير ذلك من أهل العلم إلّا قليلاً. وقد شرحنا ذلك في غير موضع من كتبنا، والله أعلم.

الباب الرابع

في الدوائر المشهورة وعرض البلد

[١] أشهر الدوائر العظام دائرة | معدّل النهار، وهي التي بعدها من قطبي معدّل النهار سواء، وهي منطقة الحركة | اليوميّة ودائرة الاستواء والاعتدال. ويفرض سطحها فاصلاً لكرة الأرض، | فيسمّى خطّ الاستواء لاستواء الليل والنهار على جميع السكّان عليه، وذلك لكون الفلك يدور هناك دولابياً وقطبي معدّل النهار على الأفق. ولما كانت الأرض | كرية ثابتة في مركز العالم، كان الذهاب من خطّ الاستواء على الأرض إلى جهة الشمال، يرتفع القطب الشماليّ عن أفقه؛ والذهاب إلى جهة الجنوب، يرتفع القطب الجنوبيّ عن أفقه. وبمقدار ارتفاع | أحدهما، ينخفض الآخر.

[٢] فيسمّى ارتفاع القطب عرض البلد. وهو قوس من الدائرة المارّة بسمت الرأس وقطبي معدّل النهار، وهذه القوس مساوية لانخفاض القطب الآخر، وهي أيضًا مساوية لبعدها دائرة معدّل

^١ واحدة: ناقص [أ، د، س]. ^٢ وإذا: وإذ [س]. ^٣ مرصع فيه الكواكب: موضع الكواكب [ج]، مرصع بالكواكب [د]. ^٤ بعضها: في الهامش [د]. ^٥ على: عن [ج، د]. ^٦ الحركة: بالحركة [د]. ^٧ ويتحرّك بهذه الحركة: بهذه الحركة تتحرّك [ج]. ^٨ منطقة: فوق السطر [ج]. ^٩ على أن: بأن [ج]. ^{١٠} من: ناقص [د]. ^{١١} جهة الشمال: الجهة الشماليّة [س]. ^{١٢} وقطبي: وقطب [س]. وهذه: وهذا [أ، ج، د، س].

^{١٣} ١٠. ^{١٤} ١٠. ^{١٥} ١٠. ^{١٦} ١٠. ^{١٧} ١٠. ^{١٨} ١٠. ^{١٩} ١٠. ^{٢٠} ١٠. ^{٢١} ١٠. ^{٢٢} ١٠. ^{٢٣} ١٠. ^{٢٤} ١٠. ^{٢٥} ١٠. ^{٢٦} ١٠. ^{٢٧} ١٠. ^{٢٨} ١٠. ^{٢٩} ١٠. ^{٣٠} ١٠. ^{٣١} ١٠. ^{٣٢} ١٠. ^{٣٣} ١٠. ^{٣٤} ١٠. ^{٣٥} ١٠. ^{٣٦} ١٠. ^{٣٧} ١٠. ^{٣٨} ١٠. ^{٣٩} ١٠. ^{٤٠} ١٠. ^{٤١} ١٠. ^{٤٢} ١٠. ^{٤٣} ١٠. ^{٤٤} ١٠. ^{٤٥} ١٠. ^{٤٦} ١٠. ^{٤٧} ١٠. ^{٤٨} ١٠. ^{٤٩} ١٠. ^{٥٠} ١٠. ^{٥١} ١٠. ^{٥٢} ١٠. ^{٥٣} ١٠. ^{٥٤} ١٠. ^{٥٥} ١٠. ^{٥٦} ١٠. ^{٥٧} ١٠. ^{٥٨} ١٠. ^{٥٩} ١٠. ^{٦٠} ١٠. ^{٦١} ١٠. ^{٦٢} ١٠. ^{٦٣} ١٠. ^{٦٤} ١٠. ^{٦٥} ١٠. ^{٦٦} ١٠. ^{٦٧} ١٠. ^{٦٨} ١٠. ^{٦٩} ١٠. ^{٧٠} ١٠. ^{٧١} ١٠. ^{٧٢} ١٠. ^{٧٣} ١٠. ^{٧٤} ١٠. ^{٧٥} ١٠. ^{٧٦} ١٠. ^{٧٧} ١٠. ^{٧٨} ١٠. ^{٧٩} ١٠. ^{٨٠} ١٠. ^{٨١} ١٠. ^{٨٢} ١٠. ^{٨٣} ١٠. ^{٨٤} ١٠. ^{٨٥} ١٠. ^{٨٦} ١٠. ^{٨٧} ١٠. ^{٨٨} ١٠. ^{٨٩} ١٠. ^{٩٠} ١٠. ^{٩١} ١٠. ^{٩٢} ١٠. ^{٩٣} ١٠. ^{٩٤} ١٠. ^{٩٥} ١٠. ^{٩٦} ١٠. ^{٩٧} ١٠. ^{٩٨} ١٠. ^{٩٩} ١٠. ^{١٠٠} ١٠.

entre l'équateur et le zénith dans cette région.

[3] Le *cercle méridien* ou cercle de la longitude du pays coupe toutes les trajectoires visibles en deux moitiés. Il passe par le pôle visible et par le zénith. Il change quand on se déplace vers l'est ou vers l'ouest mais ne change pas quand on suit le nord ou le sud.

[4] Pour chaque pays, soit son méridien ; nous imaginons qu'il coupe la sphère terrestre ou qu'il y est dessiné. Ce qui est compris entre le méridien passant par l'extrémité ouest du monde habitée et le méridien d'un lieu supposé, c'est la *longitude du pays*. Son maximum est cent quatre-vingts degrés.

[5] La latitude maximale est quatre-vingt-dix degrés, et elle est atteinte là où l'un des pôles est au zénith. Les cieux tournent alors comme une meule ; aux autres latitudes, ils tournent de manière oblique comme un ceinturon. Les régions habitées sur Terre vont, [en latitude], de l'équateur jusque là où le pôle nord atteint une hauteur égale au complément de l'inclinaison [de l'écliptique] 66;29, et en longitude, d'une longitude d'un degré jusqu'aux cent quatre-vingts degrés.

[6] Ceci étant admis, parmi les cercles remarquables je dis qu'il y a aussi la *ceinture de l'écliptique*. C'est la ceinture du huitième orbe et on l'appelle aussi « voie du Soleil » car le Soleil la suit toujours. Nous imaginons que ce cercle découpe tous les orbes et dessine dans chacun un grand cercle appelé *orbe parécliptique*. La moitié de la ceinture de l'écliptique qui commence par l'équinoxe de printemps est au nord de l'équateur, et l'autre moitié est au sud. Chacune des deux moitiés est divisée en six portions appelées *signes*, comme précédemment.

[7] Parmi les grands cercles, il y a aussi le *cercle de déclinaison*. C'est le grand cercle qui passe par les pôles de l'équateur céleste et par n'importe quel point ou par un astre donné ; il coupe la ceinture de l'équateur céleste. Le plus petit des deux arcs [du cercle de déclinaison] situés entre ce point et l'équateur est l'inclinaison de ce point appelée *première inclinaison* [ou déclinaison ⁷⁹]. Si ce cercle est celui qui passe par la tête du Cancer et du Capricorne, il passe alors aussi par les pôles de l'orbe de l'écliptique et la déclinaison [d'un astre sur l'écliptique] est ici maximale. Soit un cercle de déclinaison passant par un astre, alors l'arc compris entre l'astre et l'équateur céleste est la distance de l'astre à l'équateur céleste. Le point où il rencontre l'équateur est la *coascension* du degré de passage de cet astre au méridien ⁸⁰ ; et le second point, où il rencontre la ceinture de l'écliptique, est le *degré de passage* de cet astre.

النهار من سمت الرأس في تلك البقعة في تلك الأفق.

[٣] دائرة نصف النهار وطول البلد وهي الفاصلة لجميع المدارات الظاهرة بنصفين. وهي المارة بالقطب الظاهر وسمت الرأس. وهي تختلف بالتشريق والتغريب ولا تختلف بالسلوك شمالاً ولا جنوبياً.

[٤] ونفرض لكل بلد دائرة نصف نهار، ونوهم كل واحدة منها فاصلة لكرة الأرض أو مرتسمة عليها، فما بين دائرة نصف النهار المارة بأول المعمور من جهة المغرب ودائرة نصف النهار بقعة مفروضة، هو طول البلد. وغايته مائة وثمانون درجة.

[٥] وغاية العرض | تسعون درجة. وذلك عند كون أحد قطبي العالم على سمت الرأس. ويدور الفلك هناك رحاويًا، ويدور في | باقي العروض حمالياً. | والمسكون من ظهر الأرض من خط الاستواء إلى حيث ارتفاع القطب الشمالي مساوٍ لتمام الميل الأعظم، وهو سو كط، وفي الطول من طول درجة إلى تمام مائة وثمانين درجة.

[٦] | وإذا تقرّر ذلك، فأقول إن - من الدوائر المشهورة - أيضًا دائرة منطقة البروج. وهي منطقة الفلك الثامن وتسمى بطريقة الشمس، لمساممة الشمس لها أبدًا. ونوهم هذه | الدائرة فاصلة لجميع الأفلاك فترسم في كل فلك دائرة عظيمة تسمى بالفلك الممثل. والنصف | من منطقة البروج الذي ابتداءه نقطة الاعتدال الربيعي شمالي عن معدّل النهار، والنصف الآخر جنوبي عنه. وكل واحدٍ منهما مقسوم بستة أقسام، يُسمى كل قسم برجًا على ما تقدّم.

[٧] | ومن الدوائر العظام دائرة الميل. | وهي العظيمة المارة بقطبي معدّل النهار وبأي جزء كان أو بكوكب مفروض؛ فتقطع منطقة معدّل النهار. والقوس الصغرى الواقعة منها بين ذلك الجزء ومعدّل النهار هي ميل ذلك الجزء وتسمى الميل الأول. فإن كانت هي المارة برأس السرطان والجدى، فتمرر | حينئذ بقطبي فلك البروج أيضًا ويكون الميل في نهايته. فإن فرضت مارة بكوكب كان ما بين الكوكب وبين معدّل النهار منها هو بُعد ذلك الكوكب عن معدّل النهار. ونقطة تقاطعها لمعدّل النهار هي مطالع درجة ممر ذلك الكوكب بدائرة نصف النهار؛ ونقطة تقاطعها لمنطقة | البروج الثانية هي | درجة ممر ذلك الكوكب.

^١ في تلك الأفق: ناقص [أ، ج، د، س]. ^٢ بالسلوك: بالشكوك [ج]، بالشلوك [د]. ^٣ ولا جنوبياً: وجنوبيًا [أ، ج، د]، وجنوبيًا [س]. ^٤ نهار: النهار [ج، د]. ^٥ النهار: نهار [ج، د، س]. ^٦ أحد: إحدى [ج، د]. ^٧ رحاويًا: رحويًا [ج]. ^٨ الأرض: كرة الأرض [س]. ^٩ وإذا: وإذا [د، س]. ^{١٠} دائرة: ناقص [د، س]. ^{١١} الفلك: فوق السطر [د]. ^{١٢} لمساممة: لمماسة [ج]. ^{١٣} الدوائر: ناقص [س]. ^{١٤} العظيمة المارة: دائرة عظيمة مارة [ج]. ^{١٥} وبين معدّل: ومعدّل [أ، د، س]. ^{١٦} ذلك: ناقص [ج]. ^{١٧} الثانية: الثابتة [ج، د].

^{١٨} گ ١١. ^{١٩} ج ٧. ^{٢٠} س ٩ ظ. ^{٢١} ه ١١. ^{٢٢} ق ٦ ظ. ^{٢٣} ت ٥. ^{٢٤} ب ٧. ^{٢٥} د ٢٥. ^{٢٦} گ ١١ ظ. ^{٢٧} س ١٠.

[8] Parmi les grands cercles, il y a aussi le *cercle de latitude*. C'est le grand cercle imaginaire passant par les pôles de l'écliptique et par un point donné de l'écliptique ou par un astre. On le connaît aussi sous le nom de *cercle de seconde inclinaison*. [S'il passe par un point de l'écliptique], l'angle aigu situé sur le cercle [de latitude] entre la ceinture de l'écliptique et l'équateur est la seconde déclinaison de ce point, dite aussi *latitude* de ce point. S'il passe par un astre, l'arc de ce cercle compris entre l'astre et la ceinture de l'écliptique du côté le plus proche est la *latitude* de cet astre, et le petit arc de ce cercle compris entre l'astre et l'équateur est la latitude de l'astre rapportée à l'équateur et on l'appelle aussi *argument de latitude* de l'astre⁸¹.

[9] Si le cercle de latitude passe par un astre donné et qu'il coupe la ceinture de l'écliptique, il la coupe en le *degré de longitude* de l'astre. L'origine des longitudes de l'astre est l'équinoxe de printemps, à la tête du Bélier, par convention. Si le cercle de latitude [passant par un point donné] coupe l'équateur, l'intersection est la longitude de l'astre rapportée à l'équateur. Si le point donné est un des solstices, le cercle de latitude [passant par ce point] est confondu avec le cercle de première déclinaison : c'est le cercle passant par les pôles de l'écliptique et par les pôles de l'équateur, les première et seconde inclinaisons sont réunies, et chacune est à son maximum 23;31.

[10] Parmi les cercles remarquables, il y a le *cercle de l'horizon*. C'est celui qui sépare la partie visible de la partie invisible des cieux. Un de ses pôles est le *zénith*, l'autre le *nadir*. Sur ce cercle ont lieu les levers et les couchers. [Ce cercle] est décrit par la droite issue de l'œil, tangente à la sphère terrestre et allant jusqu'au neuvième orbe ; or la partie visible est plus grande que la partie cachée.

[11] Il a tort celui qui dit que la partie visible est plus grande que la partie cachée d'une grandeur de quatre minutes et vingt-six secondes. J'ai trouvé par l'observation que les parts visibles du Soleil et des astres sont plus grandes que ce qu'on a calculé, d'une grandeur variable qui dépasse deux tiers de degré et qui est composée de combien est descendu l'observateur et de combien a baissé le centre du volume du globe terrestre par rapport au centre du monde. La raison en est que c'est le centre de gravité de la Terre qui est confondu avec le centre du monde, et non le centre de son volume. La différence entre les centres est nécessaire, car [la Terre] est constituée d'eau et de terre, et le centre de gravité est du côté de la terre ; ceci a été établi par examens successifs. J'ai déjà consacré un écrit à ce sujet.

[12] Parmi les grands cercles, il y a le *cercle méridien* dont on a déjà décrit certaines propriétés. C'est le grand cercle imaginaire

[٨] ومن الدوائر العظام، دائرة العرض. | وهي العظيمة المتوهمة المارة بقطبي فلك البروج وجزء مفروض من البروج أو بكونك. وتعرف بدائرة الميل الثاني. والقوس الصغرى الواقعة منها بين منطقتي البروج ومعدل النهار هي ميل ذلك الجزء الثاني، ويقال له عرض ذلك الجزء أيضًا. فإن مرت بكونك، كان ما بين الكوكب ومنطقة البروج منها من الجهة الأقرب عرض ذلك الكوكب؛ والقوس الصغرى منها التي فيما بين الكوكب ومعدل النهار هو عرض ذلك الكوكب المعدل وتسمى حصّة عرض الكوكب أيضًا.

[٩] ودائرة العرض إذا مرت بكونك | مفروض وقطعت منطقة البروج، قطعته على درجة طول ذلك الكوكب. وابتداء أطوال الكوكب من نقطة الاعتدال الربيعي، وهي رأس الحمل، اصطلاحًا. وإن قطعت لمعدل النهار، كان ذلك | التقاطع طول ذلك الكوكب المعدل. وإن كان الجزء المفروض أحد الانقلابين، طبقت لدائرة الميل الأول: وكانت هي المارة بقطبي فلك البروج وبقطبي معدل النهار، واتحد الميلاّن الأول والثاني، وكان كلّ واحدٍ منهما في نهايته، وهو كج لا.

[١٠] ومن الدوائر المشهورة دائرة الأفق. وهي الفاصلة بين الظاهر الخفي من الفلك. وأحد قطبيها سمت الرأس، والآخر سمت القدم. وعلى هذه الدائرة يكون | الطلوع والغروب، وهي تُرسم من الخط الخارج من البصر المماسّ لكرة الأرض ومنتهيًا إلى التاسع؛ | فإنّ الظاهر يكون أكثر من الخفي.

[١١] | وقول من قال بأنّ الظاهر أكثر من الخفي بمقدار أربع دقائق وستّ وعشرين ثانية ليس بصحيح. فإنّي وجدت بالرصد أنّ قسي الشمس والكواكب الظاهرة أكثر من المحسوب بمقدار مختلف يزيد على ثلثي درجة، وذلك مركب من انحدار البصر ومن انخفاض مركز حجم كرة الأرض عن مركز العالم. وذلك لكون المطابق لمركز العالم هو مركز ثقل الأرض لا مركز حجمها. واختلاف المركز ضروري، لكونها مركبة من ماء وتراب، ومركز الثقل في جهة التراب. تقرّر ذلك بتواتر الامتحان، وقد أفردت لذلك رسالة.

[١٢] ومن العظام، دائرة نصف النهار، وقد تقدّم بعض صفاتها. وهي المتوهمة | العظيمة

^١ الدوائر: ناقص [أ، د، س]. ^٧ على: فوق السطر [د]. ^٨ الكوكب: الكواكب [ج، د، س]. ^{١٥} البصر: البصير [أ]. ^{١٧} وقول من قال بأنّ الظاهر أكثر من الخفي: في الهامش [د]. ^{١٨} المحسوب: المحسوبة [س]. ^{١٩} ثلثي درجة: م دقيقة [ج]. ^{١٩} كرة: فوق السطر [ج]. ^{٢٠} لكون: ليكون [ج]. ^{٢١} المركز: المركزين [س]. ^{٢١} في: من [ج]. ^{٢٣} وقد تقدّم بعض صفاتها: في الهامش مع إشارة [س].

٢٣٠٣٨ هـ ١١ ظ. ٧ أ. ٧ ج. ٧ ظ. ٩ ك. ١٢ و. ١١ هـ ١٢ و. ١٤ س ١٠ ظ. ١٥ ق ٧ و. ١٧ ب ٧ ظ. ٢٣ ك ١٢ ظ.

passant par les pôles de l'horizon et par les pôles de l'équateur. Si le pôle de l'horizon est pôle de l'équateur, [le méridien] est [un] cercle perpendiculaire à l'horizon qui coupe les trajectoires diurnes visibles en deux moitiés. Il coupe la ceinture de l'écliptique au-dessus de la Terre en un point qu'on appelle le dixième, et au-dessous de la Terre en un point qu'on appelle le quatrième ou bien le pivot de la Terre. Quand l'astre arrive sur ce cercle, il est au terme de son ascension si c'est un astre pas toujours visible ; si c'est un astre toujours visible, alors il a sur ce cercle deux hauteurs, et la moitié de leur somme est la latitude locale. L'arc situé sur le méridien entre les pôles de l'équateur et l'horizon vrai est la latitude locale. Il coupe la Terre en une ligne qui s'appelle *ligne méridienne*.

[13] Parmi les grands cercles, il y a le cercle de l'est et de l'ouest. C'est le grand cercle imaginaire passant par le zénith et le nadir et par les pôles du méridien, donc il est perpendiculaire à l'horizon, et on l'appelle *cercle origine des azimuts*. Si un astre ou un point donné y passe, il n'aura pas d'azimut lors du passage. Si on l'imagine coupant le globe terrestre, [il y dessine] la ligne de l'est et de l'ouest qui est perpendiculaire à la ligne méridienne. La ligne de l'est et de l'ouest ne change pas quand on va vers des lieux plus à l'est ou plus à l'ouest⁸², mais elle change quand on va vers le nord ou vers le sud.

[14] Parmi les grands cercles, il y a le *cercle de latitude du climat de la vue*⁸³. C'est le grand cercle imaginaire passant par les pôles de l'écliptique et de l'horizon, donc il est perpendiculaire à l'horizon, et il coupe en deux moitiés la partie visible et la partie cachée de l'écliptique. L'arc de ce cercle compris entre un des pôles de l'écliptique et l'horizon s'appelle *latitude du climat de la vue*.

[15] Parmi les grands cercles, il y a le *cercle de hauteur*. C'est un grand cercle imaginaire qui passe par les pôles de l'horizon et par le point donné, donc il est perpendiculaire à l'horizon et le coupe en deux points dont la distance à la ligne de l'est et de l'ouest est l'azimut de [ce cercle] de hauteur. L'arc de ce cercle compris entre l'horizon et le point donné est la *hauteur*, et la distance du point au zénith sur ce cercle est le complément de la hauteur.

[16] Parmi les grands cercles, il a le *cercle de l'horizon incident*⁸⁴. C'est un grand cercle qui passe par les deux points nord et sud et par le point donné ou par un astre donné. La *hauteur de l'horizon incident* est un arc du cercle origine des azimuts, compris entre l'horizon du lieu et l'horizon incident. La *latitude de l'horizon incident* est un arc d'un grand cercle passant par les pôles

المازة بقطبي الأفق وبقطبي معدّل النهار. فإن كان قطب الأفق هو قطب المعدّل، كانت هي القائمة عليه على قوائم، وهي تفصل الظاهر من المدارات اليوميّة نصفين. وتفصل منطقة | البروج فوق الأرض على نقطة تُسمّى العاشر، وتحتها على | نقطة تُسمّى الرابع وتودّ الأرض. وإذا وصل الكوكب إليها، كان في غاية ارتفاعه إذا لم | يكن أبديّ الظهور؛ فإن كان أبديّ الظهور، فله عليه ارتفاعان، نصف مجموعهما عرض تلك البقعة. والقوس الواقعة من دائرة | نصف النهار بين قطبي معدّل النهار والأفق الحقيقي هو عرض البلد. ويقطع الأرض | على خطّ يُسمّى خطّ نصف النهار.

[١٣] ومن الدوائر العظام، دائرة المشرق والمغرب، | وهي العظيمة المتوهّمة المارة بسمت الرأس والقدم وبقطبي دائرة نصف النهار، فتقوم على الأفق على قوائم، وتُسمّى بدائرة أوّل السموت. وإذا مرّ بها كوكبٌ أو جزءٌ مفروض، كان حين المرور لا سمت له. وإذا توهّمت قاطعةً لكرة الأرض، كان ذلك الخطّ خطّ المشرق والمغرب وهو قائم على خطّ نصف النهار. وخطّ المشرق والمغرب لا يختلف باختلاف البقاع الشرقيّة والغربيّة، بل في الشمالية والجنوبية.

[١٤] ومن الدوائر العظام دائرة عرض إقليم الرؤية. وهي دائرة متوهّمة مارة بقطبي فلك البروج وبقطبي الأفق، فتكون قائمة | على الأفق، وهي تنصف الظاهر والخفي من فلك البروج. والقوس التي منها فيما بين أحد قطبي فلك البروج والأفق تُسمّى | عرض إقليم الرؤية.

[١٥] ومن الدوائر العظام دائرة الارتفاع. وهي | دائرة عظيمة متوهّمة مارة بقطبي الأفق والجزء المفروض، فتقطع الأفق | على قوائم على نقطتين بُعد كلّ واحدةٍ من هاتين النقطتين من خطّ المشرق والمغرب هو سمت لذلك الارتفاع. والقوس الواقع منها بين الأفق والجزء المفروض هو الارتفاع، ويُعد الجزء عليها من سمت الرأس هو تمام الارتفاع.

[١٦] | ومن الدوائر العظام، دائرة الأفق الحادّ. وهي دائرة عظيمة تمرّ بنقطتي الشمال والجنوب والجزء المفروض أو بكوكبٍ مفروض. وارتفاع الأفق الحادّ قوس من دائرة أوّل السموت، بين أفق البلد والأفق الحادّ. وعرض الأفق الحادّ قوس من دائرة عظيمة تمرّ بقطبي معدّل

° عرض تلك: هو عرض تلك [س]، عرض [ج].^٨ الدوائر: ناقص [أ]، س].^٨ العظيمة: دائرة عظيمة [ج].^٩ الأفق: في الهامش مع إشارة [س].^{١١-١٢} المشرق والمغرب لا يختلف: المشرق والمغرب يختلف [ج]، المشرق والمغرب لاختلاف [د]، يختلف (وكُتِب "المشرق والمغرب لا" في الهامش مع إشارة) [س].^{١٣} الدوائر: أ، د، س.^{١٤} وبقطبي: و [أ]، ج، د، س].^{١٦} الدوائر: ناقص [أ]، د، س].^{١٩} الرأس هو تمام: في الهامش مع إشارة [أ].^{١٩} الرأس: في الهامش مع إشارة [س].^{٢٠} الدوائر: ناقص [أ]، د، س].

٢ ١٢ ٥ ظ. ٣ ٧ أ ظ. ٤ ت ٥ ظ. ° س ١١ و. ٦ ج ٨ و. ٨ د ٢٥ ظ. ١٤ ك ١٣ و. ١٥ هـ ١٣ و. ١٦ ب ٨ و. ١٧ ق ٧ ظ. ٢٠ س ١١ ظ.

de l'équateur et perpendiculaire à l'horizon incident.

[17] Parmi les cercles remarquables, il y a les *trajectoires [diurnes]*. Ce sont des cercles parallèles à l'équateur et passant par le point donné. Leur route est réglée [par rapport à] la déclinaison et au pôle. Les plus grands d'entre eux sont proches de la ceinture de la sphère. Dans un pays où la latitude est telle que la partie visible des trajectoires du nord est plus grande que la moitié, et que celle des trajectoires du sud est plus petite que la moitié, l'*arc diurne* de l'astre est proportionné à la partie visible de sa trajectoire ; si la distance de la trajectoire au pôle est inférieure ou égale à la latitude locale, alors l'astre qui la suit est toujours visible s'il est du côté du pôle visible, et toujours caché sinon.

[18] Parmi les cercles remarquables, il y a les *trajectoires selon les latitudes*. Ce sont des cercles parallèles à la ceinture de l'écliptique et passant par n'importe quel astre. Chacune des étoiles fixes tourne autour des pôles de l'écliptique vers l'est, et elle est attachée à l'un de ces cercles sans jamais en dévier.

[19] Parmi les cercles remarquables, il y a les *muquantars*. Ce sont des cercles parallèles à l'horizon : ceux qui sont au-dessus de l'horizon s'appellent muquantars de hauteur, et ceux qui sont en-dessous, muquantars d'abaissement. Les cercles de hauteur leur sont perpendiculaires. Ils coupent tous les cercles de hauteur au même niveau. Leurs pôles sont le zénith et le nadir. Leur forme varie si on les projette, et elle varie en fonction de la surface sur laquelle on les projette et du pôle⁸⁵.

Chapitre cinq

Le mouvement des étoiles fixes, et une notice sur leurs changements de position causés par les déplacements vers l'est ou vers l'ouest

[1] Les astres appelés *étoiles fixes* constellent la surface du *huitième orbe*. Elles ont diverses magnitudes et personne ne peut énumérer leur nombre sauf Dieu, bien que d'une époque reculée jusqu'à Hipparque ils en ont observé mille vingt-deux. Ils ont déterminé leurs longitudes et leurs latitudes à une date donnée. Ils ont classé leurs magnitudes selon six

النهار وتقوم على دائرة الأفق الحادث فيما بين قطب العالم والأفق الحادث. [١٧] ومن الدوائر المشهورة، المدارات. وهي دوائر* موازية لمعدّل النهار مارةً بالجزء المفروض، وجهتها مستوية إلى جهة الميل أو القطب. وأعظمها ما قرب من المنطقة. وإذا كان لبلد عرض كان الظاهر من المدارات الشماليّة أكثر من النصف، ومن الجنوبيّة أقلّ من النصف^١، وقوس نهار الكوكب منسوب إلى الظاهر | من | مداره؛ فإنّ بُعد المدار من القطب بقدر عرض البلد أو أقلّ، | فالكوكب الذي عليه أبدّي الظهور إن كان الكوكب في جهة القطب الظاهر، وإلا فهو أبدّي الخفاء.

[١٨] ومن الدوائر المشهورة، | مدارات العروض. وهي دوائر موازية لمنطقة البروج مارةً بما نفرض من الكواكب. والكواكب الثابتة تدور على قطبي فلك البروج، إلى جهة المشرق، فتكون لازمةً لدائرة من دوائر العروض غير زائلة عنها أبداً.

[١٩] ومن المشهورات، دوائر المقنطرات. وهي دوائر موازية للأفق: وما كان منها فوق الأفق يُسمّى مقنطرات الارتفاع، وما كان منها تحت الأفق يُسمّى مقنطرات الانحطاط. ودوائر الارتفاع قائمة عليها. فتفصل دوائر الارتفاع بأجزاء متساوية. وقطباها سمت الرأس والقدم. وتختلف أشكالها إذا سطحت باختلاف السطح المسطحة عليه، والقطب أيضاً.

الباب الخامس

في حركة الثوابت، ونبذة من اختلاف أوضاعها بسبب الحركتين الشرقيّة والغربيّة

[١] الكواكب المعروفة بالثوابت مرصّعة في سطح | الفلك الثامن. وهي مختلفة المقادير. ولا يمكن أن يُحصى عددها إلاّ الله عزّ وجلّ، | إلاّ أنّ من تقادم عهده عن ابرخس | رصدوا منها ألفاً واثنين وعشرين كوكباً. وأثبتوا أطوالها وعروضها | لتأريخ مفروض. ورتّبوا أقدارها على ستّة^١ فيما بين ... الحادث: ناقص [أ، ج، د، س]، في الهامش [ب، ه].^٣ مستوية: منسوبة [ج، س].^٣ وإذا: فإذا [ج، د].^٣ لبلد: للبلد [ج].^٤ وقوس: قوس [أ، د]، غير مقروء [س].^٩ فلك: ناقص [س].^{١٣} وقطباها: وقطبيها [أ، س].^{١٤} باختلاف: باختلال [س].^{١٤} المسطحة عليه: المسطح عليها [ج].^{١٦} ونبذة: ونبذ [ج].^{١٧} في: على [ج].^{١٨} عزّ وجلّ: تعالى [ج].

ج ٨ ظ. ه ١٣ ظ. ٦ ١٣ ظ. ٨ أ ٨. ١٣ س ١٢. ١٧ ت ٦. ١٨ ب ٨ ظ. ١٨ د ٢٦. ١٩ ك ١٤. ٥

* كُتب في الهامش [ج]: "الطولية وهي مدارات ترسمها الشمس بحركتها الخاصّة من الزوال (؟) إلى الزوال (؟) أو من الوقت إلى مثله (؟) وكذلك يمنع (؟) الكواكب لها مدارات ترسمها من الوقت إلى مثله." ^١ كُتب في الهامش [ج]: "إن كان عرض ... وبالعكس إن كان ..."

rangs : le premier rang est la magnitude la plus grande, et le sixième, la plus petite. Chaque rang se différencie en trois sortes : majeur, moyen, mineur.

[2] Parmi les mille vingt-deux étoiles, ils en ont trouvé quinze de première magnitude, quarante-cinq de deuxième magnitude, deux cent huit de troisième magnitude, quatre cent soixante-quatorze de quatrième magnitude, deux cent dix-sept de cinquième magnitude, quarante-neuf de sixième magnitude, et quatorze en dehors de ces degrés de magnitude. Parmi ces quatorze, il y a neuf étoiles cachées que l'on appelle *obscuras* et cinq *étoiles nuageuses* comme si elles étaient des taches ou des morceaux de nuage.

[3] Comme il est difficile de marquer par des noms cette multitude d'étoiles mais que leurs formes sont fixes, ils ont imaginé, pour les reconnaître, des figures sur lesquelles ou à côté desquelles sont situées les étoiles. On dit ainsi « le cœur du Scorpion », « la corne du Taureau », « la queue de l'Ourse » etc. pour reconnaître telle étoile et pour ne pas la confondre avec une autre. Ils ont donc imaginé quarante-huit figures : vingt et une au nord de la ceinture du zodiaque, douze sur la ceinture du zodiaque et quinze au sud.

[4] Les figures du nord sont : la Petite Ourse, la Grande Ourse, le Dragon, Céphée, le Bouvier, la Couronne boréale, Hercule, la Lyre, le Cygne, Cassiopée, Persée, le Cocher, Ophiuchus, le Serpent, la Flèche, l'Aigle, le Dauphin, le Petit Cheval, Pégase, Andromède, le Triangle. Les étoiles observées sur ces figures sont trois cent soixante.

[5] Les figures du zodiaque sont : le Bélier, le Taureau, les Gémeaux, le Cancer, le Lion, la Vierge, la Balance, le Scorpion, le Sagittaire, le Capricorne, le Verseau, les Poissons. Les étoiles observées sur ces figures ou autour d'elles sont trois cent quarante-six.

[6] Les figures du sud sont : la Baleine, Orion, Éridan, le Lièvre, le Grand Chien, le Petit Chien, le navire Argo, l'Hydre, la Coupe, le Corbeau, le Centaure, le Loup, l'Autel, la Couronne australe, le Poisson austral. Les étoiles observées sur ces figures et autour d'elles sont trois cent seize.

[7] Quant aux étoiles nuageuses, il y en a une sur le poignet de Persée⁸⁶, une deuxième est la tête d'Orion⁸⁷, une troisième le nez⁸⁸, une quatrième est celle qui suit le dard du Scorpion⁸⁹, et une cinquième est l'œil du Sagittaire⁹⁰.

مراتب: المرتبة | الأولى أعظمها والسادسة أصغرها. وكلّ مرتبة متفاوتة على | ثلاثة أنواع: أعظم وأوسط وأصغر.

[٢] ووجدوا من الألف والاثنتين وعشرين كوكبًا خمسة عشر في القدر الأول وخمسة وأربعين في القدر الثاني ومائتين وثمانية في القدر الثالث وأربعمائة وأربعة وسبعين في الرابع ومائتين وسبعة عشر في الخامس وتسعة وأربعين في القدر السادس. وخارجًا عن هذه المراتب أربعة عشر كوكبًا، تسعة خفيّة تسمّى مظلمة، وخمسة سحايّة كأنّها لطحّة أو قطعة غيم.

[٣] ولمّا كثر عددها عسرت أسماء ضبطها وكانت مع ذلك ثابتة الأشكال فتوهّموا لتعريفها صورًا تكون الكواكب عليها أو بالقرب منها. فيقال قلب العقرب، وقرن الثور، | وذنّب الدبّ، ليُعرف ذلك الكوكب ولا | يشترك مع غيره بالاسم. فتوهّموا لها ثمان وأربعين صورة: منها شماليّ ١٠ عن منطقة البروج إحدى وعشرين صورة، وعلى المنطقة اثنتا عشر صورة، وفي الجنوب عنها خمسة عشر صورة.

[٤] فالصُور الشماليّة: الدبّ الأصغر والدبّ الأكبر والتّنين وقيفاوس ويقال له الملتهب أيضًا والعوّاء والفكّة والجاثي على ركبته | ويسمّى الراقص والشلياق ويقال له | السلحفاة أيضًا والدجاجة | وذات الكرسي وحامل رأس الغول ويسمى برشاوش أيضًا ومُمسِك العنان والحواء وحية الحواء والسهم والعقاب وهو النسر الطائر والدلفين وقطعة الفرس والفرس الأكبر والمرأة المسلسلة والمثلث. ١٥ وعليها من الكواكب المرصودة ثلاثمائة وستون كوكبًا.

[٥] وصور البروج: الحمل والثور والجوزاء والسرطان والأسد والسنبلة والميزان والعقرب والقوس والجدي والدالي والحواء. وعليها وحولها من الكواكب المرصودة ثلاثمائة وستة وأربعون كوكبًا.

[٦] والصُور الجنوبيّة قيطس والجبار والنهر والأرنب والكلب الأكبر والكلب الأصغر والسفينة والشجاع والكأس ويقال له الباطئة والغراب* وقنطورس والسبع والمجمرة والإكليل الجنوبيّ والحواء الجنوبيّ. وعليها | وحولها من الكواكب المرصودة ثلاثمائة وستة عشر كوكبًا.

[٧] وأمّا السحايّات فأحدها على معصم برشاوش، وثانيها رأس الجبار، وثالثها النثرة، | ورابعها التالي لِحمة العقرب، وخامسها عين الرامي.

^٣ القدر: المقدار [ج]. ^٧ فتوهّموا: توهّموا [أ، ج، د، س]. ^٩ يشترك: يترك [ج، د]. ^٩ مع غيره: ناقص [أ، ج]. ^{١٠} وعشرون: [د، س].

^١ ١٤٥. ^١ ق ٨. ^٨ س ١٢. ^٩ ج ٩. ^{١٣} ك ١٤. ^{١٣} ه ١٤. ^{١٤} أ ٨. ^{٢١} ب ٩. ^{٢٢} س ١٣.

* كُتب في الهامش مع إشارة: "قوله وأمّا السفينة أخبرني من أتق بقوله بأنّها كواكب كثيرة ذكرها الصوفي في كتابه المشهور ليس ترى بأكثر البلاد لأنّ سيراتها في نهاية الجنوب وأقرب ما رأيناها..." [س].

[8] La *Voie lactée* est faite d'un très grand nombre de petites étoiles très rapprochées. De par leur petitesse, leur nombre et leur proximité, elles apparaissent comme des taches nuageuses dont la couleur rappelle le lait, et c'est pour cela que Ptolémée l'a nommée Voie lactée.

[9] Enfin, il y a vingt-huit *maisons lunaires* dont les étoiles sont bien identifiées et nommées.

[Notice sur les changements de position des étoiles fixes]

[10] Le mouvement de ces étoiles est exclusivement en longitude sans mouvement en latitude. C'est un mouvement d'ouest en est autour des pôles du zodiaque, qu'on appelle *deuxième mouvement*. Sa grandeur⁹¹ est : selon Ptolémée, un degré en cent ans ; selon des modernes, un degré et demi en cent ans ; et selon certains d'entre eux, un degré en soixante-dix ans. Ayant vérifié ceci par l'observation, j'ai trouvé qu'elles se meuvent d'un seul degré en soixante-dix années persanes. J'ai embrassé toutes les observations des anciens et des modernes parvenues jusqu'à nous au sujet de ces étoiles ; dans mon livre « Commentaire des observations », j'ai consigné cela ainsi que tout ce que j'ai observé et établi.

[11] Cela est établi, et sache que les étoiles dites « fixes » ne changent aucunement de trajectoires selon les latitudes, et qu'elles ne changent pas non plus de positions les unes par rapport aux autres, ni par rapport aux pôles du zodiaque. Cependant, à cause du deuxième mouvement, elles changent de positions par rapport à l'équateur. Leurs trajectoires diurnes changent en tant que leurs distances à l'équateur augmente ou diminue.

[12] Relativement aux habitants du climat⁹², elles changent de positions : ce qui était élevé en hauteur s'abaisse – c'est ainsi lorsque sa trajectoire diurne s'éloigne du zénith – et inversement. Une étoile peut passer par le zénith alors qu'elle ne le faisait pas avant, et c'est ainsi lorsque sa distance à l'équateur céleste atteint la latitude locale (du même côté que le lieu) alors qu'elle était auparavant supérieure ou bien inférieure. Inversement, lorsque sa distance à l'équateur céleste devient inférieure à la latitude locale (resp. supérieure) tandis qu'elle lui était égale et du même côté, alors sa trajectoire diurne passe du côté du pôle caché (resp. visible) en s'éloignant du zénith.

[13] Une étoile peut devenir toujours visible (resp. cachée) alors qu'elle ne l'était pas auparavant, et c'est ainsi lorsque le complément de sa distance à l'équateur céleste devient inférieur ou égal à la latitude locale et qu'elle est du côté du pôle visible (resp. caché)

[٨] والمجرة كواكب صغار متقاربة كثيرة جداً، ظهرت | من صغرها وكثرتها وتقاربها كأنها
لطحخات سحابية، ولذلك شبهت باللبن لونها، وبذلك سماها بطلميوس.
[٩] | ومنها منازل القمر ثمانية وعشرون وكواكبها من جملة المرصودة واسماؤها مشهورة.

[نبذة من اختلاف أوضاع الثوابت]

٥ [١٠] حركة هذه الكواكب في الطول دون العرض، وهي على قطبي البروج من المغرب
إلى المشرق، وتعرف بالحركة الثانية. ومقدارها عند بطلميوس في كلِّ مائة سنةٍ درجة، وعند
المتأخرين في كلِّ مائة سنةٍ درجة ونصف، وعند بعضهم في كلِّ سبعين سنةٍ درجة. وقد حققتُ
ذلك بالرصد فوجدتها تتحرك في كلِّ سبعين سنةٍ | فارسية درجة واحدة*. وقد استوعبتُ أرساد
المتقدمين والمتأخرين لهذه الكواكب الذي وقعت إيناء؛ وذكرت ذلك مع ما رصده وأثبتته في
١٠ كتاب تعليق الأرساد فيكشف من هناك.

[١١] وإذ تقرّر ذلك، فاعلم أنّ جميع الكواكب المعروفة بالثوابت لا تفارق مداراتها العرضية
ألبتة، ولا تختلف أوضاعها | بقياس بعضها | إلى بعضٍ ولا بقياسها إلى قطبي البروج. وتختلف
أوضاعها بالقياس إلى معدّل النهار بسبب الحركة | الثانية، وتختلف المدارات اليومية لكلِّ كوكب
منها وتزايد أبعادها عن معدّل النهار وتناقص.

١٥ [١٢] وتختلف | أوضاعها بالقياس إلى سكاّن الإقليم، فيصير ما هو أكثر ارتفاعاً أقلّ - وذلك
إذا كان مداره اليوميّ | يبعد عن سمت الرأس - | وبالعكس. ويحدث لبعضها مرور بسمت الرأس
بعد أن لم يكن، وذلك عند صيرورة بُعد عن معدّل النهار بقدر عرض البلد (وفي جهته) بعد
أن كان أقلّ أو أكثر. وبالعكس، وذلك عند صيرورة بُعد عن معدّل النهار أقلّ من عرض البلد أو
أكثر بعد أن كان مساوياً له وفي جهته، وعلى الأوّل يمرّ مداره اليوميّ في جهة القطب الخفيّ من
٢٠ سمت الرأس، وعلى الثاني في جهة القطب الظاهر.

[١٣] ويصير بعضها أبدي الظهور أو أبدي الخفاء بعد أن لم يكن، وذلك عند صيرورة تمام
| بُعد عن معدّل النهار أقلّ من عرض البلد أو مساوياً له وفي جهة القطب الظاهر أو الخفيّ بعد

^٣ ومنها: و [أ، ج، س]. ^٣ وكواكبها من جملة: كوكبا من جملة الكواكب [ج]. ^٥ حركة: وحركة [س]. ^٦ الثانية:
الثابتة [ج، س]. ^٨ كل: فوق السطر [س]. ^٩ وأثبتته: أثبتته [ج]. ^{١٣} الثانية: الثابتة [ج، س].

^١ ١٥ و ١٥ و ١٥. ^٣ ق ٨ ظ. ^٨ ج ٩ ظ. ^{١٢} د ٢٦ ظ. ^{١٢} ت ٦ ظ. ^{١٣} ه ١٥ ظ. ^{١٥} ك ١٥ ظ. ^{١٦} أ ٩ و.
^{١٦} س ١٣ ظ. ^{٢٢} ب ٩ ظ.

* كُتب في الهامش في هذا الموضع [س]: "قوله في كلِّ سبعين سنة هذا السطر ومدته لحالي ما فيه شيء مكتوب فنقلته من
زيح المصنّف بخطه رحمه الله وقال بأن حركة الثوابت غير حركة الأوج."

alors qu'il lui était supérieur auparavant. Auparavant elle avait un lever et un coucher. Quand l'égalité est atteinte, elle touche l'horizon à chaque révolution quand elle passe par le méridien ; elle ne se couche plus si elle est du côté du pôle visible ; et elle ne se lève plus si elle est du côté du pôle caché. Dans ce cas sa distance maximale à l'horizon est égale au double de la latitude locale. Quand le complément de sa distance devient inférieur, elle ne touche plus [l'horizon] ; sa distance à l'horizon est, au minimum, la différence entre la latitude locale et le complément de sa distance à l'équateur, et au maximum, la somme de la latitude locale et de sa distance à l'équateur.

[14] Enfin, il peut arriver qu'une étoile ait un lever et un coucher alors qu'elle était toujours visible ou cachée auparavant, et c'est ainsi lorsque le complément de sa distance à l'équateur dépasse la latitude locale alors qu'elle lui était inférieure ou égale auparavant. Ainsi, les expressions « toujours visible » ou « toujours cachée » sont des expressions métaphoriques et non exactes. Dieu est le plus savant.

Chapitre six

Les mouvements par accident et les autres mouvements

[1] Quand le neuvième orbe se meut, les autres orbes se meuvent avec lui d'est en ouest sur ses pôles et autour de son centre. Cela s'appelle « mouvement du contenant au contenu ». Les anciens ont convenu qu'il puisse y avoir mouvement du contenu par le mouvement du contenant, que ce mouvement soit dans le même sens que celui du contenant ou bien en sens inverse. Là où ils n'étaient pas d'accord, c'est quand le contenu se meut *de son mouvement propre autour de l'axe du contenant et de son centre* : peut-il alors se mouvoir par le mouvement du contenant, ou non ?

[2] L'un penche en faveur de cette possibilité en raisonnant comme suit. Le mouvement du contenant au contenu se fait avec attachement du mû en son lieu dans celui qui meut, donc il se meut par accident par le mouvement de son lieu, comme le passager du navire se meut par le mouvement du navire. En plus de cela, il se meut de son mouvement propre, comme le passager qui va et vient sur le navire, tantôt dans le sens de son mouvement, tantôt en sens inverse⁹³. C'est certes impossible à percevoir, car il est impossible de percevoir deux mouvements différents dans une même sphère sur une ceinture et sur ses deux pôles : on perçoit plutôt un seul mouvement, composé de la somme des deux s'ils vont dans le même sens, ou bien résultant de la différence entre le plus rapide et le plus lent s'ils ne vont pas dans le même sens⁹⁴

أن كان أكثر منه. وإذا كان فله طلوع وغروب، وعلى تقدير التساوي يماس الأفق في كل دورة مرةً على دائرة نصف النهار، ولا يغرب إن كان في جهة | القطب الظاهر، أو لا يطلع إن كان في جهة القطب الخفي؛ وغاية بُعده عن الأفق يكون بقدر ضعف عرض البلد. وإن صار أقل، فلا يماسه ويكون بُعده من الأفق إذا كان أقرب بقدر فضل عرض البلد على تمام بُعده من المعدل، وإذا كان أبعد فبقدر مجموع عرض البلد | وتماثل بُعده منه.

[١٤] ويحدث لبعضها طلوع وغروب بعد أن كان أبدي الظهور أو الخفاء وذلك عند | زيادة تمام بُعده عن معدل النهار على عرض البلد بعد أن كان أقل منه أو مساوياً له. ومن عكسه صيرورة | أبدي الخفاء إذا طلوع وغروب. وتعيين إطلاق | اسم أبدي الظهور وأبدي الخفاء على بعض هذه الكواكب مجازاً لا حقيقة، والله أعلم.

الباب السادس

في الحركات العرضية وغيرها

[١] إذا تحرك التاسع، تحرك معه سائر الأفلاك من المشرق إلى المغرب على قطبيه وحول مركزه. وهذا يُسمى حركة الحاوي للمحوي. فقد اتفق المتقدمون على جواز حركة المحوي بحركة الحاوي، مع تحرك المحوي إلى جهة حركة الحاوي أو إلى خلافها. واختلفوا في أن المحوي إذا تحرك حركته الخاصة على محور الحاوي ومركزه: هل يجوز أن يتحرك بحركة الحاوي، أم لا؟

[٢] فذهب بعضهم إلى جواز ذلك مستنداً عليه، بأن تحرك الحاوي للمحوي هو بملازمة المتحرك لمكانه من المحرك، فيتحرك بالعرض | بحركة مكانه، كحركة ساكن السفينة بحركة السفينة. ثم أنه مع ذلك، يتحرك حركته الخاصة به، كساكن السفينة إذا تردد في السفينة، تارةً إلى جهة حركتها وتارةً | إلى خلاف تلك الجهة. لكن يمتنع الإدراك به، لأن الإدراك بحركتين مختلفتين في كرتة واحدة على منطقتين قطبيتين بأعيانها ممتنع: بل إنما يحسن* بحركة واحدة مركبة من مجموعهما إن كانتا إلى جهة واحدة، أو حاصلة من | فضل أسرعهما على أبطئهما إن كانتا

^{٦-٧} أبدي الظهور... بعد أن كان: ناقص [ج، د]. ^٦ زيادة: ازدياد [س]. ^{١٣} يُسمى: يقتضى [ج]. ^{١٧} بحركة: لحركة [س]. ^{١٩} لكن: لاجن [ج]. ^{٢١} أبطئهما: أبطأهما [أ، ج، س].

^٢ ١٦هـ. ^٥ ١٦هـ. ^٦ ١٦هـ. ^٩ ١٠هـ. ^٨ ١٠هـ. ^{١٤} ١٤هـ. ^{١٧} ١٦هـ. ^{١٩} ١٦هـ. ^{٢١} ١٦هـ. ^{٢١} ١٦هـ.

* كُنِب في الهامش مع إشارة [س]: "قوله لأنه الإدراك لا تسلّم امتناع ذلك وإنما الممتنع صدور الحركتين المختلفتين في فاعل واحد على مقتضى أصولهم <لا صدور> لمحركة." والكلمة "لا صدور" هي مشطوبة.

(et on jugerait de même s'ils sont plus nombreux). À quoi l'on répond : ce n'est pas impossible à percevoir quand il y a aussi un astre sur l'orbe supérieur.

[3] L'autre pense que c'est impossible en raisonnant comme suit. Si le contenu adhère au contenant, alors ce n'est pas par les deux pôles car ils sont fixes sur l'axe commun. Et ce n'est pas non plus par deux autres points. S'il y avait toujours adhérence, alors il faudrait qu'il y ait adhérence des surfaces entières, et ceci interdit au contenu le mouvement qui lui est propre. Et il est impossible qu'il y ait des points du contenu qui tantôt s'attachent à des points du contenant, tantôt s'en séparent. Le mouvement du contenu est moindre que le mouvement du contenant, non par soi mais à cause du fait qu'ils sont *collés*. Alors il n'est pas mû par le mouvement du contenant tout entier. C'est comme dans la roue située sous une poids ; alors le mouvement devrait être sans ordre parce que ce mouvement n'est dans la nature d'aucune des deux sphères, mais c'est [en fait] une coïncidence, et il n'y a rien là qui contre-venne à l'ordre. Pourtant le contenu n'est pas, dès lors qu'il adhère au contenant, mû par celui-ci ; et il n'adhère pas quand il est mû par lui ; donc il faut qu'il soit mû par lui sans être mû par lui, et qu'il adhère sans adhérer ; c'est absurde⁹⁵. [Le même dira :] en ce qui concerne le mouvement du contenu sur l'axe du contenant, d'un mouvement qui coïncide avec le mouvement du contenant ou qui en diffère, je ne vois pas de raison qui empêche cela. Si les deux mouvements s'équilibrent et que leur sens et leur durée s'unissent, alors les séparer est inconcevable et inutile.

[4] Voilà quelles sont les opinions avec les indices et les doutes. Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī a dit que la preuve de la possibilité est plus flagrante et plus accessible mais à condition de distinguer des cas. [Il a dit que] la preuve de l'impossibilité n'échappe pas à l'objection parce qu'elle est fondée sur le fait que quand les centres sont confondus il faut qu'il y ait adhérence, or cela n'est pas nécessaire.

[5] Je ne vois pas comment il serait possible que le contenu soit mû par un contenant, ainsi que par soi-même, ainsi que par un autre contenant sur d'autres pôles et dans l'autre sens. Montrons cela. L'orbe parécliptique du Soleil est mû par le mouvement diurne d'est en ouest, et il se meut lui-même sur les deux pôles de l'écliptique d'ouest en est, d'un déplacement égal au mouvement du centre du Soleil ou du Soleil moyen. Or son mouvement par le mouvement du huitième orbe, en vue du mouvement de l'auge, n'est pas permis : il y a besoin d'un autre orbe qui le meuve vers l'est sur les pôles de l'écliptique, d'un déplacement égal au mouvement de l'auge. À supposer qu'il soit permis, il faudrait que le reste des orbites des autres astres se meuvent du même mouvement, et le parécliptique du Soleil ne pourrait se mouvoir comme cela sans que se meuvent ainsi les autres orbites, ceux de Saturne et de Jupiter. C'est subtil, prête attention⁹⁶ !

إلى جهتين؛ وكذلك الحكم فيما زاد على ذلك التقدير. ويردّ عليه: أنه لا يمتنع الإحساس اذا كان على الفوقاني كوكب أيضًا.

[٣] | وذهب بعضهم إلى أنه يمتنع | مستدلًا عليه، إنَّ تشبّث المحوي بالحاوي حينئذٍ لا يكون بالقطبين لكونهما ثابتين على المحور المشترك، ولا بنقطتين غيرهما. لو كان التشبّث دائمًا، إذ يوجب أن يكون التشبّث بجميع السطوح، وذلك يمنع المحوي من الحركة الخاصّة به. ولا يجوز أن تكون نقط من المحوي تلزم نقطًا من الحاوي تارةً، وتفارقها تارةً أخرى. وتحركه أقلّ | من حركته بالإلحاق لا بنفسه. إذ لا يكون متحرّكًا | بحركة الحاوي كلّها. كما يُوجد في المدار الموضوعة | تحت الثقل؛ إذ يُوجب أن يكون التحريك بغير نظامٍ لأنّ هذه الحركة لا تكون طبيعيّة لإحدى الكرتين، بل تكون | ضربًا من الاتّفاق، وليس ثمّ شيءٍ مختل النظام. وأيضًا لا يكون المحوي، حال تشبّثه بالحاوي، متحرّكًا بذاته؛ ولا متشبّثًا حين حركته بذاته؛ فيلزم أن يكون متحرّكًا بذاته وغير متحرّكٍ بذاته، | ومتشبّثًا وغير متشبّثٍ؛ هذا خُلف. وقال وأما إمكان تحرك المحوي على محور الحاوي حركةً موافقةً له أو مخالفةً، فلا أرى سببًا يمنع ذلك. فإن تساوت حركتهما، واتّحدت الجهة والزمان، فلا يعقل الانفصال فلا فائدة فيه.

[٤] هذه هي | المذاهب مع الدلائل والشبه. قال قطب الدين الشيرازي دليل الجواز أظهر وأقرب، ولكن على تفصيل. ودليل الامتناع غير سالمٍ عن الممنوع، لابتنائه على أن مع اتّحاد المركز لا بدّ من التشبث. وهو غير لازم.

[٥] لا أرى بجواز حركة المحوي، مع حركته بنفسه، مع حركته | بحاوي آخر على خلاف قطبيه وإلى غير جهته. بيانه أن الفلك الممثل للشمس متحرّكٌ بالحركة اليوميّة من المشرق إلى المغرب، ويتحرّك هو بنفسه على قطبي البروج من المغرب إلى المشرق، | بمقدار حركة مركز الشمس أو وسطها. فلا تجوز حركته بحركة الثامن لتحرك الأوج، بل يحتاج إلى فلك آخر يحركه إلى المشرق على قطبي البروج بقدر حركة الأوج. ولو فرض جواز ذلك، وجب أن يتحرّك سائر الأفلاك لباقي الكواكب بتلك الحركة، فإنّه لا يُمكن أن يتحرّك ممثل الشمس مثاله ولا يتحرّك باقي أفلاك زحل والمشتري. | وفيه دقّة فتأمّله.

^١ ويردّ: في الهامش مع إشارة [أ]. ^٢ إن: بأن [س]. ^٣ بجميع: إلى جميع [ج]. ^٤ نقط: نقطة [ج]. ^٥ تارةً: ناقص [ج، س]. ^٦ كما: لما [أ، ج، د، س]. ^٧ لإحدى: لأحد [س]. ^٨ حركته: تحركه [أ، د، س]. ^٩ وغير: غير [أ، ج، د، س]. ^{١٠} هذا خُلف: هف [ج، د]. ^{١١} وقال: ناقص [ج]. ^{١٢} الممنوع: المنوع [أ، ج، د، س]. ^{١٣} لابتنائه: لابتيانه [أ، س]. ^{١٤} المحوي: المحوي بحاوي [أ، س].

^{١٥} س ١٤ ظ. ^{١٦} ب ١٠ و. ^{١٧} د ٢٧ و. ^{١٨} ت ٧ و. ^{١٩} ه ١٧ و. ^{٢٠} ج ١٠ ظ. ^{٢١} ق ٩ ظ. ^{٢٢} ك ١٧ و. ^{٢٣} س ١٥ و. ^{٢٤} ه ١٧ ظ. ^{٢٥} أ ١٠ و.

[6] *Remarque.* Si nous supposons que le Soleil a un épicycle et un parécliptique comme dans la configuration connue⁹⁷, alors le parécliptique du Soleil se meut de lui-même sur les pôles de l'écliptique comme le centre du Soleil, l'épicycle se meut en haut de cet orbe en sens inverse, et le neuvième orbe meut ces deux orbes d'est en ouest. Or le huitième est impuissant à mouvoir le parécliptique d'ouest en est d'un déplacement égal au mouvement de l'auge, comme nous l'avons dit. Il y a donc besoin d'un autre orbe qui meuve le parécliptique, d'un déplacement égal au mouvement de l'auge. Car il n'est personne qui ne fasse se mouvoir l'auge selon l'hypothèse que son mouvement fût semblable à celui du huitième orbe, ni personne qui suppose que le huitième orbe le meuve par accident dans le sens des signes, que le neuvième le meuve dans le sens inverse sur des pôles distincts de ceux du premier mouvement, et qu'en plus de cela l'auge se meuve par lui-même ; alors il y a besoin d'ajouter un autre orbe qui meuve l'auge⁹⁸.

[7] *Autre remarque.* Toutes les observations vraies témoignent que le mouvement de l'auge est plus rapide que le mouvement du huitième orbe. Il faut dès lors ajouter un autre orbe qui meuve l'auge d'un déplacement égal au mouvement observé.

[8] *Autre remarque.* Si on suppose que le Soleil a un parécliptique, un épicycle et un autre orbe qui meut l'auge, avec ce fondement, la longitude [calculée] ne coïncide pas avec l'observation vraie, car nous avons fait des observations précises dans les octants et nous avons trouvé que cela diffère de la longitude [calculée] avec le fondement ci-dessus. Nous avons déjà démontré cela dans le livre « Commentaire des observations ». Donc il nous faut un fondement simple qui coïncide avec les observations ; Dieu a fait trouver un fondement qui suffit à l'effet visé, et [c'est un fondement] que tu vas connaître, si Dieu le veut.

[9] *Autre remarque.* Les astronomes n'ont pas été d'accord au sujet du mouvement des petits orbes qui ne tournent pas autour du centre du monde, tel l'orbe de l'épicycle et d'autres semblables. Ils ont tous accepté qu'ils puissent tourner dans une direction ou une autre, car ils ont signalé que l'orbe de l'épicycle avait une moitié supérieure et une moitié inférieure ; si bien que, s'il tourne dans le sens des signes dans la moitié supérieure, alors il tournera dans le sens contraire dans la partie inférieure, et inversement. Son mouvement ne serait ni un mouvement violent, ni un mouvement par accident, mais ce serait un mouvement naturel. Ils ont tous accepté qu'il puisse y avoir des épicycles dans les orbes autres que le neuvième. En effet, dans les orbes, nous voyons des astres, or l'astre, dans son orbe, montre une certaine composition. À quiconque dirait que les orbes sont tous simples, qu'il ne peut donc exister d'épicycle en eux, et qu'aucun mouvement excentrique ne peut donc être un mouvement simple, je dirais que l'existence et le mouvement des épicycles a déjà été prouvé. S'il y avait une preuve décisive qui empêche cela, les orbes n'en demeureraient pas moins

[٦] تنبيه. لو فرضنا للشمس تدويرًا وممثلاً على المشهور، كان ممثّل الشمس يتحرّك بنفسه على قطبي البروج مثل مركز الشمس، والتدوير يتحرّك في أعلاه إلى خلاف | التوالي، والتاسع يحرك الفلكين من المشرق إلى المغرب. فلا يقوى الثامن أن يحرك | الممثل من المغرب إلى المشرق بمقدار حركة الأوج لما قلنا. فيحتاج إلى فلك آخر يحرك الممثل بمقدار حركة الأوج. ولما لم يجده من قال بحركة الأوج ولا يحركه فرض حركته مثل حركة الثامن، وفرض الثامن يحركه | بالعرض إلى التوالي والتاسع يحركه إلى خلاف التوالي على غير قطبي الحركة الأولى وهو مع ذلك يتحرّك بنفسه، وهذا محال، فيحتاج إلى زيادة فلك آخر يحرك الأوج بالضرورة.

[٧] تنبيه آخر. قد تواترت الأرصاد الصحيحة بأن حركة الأوج أسرع من حركة الثامن. | فوجب | حينئذٍ زيادة فلك آخر يحرك الأوج بمقدار الحركة المرصودة.

[٨] تنبيه آخر. لو فرض للشمس ممثل وتدوير وفلك آخر يحرك الأوج، لم يكن التقويم بهذا الأصل يطابق الرصد الصحيح، فإنّ قد رصدنا أنصاف أرباع البروج محرّراً فوجدنا ذلك مخالفاً للتقويم بالأصل المذكور. وقد برهنا على ذلك في كتاب تعليق الأرصاد. فاحتجنا | إلى أصل بسيط يطابق المرصود؛ فوفق الله وله الحمد والمِنَّة لأصل يفى بالمقصود على ما سنقف عليه إن شاء الله تعالى.

[٩] تنبيه آخر. اختلفوا في حركات الأفلاك الصغار الغير محيطة بمركز العالم، كفلك التدوير ونحوه. فأجمعوا على جواز حركاتها إلى أيّ جهة فُرِضت، مستدلين بأن فلك التدوير نصفاً | أعلى ونصفاً أسفل؛ فإن تحرّك في أعلاه إلى التوالي، تحرّك في أسفله إلى خلاف التوالي، وعكسه. فلا تكون حركته قسريّة، ولا عرضيّة، بل طبيعيّة. | وأجمعوا على جواز التدوير في غير الفلك التاسع، | لوجود ما نراه من الكواكب في الأفلاك. فإن الكوكب في الفلك يدلّ على تركيب ما. ومن قال بأن الأفلاك بسائط يمتنع وجود التدوير فيها وأن يكون ثمّ حركة على غير المركز فليست هي بسيطة، قُلْتُ قد تعين وجود التداوير وحركاتها. فان امتنع ذلك ببرهانٍ قطعيّ، ثبّت تركيب الأفلاك. | وعدم البساطة فيها. وعندني أنّها مركّبة من بسائط لا من العناصر، خلا التاسع، والله أعلم.

^١ تدويرًا وممثلاً: تدوير وممثّل [أ، د، س]. ^٢ فلا يقوى الثامن أن يحرك: فلا يقوى الثامن أن يحرك الفلكين من المشرق إلى المغرب ولا يقوى الثامن أن يحرك [ج]. ^٣ لِمَا: كما [س]. ^٤ ولا يحركه: ولا بحركة [ج، د]. ^٥ الأولى: الأوّلة [س]. ^٦ تواترت: تواتر [ج]. ^٧ فلك: ناقص [ج]. ^٨ كتاب: ناقص [أ، د، س]. ^٩ الله: الله تعالى [ج]. ^{١٠} والمِنَّة: ناقص [س]. ^{١١} نصفًا: نصف [س]. ^{١٢} ونصفًا: نصف [س]. ^{١٣} نراه: نراه [ج]. ^{١٤} الأفلاك: أفلاك [د]. ^{١٥} المركز: مركز [ج]. ^{١٦} ثبّت: ثبّت [أ].

^{١٧} ب ١٠. ظ. ^{١٨} ج ١٧. ظ. ^{١٩} ج ١١. ^{٢٠} ١٨٥. ^{٢١} س ١٥. ظ. ^{٢٢} ق ١٠. ^{٢٣} ١٦. ^{٢٤} ١٨. ^{٢٥} ت ٧. ^{٢٦} د ٢٧. ^{٢٧} ١٨٥. ظ.

des objets composés. Il n’y a pas de simplicité dans les orbes. Je pense qu’il s’agit d’une composition de choses simples et non d’éléments, sauf en ce qui concerne le neuvième orbe, mais Dieu est le plus savant⁹⁹.

Chapitre sept

L’orbe du Soleil et ses mouvements

[1] Nous évoquerons d’abord les trajectoires des centres des sphères solides parce qu’elles sont plus faciles à représenter sur le plan. Nous imaginons un orbe dans le plan de l’écliptique et en son centre, et nous l’appelons le *parécliptique*. Nous imaginons un autre orbe dont le centre soit sur le bord de l’orbe parécliptique et dont le rayon soit quatre degrés et trente-sept minutes (si le rayon du parécliptique mesure soixante parts), et nous l’appelons *orbe déférent*. Sur le bord du déférent, il y a le centre d’un autre orbe dont le rayon est de deux degrés et demi des mêmes parts. On l’appelle *orbe rotateur*.

[2] Et il y a un autre orbe au centre du monde dont le bord est au-dessus de ces orbes. Son rayon intérieur est la somme des rayons des trois orbes mentionnés auxquels on ajoute le rayon du globe solaire. Le rayon du globe solaire est un sixième d’une des mêmes parts. Donc le rayon [intérieur de l’orbe total] est soixante-sept degrés et dix-sept minutes, et son épaisseur est d’une grandeur telle qu’il peut se mouvoir vers l’est comme le mouvement de l’auge. Nous supposons que son rayon est soixante-huit degrés, alors son épaisseur est quarante-trois minutes. On l’appelle *orbe total*.

[3] À présent, supposons que les trois orbes sont sur la ligne issue du centre du zodiaque et passant par l’auge (voir figure suivante). Quant aux mouvements, l’orbe parécliptique se meut d’un mouvement simple autour du centre du zodiaque et sur ses pôles dans le sens des signes. Ce mouvement est comme le mouvement du centre du Soleil, c’est-à-dire de 0;59,8,9,51,46,57,32,3 degrés par jour¹⁰⁰. Le centre du déférent se déplace donc d’autant dans le sens des signes. L’orbe déférent se meut d’un mouvement uniforme en son centre, dans le sens inverse des signes quand on est dans sa partie supérieure. Ce mouvement est aussi comme celui du centre du Soleil, c’est-à-dire 0;59,8,9,51,46,57,32,3. L’orbe rotateur se meut d’un mouvement uniforme en son centre, dans le sens des signes quand on est dans sa partie supérieure, comme deux fois le centre du Soleil, c’est-à-dire

الباب السابع

في أفلاك الشمس وحركاتها على الصحيح*

[١] ونورد مدارات | مراكز الأكر المجسّمة أولاً لكونها أسهل تصوّراً على البسيط. فنتوهّم فلك في سطح البروج وعلى مركزه | ونسمّيه الممثل. ونتوهّم فلك آخر، مركزه على محيط الممثل، نصف قطره أربع درجات وسبع وثلاثون دقيقة بالأجزاء التي يكون بها نصف قطر الممثل | ستين جزءاً، ونسمّيه بالفلك الحامل. وعلى محيط الحامل، مركز فلك آخر، نصف قطره درجتين ونصف بتلك الأجزاء، يُسمّى المُدير.

[٢] وفلك آخر على مركز العالم، محيط على هذه الأفلاك. نصف قطره | من داخل بمقدار أنصاف أقطار الأفلاك الثلاثة المذكورة، وزيادة نصف قطر كرة الشمس؛ وذلك سدس جزء من تلك الأجزاء، فيكون نصف قطره سبعة وستين | درجة وسبع عشرة دقيقة. وسمكه بمقدارٍ يمكن أن يتحرك إلى جهة المشرق مثل حركة الأوج؛ فيفرض نصف قطره ثمانية وستين درجةً، فيكون سمكه ثلاثة وأربعين دقيقة. ويسمّى الشامل.

[٣] ونفرض الأفلاك الثلاثة على الخطّ الخارج من مركز البروج المارّ بالأوج على هذه الصورة الآتية. | وأما الحركات، فإنّ الفلك | الممثل يتحرك حركة بسيطة حول مركز البروج وعلى قطبيه إلى توالي البروج مثل حركة مركز الشمس، وهو في اليوم . نط ح ط نا مو نزل ب ج . فينتقل مركز الحامل إلى التوالي بهذا المقدار. ويتحرّك الفلك الحامل حركة مستوية عند مركزه إلى خلاف التوالي في أعلاه مثل مركز الشمس أيضاً، وهو . نط ح ط نا مو نزل ب ج . ويتحرّك الفلك المدير حركة مستوية عند مركزه في أعلاه إلى التوالي مثل ضعف مركز الشمس، وهو في اليوم

^٤ فلك: كُتب "لها" فوق السطر بعد "فلك" [س]. ° يكون: ناقص [س]. ° بها: ناقص [ج]. ° ستين: ستون [ج].
^{١٠} بمقدار: مقدار [س]. ° ثلاثة: ثلاثاً [س]. ° ويسمّى الشامل: ناقص [أ، ج، د، س] (وجدناه في هامش نسخة ه).
^{١٣-١٤} على هذه الصورة الآتية: على هذه الآتية [د]، هكذا [ج]، على هذه الصورة [س]. ° حركة: من حركة [ج، د].
^{١٥} وهو: وهي [د]. ° فينتقل ... نط ح ط نا مو نزل ب ج: فينتقل ... نط ح ط نا مو نزل ب ج، في الهامش مع إشارة [د].

أ ١٠ ظ. ° س ١٦ و. ° ج ١١ ظ. ° ١٨ ظ. ° ق ١٠ ظ. ° ج ١٢ و، ١٩ ه. ° ك ١٩ و.

* يُوجد في الهامش [س]: "لمّا رصدت حركاتها وجد مركز جرمها دائماً في سطح منطقة البروج وحركاتها مختلفة في أجزاء المنطقة بأن كانت بطلة في النصف الشماليّ سريعة في النصف الجنوبيّ ووجد جرمها في وسط زمان البطو أصغر قليلاً منه في وسط زمان السرعة فلزم كونها في البطو أبعد من مركز العالم وأقرب منه في السرعة ووجد غير بطلميوس من المتأخرين المنتصف بطوها وسرعتها انتقال في أجزاء منطقة البروج أقلّ من اسقلات (؟) الثوابت بالحركة الثانية ووجد المصنّف تقويمها بالتدوير أو بالخارج المركز لا يوافق لدقيق الرصد في أنصاف الأربع."

1;58,16,19,43,34 degrés par jour. Le centre du corps du Soleil se déplace donc d'autant, dans le sens des signes. L'orbe total se meut d'un mouvement simple autour de son centre, d'ouest en est, comme le mouvement de l'auge, c'est-à-dire de 0;0,0,9,51,46,51 degrés par jour, ce qui fait une minute par an, ou un degré tous les soixante ans¹⁰¹, par l'observation véritable. Cela a été observé et corrigé, alors l'élongation entre le centre de l'orbe déférent¹⁰² et le point fixe du zodiaque devient la somme des deux mouvements. Leur somme est le [mouvement du Soleil] moyen, et c'est un mouvement simple-composé.

[Figure 1.]

[4] Alors la distance du Soleil au centre du monde est maximale quand il est à l'auge, minimale quand il est au périégée, et moyenne quand le centre est 3 signes et 0;18 degrés¹⁰³. Traçons une droite joignant le centre du zodiaque au centre du déférent, et une autre droite joignant le centre du zodiaque au corps du Soleil. Elles cernent l'angle d'anomalie du Soleil, ou équation [du Soleil]. Elles sont confondues quand le centre de l'orbe déférent est à l'auge ou au périégée. Le maximum de cette anomalie est 2;2,6 degrés. Il est atteint quand le centre vaut trois signes et sept degrés, ou huit [signes] et vingt-trois degrés¹⁰⁴.

[5] La droite passant par le centre du déférent coupe l'écliptique en le *Soleil moyen*. C'est-à-dire que la distance entre cette droite et la droite issue du centre du zodiaque et passant par l'équinoxe de printemps est le Soleil moyen. Sa distance à la droite passant par l'auge est son *centre*. La distance entre la droite passant par l'auge et la droite passant par le commencement du Bélier¹⁰⁵ est l'*auge*. La somme de l'auge et du centre est le Soleil moyen.

[6] La distance maximale du centre du Soleil au centre du monde est soixante-sept degrés et sept minutes, en parts telles que le rayon du parécliptique en compte soixante. La distance minimale du centre du Soleil au centre du monde est cinquante-deux degrés et cinquante-trois minutes, en les mêmes parts.

[7] Le Soleil moyen à midi du premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazdgard est 9 signes et 10;9,0 degrés

انح بوط مجد لد. فينتقل مركز جرم الشمس إلى التوالي بهذا المقدار. ويتحرك الفلك الشامل حركة بسيطة حول مركزه من المغرب إلى المشرق مثل حركة الأوج، وهو في اليوم تسع | ثوالث وإحدى وخمسون رابعة وست وأربعون خامسة وأحد وخمسون سادسة؛ فيكُمّل له في السنة دقيقة واحدة، وفي كلّ ستين سنة درجة بالرصد المحقق. رُصدَ ونُقح، فيصير بُعد مركز التدوير عن النقطة الثابتة | من البروج بمقدار مجموع الحركتين، ومجموعهما الوسط، وهو بسيط مركب.

[صورة ٠.١]

[٤] فيكون أبعد بُعد الشمس من مركز العالم إذا كانت في الأوج، وأقرب قربها منه إذا كانت في الحضيض، وتكون في بعدها الأوسط إذا كان المركز جـ بروج نح. | ويُخرَج من مركز البروج خطٌ مستقيم إلى مركز الحامل، ويُخرَج خطٌ آخر من مركز البروج إلى | جرم الشمس، فيحيطان بزواية اختلاف الشمس وهو التعديل. ويتطابقان إذا كان مركز الحامل في الأوج أو الحضيض. وأكثرُ هذا الاختلاف درجتان ودقيقتان وست ثواني، وذلك عند كون المركز ثلاث بروج وسبع درج أو ثمانية وثلاث وعشرين درجة.

[٥] والخطّ المارّ بمركز الحامل يَفْصِلُ من فلك البروج وسط الشمس. وبُعد هذا الخطّ من الخطّ الخارج من مركز البروج المارّ بالاعتدال الربيعي وهو وسط الشمس؛ وبُعد من الخطّ المارّ بالأوج هو مركزها. وبُعد الخطّ المارّ بالأوج من الخطّ المارّ بأول الحمل هو الأوج. ومجموع الأوج والمركز هو وسط الشمس.

[٦] ويكون أبعد بُعد مركز الشمس من مركز العالم سبع وستين درجة وسبع دقائق بالأجزاء التي بها | نصف قطر الممثل ستين جزءًا. وأقرب قرب مركز الشمس من مركز العالم اثنان وخمسون جزءًا وثلاث وخمسون دقيقة بتلك الأجزاء.

[٧] ووسط الشمس لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة إحدى وسبعمئة ليزدجرد ط ي ط *

^١ انح بوط مجد لد: انح بوط مجد لد [د]، انح بوط مجد لد [ج]. ^٢ مركزه: المركزه [س]. ^٣ وأحد: وإحدى [س]. ^٤ واحدة: ناقص [س]. ^٤ رُصدَ ونُقح: رُصدَ وصح [س]، في الهامش [ج]. ^٤ فيصير ... وهو بسيط مركب: في الهامش مع إشارة [س]. ^٨ جـ بروج نح: جـ ر ر ا و ح نح [ج، س، أ]. ^{١١} درجتان ودقيقتان: درجتين ودقيقتين [أ، س]، ب ب [ج]. ^{١٣} بمركز الحامل: بالمركز أي بمركز الحامل [ج].

^٢ س ١٦ ظ. ^٥ ت ٨. ^٨ ٥ ١٩ ظ، ^٦ ك ٢٠. ^٩ ١١ أ. ^٩ س ١٧. ^{١٨} ١١ أ ظ، ^{١٢} ب ١٢.

* كُتب في هذا الموضع في هامش نسخة أ: "يوافق يوم الثلاثاء أول سنة ٧٠١ ليزدجرد رابع عشرين ربيع الأول بالحساب سنة ٧٣٢ هجرية وطول دمشق...". وفي هامش نسخة ج: "ويوافقه ثالث عشرين ربيع الأول سنة ٧٣٢ عند مطموسة من الهجرة المطهرة، ورابع عشرين ربيع حسابًا واللّه أعلم."

à Damas, et l'auge du Soleil à la date indiquée est 2 signes et 29;52,3,1 degrés. Le mouvement de l'auge dans le sens des signes, en soixante années persanes, est d'un seul degré. Le mouvement du Soleil [moyen] en une année persane est 11 [signes] et 29;45,40 degrés, en un mois c'est-à-dire trente jours, 0 [signe] et 29;34,9,51,46,50,57,32 degrés, en un jour 0;59,8,19,43,33,41,55,4,6, et en une heure équinoxiale 0;2,27,50,49,18,54,14,47. Ôtons du Soleil moyen l'auge, il reste le centre.

[Figure 2.]

[8] Nous imaginons l'orbe parécliptique comme un orbe sphérique solide dont la partie concave touche la partie convexe de la totalité des orbes de Vénus et dont la partie convexe touche la partie concave de l'orbe total du Soleil ; son centre est le centre du monde, il a deux pôles alignés avec les pôles de l'écliptique, et sa ceinture est dans le plan de la ceinture de l'écliptique.

[9] Son épaisseur est de quatorze degrés et trente-quatre minutes, plus un complément. Pour que [les orbes] soient mutuellement contigus quand on y plonge l'orbe déferent, nous prenons un complément d'un tiers de degré à l'extérieur et à l'intérieur, en parts telles que son rayon extérieur est soixante-sept parts et dix-sept minutes. Nous prenons une sphère dont le diamètre est quatorze degrés et trente-quatre minutes, contenue en lui et le touchant à l'intérieur et à l'extérieur. Nous prenons une autre sphère, de rayon deux degrés, un demi-degré et un sixième de degré des mêmes parts, contenue dans la sphère du déferent de sorte qu'elle la touche en un point. Nous prenons le corps du Soleil contenu dans cette sphère. Nous prenons les ceintures de ces sphères dans le plan de l'orbe écliptique. C'est ce que nous avons représenté dans la figure plane.

[10] Les bordant, il y a une sphère dont le centre est le centre du monde, dont la partie concave touche la partie convexe du parécliptique du Soleil, dont l'épaisseur est de quarante-trois minutes, dont la partie convexe touche la partie concave du parécliptique de Mars, dont la circonférence est dans le plan de l'écliptique et dont les deux pôles sont les pôles de l'écliptique.

[11] Les mouvements sont comme on l'a dit précédemment. Ainsi le cas du Soleil est mené à bien par quatre orbes. Il y en a deux qui entourent le centre du monde et sont dans le plan de l'écliptique ; et il y a le déferent et le rotateur.

بدمشق، | وأوج الشمس للتأريخ المذكور ب كط نب ج ا؛ وحركة الأوج إلى التوالي في ستين سنة | فارسيّة درجة واحدة؛ وحركة الشمس* في سنة فارسيّة يا كط مه م، وفي شهر وهو ثلاثون يوماً . كط لد ط نا مون نزل ب، وفي يومٍ . نط ح يط | مج ل ج ما نه د و، وفي ساعة مستوية . ب | كز ن مط يح نديد مز. | فإذا نقصنا من الوسط الأوج بقي المركز.

[صورة ٠.٢]

- [٨] | نتوهم الممثل فلك كروي مجسم | مقعره | مماسّ لمحدّب الشامل لأفلاك الزهرة | ومحدّبه مماسّ لمقعر الفلك الشامل للشمس؛ ومركزه مركز العالم وله قطبان محاذيان لقطبي فلك البروج ومنطقته في سطح منطقة البروج.
- [٩] | وسمكّه أربع عشر درجة وأربع وثلاثون دقيقة، وزيادة. بحيث يتصل بعضه ببعض | إذا غمس فيه | كرة الحامل، ونفرض الزيادة من خارج وداخل ثلث درجة، بالأجزاء التي بها نصف قطر محيطه سبعة وستون جزءاً وسبع عشرة دقيقة. ونفرض كرة قطرها أربع عشرة درجة وأربع وثلاثون دقيقة، مغرّقة | فيه، مماسّة له من داخل وخارج ونفرض كرة أخرى نصف قطرها درجتان ونصف وسدس من تلك الأجزاء، مغرّقة في كرة الحامل بحيث تماسّها على نقطة. ونفرض جرم الشمس مغرّقة في هذه الكرة. ونفرض مناطق هذه الأكر في سطح فلك البروج. فتكون صورتها على ما نُصوّر على البسيط هكذا.
- [١٠] | ويحيط بها كرة مركزها مركز العالم، مقعرها مماسّ لمحدّب ممثل الشمس وسمكها ثلاث وأربعون دقيقة ومحدّبها مماسّ لمقعر ممثل المريخ، ومنطقته | في سطح البروج، وقطباه قطبا البروج.
- [١١] | والحركات على ما تقدّم. فيتمّ أمر الشمس بأربعة أفلاك: اثنان محيطان بمركز العالم وعلى مركزه وفي سطح البروج، | والحامل والمدير.

١ ب كط نب ج ا: ب كط نب [أ، س]. ٤ فإذا: [س]. ٤ من الوسط الأوج: الأوج من الوسط [ج]. ٧ محاذيان: محويان [ج، د]. ٨ البروج: في الهامش [ج، د]. ١١ محيطه: محدّبه [س]. ١٣ وسدس: وسبع [س]. ١٥ هكذا: ناقص [ج]. ١٦ مقعرها: مقعره [س، أ]. ١٧-١٦ الشمس ... لمقعر ممثل: ناقص (?) [د]، في الهامش [ج]. ١٦ وسمكها: وسمكها [أ، ج، س]. ١٧ ومحدّبها: ومحدّبه [أ، ج، س]. ١٩ بأربعة: أربع [د].

١ ج ١٢ ظ. ٢ ه ٢٠. ٣ ب ١٢ ظ. ٤ ك ٢٢ و. ٤ ق ١١ ظ. ٥ ه ٢٠ ظ، س ١٧ ظ، ك ٢٠ و. ٦ د ٢٨ ظ. ٦ أ ١٢ و. ٦ ه ٢١ و. ٩ س ١٨ و. ١٠ ب ١٣ و. ١٢ ق ١٢ و. ١٧ ت ٨ ظ. ١٩ د ٢٩ و. ٢٠ ك ٢٠ ظ.

* لم يفهم ناسخ ج أنّ هذه الأعداد هي بروج ودرج، فكتب في الهامش مع إشارة إلى الموضع بعد الكلمة "شمس": "في عشرين سنة فارسيّة". ويُوجد بعض أعداد حوله في الهامش أيضاً.

[12] Même si la longitude vraie s'accordait avec le fondement de l'épicycle¹⁰⁶ selon la configuration de Ptolémée dans les octants, il faudrait ajouter un autre orbe mouvant l'auge d'un degré tous les soixante ans. Mais cela contredit l'observation et ne s'y accorde qu'en les équinoxes et les solstices et non ailleurs. De plus ces orbes ont un même centre, et le centre [du Soleil], le Soleil moyen et l'auge sont des quantités prises dans un même cercle ; or dans la configuration connue¹⁰⁷, le Soleil moyen est une quantité prise dans un certain cercle, et le centre et l'auge sont des quantités prises dans un autre cercle ; et ceci est erroné, ils en ont fait un arc semblable, et c'est impossible¹⁰⁸.

[13] *Comment trouver le Soleil vrai par les tables et par le calcul.* Si tu prends le Soleil moyen à la date que tu veux, que tu prends aussi l'auge, et que tu ôtes l'auge du Soleil moyen, il reste le centre. Donc tu tires le Soleil moyen et l'auge de la table, à la date que tu veux. Pour cela, tu prends ce qui appartient aux années entières, aux années intercalaires, aux mois et aux jours – ne compte pas le jour dans lequel tu es – puis ajoute rang à rang et augmente ce qui doit être augmenté¹⁰⁹ ; rejette les circonférences entières ; reste alors le Soleil moyen. Après cela, fait l'addition pour l'auge, puis ôtes l'auge du Soleil moyen, il reste le centre. Entre-le alors dans la table de l'équation du Soleil. Ce que tu y trouves en degrés et fractions de degré, corrigé en interpolant ce qu'il y a entre les lignes, c'est l'équation du Soleil. Ensuite, si le centre tombe dans la partie supérieure de la table, tu soustrais l'équation au Soleil moyen, et s'il tombe dans la partie inférieure de la table, tu ajoutes l'équation au Soleil moyen. On obtient alors le Soleil vrai, par rapport à l'orbe écliptique, à midi du jour pour lequel tu as calculé, à Damas.

[14] Et si tu veux calculer l'équation, par le calcul, sans table : si c'est cela que tu veux, alors multiplie le cosinus du centre du Soleil par sept degrés et sept minutes. Ce qu'on obtient, ajoute-le à soixante si le centre est du côté de la distance maximale, c'est-à-dire quand le centre est inférieur à trois signes, sept degrés et sept minutes¹¹⁰, ou bien supérieur à huit signes, vingt-deux degrés et cinquante-trois minutes¹¹¹ ; sinon, il est du côté de la distance minimale, alors retranche ce qu'on obtient de soixante. Le somme de l'addition, ou bien le reste de la soustraction, on l'appelle le total. Ensuite, multiplie le sinus du centre par deux degrés et sept minutes, on appelle le résultat dividende. Mets au carré le dividende et mets au carré le total, fais la somme des deux carrés, prends-en la racine, c'est la distance du Soleil au centre du monde (en parts telles que le rayon du parécliptique en compte soixante).

[١٢] ولو وافق التقويم بأصل التدوير على هيئة بطلميوس في أنصاف الأرباع، كان يَجِبُ أن يزداد فيه فلك آخر يحرك الأوج في كلِّ ستين سنة درجة. | ولكن خالف في الرصد ولم يوافق في غير النقط الأربع الاعتدالين والانقلابين لا غير. وهذه الأفلاك على مركز واحد والمركز والوسط والأوج مقدر من دائرة واحدة؛ فإن في الهيئة المشهورة يكون الوسط مقدر من دائرة والمركز والأوج مقدر من دائرة أخرى وهذا لا يصح وجعلوه من قوس شبيه وهو محال.

[١٣] وطريق تقويم الشمس بالجدول والحساب أن تجمع الوسط للتأريخ الذي تريد وتجمع الأوج | أيضًا وتسقط الأوج من الوسط يبقى المركز. | أو تستخرج الوسط والأوج من الجدول للوقت الذي تريد. وذلك أن تأخذ ما يخص السنين التامة المجموعة والسنين المبسوطة والشهور والأيام، و لا تدخل اليوم الذي أنت فيه في الحساب، ثم اجمع كل جنس إلى جنسه وارفع ما يجب ارتفاعه؛ واطرح الأدوار التامة، فما بقي فهو الوسط. وعلى ذلك، اجمع الأوج ثم أسقط الأوج من الوسط، يبقى المركز. فادخل به إلى جدول تعديل | الشمس. فما وجدت بإزائه من الدرج وكسورها، معدلاً بفضل ما بين السطرين، فهو تعديل الشمس. فإن وقع المركز في أعلى الجدول، فنقص التعديل من الوسط، وإن وقع في أسفل الجدول، فزد التعديل على الوسط. | فما حصل، فهو تقويم الشمس من فلك البروج لنصف النهار الذي حسبت له بدمشق.

[١٤] وإن شئت حساب التعديل | بالحساب من غير جدول: إذا أردت ذلك، فاضرب جيب مركز الشمس في سبع درج وسبع دقائق منحنياً فما حصل، فزده على ستين إن كان المركز في جهة البعد الأبعد وهو إن يكون المركز* أقل من ثلاث بروج | وسبع درج وسبع دقائق أو أكثر من ثمان بروج واثنين وعشرين درجة وثلاثة وخمسين دقيقة، فإن كان غير ذلك فهو في جهة البعد الأقرب، فنقصه من ستين. فما بلغ أو بقي فهو الحاصل. ثم اضرب جيب المركز في درجتين وسبع دقائق، فما حصل فسميه المقسوم. ثم ربع المقسوم، وربع الحاصل، واجمع المربعين، وخذ جذر ذلك، فهو بُعد الشمس من مركز العالم | بالأجزاء التي بها نصف قطر الممثل ستين جزءاً.

^٣ والمركز والوسط: والوسط والمركز [س]. ° مقدر: مقداران [ج]، ناقص [س]. ° دائرة: ناقص [س]. ° شبيه: سنته [س]. ^٦ بالجدول والحساب: بالحساب [أ]، س، وكتب "بالجدول" في الهامش مع إشارة [أ]. ^٧ تستخرج: استخراج [ج]. ^٨ المجموعة: ناقص [س]، في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١١} وجدت: وجد [ج]. ^{١٢} وكسورها: والدقائق [ج]. ^{١٢} أعلى: أعلا [س]. ^{١٤} تقويم: مقوم [س]. ^{١٥} جدول: الجدول [ج]. ^{١٥} إذا أردت ذلك: ناقص [ج]. ^{٢١} فهو: فما كان فهو [س].

^٢ ٢١ ظ. ^٧ س ١٨ ظ. ^٧ ك ٢١ ظ. ^{١١} أ ١٢ ظ. ^{١٣} ه ٢٢ و. ^{١٥} ب ١٣ ظ. ^{١٧} ق ١٢ ظ. ^{٢١} س ١٩ و.

* تُوجد كلمة طويلة في الهامش في هذا الموضع [ج].

Divise le dividende par la distance du Soleil au centre du monde, il en sort le sinus de l'équation du Soleil. Cherche son arc dans la table des sinus, il en sort l'équation [du Soleil]. Nous avons fait ce calcul pour chaque degré, et nous l'avons établi dans la table. Ensuite, si le centre est inférieur à six signes, tu soustrais l'équation au Soleil moyen, et s'il est supérieur à six signes, tu ajoutes l'équation au Soleil moyen. Tu obtiens la position du Soleil par rapport à l'écliptique.

[15] Le *diamètre du Soleil* à distance moyenne (c'est-à-dire quand sa distance au centre du monde est comme le rayon du parécliptique qui est par supposition de soixante parts) est 32;32. Son diamètre à l'auge est 29;5, et au périégée 36;55. La méthode pour calculer son diamètre ailleurs qu'en ces lieux est que tu divises son diamètre à distance moyenne par sa distance au centre du monde qui est le centre de l'écliptique¹¹².

[16] Son diamètre à distance moyenne est selon Hipparque 32;45, chez les Indiens 32;33, chez les modernes 32;35, chez Ptolémée dans son chapitre¹¹³ concernant les grandeurs 31;20, et chez moi on a trouvé par l'observation 32;32.

[17] Pour cela il y a une méthode approchée qui est que tu multiplies sa vitesse apparente¹¹⁴ par trente-trois, il en sort son diamètre approché ; mais la première méthode est exacte. Dieu est le plus savant.

Chapitre huit

Calcul de l'équation des nyctémères

[1] [Cette équation] est l'écart entre les nyctémères, rapporté au jour [où] l'on a observé [à la fois] l'astre moyen et l'astre vrai. Nous avons déjà posé que le jour où nous avons observé à la fois l'astre moyen et l'astre vrai est l'équinoxe de printemps, et nous lui rapportons tous les autres nyctémères. La méthode pour calculer cette équation est la suivante. Tu calcules le Soleil moyen et le Soleil vrai au jour souhaité. Ajoute au Soleil moyen deux degrés, une minute et sept secondes. Prends la différence entre cela et l'ascension [droite] du Soleil vrai (ascension calculée par rapport à l'équateur terrestre en prenant comme origine le commencement du Bélier). Multiplie-la par quatre. On obtient les minutes de l'équation des nyctémères. Si le Soleil moyen avec la quantité ajoutée est supérieur à l'ascension du Soleil vrai, alors retranche l'équation de la date, et s'il lui est inférieur,

ثم اقسمت المقسوم على بُعد الشمس من مركز العالم، يخرج جيب تعديل الشمس، قوسه في جدول الجيب، يخرج التعديل. وعلى ذلك حسبنا لجزء جزء وأثبتناه في الجدول. فإن كان المركز أقل من ستّ بروج، فنقص التعديل من الوسط، وإن كان أكثر من ستّ بروج، فزد التعديل على الوسط؛ يحصل موضع الشمس من فلك البروج.

- ٥ [١٥] قطر الشمس في بُعدها الأوسط، وذلك عند كون بُعدها من مركز العالم | مثل نصف قطر الممثل، وذلك بالفرض ستين جزءاً: لب لب. وقطرها في بُعدها الأبعد: كط ه |. وفي بُعدها الأقرب: لو نه. والله أعلم. وطريق الحساب لقطرها في غير هذه المواضع، أن تقسم قطرها في بُعدها الأوسط على بُعدها من مركز العالم الذي هو مركز البروج.
- ١٠ [١٦] وقطرها في بُعدها الأوسط عن ابرخس لب مه، وعند الهند لب لج، وعند المحدثين لب له، وعند بطليموس في سائر الأبعاد لا ك، والذي تحرّر عندي بالرصد لب لب.
- ١١ [١٧] وفيه طريق بتقريب يسير، وهو أن تضرب بهت يوم الشمس في ثلاثة وثلاثين درجة، يخرج قطرها بالتقريب؛ والأول مبرهن. والله أعلم.

الباب الثامن

في حساب تعديل الأيام بلياليها

- ١٥ [١] وهو تفاوت ما بين الأيام بلياليها بالقياس إلى اليوم المرصود وسطه ومقومه. وقد جعلنا اليوم الذي رصدنا له | الوسط والمقوم الاعتدال الربيعي، وبه نقيس باقي الأيام بلياليها. وطريق حساب هذا التعديل | أن تحسب وسط الشمس ومقومها لليوم الذي تريد، وزد على وسط الشمس درجتين ودقيقة وسبع ثواني. فما بلغ خذ تفاوت ما بينه وبين مطالع مقوم الشمس (بالمطالع الاستوائية | المعمولة من أول الحمل). فما كان | اضربه في أربعة. يحصل | دقائق تعديل الأيام بلياليها. فإن كان الوسط مع الزيادة أكثر من مطالع مقوم الشمس، فنقص | التعديل من التاريخ، وإن كان أقل

^١ اقسمت: قسمت [د]. ^٣ ستّ: ستّة [س]. ^٤ موضع: مقوم [ج]. ^٦ وقطرها... لو نه: هذه الجملة هي مكتوبة في الهامش ويوجد بإزائها في النسخة "وعند بطليموس في سائر الأبعاد لا ك" [س]. ^٧ والله أعلم: توجد هذه الجملة في نسجتنا، ك فقط. ^٧ هذه المواضع: هذا الموضوع [س]، هذا الموضوع [ج]. ^٨ بُعدها: بعد [د]. ^٩ عن: عند [ج]، د، س. ^{١١} وثلاثين: وثلاثي [أ، ج]. ^{١٢} والله أعلم: ناقص [د]. ^{١٧} لليوم: للوقت [س]. ^{١٨} مطالع: مطلع [ج، د]. ^{٢٠} فنقص: ينقص [د].

٥٥ ظ. ٢٢ ظ. ١٠ د ٢٩ ظ. ١٦ أ ١٣ و. ١٧ س ١٩ ظ. ١٨ ك ٢٣ و. ١٩ ت ٩ ظ. ١٩ ت ١٤ و. ٢٠ ه. ٢٣ و.

alors ajoute-la à la date. On obtient la date corrigée par l'équation des nychtémères. On en tire les [astres] moyens dans la table.

[2] *Remarque.* Multiplie la vitesse apparente de l'astre (par heure) par les minutes de l'équation des nychtémères. Regarde ce qu'on obtient : si la position moyenne avec la quantité ajoutée est supérieure à l'ascension du Soleil vrai, alors retranche le résultat de cet astre vrai, mais si elle leur est inférieure, alors ajoute le résultat à cet astre vrai. On obtient l'astre vrai à l'instant demandé. Nous avons déjà calculé une table pour l'y trouver en fonction du Soleil moyen.

Chapitre neuf

Les orbes de la Lune et leurs mouvements selon la méthode juste et sauve des doutes

[1] Quand on a observé la Lune, on a découvert qu'elle se meut sur une trajectoire différente de celle du Soleil et la coupant en deux lieux opposés qui se déplacent le long de la trajectoire du Soleil en sens inverse des signes. Cette trajectoire est inclinée par rapport à celle du Soleil, et l'inclinaison maximale est toujours d'une même grandeur de chaque côté (cinq parts), et telle que, dans une moitié de sa trajectoire, la Lune est au nord de la ceinture de l'écliptique, et dans l'autre moitié, au sud. On a donc su qu'elle a un orbe parécliptique et un orbe incliné par rapport à celui-ci, et que ces deux orbes se coupent en deux points opposés, donc que l'un bissecte l'autre.

[2] Quand on a découvert que le mouvement de la Lune sur l'orbe incliné varie, en lenteur et en vitesse, autour du centre du monde qui est le centre de l'écliptique, on a su qu'elle a un orbe dont le centre est sur la ceinture de l'orbe incliné. De sorte que, quand la Lune est dans la partie haute de cet orbe, elle est plus éloignée du centre du monde, et quand elle est dans sa partie basse, elle en est plus proche ; en témoigne la variation de la grandeur du corps de la Lune, en particulier lors des éclipses de Lune et des éclipses de Soleil. On appelle cet orbe *épicycle* depuis longtemps.

[3] Ensuite, on a trouvé que la grandeur du rayon de l'épicycle, lors des conjonctions et des oppositions, ne dépasse jamais cinq parts et un sixième chez nous (cinq parts et un quart chez Ptolémée et Hipparque) ; mais on a trouvé que sa grandeur, si la distance de la Lune au Soleil est d'un quart de cercle des deux côtés¹¹⁵, est de huit parts. Ainsi avons-nous su qu'il y a un autre petit orbe sur la ceinture de l'épicycle,

فزده على التاريخ. يحصل التاريخ المعدل بتعديل الأيام بلياليها. وعليه | يستخرج الأوساط من الجدول.

[٢] تنبيه. اضرب بهت الكوكب في ساعة في دقائق تعديل الأيام بلياليها. فما حصل انظر، فإن كان الوسط مع الزيادة أكثر من مطالع مقوم الشمس فنقص الحاصل من مقوم ذلك الكوكب، وإن كان أقل فزد الحاصل على مقوم ذلك الكوكب. يحصل مقوم الكوكب للوقت المطلوب. وقد حسبنا له جدولاً يوجد منه بوسط الشمس.

الباب التاسع

في أفلاك القمر وحركاتها طولاً وعرضاً على الوجه الصحيح السالم من الشكوك*

[١] لما رُصد القمر، فُوجد متحرّكاً على مدارٍ غير مدار الشمس مقاطع له في موضعين متقابلين منتقلين في مدار الشمس إلى خلاف توالي البروج وذلك المدار مائل عن مدار الشمس، وغاية الميل في الجهتين بمقدارٍ واحدٍ أبداً وذلك خمسة أجزاء بحيث يكون | في نصف مداره شمالياً عن منطقة البروج وفي النصف الآخر جنوبياً عنها. فاعلم أنّ له فلك ممثّل بفلك البروج وفلك مائل عنه متقاطعان | على نقطتين متقابلتين، فينصف أحدهما للآخر.

[٢] ولما وُجدت حركة القمر | على الفلك المائل مختلفة بالبطء والسرعة حول مركز العالم الذي هو مركز البروج، عُلم أنّ له فلك مركزه على منطقة المائل بحيث إذا كان القمر في أعلاه كان أبعد عن مركز العالم وإذا كان في حضيضه كان أقرب إليه؛ عُلم ذلك باختلاف مقدار جرمه في الخسوفات والكسوفات وغيرها. فسمّي ذلك الفلك بالتدوير قديماً.

[٣] ثم وُجد مقدار نصف قطر هذا الفلك في الاجتماعات والاستقبالات لا يزيد على خمسة أجزاء وسُدس أبداً عندنا، وعند بطلميوس وعند إبرخس خمسة ورُبُع، ثم وُجد مقداره إذا كان بُعد القمر عن الشمس رُبُع دائرة من الجهتين، ثمانية أجزاء. فعلمنا أنّ على منطقة التدوير فلك آخر

٢ الجدول: الجداول [ج، د، س]. ٣ في: من [ج]. ٤ حسبنا: حسب [س]. ٥ يوجد منه بوسط: يوخذ منه توسط [س]. ٦ طولاً وعرضاً: في الهامش مع إشارة [أ]، ناقص [س]. ٧ السالم من الشكوك: ناقص [س]. ٨ فلك ممثّل: فلكاً ممثلاً [ج، د]. ٩ وفلك مائل: وفلكاً مائلاً [ج، د]. ١٠ متقاطعان على نقطتين: متقاطعين على جهتين [ج، د]. ١١ فلك: فلكاً [ج، د]. ١٢ عُلم: ناقص [ج، د]. ١٣ مقدار: فوق السطر [ج]. ١٤ فسمّي: سمى [ج، د]. ١٥ مقدار: بمقدار [ج، د]. ١٦ نصف قطر: نصف قدر [ج، د]، في الهامش مع إشارة [أ]. ١٧ والاستقبالات: في الهامش مع إشارة [أ]. ١٨ عند: فوق السطر [أ]، ناقص [ج]. ١٩ مقداره: بمقداره [ج، د]. ٢٠ منطقة: ناقص [ج].

١ ق ١٣ و. ٢ خ ١٤ ظ. ٣ گ ٢٣ ظ. ٤ ه ٢٣ ظ.

* يُوجد تبانيات كثير في هذا الباب التاسع بين س، ق، وبين سائر النسخ (انظر إلى مقدمتي).

de sorte que, quand la Lune est dans les conjonctions ou les oppositions, elle est au périégée de cet orbe, et que, quand elle est dans les quadratures, elle est à l'apogée – la distance au centre de l'épicycle est alors huit parts. Si la Lune est au périégée de cette orbe, sa distance au centre de l'épicycle est cinq parts et un sixième. Son mouvement est le double du mouvement de l'orbe portant le centre de l'épicycle, de sorte que, quand l'orbe portant l'épicycle tourne d'un quart de cercle, l'orbe portant le corps de la Lune se meut d'un demi-cercle.

[4] Ainsi savons-nous que la Lune a quatre orbes et quatre mouvements simples. Le premier est l'orbe *parécliptique*. Ses deux pôles sont alignés avec les pôles de l'écliptique. Sa partie convexe touche la partie concave des orbes de Mercure, et sa partie concave touche la partie convexe du deuxième de ses orbes. Son rayon est de soixante-neuf parts.

[5] Le deuxième orbe est un *orbe incliné*. L'inclinaison de son plan par rapport au plan du parécliptique est constante et son maximum est de cinq parts. Son centre est le centre du monde, c'est le centre du parécliptique ; sa partie convexe touche la partie concave du parécliptique, et sa partie concave touche l'orbe du feu, comme on sait. Son rayon est, par supposition, de soixante parts. La ceinture qui est sur sa partie convexe coupe la ceinture qui est sur la partie concave du parécliptique, en deux points opposés. On les appelle les *nœuds*. Le premier s'appelle *tête*, ou nœud ascendant, car la Lune le passe en s'inclinant vers le nord par rapport au parécliptique. L'autre, qui lui est opposé, s'appelle *queue*, ou nœud descendant. Les pôles de l'orbe incliné sont attachés à deux points de la partie concave du parécliptique. Leur distance aux pôles du parécliptique mesure l'inclinaison maximale de l'orbe incliné (c'est aussi la latitude maximale de la Lune) : cinq parts. Le centre de la partie concave de l'orbe incliné est le centre du monde et son rayon est de cinquante et une parts.

[6] Quant au troisième orbe, nous imaginons une sphère de rayon huit parts, seize minutes et vingt-sept secondes (des parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante). Nous la supposons plongée dans l'orbe incliné qu'elle touche en un point de sa ceinture. Nous l'appelons sphère de l'*épicycle*.

[7] Quant au quatrième orbe, nous imaginons une sphère de rayon une part, quarante et une minutes et vingt-sept secondes (des mêmes parts). Nous la supposons plongée dans le corps de l'épicycle ; elle le touche en un point de sa ceinture qui est dans le plan de l'orbe incliné, et c'est aussi en ce point que l'épicycle touche la ceinture de l'orbe incliné. On appelle cet orbe le *rotateur*.

[8] Nous supposons que le corps de la Lune est plongé dans le corps du rotateur. Un point de la partie convexe de la Lune touche la ceinture du rotateur qui est dans le plan de l'orbe incliné. On a trouvé par nos observations que le diamètre du globe lunaire est de trente-deux minutes cinquante-quatre secondes

- صغير، بحيث إذا كان القمر في الاجتماعات والاستقبالات يكون القمر في حضيض ذلك الفلك، وإذا كان في التربيعين كان في ذروته ويكون بعده عن مركز التدوير ثمانية أجزاء؛ | وإذا كان في حضيضه، كان بعد القمر عن مركز التدوير خمسة أجزاء وسُدس. وإن حركته ضعف حركة حامل مركز التدوير بحيث إذا دار حامل | التدوير رُبْع دائرة تحرك حامل جرم القمر نصف دائرة.
- ٥ [٤] فعلمنا أن له أربعة | أفلاكٍ وأربع حركات بسيطة. | الفلك الأول، فهو الممثل بفلك البروج، وقطباه محاذيان لقطبي فلك البروج، ومحدّبه مماسٍ | لمقعر أفلاك عطارد، ومقعره مماسٍ لمحدّب الفلك الثاني من أفلاكه، ونصف قطره تسعة وستين جزءًا.
- [٥] والفلك الثاني فلك مائل، سطحه مائل عن سطح الممثل ميلاً ثابتاً غايته خمسة أجزاء ومركزه مركز العالم الذي هو مركز الممثل، ومحدّبه مماسٍ لمقعر الممثل، ومقعره مماسٍ لفلك النار على المشهور. نصف قطره بالفرض ستين جزءًا. ومنطقته التي على محدّبه تقطع منطقة الممثل التي في مقعره على نقطتين متقابلتين، يُسمّيان بالعقدتين والجوزهرين. إحداهما، إذا جازها القمر، مال إلى الشمال عن الممثل، تُسمّى | الرأس والجوزهر والمجاز الشمالي؛ والآخر المقابل له يُسمّى الذنب والمجاز الجنوبي. وقطبا المائل ملازمان لنقطتين من مقعر | الممثل أبداً. ويُعدهما عن قطبي الممثل بمقدار غاية ميل المائل، الذي هو نهاية عرض القمر، وذلك خمسة أجزاء.
- ١٥ ومقعر الفلك المائل، مركزه مركز العالم، ونصف قطره أحد وخمسين جزءًا.
- [٦] وأمّا الفلك الثالث، فنتوهم كرة نصف قطرها ثمانية أجزاء وستة عشر دقيقة | وسبعة وعشرين ثانية من الأجزاء التي بها نصف قطر منطقة المائل ستين جزءًا. ونفرضها مغرّقة في المائل تماسٍ لمنطقته على نقطة. فنسّمّيها بكرة التدوير.
- [٧] وأمّا الفلك الرابع، فنتوهم كرة نصف قطرها جزءًا واحدًا وأربعين دقيقة وسبع وعشرين ثانية من تلك الأجزاء. | ونفرضها مغرّقة في جسم التدوير، وتماسٍ لمنطقته التي في سطح المائل على نقطة، وهي التي يماس عليها التدوير لمنطقة المائل. ويُسمّى هذا الفلك بالمدير.
- ٢٠ [٨] ونفرض جرم القمر مغرّقا في جسم المدير. يماس نقطة محدّب القمر لمنطقة المدير التي هي في سطح المائل. وقطر كرة القمر وُجد برصدنا اثنين وثلاثين دقيقة وأربعة وخمسين ثانية من
- ٣ حضيضه: حضيض [أ]. ° فهو: وهو [ج، د]. ^٨ فلك مائل: الفلك المائل و [ج]. ^{١١} جازها: جازها [ج].
^{١٢} تُسمّى: تسميا [ج، د]، تسميا [أ]. ^{١٣} يُسمّى: يسما [أ]. ^{١٣} الذنب: كُتب "النوهر" في الهامش مع إشارة [ج، د].
^{١٦} وأمّا الفلك الثالث: في الهامش مع إشارة [أ]، الفلك الثالث [ج]. ^{١٩} وأمّا الفلك الرابع: في الهامش مع إشارة [أ]، الفلك الرابع [ج]. ^{١٩} نصف: فوق السطر [أ].
- ٢ ١٣ ظ. ٤ ب ١٤ ظ. ٥ د ٢٤ و. ٦ ٥ ٢٤ و. ١٢ ج ١٥ و. ١٣ ت ١٠ و. ١٦ ك ٢٤ ظ. ٢٠ ٥ ٢٤ ظ.

(des mêmes parts).

[9] Quant aux mouvements, le premier mouvement, mouvement du parécliptique, est un mouvement simple autour de son centre (qui est le centre du monde) et sur ses pôles, en sens inverse des signes, de la grandeur du mouvement des nœuds, c'est-à-dire 0;3,10,38,27. Se déplacent de ce mouvement : la tête, la queue, le lieu où la latitude de la Lune est maximale, et tous les orbes de la Lune. En vérité, à proprement parler, ce mouvement est l'excédent du mouvement des nœuds sur le mouvement des étoiles fixes.

[10] Le deuxième mouvement est le mouvement de l'orbe incliné autour de son centre (qui est le centre du parécliptique et le centre du monde) et autour de ses pôles fixes que l'on a mentionnés précédemment. C'est un mouvement simple et uniforme qui fait en des temps égaux des [déplacements] égaux dans le sens des signes du zodiaque, de 13;13,45,39,40. Il vaut la somme de la Lune moyenne et du mouvements des nœuds, et on l'appelle depuis longtemps *mouvement en latitude*. Le centre de l'épicycle se déplace donc dans le sens des signes, à partir d'un point qu'on imagine être un point fixe par rapport à l'écliptique, d'un mouvement de grandeur égale à la Lune moyenne c'est-à-dire 13;10,35,1,13,53.

[11] Le troisième mouvement est le mouvement de l'épicycle autour de son centre et sur ses pôles situés à la perpendiculaire du plan de l'orbe incliné. Ce mouvement est de 13;3,53,46,18 en un jour et une nuit, et il est en sens inverse des signes dans la partie supérieure [de l'épicycle]. On le connaît depuis longtemps : c'est le *mouvement de la Lune propre*. Ce mouvement commence à l'apogée de l'épicycle apparent.

[12] Le quatrième mouvement est le mouvement du rotateur. C'est un mouvement simple autour de son centre, qui fait se mouvoir la Lune sur la ceinture du rotateur dans le plan de la ceinture de l'orbe incliné, dans le sens des signes quand elle est dans sa partie supérieure. Ce mouvement est de 24;22,53,23 en un jour et une nuit. C'est deux fois l'excédent de la Lune moyenne sur le Soleil moyen. Ce mouvement commence au périgée du rotateur lors des conjonctions et des oppositions moyennes et il passe par son apogée lors des quadratures.

[13] Pour montrer cela, supposons Soleil moyen et Lune moyenne en conjonction en un point fixe de l'écliptique ; supposons que le centre de l'épicycle et le centre du rotateur sont sur une droite passant par le centre du monde et par ce point que l'on imagine être fixe par rapport à l'écliptique ; supposons la Lune au périgée du rotateur, en cet instant, sur cette droite, à distance minimale du centre de l'épicycle (cinq parts et un sixième).

[14] Puis chaque orbe se meut du mouvement simple observé que nous avons assigné à chacun :

- le Soleil se meut, en un jour et une nuit, de 0;59,8,20 dans le sens des signes ;

تلك الأجزاء.

[٩] وأما الحركات، فالحركة الأولى، حركة الممثل: حركة بسيطة حول مركزه الذي هو مركز العالم وعلى قطبيه إلى خلاف التوالي، بمقدار حركة الجوزهر، وهي ٠ ج ي لح كز. فينتقل بهذه الحركة الرأس، والذنب، وموضع نهاية عرض القمر، وجميع أفلاك القمر. وهذه الحركة، في الحقيقة، فضل حركة الجوزهر | على حركة الكواكب الثابتة على قول.

[١٠] والحركة الثانية حركة الفلك المائل حول مركزه الذي هو مركز الممثل ومركز العالم، وحول قطبيه الثابتين | المتقدم ذكرهما، حركة بسيطة مستوية تفعل في الأزمان المتساوية قسماً متساوية إلى التوالي البروج | نج ب م ل ط م. وهي بقدر مجموع وسط القمر وحركة الجوزهر، وتسمى حركة العرض قديماً. فينتقل مركز التدوير إلى التوالي عن المنطقة المتوهم ثباتها من فلك البروج، بمقدار وسط القمر، وهو نج ي له ا نج ب م.

[١١] والحركة الثالثة حركة التدوير حول مركزه، وعلى | قطبيه القائمين على سطح المائل، في اليوم بليته نج ج نج موح، في أعلاه إلى خلاف التوالي. | وتعرف قديماً بحركة خاصة القمر. وابتدؤها من ذروة التدوير المرئي.

[١٢] والحركة الرابعة، حركة المدير، وهي حركة بسيطة حول مركزه، فيتحرك القمر بحركته على منطقتة التي في سطح منطقة المائل، في أعلاه إلى التوالي. في اليوم بليته كد ك ب نج كج. وهي بمقدار ضعف فضل وسط القمر على وسط الشمس. وابتداء هذه الحركة في الاجتماعات والاستقبالات الوسطى من حضيض المدير وتصير في التريعين من | ذروته.

[١٣] ولنفرض لبيان ذلك أن الشمس والقمر مجتمعان بالوسط في نقطة ثابتة من فلك البروج؛ ونفرض مركز التدوير ومركز المدير على الخط المستقيم | المارّ بمركز العالم وتلك النقطة المتوهم ثباتها من فلك البروج؛ ونفرض القمر في حضيض المدير، في ذلك الوقت، على ذلك الخط، في أقرب قُربه من مركز التدوير، وذلك خمسة أجزاء وسُدس جزء.

[١٤] ثم يتحرك كل فلك بما فرضنا له من الحركة البسيطة المرصودة.

- فيتحرك الشمس في اليوم بليته ٠ نط ح ك إلى التوالي.

- ويتحرك الممثل في اليوم بليته إلى خلاف التوالي ٠ ج ي لح كز فينتقل المائل والتدوير

^٢ فالحركة الأولى: فالأولى [ج]. ^٣ وعلى قطبيه إلى خلاف: إلى قطبيه على خلاف [ج، د]. ^٣ فينتقل: ينقل [ج، د].
^٩ المنطقة: النقطة [أ]. ^{١٤} فيتحرك: ويتحرك [ج]، غير مقروء [د]. ^{١٦} ضعف: فوق السطر [ج]. ^{١٨} مجتمعان: يجتمعان [ج]. ^{١٥٥-٢٤} فينتقل ... التوالي: في الهامش مع إشارة [أ].

^٥ أ ١٤ و. ^٧ ك ٢٥ و. ^٨ ب ١٥ و. ^{١١} ه ٢٥ و. ^{١٢} ج ١٥ ظ. ^{١٧} د ٣٠ ظ. ^{١٩} ك ٢٥ ظ.

– le parécliptique se meut, en un jour et une nuit, de 0;3,10,38,27 dans le sens inverses des signes ; il entraîne l'orbe incliné, l'épicycle et le rotateur dans ce mouvement en sens inverse des signes ;

– l'orbe incliné se meut dans le sens des signes, dans le même temps, de 13;13,45,39,40. Laissant le point fixe de l'écliptique où les deux luminaires étaient en conjonction, l'élongation du centre de l'épicycle devient, en un jour et une nuit, 12;11,26,41,30 ; c'est l'excédent du mouvement de la Lune moyenne sur le Soleil moyen, et on l'appelle *élongation moyenne entre les deux luminaires* ;

– le rotateur se meut autour de son centre (donc la Lune se déplace du périégée du rotateur), en sens inverse des signes, du double de l'élongation, c'est-à-dire 24;22,53,23 en un jour et une nuit.

Alors le corps de la Lune s'éloigne du centre de l'épicycle ; sa distance s'appelle *rayon de l'épicycle apparent*.

[15] Si l'orbe incliné s'est mû (avec son inclinaison) d'un quart de cercle en sept jours, dix-huit minutes, quatorze secondes, cinquante-deux tierces et quinze quarts d'un jour et une nuit, alors l'orbe rotateur s'est mû, dans le même temps, d'un demi-cercle (car son mouvement est le double de l'élongation). La Lune se déplace donc du périégée de l'épicycle vers son apogée, et la distance du centre du corps de la Lune au centre de l'épicycle devient huit parts : c'est le rayon de l'épicycle apparent dans les première et seconde quadratures.

[16] Si l'orbe incliné s'est mû, pendant une durée double de celle-ci, d'un demi-cercle, alors le centre de l'épicycle est passé par l'opposé du point fixe (sur la droite joignant ce point fixe au centre du monde), du côté opposé au lieu de la conjonction. Il y a donc à présent opposition entre le Soleil moyen et la Lune moyenne. Le rotateur se meut d'un mouvement double de celui de l'orbe incliné, c'est-à-dire d'un cercle entier, et il déplace la Lune vers le périégée du rotateur. La distance de la Lune au centre de l'épicycle devient minimale, et le rayon de l'épicycle apparent devient cinq parts et un sixième (5;10), comme pendant la conjonction. Donc le rayon de l'épicycle apparent est toujours 5;10 dans les conjonctions et les oppositions, et huit parts dans les quadratures. On l'a toujours trouvé ainsi dans l'observation.

[17] De plus, l'épicycle se meut du mouvement de la Lune propre. Le centre de la Lune tourne alors autour du centre de l'épicycle en une trajectoire dont le rayon est 5;10, comme nous l'avons dit, dans les conjonctions et les oppositions. L'arcsinus de ceci est 4;56,24. C'est l'équation maximale dans les conjonctions et les oppositions, atteinte quand la Lune est sur la droite tangente à l'épicycle apparent, d'un côté ou de l'autre.

والمدير | بهذه الحركة إلى خلاف | التوالي.

٥ - ثم يتحرك المائل إلى التوالي في ذلك الزمان نج بـ نج م ل ط م. فيصير بُعد مركز التدوير على محاذاة النقطة الثابتة من فلك البروج الذي كانا النيرين اجتماعاً فيها، في اليوم بليته، بـ نا كو ما ل؛ وذلك بمقدار فضل حركة وسط القمر على وسط الشمس، ويُسمى ذلك بُعد ما بين النيرين بالوسط.

- ويتحرك المدير حول مركزه، فينتقل القمر من حضيض المدير، إلى خلاف التوالي، في اليوم بليته، ضعف البعد، وهو كد كـ بـ نج كـ جـ.

فيبعد جرم القمر عن مركز التدوير ويُسمى ذلك البعد نصف قطر التدوير المرئي.

١٠ [١٥] فإذا تحرك المائل بما له من الحركة ربع | دائرة في سبع أيام وثمانية | عشر دقيقة وأربعة عشر ثانية واثنين وخمسين ثلاثة وخمسة عشر رابعة من يوم بليته، تحرك المدير في ذلك الزمان نصف دائرة، لكون حركته | ضعف حركة البعد، فينتقل القمر من حضيض التدوير إلى ذروته، ويصير بُعد مركز جرم القمر من مركز التدوير ثمانية أجزاء، وذلك نصف قطر التدوير المرئي في التربيعة الأول والثاني.

١٥ [١٦] فإذا تحرك المائل بتلك الحركة، في ضعف تلك المدّة، نصف دائرة، صار | مركز التدوير في مقابلة تلك النقطة الثابتة على الخط المائل بتلك النقطة الثابتة وبمركز العالم من جهة مقابلة جزء الاجتماع. فيكون في ذلك الوقت حقيقة استقبال الشمس والقمر بالوسط. ويتحرك المدير ضعف ما تحرك المائل، وذلك دائرة تامة، فينقل القمر إلى حضيض المدير. | ويصير القمر في أقرب قُربه من مركز التدوير ويصير نصف قطر التدوير المرئي في ذلك الوقت خمسة أجزاء وسُدس هـ س، مثل ما كان في الاجتماع. فلا يزال نصف قطر التدوير المرئي في كل اجتماع وكل استقبال هـ س، وفي كل تربيعة ثمانية أجزاء، وكذلك وجد بالرصد في كل زمان.

٢٠ [١٧] ثم يتحرك التدوير بحركة الخاصّة. فيدور مركز جرم القمر حول مركز | التدوير في مدارٍ نصف قطره هـ س، كما قلنا، في كل اجتماع وكل استقبال. ويكون قوس ذلك د نو كد. وهو غاية التعديل في كل اجتماع واستقبال، وذلك عند صيرورة القمر على الخط المماس للتدوير المرئي

٢ ثم: و [ج، د]. ٣ على: عن [أ، ج، د]. ٣ النيرين اجتماعاً: اجتماع النيرين [ج]. ٣ في: من [ج، د]. ٩ تحرك: يتحرك [ج]. ١٠ تحرك: يتحرك [ج]، غير مقروء [د]. ١٥ الثابتة: الثانية [د]. ١٦ حقيقة: عميقة [أ]. ١٧ تحرك: يتحرك [ج]. ١٨-١٩ في ذلك الوقت ... المرئي: في الهامش مع إشارة [ج]. ٢٠ وكذلك: ذلك [ج]. ٢١ جرم: في الهامش مع إشارة [أ]، ناقص [ج، د]. ٢٢ كل: ناقص [ج]. ٢٢ وهو غاية: وهو في غاية [د، ج].

١ ت. ١٥ ظ. ١٥ هـ ٢٥ ظ. ٩ أ ١٤ ظ. ٩ غ ٢٦ و. ١١ ب ١٥ ظ. ١٤ ج ١٦ و. ١٧ هـ ٢٦ و. ٢١ غ ٢٦ ظ.

Mais quand le centre de l'épicycle est dans les quadratures, la distance du centre du corps de la Lune au centre de l'épicycle est de huit parts : c'est le rayon de l'épicycle apparent dans les quadratures. Son arcsinus est sept parts et deux tiers. C'est ce que nous avons trouvé par l'observation dans les quadratures quand la Lune est sur la droite tangente à l'épicycle apparent d'un côté ou de l'autre.

[18] Comme le rapport entre le mouvement de la Lune propre et le mouvement de la Lune moyenne est inférieur au rapport entre la droite joignant le centre du monde au périégée de l'épicycle apparent et le rayon de l'épicycle apparent, alors la Lune n'a ni station ni rétrogradation (mais son mouvement devient lent dans la moitié de l'apogée et rapide dans la moitié du périégée) : on ne la voit pas revenir en sens inverse des signes à cause de la petitesse de l'épicycle et de la faiblesse de son mouvement par rapport au mouvement de l'orbe incliné.

[19] Avec le rayon de l'épicycle apparent variant entre cinq parts un sixième et huit parts, c'est comme si les degrés de lenteur et de vitesse n'étaient pas constants, mais variables, de sorte que la lenteur, la vitesse, etc. reviennent, tantôt moins, tantôt plus, à cause de cette variation.

[20] De ces orbes aux mouvements simples procèdent les mouvements irréguliers – mouvements en accord avec l'observation en tout temps. Quant aux variations simples en longitude qui s'imposent en raison de ces mouvements, il y en a quatre ; on les appelle *équations*.

[21] La première variation ¹¹⁶ est ce qu'on obtient à cause du rayon de l'épicycle dans les conjonctions et les oppositions. C'est l'angle formé au centre du monde par deux droites qui en sont issues, l'une passant par le centre de l'épicycle et l'autre par le centre du corps de la Lune. Cet angle est maximal quand la droite passant par la Lune touche l'épicycle apparent d'un côté ou de l'autre (sans le couper). Ce maximum, dans les conjonctions et les oppositions, est de 4;56,24 (à condition que le rayon de l'orbe incliné soit de soixante parts). Cet angle s'évanouit à l'apogée et au périégée : c'est quand les deux droites citées sont confondues. Cette variation est soustraite à la Lune moyenne tant que la Lune descend de l'apogée au périégée en sens inverse des signes, dans la moitié droite, jusqu'à ce que la droite passant par la Lune coïncide avec la droite passant par le centre de l'épicycle. Au contraire, on l'ajoute à la Lune moyenne tant que la Lune monte du périégée vers l'apogée dans le sens des signes, jusqu'à ce que l'une des droites coïncide avec l'autre. Cette variation est appelée équation simple ou *première équation*.

من الجانبين. فإذا كان مركز التدوير في التريبعين كان بُعد مركز جرم القمر من مركز التدوير ثمانية أجزاء، وهو نصف قطر التدوير المرئي في كلّ التريبع. ويكون قوس ذلك إذا فرض جيباً سبع أجزاء وثلاثي جزء. وهو كما وجدنا بالرصد في التريبع، وذلك عند كون القمر على الخطّ المماسّ للتدوير المرئي من الجانبين في التريبعان.

٥ [١٨] ولكون نسبة حركة خاصّة القمر إلى حركة وسطه أصغر من نسبة الخطّ الواصل بين مركز العالم وحضيض التدوير المرئي إلى نصف قطر التدوير المرئي، لا يكون للقمر وقوف ولا رجوع، بل تصير حركته | بطيئة في نصف الذروة وسريعة في نصف الحضيض، ولا يرى له رجوعه إلى خلاف التوالي لصغر التدوير المرئي وقلة حركته بالنسبة إلى حركة مائله.

١٠ [١٩] وكون نصف قطر | التدوير المرئي يختلف فيما بين خمسة وشدس إلى ثمانية | أجزاء، كأنّ أقدار البطء والسرعة غير متشابهه بل تختلف بحيث يعود البطء والسرعة أو غيرهما من | الاختلاف تارة | إلى الأقل وتارة إلى الأكثر.

[٢٠] فهذه هي الأفلاك المتحرّكة للحركات البسيطة | التي ينتج عنها الحركات المختلفة الموافقة للرصد في سائر الأزمان. وأمّا الاختلافات الطولية البسيطة التي تلزم بسبب هذه الحركات فهي أربعة وتُعرف بالتعادل.

١٥ [٢١] فالاختلاف الأوّل*، هو ما يحصل له بسبب نصف قطر التدوير | في الاجتماعات والاستقبالات. وهو زاوية تُحدث عند مركز العالم من خروج خطّين منه، أحدهما إلى مركز التدوير والآخر إلى مركز جرم القمر. وتكون غايته إذا كان الخطّ المارّ بالقمر يماسّ التدوير المرئي إلى أيّ الجهتين كان ولا يقطعه. وغاية تلك الزاوية في الاجتماعات والاستقبالات د نو كد، على أنّ نصف قطر المائل ستون جزءاً. وينعدم في الذروة والحضيض، وذلك عند تطابق الخطّين المذكورين. وهذا الاختلاف يُنقص من وسط القمر ما دام القمر هابطاً من الذروة إلى الحضيض في النصف الأيمن، لوقوع الخطّ المارّ بالقمر عن الخطّ المارّ بمركز التدوير، إلى خلاف التوالي. ويُزاد على وسطه | ما دام القمر صاعداً من الحضيض إلى الذروة في النصف الأيسر لوقوع الخطّ عن الخطّ، إلى التوالي. ويُسمّى | التعديل المفرد والأوّل أيضاً.

٤ التريبعان: التريعات [أ]. ٧ رجوعه: رجوع [ج]. ٨ لصغر: أصغر [ج، د]. ١٠ غير متشابهه بل تختلف: ناقص [ج، د]. ١٢ فهذه هي: وهذه هي [ج]. ١٢ للحركات: الحركات [ج، د]. ١٦ منه: منهما [د]، منها [خ]. ١٧ بالقمر: فوق السطر [ج، د]. ٢١ الخطّ: ناقص [أ، ج]، فوق السطر [د]. ٢١ بمركز: بالمركز [ج، د].

٧ د ٣١ و. ٩ ٢٦ ظ. ٩ ١٥ أ و. ١٠ ٢٧ س. ١١ ت ١١ و. ١٢ ب ١٦ و. ١٥ ج ١٦ ظ. ٢٢ ٢٧ و. ٢٣ س ٢٧ ظ.

* كُتب في الهامش "هو التعديل الثاني" [ج].

[22] La deuxième variation¹¹⁷ est causée par l'augmentation de cette première variation quand le centre de l'épicycle n'est ni en conjonction ni en opposition. Elle est mêlée à la première et n'existe pas sans elle. Elle est maximale quand le centre de l'épicycle est dans les quadratures, c'est-à-dire à un quart de cercle du lieu où se situe la conjonction moyenne ou l'opposition moyenne. Son maximum est 2;44, soit 7;40 avec la première équation. Elle est toujours ajoutée à la première équation, que celle-ci soit ajoutée ou soustraite [à la Lune moyenne]. On l'appelle *deuxième équation* (et on l'appelait autrefois variation de la distance minimale).

[23] *Remarque.* Nous avons déjà avancé que le rayon de l'épicycle apparent est toujours 5;10 dans les conjonctions et les oppositions, 8;0 dans les quadratures. Entre ces positions, il augmente graduellement du plus petit au plus grand. La première variation devient, à cause de cette variation du rayon, la somme des deux variations. C'est subtil : prête attention.

[24] La troisième variation¹¹⁸ est appelée *équation de la Lune propre*. C'est l'angle formé au centre de l'épicycle par deux droites qui en sont issues, l'une passant par le centre du rotateur et l'autre par le centre de la Lune. Si celle qui passe par le centre de la Lune touche le rotateur, alors l'équation est maximale, et c'est, selon nos observations, 12;26. Cette équation s'évanouit lorsque la Lune est à l'apogée ou au périégée par rapport au centre de l'épicycle. On l'ajoute à la Lune propre quand l'élongation du centre de l'épicycle au Soleil moyen est inférieure à un quart de cercle ou supérieure à trois quarts de cercle, c'est-à-dire supérieure à neuf signes ou inférieure à trois signes. On la soustrait quand l'élongation est supérieure à un quart de cercle et inférieure à trois quarts de cercle.

[25] La quatrième variation est appelée *équation du déplacement*¹¹⁹. Sans cette équation, on obtient la Lune vraie par rapport de l'orbe incliné ; mais le but est d'avoir sa position par rapport au parécliptique pour connaître sa position par rapport à la ceinture de l'écliptique. Cette équation est l'écart entre la distance de son lieu au nœud sur la ceinture du parécliptique, et cette même distance sur la ceinture de l'orbe incliné. J'en tiens compte quand je veux convertir l'une de ces deux distances en l'autre. On appelle cela « déplacer la Lune de l'orbe incliné à l'écliptique ». Cette équation est maximale dans les octants de l'orbe incliné, et son maximum est environ six minutes. Elle s'évanouit aux nœuds et quand la Lune atteint sa latitude maximale de part et d'autre. Les modernes en ont peu fait usage.

[26] Le *coefficient d'interpolation* en minutes est un nombre dont le rapport à soixante est la proportion due à la variation de l'élongation par rapport au Soleil. C'est une donnée qui facilite le calcul de la Lune vraie par les tables¹²⁰.

[27] *Remarque.* Si nous faisons le calcul selon la méthode de calcul de la première équation en partant du rayon de l'épicycle apparent, alors on obtiendrait

[٢٢] والاختلاف الثاني، فهو الذي يكون بسبب زيادة الاختلاف الأول المذكور عند كون مركز التدوير في غير الاجتماعات والاستقبالات. وهو مختلط بالأول، لا يوجد بدونه. وغايته عند كون مركز التدوير في التربيعة، أي عند رُبع دائرة من الجزء الذي يقع في الاجتماع والاستقبال بالوسط. وغايته ب مد، ومع الأول ز م. وهو مع الأول أبدأ، في الزيادة والنقصان. ويُسمى بالتعديل الثاني وباختلاف البُعد الأقرب قديمًا.

[٢٣] تنبيه. قد قدمنا أن نصف قطر التدوير المرئي يكن في الاجتماعات والاستقبالات ه ه أبدأ، وفي التربيعة ح ح . وفي ما بين ذلك يتدرج بالزيادة من الأقل إلى الأكثر. فيصير الاختلاف الأول، بسبب اختلاف نصف القطر، بقدر مجموع الاختلافين. وهذا مضًا دقيق فنامثله.

[٢٤] والاختلاف الثالث، ويُعرف بتعديل الخاصّة، وهو زاوية عند مركز التدوير من خروج خطّين منه، يمرّ أحدهما بمركز المدير والآخر بمركز القمر. فإن كان الذي يمرّ بمركز القمر يماسّ المدير، فالتعديل في نهايته، | وهو برصدنا ب كو. وينعدم | في كون القمر في الذروة والحضيض | لمركز التدوير. ويُزاد على الخاصّة | إذا كان بُعد مركز التدوير من وسط الشمس أقلّ من رُبع دائرة أو أكثر من نصف ورُبع دائرة، أي أكثر | من تسع بروج أو أقلّ من ثلاث بروج. ويُنقص إذا كان البُعد أكثر من رُبع دائرة وأقلّ من نصف ورُبع دائرة، أي أقلّ من تسع بروج.

[٢٥] الاختلاف الرابع، ويُعرف بتعديل النقل. فإنّ مقوم القمر يحصل من الفلك المائل بغير هذا التعديل؛ والغرض موضعه من الممثل يُعرف موضعه من نطاق البروج. وهذا التعديل هو التفاوت بين بُعد موضعه من منطقتي الممثل والمائل عن العقدة. ويعتبر ذلك إذا أريد تحويل أحدهما إلى الآخر. ويُسمى هذا التعديل نقل القمر | في المائل إلى البروج. وغايته في أنصاف أرباع المائل، وذلك قريب ستّ دقائق. وينعدم في العقدتين وعند نهاية عرض القمر في الجهتين. وقلّ أن استعمله المتأخرون.

[٢٦] | وأمّا دقائق النسب، فهي عدد نسبته إلى ستّين كنسبة اللازم من اختلاف البُعد من الشمس، لأنّه وضع لتسهيل حساب مقوم القمر بالجداول.

[٢٧] تنبيه. لو حسبنا من نصف قطر التدوير المرئي بطريق حساب التعديل الأول، حصل

^٣ كون: فوق السطر [ج]. ^٣ دائرة: الدائرة [ج]. ^٣ في: فيه [ج]. ^٤ وغايته: وهو أي غايته [ج]. ^٨ مضًا: معنى [ج، د]. ^{١٠} المدير: التدوير [ج، د]. ^{١٢} لمركز التدوير: ان كان التدوير [ج، د]. ^{١٣} دائرة: الدائرة [ج]. ^{١٤} أي أقلّ من تسع بروج: ناقص [أ، د]، في الهامش [ج]. ^{١٥} الاختلاف: والاختلاف [ج]. ^{١٥-١٦} بغير هذا التعديل: في الهامش [د]، ناقص [أ، ج] (يُوجد إشارة في نسخة أ ولكن لا يوجد شيء في الهامش). ^{١٧} بُعد: ناقص [ج]. ^{١٩} قريب: غير مقروء [أ]. ^{٢١} اللازم: اللازم [أ].

^{١١} ٢٧٥ ظ. ^{١١} ٢٨ گ. ^{١٢} ١٥٥ ظ. ^{١٢} ب ١٦ ظ. ^{١٣} ج ١٧ او. ^{١٨} د ٣١ ظ. ^{٢١} ت ١١ ظ.

la somme due des première et deuxième équations correspondant à l'élongation pour laquelle on aurait fait le calcul. C'est subtil : prête attention.

[28] Parlons de la latitude de la Lune. Il est apparu clairement dans ce qui précède que ses dernières latitudes¹²¹ sont égales au nord et au sud. D'après ce qu'on a trouvé en observant, la latitude maximale est de cinq parts. La Lune est au nord quand elle va de la tête vers la queue, et au sud quand elle va de la queue vers la tête. La Lune monte de sa dernière latitude sud à sa dernière latitude nord, elle descend de sa dernière latitude nord à sa dernière latitude sud. Le dessein de l'ascension est de rapprocher la Lune du pôle visible, et celui de la descente est de l'en éloigner.

[29] Sa parallaxe et ses phases selon sa position par rapport au Soleil seront traitées ultérieurement dans un chapitre particulier, si Dieu le veut.

[30] Quant à la variation des parts de sa surface qui reçoivent la lumière et qu'on appelle « obscurcissement¹²² », le plus vraisemblable est que certaines sont placées face à la lumière et d'autres pas ; ou bien c'est à cause de la variation de sa position par rapport au Soleil. On dit aussi qu'il y a, dans l'épicycle de la Lune, avec elle, des corps distincts qui ne sont pas disposés pareillement face à l'éclairage. On dit aussi que la raison de cette variation est la réflexion des rayons vers la Lune par l'Océan, à cause de son poli, et l'absence de leur réflexion par la surface du quart habitée et du reste du globe, à cause de sa rugosité. En effet les lieux de sa face éclairés par les rayons venant à elle du Soleil après réflexion par la surface de la mer seraient plus lumineux que les lieux qui sont éclairés par les rayons directs venant seulement du Soleil.

[31] Quelle est la distance de la Lune au centre de la Terre ? Dans cette configuration, lors des conjonctions et des oppositions, cette distance vaut soixante parts en moyenne, 65;10 au maximum et 54;50 au minimum. Dans les quadratures, elle vaut 68;0 au maximum et 52;0 au minimum. La distance maximale atteinte à l'intérieur de ses orbites est 69;0, et la distance minimale est 51;0. Le tout, en parts telles que le rayon de l'orbite incliné en compte soixante. Sache que la distance du centre de l'épicycle au centre de la Terre est soixante parts et qu'elle n'augmente ni ne diminue.

[32] Mais si tu veux la distance de la Lune en parts telles que le rayon de la Terre en compte une seule, ou bien telle autre quantité en usage pour les distances et les volumes, alors voici la route à suivre selon mes observations. Tu ôtes de chaque degré deux minutes et il restera ce qu'on demandait ; en suivant la voie de Ptolémée, tu jetterais une minute de chaque degré. En effet la distance du centre de l'épicycle au centre du monde est selon nos observations cinquante-huit fois le rayon de la Terre, et selon Ptolémée cinquante-neuf fois le rayon de la Terre.

جملة التعديل الأول والثاني اللازم | في البُعد المحسوب له. وهو معنى | لطيف فتنبّه له.
 [٢٨] الكلام في عرض القمر. وقد تبين فيما تقدّم أنه متساوي الغاية في الشمال والجنوب.
 وهو على ما وُجد بالرصد خمسة أجزاء. ويكون شمالياً من الرأس إلى الذنب، وجنوبياً من الذنب
 إلى الرأس. وصاعداً من غاية عرضه في الجنوب إلى غاية عرضه في الشمال، وهابطاً من غاية
 عرضه في الشمال إلى غاية عرضه في الجنوب. والمراد من الصعود قُرب القمر من القطب الظاهر،
 ومن الهبوط بُعده منه.

[٢٩] واختلاف المنظر واختلاف تشكّلاته النوريّة بحسب وضعه من الشمس يُذكر في باب
 مفرد من بعد، إن شاء الله تعالى.

[٣٠] وأمّا اختلاف أجزاء سطحه من قبول النور المسمّي بالمحو فالأشبه أن بعضه قابل
 للنور دون بعضٍ أو لاختلاف وضعه من الشمس. وقيل من وجود أجرام مختلفة معه في تدويره
 غير قابلة للإضاءة على التساوي. وقيل إن سببه انعكاس الأشعة من البحر المحيط، لصقالته، إلى
 القمر، وعدم انعكاسه في سطح الربع المعمور وغيره لحشونته إليه. فتكون المواضع المستنيرة من |
 وجهه بالأشعة المستقيمة الواصلة إليه من الشمس المنعكسة من سطح البحر أضواً من المواضع
 المستنيرة بالأشعة المستقيمة من الشمس فقط.

[٣١] وأمّا بُعد القمر من مركز الأرض: على هذه الهيئة، فإنّ | بُعد القمر، | في كلّ
 الاجتماعات والاستقبالات، أوسطه ستين جزءاً، وأكثره | سه ٥، وأقلّه ند ن. وفي التريعات،
 أكثره سح . وأقلّه نب . وأبعد بُعد أفلاكه سط . وأقرب قُربها نا . الجميع بالأجزاء التي بها
 نصف قطر المائل ستين جزءاً. واعلم أنّ مركز التدوير بُعداً من مركز الأرض ستين جزءاً لا يزيد ولا
 ينقص.

[٣٢] فإذا أردت بُعد القمر بالأجزاء التي بها نصف قطر الأرض واحداً وهذا هو المستعمل
 في الأبعاد والأجرام، فطريقه على رصدنا، أن تسقط من كلّ درجةٍ دقيقتين يبقى المطلوب، وعلى
 مذهب بطلميوس تلقي من كلّ درجةٍ دقيقة. لأنّ بُعد مركز التدوير من مركز العالم برصدنا ثمانية
 وخمسين مثلاً لنصف قطر الأرض، وهو عند بطلميوس تسعة وخمسين مثلاً لنصف قطر الأرض.

^١ فتنبّه له: فتنهه إليه [د]، فنسبته إليه [ج]. ^{١٠} في: من [ج، د]. ^{١٢} لحشونته: لحشونته [ج]. ^{١٢} المستنيرة:
 المستنيرة [ج، د]. ^{١٣-١٤} المنعكسة ... المستقيمة من الشمس: في الهامش [ج، د]. ^{١٣} البحر: البحر المحيط [د].
^{١٥} كلّ: ناقص [أ]. ^{١٧} وأبعد: وأبعده [د]. ^{٢٠} بها: ناقص [د]، فوق السطر [أ]. ^{٢٠} واحداً وهذا: أو أحد أو هذا [أ].
^{٢٢} تلقي: ناقص [ج].

٥١ هـ ٢٨ و. ١ گ ٢٨ ظ. ١٢ ج ١٧ ظ. ١٥ گ ٢٩ و. ١٥ ب ١٧ و. ١٥ أ ١٦ و. ٥ ٢٨ ظ.

[33] Voici comment interpréter les choses qui se rapportent à la Lune :

- le *nœud moyen* est [l'arc] entre le commencement du Bélier et le nœud ascendant, dans l'orbe parécliptique, en sens inverse des signes ;
- la *longitude du nœud* est [l'arc] entre ces deux points dans l'orbe parécliptique, dans le sens des signes ;
- la *Lune moyenne* est [l'arc] entre le point face au commencement du Bélier (à condition qu'il soit fixe) et l'extrémité de la droite joignant le centre du monde au centre de l'épicycle. Et si j'avais dit, l'élongation du centre de l'épicycle au point mentionné dans le sens des signes, cela aurait été juste aussi ;
- si l'on ôte le Soleil moyen de la Lune moyenne il reste l'*élongation* du centre de l'épicycle au Soleil moyen, et le double de cette élongation s'appelle l'*élongation double*. C'est égal au mouvement du rotateur de la Lune ;
- la *Lune propre* est [l'arc] entre l'apogée moyen de l'épicycle et le centre du corps de la Lune, sur la ceinture de l'épicycle, dans le sens qu'on a supposé [pour l'épicycle] (c'est-à-dire, si on est dans la moitié haute, en sens inverse des signes).

[34] La grandeur de ces arcs ne varie pas. Parmi les choses dont la grandeur varie en croissant ou en décroissant, il y a :

- la *Lune propre corrigée* est [l'arc] entre le centre du corps de la Lune et son apogée apparent sur la ceinture de son épicycle. C'est la véritable Lune propre, après qu'on l'a corrigée par la première équation ;
- la *Lune vraie* est [l'arc] entre le commencement du Bélier et le point du parécliptique où tombe son cercle de latitude, dans le sens des signes ;
- son *argument de latitude* est l'excédent de la Lune vraie sur le nœud vrai.

[Figure 3. Figure 4.]

Chapitre dix

Détermination des mouvements de la Lune à une date donnée

[1] Dans les tables, nous avons écrit que la Lune moyenne à midi du premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazdgar est sept signes et 3;35,50 degrés. Le mouvement de la Lune moyenne en vingt années persanes est cinq signes et 13;7,40,49,48,21¹²³,

[٣٣] وتفسير أشياء تتعلّق بالقمر:

- وسط الجوزهر هو ما بين أول الحمل ونقطة الرأس من الممثل إلى خلاف التوالي.
- وتقويم الجوزهر هو ما بينهما منه على التوالي.
- وسط القمر هو ما بين النقطة المحاذية لأول الحمل على أنها ثابتة وبين طرف الخطّ الخارج من مركز العالم إلى مركز التدوير. وإن قلت بُعد مركز التدوير من النقطة المذكورة على التوالي كان صواباً أيضاً.
- وإذا أسقطنا وسط الشمس من وسط القمر بقي بُعد مركز التدوير من وسط الشمس، وضعف هذا البُعد يُسمّى البُعد المضاعف، وهو بمقدار حركة مدير القمر.
- وخاصّة القمر ما بين ذروة التدوير الوسطى ومركز جرمه من منطقة التدوير على التوالي المفروض منه، وهو أن يكون في النصف الأعلى إلى خلاف التوالي.
- [٣٤] وهذه القسي لا تختلف مقاديرها. وما يختلف مقاديرها بالزيادة والنقصان فمنها:
 - خاصته المعدّلة وهي ما بين مركز | جرم القمر وذروته | المرثية من منطقة تدويره وهي الخاصّة الحقيقيّة بعد تعديلها بالتعديل الأوّل،
 - وتقويم القمر هو ما بين أول الحمل والنقطة التي يتقاطع عليها دائرة عرضه من الممثل على التوالي،
 - وحصّة عرضه هي فضل مقوم القمر على مقوم الجوزهر.

[صورة ٣. صورة ٤.]

الباب العاشر

في تقييد حركات القمر لتأريخ مفروض

- [١] قد كتبنا في الجداول أنّ وسط القمر لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة إحدى وسبعمائة ليزدجرد | ر ج له ن*. وحركة وسط القمر في عشرين سنة فارسيّة | ب ر م مط مح كا، وفي
- ١ أشياء: اشيا اشيا [د]. ٢ الممثل: ممثل [أ]. ٩ ذروة: في الهامش مع إشارة [أ]. ١٠ النصف: نصف [ج، د]. ١١ وما يختلف مقاديرها: في الهامش مع إشارة [أ]. ١٢ وهي: في الهامش مع إشارة [أ]. ١٣ الحقيقيّة: الحقيقة [أ، ج، د]. ١٤ في: ناقص [س]. ١٥ تقييد: تعيد [ج].
- ٦ ٢٩ ظ. ٨ ٢٩ و. ١٢ ت ١٢ و. ١٢ د ٣٢ و. ١٨ ج ١٨ ظ س ٢٤ ظ ٣٠ و ١٦ ظ. ٢١ ٣٠ ظ. ٢١ ١٦ ظ
- د ٣٢ ه ٢٩ ب ١٧ ظ. ٢١ ه ٣٠ و.
- * في الهامش [ج]: "اعلم أنّ وسط القمر هنا بزيادة عشرين دقيقة التي بيّنه المصنّف في الزيج على نقصها فهو اثبتها فتنقص في مواضعها والله أعلم."

en une seule année quatre signes et 9;23,2,29,25,1 degrés, en trente jours un signe et 5;17,30,36,56,18,9 degrés, en un jour et une nuit 13;10,35,1,13,52,36,18,16,7 degrés, et en une heure équinoxiale 0;32,56,27,33,41,31 degrés.

[2] Nous avons aussi écrit que la Lune propre à la date mentionnée est quatre signes et 18;32,27 degrés. Son mouvement en vingt années persanes est onze signes et 4;22,30 degrés, en une seule année deux signes et 28;43,7 degrés, en un mois un signe et 1;56,58 degrés, en un jour 13;3,53,56 degrés, et en une heure 0;32,39,45.

[3] Nous avons établi que le nœud moyen à la date mentionnée est neuf signes et 5;7,35 degrés. Son mouvement en sens inverse des signes est toutes les vingt années persanes de zéro signe et 26;34,37,20 degrés, en une seule année 19;19,43,52 degrés, en un mois 1;35,19,13,18,54,15, en un jour 0;3,10,38,26,37,48,29,36, et en une heure 0;0,7,56,36,6,35.

[4] Ceci étant admis, sache que l'année lunaire¹²⁴ est exactement 354;22,1,35,8,50,24, le mois lunaire moyen¹²⁵ est 29;31,50,7,55,44,12, l'année solaire exacte est trois cent soixante-cinq jours, cinq heures, quarante-neuf minutes et trois cinquièmes de secondes, c'est-à-dire¹²⁶ 365 [jours] 5;49,0,36,32 [heures]. Supposons que le jour et la nuit comptent soixante parts, alors l'année solaire est 365;14,32,31,31,20. L'excédent¹²⁷ par rapport au cercle est de 6;15,9,8.

[5] Ceci étant admis, sache que le diamètre de la Lune quand elle est à distance moyenne de la Terre, c'est-à-dire quand la distance Terre-Lune est de soixante parts (en parts du rayon de l'orbe portant l'épicycle), est 0;32,54,33. J'avais déjà découvert cela en suivant une autre voie et j'avais trouvé 32;22 mais je préfère la première valeur. Le diamètre de la Lune est selon Hipparque 33;15, selon Ptolémée 33;5, selon les Indiens 32;0, selon les Grecs 32;20, et selon 'Aṭīr¹²⁸, Kūšyār¹²⁹ et al-Ṭūsī 32;3.

[6] Si nous voulons le diamètre de la Lune à d'autres distances que la distance moyenne, nous divisons son diamètre à distance moyenne par sa distance au centre du monde (en parts du diamètre du parécliptique) : on obtient le diamètre de la Lune quand elle est à cette distance¹³⁰.

سنة واحدة د ط كج ب كط كه ا، وفي ثلاثين يوماً ا ه ر ل لو نوح ط، وفي يوم بليته |
 . بجى له ا ب ج نب لو ب نور، وفي ساعة مستوية . . لب نو كز ل ج د مال مه.
 [٢] وكتبنا أن خاصّة القمر للتأريخ المذكور د ح لب كر. وحركتها في عشرين سنة فارسيّة
 ناد ك ب ل، وفي سنة واحدة ب كح مجر، وفي شهر ا ا نونح، وفي يوم . بج ج نج نو
 . وفي ساعة . . لب لط مه.

[٣] | وأثبتنا وسط الجوزهر للتأريخ المذكور ط ه ر له. وحركتها إلى | خلاف التوالي
 في كلّ عشرين | سنة . كولد لرك، وفي سنة واحدة . بط ب مج نب، وفي شهر
 واحد . اله بط بج ند به، وفي يوم . . جى ل ح كولد لرح كط لو، وفي ساعة
 . . ر نولو وله.

[٤] | وإذا تقدّم ذلك، فاعلم أن السنة القمرية على الصحيح شند ك ب اله ح ن كد، | والشهر
 القمريّ الوسط كط ن ر نه مد ب، وسنة الشمس الصحيحة ثلاثمائة وخمسة وستون يوماً وخمس
 ساعاتٍ وتسع وأربعون دقيقة وثلاثة أخماس ثلاثة وهي شسه ه مط . لولب. وإذا فرضنا | اليوم
 بليته ستين | جزءاً، كانت السنة الشمسيّة ٣٦٥ ند لب لا لا ك ويكون فضل الدورة و نه ط ح.
 [٥] | وإذا تقدّم ذلك، فاعلم أن قطر القمر في بُعد الأوسط من الأرض، وذلك عند كون
 ١٥ بُعد القمر من الأرض ستين جزءاً من أجزاء نصف قطر حامل التدوير . لب ند ل ج . وقد كنت
 وقفت على ذلك من طريق آخر فوجدته لب ك ب، واعتمادي على الأول. وقطر القمر عند إبرخس
 ل ج به، وعند بطلميوس ل ج ه، وعند أهل الهند لب ، وعند الجمهور | لب ك، وعند الأثير
 وكوشيار والطوسي لب ج .

[٦] | وإذا أردنا قطر القمر في غير بُعد الأوسط، قسمنا قطره في بُعد الأوسط على بُعد من
 ٢٠ مركز العالم، بأجزاء قطر الممثل، يحصل قطر القمر في ذلك البعد.

١ د ط كج ب كط كه ا: و ط كج ب كط كه ا [د]، د ط كج ب كط كه ج [ج] (كتب أولاً "و ط ...") ولكن شطب
 الناسخ العدد وكتب د في الهامش). ٢ مستوية: متسوية [أ]. ٣ . لب نو كز ل ج د مال مه: . لب نو كز ل ج د مال لا
 [أ، د، س]. ٤ خاصّة: خاصية [د]. ٥ ناد ك ب ل: هذا العدد هو مشطب في ج وكتب الناسخ في الهامش "ناد ك نج ك"
 وكتب أيضاً بعد هذا "كله لا يحتاج إلى إعادة" [ج]. ٦ واحدة: ناقص [س]. ٧ ب كح مجر ر: العدد ر هو مشطب في
 مسخه ج وكتب الناسخ في الهامش [ج]. ٨ وحركتها: وحركة [س]. ٩ كل: ناقص [س]. ١٠ واحد: ناقص [س].
 ١١ كط ن ر نه مد ب: كط لان ر نه مد ب [س]. ١٢ الصحيحة: المصححة [س]. ١٣ ثلاثمائة وخمسة وستون
 ... وهي: ناقص [ج]. ١٤ الدورة و نه ط ح: الدور فونه ط ح [ج، د، س]. ١٥ وذلك عند كون ... لب ند ل ج:
 . لب ند ل ج وذلك عند كون بُعد القمر من الأرض ٦٠ جزءاً من أجزاء قطر حامل التدوير [ج].

١ س ٢٥. ٢ ت ١٢ ظ. ٣ ت ١٨. ٤ أ ١٧. ٥ د ٣٣ و ه ٣١. ٦ ب ١٨ ظ. ٧ ك ٣١. ٨ أ ١٧ ظ.
 ٩ س ٢٥ ظ.

[7] La vitesse apparente de la Lune par heure, c'est aussi son diamètre, mais sache que la première méthode est plus exacte.

[8] Quant au diamètre de l'ombre, selon Ptolémée, il est deux fois et trois cinquièmes de fois comme le diamètre de la Lune. Je l'ai trouvé, par l'observation de nombreuses éclipses anciennes et récentes, deux fois et demi et un cinquième de fois comme le diamètre de la Lune si nous supposons que la latitude maximale de la Lune est cinq degrés ; et si nous supposons qu'elle est de quatre degrés, deux tiers et un quart de degrés, alors le diamètre de l'ombre est deux fois et deux tiers de fois comme le diamètre de la Lune. Par l'observation, j'ai trouvé que la durée des éclipses est supérieure à ce que prédit le calcul sous l'hypothèse que le diamètre de l'ombre serait deux fois et trois cinquièmes de fois comme le diamètre de la Lune¹³¹.

Chapitre onze

La Lune vraie par les tables ou par le calcul

[1] Si tu veux [la Lune vraie], alors calcule à partir des tables la Lune moyenne, la Lune propre et le Soleil moyen de la manière que je t'ai indiquée pour le Soleil. Puis soustrais le Soleil moyen de la Lune moyenne ; le double du résultat est le centre de la Lune, c'est-à-dire l'élongation entre le centre de l'épicycle et le point où la distance est maximale¹³². Entre, avec cela, dans la table des équations de la Lune, et prends-y l'équation de la Lune propre. Si le centre est plus petit que six signes¹³³, alors ajoute l'équation à la Lune propre, et s'il est plus grand que six signes, alors soustrais-la de la Lune propre. On obtient la Lune propre corrigée¹³⁴.

[2] Puis entre avec la Lune propre corrigée dans la table des équations de la Lune, et prends-y la troisième¹³⁵ et la quatrième équation¹³⁶. Puis entre, avec le centre, dans la table des équations de la Lune, prends-y la deuxième équation¹³⁷, multiplie-la par la quatrième, et ajoute le tout à la troisième ; on obtient la troisième équation *ajustée*¹³⁸. Puis regarde si la Lune propre corrigée est inférieure à six signes. Dans ce cas, retranche l'ajustée de la Lune moyenne ; mais si elle est plus grande que six signes, alors ajoute-la à la Lune moyenne. On obtient la Lune vraie par rapport à la ceinture de l'orbe incliné.

- [٧] وبهت ساعة القمر هو قطره أيضًا، وبالوجه الأول أصح فاعرفه.
- [٨] وأما قطر الظل، فإنه عند بطليموس مثل قطر | القمر مرتين وثلاثة أضعاف مرة. وقد وجدته بأرصاء خسوفات كثيرة قديمة وحديثة، مرتين ونصف وخمس مرة إذا عملنا على أن نهاية عرض | القمر خمس درجات؛ وإذا عملنا على أنه أربع درج وتلثي ورُبُع درجة، كان مثل قطر القمر مرتين وتلثي مرة. وذلك أننا وجدنا مكث الخسوفات بالرصد أكثر ما يقتضيه | الحساب على فرض أن قطر الظل مثل قطر القمر مرتين وثلاثة أضعاف.

الباب الحادي عشر

في تقويم القمر بالجدول والحساب

- [١] | إذا أردت ذلك، فاحسب من الجداول وسط القمر وخاصته ووسط الشمس على نحو ما أوضحت لك في الشمس. ثم انقص وسط الشمس من وسط القمر؛ فما بقي أضعفه فهو مركز القمر، وهو بُعد مركز التدوير من البعد الأبعد. فادخل به إلى جدول تعاديل القمر، وخذ به تعديل الخاصة. فإن كان المركز أقل من ستة بروج، فزد التعديل على الخاصة، وإن كان المركز أكثر من ستة بروج، فنقصه من الخاصة. تحصل الخاصة المعدلة.
- [٢] ثم ادخل بالخاصة المعدلة إلى جدول تعاديل القمر، وخذ ما بإزاء ذلك من التعديل الثالث والرابع. ثم ادخل بالمركز إلى جدول تعاديل القمر، وخذ به التعديل الثاني، | فاضربه في الرابع، فما حصل فزده على الثالث؛ يحصل التعديل الثالث المُحكّم*. | ثم انظر، إن كانت الخاصة المعدلة أقل من ستة بروج، فنقص المحكم من وسط القمر، وإن كانت أكثر من ستة بروج، فزد المحكم على وسط القمر. يحصل مقوم القمر من منطقة المائل.

^١ وبهت ساعة القمر... فاعرفه: في الهامش مع إشارة [س]. ^١ وبالوجه: الوجه [ج]. ^٢ فإنه: فهو [ج]. ^٣ مرتين ونصف وخمس مرة: ب ل س [ج]. ^٣ عملنا على: علمنا [ج، د]. ^٤ عملنا على: علمنا على [د]، علمنا [ج]. ^{١٠} أضعفه: في الهامش مع إشارة [س]، وكتب أيضًا في الهامش حول هذه الإضافة، من يد آخر، "قوله أضعفه فمما هي قول المصنف لأنه ذكر في الزيج الموزن بالتقويم باب تقويم القمر بأن العمل على البعد المطلق ويستدل عليه ببراهين هندسية ويذكر من جملتها بأن الأقدمين كان عملهم على البعد المضاعف والطرلتيين (؟) عليها البرهان الصحيح لآكر (؟) العمل المهف (؟) عليه هو البعد المطلق بلا تضاعف كسر (؟) كون (؟) اترسرب (؟)" [س]. ^{١١} القمر: فوق السطر [ج]. ^{١٥} فاضربه: واضربه [ج]. ^{١٦} إن: ان [أ]. ^{١٧} المعدلة: ناقص [س].

^٢ ٣١١ ظ. ^٣ ج ١٩ و. ^٥ ق ١٧ و. ^٧ ج ١٩ ظ، ^٨ ج ٣١ ظ، ^٩ ج ١٣ و. ^٩ ج ٣٢ و. ^{١٥} ٣٢٥ و. ^{١٦} س ٢٦ و.

* كُتب في الهامش [ج]: "التعديل إذا كان يزداد على الوسط فالكوكب صاعد في أفلاكه وإذا ناقصًا فالكوكب هابط في أفلاكه."

[3] Puis retranche de la Lune vraie la longitude du nœud. Il reste l'argument de latitude de la Lune. Entre-le dans la table de l'équation du déplacement de la Lune¹³⁹. Retranche ce que tu y trouves de la Lune vraie si l'argument de latitude de la Lune est compris entre un et quatre-vingt-dix degrés ou bien entre cent quatre-vingts et deux cent soixante-dix degrés, et ajoute-le sinon. On obtient la Lune vraie par rapport à l'écliptique à la date pour laquelle tu as fait le calcul, à midi, à Damas ; et si la date n'a pas encore été corrigée par l'équation équation du temps, alors il faut la corriger comme je l'ai enseigné pour le Soleil¹⁴⁰.

[4] Si tu veux la latitude de la Lune, entre l'argument de latitude dans la table des latitudes de la Lune, tu y trouves la latitude de la Lune et son sens¹⁴¹. La manière d'y arriver par le calcul est que tu multiplies le sinus de l'argument de latitude par la tangente de la latitude entière¹⁴² de la Lune, on obtient la tangente de la latitude partielle de la Lune. Tu trouves son arc dans la table des tangentes inverses : c'est la latitude. On a déjà parlé de son sens.

Détermination de l'équation de la Lune propre par le calcul

[5] Détermine le centre de la Lune et multiplie son sinus par le rayon de l'orbe portant le corps de la Lune, c'est-à-dire par 1;25. Appelons ce qu'on obtient *le dividende*. Multiplie ensuite le cosinus du centre par 1;25. Ôte le résultat du rayon de l'épicycle (6;35) si le centre est compris entre un et quatre-vingt-dix degrés ou bien entre deux cent soixante-dix et trois cent soixante degrés. Sinon, ajoute-le au rayon de l'épicycle. Ajoute le carré de ce qu'on obtient au carré du dividende. Prends-en la racine carrée, c'est le rayon de l'épicycle apparent. Garde-le, tu en auras besoin ici et ailleurs. Ensuite, divise le dividende par le rayon de l'épicycle apparent, il en sort le sinus de l'équation de la Lune propre ; écris-la en face de ce degré dans la table.

[٣] | ثم انقص الجوزهر | المقوم من القمر المقوم. تبقى حصّة عرض القمر. ادخل بها إلى جدول تعديل نقل القمر، فما وجدت بإزائها، فنقصه من مقوم القمر إن كانت حصّة عرض القمر من درجة إلى تسعين أو من مائة وثمانين إلى مائتين وسبعين، وإن كانت غير ذلك فزده | على مقوم القمر. يحصل مقوم القمر من فلك البروج للوقت الذي حسبته له، لنصف نهار، دمشق. فإن لم يكن التاريخ معدلاً بتعديل الأيام بلياليها، فيجب أن يُعدّل على نحو ما عرفتك في الشمس.

[٤] وإذا أردت عرض القمر، فادخل بحصّة العرض إلى جدول عرض القمر، تجد بإزائها عرض القمر وجهته. وطريقه بالحساب، أن تضرب جيب الحصّة في ظلّ عرض القمر الكلي، يحصل ظلّ عرض القمر الجزئي. فقوسه في جدول الظلّ المعكوس الستيني، تجد العرض. وقد تقدّم علم جهته.

في معرفة تعديل خاصّة القمر بالحساب

[٥] اعرف مركز القمر واضرب جيبه في نصف | قطر حامل الجرم، وهو اكه. فما حصل فهو المقسوم. ثم اضرب جيب تمام المركز في اكه. فما حصل نقصه من نصف | قطر التدوير، وهو وله، إذا كان المركز من درجة إلى تسعين أو من مائتين وسبعين إلى ثلاثمائة وستين*. وإن كان المركز خلاف ذلك، فزده على نصف قطر التدوير الذي هو وله. فما حصل، اجمع مرّبعه ومرّبع المقسوم. فما كان، خذ جذره، | فهو نصف قطر التدوير المرئي. فاحفظه، فإنك تحتاج | إليه في هذا العمل وغيره. ثم اقسّم على نصف قطر التدوير المرئي المقسوم، يخرج جيب تعديل الخاصّة؛ أثبتته بإزاء تلك | الدرجة.

^١ القمر المقوم: مقوم المائل [ج]، القمر (وكتب "مقوم" في الهامش مع إشارة) [د]. ^١ عرض القمر: العرض [ج]. ^٢ تعديل: ناقص [س]. ^٣ نقل: فوق السطر [أ]. ^٤ عرض القمر: العرض [ج]. ^٥ القمر: فوق السطر [س]. ^٦ فقوسه: تقوسه [أ، س]. ^٧ الستيني: الستين [س]. ^٨ حصل فهو... وهو هـ: في الهامش (وهو كان ناقص أولاً بسبب فقرة لتشبه الكلام) [د]. ^٩ كان: فوق السطر [س]. ^{١٠} الذي هو وله: ناقص [ج].

^١ ب ١٩. ^٢ أ ١٨. ^٣ ج ٣٢. ^٤ هـ ٣٢. ^٥ ج ٢٠. ^٦ س ٢٦. ^٧ ق ١٧. ^٨ گ ٣٣. ^٩ ب ١٩. ^{١٠} أ ١٨. ^{١١} ج ٣٢. ^{١٢} هـ ٣٢. ^{١٣} ج ٢٠. ^{١٤} س ٢٦. ^{١٥} ق ١٧. ^{١٦} گ ٣٣.

* كُتب في الهامش [ج]: "نصف قطر التدوير المرئي لا ينقص عن هـ ولا يزيد على ح، الأول في الاجتماع والاستقبال والثاني في التربع وهو دائر فيما بينهما."

Calcul de la deuxième équation¹⁴³ de la Lune

[6] Multiplie le sinus de la Lune propre corrigée et son cosinus par le rayon de l'épicycle apparent lors d'une conjonction ou d'une opposition, c'est-à-dire par l'excédent du rayon de l'épicycle sur le rayon du rotateur, ce qui fait 5;10. Ce qu'on obtient du cosinus, ajoute-le toujours à soixante si la Lune propre corrigée est dans la moitié supérieure de l'épicycle, et ôte-le si elle est dans sa moitié inférieure. Ce qu'on obtient, ajoute son carré au carré du produit du sinus de [la Lune] propre par 5;10 (ce dernier produit est ce qu'on appelle à présent le *dividende*). Prends la racine carrée de cette somme. Divise le dividende par cela. On obtient le sinus de la deuxième équation correspondant au degré pour lequel tu as fait le calcul. Prends son arc dans la table des sinus : tu trouves l'équation correspondant à cette position.

[7] La manière de calculer la troisième équation est la suivante. Tu supposes que le rayon de l'épicycle apparent est de huit degrés, c'est-à-dire le sinus de sept degrés et deux tiers, et tu suis ce que je t'ai enseigné pour la deuxième équation. Ce qu'on obtient pour chaque position, soustrais-en la deuxième équation pour cette même position. Écris le résultat en face de cette position.

[8] *Remarque.* Si tu utilises le rayon de l'épicycle apparent à une position donnée au lieu de 5;10, et que tu suis le procédé indiqué, il en sort l'équation ajustée, c'est-à-dire la deuxième équation corrigée.

Calcul du coefficient d'interpolation pour la Lune

[9] Si tu veux cela, prends l'arc du rayon de l'épicycle apparent dans la table des sinus ; ce qu'on obtient est la variation maximale pour ce degré comme équation ajustée. Retranches-en 4;56,24 qui est le maximum de la deuxième équation. Ce qui reste, divise-le par 2;43,21 (c'est la différence entre l'équation maximale dans les quadratures

في حساب تعديل القمر الثاني*

[٦] اضرب جيب الخاصّة المعدّلة وجيب تمامها في نصف قطر التدوير المرثي في وقت الاجتماع والاستقبال، وهو فضل نصف قطر التدوير على نصف قطر المدير، وهو ه ي. | فما حصل من جيب التمام، فزده على ستين أبداً إن كانت الخاصّة المعدّلة في النصف الأعلى من التدوير ونقصه إن كانت الخاصّة في النصف الأسفل منه. فما حصل فزد مرّبعه على مرّبع المتحصّل من ضرب جيب الخاصّة في ه ي، وهو المقسوم. فما بلغ خذ جذره. فما كان أقسم عليه المقسوم. يحصل جيب التعديل الثاني للدرجة التي حسبت لها. تقوّسه في جدول الجيب: تجد تعديل ذلك الجزء.

[٧] وطريق حساب التعديل الثالث أن تفرض نصف قطر التدوير المرثي ثمان درجات، وهو جيب سبعة وثلاثين^٢، | واسلك ما | عرفت في التعديل الثاني. فما حصل لكلّ جزء، فانقص منه^٥ التعديل | الثاني لذلك الجزء. فما بقي فأثبتته بإزاء ذلك الجزء.

[٨] تنبيه. إذا استعملت نصف قطر التدوير المرثي لجزء مفروض عوض ه ي، وسلكت الطريق المذكور، خرج التعديل المحكم، وهو التعديل الثاني معدّلاً.

في حساب دقائق النسب للقمر

[٩] إذا أردت ذلك | فقوّس نصف قطر | التدوير المرثي^١ في جدول الجيب؛ فما حصل فهو غاية الاختلاف في تلك الدرجة، وهو التعديل المحكم لتلك الدرجة. فانقص منه د نو كد وهو نهاية التعديل الثاني. وما بقي، اقسمه على ب مج ك، وهو فضل غاية الاختلاف في التريبعين

^٢ وقت: تُوجد هذه الكلمة في نسخة ج فقط. ^٤ المعدّلة: فوق السطر [د، ج]. ^{٤-٥} الأعلى من التدوير ... في النصف: في الهامش [ج، د]، وكُتب أيضاً في الهامش "أي بأن تكون أقلّ من ثلاث بروج وأكثر من تسع بروج وفي هذه الحالة" [ج]. ^{١٠} واسلك: فاسلك [ج، د]. ^{١٣} التعديل: كُتب "جيب" قبل هذه الكلمة وفوق السطر [ج]. ^{١٣} الثاني: الثالث [ج] (وكُتب "الثالث" أيضاً في هامش نسخة د).

٣ د ٣٣ ظ. ١٠ ب ١٩ ظ، ت ١٣ ظ. ١٠ ه ٣٣ و. ١١ أ ١٨ ظ. ١٥ س ٢٧ و. ١٥ ك ٣٣ ظ.

* تُوجد كلمة طويلة في هامش هذه الصفحة [س]: "يقول على بن الشاطر لما فرغ من هذا الكتاب فكرت في وضع ثانٍ لهيئة أفلاك القمر... (انظر إلى مقدّمتي). ^١ كُتب في الهامش [ج]: "فهو بُعد... (وسائر الكلمات هو غير مقروء). ^٢ كُتب في الهامش مع إشارة [ج]: "هو نهاية التعديل الثاني واختلاف البعد الأقرب." ^٤ كُتب في الهامش مع إشارة [ج]: "جيب التعديل الثاني لذلك الجزء فما بقي فهو جيب اختلاف البعد الأقرب لذلك الجزء." ^١ كُتب في الهامش مع إشارة [ج]: "لجزء مفروض."

7;39,45,11 et le maximum de la deuxième équation). Ce qui sort de la division, c'est le coefficient d'interpolation ; écris-le en face de ce degré.

[10] *Remarque.* Sache qu'il est possible de construire d'autres tables pour la Lune vraie, autrement disposées que celles connues. Pour cela, tu supposes que l'épicycle de la Lune est l'épicycle véritable dont le rayon est 6;35. Tu calcules une différence qui lui est retranchée à distance maximale, et une différence qui lui est ajoutée à distance minimale¹⁴⁴ quand il vaut huit parts. Tu calcules une différence qui en est retranchée, avec un coefficient d'interpolation (à l'opposé de ce qu'on a vu ci-dessus¹⁴⁵). Enfin, on peut aussi faire le calcul de la Lune vraie au moyen d'une table unique¹⁴⁶ qui montrerait à la fois la variation maximale à toute position donnée dans l'orbe portant¹⁴⁷ et l'équation de la Lune propre dépendant de cette position.

[11] Par exemple, si nous supposons que le centre de la Lune (c'est-à-dire l'élongation double) est de trois signes, alors l'équation de la Lune propre est 12;26. D'autre part, si le centre est de trois signes, la variation maximale est de six parts et un sixième de part ; alors nous avons calculé la deuxième équation jusqu'à son maximum de six parts et un sixième. Nous avons écrit ceci en face de 12;26. Quand nous entrons dans cette table la Lune propre absolue (je veux dire, sans sa correction), nous trouvons ainsi l'équation ajustée sans équation additionnelle ; mais nous aurons alors besoin de nombreuses tables¹⁴⁸.

[12] *Si tu veux la distance de la Lune au centre du monde*, prends connaissance du sinus de la Lune propre corrigée et de son cosinus ; multiplie chacun par le rayon de l'épicycle apparent (5;10 lors d'une conjonction ou d'une opposition, sinon, c'est ce que je t'ai demandé de conserver dans un paragraphe antérieur). Ce qu'on obtient à partir du sinus de la Lune propre, c'est le *dividende* et garde-le. Ce qu'on obtient à partir du cosinus, ajoute-le à soixante si la Lune propre corrigée est inférieure à trois signes ou supérieure à neuf signes, sinon ôte-le de soixante. Le total ou le reste, prends son carré et ajoute-le au carré du dividende. Prends la racine carrée de cela, c'est la distance de la Lune au centre du monde à condition que le rayon de l'orbe portant¹⁴⁹ [l'épicycle] soit soixante.

[13] *Remarque.* Si nous divisons par cette distance le diamètre de la Lune à distance moyenne (c'est 0;32,54,33), alors on obtient son diamètre à cette distance. Si nous multiplions la vitesse apparente de la Lune par jour par deux minutes et demi¹⁵⁰, alors on obtient aussi le diamètre de la Lune, mais la première méthode est plus précise. Dans les conjonctions et les oppositions, le diamètre minimum de la Lune est 0;30,18, et son diamètre maximum 0;36,0. Dans les quadratures son diamètre minimum est 0;29,2,15 et son diamètre maximum 0;37,58,20. Sache cela.

الَّذِي هُوَ ز ل ط م ه يَ ا عَلَى غَايَةِ الثَّانِي. فَمَا خَرَجَ بِالقِسْمَةِ، فَهُوَ دَقَائِقُ النِّسْبِ؛ فَأَثْبَتَهُ بِإِزَاءِ تِلْكَ الدَّرَجَةِ.

[١٠] تَنْبِيهِ. اعْلَمْ أَنَّهُ يُمْكِنُ أَنْ تُوَضَعَ جَدَاوِلُ لِتَقْوِيمِ القَمَرِ، عَلَى أَوْضَاعٍ | آخَرَ غَيْرِ المَشْهُورَةِ. وَذَلِكَ بِأَنْ تَفْرَضُ تَدْوِيرَ القَمَرِ التَّدْوِيرَ الحَقِيقِيَّ الَّذِي نِصْفُ قَطْرِهِ وَ لَهُ. وَتَحْسَبُ لَهُ اخْتِلَافَ يُنْقِصُ مِنْهُ فِي البُعْدِ الأَبْعَدِ، وَاخْتِلَافَ يُزَادُ عَلَيْهِ فِي البُعْدِ الأَقْرَبِ وَهُوَ ثَمَانِيَةٌ أَجْزَاءً. وَتَحْسَبُ لَهُ اخْتِلَافَ يُنْقِصُ مِنْهُ بِدَقَائِقِ نِسْبِ، عَكْسِ المَشْهُورِ. وَيُمْكِنُ أَنْ يُوَضَعَ جَدْوَلٌ وَاحِدٌ لِتَقْوِيمِ القَمَرِ بَيْنَ لَآنٍ غَايَةِ الاختِلَافِ فِي أَجْزَاءِ الحَامِلِ مَعْلُومَةٌ وَتَعْدِيلِ الخَاصَّةِ | لَازِمٌ فِي ذَلِكَ الجِزْءِ.

[١١] وَمِثَالُ ذَلِكَ، إِذَا فَرَضْنَا مَرْكَزَ القَمَرِ، وَهُوَ البُعْدُ المِضَاعِفِ، ثَلَاثَ بَرُوجٍ، كَانَ | تَعْدِيلُ الخَاصَّةِ لِتِلْكَ الدَّرَجَةِ يَبْ كَو. وَنَهَايَةُ الاختِلَافِ، | إِذَا كَانَ المَرْكَزُ ثَلَاثَ بَرُوجٍ، سِتَّةَ أَجْزَاءٍ وَسُدُسَ جِزْءٍ؛ وَحَسَبْنَا التَّعْدِيلَ الثَّانِيَ عَلَى أَنَّ نَهَايَتَهُ السُّدُسَ وَالسُّدُسُ. وَأَثْبَتْنَا ذَلِكَ بِإِزَاءِ يَب كَو. كَانَ هَذَا الجَدْوَلُ مَتَى دَخَلْنَا إِلَيْهِ بِالخَاصَّةِ المَطْلُوقَةِ، أَعْنِي الغَيْرِ مَعْدَّلَةٍ، وَجَدْنَا التَّعْدِيلَ المَحْكَمَ مِنْ غَيْرِ تَعْدِيلٍ زَائِدٍ؛ وَإِنَّمَا نَحْتَاجُ إِلَى جَدَاوِلٍ كَثِيرَةٍ.

[١٢] | إِذَا أَرَدْتَ بُعْدَ القَمَرِ مِنْ مَرْكَزِ العَالِمِ، فَاعْرِفْ جَيْبَ خَاصَّةِ القَمَرِ المَعْدَّلَةِ وَجَيْبَ تَمَامِهَا؛ وَاضْرِبْ كُلَّ وَاحِدٍ مِنَ الجَيْبَيْنِ فِي نِصْفِ قَطْرِ فَلَكَ التَّدْوِيرَ المَرْثِيَّ، وَهُوَ ه يَ فِي الاجْتِمَاعِ وَالاسْتِقْبَالِ، وَفِي غَيْرِهِمَا وَهُوَ مَا أَمْرَتُكَ بِحِفْظِهِ فِي الفِصْلِ الأَوَّلِ مِنْ هَذَا البَابِ. فَمَا حَصَلَ مِنْ جَيْبِ الخَاصَّةِ، فَهُوَ المَقْسُومُ فَاحْفَظْهُ. وَزِدْ مَا حَصَلَ مِنْ جَيْبِ التَّمَامِ عَلَى سِتِّينَ، إِذَا كَانَتْ الخَاصَّةُ المَعْدَّلَةُ أَقَلَّ مِنْ ثَلَاثِ بَرُوجٍ أَوْ أَكْثَرَ مِنْ تِسْعِ بَرُوجٍ، وَإِنْ كَانَتْ غَيْرَ ذَلِكَ فَانْقِصْهُ مِنْ سِتِّينَ. | فَمَا بَلَغَ أَوْ بَقِيَ، فَاجْمَعْ مَرَبَّعَهُ وَمَرَبَّعَ المَقْسُومِ. وَخَذْ جِذْرَ ذَلِكَ، فَمَا كَانَ فَهُوَ بُعْدَ القَمَرِ مِنْ مَرْكَزِ العَالِمِ عَلَى أَنَّ نِصْفَ قَطْرِ الحَامِلِ سِتِّينَ جِزْءًا.

[١٣] تَنْبِيهِ. إِذَا قَسَمْنَا عَلَى هَذَا البُعْدِ | قَطْرَ القَمَرِ فِي بُعْدِهِ الأَوْسَطِ، وَهُوَ | ل ب ن د ل ج، حَصَلَ قَطْرُهُ فِي ذَلِكَ البُعْدِ. وَإِذَا ضَرَبْنَا بِهِتِ يَوْمِهِ فِي دَقِيقَتَيْنِ وَنِصْفِ، حَصَلَ | قَطْرَ القَمَرِ، وَبِالطَّرِيقِ الأَوَّلِ أَضْبَطُ. وَقَطْرَ القَمَرِ أَقْلَهُ فِي الاجْتِمَاعَاتِ وَالاسْتِقْبَالَاتِ . ل ن ح، وَأَكْثَرَهُ فِيهَا . ل و. وَأَقْلَهُ فِي التَّرْبِيعِينَ كَط ب يه، وَأَكْثَرَهُ فِيهَا ل ز ن ح ك. فَاعْرِفْ ذَلِكَ.

° يُزَادُ: [د]. ٦ يَبْنُ: نَاقِصٌ [ج]. ٨ وَمِثَالُ: مِثَالُهُ [ج]. ٨ وَهُوَ البُعْدُ المِضَاعِفِ: فِي الهَامِشِ [س]. ٩ لِتِلْكَ الدَّرَجَةِ: نَاقِصٌ [أ، ج، د]. ١١ إِلَيْهِ: عَلَيْهِ [د]. ١١ أَعْنِي الغَيْرِ مَعْدَّلَةٍ: نَاقِصٌ [ج]. ١٤-١٥ وَهُوَ ه يَ ... مِنْ هَذَا البَابِ: فِي الهَامِشِ مَعَ إِشَارَةِ [س]. ١٧ المَعْدَّلَةُ: المَعْدَّلُ [س]. ٢١-٢٣ وَإِذَا ضَرَبْنَا ... فَاعْرِفْ ذَلِكَ: فِي الهَامِشِ مَعَ إِشَارَةِ [س]. ٢٢ . ل ن ح: . ل ن ح أ ي [د، ج]. ٢٢ . ل و: ل و . ل [س].

٣ ج ٢٠ ظ. ٧ ه ٣٣ ظ. ٨ گ ٣٤ و. ٩ ق ١٨ و. ١٣ س ٢٧ ظ. ١٨ ب ٢٠ و. ٢٠ أ ١٩ و. ٢٠ گ ٣٤ ظ. ٢١ ه ٣٤ و.

[14] *Seconde remarque.* Si nous divisons par cette distance le dividende qu'on a gardé, il en sortirait le sinus de l'équation ajustée de la Lune. Comprends cela.

Chapitre douze

Configuration des orbes de Saturne selon la vraie méthode

[1] Parmi les orbes de Saturne nous imaginons :

- un *orbe parécliptique* représentant l'orbe de l'écliptique, dans son plan, autour de son centre et sur ses pôles ;
- un deuxième orbe, *incliné* par rapport au parécliptique et d'une inclinaison constante de deux parts et demi, le coupant en deux points opposés dont l'un s'appelle la tête et l'autre la queue ;
- un troisième orbe dont le centre est sur le bord de l'orbe incliné et dont le rayon fait cinq parts et un huitième (en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante) ; il s'appelle *déférent* ;
- un quatrième orbe dont le centre est sur le bord du déférent et dont le rayon fait un degré, quarante-deux minutes et trente secondes ; il s'appelle *rotateur* ;
- un cinquième orbe dont le centre est sur le bord du rotateur et dont le rayon fait six parts et demi (en les mêmes parts) ; il s'appelle *orbe de l'épicycle*.

Le centre du corps de Saturne est attaché en un point de la ceinture de l'épicycle.

[2] Quant aux mouvements, le parécliptique se meut d'un mouvement simple autour de son centre, dans le sens des signes. C'est le *mouvement des auge* qui fait chaque jour 0;0,9,52. Les intersections – la tête et la queue – se déplacent donc, et les deux inclinaisons extrêmes aussi.

[3] L'orbe incliné se meut d'un mouvement simple autour de son centre qui est centre de l'univers, dans le sens des signes comme le précédent. Sa mesure est celle du *mouvement du centre de Saturne* et c'est l'excédent du mouvement moyen sur le mouvement de l'auge : il fait, en un jour et une nuit, 0;2,0,26,17.

[4] Le déférent se meut en sens contraire dans sa partie supérieure, de la même quantité que le mouvement du centre de Saturne, c'est-à-dire, en un jour et une nuit, 0;2,0,26,17.

[5] Le rotateur se meut dans le sens des signes dans sa partie supérieure, d'une quantité double de celle du mouvement du centre de Saturne, c'est-à-dire, en un jour et une nuit, 0;4,0,52,34. Une révolution du rotateur s'achève donc avec une demi-révolution du déférent.

[١٤] تنبيه | ثانٍ. ولو قسمنا على هذا البُعد المقسوم المحفوظ، خرج جيب التعديل المحكم للقمر. فافهم ذلك.

الباب الثاني عشر في هيئة أفلاك زحل على الوجه الصحيح

[١] نتوهم من أفلاك زحل:

- ٥ - فلك ممثّل بفلك البروج في سطحه حول مركزه وعلى قطبيه،
- | ونتوهم فلك ثانٍ مائل عن الممّثل ميل ثابت مقداره جزآن ونصف، مقاطع له على نقطتين متقابلتين وتُسمّى إحداهما الرأس والأخرى الذنب،
- ونتوهم فلك ثالث مركزه على محيط المائل ونصف قطره خمسة أجزاء وتُمن جزء (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستين جزءًا)؛ ويُسمّى الحامل،
- ١٠ - ونتوهم فلك رابع مركزه على محيط الحامل ونصف قطره درجة واثنين وأربعين دقيقة وثلاثين ثانية؛ ويُسمّى المدير،
- ونتوهم فلك خامس مركزه على محيط المدير ونصف قطره ستة أجزاء ونصف (بتلك الأجزاء)؛
| ويُسمّى فلك التدوير،
- ١٥ - ومركز جرم زحل لازمٌ لنقطة على | منطقة التدوير.

- [٢] فأما الحركات فإنّ الممّثل يتحرّك حركة بسيطة حول مركزه إلى التوالي حركة الأوجات وهو في اليوم | . ط . نب. فينتقل التقاطع وهو الرأس والذنب وتنتقل غايتان الميل أيضًا.
- [٣] ويتحرّك الفلك المائل حركة بسيطة حول مركزه الذي هو مركز العالم إلى التوالي أيضًا بمقدار حركة مركز زحل وهو فضل وسطه على حركة الأوج: وهو في اليوم بليته . ب . كو بر.
- ٢٠ [٤] ويتحرّك الحامل إلى خلاف التوالي في أعلاه بقدر حركة مركز زحل الذي هو في اليوم بليته . ب . كو بر.

[٥] ويتحرّك المدير في أعلاه إلى التوالي، قدر ضعف حركة مركز زحل، وهو في اليوم بليته . د . نب لد. فتكمّل الدورة منه مع نصف دورة من الحامل.

^١ ولو: لو [د، ج]. ^٢ فافهم ذلك: ناقص [ج، س]. ^٣ نتوهم: يُتوهم [د]. ^٤ حول: وحول [س]. ^٥ وعلى قطبيه: في الهامش مع إشارة [ج، د]. ^٦ مقاطع: يقاطع [د، ج]. ^٧ وتُسمّى: تُسمّى [س]. ^٨ ونتوهم ... الحامل: في الهامش مع إشارة [س]. ^٩ ونتوهم: يُتوهم [د، ج]. ^{١٠} هو في: فوق السطر [أ]، ناقص [د]. ^{١١-١٢} ويتحرّك ... د . نب لد: في الهامش مع إشارة [ج]. ^{١٣} المدير: في الهامش مع إشارة [د].

^{١٤} ج ٢١، د ٣٤، هـ ٣٤، ت ١٤، س ٢٨، و ٣٥، غ ٣٥، ١٥ ق ١٨، ظ ١٧، هـ ٣٤.

[6] L'orbe de l'épicycle se meut d'un mouvement simple autour de son centre dans le sens des signes dans sa partie supérieure. Sa mesure est l'excédent du *mouvement de Saturne propre* sur le mouvement de son centre. Ce mouvement est simple-composé. En effet, supposons que l'épicycle est immobile¹⁵¹. L'orbe incliné se meut d'un quart de cercle, l'orbe déférent d'un quart de cercle, et l'orbe rotateur d'un demi-cercle : cela signifie que le diamètre passant par l'apogée et le périégée de l'épicycle s'est déplacé d'un quart de cercle [en trop]. Nous devons donc supposer qu'il est animé d'un mouvement en sens contraire égal au mouvement du déférent, c'est-à-dire au mouvement du centre de Saturne. Ainsi le diamètre passant par l'apogée et le périégée se déplacera vers son lieu.

[7] Nous avons trouvé par l'observation que l'épicycle se meut du mouvement de l'astre propre qui fait, en un jour et une nuit, 0;57,7,43,34,22, mais on vient de voir que cet orbe se meut en sens contraire aux signes, d'un mouvement simple autour de son centre. Or il semble se mouvoir dans le sens des signes, d'un mouvement simple autour de son centre, donc le plus petit des deux mouvements est soustrait du plus grand, c'est-à-dire que nous soustrayons du mouvement de l'astre propre le mouvement du centre. Il reste le mouvement de l'orbe de l'épicycle dans le sens des signes, égal à l'excédent du mouvement de Saturne propre sur le mouvement de son centre : par jour, 0;55,7,17,17,22. C'est son vrai mouvement simple, sauf que son apogée, dans le sens des signes, se meut toujours d'autant que le mouvement de Saturne propre, somme de ce mouvement simple et du mouvement de son centre.

[8] Il s'agit d'une notion subtile, mais il faut la comprendre. Il en est de même pour les autres planètes, donc on n'aura pas à répéter cette explication¹⁵². Quand nous voudrons l'élongation entre l'astre et l'apogée, nous devons sommer le mouvement de cet épicycle et le mouvement du centre de Saturne : le résultat sera comme le mouvement de Saturne propre, ce sera l'élongation entre l'astre et l'apogée. Je t'ai expliqué cette notion, elle contient une subtilité, examine-la donc avec attention.

[9] Supposons que les centres du déférent, du rotateur et de l'épicycle soient alignés sur une droite passant par le centre du monde et par l'auge. Alors le centre de l'épicycle est à distance maximale de la Terre, c'est-à-dire 63;25. Maintenant, si l'orbe incliné se meut d'un quart de cercle, que le déférent se meut, dans le même temps, d'un quart de cercle aussi, et que le rotateur se meut, dans le même temps, d'un demi-cercle, alors la distance du centre de l'épicycle au centre du déférent devient six parts, une demi-part et un tiers de part.

[10] Traçons une droite du centre du monde au centre de l'épicycle, et une autre droite du centre

[٦] وتتحرك فلك التدوير حركة بسيطة حول مركزه في أعلاه إلى التوالي بمقدار فضل حركة خاصة زحل على حركة مركزه. وهذه الحركة بسيطة مركبة، | لأننا إذا فرضنا التدوير ساكنًا وتحرك المائل رُبع دائرة، وتحرك الحامل رُبع دائرة، وتحرك المدير نصف دائرة، أعني انتقل القطر المارّ بالذروة والحضيض رُبع دائرة، فيجب أن نفرض له | حركة إلى خلاف التوالي بمقدار حركة الحامل | التي هي حركة مركز زحل، فينتقل القطر المارّ بالذروة والحضيض إلى موضعه.

[٧] ثم وجدنا بالرصد أنّ التدوير يتحرك بقدر خاصة زحل وهي في اليوم بليته . نرر مجد لكب، فقد ظهر أنّه يتحرك إلى خلاف التوالي حركة بسيطة | حول مركزه. وظهر | أنّه يتحرك إلى التوالي | حركة بسيطة حول مركزه، فينقص أقلّ الحركتين من الأكثر، وهي حركة المركز من حركة الخاصة. فتنقى حركة فلك التدوير إلى التوالي بقدر فضل حركة خاصة زحل على حركة مركزه: وهي في اليوم بليته . نه رر ركب. وهذه هي الحركة البسيطة الحقيقية، غير أنّ الذروة تتحرك إلى التوالي أبدًا بقدر حركة خاصة زحل، وهي مجموع هذه الحركة وحركة مركزه.

[٨] وهذا معنى لطيف يجب تصوّره. وعلى ذلك باقى الكواكب، فلا حاجة إلى إعادة هذا الشرح. ولما احتجنا إلى بُعد الكوكب من الذروة، احتجنا تجمع حركة هذا التدوير وحركة مركز زحل: فيحصل من ذلك مثل حركة خاصة زحل، وهو بُعد الكوكب من الذروة. فقد أوضحت لك هذا المعنى، وفيه دقة فتأمله.

[٩] فإذا فرضنا مراكز الحامل والمدير والتدوير على الخطّ المستقيم المارّ بمركز العالم والأوج، كان مركز التدوير في بعده الأبعد من الأرض، وذلك سجد كه. فإذا تحرك المائل رُبع دائرة، وتحرك في ذلك الزمان | الحامل رُبع دائرة أيضًا، وتحرك المدير في ذلك | الزمان نصف دائرة، صار بعد مركز التدوير من مركز الحامل ستة أجزاء ونصف وثلاث.

[١٠] فإذا أخرجنا خطأً مستقيمًا من مركز العالم إلى مركز التدوير، وأخرجنا خطأً آخر من مركز

^{٥-٤} رُبع دائرة فيجب ... والحضيض: ناقص بسبب قفرة لثنثه الكلام [ج]، في الهامش مع إشارة [د]. ^٥ موضعه: وضعه [س]. ^٦ في: فوق السطر [أ]. ^٨ إلى التوالي ... مركزه: حركة بسيطة حول مركزه إلى التوالي (وكُتب "إلى التوالي" في الهامش إنصًا) [ج]. ^٩ فضل: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١٠} بليته: ناقص [أ، س]. ^{١١} الحقيقة: الحقيقية [س]. ^{١٣} وعلى: على [ج]. ^{١٤} ولما: ولما [أ]. ^{١٤} من: إلى (وكُتب "من" في الهامش) [د]. ^{١٤} تجمع: بجمع [ج]. ^{١٧} الحامل والمدير والتدوير: التدوير والمدير والحامل [ج]. ^{٢٠} ستة أجزاء ونصف وثلاث: ولكن كُتب من يد آخر في الهامش "هذا جيب نهاية تعديل الخاصة وهو ون وقوسه و لب وهو نهاية الخاصة" [ج]. ^{٢١} خطأً مستقيمًا: خطّ مستقيم [س، أ]. ^{٢١} خطأً: خطّ [س، أ].

٢ ب ٢٠ ظ. ٤ س ٣٥ ظ. ٥ أ ١٩ ظ. ٧ ه ٣٥ و. ٨ ج ٢١ ظ. ٨ س ٢٨ ظ. ٩ ق ١٩ و، ١٩ س ٣٦ و. ١٦ د ٣٤ ظ.

du monde au centre du déferent. L'angle entre ces deux droites est l'angle de la *première équation de Saturne*. L'*équation de l'astre propre* est de cette même grandeur.

[11] On explique ceci sur un exemple. Si l'orbe incliné se meut d'un demi-cercle, que le déferent se meut d'un demi-cercle aussi, et que le rotateur se meut, dans le même temps, d'un cercle entier, alors le centre de l'épicycle vient à distance minimale du centre du monde, c'est-à-dire 56;35, et la droite allant du centre du monde au centre de l'épicycle se confond avec celle allant du centre du monde au centre du déferent ; ainsi la première équation (qui est aussi bien équation du centre qu'équation de l'astre propre) s'évanouit.

[12] Comme on a trouvé que le Soleil rejoint Saturne au milieu de son mouvement direct et s'oppose à Saturne au milieu de sa rétrogradation, on a su que le mouvement de l'orbe de l'épicycle vaut l'excédent du mouvement de Soleil moyen sur Saturne moyen. Dès lors, nous avons su qu'en soustrayant Saturne moyen du Soleil moyen, reste le mouvement de Saturne propre. De même pour Jupiter et Mars.

[13] Ceci étant admis, sache que des anomalies, qu'on appelle *équations*, sont rendues nécessaires par ces orbes et ces mouvements. La première équation s'appelle *équation du centre et de l'astre propre*. C'est l'angle au centre du monde (le centre de l'orbe incliné) entre deux droites qui en sont issues, l'une passant par le centre du déferent, et l'autre par le centre de l'épicycle. Cet angle est égal à l'angle au centre de l'épicycle entre deux droites qui en sont issues, l'une passant par le centre du monde, et l'autre, parallèle à la droite joignant le centre du déferent au centre du monde. L'écart entre les extrémités de ces deux droites le long de l'épicycle, c'est l'écart entre l'apogée vrai et l'apogée apparent¹⁵³. Il est donc clair que l'équation de l'astre propre est égale à l'équation du centre à cause de l'égalité des deux angles. On le voit clairement sur l'exemple. Cette équation s'évanouit à l'auge et au périgée. Elle s'ajoute au centre et se retranche de l'astre propre quand le centre est supérieur à six signes ; elle se retranche du centre et s'ajoute à l'astre propre quand le centre est inférieur à six signes. Son maximum, pour Saturne, est de six parts, un tiers de part et un cinquième de part, atteint quand l'élongation entre le centre du déferent et l'auge est, dans un sens ou dans l'autre, trois signes et quatre degrés.

[14] La *deuxième équation* est causée par l'épicycle. C'est l'angle au centre du monde entre deux droites qui en sont issues : l'une passant par le centre de l'épicycle, et l'autre par l'astre. Son maximum est atteint quand celle-ci est tangente à l'épicycle. Elle s'évanouit à l'apogée et au périgée apparents de l'épicycle. Son maximum, pour Saturne, est six parts et treize

العالم إلى | مركز الحامل، كانت الزاوية التي بين هذين الخطّين هي زاوية تعديل زحل | الأوّل وبهذا المقدار يكون تعديل الخاصّة.

[١١] ويتّضح ذلك بالمثل. | فإذا تحرك المائل نصف دائرة، وتحرك الحامل نصف دائرة أيضًا، وتحرك المدير في ذلك الزمان دائرة تامّة، صار مركز التدوير في بُعد الأقرب من مركز العالم، وذلك نو له، وطابق | الخطّ الخارج من مركز العالم إلى مركز التدوير للخطّ الخارج منه إلى مركز الحامل؛ فانعدم التعديل الأوّل الذي هو تعديل المركز وتعديل الخاصّة.

[١٢] ولمّا وُجدت الشمس تُقارن زحل في وسط استقامته وتُقابله في وسط رجوعه، عُلم أنّ حركة فلك التدوير بقدر فضل حركة وسط الشمس على وسط زحل. فمن هنا علمنا أنّا إذا أسقطنا وسط زحل من وسط | الشمس | بقي حركة خاصّة زحل. وعلى ذلك المشتري والمريخ.

[١٣] ١٠. | وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنّه يلزم عن هذه الأفلاك وهذه الحركات اختلافات وتُسمّى التعاديل. فالتعديل الأوّل يُسمّى تعديل المركز | والخاصّة. وهو زاوية عند مركز العالم (الذي هو مركز المائل) بين خطّين يخرجان منه، فيمرّ أحدهما بمركز الحامل ويمرّ الآخر بمركز التدوير. وهذه الزاوية مساوية للزاوية التي عند مركز التدوير بين خطّين يخرجان منه، يمرّ أحدهما بمركز العالم، والآخر | موازٍ للخطّ الخارج من مركز العالم المارّ بمركز الحامل. وما بين طرفي هذين الخطّين من التدوير، هو ما بين الذروتين الحقيقيّة والمرئيّة. فتبين أنّ تعديل الخاصّة مساوٍ لتعديل المركز ١٥ لتساوي الزاويتين. وهو يظهر من المثل واضحًا. وينعدم هذا التعديل في الأوج والحضيض. وهو يُزاد على المركز وينقص من الخاصّة إذا كان المركز أكثر من ستّة بروج؛ وينقص من المركز | ويُزاد على الخاصّة إذا كان المركز أقلّ من ستّة بروج. ونهايته لرحل ستّة أجزاء وثُلث وخُمس، وذلك عند كون بُعد مركز الحامل من الأوج في الجهتين ثلاثة بروج وأربع درج.

[١٤] ٢٠. | والتعديل الثاني وهو الذي بسبب فلك التدوير. وهو زاوية عند مركز العالم بين خطّين يخرجان منه: يمرّ أحدهما | بمركز التدوير والآخر بالكوكب. ونهايته عند مماسّة الخطّ للتدوير. وينعدم في الذروة والحضيض من التدوير المرئيين. ونهايته | في زحل ستّة أجزاء وثلاث عشرة*.

^١ الزاوية: الراوية [ج]. ^{٧-٨} عُلم ... وسط الشمس: في الهامش [ج، د]. ^{١١} التعاديل: التعديل [د]. ^{١١} وهو: ناقص [س]. ^{١٤} موازٍ: موازٍ [د، ج]. ^{١٥} الذروتين الحقيقيّة: الزاويتين الحقيقيّة [د، ج]. ^{١٨} ستّة: فوق السطر [س]. ^{١٨} بروج: البروج [س]. ^{٢٠} والتعديل: وأمّا التعديل [ج]. ^{٢١} عند: ناقص [أ].

^١ ه ٣٥ ظ. ^١ ت ١٤ ظ. ^٣ س ٣٩ و. ^٥ ب ٢١ و. ^٩ ج ٢٢ و. ^٩ أ ٢٠ و. ^{١١} ك ٣٦ ظ. ^{١٤} ه ٣٥ و. ^{١٧} س ٣٩ ظ. ^{٢١} س ٤٠ و. ^{٢٢} ق ١٩ ظ.

* كُتب في الهامش [ج]: "هذا جيب تعديل نهاية زحل الثاني."

minutes. On l'ajoute à Saturne moyen quand l'astre propre corrigé est inférieur à six signes, et on la retranche de Saturne moyen quand l'astre propre corrigé est supérieur à cela.

[15] La *troisième équation* est la variation de la deuxième ¹⁵⁴. En effet, la deuxième équation varie selon la plus ou moins grande distance entre le centre de l'épicycle et le centre du Monde. On ajoute ou on retranche cette troisième équation, selon qu'on ajoute ou qu'on retranche la deuxième.

[16] Le *coefficient d'interpolation*, c'est un nombre dont le rapport à soixante est comme le rapport entre ce qu'il faut de la troisième anomalie et la totalité de cette anomalie. On clarifiera cela lors du calcul des équations.

[Figure 5.]

[17] Ceci étant admis, sache que l'*auge de l'astre* est un arc de l'orbe incliné entre deux droites issues de son centre : l'une passant par l'équinoxe de printemps ¹⁵⁵, et l'autre passant par le centre du déférent, le centre du rotateur et le centre de l'épicycle quand le centre de l'épicycle est à distance maximale du centre de l'orbe incliné. En effet ces trois centres sont alignés à l'auge et au périégée ; et j'appelle auge la distance maximale.

[18] Le *centre de l'astre* est un arc de l'orbe incliné entre deux droites issues de son centre : l'une passant par l'auge et l'autre par le centre du déférent.

[19] L'*astre moyen* est la somme de l'auge et du centre. C'est un arc de l'orbe incliné compris entre deux droites issues de son centre : l'une passant par le commencement du Bélier et l'autre par le centre du déférent.

[20] L'*[astre] propre* est un arc de l'orbe de l'épicycle entre l'astre et l'apogée vrai, dans le sens des signes.

[21] L'*[astre propre] corrigé* est un arc de cet orbe entre l'astre et l'apogée apparent, dans le sens des signes.

[22] L'*apogée apparent* de cet orbe, c'est le point où le coupe la droite passant par le centre de l'épicycle et le centre de l'orbe incliné, dans la partie supérieure de l'épicycle (l'autre point est le périégée apparent).

[23] Menons une droite issue du centre du monde (centre de l'écliptique et centre de l'orbe incliné) et passant par l'astre, jusqu'à l'orbe de l'écliptique. Prenons un des cercles de latitude qui passe par l'extrémité de cette droite.

دقيقة. ويُزاد على الوسط إذا كانت | الخاصّة المعدّلة أقلّ من ستّة بروج، ويُنقص منه إذا كانت أكثره.

[١٥] والتعديل الثالث هو اختلاف الثاني. فإنّ الثاني يختلف بحسب قُرب مركز التدوير من مركز العالم ويُعده منه. وهو لازم للثاني في الزيادة والنقصان.

[١٦] ودقائق النسب هو عدد نسبته إلى ستين كنسبة | ما يلزم من الاختلاف الثالث إلى جملة ذلك الاختلاف. ويتّضح ذلك | في حساب هذه التعاديل.

[صورة ٥.٥]

[١٧] | وإذ تقدّم ذلك، فاعلم أنّ أوج الكوكب قوس من دائرة الفلك المائل بين خطّين يخرجان من مركزه: يمرّ أحدهما بالاعتدال الربيعي، ويمرّ الآخر بمركز الحامل ومركز المدير ومركز التدوير إذا كان | مركز التدوير في البُعد الأبعد من مركز المائل. فإنّ هذه المراكز الثلاثة تجتمع على خطّ واحد في الأوج والحضيض؛ | وأنا أسمى الأوج البُعد الأبعد.

[١٨] ومركز | الكوكب قوس من المائل بين خطّين يخرجان من مركزه فيمرّ: أحدهما بالأوج والآخر بمركز الحامل.

[١٩] ووسط الكوكب هو مجموع الأوج والمركز وهو قوس من المائل بين خطّين يخرجان من مركزه: فيمرّ أحدهما بأول الحمل، ويمرّ الآخر بمركز | الحامل.

[٢٠] وخاصّة الكوكب قوس من فلك التدوير بين الكوكب والذروة الحقيقيّة على التوالي.

[٢١] والمعدّلة قوس منه بين الكوكب والذروة المرئيّة على التوالي.

[٢٢] والذروة المرئيّة منه، | هي النقطة التي يفصلها الخطّ المارّ بمركز التدوير ومركز المائل | من أعلى التدوير (ويُحاذيها الحضيض المرئي).

[٢٣] وإذا أخرجنا من مركز العالم (الذي هو مركز فلك البروج ومركز المائل) خطّ | مستقيم يمرّ بالكوكب وينتهي إلى فلك البروج. وفرضنا دائرة من دوائر العروض مارةً بطرف هذا الخطّ،

^١ ستّة: ست [ج، س، د، أ] (لن نشير إلى مثلها مرّة أخرى). ^٢ أكثره: أكثر [ج، د، س]. ^٣ الثاني: ثاني [ج].
^٤ ودقائق: وأما دقائق [ج]. ^٥ هو: فهو [ج]. ^٦ التعاديل: التعديل والله تعالى أعلم [ج]. ^٨ أوج الكوكب: الأوج [ج]،
أوج الكوكب هو [س]. ^٨ دائرة الفلك: ناقص [أ، د، س]. ^{١٠} البُعد: فوق السطر [س]. ^{١٢-١٥} بالأوج... فيمرّ أحدهما:
في الهامش مع إشارة (وكان هذا ناقصاً أولاً بسبب لتشبهه الكلام) [ج]. ^{١٦} وخاصّة الكوكب: الخاصّة [ج]. ^{٢٠} فلك:
فوق السطر [أ]. ^{٢٠} ومركز: ومن مركز [أ، د، ج].

^١ ج ٣٧. ^٥ ٣٦ ظ. ^٦ ب ٢١ ظ. ^٨ ج ٢٢ ظ. ^{١٠} ج ٢٣. ^{١٠} ق ٢٠. ^{١١} د ٣٥. ^{١٢} أ ٢٠ ظ. ^{١٥} ت ١٥. ^{١٨} س ٤٠ ظ. ^{١٩} ج ٣٧ ظ. ^{٢٠} أ ٢١ و، د ٣٥ ظ، ه ٣٧ و، ب ٢٢ و.

Il coupe l'orbe de l'écliptique en un point qui est l'*astre vrai*¹⁵⁶ ; c'est-à-dire que l'élongation entre ce point et le commencement du Bélier est l'astre vrai.

[24] L'élongation entre ce point et l'astre, sur ce cercle, est la *latitude de l'astre*. Nous avons mis la question des latitudes des astres dans un chapitre séparé pour en faciliter la compréhension.

[25] Ceci étant admis, sache qu'une première manière, c'est d'appliquer les démonstrations géométriques aux trajectoires des centres des sphères solides appartenant à Saturne.

[26] Quant aux sphères, on les représente comme suit. Nous imaginons un orbe circonscrit à l'ensemble des orbes de Saturne, dans le plan du zodiaque et sur les pôles du zodiaque. C'est l'orbe parécliptique. Sa surface extérieure touche la surface intérieure du huitième orbe, et sa surface intérieure touche la surface extérieure de l'orbe incliné de Saturne.

[27] La surface intérieure de l'orbe incliné de Saturne touche la surface extérieure de l'orbe parécliptique de Jupiter, et l'épaisseur de l'orbe incliné est vingt-six degrés et trente minutes¹⁵⁷. Son plan est incliné par rapport au plan de l'orbe du zodiaque, de deux parts et demi.

[28] Ensuite, nous imaginons un globe entièrement sphérique, de rayon treize degrés et un tiers de degré, appelé le déférent.

[29] Nous imaginons une deuxième sphère, de rayon huit parts, douze minutes et demi, plongée dans l'orbe déférent et le touchant en un point. Elle s'appelle orbe rotateur.

[30] Nous imaginons une troisième sphère, de rayon six parts et demi, plongée dans l'orbe rotateur et le touchant en un point opposé au point où le rotateur touche le déférent. Elle s'appelle orbe de l'épicycle.

[31] L'astre lui-même est plongé dans l'épicycle. Il le touche en un point opposé au point où il touche le rotateur – quand il est à l'auge.

[32] Nous supposons que le déférent est plongé à l'intérieur de l'orbe incliné et le touche au point de l'auge, puis que chaque orbe se meut et que la grandeur et le sens de son mouvement sont comme nous les avons supposés. Alors le parécliptique se meut autour des pôles du zodiaque dans le sens des signes, et son mouvement est comme le mouvement des auges. L'orbe incliné se meut dans le sens des signes, d'un mouvement simple autour de son centre, de la grandeur du mouvement du centre de Saturne, c'est-à-dire, par jour, 0;2,0,26,17. L'orbe déférent se meut dans le sens contraire aux signes dans sa partie supérieure ; son mouvement est de la grandeur du mouvement du centre de Saturne. Le rotateur, dans sa partie supérieure, se meut dans le sens des signes, d'une grandeur double de celle du mouvement du centre de Saturne. Enfin, l'orbe de l'épicycle

- قطعت فلك البروج على مقوم ذلك الكوكب؛ ويُعد هذا التقاطع من أوّل الحمل هو مقوم الكوكب. [٢٤] ويُعد هذا التقاطع أيضًا من الكوكب من هذه الدائرة هو عرض الكوكب. وقد أوردنا عروض الكواكب في باب مفرد ليسهل تصوّرها.
- [٢٥] | وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنّ الوضع الأوّل فهو مدارات مراكز الأكر المجسّمة لرحل لأجل | البراهين الهندسيّة.
- [٢٦] | وأمّا | تصوّراتها على أنّها كرات، فعلى هذه الصورة؛ يُتوهّم فلك محيط بجملة أفلاك زحل، | في سطح فلك البروج وعلى قطبيه، | وهو الممثل. ومحدّبه مماسّ لمقرّ الفلك الثامن، ومقرّ هذا الفلك مماسّ لمحدّب فلك زحل المائل.
- [٢٧] ومقرّ فلك زحل المائل مماسّ لمحدّب فلك ممثّل المشتري، وسَمك الفلك المائل ستّ وعشرون درجةً وثلاثون دقيقةً. وسطحه مائل عن سطح فلك البروج جزأين ونصف.
- [٢٨] وتُتوهّم كرة صحيحة الاستدارة نصف قطرها ثلاث عشرة درجة وتُسمى كرة الحامل.
- [٢٩] وتُتوهّم كرة ثانية، نصف قطرها ثمانية أجزاء واثنتا عشرة دقيقة ونصف دقيقة، غائصة في الفلك الحامل تماسّه على نقطة. وتُسمى فلك المدير.
- [٣٠] وتُتوهّم كرة ثالثة، نصف قطرها ستّة أجزاء ونصف، وهي غائصة في الفلك | المدير مماسّة له على نقطة قبالة النقطة التي يماسّ عليها المدير للحامل. ويُسمى فلك التدوير.
- [٣١] والكوكب مركز | غائص في التدوير يماسّه على النقطة التي تقابل المماسّة منه للمدير - حين يكون في الأوج.
- [٣٢] ويُفرض الحامل غائص في ثخن الفلك المائل يماسّه على نقطة الأوج، ويتحرّك | كلّ فلك بمقدار ما فرضنا له من الحركة والجهة. فيتحرّك الممثل على قطبي البروج إلى التوالي، مثل حركة الأوجات. ويتحرّك المائل | إلى التوالي، حركةً بسيطةً حول مركزه، بمقدار حركة مركز زحل، وهي في اليوم | ب . ب . كو بر. ويتحرّك الفلك الحامل إلى خلاف التوالي في أعلاه بقدر حركة مركز زحل. ويتحرّك المدير في أعلاه إلى التوالي قدر ضعف حركة المركز لرحل. ويتحرّك فلك
- ^١ قطعت: قطع [أ، د، ج]. ^١ فلك: ذلك [ج]. ^١ هو: وهو [ج]. ^٢ وقد: و [س]. ^٤ وإذ تقدم ذلك: ناقص [ج]. ^٤ فهو: هو [س]. ^٦ فعلى: فهي على [س]. ^٦ الصورة: الصور [ج، د]. ^٦ بجملة: تحمله [ج]. ^٩ فلك: ناقص [س]. ^٩ الفلك: ناقص [د، ج]. ^{١٣-١٤} واثنتا عشرة ... تماسّه: في الهامش مع إشارة [ج، د]. ^{١٤} المدير: التدوير [أ، د، ج، س]. ^{١٦} المدير: تحت السطر [ج]. ^{١٨} حين: حتّى [د، ج].
- ^٤ گ ٣٨. ^٥ ب ٢٢ ظ. ^٦ ه ٣٧ ظ. ^٧ گ ٣٨ ظ. ^٧ ت ١٥ ظ. ^{١٥} س ٤١ و. ^{١٧} ج ٢٣ ظ. ^{١٩} ق ٢٠ و. ^{٢١} ه ٣٨ و. ^{٢٢} گ ٣٩ و.

se meut d'un mouvement simple autour de son centre, dans le sens des signes dans sa partie supérieure ; son mouvement est l'excédent du mouvement de Saturne propre sur le mouvement de son centre – c'est le mouvement simple-composé qu'on a déjà expliqué. Ainsi varient les positions des orbes, et semblent aussi varier leurs mouvements qui sont composés de mouvements simples.

[33] À l'auge, l'astre est à distance maximale s'il est à l'apogée de l'épicycle. De même, il est à distance minimale s'il est au périégée de l'épicycle quand l'épicycle est au périégée du déférent. Entre auge et périégée, il est à distance intermédiaire.

[34] Sache que l'astre Saturne n'atteint ni le point de ses orbes le plus éloigné du centre du monde, ni le point le plus proche. La distance maximale de Saturne est, en parts, soixante-neuf, deux tiers et un quart ; sa distance minimale est, en parts, cinquante et un demi-sixième ; mais pour que les orbes se distinguent jusqu'à devenir des sphères circonscrites les unes aux autres, la distance maximale au sein de l'orbe incliné de Saturne doit être (rayon de l'orbe incliné plus rayon de l'orbe déférent), en parts, soixante-treize et un tiers. En sus, il y a l'épaisseur du globe du parécliptique ; qu'on la prenne égale à deux tiers de part, le total est soixante-quatorze parts. La distance minimale est à la surface intérieure de l'orbe incliné de Saturne, en parts, quarante-six et deux tiers ; en plus de la réunion des orbes, il faut aussi compter le rayon de l'astre donc cela fait quarante-six parts.

[35] Sache cela, et fais de manière analogue pour les autres astres. Parmi les représentations possibles, c'est celle qui est vraie et sauve de doute ; ce sont des sphères parfaites, et chacun de leurs mouvements est un mouvement simple, uniforme autour du centre de l'orbe qui se meut, un mouvement qui décrit des portions égales en des temps égaux. Gloire à Dieu qui nous a donné ceci et nous l'a appris.

[Figure 6.]

Chapitre treize

Les mouvements de Saturne et leurs conditions initiales à l'Époque

[1] Nous avons observé que Saturne moyen, à midi du premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazdgard, est 5 signes et 7;58,20 degrés, et son auge 8 signes et 14;52 degrés¹⁵⁸. Le mouvement de Saturne moyen en vingt années persanes

التدوير حركةً بسيطةً حول مركزه في أعلاه إلى التوالي، بمقدار فضل حركة خاصّة زحل على حركة مركزه - وهي الحركة البسيطة المركّبة المقدّم شرحها. فتختلف أوضاع الأفلاك، فيرى له حركة مختلفة | مركّبة من حركات بسيطة.

[٣٣] ويكون الكوكب في أبعد بُعد من الأوج إذا كان في ذروة التدوير. ويكون في أقرب قُربه إذا كان في الحضيض من التدوير والتدوير في الحضيض من الحامل. ويكون في بُعد الأوسط فيما بين الأوج والحضيض.

[٣٤] | واعلم أنّ كوكب زحل لا ينتهي إلى أبعد بُعد أفلاكه ولا إلى أقرب قُربها. فإنّ أبعد بُعد زحل تسعة وستون جزءًا وثُلثي جزء ورُبُع جزء؛ وأقرب قُربه خمسون جزءًا ونصف سُدس جزء؛ لكن | لأجل تماز الأفلاك حتّى تصير كرات يحيط بعضها ببعض، يكون أبعد بُعد مائل زحل بقدر نصف قطر المائل ونصف قطر الحامل، | وذلك | ثلاثة وسبعون جزءًا وثُلث جزء. يكون فوق ذلك سمك كرة الممثل؛ ويُفرض ثُلثي جزء، يبلغ أربعة وسبعين جزءًا. ويكون أقرب | قُرب مقعّر مائل زحل ستّة وأربعين جزءًا وثُلثي جزء؛ | ويحتاج إلى نصف قطر الكوكب مع أخلاط الفلك فيكون ستّة وأربعين جزءًا.

[٣٥] فاعرف ذلك، وقس عليه غيره من الكواكب. وهذا من التوهّمات الصحيحة السالمة من الشكوك؛ فإنّها كرات صحيحة، وحركاتها بسيطة كلّ منها مستوية عند مركز ذلك الفلك المتحرّك تقطع في الأزمان المتساوية قسى متساوية. فالحمد لله | الذي هدانا لهذا وعلمناه.

[صورة ٠.٦]

الباب الثالث عشر

في ضبط حركات زحل وتقييدها | للتأريخ المتقدّم

[١] حرّزنا بالرصد أنّ وسط زحل، لنصف نهار يوم* الثلاثاء أوّل سنة إحدى وسبع مائة ليزدجرد، ه ر نح ك، وأوجه في ذلك الوقت | ح ند نب. وحركة الوسط في عشرين سنة فارسيّة

^٢ شرحها: ذكرها [ج]. ^٥ ويكون في: فيكون [د، ج]. ^٩ تماز: تماز [ج، د]. ^{١٠} يكون: ويكون [س]. ^{٢١} ح ند نب: ح ند ب [أ، س].

^٣ أ ٢١ ظ. ^٧ ب ٢٣ و، ق ٢١ و، س ٤١ ظ. ^٩ أ ٢٢ و. ^{١٠} ه ٣٨ ظ. ^{١١} س ٤٢ و. ^{١٢} د ٣٦ و. ^{١٦} ج ٢٤ و. ^{١٨} ك ٤٠ و، ت ١٦ و. ^{١٩} ه ٣٩ و، ب ٢٣ ظ. ^{٢١} ج ٢٤ ظ.

* كُتب في الهامش [س]: "وهو الرابع والعشرين من ربيع الأوّل سنة ٧٣٢.".

est 8 signes et 4;33,20 degrés ; son mouvement en une année persane est 12;13,40 degrés, en trente jour 1;0,18,4,55,53,26 degrés, en un jour 0;2,0,36,9,51,46,50,57,32, et en une heure 0;0,5,1,30,25.

[2] Le mouvement de l'astre propre de chaque astre¹⁵⁹ est l'excédent du mouvement du Soleil moyen sur le mouvement de l'astre moyen, et le mouvement de son centre est l'excédent du mouvement de l'astre moyen sur le mouvement des auges, dont la grandeur est d'un degré en soixante ans ; donc le mouvement de l'astre propre [de Saturne] est, par jour, 0;57,7,43,34,21,15, et le mouvement de son centre est, par jour, 0;2,0,26,17 (en degré). Dieu est le plus savant.

Chapitre quatorze

Détermination de Saturne vrai

[1] Calcule Saturne moyen, son auge, et le Soleil moyen à la date souhaitée, puis retranche Saturne moyen du Soleil moyen, il reste Saturne propre, puis retranche l'auge de Saturne moyen, il reste son centre, puis consulte l'entrée de la table des équations de Saturne correspondant au centre de Saturne, et prends-y la première équation. Si le centre de Saturne est inférieur à six signes, retranche l'équation de Saturne moyen et du centre, et ajoute-la à l'astre propre ; mais si le centre est supérieur à six signes, alors ajoute l'équation à l'astre moyen et au centre et retranche-la de l'astre propre. On obtient l'astre moyen corrigé, le centre corrigé, et l'astre propre corrigé.

[2] Puis consulte l'entrée correspondant au centre corrigé dans la table des équations de Saturne, prends-y le coefficient d'interpolation, regarde s'il est additif ou soustractif, et mets-le de côté. Puis consulte l'entrée correspondant à l'astre propre corrigé dans la table des équations de Saturne, et prends-y la troisième et la quatrième équation si le coefficient d'interpolation est additif – sinon prends-y la deuxième et la troisième. Puis multiplie la deuxième ou la quatrième par le coefficient d'interpolation, et ajoute le résultat à la troisième équation si le coefficient d'interpolation est additif – sinon retranche-le de la troisième équation. On obtient ainsi la troisième [équation] *ajustée* ; ajoute-la à l'astre moyen corrigé si le mouvement propre corrigé est supérieur à six signes, mais s'il est

ح د ل ج ك؛ وحركته في سنة فارسيّة . ب نج م، | وفي ثلاثين يومًا . ١٠ . ح د نه نج كو،
 وحركة وسطه في يوم . . ب . لو ط نا مون نر لب، وفي ساعة ه ا ل كه.
 [٢] وحركة خاصّة كلّ كوكب هي فضل حركة وسط | الشمس على حركة وسط ذلك
 الكوكب، وحركة مركزه هي فضل حركة وسطه على حركات الأوجات (ومقدارها في كلّ ستين سنة
 درجة)؛ | فتكون حركة خاصّة في يوم . نر ز مج لد كا نه، وحركة مركزه في يوم . ب . كو نر.
 والله أعلم.

الباب الرابع عشر

في معرفة تقويم زحل

[١] احسب وسطه وأوجه ووسط الشمس للتأريخ الذي تريد، ثمّ اسقط وسطه من وسط
 الشمس، تبقى خاصّته، ثمّ اسقط الأوج من وسطه، يبقى مركزه. ثمّ ادخل بمركز زحل إلى جدول
 تعاديل زحل، وخذ به التعديل الأوّل. فإن كان مركز زحل أقلّ من ستّة بروج، فنقص التعديل من
 الوسط والمركز، وزده | على الخاصّة، وإن كان المركز أكثر من ستّة بروج فرد التعديل على الوسط
 والمركز ونقصه من الخاصّة ويبقى الوسط المعدّل والمركز المعدّل والخاصّة المعدّلة.

[٢] ثمّ ادخل | بالمركز المعدّل في جدول تعاديل زحل، وخذ به دقائق النسب، واعرف أ
 هي زائدة أو ناقصة، واحفظها. | ثمّ ادخل بالخاصّة المعدّلة | إلى جدول تعديل زحل، | وخذ
 بها التعديل الثالث والرابع إن كانت دقائق النسب زائدة - وإن كانت ناقصة فخذ الثاني والثالث.
 ثمّ اضرب الثاني أو الرابع في دقائق النسب، فما حصل زده على التعديل الثالث إن كانت دقائق
 النسب زائدة - وانقصه من الثالث إن كانت دقائق النسب ناقصة. يبقى الثالث المُحكّم؛ فزده
 على الوسط المعدّل إن كانت الخاصّة المعدّلة أكثر من ستّة بروج، وإن كانت الخاصّة المعدّلة

١ ح د ل ج ك: كُتب في الهامش بح ل ج نج ل ح ك عوض ك [ج]. ١ . ب نج م: كُتب في الهامش ل ط نه نوم ...
 عوض م [ج]. ٢ . ب . لو ط نا مون نر لب: . . ب . لو ط نا مو [ج]، . . ب . لو ط نا مون نر لب [س].
 ٣ وسط: ناقص [د، ج]. ° في: ناقص [أ، د]. ٦ والله أعلم: ناقص [س]. ٩ الذي تريد: المطلوب [ج]. ١١ الأوج:
 أوجه [ج]. ١٢-١٣ وإن كان ... من الخاصّة: ناقص [أ، ج]، في الهامش مع إشارة [د، س] (وكُتب أيضًا في هامش س
 "ناقص ههنا"). ١٢ التعديل: التعديل الأوّل [س]. ١٣ والمركز ونقصه: وانقصه [س]. ١٣ ويبقى ... والخاصّة المعدّلة:
 ناقص [أ]، في الهامش مع إشارة [ج، د، س] (وكُتب في هامش س "يحصل الوسط والخاصّة والمركز المعدّلين"). ١٥ أو:
 أم [ج]. ١٦-١٧ وإن كانت ... مقومّ زحل: يحصل مقومّ الكوكب [أ، د، س]، وإن كانت الخاصّة أقلّ من ستّ بروج
 فنقصه [هامش د]، وإلا فانقص التقديل المحكّم من الوسط المعدّل يحصل [هامش س مع إشارة إلى الموضع قبل "يحصل"
 (وكُتب أيضًا في س "ناقص ههنا أيضًا").

١ گ . ٤ ظ . ٣ د ٣٦ ظ . ٥ س ٤٢ ظ . ١٢ ت ١٦ ظ . ١٤ ه ٣٩ ظ . ١٥ گ ٤١ و . ١٥ ٢٢ ظ . ١٥ ق ٢١ ظ .

inférieur à six signes alors retranche-la de l'astre moyen. On obtient l'astre vrai par rapport à l'écliptique à la date pour laquelle tu as fait ce calcul. Sache cela ¹⁶⁰.

Chapitre quinze

Configuration nouvelle des orbes de Jupiter

[1] La configuration des orbes de Jupiter est comme celle des orbes de Saturne (vue précédemment) sauf en ce qui concerne les grandeurs des orbes et des mouvements.

[2] Parmi les orbes de Jupiter, on imagine un orbe dans le plan de l'écliptique, sur ses pôles et en son centre : on l'appelle *parécliptique*. On imagine un deuxième orbe, incliné par rapport au parécliptique, d'inclinaison constante égale à une part et demi. Il coupe le parécliptique en deux points opposés dont l'un s'appelle la *tête*, l'autre la *queue*. On imagine un troisième orbe dont le centre est sur le bord de l'orbe incliné et dont le rayon est quatre parts et un huitième (en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante) ; on l'appelle *déférent*. On imagine un quatrième orbe dont le centre est sur le bord du déférent et dont le rayon est une part, vingt-deux minutes et demi. On l'appelle *rotateur*. On imagine un cinquième orbe dont le centre est sur le bord du rotateur et dont le rayon est onze parts et demi (en les mêmes parts). On l'appelle *orbe de l'épicycle*. On imagine le centre du corps de Jupiter, situé sur la ceinture de l'épicycle.

[3] Supposons à présent que les centres des orbes déférent, rotateur, de l'épicycle et de l'astre soient tous alignés sur la droite issue du centre du parécliptique dans la direction de l'auge. Supposons que le parécliptique est mû d'un mouvement simple sur ses pôles, dans le sens des signes, comme le mouvement des auges : en un jour et une nuit, 0;0,0,9,52. La tête et la queue sont entraînées par ce mouvement, ainsi que les deux parties d'inclinaison maximale. L'orbe incliné se meut d'un mouvement simple autour de son centre (qui est aussi le centre du parécliptique), dans le sens des signes, comme le mouvement du centre de Jupiter, c'est-à-dire l'excédent de Jupiter moyen sur le mouvement de l'auge : en un jour et une nuit, 0;4,59,6,14,35. Le déférent se meut en sens inverses des signes dans sa partie supérieure, d'autant que le mouvement du centre de Jupiter aussi : en un jour et une nuit, 0;4,59,6,14,35. Le rotateur se meut, dans sa partie supérieure, dans le sens des signes, d'autant que le double du mouvement du centre

أقل من ستة بروج فنقصه من الوسط المعدل فما بلغ أو بقي فهو مقوم زحل من فلك البروج في التاريخ الذي حسبته له. فاعرف ذلك*.

الباب الخامس عشر

في هيئة أفلاك المشتري المبتكرة

٥ [١] | هيئة أفلاك المشتري على وضع هيئة أفلاك زحل المتقدمة، سوى وإنما تخالفها في مقادير الأفلاك والحركات.

١٠ [٢] | يُتوهم من أفلاك المشتري فلك في سطح فلك البروج وعلى قطبيه ومركزه، ويُسمى الممثل، ويُتوهم فلك ثانٍ، سطحه مائل عن سطح الممثل | ميل ثابت، ومقدار هذا الميل جزء ونصف، ويقاطع | الممثل على نقطتين متقابلتين تُسمى إحداهما الرأس والأخرى الذنب، ويُتوهم فلك ثالث | مركزه على محيط المائل ونصف قطره أربعة أجزاء وثمان جزءٍ (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءًا)، ويُسمى الحامل، ويُتوهم فلك رابع مركزه على محيط الحامل ونصف قطره جزءًا واثنين | وعشرين دقيقة ونصف دقيقة، ويُسمى المدير، ويُتوهم فلك خامس مركزه على محيط المدير ونصف قطره أحد عشر جزءًا ونصف جزء (بتلك الأجزاء)، ويُسمى فلك التدوير، ويُتوهم مركز جرم المشتري مركز على منطقة التدوير.

١٥ [٣] | وتُفرض مراكز الحامل والمدير والتدوير والكوكب على الخط المستقيم الخارج من مركز الممثل إلى الأوج. ويُفرض الممثل متحركًا حركةً بسيطةً على قطبيه، إلى التوالي، مثل حركة الأوجات: وهي في اليوم بليته . . . ط نب. وينتقل بهذه الحركة الرأس والذنب وغايتا الميل. ويتحرك الفلك المائل حركةً بسيطةً حول مركزه (الذي هو مركز الممثل)، إلى التوالي، | مثل حركة مركز المشتري، وهو فضل وسطه على حركة الأوج: وهو في اليوم . د نط و بد له ويتحرك الحامل، إلى خلاف التوالي في أعلاه، بقدر حركة مركز المشتري أيضًا التي هي في اليوم ٢٠ بليته . د نط و بد له. | ويتحرك | المدير، في أعلاه إلى التوالي، قدر ضعف | حركة مركز

٥ هيئة: اعلم أن هيئة [ج]. ٥ وضع هيئة: هيئة وضع [ج]. ٥ تخالفها في: يخالفها من [د، ج]. ٩ الممثل: الميل [س]. ١١ المائل: الممثل [ج]. ١٢ ونصف دقيقة: ناقص [ج]. ١٤ ويُتوهم: ويفرض [ج]. ١٩ اليوم: اليوم بليته [ج]. ٢٠ بقدر: وبقدر [س]. ٢١ قدر: بقدر [ج]. ٢١-٢٣ حركة مركز ... ويتحرك فلك: في الهامش مع إشارة [ج، د] (ويُزاد "حركةً بسيطةً" في نسخة ج).

٥ س ٤٣ و. ٨ ج ٢٥ و. ٩ ب ٢٤ و. ١٠ ك ٤١ ظ. ١٢ هـ ٤٠ و. ١٨ س ٤٣ ظ. ٢١ أ ٢٣ و. ٢١ ك ٤٢ و. ٢١ س ٤٤ و. * كُتب في الهامش [ج]: "هذه الأعمال المذكورة ههنا على الطريق الجمهور فإنهم استعملوا النسب الزائدة والناقصة واختلافه أبعد وأقرب والاختلاف يزداد تارةً وينقص أخرى وأما المصنّف فإنه استعمل ذلك في زيجه على خلاف ما ذكره ههنا. كتب تقي."

de Jupiter : en un jour et une nuit, 0;9,58,12,29,10. L'orbe de l'épicycle se meut autour de son centre, dans sa partie supérieure, dans le sens des signes, de la grandeur de l'excédent du mouvement de Jupiter propre sur le mouvement de son centre : en un jour et une nuit, 0;49,9,57,22,24,10. C'est le mouvement simple-composé, donc l'astre s'éloigne de l'apogée moyen, chaque jour, d'autant que le mouvement de Jupiter propre qui est 0;54,9,3,36,59,10 (comme nous l'avons expliqué à propos des orbes de Saturne).

[Figure 7.]

[4] Si les orbes continuent à se mouvoir des mêmes mouvements, il s'avère que l'astre aura un mouvement irrégulier composé de mouvements simples. Les tenants et les aboutissants sont comme nous l'avons expliqué dans les orbes de Saturne.

[5] Nous représentons la configuration des orbes de Jupiter réduites aux cercles [des trajectoires des centres des orbes] selon ce qu'on projette sur la figure comme nous l'avons représenté avec les orbes de Saturne ; puis nous les représentons en tant que sphères solides comme on l'imagine dans les cieux, et nous mentionnons leurs grandeurs et leurs distances.

[6] Sache que la droite issue du centre du monde dirigée vers le centre du déférent passe par l'astre moyen. Celle issue du centre du monde et passant par le centre de l'épicycle passe, dans l'écliptique, par le centre corrigé de l'astre, et elle délimite, dans l'épicycle, l'astre propre corrigé¹⁶¹. La droite issue du centre du monde et passant par l'astre passe, dans l'écliptique, par l'astre vrai. [Tout ceci], si l'astre est sans latitude ; s'il a une latitude, alors les cercles passant par les pôles de l'écliptique et par les extrémités des droites mentionnées coupent l'écliptique en l'astre moyen, le centre, et l'astre vrai, comme on l'a décidé.

[Figure 8.]

[7] Ceci dit, sache que la distance maximale de l'astre de Jupiter au centre du monde est soixante-quatorze parts et un quart, et que sa distance minimale est quarante-cinq parts, une demi-part et un quart ; la distance maximale du centre de l'épicycle au centre du monde est 62;45, et sa distance minimale est 57;15 ; sauf que Jupiter n'atteint pas la distance maximale de ses orbes solides, ni leur distance minimale.

المشتري: وهو في اليوم بليته . ط نح ب كط ي. ويتحرك فلك التدوير حول مركزه، في أعلاه إلى التوالي، بمقدار فضل حركة خاصة المشتري على حركة مركزه: | ومقداره في اليوم بليته . مط ط نر كب كد ي. وهي الحركة البسيطة المركبة، فيفارق الكوكب الذروة الوسطى كل يوم بقدر حركة خاصة المشتري الذي هي | . ند ط ج لو نط ي، على ما شرحنا في أفلاك زحل.

[صورة ٠.٧]

[٤] فإذا استمرت الأفلاك تتحرك بهذه الحركات | إلى تلك الجهات، تُؤكّد للكوكب حركة مختلفة | مركبة من بسائط. | وأما الاصطلاحات والنتائج فعلى ما أوضحنا في هيئة أفلاك زحل بعينه.

[٥] ونصوّر هيئة أفلاك المشتري | مقتصرين على الدوائر على حسب ما يقع على البسيط على ما صوّرنا بأفلاك زحل؛ ثمّ نصوّرها على أنّها أكر مجسّمة على ما توهمه في الفلك. ونذكر مقاديرها وأبعادها.

[٦] | واعلم أنّ الخطّ الخارج من مركز العالم إلى مركز الحامل يمرّ بوسط الكوكب. والخارج منه المارّ بمركز التدوير يمرّ من البروج بمركز الكوكب المعدّل، ويفصل من التدوير | خاصة الكوكب المعدّلة. والخطّ الخارج من مركز العالم المارّ بالكوكب | يمرّ من فلك البروج بمقوم الكوكب إن لم يكن | للكوكب عرض؛ فإن كان له عرض فالدوائر التي تمرّ بقطبي البروج | وأطراف الخطوط المذكورة تفصل من البروج الوسط والمركز والمقوم، على ما تقرّر.

[صورة ٠.٨]

[٧] | وإذ | تقدم ذلك، فاعلم أنّ أبعد بُعد كوكب المشتري عن مركز العالم أربعة وسبعين جزءاً وربّع جزء، وأقرب قُربه خمسة وأربعون جزءاً ونصف | وربّع جزء؛ وأبعد بُعد مركز التدوير من مركز العالم | سب مه، وأقرب قُربه نر به؛ إلا أنّ المشتري لا يصل إلى أبعد بُعد أفلاكه المجسّمة، ولا | إلى أقرب | قُربها.

٣ نر: تر [س]. ٣ الذروة: الدورة [س]. ٤ الذي: التي [د، ج]. ٤ لو نط: بو نط [س]. ٦ تُؤكّد: تولد [د، ج]. ٨ بعينه: زائد [س]. ٩ ونصوّر: تصوّر [س]. ٩ على البسيط: في الهامش مع إشارة [ج]. ١٠ ما صوّرنا بأفلاك: ما صوّرنا بالأفلاك [أ]، صوّرنا أفلاك [د، ج]، ما صوّرنا أفلاك [س]. ١٣ يمرّ من ... المعدّل: يمرّ من البروج المعدّل [د]، يمرّ بمركز البروج [ج]. ١٦ المذكورة: المركوزة [أ، د، ج، س]. ١٨ تقدم: تقرّر [ج]. ٢٠ سب مه: س مه [ج]، ٦٢ مه [د]، شمه [هامش ج]، س مه [هامش د]. ٢١ إلى: زائد [س].

٢ ق ٢٢ و. ٤ ه ٤٠ ظ. ٦ ت ١٧ و. ٧ د ٣٧ و. ٧ ج ٢٥ ظ. ٩ أ ٢٣ ظ، ب ٢٤ ظ. ١٢ ه ٤١ و، گ ٤٢ ظ، ق ٢٢ ظ. ١٣ ج ٢٦ و. ١٤ گ ٤٣ و. ١٥ د ٣٧ ظ. ١٥ ب ٢٥ و. ١٨ ج ٢٦ ظ، س ٤٤ ظ. ١٨ أ ٢٤ و. ١٩ ت ١٧ ظ. ٢٠ ه ٤١ ظ. ٢١ ق ٢٣ و. ٢١ ب ٢٥ ظ.

[8] Quant aux grandeurs de ces orbes, je les décris comme suit. Le rayon de la sphère du déferent est dix-sept parts. Le rayon de la sphère du rotateur est douze parts et cinquante-deux minutes et demi. Le rayon de la sphère de l'épicycle est onze parts et demi. Le rayon de l'orbe incliné est soixante-dix-sept. Sa face externe touche la face interne de son orbe parécliptique. L'épaisseur du parécliptique peut être choisie arbitrairement, et on la pose égale à un degré. La distance minimale dans l'orbe incliné est quarante-trois, et même inférieure à cela de la grandeur du rayon de la sphère de l'astre avec [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus, comme nous l'avons dit ; on pose ceci égal à un degré.

Chapitre seize

Les mouvements de Jupiter

[1] Leurs conditions initiales à l'Époque, c'est-à-dire à midi du premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazdgard, sont de 9 signes et 2;6,10 degrés pour Jupiter moyen et de 6 signes et 0;52 degrés pour son auge. Le mouvement de Jupiter moyen en vingt années persanes est 8 signes et 6;51,0 degrés, en une année 1 signe et 0;20,33 degrés, en un mois persan 2;29,38,3,17,16, en un jour 0;4,59,16,6,34,32, et en une heure 0;0,12,28,10,16,26,20. Le mouvement des auges est d'un degré en soixante ans.

[2] Le mouvement du centre est l'excédent du mouvement de l'astre moyen sur [le mouvement des] auges. Le mouvement de l'astre propre est, pour les planètes supérieures, l'excédent du mouvement du Soleil moyen sur le mouvement de l'astre moyen ; c'est pour Jupiter, en un jour et une nuit, 0;54,9,3,36,59,10.

[3] Jupiter vrai [se calcule] de la même manière que Saturne vrai.

Chapitre dix-sept

La configuration des orbes de Mars d'après notre description

[1] Nous commençons par les cercles trajectoires des centres des sphères solides. Nous imaginons un orbe parécliptique représentant l'écliptique, sur ses pôles et dans son plan. Nous imaginons un deuxième orbe dont le plan est incliné d'une seule part par rapport au plan du parécliptique et qui le coupe en deux points opposés appelés la tête et la queue. Nous imaginons un troisième orbe dont le centre est sur le bord

[٨] على هذه، وأما أقدار هذه | الأفلاك المجسّمة، فعلى ما أصف، نصف قطر كرة الحامل سبعة عشر جزءاً، ونصف قطر كرة المدير اثنا عشر واثنتان وخمسون دقيقة ونصف، ونصف قطر كرة التدوير | أحد عشر جزءاً ونصف جزء، ونصف قطر المائل سبعة وسبعون، ومحدّبه يماسّ مقعر الممثل من أفلاكه، وسمك الممثل يمكن أن يُفرض ما شئنا ونفرضه درجة. وأقرب قُرب المائل ثلاثة وأربعون، وأقلّ من ذلك بمقدار نصف قطر كرة الكوكب مع اتّصال الفلك، كما قلنا، ونفرضه درجةً.

الباب السادس عشر في ضبت حركات المشتري

[١] وتقييدها، للتاريخ المذكور الذي هو نصف نهار يوم الثلاثاء أوّل سنة أحد وسبع مائة ليزدجرد، أمّا وسطه ط ب و ي وأما أوجه و . نب. وحركة وسطه | في عشرين سنة فارسيّة ح و نا .، وفي سنة ١٠٠ ك ل ج، وفي شهر فارسي . ب ك ط ل ح ج بر نو، وفي يوم . . . د ن ط ب و ل د لب، وفي ساعة . . . ب ك ح ي نو كو ك.

[٢] وحركة الأوجات في كلّ ستين سنة درجة وحركة | المركز هي فضل حركة الوسط على الأوج. وحركة الخاصّة هي، للعلوية، فضل حركة وسط الشمس على وسط ذلك الكوكب؛ وهي للمشتري، في اليوم | بليته، . ند ط ج لو نط ي.

[٣] وتقويم المشتري على طريق تقويم زحل.

الباب السابع عشر في هيئة أفلاك المريخ على وصفنا

[١] ونبدأ بالدوائر التي هي مدارات مراكز الأكر المجسّمة. فنتوهم فلكاً ممثلاً لفلك البروج على قطبيه وفي سطحه. ونتوهم فلكاً ثانياً سطحه مائل عن سطح الممثل جزءاً واحداً مقاطع له على نقطتين متقابلتين تُسمّى إحداهما الرأس والأخرى الذنب. ونتوهم فلكاً ثالثاً مركزه على محيط

١ نصف: فنصف [ج]. ٣ أحد عشر: اثنا عشر [د]. ٥ كرة: ناقص [س]. ٦ درجة: درجة واحدة [ج]. ٩ نصف نهار يوم: نهار [ج]. ١٠ و . نب: و . ب [أ، س]. ١٢ . . . ب ك ح ي نو كو ك: . . . ب ل ح ي نو لو ك [أ، د]، غير مقروء [ج]. ١٤ وحركة: وهي في اليوم وحركة [س]. ١٥ اليوم: يوم [س]. ١٥ لو نط: نو ب [س]. ١٨ وصفنا: وضعنا [د، ج].

١ س ٤٥ و . ٢ د ٣٨ و . ٧ ك ٤٣ ظ . ١٠ ك ٤٤ و . ١٣ ه ٤٢ و . ١٥ ت ١٨ و .

de l'orbe incliné et dont le rayon est neuf parts (en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante) ; on l'appelle déferent. Nous imaginons un quatrième orbe dont le centre est sur le bord du déferent et dont le rayon est trois parts ; on l'appelle rotateur. Nous imaginons un cinquième orbe dont le centre est sur le bord du rotateur et dont le rayon est trente-neuf parts et demi (en les mêmes parts) ; on l'appelle orbe de l'épicycle. Le centre de l'astre est sur le bord de l'orbe de l'épicycle.

[2] Supposons que les centres du déferent, du rotateur et de l'épicycle sont à l'auge, c'est-à-dire sur la droite issue du centre du monde dans la direction de l'auge. Supposons que le parécliptique est mû d'un mouvement simple autour de son centre et sur les pôles de l'écliptique, dans le sens des signes, comme le mouvement des auges : en un jour et une nuit, 0;0,0,9,52. La tête, la queue et les deux parties d'inclinaison maximale sont entraînées par ce mouvement. L'orbe incliné se meut dans le sens des signes, d'un mouvement simple autour de son centre, comme le mouvement du centre de Mars : en un jour et une nuit 0;31,26,29,45. Le déferent se meut, en sens inverse des signes, d'autant que le mouvement du centre de Mars. Le rotateur se meut, dans le sens des signes dans sa partie supérieure, d'autant que le double du mouvement du centre de Mars : en un jour et une nuit, 1;2,52,59,30. L'orbe de l'épicycle se meut autour de son centre d'un mouvement simple, en sens inverse des signes dans sa partie supérieure, d'autant que l'excédent du mouvement du centre de Mars sur le mouvement de son astre propre.

[3] Ainsi l'orbe de l'épicycle semble se mouvoir dans le sens des signes dans sa partie supérieure d'autant que le mouvement de Mars propre, en un jour, 0;27,41,50 ; car il tourne de par le mouvement du rotateur et de par son propre mouvement qui est, autour de son centre, en un jour et une nuit, 0;3,44,40 ; retranchant cette grandeur du mouvement du centre en un jour (0;31,26,29,45), il reste 0;27,41,50 et c'est le mouvement apparent de l'astre par l'épicycle, dans le sens des signes, égal au mouvement de Mars propre, c'est-à-dire l'excédent du mouvement du Soleil moyen sur le mouvement de l'astre moyen¹⁶². C'est le mouvement simple-composé déjà mentionné. Cela se montre par l'exemple.

[4] Supposons donc que les centres du déferent, du rotateur et de l'épicycle sont sur la droite issue du centre du monde dans la direction de l'auge, et que se meuve chaque orbe d'un mouvement simple autour de son centre de la grandeur et dans le sens qu'on a supposés. Est engendré en l'astre un mouvement irrégulier et il [lui] arrive de rétrograder, etc., comme en rend compte l'observation. C'est le mouvement irrégulier composé de mouvements simples comme on l'a expliqué ailleurs.

المائل ونصف قطره تسعة | أجزاء* (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستين جزءاً)؛ ويُسمى الحامل. وتوهم فلکاً رابعاً مركزه على محيط الحامل ونصف قطره ثلاثة أجزاء؛ ويُسمى المدير. وتوهم فلکاً خامساً | مركزه على محيط المدير ونصف قطره تسعة وثلاثون جزءاً ونصف | جزء (بتلك الأجزاء)؛ ويُسمى فلک التدوير. ومركز الكوكب على محيط فلک التدوير.

٥ [٢] ونفرض مركز الحامل والمدير والتدوير في الأوج، أعني على الخط الخارج من مركز العالم إلى الأوج. ونفرض الممثل متحركاً حركة | بسيطة حول مركزه وعلى قطبي البروج، إلى التوالي، مثل حركة الأوجات: وهي في اليوم بليته | . . . ط نب. فينتقل بهذه الحركة الرأس والذنب وغايتا الميل. ويتحرك الفلك المائل إلى التوالي، حركة بسيطة حول | مركزه، مثل حركة مركز المريخ: وهي في اليوم بليته . . لا كو كط مه. ويتحرك الحامل، إلى خلاف التوالي، | بقدر حركة مركز المريخ. ويتحرك المدير، في أعلاه إلى التوالي، بقدر ضعف حركة مركز المريخ: وهي في اليوم بليته . ا ب نب نط ل. ويتحرك فلک التدوير حول مركزه حركة بسيطة، في أعلاه إلى خلاف التوالي، بقدر فضل حركة مركز المريخ على حركة خاصته.

[٣] فيظهر أن فلک التدوير متحركاً إلى التوالي في أعلاه بقدر حركة خاصة المريخ، التي هي في اليوم . كز ما ن؛ لأنه يدور بحركة المدير وبحركته، هو حول مركزه في اليوم بليته . ج م د م، فيبقى هذا المقدار ناقصاً من حركة مركزه في يوم (وهو . لا كو كط مه)؛ فيبقى . كز ما ن وهي | حركة الكوكب المريخي بالتدوير، إلى التوالي، وهي مثل حركة خاصة المريخ، أعني فضل حركة وسط الشمس على حركة وسطه. وهي الحركة البسيطة المركبة المتقدم ذكرها. ويظهر من المثال. [٤] فإذا فرضنا مراكز الحامل والمدير والتدوير على الخط الخارج | من مركز البروج إلى الأوج، وتحرك كل فلک حركة بسيطة حول مركزه بمقدار ما فرضنا | له من الحركة والجهة، تولد للكوكب حركة مختلفة، وحدث له رجوع إلى غير ذلك من ما وجد له بالرصد. وهي المختلفة المركبة من بسائط على ما أوضحنا في غير موضع.

١ تسعة أجزاء: كتب أولاً مقداراً آخرًا ثم ضرب عليه بالقلم وكتب هذا المقدار [س]. ١ المائل: الممثل [ج]. ٢ ثلاثة أجزاء: كتب أولاً مقداراً آخرًا ثم ضرب عليه بالقلم وكتب هذا المقدار [س]. ٤ ويُسمى فلک التدوير: في الهامش [س]. ٤ فلک: ناقص [ج]. ٨ الفلك: الفلك [أ]. ١٠ بقدر: فوق السطر [س]. ١٠ ضعف: فضل ضعف [أ، س]، فضل (وشطب) "فضل" وكتب "ضعف" في الهامش مع إشارة [ج]. ١٤ اليوم: اليوم بليته [ج]. ١٤ مركزه: مركز العالم [ج]. ١٧ المتقدم: المقدم [ج]. ١٨ إلى: ناقص [ج]. ٢٠ من ما: ممّا [د، ج]. ٢١ موضع: هذا الموضوع [ج].

١ أ ٢٤ ظ. ٣ ج ٢٧ و. ٣ گ ٤٤ ظ. ٦ ه ٤٢ ظ. ٧ ب ٢٦ و. ٨ ق ٢٣ ظ. ٩ س ٤٦ و. ١٦ گ ٤٥ و. ١٨ ه ٤٣ و. ١٩ د ٣٨ ظ.

* يلزم من أقطار الأكر المجسمة أنه ح نو. † يلزم من أقطار الأكر المجسمة أنه ب نو.

[Figure 9.]

[5] Ceci étant dit, sache que la distance maximale du centre de l'épicycle de Mars au centre du monde est soixante-six parts, et que sa distance minimale est cinquante-quatre parts. La distance maximale de l'astre Mars au centre du monde est cent cinq parts et demi, et sa distance minimale est quatorze parts et demi (tout cela en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante).

[6] Cependant l'astre Mars n'atteint pas la distance maximale de ses orbes, ni leur distance minimale ; car le rayon du déférent est cinquante et une parts et demi, le rayon de la sphère du rotateur est quarante-deux parts et demi, et le rayon de la sphère de l'épicycle est trente-neuf parts et demi, or la distance maximale de l'orbe incliné (c'est son rayon) est cent onze degrés et demi, au-dessus desquels il y a l'épaisseur du parécliptique, soit trente minutes, cela fait cent douze parts de distance maximale, et la distance minimale [de l'orbe incliné] est huit parts et trente minutes, et avec [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus, soit trente minutes, il reste huit parts. Conclusion : la distance minimale des orbes de Mars est huit parts, et leur distance maximale est cent douze parts. C'est ce sur quoi nous nous sommes appuyés.

[Figure 10.]

Chapitre dix-huit

Les mouvements de Mars

[1] Mars moyen, mardi midi à Damas, le premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazdgard, est 9 [signes] et 22;0,0 [degrés], et son auge 4 [signes] et 17;52,0 [degrés]. Le mouvement de Mars moyen en vingt années persanes est ¹⁶³ 8 [signes] et 15;43,20 [degrés] ;

[صورة ٠.٩]

[٥] | وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنّ أبعد بُعد مركز تدوير المريخ من مركز العالم ستّة وستون جزءًا، وأقرب قُرب مركز التدوير من مركز العالم أربعة وخمسون جزءًا. وأبعد بُعد كوكب المريخ من مركز العالم مائة جزء وخمسة أجزاء ونصف جزء، وأقرب قُربه أربعة عشر جزءًا ونصف جزء (الجميع بالأجزاء التي بها | نصف قطر | المائل ستون جزءًا).

[٦] | وإنّ كوكب المريخ لا يصل إلى أبعد بُعد أفلاكه، ولا إلى أقرب قُربها؛ لأنّ نصف قطر كرة الحامل أحد وخمسون جزءًا ونصف، ونصف قطر | كرة المدير اثنان وأربعون جزءًا ونصف، ونصف قطر كرة التدوير تسعة وثلاثون | جزءًا ونصف جزء، فيكون أبعد بعد المائل (وهو | نصف قطره) مائة وأحد عشر درجة ونصف، وسمك الممثل فوق ذلك، ونفرضه ثلاثين دقيقة، فيبقى أبعد البُعد مائة جزء واثنان عشر جزءًا، وأقرب قُربه ثمانية أجزاء وثلاثون دقيقة، | مع اتّصال الفلك، ونفرضه ثلاثين دقيقة، فتبقى الثمانية. فيكون أقرب قُرب أفلاك المريخ ثمانية، وأبعد بُعدها مائة واثنا عشر | جزءًا. وعلى ذلك اعتمدنا.

[صورة ٠.١٠]

| الباب الثامن عشر

في ضبب حركات المريخ

[١] | وتقييدها لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة إحدى وسبع مائة ليزدجرد لدمشق، أمّا وسط المريخ ط ك ب ٠ ٠، وأوجه د ر ن ب ٠٠. وحركة | وسطه في عشرين سنة فارسيّة ر نه مج م؛

^٢ وإذ: وإذا [ج]، وإذ قد [س]. ^٢ مركز تدوير المريخ: المريخ أي مركز تدويره [ج]. ^٢ ستّة: فوق السطر [س]. ^{٣-٤} أربعة وخمسون ... مركز العالم: في الهامش (وكان هذا ناقص بسبب قفزة لتشبه الكلام) [ج، د]. ^٧ ونصف: ناقص [د، ج]، كتب أولًا "واثنا عشرة دقيقة" وضرب عليه بالقلم ثمّ كتب "ونصف" [س]. ^٧ ونصف قطر ... جزء ونصف: في الهامش (وكتب أيضًا بعده "وستّ وعشرون دقيقة" ثمّ ضرب عليه بالقلم) [س]. ^٩ ونصف: كتب أولًا "واثنان وعشرون دقيقة" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب عوضه "ونصف" فوق السطر [س]. ^٩ ثلاثين: كتب أولًا "الثمانية والثلاثين" ثمّ ضرب على "الثمانية" بالقلم [س]. ^{١٠} وثلاثون: كتب أولًا "وثمانية وثلاثون" ثمّ ضرب على "وثمانية" بالقلم [س]. ^{١٠} مع اتّصال الفلك: وأقلّ من ذلك بمقدار نصف قطر الكوكب مع اتّصال الفلك [س]. ^{١١} ثلاثين: كتب أولًا "الثمانية والثلاثين" ثمّ ضرب على "الثمانية" بالقلم [س]. ^{١٦} وتقييدها: غير مقروء [أ]، بعدها [ج]. ^{١٦} لنصف: بنصف [س]. ^{١٦} يوم: ناقص [ج]. ^{١٦} أول: ناقص [د]. ^{١٧-١٦} وسط المريخ: وسطه [ج]. ^{١٧} د ر ن ب ٠٠: د ر ن ب ٠ [أ، س]. ^{١٧} فارسيّة: ناقص [س].

^٢ ج ٢٧ ظ، س ٤٦ ظ، أ ٢٥ و. ^٥ أ ٢٥ ظ، س ٤٨ و. ^٥ ج ٢٨ و. ^٧ ت ١٨ ظ. ^٨ ب ٢٦ ظ. ^٨ ك ٤٥ ظ. ^{١٠} ٤٣ ظ. ^{١٢} ق ٢٥ و. ^{١٤} أ ٢٦ و، د ٣٩ و، ب ٢٧ و، هـ ٤٤ و، س ٤٨ ظ، ك ٤٦ و، ق ٢٤ ظ. ^{١٧} ك ٤٦ ظ.

en une année persane, 6 [signes] et 11;17,11,0 ; en trente jours, 0;15,43,19,48,29,39 ; en un jour et une nuit, 0;0,31,26,39,36,59,18 ; et en une heure 0;0,1,18,36,39.

[2] Le mouvement des apogées est d'un degré en soixante ans ; en un ans, une minute ; en un jour, 0;0,0,9,52. Le mouvement de Mars propre est d'autant que l'excédent du mouvement du Soleil moyen sur Mars moyen, c'est-à-dire par jour 0;0,27,41,40,7. Mars vrai se calcule de la même manière que Saturne vrai.

Chapitre dix-neuf

La configuration des orbes de Vénus selon notre méthode

[1] Nous commençons par les cercles trajectoires des sphères solides. Nous imaginons un orbe parécliptique représentant l'écliptique, dans son plan et sur ses pôles. Nous imaginons un deuxième orbe, au centre de l'écliptique, son plan étant incliné par rapport au plan du parécliptique, d'une inclinaison constante d'un sixième de part (selon l'opinion la plus juste), et le coupant en deux points opposés appelés la tête et la queue. Nous imaginons un troisième orbe dont le centre est sur le bord de l'orbe incliné, et dont le rayon est une part et quarante et une minutes (en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante) ; on l'appelle déférent. Nous imaginons un quatrième orbe dont le centre est sur le bord du déférent et dont le rayon est vingt-six minutes ; on l'appelle rotateur. Nous imaginons un cinquième orbe dont le centre est sur le bord du rotateur et dont le rayon est, d'après nos observations, quarante-trois parts et trente-trois minutes (en les mêmes parts) ; on l'appelle orbe de l'épicycle. Le centre de l'astre, sur le bord de ce dernier orbe, est attaché en un de ses points.

[2] Supposons les centres du déférent, du rotateur et de l'épicycle alignés sur la droite issue du centre de l'orbe incliné dans la direction de l'auge. Supposons le parécliptique mû sur ses pôles, dans le sens des signes, comme le mouvement des auges : en un jour et une nuit, 0;0,0,9,52. Ce mouvement entraîne la tête et la queue, et les deux parties d'inclinaison maximale. L'orbe incliné se meut dans le sens des signes, comme le mouvement du centre de Vénus qui est comme le mouvement du centre du Soleil : en un jour et une nuit, 0;59,8,9. Le déférent

وفي سنة فارسيّة، ونا برنا ٠؛ وفي ثلاثين يوماً، ٠ به مج نط مح كط لط؛ وفي يوم بليته
 ٠٠ لا كولو نط بح؛ وفي ساعة ٠٠٠ ا ح لو لط.
 [٢] وحركة الأوجات في كلّ ستين سنة درجة، وهي في السنة دقيقة واحدة، وفي اليوم
 ٠٠٠ ط نب. وحركة خاصّة المريخ بقدر فضل حركة وسط الشمس على وسطه، وهي في اليوم
 ٠٠٠ م م ر. وتقويم المريخ على نحو تقويم زحل.

الباب التاسع عشر

في هيئة أفلاك الزهرة على وضعنا

[١] ونبدأ بالدوائر التي هي مدارات الأكر المجسّمة فتوهّم فلکاً ممثلاً بفلك البروج، في
 سطحه وعلى قطبيه. وتوهّم فلکاً ثانياً، على مركز البروج، وسطحه مائل عن سطح الممثل |
 سدس جزء ثابت الميل (على أصحّ القولين)، ومقاطع له على نقطتين متقابلتين تُسمّى إحداهما
 الرأس والأخرى الذنب. وتوهّم فلکاً ثالثاً مركزه على محيط المائل، ونصف قطره جزء وإحدى
 وأربعون دقيقةً (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل | ستون جزءاً)؛ ويُسمّى الحامل. وتوهّم | فلکاً
 رابعاً مركزه على محيط الحامل ونصف قطره ستّ وعشرون دقيقةً؛ ويُسمّى المدير. وتوهّم | فلکاً
 خامساً مركزه على محيط المدير ونصف قطره، على رصدنا، ثلاثة وأربعون جزءاً وثلاث وثلاثون
 دقيقةً (بالأجزاء المذكورة)؛ ويُسمّى فلك التدوير. ومركز الكوكب، على محيط هذا | الفلك ،
 لازم لنقطة منه.

[٢] ونفرض مراكز الحامل والمدير والتدوير على الخطّ الخارج من مركز المائل إلى الأوج.
 ونفرض الممثل متحرّك على قطبيه إلى التوالي* مثل حركة الأوجات: وهي في اليوم بليته
 ٠٠٠ ط نب. فينتقل بهذه الحركة الرأس والذنب وغايتا | الميل. ويتحرّك المائل إلى التوالي،
 ٢٠ مثل حركة مركز الزهرة التي هي مثل حركة مركز الشمس: وهو في اليوم بليته ٠ نط ح ط. ويتحرّك

١. به مج نط مح كط لط: كتب مط فوق السطر بين نط وبين مح [س]، كتب ط عوض كط [د] (وهذا غير مقروء في
 نسخة أ)، كتب أوّل كط ثم شطب الحرف ك [س]. ٢. لا كولو نط بح: لَط مكرّر [س]، نط بح ناقص [ج].
 ٣. ستين: كتب أوّل "ثلثين" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب "ستين" [س]. ٤. اليوم: اليوم بليته [ج]. ٥. م م م ر:
 كتب ن عوض م [أ، د، س]، وهو كان هكذا في نسخة ج أيضاً ثم شطب ن وكتب م [ج]. ٦. ثابت الميل: وثابت الميل
 [د]، وثابت الممثل [ج]. ٧. ومقاطع: ويقاطع [ج، د]. ٨. خامساً: كتب أوّل "رابعاً" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب
 "خامساً" [أ]. ٩. مراكز: مركز [د، س]. ١٠. مثل: إلى مثل [س]. ١١. مركز: تحت السطر [س].

٩ ق ٢٥ و. ١٢ س ٤٩ و. ١٢ ه ٤٤ ظ. ١٣ گ ٤٧ و. ١٥ ج ٢٨ ظ. ١٩ أ ٢٦ ظ.

* كتب ههنا "وينتقل بهذه الحركة" ثم ضرب عليه بالقلم [س].

se meut en sens inverse des signes, d'une grandeur égale au mouvement du centre de Vénus ; le rotateur se meut dans les sens des signes, d'une grandeur double du mouvement du centre de Vénus : en un jour et une nuit, 1;58,16,18.

[3] L'orbe de l'épicycle se meut d'un mouvement simple autour de son centre, en sens inverse des signes dans sa partie supérieure, d'autant que l'excédent du mouvement du centre de Vénus sur le mouvement de son astre propre : en un jour et une nuit, 0;22,8,41,25,33,53. Il semble donc progresser dans le sens des signes d'autant que le mouvement de Vénus propre qui est, en un jour et une nuit, 0;36,59,28,26. En effet, supposons l'épicycle immobile, et que se meuvent l'orbe incliné, le déferent et le rotateur : l'apogée se déplace dans le sens des signes, d'autant que le mouvement du centre. Supposons lui un autre mouvement, en sens inverse des signes, d'autant que le mouvement du centre, alors l'apogée revient en son lieu ; mais d'autre part, on a trouvé par l'observation que [l'épicycle] se meut, par rapport à l'apogée, dans le sens des signes, d'autant que le mouvement de l'astre propre. Or on a démontré que, si on suppose l'épicycle mû en sens inverse des signes, d'autant que l'excédent du mouvement du centre sur le mouvement de l'astre propre, alors l'apogée reste en arrière d'autant que le mouvement de l'astre propre : c'est le mouvement simple-composé déjà démontré.

[4] Ayant supposé les centres du déferent, du rotateur et de l'épicycle alignés sur la droite issue du centre de l'écliptique dans la direction de l'auge, si les orbites se meuvent d'autant qu'on l'a supposé avec l'orientation ci-dessus, alors l'astre semblera avoir un mouvement irrégulier composé de mouvements simples, et c'est ce qu'on trouve par l'observation.

[5] Ceci étant dit, sache que la distance maximale du centre de l'épicycle de Vénus au centre du monde est soixante et une parts et un quart de part, et que sa distance minimale est cinquante-huit parts, une demi-part et un quart de part. La distance maximale de Vénus au centre du monde est cent quatre parts et quarante-huit minutes, et sa distance minimale est quinze parts et un cinquième de part.

[6] En fait, l'astre de Vénus n'atteint ni la distance minimale de ses orbites, ni leur distance maximale, car le rayon de la sphère du déferent est quarante-cinq parts et deux tiers de parts (et le rayon du rotateur est quarante-trois parts et cinquante-neuf minutes), donc la distance maximale de l'orbe incliné est, pour Vénus, cent cinq parts et deux tiers

الحامل إلى خلاف التوالي، بمقدار حركة مركز الزهرة؛ ويتحرك المدير إلى التوالي، بمقدار ضعف حركة مركز الزهرة: وهو في اليوم بليلته أ ن ح نو سح.

[٣] ويتحرك فلك التدوير | حركة بسيطة حول مركزه، في أعلاه إلى خلاف التوالي، بقدر فضل حركة مركز الزهرة* على خاصتها: وهو في اليوم بليلته . ك ب ح ما كه ل ج نج فيظهر له تقصير إلى التوالي بقدر حركة خاصة الزهرة التي هي في اليوم بليلته . لو ن ط كح كو . لأننا، إذا فرضنا التدوير ثابت، وتحرك المائل والحامل والمدير: انتقلت الذروة إلى التوالي، بقدر حركة المركز. فنفرض له | حركة أخرى، إلى خلاف التوالي، | بقدر حركة | المركز، فترد الذروة إلى مكانها؛ ثم إنه وجد بالرصد متحرك، عن الذروة، إلى التوالي، بقدر حركة الخاصة. فقد تبين أننا، إذا فرضنا التدوير متحركاً إلى خلاف التوالي، بقدر فضل حركة المركز على حركة الخاصة، بقيت | الذروة مقصورة بقدر حركة الخاصة: وهذه هي الحركة البسيطة المركبة وقد تقدم بيانها.

[٤] وإذا فرضنا مراكز الحامل والمدير والتدوير على الخط الخارج من مركز البروج إلى الأوج، وتحركت الأفلاك بمقدار ما فرضنا لها من الحركات إلى تلك الجهات، ظهر للكوكب حركة مختلفة مركبة من بسائط، وهي الموجودة بالرصد.

[٥] وإذا تقدم ذلك، فاعلم أن أبعد بُعد مركز تدوير الزهرة من مركز العالم أحد وستون جزءاً ورُبع جزء، وأقرب قُربه ثمانية وخمسون جزءاً | ونصف ورُبع جزء. وأبعد بُعد الزهرة من مركز العالم مائة جزء وأربعة أجزاء وثمانٍ وأربعون دقيقة، وأقرب قُربه خمسة عشر جزءاً وخُمس جزء (والجميع بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءاً).

[٦] إلا أن كوكب الزهرة لا يصل إلى أقرب قُرب أفلاكها، ولا إلى أبعد بُعد أفلاكها، لأن نصف قطر كرة الحامل خمسة وأربعون جزءاً وثُلثا جزء (ونصف قطر المدير ثلاثة وأربعون جزءاً وتسع وخمسون دقيقة)، | فيكون أبعد بُعد الفلك | المائل، للزهرة، مائة جزء وخمسة أجزاء وثُلثي

^١ بمقدار: بقدر [ج، د]، بقدر [س]. ^١ حركة مركز ... بمقدار: ناقص [أ، د، ج، س]. ^١ ضعف: في الهامش مع إشارة [س]. ^٤ فضل: كتب أولاً "ضعف" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب "فضل" فوق السطر [س]. ^٤ ك ب ح ما كه ل ج نج: ك ب ح ما [أ، د، ج، س] (وكتب "لعله . ك ب ح لا كه ل ج نج" في هامش نسخة أ). ^٤ له: ناقص [د]. ^٥ تقصير: تقصيرا [ج]. ^٥ حركة: في الهامش مع إشارة [أ]. ^٥ لو ن ط كح كو . لأننا: لو ن ط ل ح كو نج د نو لأن [أ، د، س]. ^٧ أخرى: ناقص [س]. ^٧ الذروة: الدورة [س]. ^٧ إلى: ناقص [أ، د، ج]. ^٨ الذروة: الدورة [س]. ^٩ إلى: ناقص [س]. ^{١٠} الذروة: الدورة [س]. ^٤ وإذ: وإذ [ج]، وإذ قد [س]. ^{١٥} ثمانية ... ورُبع جزء: نح ل ه [ج]. ^{١٦} وثمانٍ ... خمسة عشر جزءاً: ناقص [أ، د، ج، س]. ^{١٨} كوكب: ناقص [ج]. ^{١٨} يصل: تصل [د، ج]. ^{١٨} قُرب: ناقص [أ].

٣ ب ٢٧ ظ. ٧ گ ٤٧ ظ. ٧ ه ٤٥ و. ٧ س ٤٩ ظ. ١٠ د ٣٩ ظ. ١٥ ق ٢٥ ظ. ٢٠ ج ٢٩ و. ٢٠ گ ٤٨ و.

* كتب "وهو" ههنا ثم ضرب عليه بالقلم [س].

de part à quoi il faut ajouter l'épaisseur du parécliptique supposée d'un tiers de part, et la distance minimale du parécliptique est quatorze parts et un tiers de part dont il faut retrancher un intervalle supposé d'un tiers de part : la distance minimale des orbes de Vénus semble donc être quatorze parts, et leur distance maximale, cent six parts (peut-être plus, mais pas moins que cela).

[Figure 11.]

[7] *Remarque.* Étant donné les rayons des trajectoires des centres des sphères (ce sont les cercles représentés sur la figure), soit à calculer les rayons des sphères solides pour tel astre. Voici la méthode : la somme du rayon de l'orbe de l'épicycle et du rayon du rotateur est le rayon de la sphère du rotateur, ajoutez-y le rayon du déférent, on obtient le rayon de la sphère du déférent. Si nous ajoutons le rayon de la sphère du déférent à soixante, on obtient le rayon extérieur de l'orbe incliné auquel il faut ajouter l'épaisseur du parécliptique ; et si nous le retranchons de soixante, et que nous retranchons de ce qui reste [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus, alors on obtient le rayon [intérieur] de l'orbe incliné.

[Figure 12.]

Chapitre vingt

Les mouvements de Vénus

[1] Leur compte à midi du premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazd-gard est de 9 signes et 10;9,0 degrés pour Vénus moyen (comme le Soleil moyen), et 2 signes 17;52,0 degrés pour l'auge. Le mouvement de Vénus moyen est comme le mouvement du Soleil moyen, soit en vingt ans 11 signes et 25;13,20 degrés,

جزء وفوقه سمك الممّثل ونفرضه ثلث جزء، | وأقرب قُرب الممّثل أربعة عشر جزءًا وثلث جزء | ويجب أن ينقص بقدر* اتّصال الفلك وليكن ذلك بالفرض ثلثًا جزء: فظهر أن أقرب | قُرب | أفلاك الزهرة أربعة عشر جزءًا، وأبعد بُعد أفلاكها مائة وستة أجزاء (ويمكن أن يكون أكثر من ذلك ولا يمكن أن يكون أقل).

[صورة ١١.]

[٧] | تنبيه. إذا كان المرصود أنصاف أقطار المدارات مراكز الأكر (وهي الدوائر المتوهّمة على البسيط)، | وأردت حساب أنصاف أقطار الأكر المجسّمة لذلك الكوكب. فطريقه: أن تجمع نصف قطر فلك التدوير ونصف قطر المدير فما | حصل فهو نصف قطر كرة المدير، ونصف قطر الحامل فما حصل فهو نصف قطر كرة الحامل. وإذا زدنا نصف قطر كرة الحامل على ستين، حصل نصف قطر محدّب المائل وفوقه سمك الممّثل؛ وإذا نقصناه من ستين، ونقصنا ممّا يبقى[†] اتّصال الفلك، حصل نصف قطر المائل.

[صورة ١٢.]

الباب العشرون في ضبط حركات الزهرة

[١] وتقييدها لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة إحدى وسبع مائة ليزدجرد، أمّا وسط الزهرة فمثل وسط الشمس، وهو | للتأريخ المذكور ط ي ط ، والأوج للتأريخ المذكور ب ر ن ب . . وحركة وسطها مثل حركة وسط الشمس، وهي في عشرين سنة فارسيّة ناكه نج ك، وفي^٦ الأكر: الأكر التامة [ج].^٧ وأردت: وأردنا [ج].^٨ قطر: قطر فلك [ج].^{٩-٨} المدير ونصف ... نصف قطر كرة: ناقص [ج]، في الهامش مع إشارة [د].^{١٠} المائل: الفلك المائل [ج].^{١١} المائل: الفلك المائل فاعلم ذلك [ج]، مقعر المائل [س].^{١٥} ليزدجرد: من تأريخ يزدجرد [ج].^{١٦} ب ر ن ب : ب ر ن ب . [أ، س].^{١٧} فارسيّة ناكه نج ك: ناقص [س]، في نسخة د يوجد بياضٌ كُتب في الهامش مع إشارة إليه "نا . كه مج ك" [د].

١ ه ٤٥ ظ. ٢ س ٢٩ و. ٢ ت ١٩ ظ. ٢ أ ٢٧ و. ٦ ك ٤٨ ظ. ٧ ب ٢٨ و. ٨ ق ٢٦ و. ١٣ أ ٢٧ ظ، ب ٢٨ ظ، ج ٣٠ و، د ٤٠ ظ، ه ٤٦ ظ، س ٣٠ ظ، گ ٤٩ و، ت ٢٠ و. ١٦ ب ٢٩ و.

* كتب أولًا "نصف قطر الزهرة" ههنا ثمّ ضرب عليه بالقلم [س].[†] كتب الناسخ أولًا "نصف قطر الكوكب و" قبل "اتّصال"، ثمّ ضرب عليه بالقلم [س].

en une année persane 11 signes et 29;45,40,0 degrés, en un mois persan 0 signe et 29;34,9,51,46,50,57,32 degrés, en un jour 0;59,8,19,43,33,41,55,4,6, et en une heure 0;2,27,50,50.

[2] À la date mentionnée, Vénus propre a atteint 10 signes et 20;50,19 degrés ; son mouvement en vingt années persanes est 6 signes et 0;36,0 degrés, en une année persane 7 signes et 15;1,48,41, en un mois 0 signe et 18;29,44,13,9 degrés, en un jour 0;36,59,28,26,13,4,16, et en une heure 0 signe et 0;1,32,28,41,6 degrés. La correction [de Vénus] est faite selon la méthode de Saturne et des autres astres errants.

Chapitre vingt et un

La configuration des orbes de Mercure selon notre méthode confirmée par l'observation

[1] Nous imaginons un orbe dans le plan de l'écliptique, sur ses pôles et en son centre, appelé le parécliptique. Nous imaginons un deuxième orbe dans un plan incliné par rapport au plan du parécliptique d'un demi et un quart de degré à l'auge vers le sud, mais cette inclinaison n'est pas constante. Selon une autre doctrine l'orbe est incliné d'un sixième de part et son inclinaison est constante : cette doctrine est plus juste. Le plan de l'orbe incliné coupe le plan du parécliptique en deux points opposés appelés la tête et la queue. Nous imaginons un troisième orbe dont le centre est sur la ceinture de l'orbe incliné, de rayon quatre parts et cinq minutes (en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante), appelé le *déférent*. Nous imaginons un quatrième orbe dont le centre est sur la ceinture du déférent, de rayon un demi et un tiers de degré¹⁶⁴, appelé le *rotateur*. Nous imaginons un cinquième orbe dont le centre est sur la ceinture du rotateur, de rayon vingt-deux parts et quarante-six minutes (en les mêmes parts), appelé orbe de l'épicycle. Nous imaginons un sixième orbe dont le centre est sur la ceinture de l'épicycle, de rayon trente-trois minutes, appelé l'*englobant*. Nous imaginons un septième orbe dont le centre est sur l'englobant, de rayon semblable au rayon de l'englobant (trente-trois minutes), appelé le *protecteur*. Mercure est centré sur la ceinture de ce [dernier] orbe.

[2] Passons aux mouvements. Le parécliptique se meut sur les pôles de l'écliptique, dans le sens des signes, d'un degré tous les soixante ans, comme le mouvement des auges. L'orbe incliné se meut dans le sens des signes, comme le mouvement du centre de Mercure,

سنة فارسيّة | ناكط مه م .٠، وفي | شهر فارسي . كط لد ط نا مون نر لب، | وفي يوم
 . نظ ح بط مج لجا ما نه د و، وفي ساعة . ب كرن ن.
 [٢] وحاصل خاصّة الزهرة، للتأريخ المذكور، ي ك ن يط؛ وحركة الخاصّة في عشرين سنة
 فارسيّة و . لو .٠، وفي سنة فارسيّة | رنه امح ما، وفي شهر . بح كط مد نج ط، وفي يوم*
 . لو نظ كح كو بج د بو، وفي ساعة . . الب كح ما و. وتقويمها على طريق تقويم زحل وغيره
 من السيارة.

الباب الحادي والعشرون

في هيئة أفلاك عطارد على مذهبننا الموافق للرصد

[١] نتوهم فلگا في سطح فلك البروج وعلى قطبيه | ومركزه، ويُسمّى الممثل. ونتوهم فلگا
 ١٠ ثانيًا سطحه مائل عن سطح | الممثل نصف ورُبع درجة عند الأوج إلى جهة الجنوب، وهذا الميل
 غير ثابت. وعلى قول أنه مائل سُدس | جزء وهو ثابت الميل: وهو الأصح. وسطح المائل يقاطع
 | سطح الممثل على نقطتين متقابلتين تُسمّى إحداهما الرأس والأخرى الذنب. ونتوهم فلگا ثالثًا
 مركزه على منطقة المائل، ونصف قطره أربعة أجزاء وخمس دقائق (بالأجزاء التي بها نصف قطر
 المائل ستون جزءًا)، | ويُسمّى الحامل. ونتوهم فلگا رابعًا مركزه على منطقة الحامل، ونصف قطره
 ١٥ نصف وثُلث درجة، ويُسمّى المدير. ونتوهم فلگا خامسًا مركزه على منطقة المدير، ونصف قطره
 اثنان وعشرون جزءًا وستّ وأربعون دقيقة (من تلك الأجزاء)، ويُسمّى فلك التدوير. ونتوهم فلگا
 سادسًا مركزه على منطقة التدوير، ونصف قطره ثلاث وثلاثون دقيقة، ويُسمّى المحيط. ونتوهم
 فلگا سابعًا مركزه على المحيط، ونصف قطره مثل نصف قطر المحيط (وهو ثلاث وثلاثون دقيقة)،
 ويُسمّى الحافظ. وعطارد مركز على منطقة هذا الفلك.

[٢] وأمّا الحركات فإنّ الممثل يتحرّك على قطبي البروج، إلى التوالي، في كلّ ستين سنة
 ٢٠ درجة، وذلك مثل حركة الأوجات. وأمّا المائل فإنّه يتحرّك إلى التوالي، مثل حركة مركز عطارد،

٢ . نظ ح بط مج لجا ما نه د و: . لو نظ كح كو بج د بو [س]. . ٢ ب كرن ن: . ب كرن مط بح ند بد مرم ...
 [هامش ج]. ٤ فارسيّة: ناقص [س]. ° طريق: ناقص [ج]. ١٠ عند ... الجنوب: في الهامش مع إشارة [س]. ١١ أنه:
 ناقص [أ، د، س]. ١١ سُدس: ب (وكتب "سُدس" في الهامش) [ج]. ١٨ المحيط: منطقة المحيط [س].

١ ق ٢٦ ظ. ١ ج ٤٩ ظ. ١ ج ٣٠ ظ. ٤ أ ٢٨ و. ٩ د ٤١ و. ١٠ س ٣١ و. ١١ ه ٤٧ و. ١٢ ت ٢٠ ظ. ١٤ ج ٥٠ و.

* يُوجد شيء غير مقروء في هامش نسخة أ فوق هذا الموضع.

c'est-à-dire comme le centre du Soleil : en un jour et une nuit, 0;59,8,10. Le déférent se meut en sens inverse des signes dans sa partie supérieure, aussi d'autant que le mouvement du centre de Mercure.

[3] L'orbe de l'épicycle se meut dans le sens des signes dans sa partie supérieure, d'autant que l'excédent du mouvement de Mercure propre sur le mouvement de son centre : en un jour et une nuit, 2;7,16,0,9,51,39,56,39. C'est un mouvement simple. Quant au mouvement de Mercure propre, c'est un mouvement simple-composé qui mesure, ensemble, le mouvement de cet épicycle (2;7,16,0,9,51,39,56,39) et le mouvement du centre de Mercure (0;59,8,10) ; car ces deux mouvements vont dans le même sens. L'astre s'éloigne de l'apogée, d'autant que la somme des deux mouvements, 0 signe et 3;6,24,10,1,38,37,28,42 : c'est le mouvement de Mercure propre, un mouvement composé mais uniforme par rapport au centre de l'épicycle.

[4] Voici une explication complémentaire de cela. Si l'orbe incliné se meut d'un quart de cercle, le déférent d'un quart de cercle, et le rotateur d'un demi-cercle, alors se déplace l'apogée (origine du mouvement de l'astre propre) d'un quart de cercle dans le sens des signes. Cependant, on trouve par l'observation qu'elle se déplace, dans le sens des signes, comme le mouvement de Mercure propre (0 signe 3;6,24,10), donc le mouvement de l'épicycle autour de son centre est, dans le sens des signes, l'excédent de cet astre propre sur le mouvement du centre (car ils vont dans le même sens). J'ai déjà expliqué cela.

[5] L'englobant¹⁶⁵ se meut dans le sens des signes dans sa partie supérieure, comme le double du mouvement du centre de Mercure : en un jour 1;58,16,20.

[6] Le protecteur se meut en sens inverse des signes dans sa partie supérieure, quatre fois comme le mouvement du centre de Mercure : en un jour 3;56,32,40.

[7] Toujours située sur la droite issue du centre de l'épicycle et passant par le centre de l'englobant, Mercure tantôt se rapproche, tantôt s'éloigne du centre de l'épicycle ; et il ne quitte jamais cette droite¹⁶⁶. Quand le centre de l'épicycle est à l'auge ou au périgée, Mercure est à distance minimale du centre de son épicycle, distance appelée rayon de l'épicycle apparent, qui vaut alors vingt et une parts et deux tiers de part. Quand le centre est à trois signes [de l'auge], Mercure est à distance maximale du centre de l'épicycle,

وهو مثل مركز الشمس: وهو في اليوم بليته . نط ح ي. وأما الحامل فإنه يتحرك في أعلاه إلى خلاف التوالي، مثل حركة | مركز عطارد أيضًا.

[٣] وأما فلك التدوير فإنه يتحرك في أعلاه | إلى | التوالي بقدر فضل حركة خاصة عطارد على حركة مركزه: وهو في اليوم بليته | . ب ر نو . ط ن ا ل ط نو ل ط . وهذه حركة | بسيطة. وأما حركة خاصة عطارد، فإنها بسيطة مركبة، لأنها بقدر حركة هذا التدوير التي هي | . ب ر نو . ط ن ا ل ط نو ل ط مع حركة مركز عطارد التي هي . نط ح ي؛ وذلك لكون الحركتين | إلى جهة واحدة. فتحصل مفارقة الكوكب للذروة، بقدر مجموع الحركتين، وهي . ج و ك د ي ا ل ح ل ر ك ح م ب؛ وهي حركة خاصة عطارد المركبة، وهي مستوية عند مركز التدوير.

[٤] ومما يزيد ذلك إيضاحًا: أنه إذا تحرك المائل ربع دائرة، وتحرك الحامل ربع دائرة، وتحرك المدير نصف دائرة، انتقلت الذروة (التي هي مبتدأ حركة الخاصة) ربع دائرة إلى التوالي. وإنما وُجد بالرصد أنها منتقلة، إلى التوالي، مثل حركة خاصة عطارد (التي هي . ج و ك د ي)، فتكون حركة التدوير حول مركزه، إلى التوالي، بقدر فضل هذه الخاصة على حركة المركز (لكونهما إلى جهة واحدة). فقد أتضح ذلك.

[٥] وأما الشامل فإنه يتحرك في أعلاه إلى التوالي، مثل ضعف حركة مركز عطارد: وهو في اليوم ا ن ح يو ك .

[٦] وأما الحافظة فإنها تتحرك في أعلاه إلى خلاف التوالي، أربعة امثال حركة | مركز عطارد: وهي في اليوم | ج نو لو م .

[٧] فلا يزال عطارد على الخطّ الخارج | من مركز التدوير | إلى مركز الشامل يقرب من مركز التدوير ويبعد؛ وهو على الخطّ غير خارج عنه. وإذا كان مركز التدوير في الأوج أو الحضيض، كان عطارد في أقرب قربه من مركز تدويره، ويُسمى هذا القرب نصف قطر التدوير المرئي وهو أحد وعشرون جزءًا وثلاثًا جزء. وإذا كان المركز ثلاثة بروج، كان عطارد في أبعد بعده من مركز التدوير،

٤ وهو: وهي [س]. ٤ . ب ر نو ب ح ند ب [أ، ج، د، س] (وكتب المقدار الصحيح في هامش نسخة أ).
٤ وهذه: وهو [د، ج]. ٦ . ب ر نو ب ح ند ب [أ، ج، د، س]. ٧ الكوكب: في الهامش مع إشارة [س].
٧ للذروة: للذروة [س]. ١١ مبتدأ: مبدأ [ج، س]. ١٢ وُجد: وجدت [د، ج]. ١٣ على: عند (ويوجد شيء في الهامش، غير مقروء، مع إشارة إليه) [ج]. ١٦ ا ن ح يو ك: غير مقروء [أ]، ا ح . ب ح ك [د، ج، س]. ١٧ الحافظة فإنها تتحرك: الحافظ فإنه يتحرك [د]. ١٨ م: ل ط [أ، ج، د، س]. ٢٠ أو الحضيض: والحضيض [د، ج]. ٢١ تدويره: تدوير عطارد [س]. ٢٢ وثلاثًا: وثلاث [أ، د]، كا ك [ج].

٢ س ٣١ ظ. ٣ ب ٢٩ ظ. ٣ ٤٧ ٥ ظ. ٤ ج ٣١ و. ٥ ك ٥٠ ظ. ٦ ق ٢٧ و. ٧ أ ٢٨ ظ. ١٧ س ٣٢ و. ١٨ ك ٥١ و. ١٩ ه ٤٨ و. ٢٧ ق ٢٧ ظ.

à vingt-trois degrés et cinquante-deux minutes.

[Figure 13.]

[8] La distance maximale de Mercure au centre du monde est quatre-vingt-six et deux tiers. Sa distance minimale est trente-trois et un tiers¹⁶⁷. Sauf que Mercure n'atteint pas la distance minimale de ses orbes solides, comme nous l'avons expliqué précédemment.

[Figure 14.]

[9] Quant aux dimensions des orbes solides : le rayon de la sphère du déferent est 28;52, le rayon de la sphère du rotateur est 24;47, le rayon de la sphère de l'épicycle est 23;52, le rayon de la sphère de l'englobant est 1;6, le rayon de la sphère du protecteur est 0;33 (tout cela en parts telles que le rayon du parécliptique en compte soixante).

[10] La distance maximale dans le parécliptique est donc quatre-vingt-huit parts et cinquante-deux minutes, avec en plus de cela l'épaisseur du parécliptique ; admettons¹⁶⁸ qu'elle atteint 89;30. La distance minimale de ses orbes est 31;8, et même moins, de [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus ; on la pose égale à 31;0. Dieu est le plus savant.

Chapitre vingt-deux

Les mouvements de Mercure

[1] Leurs conditions initiales à midi du premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazdgard sont de 9 signes et 10;9,0 degrés pour l'origine de Mercure moyen (c'est comme l'origine du Soleil moyen et de Vénus moyen), et de 7 signes et 2;52,0 degrés pour l'auge. L'origine de l'astre propre à cette date est de 5 signes 4;2,0 degrés.

[2] Le mouvement de Mercure moyen est comme le mouvement du Soleil moyen (par an, 11 signes 29;45,40 degrés). Le mouvement de Mercure propre est¹⁶⁹ : en vingt années persanes 11 signes 29;0,20,0 degrés, par an 1 signe 23;57,1, par mois 3 signes 3;12,5,1,

| وهو ثلاث وعشرون درجة واثنان وخمسون دقيقة.

[صورة ١٣.]

[٨] فيكون أبعد بُعد عطارد من مركز العالم ستة وثمانين وثلاثين. وأقرب قُربه ثلاثة وثلاثين وثلاثًا. إلا أن عطارد لا يقرب إلى أقرب قُرب أفلاكه المجسّمة، على ما أوضحنا قبل في غير موضع.

[صورة ١٤.]

[٩] وأما أقدار الأفلاك المجسّمة: فإن نصف قطر كرة الحامل كح نب، ونصف قطر كرة المدير كد مر ونصف قطر كرة التدوير كج نب، ونصف قطر | كرة الشامل او، ونصف قطر | كرة الحافظ . لـج | (الجميع بالأجزاء التي بها نصف قطر الممثل | ستون | جزءًا).
[١٠] فيكون أبعد بُعد الممثل ثمانية وثمانين واثنين وخمسين دقيقة*، وفوق ذلك سمك الممثل؛ ولنفرضه تتمه فط ل. وأقرب قُرب أفلاكه لا ح، وأقلّ من ذلك أ باتصال الفلك؛ فنفرضه لا . . والله أعلم.

| الباب الثاني والعشرون

| في ضبط حركات عطارد

[١] وتقييدها لنصف نهار الثلاثاء أول سنة إحدى وسبع مائة ليزدجرد، أما الوسط | فأصله ط ي ط . (وهو مثل أصل وسط الشمس والزهرة)، والأوج ر ب نب . . وأصل الخاصّة للتأريخ المذكور ه د ب . .

[٢] وحركة الوسط مثل حركة وسط | الشمس (وهي في السنة يا كط مه م). وحركة خاصّة | عطارد: في عشرين سنة فارسيّة يا كط . ك . ، وفي سنة ا كج نرا، وفي شهر ج ب ه ا،

٤ لا: الا [د]. ٤ قُرب: قربه [س]. ٤ موضع: هذا الموضع [د، ج]. ٦ قطر كرة: قطره [د]. ٧-٦ ونصف قطر كرة المدير ... كج نب: ونصف قطر كرة التدوير كج نب ونصف قطر كرة المدير كد مر [ج]. ١٠ ولنفرضه تتمه فط ل: ولنفرض تتمه نظ ل [د]، ولنفرضه نظ ل [ج]. ١١ والله أعلم: ناقص [س، ج]. ١٤ وتقييدها: ونقيّد الأصول [س]. ١٥ أصل: فوق السطر [س].

١ س ٣٢ ظ. ٧ ت ٢١ و. ٧ د ٤١ ظ. ٨ س ٣٣ و. ٨ گ ٥١ ظ. ٨ ب ٣٠ و. ١٢ ج ٣١ ظ، س ٣٣ ظ، ق ٢٨ و. ١٣ أ ٢٩ و، ه ٤٨ ظ. ١٤ گ ٥٢ و. ١٧ ب ٣٠ ظ. ١٧ ج ٣٢ و.

* كتب "أقرب قُربه" في الهامش مع إشارة إلى هذا الموضع ثم شطبه [د]. † كتب ههنا أولًا "نصف قطر الكوكب" ثم ضرب عليه بالقلم [س].

par jour 0 signe 3;6,24,10,1,38,37,29, et par heure 0 signe 0;7,46,0,25. Si l'on retranche le mouvement de l'auge du mouvement moyen, on obtient le mouvement du centre.

[3] La [longitude] vraie de cet astre [se calcule] de la même manière que Saturne vrai.

Chapitre vingt-trois

Calcul de l'équation des astres

[1] Pour calculer la *première équation*¹⁷⁰, pour Saturne, Jupiter, Mars et Vénus, tu prends le sinus du centre et son cosinus, et tu multiplies chacun par le rayon du déférent. Ce que tu obtiens à partir du sinus, appelons-le *base*; ce que tu obtiens avec le cosinus, appelons-le *hauteur*. Puis multiplie le sinus, puis le cosinus, chacun par le rayon du rotateur. Ce que tu obtiens à partir du sinus, ajoute-le à la base si le centre est inférieur à trois signes, et s'il est supérieur à trois signes alors retranche-le¹⁷¹. Appelons *dividende* leur somme ou différence. Ce que tu obtiens à partir du cosinus, retranche-le de la hauteur; ajoute soixante à ce qui reste si le centre est inférieur à trois signes, et s'il est supérieur à trois signes alors retranche ce qui reste de soixante. Mets cela au carré, et ajoutes-y le carré du dividende. Prends la racine carrée du total: tu obtiens la distance du centre de l'épicycle au centre du monde. Divise le dividende que tu as retenu par cela, il en sort le sinus de la première équation. Trouve son arc dans la table des sinus, c'est la première équation. Écris-la en face du degré pour lequel tu l'as calculée, c'est l'équation du centre et du mouvement propre.

[2] Pour calculer la *deuxième équation*¹⁷², tu multiplies le sinus de l'astre propre corrigé (puis son cosinus) par le rayon de l'orbe de l'épicycle de cet astre. Ce que tu obtiens à partir du cosinus, tu l'ajoutes à la distance du centre de l'épicycle au centre du monde pour cet astre (63;25 pour Saturne, 62;45 pour Jupiter, 66 pour Mars, 61;15 pour Vénus, 65 pour Mercure) si l'astre propre corrigé est dans la moitié supérieure de l'orbe de l'épicycle, et tu le retranches si l'astre propre corrigé est dans sa moitié inférieure. Ce qu'on obtient, ajoute son carré au carré du produit

وفي يوم . ج و ك د ي ا | لح ل ر ك ط، وفي ساعة . . ر م و . كه. وإذا أسقطنا حركة الأوج من حركة الوسط، حصل حركة المركز. [٣] وطريق تقويم هذا الكوكب كطريق تقويم زحل.

الباب الثالث والعشرون في حساب تعديل الكواكب

[١] أمّا التعديل الأول لزحل والمشتري والمريخ والزهرة، فحسابه أن تأخذ جيب المركز وجيب تمامه، | وتضرب كل واحد من الجيبين في نصف قطر الحامل لذلك الكوكب منحطاً. فما خرج من جيب المركز، فسّمه الأصل؛ | وما خرج من جيب التمام، فسّمه المقدار. ثم اضرب كل واحد من جيب المركز وجيب تمامه في نصف قطر فلك المدير. فما حصل من جيب المركز، فزده على الأصل إن كان المركز أقل من ثلاثة | بروج، وإن كان المركز أكثر من ثلاثة بروج فنقصه منه. فما بلغ أو بقي فهو المقسوم. وما حصل من جيب التمام، نقصه | من المقدار؛ فما بقي زده على ستين إن كان المركز أقل من ثلاثة بروج، وأنقصه من ستين إن كان المركز أكثر من ثلاثة بروج. فما بقي أضربه في نفسه، وما بلغ زد عليه مضروب المقسوم في نفسه. وخذ جذر الجملة: فهو بُعد مركز التدوير من مركز العالم. فاقسم عليه المقسوم المحفوظ، يخرج | جيب التعديل الأول. قوّسه في جدول الجيب، يخرج التعديل الأول. فأثبت به بإزاء الجزء الذي حسبته له، وهو تعديل المركز والخاصة.

[٢] وحساب التعديل الثاني، أن تضرب جيب الخاصة المعدلة | (وجيب تمامها) في نصف قطر فلك التدوير لذلك الكوكب. فما حصل من جيب التمام، زده على بُعد مركز التدوير من مركز العالم لذلك الكوكب (وهو | لزحل سج كه، وللمشتري سب مه، وللمريخ سو، وللزهرة سا يه، ولعطارد سه ٠) إن كانت الخاصة المعدلة في النصف الأعلى من فلك التدوير، | وأنقص إن كانت الخاصة المعدلة في النصف الأسفل منه. فما حصل، فزد مربّعه على مربّع المتحصّل من

١ . كه: ج كه [د]. ٢ كطريق: مثل [ج]. ٣ تعديل: تعاديل [س، ق]. ٤ في: كتب أولاً "في الآخر" ثم ضرب "الآخر" بالقلم [س]. ٥ فزده: زده [ج]. ٦ المقسوم: المقوم [د، ج] (وكتب "س" فوق السطر في نسخة ج). ٧ بقي: بلغ [ج]. ٨ بلغ: بقي [ج]. ٩ المقسوم: فوق السطر [ج]. ١٠ فائتته: فائتته [أ]. ١١ بإزاء: كتب أولاً "بأجزاء" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب "بإزاء" بعده [س]. ١٢ في النصف الأعلى من: كتب أولاً "وجيب تمامها في نصف قطر" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب في الهامش "في النصف النصف الاعلا من" [س]. ١٣ وأنقص: وأنقصه [ج، س]. ١٤ المعدلة: ناقص [ج]. ١٥ فزد: زد [د، ج].

١ ه ٤٩ و. ٢ أ ٢٩ ظ، ب ٣١، ج ٣٢ ظ، د ٤٢ و، ه ٥٢ ظ، ت ٢١ ظ. ٣ ه ٤٩ ظ. ٤ ه ٥٣ و. ٥ س ٣٤ و. ٦ أ ٣٠ و. ٧ د ٤٢ ظ. ٨ ت ٢٢ و. ٩ ه ٥٣ ظ. ١٠ ه ٥٠ و.

du sinus de l'astre propre par le rayon de l'épicycle (ce produit est le *dividende*) ; prends la racine carrée des deux carrés, et divise le dividende par cela. On obtient le sinus de la deuxième équation pour cet astre. Trouve son arc dans la table des sinus ; écris-le en face de [la valeur] de l'astre propre corrigé pour laquelle tu l'as calculé.

[3] *Remarque*. La racine carrée des deux carrés est la distance de l'astre au centre du monde à cette date, en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante, et le rayon de l'épicycle, 6;30 pour Saturne, 11;30 pour Jupiter, 39;30 pour Mars, 43;33 pour Vénus, et 21;40 pour Mercure (pour ce dernier, c'est le rayon de l'épicycle apparent quand la distance est maximale ou bien minimale¹⁷³).

[4] La *troisième équation*¹⁷⁴ est la variation à distance minimale. Pour la calculer, tu fais comme pour la deuxième équation, mais tu suppose le centre de l'épicycle à distance minimale, c'est-à-dire 56;35 pour Saturne, 57;15 pour Jupiter, 54 pour Mars, 58;45 pour Vénus, et 55 pour Mercure. Tu calcules ensuite selon la méthode pour la deuxième équation. Tu retranches du résultat la deuxième équation pour le même degré, et tu écris la différence en face du degré pour lequel tu as fait ce calcul : c'est la variation à distance minimale, et il faut toujours l'ajouter à la deuxième équation (comme pour la Lune, j'ai déjà indiqué cela).

[5] La méthode pour calculer le *coefficient d'interpolation*¹⁷⁵ est comme je t'ai enseigné pour le calcul du coefficient d'interpolation pour la Lune. J'ai conçu les équations de sorte à ce que la variation s'ajoute [toujours additivement] à la deuxième équation (c'est plus facile ainsi). La méthode pour calculer le coefficient d'interpolation est la suivante. Tu calcules la distance du centre de l'épicycle au centre du monde comme je t'ai enseigné, puis tu calcules le rayon de l'épicycle apparent¹⁷⁶. Tu divises celui-ci par la distance du centre de l'épicycle que tu as calculée. Tu trouves l'arcsinus du résultat dans la table des sinus : c'est l'équation ajustée maximale pour ce degré. Tu en soustrais l'équation maximale à distance maximale pour cet astre. Tu divises la différence par la différence entre l'équation à distance maximale et l'équation à distance minimale. Le résultat est le coefficient d'interpolation.

[6] Il faut bien conduire ce calcul, c'est subtil. Si tu préfères calculer les équations de la manière la plus courante¹⁷⁷, alors tu calcules quand l'épicycle est à distance moyenne, et tu ajoutes à cela la variation à distance minimale, ou bien tu en retranches la variation à distance maximale. Je t'ai aussi expliqué dans le chapitre sur le calcul des équations de la Lune que l'on peut calculer

| ضرب جيب الخاصّة في نصف قطر التدوير (وهو المقسوم)؛ وخذ جذر المربّعين، اقسام عليه المقسوم، يحصل جيب التعديل الثاني لذلك الكوكب. قوسه في جدول الجيب؛ وخذ قوسه وأثبتته بحيال الخاصّة المعدّلة التي حسبت لها.

- [٣] | تنبيه. جذر المربّعين هو بُعد الكوكب في ذلك الوقت من مركز العالم، بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءاً، ونصف قطر التدوير، لزحل و ل، وللمشتري يا ل، وللمريخ ل ط ل، وللزهرة مجد ل ج، | ولعطارد كام (وهو نصف قطر تدويره المرّي في البُعد الأبعد والأقرب).
- [٤] | وحساب اختلاف البُعد الأقرب، | وهو التعديل الثالث، مثل حساب التعديل الثاني، سوى إلا أنّك تفرض مركز التدوير في البُعد الأقرب، وهو لزحل نو له، وللمشتري نزيه، وللمريخ ند، وللزهرة نح مه، ولعطارد نه . . وتحسب على طريق التعديل الثاني. فما حصل أنقص منه التعديل | الثاني لذلك الجزء، فما بقي فائتته بإزاء الجزء الذي حسبت له: وهو اختلاف البُعد الأقرب، وهو يُزاد على التعديل الثاني أبداً | (كما في القمر، وقد نبّهتُ على ذلك).
- [٥] | وطريق حساب دقائق النسب على ما عرفتكم في حساب دقائق النسب للقمر. فإنّي رتبْتُ التعاديل أن يُزاد الاختلاف على التعديل الثاني (فإنّه أسهل). وطريق حساب دقائق النسب أن تحسب بُعد مركز التدوير من مركز | العالم كما عرفتكم، وتحسب نصف قطر التدوير المرّي. واقسمه على بُعد مركز التدوير الذي حسبتّه*. | فما خرج قوسه في جدول الجيب: فما حصل فهو غاية التعديل المحكم في تلك الدرجة. فأنقص منه غاية التعديل في البُعد الأبعد لذلك الكوكب. فما بقي فاقسمه على فضل ما بين التعديل في البُعد الأبعد والبُعد الأقرب. فما خرج فهو دقائق النسب.

[٦] | ويحتاج إلى حسن التصرف إلى حسابه، فإنّ فيه دقّة. وإن اخترت حساب التعاديل على المشهور، فإنّه يُحسب على كون التدوير في البُعد الأوسط، ويُزاد عليه اختلاف البُعد الأقرب، ويُنقص منه اختلاف البُعد الأبعد. وقد عرفتكم في باب حساب تعاديل القمر أنّه يمكن أن يُحسب

٢ وخذ قوسه: ناقص [أ، س]، كُتب "تجد التعديل" في الهامش مع إشارة إلى هذا الموضع [د]. ° ل ط ل: لد ل [د، ج]. ٦ كام: ط م [د، ج] (كُتب كام في هامش نسخة د). ١٠-٩ فما حصل ... الثاني: في الهامش مع إشارة [ج، د]. ١٠ فائتته بإزاء الجزء: قابلته بالجزء [ج]، فائتته الجزء (وكتب "بإزاء" في الهامش) [د]. ١٢ وطريق: وأمّا طريق [ج]. ١٣ رتبْتُ: رأيت [د، ج]. ١٣ حساب دقائق النسب: حسابها [ج]. ١٤ نصف: ناقص [ج، د]. ١٥ الذي: وهو الذي [د، ج]. ١٩ حسن: جنس [ج]. ١٩ إلى: في [ق]. ١٩ التعاديل: التعديل [ج].

١ ق ٢٨ ظ. ٤ س ٣٤ ظ. ٦ ج ٣٣. ٧ ب ٣١ ظ. ١٠ گ ٥٤. ١١ أ ٣٠ ظ. ١٤ ه ٥٠ ظ. ١٥ س ٣٥.و.

* أمّا صفحة ٣٥ فهي ناقصة في نسخة س ونستعلم نسخة ق عوضها.

une table unique pour corriger la Lune. De même pour chaque astre : on peut faire une équation unique pour corriger chacun sans équation du centre ni équation de [l'astre] propre.

Chapitre vingt-quatre

Les latitudes des trois planètes supérieures : Saturne, Jupiter et Mars

[1] Dans la configuration de chacune d'elles, on a vu que l'inclinaison maximale¹⁷⁸ de l'orbe incliné par rapport au parécliptique est : deux parts et demi pour Saturne, une part et demi pour Jupiter, et une part pour Mars.

[2] À présent, j'affirme qu'on a aussi trouvé ceci par l'observation : quand le centre de l'épicycle est à la moitié de l'arc d'orbe incliné situé entre les nœuds (*i. e.* là où l'inclinaison de l'orbe incliné par rapport au parécliptique est maximale, vers le nord), l'inclinaison maximale du plan de l'épicycle par rapport à l'orbe incliné vaut quatre parts et demi pour Saturne, deux parts et demi pour Jupiter, et deux parts un quart pour Mars. Par l'observation, on a trouvé qu'alors le rayon passant par l'apogée¹⁷⁹ et le périégée de l'épicycle avait son extrémité à l'apogée comprise entre l'orbe incliné et le parécliptique, et son extrémité au périégée incliné du même côté que l'orbe incliné. Le rayon perpendiculaire au rayon mentionné est alors parallèle au plan de l'écliptique.

[3] Puis on a observé quand le centre de l'épicycle est situé aux nœuds : on a trouvé que les plans des trois cercles¹⁸⁰ étaient dans le plan du parécliptique, c'est-à-dire le plan de l'écliptique. En effet, on a trouvé que la latitude des astres était nulle quand le centre de l'épicycle est à la tête ou bien à la queue, et que l'astre est en un point quelconque de l'orbe de l'épicycle.

[4] J'en déduis que les diamètres passant par les apogées ne sont pas constamment situés dans les plans des orbites inclinés, ni dans les plans des parécliptiques, sauf quand les centres des épicycles sont en l'un des nœuds. Après [un passage au nœud ascendant] les apogées des planètes supérieures s'inclinent toujours du côté du plan de l'écliptique, et leurs périégées du côté opposé. Leur inclinaison augmente jusqu'à un maximum atteint au milieu de l'arc compris entre les deux nœuds, puis elle décroît jusqu'à disparaître au deuxième nœud. Puis l'apogée commence à s'incliner vers le plan de l'écliptique, et le périégée du côté opposé ; cette inclinaison augmente jusqu'à atteindre son maximum au milieu de l'arc compris entre les deux nœuds, puis elle diminue jusqu'à disparaître au nœud ascendant ; et la chose recommence depuis le début.

[5] L'apogée, après s'être éloigné des nœuds, reste toujours entre les deux ceintures ; pour le périégée c'est le contraire. Cela a pour effet de diminuer les latitudes des apogées et d'augmenter les latitudes des périégées. Si la distance du centre de l'épicycle au centre de l'écliptique varie, alors l'inclinaison

جدول واحد يُقوّم منه القمر. وعلى تلك الجهة يمكن أن يُعمل لكلّ كوكبٍ تعديل واحد يُقوّم به | من غير تعديل مركز ولا خاصّة فتفهّمه من هناك.

الباب الرابع والعشرون

في عروض الكواكب الثلاثة العلويّة زحل والمشتري والمريخ

- ٥ [١] قد تقدّم في هيئة أفلاك كلّ واحد منهم أنّ غاية ميل الفلك المائل عن سطح الممّثل: لزحل جزآن ونصف، وللمشتري جزء ونصف، وللمريخ جزء واحد.
- [٢] وأقول أنّه وُجد بالرصد أيضًا أنّ غاية ميل سطح التدوير عن المائل، وذلك إذا كان مركز التدوير في منتصف | ما بين العقدتين، وذلك عند نهاية ميل المائل عن الممّثل في الشمال: لزحل أربعة أجزاء ونصف، وللمشتري جزآن ونصف، وللمريخ جزآن ورُبع. ورصدت | هناك فُوجد القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه طرفه الأوجي بين المائل والممّثل، وطرفه | الحضيضي مائل إلى الجهة التي فيها ميل المائل، والقطر القائم | على القطر المذكور موازٍ لسطح البروج.
- ١٠ [٣] ثمّ رصدت إذا كان مركز التدوير في العقدتين، فُوجدت سطوح الدوائر | الثلاثة في سطح الفلك الممّثل، أعني | سطح فلك البروج. فإنّها وُجدت عديمة العرض إذا كان مركز التدوير في الرأس أو الذنب والكوكب في أيّ نقطة فُرُضت من فلك التدوير.
- ١٥ [٤] فأجمع من ذلك أنّ الأقطار المارّة بالذرى لا تثبت | في سطوح الأفلاك المائلة، ولا في سطوح الممّثلة، إلّا إذا كان مراكز تدويرها في إحدى العقدتين. وبعد ذلك تميل ذرى العلويّة أبدًا إلى جهة سطح البروج وحضيضها إلى خلافها. وتزداد ميلها، وتنتهي إلى غايتها في منتصف ما بين العقدتين، ثمّ يأخذ الميل في التراجع إلى أن ينعدم عند العقدة الثانية. ثمّ يبتدي ميل الذرّة عن الممّثل إلى جهة سطح البروج، والحضيض إلى خلافه؛ ويأخذ الميل في التزايد إلى أن يبلغ غايته عند منتصف ما بين العقدتين، ثمّ يتناقص إلى أن ينعدم عند الرأس؛ ويعود الأمر من الأوّل.
- ٢٠ [٥] وكون الذرّة بعد مفارقة العقدتين فيما بين المنطقتين أبدًا، دون الحضيض، | يقلّ عروض الذرى، ويكثر عروض الحضيضات. وإذا اختلف بُعد مركز التدوير من مركز البروج، اختلف ميل
- ٢ تفهّمه: غير مقروء [أ].^٤ والمشتري والمريخ: والمريخ والمشتري [ق].^٥ منهم: منها^٩ فُوجد: فُوجدت [ج، د].
 ١٢ الدوائر: التدوير [ق].^{١٤} أو: و [د].^{١٤} أيّ: ناقص [ج].^{١٥} فأجمع: فاجتمع [ج، ق].^{١٥} تثبت: تثبتت (؟) [ج]، يثبت [ق].^{١٦} مراكز تدويرها: مراكزها (وكُتب "تدوير" في الهامش) [ج، د].^{١٦} تميل: يميل [ج].^{١٧} وتزداد: يزداد [ق].^{١٧} وتنتهي: ينتهي [ج، ق].^{١٨} عند: في [ج].^{٢١} يقلّ: تقلّ [ج، س].^{٢٢} ويكثر: وتكثر [ج، د، س].

٢ گ ٥٤ ظ. ٨ ج ٣٣ ظ. ٩ ب ٣٢ و. ١٠ هـ ٥١ و. ١١ د ٣ و. ١٢ ت ٢٢ ظ. ١٣ أ ٣١ و. ١٥ گ ٥٥ و. ٢١ س ٣٦ و.

de l'apogée et du périhélie par rapport au centre de l'écliptique varie aussi : si la distance du centre de l'épicycle augmente, alors l'inclinaison de l'apogée décroît, et inversement.

[6] Le nœud ascendant de Saturne au début de l'année sept cent neuf du calendrier persan est à cinq parts du Lion, le nœud ascendant de Jupiter à vingt et une parts du Cancer, et le nœud ascendant de Mars à dix-huit parts du Taureau. Pour chaque astre, le nœud descendant est à l'opposé du nœud ascendant. Un quart de cercle après le nœud ascendant se situe la latitude maximale vers le nord ; c'est pour Saturne 2;4 quand il est à l'apogée de l'épicycle et 3;3 quand il est au périhélie¹⁸¹ pour Jupiter 1;6 quand il est à l'apogée et 2;4 quand il est au périhélie, et pour Mars 0;7 quand il est à l'apogée et 4;21 quand il est au périhélie. Un quart de cercle après le nœud descendant se situe la latitude maximale vers le sud ; c'est pour Saturne 2;2 quand il est à l'apogée de l'épicycle et 3;5 quand il est en son périhélie, pour Jupiter 1;5 quand il est à l'apogée de l'épicycle et 2;8 quand il est au périhélie, et pour Mars 0;3 quand il est à l'apogée de l'épicycle et 7;7 quand il est en son périhélie.

[7] Sache que, concernant le problème des latitudes, ces fondements sont des fondements nécessaires trouvés par l'observation, certains ayant aussi été confirmés par le calcul ; on ne peut aucunement s'en passer. Ni Ptolémée ni Hipparque, ni aucun autre des anciens, ni aucun des modernes jusqu'à nos jours, n'a pu faire cela : donner à l'astronomie des fondements simples et vrais qui suffisent à la fois pour les mouvements en longitude et pour les mouvements en latitude. Ptolémée n'a pas pu imaginer de fondements suffisants pour les mouvements en latitude ; que l'on ait, ou non, de l'indulgence pour la théorie classique des mouvements en longitude, on ne peut avoir aucune indulgence pour les mouvements en latitude.

[8] Quand le centre de l'épicycle est au milieu de l'arc compris entre les nœuds, que le plan de l'épicycle est incliné par rapport au plan de l'orbite incliné (comme je l'ai dit et comme on l'a trouvé par l'observation) et que l'orbite incliné tourne en direction du nœud, alors il faut que l'épicycle ne cesse d'être incliné par rapport au plan de l'orbite incliné, y compris au nœud. Nous avons certes vérifié par l'observation que le plan de l'épicycle n'est pas incliné par rapport au plan de l'écliptique et qu'eux deux ont une latitude nulle. Inversement, après que l'épicycle a été dans le plan de l'écliptique et quand il parcourt l'arc compris entre les nœuds, il présente une forte inclinaison.

الذروة والحضيض عند مركز البروج: وإذا زاد بُعد مركز التدوير، نقص ميل الذروة، وعكسه. [٦] ورأس زحل في أول سنة تسع وسبعمائة فارسيّة في خمسة أجزاء من الأسد، | ورأس المشتري في الجزء الحادي والعشرين من السرطان، ورأس المريخ في الجزء الثامن عشر من الثور، وذنّب كلّ كوكب مقابلة رأسه. وبعد الرأس برُبع | دور تكون نهاية العرض الشمالي، وهو لرحل إن كان في الذروة من التدوير ب د وإن كان في الحضيض منه ج ج، وللمشتري إذا كان في الذروة أ و وفي | الحضيض ب د، وللمريخ إذا كان في الذروة | ر و. وإذا كان في الحضيض د كآ. وبعد الذنب برُبع دائرة تكون نهاية العرض الجنوبي؛ وهو لرحل إذا كان في ذروة التدوير ب ب وإن كان في حضيضه ج ه، وهو للمشتري | إذا كان في الذروة من التدوير أ ه وإن كان في الحضيض ب ح، وهو للمريخ إذا كان في ذروة التدوير . ج وإذا كان في الحضيض منه ر، والله أعلم. ١٠

[٧] اعلم أنّ هذه الأصول التي ذكرتها في أمر عروض هذه الكواكب ضروريّة وُجدت بالرصد ودلّ على بعضها الحساب؛ | فلا يجوز الخروج عن كليتها. ولم يمكن بطلميوس وإبرخس ولا غيرهم من المتقدمين والمتأخرين قاطبةً إلى يومنا هذا وضع هيئة على أصولٍ بسيطةٍ صحيحةٍ تفي بالحركات الطوليّة والعرضيّة. ولم يمكن بطلميوس توهم أصولٍ تفي بالحركات العرضيّة. من غير تساهلٍ ومن تساهلٍ ومشى بالحركات الطوليّة على الهيئة المشهورة، لم يمكن التساهل في الحركات العرضيّة. ١٥

[٨] | فإنّه إن فرض مركز | التدوير في منتصف ما بين العقدين وفرض سطح التدوير مائل عن سطح المائل (على ما قلته وهو الموجود بالرصد) ودار المائل إلى العقدة، فيلزم أن يزال سطح التدوير مائلاً عن المائل، وفي العقدة أيضًا. وقد وجدنا بالرصد سطح التدوير غير مائل عن سطح البروج، وعدم العرض فيهما. وكذا عكسه، أعني إن فرض التدوير في سطح البروج ودار إلى ما بين العقدين، وُجد له ميل ليس بالقليل. ٢٠

٤ كوكب: كتب أولًا "واحد كوكب" ثم ضرب على "واحد" بالقلم [أ]. ° إن: إذا [ج]. ° وللمشتري: والمشتري [ج]، [د]. ° وفي: وإذا كان في [ج]. ° دائرة: دور [ج]. ° إذا: إن [س]. ° وإن: وإذا [د]. ° ناقص [أ]. ١٠-٩ منه ر: في الهامش مع إشارة [أ]. ١٠ والله أعلم: ناقص [أ، س]. ١٢ الحساب: بالحساب [ج]. ١٢ بطلميوس وإبرخس: إبرخس وبتلميوس [ج، س]، إبرخس ولا بتلميوس [د]، كتب "إبرخس" فوق السطر قبل "بتلميوس" وبعده أيضًا [أ]. ١٣ غيرهم: غيرهما [د]. ١٤-١٥ من غير تساهل: غير مقروء [د]. ١٥ ومن تساهل: ناقص [ج]. ١٧ مائل: مائلاً [ج، د]. ١٩ العقدة: العقدين [س]. ١٩ وجدنا: وُجد [س]. ٢٠ وعدم: وعديم [س]. ٢١ وُجد: ووجد [ج، د]. ٢ ه ٥١ ظ. ٤ ه ٥٥ ظ. ٦ ج ٣٤ و. ٦ ق ٢٩ ظ. ٨ ب ٣٢ ظ. ١٢ أ ٣١ ظ. ١٧ ه ٥٢ و. ١٧ ه ٥٦ و.

[9] Le rapprochement de la ceinture de l'épicycle et de la ceinture de l'orbe incliné, sans un mobile qui perturbe les mouvements en longitude, dans l'astronomie classique de l'*Almageste* et des « Hypothèses » concernant les corps mus en latitude, est impossible. Ce dont se sont efforcés Ptolémée et ses successeurs comme Ibn al-Hayṭam dans son « Épître », Naṣīr al-Ṭūsī dans son « Mémoire », Mu'ayyad al-'Urḍī dans son « Astronomie », Quṭb al-Šīrāzī dans son *Muntabā al-'adwār*¹⁸², et ce que quiconque a repris de leurs propos dans son livre (sans compter l'extension qu'on leur a donné, et la gloire qu'on s'est faite du « fondement innovant¹⁸³ »), rien de tout cela ne suffit au but visé pour la longitude et la latitude, et quand cela convient pour l'une, cela pêche pour l'autre. Que Dieu pardonne à ceux qui ont ici admis leur faiblesse.

[10] À la fin de ce qu'a dit Quṭb al-Dīn, il a dit (que Dieu aide celui qui examine son livre) qu'il avait trouvé une manière parfaite de tout définir et d'éliminer les défauts qui restent dans ce que nous avons mentionné (c'est Dieu qui inspire la lumière et il guide sur le droit chemin); mais Ptolémée avait déjà dit des choses semblables; la connaissance appartient à ceux qui la mentionne [en premier].

[11] Sache que la raison empêchant de se débarrasser des doutes dans l'astronomie connue est que le principe de cette astronomie est faux; il est donc nécessaire de changer complètement ces fondements pour les amener à une position sauve du doute et qui satisfasse au problème posé, si c'est possible, comme nous l'avons fait.

[12] Dès lors que nous avons conçu la configuration des orbes de la manière susdite, que nous en sommes venus aux latitudes de ces astres, et que nous avons rapporté ce qu'on a trouvé par l'observation concernant leurs latitudes et leurs inclinaisons, nous avons trouvé que ceci était en accord avec notre conception des orbes et de leurs mouvements; ceci se montre par ce que je vais expliquer ici¹⁸⁴.

[13] Supposons que, quand le centre du déférent et du rotateur sont au milieu de l'arc compris entre les nœuds, le diamètre du déférent est incliné par rapport à l'orbe incliné du côté où se trouve l'inclinaison du périégée de l'épicycle et que son inclinaison est chez Saturne trois parts et demi; le rotateur de Saturne est incliné par rapport au plan de son déférent d'une seule part. L'orbe déférent de Mars est incliné par rapport au plan de l'orbe incliné d'un degré et demi et un huitième, et l'épicycle de Mars est incliné par rapport au plan de l'orbe déférent d'une demi-part et un huitième. Enfin, le diamètre de l'orbe déférent de Jupiter est incliné par rapport au plan de l'orbe incliné de deux parts, et le diamètre de l'épicycle de Jupiter est incliné par rapport au plan du déférent de Jupiter d'une demi-part.

[٩] وتقارُب منطقة التدوير من منطقة المائل من غير محرّك لا يخلّ بالحركات الطوليّة على الهيئة المشهورة في المجسطي والاقتصاص في أمر الأجسام المحرّكة في العرض محال. وما تكلفه بطلميوس ومن بعده كابن الهيثم في رسالته، | والنصير الطوسي في تذكرته، والمؤيد العرضي في هيئته، والقطب | الشيرازي في منتهى أدواره وما نقله من نقله من أقاويل من ذكرهم في كتابه (ولا ما أظن ما فيه وافتخر به من الأصل الإبداعي) | لا يفي بالمقصود في الطول والعرض، فإنّه إن وافق في أحدهما، خلّ في الأخرى؛ على | أنّهم رحمهم الله اعترفوا بالعجز عن ذلك.

[١٠] فإنّ قطب الدين قال آخر ما قاله (ولعلّ الله أن يوفق الناظر في هذا الكتاب) أن يستنبط وجهًا تامًّا يحدّ جميعها أو يزيل الخلل الباقي في ما ذكرناه | (أنّه ملهم الصواب والهادي إلى سواء الصراط)؛ وقد قال بطلميوس في غير مكان ما هذا | يقرب من معناه؛ على أنّ المذكورين انتهى إليهم هذا العلم وإليهم ينسب.

[١١] واعلم أنّ سبب امتناع إزالة ما في الهيئة المشهورة من الشكوك، هو أنّ مبدأها على غير وضعٍ | صحيح طبيعيّ، فلا بدّ من تعيُّر جملة تلك الأصول إلى وضع صحيح لا يدخل عليه | شكّ ويحصل به المطلوب، إن أمكن، كما فعلنا.

[١٢] فإنّا لما توهمنا هيئة الأفلاك على الوجه الذي ذكرناه، وانتهينا إلى عروض هذه الكواكب، ونقلنا ما وجدنا بالرصد من عروضها | وميل أفلاكها، وجدنا ذلك موافقًا على ما توهمناه من الأفلاك والحركات. وذلك يتبين بما أوضحه هاهنا.

[١٣] فأقول نفرض، إذا كان مركز الحامل والمدير في منتصف ما بين العقدتين، وقطر الحامل مائل عن المائل إلى الجهة التي وُجد ميل حضيض التدوير فيها، أمّا لزحل فثلاثة أجزاء ونصف؛ والمدير لزحل مائل عن سطح الحامل له جزء واحد. والفلك الحامل للمريخ مائل عن | سطح المائل درجة ونصف وثمن، وتدوير المريخ مائل عن سطح الفلك الحامل نصف وثمن جزء. وقطر الفلك الحامل للمشتري مائل عن سطح الفلك المائل جزأين، | وقطر تدوير المشتري مائل عن سطح الحامل للمشتري نصف جزء.

٤ وما: و [أ، د، ج]. ٤ من نقله: ناقص [س]. ٥ ما: ناقص [س، أ، د، ج]. ٥ وافخر به: غير مقروء [أ]. ٥ لا: ناقص [أ، ج، د]. ٦ أحدهما: إحداهما [د]. ٨ يحدّ: يجد [ج، د]. ٨ الخلل الباقي: الباقي (وكُتب "الخلل" فوق السطر) [ج]. ٨ ملهم: يلهم [أ، ج]. ٨ إلى: ناقص [س]. ٩ الصراط: الطريق [ج، د]. ٩ ما هذا يقرب: غير مقروء [أ]. ١٠ انتهى إليهم: إليهم انتهى [س]. ١٢ تعيُّر: تغيير [ج]. ١٤ ذكرناه: ابتكرناه [ج]. ١٤ هذه: فوق السطر [س]. ١٦ هاهنا: ههنا [د، ج]. ١٩ جزء واحد: جزءًا واحدًا [ج]. ٢٠ نصف: كتب "نصف قطر" ثم شطب "قطر" بالقلم [س].

٣ ت ٢٣. ٤ د ٤٣ ظ. ٥ س ٣٧. ٦ ج ٣٤ ظ. ٨ گ ٥٦ ظ. ٩ ه ٥٢ ظ. ١٢ ب ٣٣. ١٣ ق ٣٠. ١٥ أ ٣٢. ١٩ س ٣٧ ظ. ٢١ گ ٥٧. ١٥

[14] Faisons se mouvoir les orbés autour de leurs centres en donnant à chacune son mouvement simple de la grandeur supposée dans le sens supposé. Quand l'orbé incliné se meut d'un quart de cercle, le déférent se meut d'un quart de cercle aussi, le rotateur se meut d'un demi-cercle, et l'inclinaison change de côté : l'inclinaison de l'épicycle passe du côté opposé à l'inclinaison du déférent et le plan de l'épicycle vient dans le plan de l'écliptique¹⁸⁵. En effet on a posé l'inclinaison du déférent égale à la somme de l'inclinaison de l'orbé incliné et de l'inclinaison de l'épicycle. Or quand s'inverse l'inclinaison de l'épicycle il faut soustraire l'inclinaison de l'épicycle de l'inclinaison du déférent, il reste l'excédent de l'inclinaison de l'orbé déférent sur l'inclinaison de l'épicycle, et cet excédent est de la grandeur de l'inclinaison de l'orbé incliné ; le centre du déférent étant arrivé au nœud, il a atteint le plan de l'écliptique, et le plan de l'épicycle est donc dans le plan de l'épicycle. Ceci est évident.

[15] Sache que la somme de l'inclinaison du déférent et de l'inclinaison de l'épicycle a été posée égale à l'inclinaison, observée, de l'épicycle par rapport au plan de l'orbé incliné, et que la différence entre l'inclinaison du déférent et l'inclinaison de l'épicycle a été posée de la grandeur de l'inclinaison de l'orbé incliné. De là, tu sais aussi que, quand les deux inclinaisons s'ajoutent, elles atteignent un maximum et c'est au milieu de l'arc compris entre les nœuds ; mais quand elles sont opposées, leur différence est l'inclinaison de l'orbé incliné, on est aux nœuds, et l'épicycle est dans le plan de l'écliptique. Comme on a supposé l'épicycle dans le plan de l'écliptique à cause de l'observation, cette notion est donc juste.

[Figure 15.]

[16] Pour démontrer cela¹⁸⁶, menons la droite AB dans le plan de l'écliptique et soit B le centre de l'écliptique. En soit issue la droite BH inclinée par rapport à AB comme l'inclinaison de l'orbé incliné par rapport au plan de l'écliptique. Traçons la droite ĜHD supposée diamètre de l'orbé déférent ; du point H, menons aussi la droite ZĤ supposée diamètre de l'épicycle et formant un angle SHZ somme des deux inclinaisons quand elles sont du même côté (au milieu de l'arc entre les nœuds). Quand le centre du déférent se déplace vers le point B, le diamètre du déférent CD garde son inclinaison et devient la droite QS. Si le diamètre de l'épicycle gardait alors son inclinaison, la droite ZĤ deviendrait la droite OK ; mais si le rotateur tourne d'un demi-cercle, alors l'inclinaison du diamètre OK par rapport au diamètre SQ passe de l'autre côté, l'angle QBK devient l'angle A'BQ, et le diamètre de l'épicycle (la droite OK) vient coïncider avec le plan de l'écliptique. Il en est ainsi car la somme des deux inclinaisons est comme l'inclinaison de l'épicycle, et l'excédent de l'inclinaison du déférent sur l'inclinaison de l'épicycle est comme l'inclinaison de l'orbé incliné. On a déjà dit cela.

[١٤] ثم تتحرك الأفلاك بما لها من الحركات البسيطة حول مراكزها بالمقدار الذي فرض لها إلى الجهات التي فرضت. فإذا تحرك المائل رُبع دور، وتحرك الحامل رُبع دور أيضاً، وتحرك المدير نصف دور، انقلب الميل إلى الجهة الأخرى: فصار جهة | ميل التدوير في خلاف جهة ميل الحامل وصار سطح التدوير في سطح البروج. لأن ميل الحامل جعلناه مثل ميل المائل ومثل ميل التدوير. فإذا انعكس ميل التدوير صار ميل التدوير ناقصاً عن ميل الحامل، فيبقى فضل ميل الحامل عن ميل التدوير، وذلك الفضل | بقدر ميل المائل؛ ومركز الحامل وقد وصل إلى العقدة، فقد ماس سطح البروج فيكون لذلك سطح التدوير في سطح البروج. وذلك ظاهر فتأمل.

[١٥] واعلم أن مجموع ميل الحامل وميل التدوير جعلناه مثل ميل التدوير عن سطح المائل المرصود، وفضل ميل الحامل عن ميل التدوير بقدر ميل المائل. فمن هنا تعلم أيضاً أنه، إذا اجتمع الميلان، كان الميلان في الغاية وذلك في منتصف ما بين العقدتين؛ وإذا اختلف الميلان، كان الباقي بقدر ميل المائل، وذلك عند العقدتين، فيكون التدوير | في سطح البروج. | وهكذا فرض التدوير في سطح البروج بالرصد، هكذا يكون التصور الصحيح.

[صورة ١٥.]

[١٦] ويُخطّ | لبيان ذلك خطّ $\overline{اب}$ في سطح البروج، ونفرض $\overline{ب}$ مركز البروج. ويخرج منه خطّ $\overline{ب ه}$ مائل عن $\overline{اب}$ بقدر ميل المائل عن سطح البروج. ويخرج خطّ $\overline{ج ه د}$ ونفرضه قطر الفلك الحامل؛ ويخرج من نقطة $\overline{ه}$ خطّ $\overline{ز ط}$ ونفرضه قطر | التدوير لزواية $\overline{س ه ز}$ مجموع المييلين والميلان في جهة واحدة | (عند منتصف | ما بين | العقدتين). فإذا انتقل مركز الحامل الذي هو نقطة $\overline{ب}$ ، كان قطر الحامل هو خطّ $\overline{ج د}$ باقي على ميله ويصير كأنه خطّ $\overline{ق ص}$. | فإذا فرضنا بقي قطر التدوير على ميله، فيصير خطّ $\overline{ز ط}$ كأنه خطّ $\overline{ع ك}$ ؛ فإذا دار المدير نصف دائرة، صار ميل قطر $\overline{ع ك}$ عن قطر $\overline{ص ق}$ في الجهة الأخرى، وصارت زاوية $\overline{ق ب ك}$ مثل زاوية $\overline{لا ب ق}$ فطابق قطر التدوير (الذي هو خطّ $\overline{ع ك}$) لسطح البروج. وذلك لكون مجموع ميل الحامل والمائل مثل ميل التدوير وفضل ميل الحامل على ميل التدوير بقدر ميل المائل. وقد تكرر ذلك.

^٢ دور: دورة [د، ج]. ^٥ عن: من [س]. ^٥ فيبقى: فبقي [أ]. ^٧ ماس: كتب أولاً "ما بين" ثم شطب "بين" بالقلم وكتب فوقه "س" [ج]. ^٩ تعلم: يعلم [د، ج]. ^{١١} وهكذا: غير مقروء [س]. ^{١٢} بالرصد: فوق السطر [س]. ^{١٥} $\overline{ب ه}$: $\overline{اد}$ [أ، ج، س]. ^{١٨} هو: وهو [أ، س]. ^{١٩} بقي: بقي [أ، د، ج]. ^{١٩} فيصير: فنصف [أ، د، ج، س]. ^{٢٠} ميل: مثل [د، ج]. ^{٢٠} وصارت: وصار [س]. ^{٢٢} وفضل: وفضل ميل التدوير وفضل [أ، ج، د]، وفضل ميل التدوير وفضل ميل الحامل على ميل التدوير [س].

^٣ ه ٥٣. ^٦ ج ٣٥. ^{١١} ك ٥٧. ^{١١} س ٣٨. ^{١٤} ب ٣٣. ^{١٦} أ ٣٢. ^{١٧} ت ٢٣. ^{١٧} ق ٣٠. ^{١٧} ه ٥٣. ^{١٨} د ٤٤. و.

[17] Attention, quand on dit que le centre arrive aux nœuds, il faut comprendre : le centre corrigé.

[18] *Remarque.* Si nous avons posé l'inclinaison du déferent de la même grandeur que l'inclinaison de l'épicycle, c'est-à-dire toutes deux de la grandeur de l'inclinaison de l'épicycle trouvée par l'observation, alors après rotations du déferent d'un quart de cercle et du rotateur d'un demi-cercle le plan de l'épicycle serait dans le plan de l'orbe incliné ; c'est évident. Or l'observation confirme que c'est le plan de l'écliptique et non le plan de l'orbe incliné. La plupart des modernes – Naṣīr al-Ṭūsī, Mu'ayyad al-'Urḏī, Quṭb al-Šīrāzī – ont pensé que la latitude s'annulait quand c'est le plan de l'orbe incliné : c'est impossible puisque le plan de l'épicycle resterait alors incliné par rapport au plan de l'écliptique. C'est très clair ; cependant les observateurs ont dit qu'il est soit dans le plan de l'écliptique soit proche de celui-ci, et ils n'ont pas vérifié avec certitude qu'il est exactement dans le plan de l'écliptique.

[19] *Deuxième remarque.* Si l'on avait trouvé par l'observation que l'inclinaison de l'épicycle par rapport à l'orbe incliné était de la grandeur de l'inclinaison de l'orbe incliné par rapport au parécliptique, il aurait suffi de supposer le plan de l'épicycle incliné de la grandeur trouvée par l'observation ; alors, après rotation du déferent d'un quart de cercle et rotation, dans le même temps, du rotateur, d'un demi-cercle, l'inclinaison de l'épicycle s'inverserait, et il passerait dans le plan de l'écliptique. Or on a trouvé par l'observation que l'inclinaison de l'épicycle est différente de l'inclinaison de l'orbe incliné. À cause de cela, nous avons déduit les inclinaisons des déferents et des épicycles de sorte que la somme des deux inclinaisons soit comme l'inclinaison, observée, de l'épicycle, et que la différence des deux soit comme l'inclinaison de l'orbe incliné. Ce que nous avons accompli est correct.

[20] *Troisième remarque.* Puisqu'on a découvert par l'observation que l'inclinaison maximale de l'épicycle par rapport à l'orbe incliné est atteinte au milieu de l'arc entre les nœuds, que là se trouve la dernière latitude nord, et que ce lieu est, chez Mars, le lieu de l'auge, alors les diamètres du déferent et de l'épicycle passant par l'apogée et le périégée coïncident avec la droite issue du centre de l'écliptique et passant par le lieu de la dernière latitude nord (c'est-à-dire le milieu de l'arc entre les nœuds) : car ce lieu est le lieu de l'auge chez Mars.

[21] Puisque le lieu de la dernière latitude nord qui est milieu de l'arc entre les nœuds suit le lieu de l'auge chez Jupiter de vingt parts d'après Ptolémée et vingt-huit parts d'après nos observations, et qu'il précède le lieu

[١٧] ويجب أن يُستعمل المركز المعدّل لا المطلق، وذلك حين وصول مركز التدوير | إلى العقدين؛ فافهم ذلك.

[١٨] تنبيه. لو جعلنا ميل الحامل بقدر ميل التدوير، ومجموع الميلين بقدر ميل التدوير الموجود بالرصد، كان، إذا تحرك الحامل | رُبع دور والمدير نصف دور أيضاً، صار سطح التدوير في سطح المائل؛ وهذا ظاهر. وإنما شهد الرصد بأنه يصير في سطح البروج | لا في سطح المائل. وغالب المتأخرين كالنصير الطوسي والمؤيد العرضي والقطب الشيرازي توهموا أنه، إذا صار في سطح المائل، انعدم العرض: وذلك محال لبقاء ميل سطح التدوير عن سطح البروج. وهذا غاية الوضوح؛ على أن الرصد ذكروا إنه يكون أمّا في سطح البروج | أو قريب من ذلك، فإنه لم يتحقّق لهم أنه في سطح البروج مطلقاً.

[١٩] تنبيه ثانٍ. لو كان وجد بالرصد أن ميل التدوير عن المائل بقدر ميل المائل عن الممثل كان يكفي أن يفرض سطح التدوير مائل بقدر الموجود بالرصد، فإذا تحرك الحامل رُبع دائرة، وتحرك في ذلك الزمان المدير نصف دائرة، صار ميل التدوير في خلاف الجهة التي كان فيها الميل؛ فصار في سطح البروج. وإنما وُجد بالرصد ميل التدوير مخالف لميل المائل. فمن أجل ذلك، استنبطنا مقادير ميول الحوامل والتداوير بحيث كان مجموع الميلين مثل ميل التدوير في الرصد، وفضل الميلين | بقدر ميل المائل. فصحّ ما قضيناه.

[٢٠] تنبيه ثالث. لمّا كان الموجود بالرصد، أن نهاية ميل التدوير عن المائل عند منتصف ما بين العقدين، وهناك | وُجد نهاية العرض الشمالي، وكان هذا الموضع في المريخ موضع أوجه، كانت قطرا الحامل والتدوير المارّين بالأوج والحضيض هي مطابقة للخارج من | مركز البروج المارّ بموضع | نهاية العرض الشمالي (أعني منتصف ما بين العقدين): وذلك لكون ذلك الموضع في موضع أوج المريخ.

[٢١] ولمّا كان موضع نهاية العرض الشمالي الذي هو منتصف ما بين العقدين للمشتري بعد موضع أوجه عند بطلميوس بعشرين جزءاً وبرصدنا بثمانية وعشرين جزءاً، ولزحل قبل موضع

٤ أيضاً: ناقص [س]. ٤ التدوير: كتب "الحامل" ثمّ ضربه بالقلم وكتب "التدوير" [س]. ° وهذا: وهو [ج]. ١١-١٠ ميل المائل ... مائل بقدر: ناقص [أ، ج، د]. ١١ الحامل: المائل [ج]. ١٢ ميل: مثل [ج]. ١٢ التي: الذي [س]. ١٥ قضيناه: فضيناه [أ]. ١٦ المائل: كتب "لعله البروج" في هامش السطر الذي يبدأ بهذه الكلمة [د]. ١٧ وكان هذا: وهذا (وكتب "كان" فوق السطر) [د]. ١٧ في: من [د، ج، س]. ١٨ كانت: كان [د، ج]. ١٨ قطرا: قطري [أ، ج، د، س]. ١٨ المارّين: مارّين [أ، ج، د]. ١٨ هي: هو [ج، د].

١ گ ٥٨. ٤ س ٣٨ ظ. ٥ ج ٣٥ ظ. ٨ ه ٥٤ و. ١٥ گ ٥٨ ظ. ١٦ ب ٣٤ و. ١٧ أ ٣٣ و. ١٨ ق ٣١ و. ١٩ س ٥٠ و.

de l'auge chez Saturne de cinquante parts, alors le diamètre dans les dernières latitudes n'est pas celui passant par l'apogée du déferent et par l'apogée du rotateur.

[22] Si nous supposons que les orbes sont à l'auge, puis qu'ils se meuvent, le déferent se mouvant de vingt parts, et le rotateur, du double, alors l'apogée du déferent se déplace de vingt parts dans le sens des signes et devient le point D, et le diamètre HT se devient celui où se situent les dernières latitudes ; le rotateur ayant tourné du double de cela, son apogée devient le point W tel que l'arc DH soit comme l'arc HW, et le diamètre [du rotateur] coïncidant¹⁸⁷ avec la droite HT se situe aux dernières latitudes. On fait de même pour Saturne : posons que les orbes se meuvent à l'envers et reviennent au lieu situé cinquante parts avant l'auge de Saturne, lieu de ses dernières latitudes.

[23] Parmi les diamètres du déferent et les diamètres du rotateur, ceux qui coïncident avec la droite issue du centre de l'écliptique dans la direction des dernières latitudes sont les deux *diamètres des latitudes* (j'entends par là, les diamètres en lesquels sont les dernières latitudes).

[Figure 16.]

[24] *Remarque.* Si l'on avait supposé que le déferent était dans le plan de l'orbe incliné, que l'inclinaison du rotateur par rapport au plan du déferent était comme l'inclinaison qu'on a supposée du déferent par rapport à l'orbe incliné, et que l'inclinaison de l'épicycle par rapport au rotateur était ce qu'elle est¹⁸⁸, alors le résultat des deux hypothèses serait le même. Sache cela.

Chapitre vingt-cinq

Mouvements de Vénus et Mercure en latitude, en deux parties

Première partie

Les latitudes de Vénus

[1] Chez Ptolémée, il y a deux théories à ce sujet.

[2] *Sa première théorie* est celle qu'il expose dans l'*Almageste* quand il dit que l'orbe incliné de Vénus tantôt s'approche tantôt s'éloigne du plan de l'écliptique. Aux nœuds, le centre de l'épicycle de Vénus est dans le plan de l'écliptique, mais hors des nœuds, il est toujours au nord

أوجه بخمسين جزءًا، كان القطر الذي عنده نهاية | العرض غير المارّ بأوج الحامل وأوج المدير. [٢٢] فإثًا، إذا فرضنا الأفلاك في الأوج، وتحركت أمّا الحامل فعشرين جزءًا وأمّا المدير فضعف ذلك، انتقل أوج الحامل إلى التوالي عشرين جزءًا فصار عند نقطة د، وصار قطره ط هو الذي عنده نهاية العرض؛ | وإذا دار المدير ضعف ذلك صار أوج المدير إلى نقطة و وصار قوس د ه مثل قوس ه و، وصار القطر المطابق لخط ه ط هو الذي عنده نهاية | العرض. وعلى ذلك إذا توهمنا ذلك في زحل: وجعلنا الأفلاك تتحرك | راجعةً إلى عند الموضع الذي قبل أوج زحل بخمسين جزءًا، الذي فيه نهاية عرضه.

[٢٣] كان ما يطابق الخط الخارج من مركز البروج إلى الموضع الذي فيه نهاية عرضه من | أقطار الحامل ومن أقطار المدير، هما القطران العرضيّان (أعني الذي عندهما نهاية العرض).

[صورة ١٦.]

[٢٤] | تنبيه. لو فرضنا الحامل في سطح المائل وفرضنا المدير مائلًا عن سطح الحامل بقدر ما فرضنا ميل الحامل عن المائل، وفرضنا ميل التدوير عن المدير على حاله، كان الحاصل من الفرضين شيئًا واحدًا. فاعرف ذلك.

| الباب الخامس والعشرون

في حركات الزهرة وعطارد في العرض وفيه فصلان

الفصل الأول

في عروض الزهرة

[١] وفيه مذهبان لبطلميوس.

[٢] الأول | ما ذكره في المجسطي حيث قال إنّ مائل الزهرة يقرب ويبعد عن سطح البروج. فلا يزال مركز تدوير الزهرة في العقدتين في سطح فلك البروج، وفي غير العقدتين شماليًا | عن

^١ عنده: عند [ج، د]. ^٢ فضعف: غير مقروء (وكتب "فضعف" في الهامش مع إشارة) [ج]، فنصف (وكتب "فضعف" في الهامش مع إشارة) [د]. ^٤ وإذا: فإذا [ج]. ^٤ و: د [أ، د، ج، س]. ^٥ وعلى ذلك: كتب "وعلى ذلك أقمنا البرهان" ثم شطب "أقمنا البرهان" بالقلم [أ]. ^٩ العرض: العرض العرض [أ]. ^{١١} مائلًا: مائل [أ، س]. ^{١٢} عن المدير: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١٣-١٢} الحاصل من الفرضين: الحامل من العرضين [ج، د]. ^{١٣} شيئًا واحدًا: شي واحد [أ، ج، د، س]. ^{١٥} في حركات ... وفيه فصلان: في الهامش (قد كان "في العرض" ناقص، ثمّ زاده فوق السطر، ثمّ ضرب عليه وعلى "حركات" بالقلم، ثمّ كتب "عروض" تحت "حركات" عوضًا منه) [د]. ^{١٥} في العرض: ناقص [ج]. ^{١٦} الفصل: ناقص [ج]. ^{١٧} عروض: حركات [ج]. ^{١٨} وفيه: وفيها [س]. ^{٢٠} في: بين [أ، ج].

^١ ه ٤٤٤ ظ. ^٤ س ٥٠ ظ. ^٥ ج ٣٦ و. ^٦ گ ٥٩ و. ^٨ ت ٢٤ و. ^{١١} أ ٣٣ ظ، ب ٣٤ ظ، ج ٣٦ ظ، د ٤٤ ظ، ه ٥٥ و، س ٥١ و، ق ٣١ ظ. ^{١٤} گ ٥٩ ظ. ^{١٩} گ ٦٠ و. ^{٢٠} ه ٥٥ ظ.

du plan de l'écliptique (au maximum, à un sixième de degré, inclinaison vers le nord de l'orbe incliné de Vénus quand elle est à l'auge). Quand le centre de son épicycle est aux nœuds (c'est-à-dire aux quadratures de l'auge), le diamètre perpendiculaire au diamètre passant par l'apogée de l'épicycle et par son périhélie est dans le plan de l'écliptique ; quand il est à la queue, l'apogée de l'épicycle est incliné vers le nord et le périhélie vers le sud ; quand il est à la tête, l'apogée de l'épicycle est incliné vers le sud et son périhélie vers le nord ; la grandeur de cette inclinaison est deux degrés et demi dans l'*Almageste*, et elle s'appelle *inclinaison de l'épicycle*. Quand le centre de l'épicycle est à l'auge, le diamètre passant par l'apogée de l'épicycle et par son périhélie est dans le plan de l'orbe incliné, et le diamètre perpendiculaire est incliné par rapport au plan de l'écliptique, de sorte que la moitié allant de l'auge de l'épicycle à son périhélie est au nord de l'orbe incliné, et l'autre moitié, au sud ; la grandeur de cette inclinaison par rapport au plan de l'écliptique est de trois degrés et demi, et elle s'appelle *inclinaison de biais*. C'est la théorie de Ptolémée dans l'*Almageste*. Certains parmi les modernes l'ont amendée par l'observation : ils ont trouvé que l'inclinaison de l'épicycle était égale à l'inclinaison de biais. Les savants ont calculé les tables de latitude de Vénus selon cette théorie.

[3] Sa *seconde théorie* est celle qu'il expose dans son livre connu sous le nom des « Hypothèses planétaires » et qui vient après le premier : l'orbe incliné de Vénus serait d'inclinaison constante de part et d'autre. Son inclinaison maximale est un sixième de degré vers le nord, et de même vers le sud. L'inclinaison de l'épicycle est, dans les deux cas, trois degrés et demi.

[4] Ni Ptolémée ni aucun autre n'avait encore pu établir les fondements du mouvement de l'épicycle et de l'orbe incliné selon la description ci-dessus à cause de la variation d'inclinaison de l'épicycle dans les deux cas, et de la variation des deux diamètres dont l'un est incliné et l'autre est tantôt dans le plan de l'écliptique, tantôt dans le plan de l'orbe incliné. On y est parvenu grâce à Dieu.

[5] À cet effet, on supposera que l'inclinaison maximale de l'orbe incliné vers le nord est atteinte à l'auge de Vénus et que cette inclinaison est un sixième de degré. C'est une inclinaison de grandeur constante vers le nord, et de même vers le sud ; mais elle se meut, elle se déplace avec l'auge, et les nœuds (la tête et la queue) se déplacent aussi de par son mouvement. Supposons le centre de l'épicycle et du rotateur sur la droite passant par l'auge. Supposons le déferent dans le plan de l'orbe incliné. Supposons l'apogée moyen du rotateur incliné vers le sud par rapport au plan de l'orbe incliné, d'un angle de cinq minutes d'arc, et la moitié du rotateur commençant à l'auge (c'est la « première » moitié) inclinée vers le nord par rapport au plan de l'orbe incliné, formant un angle en son centre d'une grandeur de trois degrés. Supposons l'apogée de l'épicycle incliné par rapport à l'apogée du rotateur, vers le nord, de cinq minutes d'arc. Le diamètre de l'épicycle [passant par] l'auge reste donc

سطح | البروج بمقدار أكثره سُدس جزء ويقابل ميل مائل الزهرة الشمالي عند أوجها. | وإذا كان مركز تدويرها في العقدتين، أعني عند تريبع الأوج، كان القطر القائم على القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه من سطح البروج؛ فإذا كان في عقدة الذنب، كان ميل أوج التدوير إلى الشمال وحضيضه إلى الجنوب؛ وإذا كان في عقدة الرأس، كان ميل أوج التدوير إلى الجنوب وحضيضه إلى الشمال، ومقدار | هذا الميل في المجسطي جزأين ونصف ويُعرف بميل التدوير. وإذا كان مركز التدوير في | الأوج، كان القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه في سطح المائل والقطر القائم عليه مائلاً عن سطح البروج بحيث يكون النصف الذي من الأوج إلى الحضيض من التدوير شمالياً عن المائل والآخر جنوبياً عنه، ومقدار هذا الميل عن سطح البروج ثلاثة أجزاء ونصف جزء | ويُعرف بميل الورااب؛ هذا مذهبه | في المجسطي. وقد صحّح بعض المتأخّرين بالرصد، فوجد ميل التدوير مثل ميل الورااب وعليه حساب جداول عرض الزهرة عند محققى هذا الفنّ.

[٣] ومذهبه الثاني ما ذكره في كتابه المعروف بالاختصاص، وهو بعد الأول أنّ مائل الزهرة ثابت الميل في الجهتين، ونهاية ميله سُدس جزء في الشمال ومثله في الجنوب، وميل التدوير فيه في الحاليتين ثلاثة أجزاء ونصف جزء.

[٤] ولم يمكن بطلميوس ولا غيره إلى وقتنا هذا وضع | أصول تحرك التدوير والمائل | بالصفة المذكورة لاختلاف ميل التدوير في الحاليتين واختلاف القطرين اللذين يكون أحدهما مائلاً والآخر إمّا في سطح البروج أو في سطح المائل. وقد تيسّر بحمد الله تعالى.

[٥] وهو أن نفرض نهاية ميل المائل في الشمال عند أوج الزهرة ونهايته سُدس جزء، وهو ميل ثابت المقدار في الشمال ومثله في الجنوب، وهو يتحرك، فينتقل مع انتقال الأوج وينتقل | بانتقاله العقدتان الرأس والذنب. ونفرض مركز التدوير والمدير على الخطّ المارّ بالأوج، ونفرض الحامل في سطح المائل، ونفرض ذروة المدير الوسطى مائلة إلى الجنوب عن سطح المائل زاوية مقدارها خمس دقائق والنصف من المدير الذي | ابتدأه من الأوج وهو الأول شمالي عن سطح المائل زاوية عن مركزه مقدارها ثلاثة أجزاء. ونفرض ذروة التدوير مائلة عن | ذروة المدير إلى الشمال خمس دقائق، فيبقى قطر التدوير الأوجي في سطح المائل. ونفرض نصف التدوير الأول، وهو

^١ ميل: مثل [د، ج]. ^٨ شمالياً: شمالي [أ، ج، س]. ^٨ جنوبياً: جنوبي [أ، ج، س]. ^٨ جزء: ناقص [أ، د، س].
^{١٨} فينتقل: فينتقل (؟) [س]. ^{١٩} العقدتان: العقدتين [أ، ج، د، س]، العقدتان [هامش د]. ^{١٩} ونفرض: ونفرض وانتقاله [أ]، ونفرض [ج، د]. ^{١٩} ونفرض: ونفرض [ج]. ^{٢٠} المدير: التدوير [أ، ج، د، س]. ^{٢٠} مقدارها: مقدارها [س].
^{٢٢} عن: عند [س]. ^{٢٢} مقدارها: مقدارها [س]. ^{٢٣} الأوجي: الأوج [أ، ج، س].

^١ ت ٢٤ ظ. ^١ د ٤٥ و. ^٥ أ ٣٤ و. ^٦ ب ٣٥ و. ^٩ س ٥١ ظ. ^٩ گ ٦٠ ظ. ^{١٤} ه ٥٦ و. ^{١٤} ج ٣٧ و. ^{١٨} ق ٣٢ و.
^{٢١} گ ٦١ و. ^{٢٢} س ٥٢ و.

dans le plan de l'orbe incliné. Supposons la première moitié de l'épicycle (celle qui commence à l'auge) inclinée d'un demi-degré vers le nord par rapport à la moitié du rotateur inclinée vers le nord.

[6] Ceci étant admis, que les orbites tournent. Que l'orbe incliné tourne d'un quart de cercle, le déférent d'un quart de cercle aussi, et le rotateur d'un demi-cercle dans le même temps ; alors l'inclinaison de l'épicycle s'inverse, le diamètre perpendiculaire au diamètre de l'apogée arrive dans le plan de l'écliptique, et l'autre diamètre est incliné par rapport au plan de l'écliptique d'un angle d'une grandeur de deux parts et demi ; ceci, à condition que la variation d'inclinaison de l'épicycle soit comme l'indique l'*Almageste*.

[7] Quant à l'amendement fait par les modernes (pour qui l'épicycle est incliné aux nœuds, à l'auge et au périhélie de trois degrés et demi), et la théorie qu'expose Ptolémée dans les « Hypothèses planétaires », nous supposerons l'orbe incliné comme on l'a indiqué dans la première théorie. Le déférent est dans le plan de l'orbe incliné. À l'auge, l'apogée du rotateur est incliné par rapport à l'orbe incliné, de cinq minutes d'arc vers le sud ; l'apogée de l'épicycle est incliné par rapport à l'apogée du rotateur, de cinq minutes d'arc vers le nord ; la moitié du rotateur¹⁸⁹ commençant à l'auge est inclinée vers le nord de trois degrés et demi. C'est la voie sur laquelle s'appuie l'amendement fait par les modernes.

[8] L'inclinaison maximale de l'épicycle est, vers le sud, 8;40, et vers le nord, 1;3, quand l'inclinaison maximale de biais¹⁹⁰ est 2;30. La dernière latitude nord est toujours, pour l'orbe incliné, un sixième de degré. La tête de Vénus précède l'auge d'un quart de cercle, et sa queue le suit d'un quart de cercle. Les dernières latitudes nord et sud, pour l'orbe incliné, sont à l'auge et au périhélie.

[9] *Remarque.* Concernant la latitude de Vénus, tout ce qu'ont fait les anciens et les modernes en concevant des ceintures qui s'approchent ou une inclinaison variable de l'épicycle est impossible. Qui est bien versé dans cet art ne l'ignore pas.

Deuxième partie

Les latitudes de Mercure

[10] Chez Ptolémée, il y a deux théories, la première dans l'*Almageste* et la seconde dans les « Hypothèses planétaires ».

الَّذِي ابتداءه من الأوج، مائلاً عن نصف المدير المائل إلى الشمال نصف جزء إلى جهة الشمال أيضاً.

[٦] وإذا تقرّر ذلك ودارت الأفلاك، فدار المائل رُبُع دائرة ودار الحامل رُبُع دائرة أيضاً ودار المدير في ذلك الزمان نصف دائرة، فانقلب ميل التدوير، فصار القطر القائم على الأوجي | في سطح البروج والقطر الآخر مائلاً عن سطح البروج زاوية مقدارها | جزأين ونصف؛ هذا على أن اختلاف ميل التدوير مثل ما ذكر في المجسطي.

[٧] وأما ما صحّحه المتأخرون من كون ميل التدوير في العقدتين وفي الأوج والحضيض ثلاثة أجزاء ونصف جزء، وتصوّر | مذهبه المذكور في الاقتصاص، أن نفرض المائل على ما ذكر في المذهب الأوّل وفي سطحه الحامل. في الأوج، وذروة المدير مائلة على المائل إلى الجنوب خمس دقائق وذروة التدوير مائلة عن ذروة المدير خمس دقائق إلى الشمال ونصف التدوير | الذي ابتداءه من الأوج مائل إلى الشمال ثلاثة أجزاء ونصف. قلت: وهذا | الوجه هو المعتمد عليه وهو ما صحّحه المحققون.

[٨] ونهاية ميل التدوير في الجنوب ح م وفي الشمال | ا ج وأكثر ميل الورا ب ل. ونهاية العرض للمائل في الشمال أبداً سُدس جزء. والرأس للزهرة قبل الأوج برُبُع دور والذنب بعد الأوج برُبُع دور. ونهاية | العرض في الشمال والجنوب للمائل في الأوج والحضيض.

[٩] تنبيه. جميع ما تكلفوه | المتقدمون والمتأخرون في أمر عرض الزهرة من تقارب المنطقتين واختلاف ميل فلك التدوير محال وليس يخفى على من له اطلاع على كتب محققي هذا الفن.

الفصل الثاني

في عروض عطار

[١٠] وفيها مذهبان لبطلميوس: الأوّل الذي ذكره في المجسطي، والثاني الذي ذكره في الاقتصاص.

^١ الذي: ناقص [ج]، في الهامش مع إشارة [د]. ^٤ الأوجي: الأوج [ج]. ^٥ مائلاً: مائل [أ، ج، س]. ^٦ ذكر: ذكره [ج]. ^٨ نفرض: يُفرض [ج، د]. ^٩ على: عن [د، ج]. ^{١٠} وذروة التدوير... خمس دقائق: في الهامش مع إشارة [ج، د] (وكتب ناسخ د "عن المدير" عوضاً من "عن ذروة المدير"). ^{١٠} التدوير: كتب "المدير" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "التدوير" [س]. ^{١٣} ا ج: ا ح [د]. ^{١٥} والجنوب: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١٧} وليس: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١٧} يخفى: ليس [ج، د]. ^{١٧} على: عن [س]. ^{٢٠} والثاني: الثاني [ج].

^٤ ٥٦ ظ. ^٥ ٣٤ ظ. ^٨ ب ٣٥ ظ. ^{١٠} ك ٦١ ظ. ^{١١} ت ٢٥ ظ. ^{١٣} ج ٣٧ ظ. ^{١٥} س ٥٢ ظ. ^{١٦} د ٤٥ ظ.

[11] *Première théorie.* Nous supposons un orbe incliné par rapport au parécliptique, d'inclinaison maximale atteinte en l'auge, vers le sud, un demi-degré et un quart. Cette situation à l'auge est réciproque de celle au périégée, où l'inclinaison est vers le nord. De plus, la ceinture de l'orbe incliné tend à se rapprocher de la ceinture de l'écliptique jusqu'à ce qu'elles se confondent, puis elle s'incline à nouveau d'autant dans l'autre sens (et de même pour le lieu situé à l'opposé, [au périégée]). Or ceci est impossible : on ne peut le concevoir dans l'astronomie de Ptolémée, et ni lui ni aucun autre n'a abordé le problème du mobile de ce mouvement.

[12] D'autre part, quand le centre de l'épicycle est au milieu de l'arc entre les nœuds, à l'auge, à la dernière latitude sud, il faut supposer que le diamètre passant par l'auge et le périégée de l'épicycle est dans le plan de l'orbe incliné, et que l'autre diamètre est incliné de sorte que la première moitié de l'épicycle soit au sud, l'autre moitié au nord, et que l'angle de cette inclinaison (dite *de biais*) soit sept degrés. Quand le centre de l'épicycle est aux nœuds, le diamètre perpendiculaire à l'apogée est dans le plan de l'écliptique, et l'autre diamètre est incliné par rapport au plan de l'écliptique, son périégée vers le nord et son apogée vers le sud ; l'angle de cette inclinaison est six degrés et un quart, et on l'appelle *inclinaison de l'épicycle*. Ainsi, le centre de l'épicycle est constamment au sud du plan de l'écliptique, ou bien dans ce plan (aux nœuds). C'est cette théorie qu'on trouve dans l'*Almageste*.

[13] *Seconde théorie.* C'est la théorie des « Hypothèses planétaires ». Là, l'orbe incliné de Mercure est d'inclinaison constante, vers le sud à l'auge, d'une grandeur d'un sixième de degré (et l'autre extrémité, au périégée, est donc inclinée vers le nord d'un sixième de degré). Quand le centre de l'épicycle est entre les deux nœuds, le diamètre passant par l'auge coïncide avec l'orbe incliné, et l'autre diamètre est incliné (ainsi que la deuxième moitié de l'épicycle) vers le nord d'un angle de six degrés et demi ; on l'appelle *inclinaison de biais*. Quand le centre de l'épicycle est [aux] nœuds, le diamètre perpendiculaire au diamètre de l'apogée est dans le plan de l'écliptique, et le diamètre de l'apogée est incliné, son périégée vers le nord et son apogée vers le sud, d'un angle égal à l'inclinaison de biais, c'est-à-dire six parts et demi. C'est la seconde théorie ; mais ni Ptolémée ni aucun autre n'a pu établir des fondements permettant de concevoir ces inclinaisons sans perturber les mouvements en longitude. Nous avons pu concevoir ces deux théories ; gloire à Dieu.

[14] Voici *la théorie sur laquelle on s'est appuyé*. Nous supposons que l'inclinaison maximale de l'orbe incliné est vers le sud à l'auge et vers le nord

[١١] أمّا مذهبه الأوّل | أن نفرض فلکاً مائلاً عن الممّثل نهاية ميله عند الأوج إلى الجنوب نصف ورُبُع جزء، فيقاطع | هذا المائل على العقدتين، ويصير نظير الجزء الذي عند الأوج عند الحضيض مائلاً عنه إلى الشمال بما علمت. وإنّ منطقة المائل تقارب لمنطقة البروج حتّى تنطبق عليها، ثمّ تميل إلى الجهة الأخرى بذلك | المقدار وكذلك الجزء المقابل له؛ وهذا محال: لا يمكن أن يُتصوّر على هيئة بطليموس ولم يتعرّض هو ولا غيره لمحرّك هذه الحركة.

[١٢] ثمّ فرض إذا كان مركز التدوير في منتصف ما بين العقدتين في الأوج عند نهاية العرض الجنوبيّ أنّ القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه في سطح المائل والقطر الآخر مائل بحيث يكون النصف الأوّل من التدوير جنوبيّاً والنصف الآخر شماليّاً وزاوية هذا الميل سبعة أجزاء، ويُسمّى الوراب. وإذا كان مركز التدوير في العقدتين، كان القطر | القائم على الأوج في سطح البروج والقطر الأوجي مائلاً عن سطح البروج، أمّا حضيضه فإلى جهة الشمال وأوجه | إلى جهة الجنوب؛ وزاوية هذا الميل ستّة أجزاء ورُبُع جزء، ويُعرف بميل التدوير؛ فلا يزال مركز التدوير إمّا جنوبيّاً عن سطح البروج وإمّا فيه عند العقدتين. | هذا مذهبه في المجسطي.

[١٣] ومذهبه الثاني الذي ذكره | في الافتصاص أنّ مائل عطارد ثابت الميل في الجهة الجنوبيّة عن الأوج ومقداره سُدس جزء والطرف الآخر | مائل إلى الشمال عند الحضيض سُدس جزء. وإذا كان مركز التدوير فيما بين العقدتين، كان القطر | المارّ بالأوج مطابقاً للمائل والقطر الآخر مائل بالنصف الثاني من التدوير إلى الشمال، ومقدار زاوية الميل ستّة أجزاء ونصف جزء، ويُعرف بميل الوراب. وإذا كان مركز التدوير بين العقدتين، كان القطر القائم على الأوجي في سطح البروج والقطر الأوجي مائلاً، حضيضه إلى الشمال وأوجه إلى الجنوب، وزاوية هذا الميل مثل ميل الوراب؛ وذلك ستّة أجزاء ونصف. هذا مذهبه الثاني، ولم يمكن بطليموس ولا غيره وضع أصول يمكن تصوّر هذه الميول فيها ولا تخلّ بالحركات الطولية. وقد أمكننا تصوّر هذين المذهبين ولله الحمد.

[١٤] أمّا المذهب المعتمد عليه وهو أن نفرض نهاية ميل المائل الجنوبيّ عند الأوج والشماليّ

^٢ ويصير: غير مقروء [أ]. ^٥ على: على [أ]. ^٦ عند: ناقص [ج، د]. ^٨ جنوبيّاً: جنوبيّ [أ، س، ج، د]. ^٨ والنصف: و [د، ج]. ^٨ شماليّاً: شماليّ [أ، س، د، ج]. ^{١٠} مائلاً: مائل [أ، س، د، ج]. ^{١٠} وأوجه إلى: وأمّا أوجهه فإلى [د]، وأمّا أوجهه إلى [ج]. ^{١٠} جهة: ناقص [س]. ^{١٣} مائل: غير مقروء (وكتب "مايل" في الهامش) [د]، كتب أوّلاً "ميل" ثمّ حوّله إلى "مائل" [ج]. ^{١٥} مطابقاً: مطابق [أ، س، د]. ^{١٧} الأوجي: الأوج [ج، د]. ^{١٨} الأوجي: كتب أوّلاً "الخارج" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "الأوجي" [د]. ^{١٨} مائلاً: مائل [أ، د، ج، س]. ^{١٩} أجزاء: ناقص [أ، د، س]. ^{٢٠} تخلّ: بحد [س]. ^{٢٠} الطولية: الطويلة [د]. ^{٢٠} هذين: ناقص [س]. ^{٢٢} والشماليّ: الشماليّ [ج].

^١ ٥٧٥. ^٢ ق ٣٢ظ. ^٤ گ ٦٢و. ^٩ س ٥٣و. ^{١٠} أ ٣٥و. ^{١٢} ب ٣٦و. ^{١٣} ج ٣٨و. ^{١٤} ٥٧٥ظ. ^{١٥} گ ٦٢ظ.

au périégée (cette inclinaison maximale est de six degrés dans les « Hypothèses planétaires »). Nous supposons que l'apogée du rotateur est incliné vers le nord de cinq minutes d'arc, que la première moitié du rotateur est inclinée vers le sud d'un angle de six degrés, un demi-degré et un huitième de degré par rapport au plan de l'orbe incliné, que l'apogée de l'épicycle est incliné par rapport à l'apogée du rotateur vers le sud de cinq minutes d'arc, et que sa seconde moitié est inclinée de sept degrés vers le nord par rapport au plan de l'orbe incliné (elle est donc inclinée d'un quart et un huitième de degré par rapport au plan du rotateur). Quand les orbes se meuvent, l'orbe incliné d'un quart de cercle, le déférent aussi, et l'épicycle d'un demi-cercle, alors l'inclinaison du diamètre de l'apogée devient six degrés et un quart, et le diamètre qui lui est perpendiculaire passe dans le plan de l'écliptique. Or il en est ainsi à l'observation, c'est donc la voie sur laquelle on s'est appuyé ; elle ne prend pas en considération que, selon Ptolémée, le centre de l'épicycle serait toujours au sud, mais il est certes revenu de cette opinion dans les « Hypothèses planétaires ». Sache cela.

[15] La seconde théorie est conçue comme suit. Nous supposons l'orbe incliné comme on l'a décrit ci-dessus, de sorte qu'il coupe le parécliptique aux nœuds et que l'inclinaison maximale soit vers le sud à l'auge et vers le nord au périégée. Nous supposons que le centre de l'épicycle est à l'auge au milieu de l'arc compris entre les nœuds. Nous supposons que l'apogée du rotateur est incliné de cinq minutes d'arc vers le nord, et que sa seconde moitié est inclinée vers le nord, et l'autre moitié vers le sud, d'un angle de six degrés et demi ; on appelle cela *inclinaison de biais*. Nous supposons l'apogée de l'épicycle incliné par rapport à l'apogée du rotateur de cinq minutes d'arc vers le sud ; alors le diamètre de l'auge est dans le plan de l'orbe incliné. Nous supposons que la seconde moitié de l'épicycle est inclinée de six degrés et demi par rapport au plan de l'orbe incliné. Que l'on se représente cela, puis que les orbes se meuvent jusqu'à ce que le centre de l'épicycle soit au nœud. Le diamètre perpendiculaire au diamètre de l'apogée coïncide avec le plan de l'écliptique, et le diamètre de l'apogée reste incliné de six degrés et demi par rapport au plan de l'écliptique. La moitié [de l'épicycle] contenant son apogée est vers le sud, et l'autre moitié vers le nord. C'est ainsi qu'il faut concevoir les mouvements des orbes en latitude, de façon à ne pas perturber les mouvements en longitude.

[16] *Remarque.* Supposer, au besoin, que les orbes sont dans les plans des [orbes qui] les portent ne perturbe pas les mouvements en longitude de manière trop importante. Tu sais que ceci est analogue à l'équation du déplacement¹⁹¹ de la Lune vraie de l'orbe incliné au parécliptique. Puisque la dernière latitude de la Lune est de cinq degrés, et que la variation maximale due au déplacement est de six minutes d'arc et deux tiers,

عند الحضيض، ونهاية هذا الميل في الاقتصاص سُدس جزء. ونفرض ذروة المدير مائلة إلى الشمال | خمس دقائق ونصف المدير الأول مائل إلى الجنوب وزاوية الميل عن سطح المائل ستّة أجزاء ونصف وثُمن وذروة التدوير مائلة عن ذروة | المدير إلى الجنوب خمس دقائق ونصفه الثاني مائل إلى الشمال عن سطح المائل سبعة أجزاء، فيكون مائلاً عن سطح المدير رُبع وثُمن جزء. | فإذا تحرّكت الأفلاك أمّا المائل فزُبع دور وكذلك الحامل وأمّا التدوير فنصف دائرة، فيصير ميل القطر ستّة رُبع فيصير | القطر الأوجي مائلاً ستّة رُبع والقطر القائم عليه في سطح البروج. وهكذا كان في الرصد، وهذا الوجه هو المعتمد عليه ولا يلتفت إلى ما قاله بطليموس بأنّ مركز التدوير يكون جنوبيّاً أبداً، فإنّه رجع عن ذلك في الاقتصاص، | فاعرف ذلك.

[١٥] وأمّا تصوّر المذهب الثاني أن نفرض المائل على الصفة المذكورة المتقدّمة بحيث يقطع الممثل على العقدتين ويكون نهاية الميل الجنوبيّ عند الأوج والشماليّ | عند | الحضيض؛ ونفرض مركز التدوير في الأوج في منتصف ما بين العقدتين؛ ونفرض أوج المدير مائلاً إلى الشمال خمس دقائق ونصف المدير الثاني مائلاً إلى الشمال ونصفه الآخر | مائلاً إلى الجنوب ومقدار زاوية هذا الميل ستّة أجزاء ونصف جزء، ويُعرف بميل الوراب؛ ونفرض ذروة التدوير | مائلة عن ذروة المدير إلى الجنوب خمس دقائق، فيكون القطر الأوجي في سطح المائل؛ ونفرض نصف التدوير الثاني مائلاً عن سطح المائل ستّة | أجزاء ونصف. وإذا تصوّرت ذلك، ثمّ تحرّكت الأفلاك إلى أن صار مركز التدوير في العقدة، طابق القطر القائم على الأوجي لسطح البروج، وبقي القطر الأوجي مائلاً عن سطح البروج ستّة أجزاء ونصف جزء ويكون النصف الذي فيه أوجه جنوبيّاً والآخر شماليّاً. هكذا يجب تصوّر حركات الكواكب في العرض بحيث لا تخلّ بالحركات الطولية.

[١٦] تنبيه. | مقتضى فرض الأفلاك في سطوح الحوامل في الأصل لا يخلّ بالحركات الطولية بما له كثير قدر وأنت تعلم أنّ ذلك بمثل نقل مقوم القمر من المائل إلى الممثل. ولما كان نهاية عرض القمر خمسة أجزاء وكان نهاية الاختلاف للنقل ستّ دقائق وثُلثين، كان أكثر ما يخلّ

^١ ونهاية: ونهايته [ج]. ^٢ الأول: الثاني [أ، ج]، كتب أولاً "الثاني" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "الأول" فوق السطر [د].
^٢ إلى: مشطوبة [س]. ^٧ يلتفت: غير مقروء [أ]، تكثر [د]، تكثر [ج]، يلتفت [هامش ج]. ^٩ نفرض: تفرض [ج]. ^{١٠} الممثل: للممثل [ج، د]. ^{١١} مائلاً: مائل [أ، س]. ^{١٢} الثاني: كتب أولاً "الثاني" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "الأول" فوق السطر [د]. ^{١٢} مائلاً: مائل [أ، س]. ^{١٢} مائلاً: مائل [أ، د، ج، س]. ^{١٥} مائلاً: مائل [أ، س].
^{١٥} ونصف: ونصف جزء أيضاً [س]. ^{١٦} مائلاً: مائل [أ، س]. ^{١٧} جنوبيّاً: جنوبيّ [أ، ج، س]. ^{١٧} شماليّاً: شماليّ [أ، ج، س]. ^{١٨} الطولية: الطولية [د]. ^{١٩} يخلّ: تخلّ [ج]. ^{٢٠} كثير: كبير [د]. ^{٢٠} بمثل: ممثل بمثل [ج]، مثل [س]. ^{٢٠} مقوم: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{٢١} الاختلاف للنقل: اختلاف النقل [س].

^٢ س ٥٣ ظ. ^٣ گ ٦٥ و. ^٤ ق ٣٣ و. ^٥ ت ٢٥ ظ. ^٦ ه ٥٨ و. ^٨ د ٤٦ و. ^{١٠} أ ٣٥ ظ. ^{١٠} ج ٣٨ ظ. ^{١٢} گ ٦٥ ظ. ^{١٣} ب ٣٦ ظ. ^{١٥} س ٥٤ و. ^{١٦} ه ٥٨ ظ.

l'omission de l'équation du déplacement des trajectoires selon les latitudes vers la ceinture de l'écliptique aura pour effet une perturbation d'une minute d'arc et un tiers, par degré de latitude, au plus : c'est une grandeur négligeable.

[17] Calcule le déplacement si tu le souhaites. En voici la méthode. Prends l'élongation entre l'astre vrai et le nœud ascendant de cet astre. Prends l'équation qui correspond à cette élongation dans la table de l'équation du déplacement de la Lune. Multiplie cela par la latitude de cet astre, et divise le produit par la latitude maximale de la Lune (c'est cinq degrés). En sort l'équation qu'il faut ajouter à l'astre vrai si le nombre entré dans la table était compris entre quatre-vingt-dix et cent quatre-vingts ou entre deux cent soixante-dix et trois cent soixante degrés, et qu'il faut sinon soustraire de l'astre vrai ; reste [l'astre] vrai véritable, rapporté à l'écliptique. Cette équation est maximale dans les octants, et nulle aux nœuds et aux dernières latitudes de part et d'autre. Dieu est le plus grand et le plus savant.

Chapitre vingt-six

Cause de la vitesse, de la lenteur, des stations et des rétrogradations des astres.

[1] On a vu que le centre de l'épicycle était sur le bord de l'orbe incliné, que le mouvement de l'orbe incliné était dans le sens des signes, et que le mouvement de l'épicycle était aussi dans le sens des signes dans sa partie supérieure. Si l'astre est dans la partie supérieure de l'épicycle, les mouvements de l'épicycle et de l'orbe incliné sont dans le sens des signes, et il en résulte que l'astre est rapide à cause de l'addition des deux mouvements qui vont dans le même sens. Si l'astre est dans la partie inférieure de l'épicycle, le mouvement de l'épicycle est en sens inverse du mouvement de l'orbe incliné. Dans ce cas, si le mouvement angulaire de l'orbe incliné par jour est égal au mouvement angulaire de l'épicycle, l'astre paraît stationnaire ; si le [mouvement] angulaire de l'épicycle est supérieur au [mouvement] angulaire de l'orbe incliné, l'astre paraît rétrograder d'autant que l'excédent ; et si le [mouvement] angulaire de l'épicycle par jour est inférieur au [mouvement] angulaire de l'orbe incliné, l'astre paraît avancer d'autant que la différence entre les deux [mouvements] angulaires.

[2] Si nous représentons un orbe d'épicycle, et que nous menons en son centre une droite issue du centre de l'écliptique, alors le rapport du mouvement de l'épicycle au mouvement de l'orbe incliné est soit inférieur, soit égal, soit supérieur au rapport de la droite joignant le centre de l'orbe incliné et le périhélie de l'épicycle au rayon de l'épicycle.

بإهمال النقل من المدار العرضي إلى منطقة البروج أكثره لكل درجة من العرض دقيقة وتُثلث وهذا مقدار يسير.

[١٧] وإن شئت فانقل، وطريق ذلك | أن تأخذ بُعد مقوم الكوكب من رأس ذلك الكوكب، وهو العقدة الشمالية؛ فما حصل فخذ ما يقابله من جدول تعديل نقل القمر من التعديل، فما كان فاضربه في عرض ذلك الكوكب، فما بلغ فاقسمه على نهاية عرض القمر، وهو خمسة أجزاء؛ فما خرج فهو التعديل فزده على تقويم الكوكب، إن كان العدد الذي دخلت به إلى الجدول أكثر | من تسعين جزءاً إلى مائة وثمانين أو أكثر من مائتين وسبعين إلى ثلاثمائة وستين؛ وإن كان غير ذلك، فنقصه من تقويم الكوكب، يبقى المقوم المحقق من فلك البروج وأكثره في أنصاف الأرباع وينعدم في العقدتين وعند نهاية | العرض في الجهتين - والله تعالى أعلم.

الباب السادس والعشرون

في سبب سرعة الكواكب وبطؤها ووقوفها ورجوعها

[١] قد تقدّم أنّ مركز التدوير على محيط المائل، وحركة المائل إلى التوالي، وحركة التدوير في أعلاه إلى التوالي | أيضاً. فإذا كان الكوكب في النصف الأعلى من التدوير، كانت حركة التدوير والمائل إلى التوالي، فيحصل للكوكب سرعة لاجتماع الحركتين إلى جهة واحدة. | وإذا كان في النصف الأسفل من التدوير، كانت حركة التدوير إلى خلاف جهة حركة المائل. | فإذا ساوت | زاوية حركة المائل لزاوية حركة التدوير في اليوم، رُئي الكوكب واقف؛ فإن زادت زاوية التدوير على زاوية المائل، رُئي الكوكب راجع بقدر الزيادة؛ وإن نقصت زاوية التدوير عن زاوية المائل في حركة يوم، | رُئي الكوكب مستقيم بقدر فضل الزاويتين.

[٢] وإذا صورنا فلك تدوير، وأخرجنا إلى مركزه خطأ مستقيماً من مركز فلك البروج على هذه الصورة*، فلا تخلو أن تكون نسبة حركة التدوير إلى حركة المائل إما أصغر من نسبة الخطّ الواصل بين مركز المائل وبين حضيض التدوير إلى نصف | قطر التدوير، وإما مساوية لها، وإما أكثر منها.

^١ المدار: المدائر [أ]. ^{٢-٣} بُعد ... وهو العقدة: في الهامش مع إشارة [س]. ^٤ فخذ: خذ [د، ج]. ^٥ فاضربه: اضربه [ج]. ^٦ فاقسمه: اقسمه [ج]. ^٧ كانت: كان [س]. ^٨ واقف: واقفاً [د، ج]. ^٩ راجع: راجعاً [د، ج]. ^{١٠} مستقيماً: مستقيماً [د، ج]. ^{١١} تخلو: تخلوا [أ]، يخلو من [س].

^{١٢} ج ٣٩ و. ^{١٣} س ٥٤ ظ. ^{١٤} ١٣ أ ٣٦ و. ^{١٥} ه ٥٩ و. ^{١٦} ت ٢٦ و. ^{١٧} ك ٦٦ ظ. ^{١٨} ب ٣٧ و. ^{١٩} د ٤٦ ظ.

* كُتب في هامش نسخة د مع إشارة إلى هذه الكلمة: "وهي في الصفحة الآتية."

[Figure 17.]

[3] *Si le rapport est inférieur*, alors les seuls effets causés en l'astre par les deux mouvements sont la vitesse dans la partie lointaine et la lenteur dans la partie proche, parce que le mouvement dans la partie lointaine est la somme des deux mouvements, et qu'il est, dans la partie proche, la différence entre le mouvement de l'orbe incliné et le mouvement de l'épicycle. Mais l'astre n'a ni station ni rétrogradation, car il y a station quand il existe un rapport des droites mentionnées égal au rapport des deux mouvements, et la rétrogradation dépend de l'existence d'un rapport inférieur ; or on a trouvé qu'un rapport semblable est impossible parce que [le rapport des mouvements] est plus petit que le plus petit de ces rapports et qu'il n'en existe donc pas de semblable ni de plus petit.

[4] *Si le rapport est égal*, alors l'astre aura une station au milieu de la période de lenteur, c'est-à-dire quand il sera à distance minimale et sur la droite mentionnée. Il n'y aura pas rétrogradation, car la rétrogradation dépend de l'existence d'un rapport des droites inférieur au rapport des deux mouvements ; or il ne peut y avoir de rapport inférieur puisque [le rapport des mouvements] est égal au plus petit de ces rapports. En effet le plus petit des rapports est atteint dans l'épicycle quand la droite passe par son centre. L'astre n'aura donc pas de rétrogradation.

[5] *Si le rapport est supérieur*, alors l'astre aura une rétrogradation dans la partie proche, entre deux stations. Les stations se situent des deux côtés de l'épicycle, sur deux droites issues du centre de l'écliptique telles que, pour chacune, le rapport du mouvement de l'épicycle au mouvement de l'orbe incliné soit égal au rapport du segment de cette droite entre le centre de l'écliptique et le bord de l'épicycle près du périégée à la demi-corde de l'épicycle se produisant depuis ces deux droites. À l'arrivée de l'astre dans la partie proche, à la première de ces deux droites (appelée première station), on dit que l'astre est en *station rétrograde* : il s'arrête après un ralentissement progressif, et de là, il rétrograde jusqu'à son arrivée à la seconde droite. Il rétrograde d'abord de plus en plus vite, la vitesse maximale étant en vigueur quand l'astre est à distance minimale, puis il ralentit à nouveau jusqu'à atteindre la seconde droite, lieu de la seconde station, où l'on dit que l'astre est en *station directe* et où il subit un second arrêt. L'arc compris entre les deux droites du côté du périégée s'appelle *arc rétrograde*, et l'arc compris entre les deux droites du côté de l'apogée de l'épicycle apparent s'appelle *arc direct*. Après le second arrêt, l'astre avance en allant progressivement de l'arrêt à une course lente, puis à une course moyenne, puis à une course rapide. Les courses moyennes sont en vigueur entre la lenteur et la vitesse, quand l'astre est située à distance moyenne

[صورة ١٧.]

[٣] فإن كانت أصغر فلا يحدث للكوكب بسبب الحركتين إلا السرعة في القطعة البعيدة والبطؤ في القطعة القريبة، لأن الحركة في القطعة البعيدة مجموع الحركتين، وفي القريبة فضل حركة المائل على حركة التدوير. وإنما لا يحدث للكوكب الوقوف والرجوع، لتوقف الوقوف على وجود نسبة في الخطوط المذكورة مساوية لنسبة الحركتين، والرجوع موقوف | على وجود نسبة أصغر، مع أن وجد أن مثلها محال لأنها أصغر من أصغر تلك النسب فلا يوجد مثلها ولا أصغر منها.

[٤] وإن كانت النسبة مساوية حدث للكوكب في منتصف | زمان البطؤ وقوف، | وهو عند كونه في البعد الأقرب على الخط المذكور. | فلا يكون له رجوع، لتوقف الرجوع على وجود نسبة من الخطوط | أصغر من نسبة الحركتين، لكن هذه النسبة، لمساواتها لأصغر تلك النسب، تكون أصغر منها ممتنع: لأن أصغر النسب في التدوير عند مرور الخط بمركزه. فلا يكون للكوكب رجوع.

[٥] وإن كانت النسبة أكثر حدث للكوكب رجوع في القطعة القريبة، بين وقوفين. ويكون موضع الوقوفين عند الخطين الخارجين من مركز البروج إلى جنوبي التدوير، بحيث تكون نسبة حركة التدوير إلى حركة المائل مساوية لنسبة ما وقع من كل واحد من تلك الخطين بين مركز المائل ومحيط التدوير من جهة الحضيض إلى نصف الوتر | الواقع من تلك الخطين في التدوير. فيكون للكوكب، عند وصوله في القطعة القريبة إلى أول الخطين، ويقال له المقام الأول، ويقال إن الكوكب مقيم للرجوع، واقف بعد بطؤ متدرج، ومنه إلى وصوله إلى الخط | الثاني راجعاً رجوعاً متدرجاً من بطؤ إلى سرعة سير غايته | في البعد الأقرب، ثم منها إلى بطؤ ينتهي عند الخط الثاني، وعنده المقام الثاني، وهناك يقال إن الكوكب مقيم للاستقامة واقفاً وقوفاً ثانياً. وما بين الخطين من جهة الحضيض يقال له قوس الرجوع، وما بين الخطين من جهة أوج التدوير المرئي يقال له قوس الاستقامة. | وبعد الوقوف الثاني، يستقيم متدرجاً من وقوف إلى بطؤ سير، ثم إلى توسط سير، ثم إلى سرعة سير. ويكون السيران المتوسطان بين البطؤ والسرعة | عند البعدين الأوسطين

٤ الوقوف والرجوع: الرجوع والوقوف [ج]. ٤ الوقوف: الوقف [ج]. ٥ نسبة: نسبه [ج، د]. ٥ في الخطوط ... على وجود نسبة: في الهامش مع إشارة [ج]. ٩ لتوقف: لتوقف [أ]. ١٠ نسبة: نسبه [ج]. ١١ لمساواتها: لمساواتها [د]. ١١ بمركزه: مركزه [د، ج]. ١٣ أكثر: أكبر [س]. ١٥ تلك: هذين [ج، د]. ١٨ متدرج: مندرج [ج]. ١٩ متدرجاً: مندرجاً [د، ج]. ٢٠ واقفاً: واقف [د]. ٢٢ متدرجاً: مندرجاً [ج]. ٢٣ سير: ناقص [س].

٥ گ ٦٧. ٥ ه ٥٩ ظ. ٨ ق ٣٤ و. ٩ ج ٣٩ ظ. ١٠ أ ٣٦ ظ. ١٦ س ٥٥ ظ. ١٨ گ ٦٧ ظ. ١٩ ب ٣٧ ظ. ٢٢ ه ٦٠ و. ٢٣ ت ٢٦ ظ.

le long de l'épicycle. L'avance la plus rapide a lieu à l'apogée apparent au milieu de l'arc direct. La rétrogradation la plus rapide a lieu au périégée apparent, au milieu de l'arc rétrograde.

[6] Le rapport de la droite entre le centre de l'écliptique et le périégée de l'épicycle de la Lune ou du Soleil au rayon de l'épicycle est supérieur au rapport du mouvement de l'épicycle au mouvement de l'orbe incliné, donc aucun des deux n'a de rétrogradation ni de station, mais seulement de la lenteur et de la vitesse, d'après ce que je t'ai expliqué. Le rapport précédent est donc un critère. Sache qu'avance et rétrogradation sont composés à partir des angles parcourus lors de mouvements uniformes. On soustrais le plus petit du plus grand : si domine ce qui est dans le sens des signes, alors l'astre avance, sinon il rétrograde. Si additif et soustractif sont égaux, alors l'astre semble s'arrêter.

[7] *Remarque*¹⁹². Les trois planètes supérieures sont en conjonction avec le Soleil aux apogées de leurs épicycles (on appelle cela un « embrasement¹⁹³ »), et en opposition avec le Soleil aux périégées de leurs épicycles. Les planètes inférieures sont en conjonction avec le Soleil aux apogées et au périégées de leurs épicycles (on appelle ça aussi un « embrasement »). Dieu est le plus savant.

Chapitre vingt-sept

Visibilité et invisibilité des cinq astres errants

[1] Quand l'abaissement du Soleil sous l'horizon au lever¹⁹⁴ est, pour Saturne 11;0, pour Jupiter 10;0, pour Mars 11;30, *les trois planètes supérieures* sont à la limite de leur visibilité.

[2] Quand elles sont en opposition avec le Soleil, l'arc de visibilité mesure la moitié des arcs ci-dessus.

[3] L'arc de visibilité de *Vénus et Mercure*, quand ils commencent à être visibles le soir (et ne le sont plus le matin), est sept parts pour Vénus et douze parts pour Mercure. Quand ils sont visibles le matin (et plus le soir), leur arc de visibilité est cinq parts pour Vénus et sept parts pour Mercure. La cause nécessaire de la diminution des arcs est la grandeur [apparente] des deux corps parce que les deux astres sont alors proches du périégée de l'épicycle.

[4] Ces limites sont telles lorsque le centre de l'épicycle est à distance moyenne ; elles varient sinon en fonction de cela, de la latitude des planètes, et d'autres raisons. Nous l'avons expliqué avec le développement de ce livre dans notre livre intitulé « Commentaire des observations ».

من التدوير. وأسرع الاستقامة عند الذروة المرئية في منتصف قوس الاستقامة. وأسرع الرجوع عند الحضيض المرئي، في منتصف قوس الرجوع.

[٦] وكون نسبة ما بين مركز البروج وحضيض تدوير القمر أو الشمس إلى نصف قطر التدوير أكثر من نسبة حركة التدوير إلى حركة المائل، لا يكون لإحداه رجوع ولا وقوف، بل بطؤ وسرعة، على ما | أوضحت لك. والضابط هي النسبة المتقدمة. واعلم أن الرجوع والاستقامة مركبة من الزوايا المنفصلة عن الحركات المستوية. فتسقط الأقل من الأكثر: فإن زاد ما إلى التوالي، فإن الكوكب | مستقيم، | وإن نقص، كان راجعاً. وإن تكفان الزائد بالناقص، رُئي الكوكب واقفاً.

[٧] تنبيه. الثلاثة العلوية تقارن الشمس في ذرى التداوير (وتسمى | حريقاً)، وتقابلها في حضيضات التداوير. والسفلية تقارن الشمس | في ذرى التداوير وحضائضها | (وتسمى حريقاً أيضاً). والله تعالى أعلم.

الباب السابع والعشرون

في ظهورات الكواكب الخمسة المتحيرة واختفائها

[١] أمّا الثلاثة العلوية فإنّها، إذا كان انحطاط الشمس تحت الأفق عند الطلوع لرحل نا ٠ | وللمشتري ي ٠ وللمريخ يا ل، كانت في حدود ظهورها.

[٢] وظهور هذه الكواكب إذا كانت في مقابلة الشمس، فإن قوس الرؤية يكون قدر النصف من القسي المذكورة.

[٣] وأمّا الزهرة وعطارد فقوس رؤيتهما، لأول ظهورهما بالعشيّات (وآخر رؤيتهما بالغدوات)، سبعة أجزاء للزهرة واثنان عشر جزءاً لعطارد. وقوس رؤية الزهرة وعطارد لظهورهما بالغدوات (وآخر رؤيتهما بالعشيّات) للزهرة خمسة أجزاء ولعطارد سبعة أجزاء. وأمّا سبب نقص القوسين، فلكون هذين الكوكبين حينئذٍ قريبين من حضيض التدوير الموجب عظم جرميهما.

[٤] وهذه الحدود إذا كان مركز التدوير في البعد الأوسط؛ وتختلف باختلاف ذلك واختلاف عروض | الكواكب ومن أسباب آخر. أوضحنا | ذلك مع تفريعات هذا الكتاب في كتابي المسمى بتعليق الأرصاد.

^١ في: ناقص [أ]. ^٤ أكثر: أصغر [أ، د، ج، س]. ^٥ أوضحت: أوضحنا [ج]. ^٧ تكفان: تكفا [ج، د، س]. ^{١٠} والله تعالى أعلم: ناقص [س]. ^{١٣} فإنّها: فإنّه [أ، د، ج، س]. ^{١٤} في: ناقص [ج، د]. ^{٢٠} جرميهما: جزء منهما [د، ج] (وكتب "لعله جرميهما" في هامش د). ^{٢١} التدوير: فلك التدوير [س].

^٥ ج ٤٠ و. ^٧ د ٤٧ و. ^٧ گ ٦٨ و. ^٨ س ٥٦ و. ^٩ أ ٣٧ و. ^٩ ق ٣٤ ظ. ^{١٣} ه ٦٠ ظ. ^{٢٢} گ ٦٨ ظ. ^{٢٢} ب ٣٨ و.

Chapitre vingt-huit

Cause des éclipses de Lune et de Soleil, en deux sections

Première section

La cause des éclipses de Lune

[1] Il s'est avéré que la Lune est un corps sphérique opaque obscur, sous la lumière du Soleil. Ses rayons ne sont pas transmis par elle ; malgré son opacité elle est lisse et les rayons du Soleil sont réfléchis par elle. La clarté lui est attribuée, mais c'est en réalité les rayons du Soleil qui sont réfléchis par le corps de la Lune. La face devant le Soleil est toujours lumineuse et l'autre face est toujours obscure.

[2] Quand le croissant apparaît, sa partie visible est de la grandeur dont est déviée la moitié éclairée qui est devant le Soleil. La déviation augmente chaque nuit jusqu'à l'opposition ; la face devant le Soleil devient alors visible entièrement car l'œil s'interpose entre les deux luminaires. Puis le processus s'inverse : la partie visible se soustrait de la lumière jusqu'à la conjonction des deux luminaires. Puis le processus recommence depuis le début.

[3] La cause des éclipses de Lune est son entrée dans le cône d'ombre de la Terre. Cela ne peut se produire que pendant l'opposition des deux luminaires. Une autre condition est que la latitude [de la Lune] doit être inférieure à soixante-trois minutes. Si sa latitude est égale à cela, elle touche le cône d'ombre de la Terre sans y tomber. [Si sa latitude est] inférieure à cela, elle entre dans le cône d'ombre de la Terre : une partie de la Lune s'éclipse, de la grandeur de ce qui entre dans le cône d'ombre de la Terre. Si sa latitude est supérieure à un degré et trois minutes, il n'y a pas d'éclipse, la clarté du Soleil atteint sa surface, et elle paraît lumineuse par sa réflexion.

[4] Le fait décisif concerne la latitude de la Lune quand elle est en opposition avec le Soleil. Si elle est supérieure à la somme du rayon de la Lune et du rayon de l'ombre de la Terre alors il n'y a pas d'éclipse de Lune. Si la latitude est égale aux deux rayons alors la Lune touche le bord du disque d'ombre, de l'extérieur, du côté de la latitude de la Lune, et il n'y a pas d'éclipse non plus. Si la latitude est inférieure aux deux rayons alors il y a bien éclipse. Dans ce dernier cas, si la latitude est pourtant supérieure au rayon de l'ombre, alors est éclipsée une partie moindre que la moitié ; si elle lui est égale, alors le bord du disque d'ombre passe par le centre de cette face de la Lune et la moitié est éclipsée ;

الباب الثامن والعشرون

في سبب خسوف القمر وكسوف الشمس وفيه فصلان

الفصل الأوّل

في سبب خسوف القمر

- ٥ [١] قد ثبت أن القمر جسم كرويّ كثيف مظلم، تحت نور الشمس. ولا يُنقل شعاعها منه؛ وهو مع كثافته صقيل ينعكس عنه شعاع | الشمس. ويُنسب الضوء إليه، وهو في الحقيقة شعاع الشمس المنعكس من جرم القمر. فيكون الوجه المقابل للشمس نيرًا أبدًا والآخر مظلمًا أبدًا.
- [٢] ففي إهلاله يكون المرئي | منه مقدار | ما انحرفه النصف المضئيء المقابل للشمس. وفي كلّ ليلة يزداد الانحراف إلى المقابلة؛ فيكون الوجه المقابل للشمس مرئيًا بأسره لتوسط البصر بين النيرين. ثمّ يعود الأمر: فينقص المرئي من النير إلى اجتماع النيرين. ثمّ يعود الأمر من الأوّل.
- ١٠ [٣] وأمّا سبب الخسوف في القمر فهو دخوله في مخروط ظلّ الأرض. ولا يكون ذلك إلاّ في مقابلة النيرين بشرط آخر وهو أن يكون عرضه أقلّ من ثلاثة وستين دقيقة. فإن كان عرضه مثل ذلك، ماسّ لمخروط ظلّ الأرض* ولا يقع فيه. وإن نقص عن ذلك، | دخل في مخروط ظلّ الأرض: وانخسف منه مقدار ما يدخل منه | في مخروط ظلّ الأرض. وإن زاد العرض عن درجة
- ١٥ وثلاث دقائق، لم ينخسف ونفذ ضوء الشمس إلى سطحه فرئي على عادته نيرًا.
- [٤] والضابط أن عرض القمر | عند مقابلة الشمس: إمّا إن يكون أكثر من نصفي قطري القمر وظلّ الأرض فلا تقع للقمر خسوف. | وإمّا إن يكون مساويًا لنصف القطرين فيماسّ القمر محيط دائرة الظلّ، من خارج، في جهة عرض القمر، ولا ينخسف أيضًا. وإمّا إن يكون العرض أقلّ من نصف القطرين وحينئذٍ ينخسف. لكن إن كان العرض أكثر من نصف قطر الظلّ، انخسف منه أقلّ من نصفه؛ وإن كان مساويًا له، مرّت دائرة الظلّ بمركز صفحة القمر وانخسف نصفه؛ وإن
- ٢٠
- ٣-٢ في سبب ... الفصل الأوّل: في الهامش مع إشارة [أ، س]. ° يُنقل: ينفذ [أ، ج، د]، ينفذ [س]. ٧ أبدًا: ناقص [س]. ٩ مرئيًا: مرئي [أ، د، س]. ١١ ظلّ الأرض: الظلّ [ج]. ١٤ وانخسف ... الأرض: في الهامش [أ]، وانخسف منه مقدار ما يدخل في مخروط ظلّ الأرض [د، ج]. ١٥ ونفذ: ونفذ [ج]. ١٥ نيرًا: نير [أ، س، د]. ١٧ فلا: ولا [س]. ١٧ فيماسّ: فما بين [ج]. ١٨ في: من [أ، ج]. ١٨ أيضًا: أبدًا [ج]. ١٩ أكثر: أقلّ [أ، د، ج، س]، أكثر [هامش ج]. ١٩-١٠٩٩ انخسف منه أقلّ ... أقلّ من نصف قطر الظلّ: كرّر قفّرًا لنشبه الكلمات [س]. ٢٠ وإن كان مساويًا ... وانخسف نصفه: ناقص [ج، د]، وإن كان العرض مساويًا لنصف قطر الظلّ انخسف نصف جرم القمر [هامش ج].

٦ س ٥٦ ظ. ٨ ج ٤٠ ظ. ٨ ه ٦١ و. ١٣ أ ٣٧ ظ. ١٤ ك ٦٩ و. ١٦ ق ٣٥ و. ١٧ ت ٢٧ و.

* كتب "وإن زاد العرض" ثمّ ضرب عليه بالقلم [س].

si la latitude est inférieure au rayon de l'ombre mais supérieure à la différence entre le rayon de la Lune et le rayon de l'ombre, alors est éclipsée une partie plus grande que la moitié ; si la latitude est égale à la différence entre le rayon de la Lune et le rayon de l'ombre, alors la Lune touche le bord du disque d'ombre, de l'intérieur, du côté de sa latitude, et elle est totalement éclipsée mais elle ne peut le demeurer ; si la latitude est inférieure à cette différence, alors l'éclipse est totale et dure en proportion de combien la Lune s'est engagée dans le disque d'ombre. La durée est maximale quand le centre de la Lune passe, à mi-temps de l'éclipse, au centre de disque de l'ombre – une éclipse dure quand la Lune reste éclipsée et sombre pendant un certain temps, et cette durée est comme le rapport entre la portion de l'écliptique contenue dans le disque de l'ombre et l'excédent de sa vitesse sur la vitesse du Soleil.

[5] Le commencement de l'assombrissement et de l'éclaircissement est vers le sud-est si la latitude de la Lune est au nord, il est vers le nord-est si la latitude est au sud, et si la latitude est nulle alors il est du côté du levant ¹⁹⁵.

[6] La partie sombre de la Lune comporte toujours deux parties convexes, l'une (à l'opposé de la latitude) appartenant à la Lune, l'autre appartenant au disque de l'ombre. Sa partie lumineuse a toujours la forme d'un croissant dont la partie convexe appartient à la Lune et dont la partie concave appartient au disque de l'ombre.

Deuxième section

La cause des éclipses de Soleil

[7] [Le Soleil est éclipsé] quand il cesse d'éclairer les éléments proches de nous, à un instant où d'habitude il les éclaire.

[8] [Ces éclipses] sont causées par l'interposition de la Lune entre l'œil et le Soleil : elle dérobe alors la lumière du Soleil à la vision à cause de son opacité. Dès qu'elle traverse l'intervalle entre l'œil et le Soleil, l'éclipse survient. Cela se produit lors des conjonctions qui ont lieu en plein jour, pourvu que la Lune soit alignée avec le Soleil et l'œil. Si elle n'entre pas dans l'alignement avec l'œil par rapport au Soleil, celui-ci ne s'éclipsera pas pendant cette conjonction.

[9] Ce qui importe est la conjonction des astres tels qu'ils apparaissent après correction avec la parallaxe : grâce à cela on sait qu'il peut y avoir éclipse chez certains peuples et non chez les autres bien que le Soleil soit au-dessus de l'horizon chez l'un comme chez les autres, à cause de la variation

كان العرض أقلّ من نصف قطر | الظلّ وأكثر من فضل نصف قطر الظلّ على نصف قطر القمر، | انخسف منه أكثر من نصفه؛ وإن كان مساوياً | لفضل نصف قطر الظلّ على نصف قطر القمر ماسّ القمر محيط دائرة الظلّ، من داخل، على نقطة في جهة عرضه، وانخسف كلّه ولم يمكن له مكث في الخسوف؛ وإن كان العرض أقلّ من هذا الفضل، انخسف كلّه ومكث بحسب ما يقع في دائرة الظلّ. وغايته إن يمرّ مركز جرم القمر، في وسط زمان الخسوف، على مركز دائرة الظلّ - والمكث أن يبقى جرمه زماناً مخسوفاً مظلماً، وذلك بقدر ما يقطع القمر بفضل سيره على سير الشمس ما وقع داخل دائرة الظلّ من | طريق الشمس.

[٥] ويكون بدء الظلام | والانجلاء من ناحية المشرق والجنوب إن كان عرض القمر شمالياً، ومن ناحية المشرق والشمال إن كان العرض جنوبيّاً، وإن لم يكن له | عرض فحاذى درجة الطالع. [٦] والمظلم من القمر أبداً ذو حدّتين إحدهما (وهي التي في خلاف جهة العرض) من القمر، والحدبة الأخرى من دائرة الظلّ. والمستتير منه أبداً هلاله الشكل محدّبه من القمر ومقعّره من دائرة الظلّ.

الفصل الثاني

في سبب كسوف الشمس

[٧] وهو عدم إضاءة الشمس على العناصر ممّا يلينا، في الوقت الذي من شأنه أن تضيء فيه.

[٨] وسببه توسّط القمر بيننا أي بين البصر والشمس: فيحجب نور الشمس عن البصر لكثافته. | فإذا قطع المسافة التي بين البصر والشمس بحركته، زال الكسوف. ويقع ذلك في الاجتماعات | النهارية التي يكون القمر فيها على محاذاة الشمس والبصر. وإذا لم يدخل في محاذاة البصر للشمس، لم تنكسف الشمس في ذلك الاجتماع.

[٩] | والمعتبر هو الاجتماع المرئي المعدّل باختلاف المنظر: فمن هنا يعلم أنّه يمكن أن يقع كسوف | بالقياس إلى قوم دون آخرين مع كون الشمس فوق أفق كلّ منهما، وذلك لاختلاف

^٢ لفضل: في الهامش مع إشارة [س]. ^٣ في: من [أ، د، ج]. ^٤ يمكن: يكن [ج، س]. ^{٥-٨} والجنوب ... ومن ناحية المشرق: في الهامش مع إشارة [د]، في الهامش تحت السطر [ج]. ^٩ والشمال: بشمال [س]. ^{١٥} من: في [أ]. ^{١٥} أن: ناقص [أ، د، ج]. ^{١٧} بيننا أي: ناقص [أ، س]. ^{١٧} البصر: غير مقروء (وكُنْب "البصر" في الهامش) [ج]. ^{١٨} ويقع: وهو يقع [د]. ^{٢١} يمكن أن: ناقص [ج].

^١ س ٥٧. ^٢ د ٤٧ ظ. ^٣ ه ٦١ ظ. ^٤ گ ٦٩ ظ. ^٥ ب ٣٨ ظ. ^٦ ج ٤١ و. ^٧ س ٥٧ ظ. ^٨ ه ٦٢ و. ^٩ أ ٣٨ و. ^{٢٢} ق ٣٥ ظ.

de la position relative de la Lune par rapport aux observateurs en fonction du lieu qu'ils habitent. Elle dépend du pays : il peut y avoir eu éclipse dans un pays et non dans l'autre, ou bien éclipse dans l'un et éclipse dans l'autre mais de grandeurs différentes, dans des directions différentes, ou de durées différentes.

[10] Sache que les diamètres des deux luminaires sont égaux en apparence, ou différents. Qu'ils soient égaux, et que la latitude apparente soit inférieure à la moitié de la somme des rayons des deux luminaires ; alors, si elle est égale au rayon du Soleil, il est éclipsé à moitié ; si elle est supérieure, il est éclipsé moins qu'à moitié ; si elle est inférieure, il est éclipsé plus qu'à moitié ; si la latitude apparente est nulle, il est entièrement éclipsé mais cela ne dure pas.

[11] Et si les rayons des deux luminaires sont différents en apparence, que le rayon du Soleil est plus grand en apparence que le rayon de la Lune, si la latitude apparente déjà mentionnée est supérieure au rayon du Soleil, il est éclipsé moins qu'à moitié ; mais s'il y a égalité, il est aussi éclipsé moins qu'à moitié, d'autant moins que l'excédent de son rayon sur le rayon de la Lune est grand ; si la latitude est inférieure et qu'elle est égale à la différence entre le rayon du Soleil et le rayon de la Lune, la Lune touche de l'intérieur le bord du disque du Soleil dont il ne reste plus qu'un anneau lumineux de la forme d'un croissant ; si la latitude de la Lune est exactement nulle, à mi-temps de l'éclipse l'anneau deviendra circulaire, entourant le corps la Lune, de rondeur uniforme ; si la latitude est entre ces deux états, la Lune est sculptée différemment d'un croissant ou d'un anneau circulaire parfait. Dans le dernier cas, ainsi que dans le cas d'un croissant, la partie lumineuse la plus épaisse est du côté opposé à la latitude apparente.

[12] Enfin, que le rayon de la Lune soit plus grand en apparence que le rayon du Soleil ; si la latitude apparente déjà mentionnée est égale au rayon de la Lune, il est éclipsé à moitié, le bord de la Lune passant par le centre du Soleil ; si la latitude est supérieure à cela, il est éclipsé moins qu'à moitié ; si la latitude est inférieure à cela et qu'elle est égale à la différence entre le rayon du Soleil et le rayon de la Lune, il est éclipsé entièrement mais cela ne dure pas ; si elle est encore inférieure à la différence, l'éclipse totale dure en proportion de cela ; la durée maximale est atteinte quand la latitude de la Lune est exactement nulle à mi-temps de l'éclipse, et cette durée est proportionnelle au rapport entre la différence des deux diamètres et la vitesse de la Lune.

وضع القمر من الأبصار باختلاف المساكن. ويختلف باختلاف البلاد: أمكن أن تنكسف في بلدٍ ولا تنكسف | في الآخر، أو تنكسف في الآخر لكن يختلفان قدرًا أو جهةً أو زمانًا.

[١٠] واعلم أنّ قطري النيرين إمّا أن يتساويا في المنظر، أو يختلفا. فإن تساويا، فالعرض المرئيّ الذي هو أقلّ من نصف قطري النيرين إمّا أن يكون مساويًا لنصف قطر الشمس، فينكسف نصفها؛ أو أكثر منه، فينكسف أقلّ من النصف؛ أو أقلّ، فينكسف أكثر من النصف؛ وإن لم يبق العرض المرئيّ، انكسفت كلّها ولا يكون لها مكث.

[١١] وإن اختلف قطرا النيرين بالنظر، وكان قطر الشمس أعظم في الرؤية من قطر القمر بالرؤية؛ فالعرض المرئيّ المذكور إن كان أكثر من نصف قطر الشمس، انكسف منها أقلّ من النصف؛ وكذا إن كان مساويًا له، انكسف منها أقلّ من نصفها، بقدر زيادة نصف قطرها على نصف قطر القمر؛ وإن كان أقلّ منه ومساويًا لفضل نصف قطر الشمس على نصف قطر القمر، ماسّ القمر من داخل محيط دائرة الشمس | وبقي منها حلقة نورانية | هلالية | الشكل؛ وإن لم يبق للقمر عرض مرئيّ ألبتّة، في وسط زمان الكسوف صارت الحلقة مستديرة، حول جرم القمر، إستدارة متساوية؛ وإن كان بين هاتين الحالتين؛ صارت مختلفة النحت لا هلالية ولا مستديرة تامّة. | ويكون غلظ النور فيها وفي الهلالية إلى خلاف جهة العرض المرئيّ.

[١٢] وإن كان قطر القمر | في الرؤية | أعظم من قطر الشمس، فالمرئيّ المذكور إن كان مساويًا لنصف قطر القمر، انكسف منها نصفها لمور محيط القمر بمركز الشمس؛ وإن كان أكثر منه، انكسف منها أقلّ من النصف؛ وإن كان أقلّ منه وكان مساويًا لفضل نصف قطر القمر على نصف قطر الشمس، انكسفت كلّها ولم يكن لها مكث؛ وإن كان أقلّ من الفضل أيضًا، مكثت بحسب ذلك؛ وغايته إن لا يبقى للقمر في وسط زمان الكسوف عرض مرئيّ ألبتّة، وهو بقدر ما يقطع القمر بسبقه فضل قطره على قطر الشمس. والله أعلم بذلك.

^١ وضع: موضع [ج، د]. ^١ من الأبصار: في الامصار [ج]. ^١ أمكن: ناقص [ج، د]. ^٢ قدرًا... زمانًا: قدرًا وجهةً وزمانًا [ج، د]. ^٤ إمّا أن: ناقص [أ، د]، فوق السطر [ج]. ^٧ قطرا: قطري [أ، د، ج، س]. ^٨ بالرؤية: ناقص [د، ج]. ^٩ انكسف منها: ناقص [ج]، في الهامش مع إشارة [د]. ^{١٠} نصف: ناقص [د، ج]. ^{١١} ماسّ: ما بين [ج]. ^{١١} داخل: فوق السطر [ج]. ^{١٣} النحت: الشكل [د، ج]. ^{١٦} أكثر: أكبر [س]. ^{١٧} وكان: كان [د]. ^{١٩} بقدر: يقدر [أ]. ^{٢٠} والله أعلم بذلك: ناقص [س]، والله أعلم [ج، د].

^٢ گ ٧٠. ^{١١} س ٥٨. ^{١١} ج ٤١ ظ. ^{١١} ه ٦٢ ظ. ^{١٤} ت ٢٧ ظ. ^{١٥} گ ٧٠ ظ. ^{١٥} ب ٣٩ و.

Chapitre vingt-neuf

Les intervalles de temps entre les éclipses de Lune et de Soleil

En deux sections

Première section

Les intervalles de temps entre les éclipses de Lune

[1] Sache que les limites des éclipses sont quand, à l'opposition des deux luminaires, la latitude de la Lune est inférieure à un degré et quatre minutes. Cette latitude requiert une distance au nœud (quelque soit le nœud, et que la distance soit dans le sens des signes ou en sens contraire) de douze degrés. Si la latitude dépasse cela, elle dépasse la somme des rayons de la Lune et de l'ombre de la Terre.

[2] Sachant cela, sache qu'il ne peut y avoir deux éclipses de Lune à un mois d'intervalle, car entre les limites des éclipses de Lune, de part et d'autre, il n'y a pas plus que vingt-cinq parts, or le Soleil décrit plus que cette grandeur en un mois lunaire et il sort donc des limites de l'éclipse.

[3] Il ne peut pas non plus y avoir deux éclipses de Lune à sept mois d'intervalle si l'opposition lors de l'éclipse a lieu avant l'arrivée au premier nœud, à l'extrême limite [du segment entre les limites], et que l'autre opposition est après le passage du second nœud, sept mois plus tard, car la seconde opposition ne tombe pas dans la limite d'une éclipse et que le nœud la dépasse de plus que la grandeur limite pour une éclipse, en sens contraire des signes. En effet, le Soleil se meut en sept mois lunaires d'environ deux cent cinq degrés. S'il est lors de la première opposition à la limite de l'éclipse (comme on l'a supposé), il dépassera la limite de l'éclipse d'un degré lors de la seconde opposition : après une durée de douze degrés il arrive au premier nœud, puis après cent quatre-vingts degrés il arrive au second nœud, et après treize jours il passe la limite de l'éclipse d'un degré. Cela suppose que le nœud est immobile, mais en fait il se meut de onze degrés pendant cette durée en sens contraire des signes, donc la distance entre le Soleil et la limite de l'éclipse est douze degré ; ainsi il ne peut y avoir deux éclipses de Lune à sept mois d'intervalle.

الباب التاسع والعشرون

في أزمان ما بين الخسوفين والكسوفين وفيه فصلان

الفصل الأول

في أزمان ما بين الخسوفين

٥ [١] اعلم أنّ حدود الخسوفات إن يكون عند استقبال النيرين عرض القمر أقلّ من درجة وأربع دقائق. وموجب | هذا العرض أن يكون البعد من العقدة (أي عقدة كانت سواء إن كان البعد على التوالي أو إلى خلافه) اثنتا عشرة درجة. لأنّ عرضه إذا زاد على ذلك، زاد على نصفي قطري القمر وظلّ الأرض.

١٠ [٢] وإذا عرفت ذلك، | فاعلم أنّه لا يمكن أن يكون خسوفان | بينهما شهر واحد، لأنّ غاية حدّ الخسوف، من الطرفين، لا يبلغ خمسة وعشرين جزءاً، والشمس في مدّة شهرٍ قمرٍ تقطع | أكثر من هذا المقدار فتخرج عن حدود الخسوف.

١٥ [٣] ولا يمكن أن تكون بين خسوفين سبعة أشهر بأن يكون الاستقبال الخسوفيّ قبل الوصول إلى العقدة الأولى، على حدّ طرف الحدّ، والاستقبال الآخر بعد التجاوز عن العقدة الثانية، بعد سبعة أشهر، لأنّ الاستقبال الثاني لا يقع في حدّ الخسوف لتجاوزه العقدة، إلى خلاف التوالي، عن المقدار | المحدود للخسوف. لأنّ الشمس تتحرّك في سبعة أشهر قمرية قريباً من مائتين وخمس درجات ولما كانت في الاستقبال الأوّل على حدّ الخسوف (كما هو المفروض)، كانت في الثاني مجاوزة حدّ الخسوف من العقدة الثانية بدرجة: لأنّها بعد قطع اثنتا عشرة درجة تصل إلى العقدة الأولى، وبعد مائة وثمانين تصل إلى العقدة الثانية، وبعد ثلاثة عشر يوماً تجاوز عن حدّ الخسوف بدرجة لو كانت العقدة ساكنة. لكنّها متحرّكة في هذه المدّة إحدى عشرة درجة إلى خلاف التوالي، فيصير البعد بين الشمس وحدّ الخسوف اثنتا عشرة درجة، فمن هذا امتنع وقوع خسوفين بينهما سبعة أشهر.

^٦ سواء إن كان البعد: ناقص [ج]، سواء كان البعد [د]. ^٧ إلى: ناقص [س]. ^٨ وظلّ الأرض: وقطر الظلّ [ج]. ^{١١} أكثر من: في الهامش مع إشارة [د]. ^{١١} حدود: حدّ [س]. ^{١٢} الخسوفيّ: للخسوفين [د، ج]. ^{١٣} حدّ: خلاف [د، ج]. ^{١٤} لتجاوزه: لتجاوز [د، ج]. ^{١٥-١٦} مائتين وخمس: ره [ج]، هكذا في نسخة د ولكن كُتب في الهامش مع إشارة "لعله ٢٠٦ درجات" [د]. ^{١٦} في الاستقبال الأوّل: مكرّر في الهامش (مع إشارة إلى الموضوع قبل "تتحرّك" في نسخة د) [ج، د]. ^{١٦} على: عن [د، ج]. ^{١٧} بعد: كتب "تبلغ" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "بعد" في الهامش [ج]. ^{١٨} حدّ: فوق السطر [ج]. ^{٢٠} الخسوف: الكسوف [د، ج].

[4] Le plus souvent, il y a six mois entre deux éclipses car pendant cette durée le Soleil se déplace du voisinage d'un des nœuds au voisinage de l'autre nœud.

[5] Il peut aussi y avoir cinq mois entre deux éclipses, mais plus rarement. Il faut qu'une opposition lors d'une éclipse ait lieu après le passage au nœud à l'extrême limite [du segment entre les limites], puis qu'une autre opposition ait lieu cinq mois plus tard avant d'atteindre l'autre nœud. Ceci peut arriver dans la limite de l'éclipse, à cause du mouvement du nœud qui est pendant cette durée de huit parts en sens contraire des signes, mais aucune des deux éclipses ne peut alors être totale (tandis que des éclipses à six mois d'intervalle peuvent être toutes deux totales, toutes deux partielles, ou bien l'une totale et l'autre partielle).

Deuxième section

Les intervalles de temps entre les éclipses de Soleil

[6] On détermine ces intervalles de temps au moyen des limites des éclipses de Soleil mais elles ne sont pas égales des deux côtés comme pour les éclipses de Lune, car c'est la latitude apparente qui importe ici (et non la latitude réelle comme pour les éclipses de Lune), or la parallaxe doit tantôt être ajoutée à la latitude de la Lune, tantôt retranchée, pour obtenir la latitude apparente, et la limite par rapport au nœud de part et d'autre diffère selon la parallaxe des lieux.

[7] Au centre du monde habité, où la latitude est de trente-six parts¹⁹⁶, la possibilité des éclipses s'étend jusqu'à dix-huit degrés après le nœud ascendant ou avant le nœud descendant, mais seulement jusqu'à sept degrés avant le nœud ascendant ou après le nœud descendant. En effet, la parallaxe maximale en latitude est de soixante-quatre minutes¹⁹⁷; or les rayons des deux luminaires font, au plus, un total de trente-quatre minutes; si la latitude est quatre-vingt-dix-huit minutes nord, retranches-en la parallaxe, il reste trente-quatre degrés de latitude apparente, or c'est égal

[٤] وأما أكثر الوقوع، | فأَن يكون بين الخسوفين ستة أشهر، لانتقال الشمس في هذه المدة من قريب | إحدى العقدتين إلى قريب الأخرى.

[٥] ويمكن أن يقع بين خسوفين خمسة أشهر، ولكن أقلّ من الأول وقوعًا. وذلك إذا وقع استقبال | خسوفيّ | بعد تجاوز العقدة على طرف الحدّ، ثمّ استقبال آخر بعد خمسة أشهر قبل الانتهاء إلى العقدة الأخرى. فإنّه يمكن أن يقع في حدّ الخسوف، وذلك لحركة العقدة إلى خلاف التوالي واستقبالها لموضع الخسوف في المدة ثمانية أجزاء، لكن لا يكون أحد الخسوفين تامًّا (بخلاف اللذّين بينهما ستة أشهر لجواز أن يكونا تامّين وناقصين وأن يكون أحدهما تامًّا والآخر ناقصًا).

الفصل الثاني

في أزمان ما بين الكسوفين

[٦] ويُعلم ذلك من حدود الكسوفات لكنّها ليست متساوية من الجهتين كما في حدود الخسوفات، لأنّ المعبر العرض المرئّي | (وفي الخسوفات العرض الحقيقيّ)، | لأنّ اختلاف المنظر في العرض يجب أن يُزاد تارةً على عرض القمر، ويُقص منه أخرى، ليصير مرئيًّا، فيلزم أن يكون الحدّ من العقدة في الجانبين مختلف بحسب اختلاف المنظر في البقاع.

[٧] ففي وسط المسكون، حيث العرض ستة وثلاثين جزءًا، يكون إمكان الكسوف على بُعد غايته بعد عقدة الرأس أو قبل عقدة الذنب إلى ثماني عشرة درجة، أو على بُعد غايته قبل | عقدة الرأس أو بعد عقدة الذنب | سبع درجات. | لأنّ غاية اختلاف المنظر في العرض أربع وستّين دقيقة؛ ونصف قطري النّيرين أكثره أربع وثلاثون دقيقة؛ فإذا كان العرض شماليًّا ثماني وتسعين دقيقة، ونُقص منه اختلاف المنظر، | بقي العرض المرئّيّ أربع وثلاثين دقيقة، مساويًا لنصف

٤ خسوفيّ: خسوفين [د، ج]. ٤ آخر: كتب "آخر" بعد "بعد" ثمّ شطبه بالقلم وكتبه قبله فوق السطر [س]. ٤ بعد: بعده أي بعد [ج]، بعده [د]، أي بعد [هامش د]. ٤ خمسة أشهر: خمسة أشهر ولكن أقلّ من الأول وقوعًا (وضرب على "ولكن ... وقوعًا" بالقلم) [س]. ٦ واستقبالها: "لعلّه وانتقالها" في الهامش مع إشارة [د]. ٧ اللذّين: التي [س]، الذي [أ، د، ج]. ١١ متساوية: يُزاد "بمقاربة" في الهامش مع إشارة إلى الموضع فوق "متساوية" [ج]. ١١ كما: لما [أ]، د، ج، س]. ١٢ الخسوفات: الكسوفات [د، ج]. ١٣ عرض القمر: العرض [ج]. ١٥ حيث: حسب [ج]. ١٥ يكون: ليكون [د، ج]. ١٦-١٧ إلى ثماني ... بعد عقدة الذنب: في الهامش مع إشارة (قد كان ناقص بسبب قفزة لتشبه الكلام) [د]. ١٦ بُعد: حدّ [د، ج]. ١٧ سبع: بسع [ج]، ٧ [د]. ١٨ قطري: قطر [س]. ١٨ فإذا: وإذا [د، ج، س]. ١٨ شماليًّا: شمالي [د، ج]، شمال [أ].

١ ٥١ ظ. ٢ ٧١ ظ. ٤ س ٥٩ و. ٤ ب ٣٩ ظ. ٧ ٣٩ و. ١٢ ت ٢٨ و. ١٢ ق ٣٦ ظ. ١٦ ك ٧٢ و. ١٧ ج ٤٢ ظ. ١٧ ه ٦٤ و. ١٩ د ٤٨ ظ.

aux deux rayons des luminaires, et la limite de l'éclipse au nord est donc bien le premier nombre ci-dessus (la latitude de la Lune est quatre-vingt-dix-huit minutes quand la Lune est environ dix-huit degrés après le nœud ascendant ou avant le nœud descendant). Quand la Lune a une latitude sud, son maximum est trente-quatre minutes, et elle a cette latitude quand elle est six degrés et demi après le nœud descendant ou avant le nœud ascendant.

[8] Ceci étant admis, sache que :

– il ne peut y avoir deux éclipses de Soleil à un mois d'intervalle au même endroit ;

– mais cela peut arriver dans deux endroits différents, l'un dans les latitudes nord, l'autre dans les latitudes sud.

[9] Le premier point résulte du fait que les limites dans lesquelles peut avoir lieu l'éclipse, avant le nœud et après le nœud, sont distantes de vingt-cinq degrés, or le Soleil se meut d'environ un signe par mois lunaire, c'est-à-dire trente degrés, donc il sort des limites de l'éclipse et celle-ci ne peut avoir lieu. Pour le second point, si l'on fait avec les latitudes sud dans les endroits situés dans les latitudes sud comme on l'a fait avec les latitudes nord dans les endroits situés dans les latitudes nord, on trouve que les deux limites des éclipses sont distantes de trente-six degrés, or le Soleil décrit trente degrés par mois, donc il peut retomber dans la limite de l'éclipse.

[10] Il arrive qu'il y ait deux éclipses de Soleil au même endroit à cinq mois d'intervalle, l'une après le nœud ascendant, puis l'autre avant le nœud descendant. Cela arrive aussi à sept mois d'intervalle, l'une avant le nœud descendant, puis l'autre après le nœud ascendant, mais le premier cas est plus fréquent. Et l'occurrence de deux éclipses de Soleil à six mois d'intervalle n'est pas sujette à caution : c'est le cas le plus fréquent. Enfin, il peut y avoir une éclipse de Soleil la moitié d'un mois après une éclipse de Lune.

[11] Les limites de l'éclipse de Lune sont comptées le long d'un cercle passant par le centre de l'ombre, perpendiculaire à l'orbe incliné ; et la limite de l'éclipse de Soleil est comptée le long d'un arc passant par le centre de la Lune, perpendiculaire à l'écliptique. Dieu est le plus savant.

Trentième et dernier chapitre

Science de la forme de la Terre et de sa surface

[1] En astronomie, de nombreuses preuves ont déjà établi que l'ensemble de la Terre et de l'eau est sphérique, qu'elle est au centre des cieux, que son centre de gravité coïncide avec le centre du monde, et qu'elle est immobile au centre [des cieux]. Elle ne s'incline d'aucun côté autrement que ce qu'exige la différence entre son centre de gravité et le centre de son volume. Ainsi la sphéricité de la surface de la Terre

القطرين، فيجب أن يكون الأول حدّ الكسوف في الشمالية | (حيث عرض القمر ثمانى وتسعون دقيقة وهو بعد عقدة الرأس وقبل عقدة الذنب بثمانى عشرة درجة بالتقريب). وأمّا في عرض القمر الجنوبيّ، فغايبته أربع وثلاثون دقيقة، وذلك أن يكون بعد عقدة الذنب وقبل الرأس بستّ درجات ونصف.

٥ [٨] وإذ تقدّم ذلك، فاعلم أنّه:

- لا يمكن أن يكون كسوفان بينهما شهر واحد في بقعة واحدة،

- ويمكن في بقعتين مختلفتين في جهة عرض البلد.

[٩] أمّا الأول فلأنّ غاية الحدّ الذي يمكن فيه الكسوف، من قبل العقدة وبعدها، خمس

وعشرون درجة، والشمس في مدّة شهر قمرىّ تتحرّك قريب برج، وهو ثلاثون درجة، فيخرج عن

١٠ حدّ الكسوف فامتنع ذلك. وأمّا الثاني، | فإن حكم العرض الجنوبيّ في البلاد الجنوبيّة العرض

كحكم العرض الشمالي في البلاد الشمالية العرض، فيكون بين حدّي الكسوفين ستّ وثلاثين درجة، والشمس تقطع في الشهر ثلاثين درجة، فتقع في حدّ الكسوف.

[١٠] | وفي بقعة واحدة وقوع كسوفين بينهما خمسة أشهر، أحدهما بعد الرأس، والآخر قبل

الذنب؛ أو على سبعة أشهر، أحدهما قبل الذنب، والآخر بعد الرأس؛ والأول أكثر وقوعاً. وأمّا وقوع

١٥ | بين كسوفين ستّة أشهر فلا اشتباه فيه: وهو أكثرىّ. | ويمكن وقوع خسوف وكسوف بينهما نصف شهر.

[١١] وحدود الخسوف من الدائرة المارة بمركز الظلّ، القائمة على المائل؛ وحدّ الكسوف

يكون من القوس المارة بمركز القمر، القائمة على البروج. والله أعلم.

الباب الموفى ثلاثين

في معرفة شكل الأرض ومساحتها

٢٠

[١] قد ثبت في علم الهيئة بعدّة | أدلّة | أنّ جملة الأرض مع الماء كرويّة، وأنّها في وسط

الأفلاك، ومركز ثقلها مطابق لمركز العالم، ثابتة في الوسط. ليس لها ميل إلى جانب من الجوانب

سوى ما يقتضيه الاختلاف بين مركز ثقلها ومركز حجمها. فتكون | استدارة سطح الأرض مع

١٥ ستّة: في الهامش مع إشارة [أ]. ١٧ المارة: في الهامش [د]، ناقص [ج]. ١٨ والله أعلم: ناقص [س]. ١٩ الموفى

ثلاثين: ٣٠ [ج، د]، الموفى ثلاثون [أ]. ٢١ بعدّة: بعد [أ، د، ج]. ٢٢ سوى: فيقوا (وكُتِب تحت السطر "سوا") [ج].

١ س ٥٩ ظ. ١٠ ك ٧٢ ظ. ١٣ أ ٣٩ ظ. ١٥ ه ٦٤ ظ. ١٥ ب ٤٠ و. ٢١ ق ٣٧ و. ٢١ س ٦٠ و. ٢٣ ج ٤٣ و.

et de l'eau est parallèle à la sphéricité des cieux ; les reliefs qui l'accompagnent du côté des montagnes et des terrains encaissés ne la font pas sortir des limites de la sphéricité, car ils sont insensibles par rapport à la grandeur de la Terre. En effet, soit une montagne haute d'une demi-parasange¹⁹⁸, c'est-à-dire six mille coudées. Par rapport à l'ensemble de la Terre, elle est comme un cinquième d'un septième de la largeur d'un grain d'orge¹⁹⁹ par rapport à une sphère d'une coudée de diamètre ; c'est bien insensible par comparaison avec une telle sphère.

[2] Sache que les grands cercles à la surface de la Terre sont parallèles aux grands cercles célestes. Ceux qui sont à sa surface se subdivisent comme eux en trois cent soixante parts, et chaque part du cercle terrestre est disposée [dans la direction de] son homologue du cercle céleste.

[3] Si un voyageur se déplace tout droit le long du méridien sur un sol uni jusqu'à ce que le pôle s'élève ou bien s'abaisse d'un degré, alors la grandeur dont il s'est déplacé le long de ce cercle est d'un degré, et le périmètre entier [du cercle] fait trois cent soixante fois la grandeur dont il s'est déplacé.

[4] Hipparque et Ptolémée (auteur de l'*Almageste*) ont observé cela et ils ont trouvé qu'une portion d'un degré du grand cercle imaginaire sur la Terre mesure soixante-six milles et deux tiers de mille, si le mille mesure trois mille coudées²⁰⁰, la coudée²⁰¹ mesure trente-deux doigts, et le doigt six grains d'orge joints côte à côte.

[5] Puis une école de savants s'est mise à observer cela au temps d'al-Ma'mūn et sous ses ordres dans la plaine du Sinjār. Ils ont trouvé qu'une portion d'un degré faisait cinquante-six milles et deux tiers de mille, si le mille mesure quatre mille coudées, la coudée vingt-quatre doigts, et le doigt six grains d'orge.

[6] J'ai certes enseigné qu'il y a eu entre anciens et modernes des conventions différentes quant à la coudée, au mille et à la parasange (pas de différence quant au doigt) : la coudée des anciens mesure une coudée des modernes et un tiers, et le mille vaut quatre-vingt-seize mille doigts pour les deux écoles, c'est-à-dire trois mille coudées des anciens, mais quatre mille coudées des modernes. La différence pour les coudées est bien réelle, mais pour les milles elle n'est que verbale ; quant à la parasange, il n'y a pas

الماء موازيًا لاستدارة الأفلاك؛ | وإن تضاريسها التي تلزمها من جهة الجبال والأغوار لا تخرجها عن حد الاستدارة، لأن نسبة ذلك إلى عظم الأرض يسير غير محسوس. فإنه قد تبين أن جبلًا يرتفع نصف فرسخ، وذلك ستة آلاف ذراع، تكون نسبته عند جملة الأرض كخمس سبع عرض شعيرة عند كرة قطرها ذراع؛ وهذا المقدار يسير في هذه الكرة.

٥ [٢] واعلم أن الدوائر العظام التي في سطح الأرض موازية للدوائر العظام الفلكية. التي هي في سطحها وتنقسم كإنقسامها على ثلاث مائة وستين جزءًا، ويسامت كل جزء من الدائرة الأرضية لنظيره من الفلكية.

١٠ [٣] فإذا سار سائر على خط نصف النهار | في أرض مستوية على استقامة حتى يرتفع له القطب أو ينخفض درجة واحدة، فالقدر الذي ساره من تلك الدائرة درجة منها، وتكون جملة محيطها | ثلاث مائة وستين مثل ذلك القدر الذي ساره.

[٤] وقد رصد ذلك إبرخس وبطلميوس صاحب المجسطي فوجدوا حصّة درجة واحدة من الدائرة العظيمة المتوهمة على الأرض ستة وستين ميلًا وثلاثي ميل، بالميل الذي هو ثلاثة آلاف ذراع، بالذراع الذي هو اثنان وثلاثون إصبعًا بالأصابع التي هي ست شعيرات | معتدلات مضموم بطون بعضها لبعض.

١٥ [٥] ثم قام برصد ذلك طائفة | من الحكماء في زمن المأمون وبأمره في برية سنجار. فوجدوا حصّة الدرجة الواحدة ستة وخمسين ميلًا وثلاثي ميل، بالميل الذي هو أربعة آلاف ذراع، بالذراع الذي هو أربعة وعشرون إصبعًا، بالأصابع التي هي ست شعيرات معتدلات.

[٦] وقد علمت أن بين القدماء والمحدثين اختلافًا في الاصطلاح على الذراع والميل والفرسخ (وليس بينهم اختلاف في الإصبع): وإن ذراع الأقدمين ذراع وثلاث من ذراع المحدثين، والميل عند الطائفتين ستة وتسعون ألفًا | إصبع، وإنما هو بذراع الأقدمين ثلاثة آلاف ذراع، وبذراع المحدثين أربعة آلاف ذراع. والاختلاف في الذراع حقيقي، وفي الميل لفظي؛ وأما الفرسخ فلا

^٢ يسير: يسير جدًا [ج]. ^٣ يرتفع: تربع [أ، س]. ^٤ كخمس سبع: بخمس سبع [ج]، غير مقروء [أ]، بخمس سبع [س]، [د]. ^٥ في: على [س]. ^٦ الدائرة: الدوائر [ج]. ^٧ الدائرة: الدوائر [ج]. ^٨ إصبعًا بالأصابع: إصبع بالأصابع [أ، س]، إصبعًا بالأصابع [ج، د]. ^٩ بطون بعضها لبعض: بطون بعضها لظهور بعض (وكُتب "لظهور" فوق السطر في نسخة د) [ج، د]. ^{١٠} برصد: يرصد [ج]. ^{١١} وبأمره في برية سنجار: غير مقروء [أ]. ^{١٢} بالأصابع: بالأصابع [س، أ، د، ج]. ^{١٣} والمحدثين: ناقص [أ]، في الهامش مع إشارة [ج، د]. ^{١٤} وتسعون: وسبعون [د]. ^{١٥} والاختلاف: فالاختلاف [س].

^١ ك٧٣. ^٢ ٥٦٥. ^٣ ١٠ ت ٢٨ ظ. ^٤ ١٣ د ٤٩ و. ^٥ ١٣ س ٦٠ ظ. ^٦ ١٥ ك ٧٣ ظ. ^٧ ١٥ أ ٤٠ و. ^٨ ٢٠ ب ٤٠ ظ.

de différence puisqu'elle vaut trois milles chez les anciens comme chez les modernes, et une parasange fait douze mille coudées chez les modernes. J'ai enseigné qu'il y a une différence réelle dans la détermination du degré entre les anciens et les modernes et que cela résulte d'un écart des procédés. La grandeur de la différence est dix milles. Ceci étant admis, sache qu'un degré compte, pour les anciens, vingt-deux parasanges et deux neuvièmes de parasange, et pour les modernes, dix-huit parasanges et huit neuvièmes de parasange. Et la mesure selon les anciens est en accord avec les Grecs.

[7] Multiplions une portion d'un degré par trois cent soixante (c'est-à-dire le nombre de parts que compte la circonférence terrestre), on obtient la grandeur de la circonférence terrestre : huit mille parasanges selon les anciens, six mille huit cents parasanges selon les modernes (la différence est de mille deux cents parasanges). Si l'on divise le périmètre par trois et un septième²⁰², on obtient le diamètre du globe terrestre (avec l'eau) : deux mille cinq cent quarante-cinq parasanges et cinq onzièmes de parasange selon les anciens, deux mille cent soixante-trois parasanges et sept onzièmes de parasange selon les modernes.

[8] Si l'on multiplie le diamètre par la circonférence, on obtient la surface du globe terrestre (avec l'eau) : 20 363 636 parasanges et quatre onzièmes de parasange selon les anciens, 14 712 727 parasanges et trois onzièmes de parasange selon les modernes.

[9] On dit que la partie habitée est un quart du globe terrestre : une demi-circonférence suivant les longitudes et un quart de circonférence suivant les latitudes.

[10] Le volume du globe terrestre entier avec l'eau est, selon les anciens, 8 630 116 345 parasanges cubes et vingt et un cent-vingt-et-unièmes et deux tiers de cent-vingt-et-unième de parasange cube (ces fractions font environ un sixième) ; selon les modernes, c'est 5 033 856 498 parasanges cubes et quarante-deux cent-vingt-et-unièmes de parasange cube²⁰³.

[11] Si tu veux connaître cela en coudées, alors multiplies le nombre de coudées cubes d'une parasange par le nombre de parasanges

خلاف فيه لأنه عند | القدماء | والمحدثين ثلاثة أميال، فالفرسخ عند المحدثين اثنا عشر ألفاً ذراع؛ وقد علّمت أنّ بين الأقدمين والمحدثين اختلافاً في حقيقة قياس الدرجة وأنّ ذلك من تفاوت | العمل | ومقدار الاختلاف عشرة أميال. وإذا تقدم ذلك، فاعلم أنّ فرسخ درجة واحدة عند الأقدمين اثنان وعشرون فرسخاً وتُسع فرسخ، وفرسخ درجة واحدة عند المحدثين ثمانية عشر فرسخاً وثمانية أضع فرسخ. والعمل | على مذهب القدماء موافق للجُمهور.

[٧] فإذا ضربنا حصّة الدرجة في ثلاث مائة وستين | (وهي أجزاء دور الأرض)، حصل مقدار دور الأرض: على مذهب الأقدمين ثمانية آلاف فرسخ، وعلى مذهب المحدثين ستّة آلاف وثمان مائة فرسخ (وهو ينقص عمّا هو عند الأقدمين ألفاً ومائتين فرسخ). وإذا قسم المحيط على ثلاثة وسبع، حصل قطر جملة كرة الأرض (مع الماء): وهو على مذهب القدماء ألفان وخمس مائة وخمسة وأربعون فرسخاً وخمسة أجزاء من أحد عشر جزءاً من فرسخ، وقطر الأرض على مذهب المحدثين ألفان ومائة وثلاثة وستون فرسخاً وسبعة أجزاء من أحد عشر جزءاً من فرسخ.

[٨] وإذا ضربت جملة القطر في جملة الدور، حصل مساحة كرة الأرض (مع الماء): وهو على مذهب الأقدمين ٢٠٣٦٣٦٣٦ فرسخاً وأربعة أجزاء من أحد عشر جزءاً من فرسخ، وعلى مذهب المحدثين ١٤٧١٢٧٢٧ فرسخاً وثلاثة | أجزاء من أحد عشر جزءاً من فرسخ.

[٩] وقد اشتهر أنّ المسكون رُبع كرة الأرض، | وطول الرُبع نصف المحيط، وعرضه رُبع المحيط.

[١٠] ومساحة جرم جملة كرة الأرض مع الماء، بمكعب | الفرسخ الواحد، على رؤية الأقدمين، ٨٦٣٠١١٦٣٤٥ وأحد وعشرين جزءاً وثُلثي جزء من مائة وأحد وعشرين جزءاً من مكعب الفرسخ (وهو سُدس تقريباً)؛ وعلى مذهب المحدثين بمكعب الفرسخ أيضاً، | وهو ٥٠٣٣٨٥٦٤٩٨ فرسخاً واثنان وأربعون جزءاً من مائة وأحد وعشرين جزءاً من مكعب الفرسخ.

[١١] فإن أردت علم ذلك بالذراع، فاضرب مكعب أذرع الفرسخ في عدد فراسخ مساحة

^٢ والمحدثين: ناقص [ج]، في الهامش مع إشارة [د]. ^٢ قياس: فوق السطر [س]. ^{٣-٢} من تفاوت العمل: غير مقروء [أ].
^٥ أتساع: اسباع [ج]. ^٥ على مذهب: بمذهب [ج]. ^٥ موافق: موافقة [س]. ^{٧-٨} وثمان مائة: كتب أولاً "ثمانه" ثم كتب "نما" فوق السطر [س]. ^٦ حصل: في الهامش مع إشارة [ج، د]. ^٩ كرة: ناقص [د، ج]. ^{١٢} كرة: نسيط (وكتب "كرة" تحت السطر) [س]. ^{١٣} ٢٠٣٦٣٦٣٦: [أ، ج، د، س]. ^{١٤} ١٤٧١٢٧٢٧: ١٥٣٩٢٧٧٢٧ [أ، د، ج، س]. ^{١٧} جرم: جزء من [د، ج]. ^{١٧} الواحد: ناقصة [د، ج]. ^{١٧} رؤية: مذهب [ج، د].

^١ ج ٤٣ ظ. ^١ ٦٥ ظ. ^٣ ق ٣٧ ظ. ^٥ گ ٧٤ و. ^٦ س ٦١ و. ^{١٤} ٥ ٦٦ و. ^{١٥} أ ٤٠ ظ. ^{١٧} گ ٧٤ ظ. ^{١٩} س ٦١ ظ.

du volume. Si tu veux connaître la surface de la Terre en coudées, alors multiplies le nombre de coudées carrées d'une parasange par le nombre de parasanges de la surface de la Terre ; que ce soit selon les anciens ou selon les modernes, on obtient ainsi la surface de la Terre en coudées carrées (la coudée carrée des anciens ou bien celle des modernes). C'est ce que nous voulions montrer.

Conclusion

Distances et [grandeurs] des corps, en quatre sections

Première section

Correction des distances des deux luminaires au centre de la Terre

[1] Ptolémée avait indiqué dans l'*Almageste* que le rayon de l'orbe incliné de la Lune était cinquante-neuf fois le rayon de la Terre – et c'est la distance maximale du centre de l'épicycle. Des chercheurs en cet art ont corrigé ceci sur de longs intervalles de temps, et en suivant des voies plus précises que les siennes : ils ont trouvé qu'il y avait un défaut dans la valeur de la parallaxe utilisée par Ptolémée, ils ont cherché à mesurer ce défaut et ils ont supposé que le rayon du parécliptique faisait cinquante-huit fois le rayon de la Terre. À partir de là, ils ont trouvé une parallaxe en accord avec l'observation. Pour eux, ceci s'est répété et s'est donc vérifié. Nous nous sommes [ensuite] appuyés [sur ce résultat].

[2] Nous avons déjà montré que le rayon de l'épicycle apparent pendant les oppositions et les conjonctions est cinq parts et un sixième, en parts telles que le rayon du parécliptique en compte soixante. Cela fait cinq parts, en parts telles que son rayon en compte cinquante-huit. Si l'on ajoute cela au rayon du parécliptique, on obtient soixante-trois parts, distance maximale de la Lune au centre de la Terre pendant les conjonctions et les oppositions. Il a été déterminé que le diamètre [apparent] de la Lune à cette distance de soixante-trois diamètres terrestres (c'est la distance maximale pendant les conjonctions et les oppositions) est 0;30,18.

[3] Par de nombreuses observations, il a été déterminé que le diamètre du Soleil à distance maximale est 0;29,5, à distance moyenne 0;32,32, et à distance minimale 0;36,54,41. Nous avons déjà indiqué dans la configuration des orbes du Soleil que sa distance minimale est 52;53, sa distance moyenne 60, et sa distance maximale 67;7. Si nous divisons son diamètre à distance moyenne par la distance du Soleil, on obtient le diamètre du Soleil à cette distance ; et si nous divisons le diamètre du Soleil à distance moyenne par son diamètre à un instant donné, on obtient la distance du Soleil ²⁰⁴.

الجرم. وإن أردت مساحة بسيط الأرض | بالذراع، فاضرب مربع عدد أذرع الفرسخ في عدد فراسخ مساحة بسيط الأرض؛ على أي | مذهب أردت، فما حصل فهو مساحة بسيط الأرض بمربع ذراع واحد على المذهب الذي حسبته عليه. وذلك ما أردنا أن نبين.

الخاتمة

| في الأبعاد والأجرام وفيه فصول أربعة

الفصل الأول

في تصحيح أبعاد النيرين | من مركز الأرض

[١] قد ذكر بطليموس في المجسطي أنّ نصف قطر الفلك المائل | للقمر مثل نصف قطر الأرض تسع وخمسون مرة، وهو أبعد بُعد | مركز التدوير. وعُمل على ذلك ثم إنَّ محققي هذا الفن صحّحوا ذلك في المدد المتطاولة بطرق أضبط من طريق بطليموس: وذلك أنّهم وجدوا اختلاف المنظر المستعمل في الكسوفات على طريق بطليموس وفيه نقص، فحزّروا ذلك النقص، وفرضوا نصف قطر الممثل ثمانين وخمسين | مرةً مثل نصف قطر الأرض. وعملوا على ذلك فوجدوا اختلاف المنظر موافقاً للرصد. وتكرّر ذلك فصحّح عندهم. وعليه اعتمدنا.

[٢] وقد بيّنا أنّ نصف قطر التدوير المرئي في الاجتماعات والاستقبالات خمسة أجزاء | وسُدس جزء، بالأجزاء التي بها نصف قطر الممثل ستين جزءاً. فيكون، بالأجزاء التي بها نصف قطره ثمانية وخمسين، خمسة أجزاء. وإذا زيد ذلك على نصف قطر الممثل، بلغ ثلاثة وستين، وهو أبعد بُعد القمر في الاجتماعات والاستقبالات من مركز الأرض. وقد تحدّد أنّ قطر القمر في هذا البُعد الذي هو ثلاث وستون مرةً مثل نصف قطر الأرض (وهو البُعد الأبعد في الاجتماعات | والاستقبالات) ٠ ل نج.

[٣] وقد تحدّد بأرصاٍ كثيرة أنّ قطر الشمس في بُعدها الأبعد كط ه، وفي بُعدها الأوسط لب لب، وفي بُعدها الأقرب لو ند ما. وقد ذكرنا في هيئة أفلاك الشمس أنّ بُعدها الأقرب نب نج، وبُعدها الأوسط س، وبُعدها | الأبعد سز ر. وإذا قسمنا قطرها في بُعدها الأوسط على بُعد الشمس حصل قطر الشمس في ذلك البُعد. وإذا قسمنا | قطر الشمس في بُعدها الأوسط على قطرها في وقت مفروض، حصل بُعد الشمس.

٣ بمربع: لمرّبع [د، ج]. ٥ أربعة: ناقص [س]. ١١ وفيه: فيه [أ، د، ج، س]. ١٤ المرئي ... والاستقبالات: في الهامش مع إشارة [س]. ١٨ الذي هو: وهو [أ، د، ج]. ١٨ مرةً: جزءاً [أ، د، ج].

١ ج ٤٤ و. ٢ ب ٤١ و. ٥ د ٤٩ ظ. ٧ ت ٢٩ و. ٨ ه ٦٦ ظ. ٩ ق ٣٨ و. ١٢ ك ٧٥ و. ١٤ س ٦٢ و. ١٩ أ ٤١ و. ٢٢ ه ٦٧ و. ٢٣ ج ٤٤ ظ.

[4] D'après ce que nous avons dit, il est certain que si nous divisons le diamètre du Soleil à distance moyenne, 0;32,32, par le diamètre de la Lune à distance maximale, 0;30,18, il sort 0;62,30 comme distance du Soleil²⁰⁵ au centre de l'écliptique à l'instant où le rayon de la Lune est égal au rayon du Soleil quand la Lune est à distance maximale lors des conjonctions et des oppositions.

[5] Ceci étant admis, voyons le tracé de la figure en forme de sapin. Soit AB le cercle représentant le Soleil, et \check{G} son centre. Soit DH le cercle représentant la Terre, et Z son centre. Soit ANB le cône qui la contient, et $N\check{G}$ sa hauteur. Soit $\Upsilon Y\check{H}$ le cercle représentant la Lune, et Y son centre. Soit AZB le cône contenant la Lune et le Soleil. Reportons la longueur ZY en ZL, et traçons les perpendiculaires $\check{G}B$, ΥY , ZH et LM à la hauteur de ce cône c'est-à-dire la droite $N\check{G}$. Si on les prolonge de l'autre côté [de $N\check{G}$], on obtient les diamètres de ces sphères.

[Figure 18.]

[6] Sache que les droites passant par les points de tangence avec chacun de ces cercles ne sont pas leurs diamètres, mais ils en diffèrent peu car la distance est grande. L'angle AZB contient le Soleil et la Lune à l'instant où la distance [de la Lune] à la Terre est soixante-trois. Nous avons dit que le diamètre de la Lune dans cette position est 0;30,18, et sa moitié 0;15,9 est l'angle $YZ\Upsilon$; or le rapport de ZY (soixante-trois) à $Y\Upsilon$ est comme le rapport du sinus de l'angle ΥYZ au sinus de l'angle $YZ\Upsilon$; donc $Y\Upsilon$ est connu.

[7] Voici le calcul. Prenons le sinus de l'angle $YZ\Upsilon$, c'est-à-dire du rayon de la Lune, c'est 0;0,15,51,54. Multiplions-le par ZY, c'est-à-dire soixante-trois. On obtient 0;16,39,29,42, longueur de la droite $Y\Upsilon$, et c'est le rayon de la Lune si le rayon terrestre est l'unité²⁰⁶. Multiplions-le par le coefficient de l'ombre qui vaut à cette distance, comme je l'ai vérifié par de nombreuses observations, deux et quarante-trois minutes. On obtient le rayon de l'ombre²⁰⁷.

[8] La droite LZ est comme la droite ZY, et les droites LM, ZH, YK sont perpendiculaires à la droite $N\check{G}$ donc elles sont parallèles entre elles; ainsi la somme des deux droites LM et YK fait le double de ZH; mais ZH est le rayon de la Terre et son double fait cent vingt minutes;

[٤] وقد تحقّق ممّا قلنا | أنّنا، إذا قسمنا قطر الشمس في بُعدها الأوسط، وهو لب لب، على قطر القمر في بُعد الأبعد وهو ل بح، خرج سب ل، وهو بُعد الشمس من مركز فلك البروج في الوقت الذي يكون قطرها مثل قطر القمر في البعد الأبعد في الاجتماعات والاستقبالات.

[٥] | وإذ تقدّم ذلك فنضع الشكل | الصنوبري. ولتكن الشمس دائرة ا ب، ومركزها ج، وكرة الأرض دائرة د ه، ومركزها ز. وليكن المخروط المحيط بها ا ن ب وسهمه ن ج. وليكن القمر دائرة ط ي ح، ومركزها ي. وليكن المخروط المحيط بالقمر والشمس ا ز ب. ونفصل ز ل مثل زي، ونخرج اعمدة ج ب ط ي ز ه ل م على سهم المخروط أعني خطّ ن ج. وننفذها إلى الجهة الأخرى، فيكون أقطار تلك الكرات.

[صورة ١٨.]

[٦] واعلم أنّ الخطوط المارة بموضع المماسّة من كلّ واحدة من هذه الدوائر ليس | هي أقطارها، بل لا فرق بينها لبعد المسافة. وزاوية ا ز ب هي المحيطة بالشمس والقمر وقت كون بُعد من الأرض ثلاثة وستين. وقد قلنا إنّ قطر القمر في هذا الموضع ل بح، فنصفه ه ط وهو زاوية | ي ز ط؛ ونسبة ز ي (وهو ثلاثة وستون) إلى ي ط كنسبة جيب زاوية ط ي ز | إلى جيب زاوية ي ز ط؛ فيصير ي ط معلومًا.

[٧] | وحسابه أن تأخذ جيب زاوية ي ز ط، وهو نصف قطر القمر، فكان ه نا ند. فضرناه في ز ي | وهو ثلاثة وستون | منحنطًا. فحصل بولط كط م ب، وهو | خطّ ي ط، أعني نصف قطر القمر | بما به نصف قطر الأرض واحد. فضرناه في نسبة الظلّ، وهي على ما تحققت بأرصاڊ كثيرة مرّتان وثلاث وأربعون دقيقة في هذا البعد. يحصل نصف قطر الظلّ.

[٨] وأيضًا خطّ ل ز مثل خطّ ز ي، وخطوط ل م ز ه ي ك أعمدة على خطّ ن ج فهي متوازية؛ فخطّ ل م ي ك ضعف ز ه الذي هو نصف قطر الأرض وضعفه مائة وعشرون دقيقة؛

١ أنّنا: انا [أ، د، ج، س]. ٢ الشمس: القمر [أ، د، ج]، كتب أولًا "الشمس" ثمّ حوّله إلى "القمر" [س]. ٣ قطرها: قطره [أ، د، ج]، كتب أولًا "قطرها" ثمّ حوّله إلى "قطره" [س]. ٤ القمر: الشمس [أ، ج، د]، كتب أولًا "القمر" ثمّ حوّله إلى "الشمس" [س]. ٥ البعد الأبعد: هذه البعد (وكتب "الابعد" في الهامش مع إشارة) [ج]، بُعد الأبعد [س، أ]. ٦ وليكن: وليكون [ج]. ٧ ا ن ب: ا ر ب [أ، د، ج]. ٨ ن ج: ر ج [أ، د، ج]. ٩ وننفذها: ونبعتها [ج، د]. ١٥ تأخذ: أخذنا [س]. ١٧ تحققت: تحققت [ج]. ١٨ مرّتان وثلاث وأربعون دقيقة: ب مج [ج]، أي مرّتان وثلاث وأربعون دقيقة [هامش ج].

١ گ ٧٥ ظ. ٢ س ٦٢ ظ. ٣ ب ٤١ ظ. ٤ ق ٣٨ ظ. ٥ ه ٦٧ ظ. ٦ گ ٧٦ و. ٧ ت ٢٩ ظ. ٨ ج ٤٥ و. ٩ د ٥٠ و. ١٠ س ٦٣ و. ١١ أ ٤١ ظ.

si l'on en retranche la somme du rayon de l'ombre et du rayon de la Lune, 62;9,49,23, on obtient la droite $\dot{T}K$ qui fait 0;57,50,10,37²⁰⁸.

[9] La droite ZH est parallèle à la droite $\dot{T}K$ donc le rapport de ZH à $\dot{T}K$ est comme le rapport de BZ à $B\dot{T}$ et comme le rapport de $Z\check{G}$ à $\check{G}Y$; alors si $Z\check{G}$ valait soixante minutes, $\check{G}Y$ (distance entre les centres des deux luminaires) vaudrait 57;50,10,37; reste YZ (distance du centre de la Terre à la Lune) égal à 0;2,9,49,23; et le rapport de ceci aux soixante minutes de $Z\check{G}$ est comme le rapport de ZY (distance du centre de la Terre à la Lune), soixante-trois, à $Z\check{G}$ qui est la distance du Soleil; donc la distance du Soleil est connue.

[10] Voici le calcul. Divisons la distance de la Lune, soixante-trois, par 0;2,9,49,23, il sort 29;7. Multiplions-le par soixante, on obtient 1 747, distance du Soleil au centre de la Terre à l'instant où son diamètre est comme le diamètre de la Lune; or c'est soixante-deux et demi; si nous multiplions la distance du Soleil ci-dessus par soixante et que nous divisons le résultat par soixante-deux et demi, on obtient 1 677, sept minutes et un cinquième de minute, et c'est la distance moyenne du Soleil si le rayon terrestre est l'unité²⁰⁹.

[11] Divisons-le par soixante. Le quotient de la division est 27;57,7,12, c'est une portion d'un degré du rayon du parécliptique, c'est-à-dire que chaque degré du rayon du parécliptique fait cette grandeur. On a montré que la distance maximale du Soleil faisait 7;7 de plus que sa distance moyenne, donc si nous multiplions la portion d'un degré par 7;7 (on obtient 198;55,30,14,24) et qu'on l'ajoute à la distance moyenne du Soleil, on obtient la distance maximale du Soleil égale à 1 876;2,42; et si l'on retranche cela de la distance moyenne, il reste la distance minimale du Soleil qui est 1 478 et un cinquième.

[12] Le rapport de $\dot{T}Y$ à YZ est comme le rapport de $\check{G}B$ à $Z\check{G}$ donc $\check{G}B$ est connu. Pour le calculer, multiplions 29;7 par le rayon de la Lune 0;16,39,29,42 puis divisons le résultat par la distance de la Lune c'est-à-dire soixante-trois, on obtient 7;42,53 et c'est le rayon du Soleil si le rayon de la Terre est l'unité²¹⁰. On vient de montrer que le rayon du Soleil est sept fois et deux tiers de fois et un vingtième de fois le rayon de la Terre; le cube de ceci

فإذا نقصنا منه نصف قطر | الظلّ والقمر وذلك سب ط مط كج وتمامه إلى المائة وعشرين دقيقة هو خطّ ط ك وهو نرن ي لر.

[٩] وخطّ زه موازٍ لخطّ ط ك فتكون نسبة زه إلى ط ك كنسبة ب ز إلى ب ط وكنسبة ز ج إلى ج ي؛ فإذا جعلنا ز ج ستين دقيقة، صار خطّ ج ي (أعني بُعد ما بين مركزي النيرين) نرن ي لر؛ وبقي خطّ ي ز | (الذي هو بُعد ما بين مركز الأرض والقمر) . ب ط مط كج | ونسبته إلى ز ج الستين دقيقة كنسبة ز ي (أعني بُعد القمر من مركز الأرض)، وهو ثلاثة وستون، إلى ز ج أعني بُعد الشمس؛ فيصير بعدها معلومًا.

[١٠] وحسابه: قسمنا بُعد القمر، وهو ثلاثة وستون، على . ب ط مط كج منحطًا خرج كط ر. فضربناه في ستين، فحصل ١٧٤٧، وهو بُعد الشمس من مركز الأرض وقت كون قطرها مثل قطر القمر؛ وذلك اثنان وستون ونصف؛ | فيكون، إذا ضربنا بُعد الشمس المذكور في | ستين وقسمنا الحاصل على الاثنتين والستين والنصف، حصل ١٦٧٧ وسبع دقائق وخمس دقيقة، وهو بُعد الشمس الأوسط على أنّ نصف قطر الأرض واحد.

[١١] فإذا قسمناه على ستين، خرج بالقسمة كرن ريب، وذلك حصّة درجة من نصف قطر | الممثل، أعني كلّ درجة منه هذا المقدار. فقد تبين أنّ بُعد بُعد الشمس زائد على بعدها الأوسط ر ر، فإذا ضربنا حصّة الدرجة في ر ر (حصل ١٩٨ | نه ل ند كد) فإذا زدناه على بُعد الشمس الأوسط، حصل ١٨٧٦ ب مب وهو بُعد الشمس الأبعد، وإذا نقصنا ذلك من بعدها الأوسط، بقي ١٤٧٨ وخمس وهو بُعد الشمس الأقرب.

[١٢] وأيضًا فإنّ نسبة ط ي إلى ي ز | كنسبة ج ب إلى ز ج فيصير ج ب معلومًا. | وحسابه: ضربنا كط ر في نصف قطر القمر | وهو بولط كط مب وقسمنا ما حصل على بُعد القمر وهو ثلاثة وستون، خرج ر مب نج وهو نصف قطر الشمس بما به نصف قطر الأرض واحد. فقد تبين أنّ قطر الشمس مثل قطر الأرض سبع مرّات وثلاثي مرّة ونصف | عُشر مرّة؛ ومكعب

^١ والقمر: ناقص [ج، د]، ونصف قطر القمر [س]. ^١ وتمامه: وبما به [أ]. ^٢ هو: وهو [ج، د]. ^٣ نرن ي لر: نرن ي لر [د]، غير مقروء [أ]. ^٤ ب ز: ب د [أ، س]، ن د [د، ج]. ^٥ ب ط: ي ط [أ، ج، د، س]. ^٦ ز ج: ز ي [أ، ج، د، س]. ^٧ مركز: مركزي [س]. ^٨ معلومًا: يُراد "حينئذ" بعده فوق السطر [ج]، كتب "حينئذ" في الهامش [د]. ^٩ كط ر: ي ط ر [ج، د]. ^{١٠} فضرربناه: فضرربناها [أ، د، ج]. ^{١١} ١٦٧٧: كتب بعده "الحاصل على الاثنتين والستين" ثمّ ضرب عليه بالقلم [د]. ^{١٢} دقيقة: فوق السطر [س]. ^{١٣} أنّ: في الهامش [أ]. ^{١٤} واحد: واحدًا [ج]. ^{١٥} كط [س]. ^{١٦-١٧} الأبعد... بُعد الشمس: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١٨} نسبة ط ي إلى ي ز: نسبة ج ب إلى ج ي [أ، ج، د، س]. ^{١٩} واحد: واحدًا [ج]. ^{٢٠} تبين: بين [أ].

^١ گ ٧٦ ظ. ^٢ س ٦٣ ظ. ^٣ ٦٨٥ و. ^٤ ٤٢٠ و. ^٥ ب ٤٢ و. ^٦ گ ٧٧ و. ^٧ ق ٣٩ و. ^٨ ه ٦٨ ظ. ^٩ ج ٤٥ ظ. ^{١٠} س ٦٤ و. ^{١١} ت ٣٠ و.

est 459;8,6,47,46,25,17 ; or on sait que le rapport de la boule à la boule est comme le rapport du cube du diamètre au cube du diamètre ; donc le volume du Soleil mesure le volume de la Terre quatre cent cinquante-neuf fois et deux tiers de cinquième de fois environ.

[13] Pour calculer la distance du sommet du cône d'ombre de la Terre, traçons la droite LS parallèle à NH ; alors le triangle NZH est semblable au triangle LZS donc le rapport de NZ à LZ est comme le rapport de HZ à ZS, donc ZN est connu. Voici le calcul. La droite LM est comme la droite HS, et la droite HZ qui est le rayon de la Terre vaut soixante minutes ; donc si l'on en retranche 0;45,30,19,41, il reste 0;14,29,40,19 et c'est la droite SZ. Divisons par cela la distance de la Lune qui vaut soixante-trois, on trouve 260;47,18 et c'est la distance du sommet du cône d'ombre de la Terre au centre de la Terre quand le Soleil est à la distance mentionnée ci-dessus. Cela augmente quand le Soleil s'éloigne du centre de la Terre, et cela diminue quand il se rapproche.

[14] Si nous doublons le rayon de la Lune, 0;16,39,29,42, alors on obtient 0;33,18,59,24 qu'on arrondit à 0;33,19. Si nous divisons le diamètre de la Terre (cent vingt minutes) par cela, on obtient 3;36,6, et le diamètre du globe terrestre est donc trois fois et trois cinquièmes de fois le diamètre de la Lune (plus des fractions très petites). Si nous divisons le diamètre du Soleil par le diamètre de la Lune, on trouve vingt-sept et quatre cinquièmes ; donc le diamètre du Soleil est vingt-sept fois et quatre cinquièmes de fois le diamètre de la Lune. Si l'on pose que le diamètre de la Lune est une unité, alors son cube est une unité, le cube formé sur le diamètre de la Terre (trois et trois cinquièmes) est quarante-six et deux tiers, et le cube formé sur vingt-sept et quatre cinquièmes est vingt et un mille quatre cent quatre-vingt-un et un quart environ.

[15] Cela implique que, si le corps de la Lune est l'unité, alors le corps de la Terre est quarante-six et deux tiers, et le corps du Soleil est vingt et un mille quatre cent quatre-vingt-un et un quart. Le corps du Soleil est quatre cent cinquante-neuf fois et un quinzième de fois le corps de la Terre environ. Ces grandeurs ni ces distances ne peuvent être moins que ce que nous avons dit ; mais elles pourraient être plus grandes.

ذلك ٤٥٩ ح و مر مو كه بر؛ وقد تبين أنّ نسبة الكرة إلى الكرة كنسبة مكعب القطر إلى مكعب القطر؛ فمساحة جرم الشمس بقدر مساحة جرم كرة الأرض أربع مائة مرة وتسع وخمسين مرة وثلاثي خمس مرة بالتقريب.

[١٣] وحساب بُعد رأس مخروط ظلّ الأرض أن نخرج ل س موازيًا لخطّ | ن ه؛ فمثلث ن ز ه شبيه بمثلث ل ز س فنسبة | ن ز إلى ل ز كنسبة ه ز إلى ز س، فيصير ز ن معلومًا. وحسابه: أنّ خطّ ل م مثل خطّ ه س، وخطّ ه ز الذي هو نصف قطر الأرض ستون دقيقة؛ فإذا نقصنا | منه . مه ل بط ما، بقي . بد كط م بط وهو خطّ س ز. فقسمنا عليه منحطًا بُعد القمر الذي هو ثلاثة | وستون، خرج ٢٦٠ مر بح وهو بُعد رأس مخروط ظلّ الأرض من مركز الأرض والشمس في البعد المذكور. وهذا يزداد ببعد الشمس من مركز الأرض، وينقص بقربها.

[١٤] | إذا أضعفنا نصف | قطر القمر (وهو . بولط كط مب) حصل ل ج ح خطّ نط كد وهو مجبور ل ج بط. فإذا قسمنا عليه قطر الأرض (وهو مائة وعشرون دقيقة)، حصل ج لو و، فيكون قطر كرة الأرض مثل قطر القمر ثلاث مرّات وثلاثة أخماس مرة (وكسر يسير جدًا). وإذا قسمنا قطر الشمس على قطر القمر، خرج سبعة وعشرون وأربعة أخماس؛ فقطر الشمس مثل قطر القمر سبع وعشرين مرة وأربعة أخماس مرة. وإذا فرضنا قطر القمر واحدًا، كان مكعبه واحدًا، والمكعب الكائن من قطر الأرض (وهو ثلاثة وثلاثة أخماس) هو ستة وأربعون | وثلاثان، والمكعب الكائن من سبعة | وعشرين وأربعة أخماس هو أحد وعشرون ألفًا وأربع مائة وأحد وثمانون وربعا بالتقريب. [١٥] فيجب من ذلك أنه، متى كان مجسم القمر واحدًا، فإنّ مجسم الأرض يكون ستة وأربعين وثلاثين، ومجسم الشمس يكون أحد | وعشرين ألفًا وأربع مائة وأحد وثمانين وربعا. ومجسم الشمس مثل مجسم الأرض أربع مائة وتسع وخمسين مرة وثلاثي خمس مرة بالتقريب. وهذه المقادير لا يمكن أن تكون أقلّ | ممّا قلنا ولا الأبعاد، بل يمكن أن تكون أكثر من ذلك.

^١ نسبة: كتب أولًا "نصف" وضرب عليه بالقلم ثمّ كتب "نسبة" [ج]. ^٢ ن ز ه: ر ر ه [د، ج]، ر ن ه [أ]. شبيه: تشبيه [أ]. ^٣ ن ز إلى ل ز: ب ر إلى ر ب [د، ج]. ^٤ ز ن: ر ب [د، ج]. ^٥ وينقص: كتب أولًا "وينقص عنها" ثمّ ضرب على "عنها" بالقلم [ج]. ^٦ القمر: كتب أولًا "الأرض" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "القمر" [س]. ^{٧-١١} وهو مائة وعشرون... قطر كرة الأرض: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١١} مائة وعشرون: ق ب (وكتب فك في الهامش مع إشارة إليه [ج]. ^{١٢} وكسر: وشيء [ج]. ^{١٣} سبعة وعشرون: ضرب بالقلم على ما كتبه أولًا (وهو مقروء) ثمّ كتب كر في الهامش مع إشارة [ج]. ^{١٤-١٥} هو ستة... وأربعة أخماس: في الهامش مع إشارة (في نسخة د كتب أولًا "أربعة أخماس" فقط ثمّ ضرب عليه بالقلم) [ج، د]. ^{١٦} هو: ناقص [أ، س]. ^{١٧} فإنّ: كتب أولًا "كان" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "فإنّ" [س].

^٤ د ٥٠ ظ. ^٥ س ٧٧ ظ. ^٦ ه ٦٩ و. ^٨ ب ٤٢ ظ. ^٩ س ٦٤ ظ. ^{١٠} أ ٤٢ ظ. ^{١١} ق ٣٩ ظ. ^{١٢} س ٧٨ و. ^{١٨} ه ٦٩ ظ. ^{٢٠} ج ٤٦ و.



[16] Pour Ptolémée, si le rayon de la Lune est l'unité, alors le rayon de la Terre est trois parts et deux cinquièmes de part, et le rayon du Soleil est dix-huit fois et quatre cinquièmes de fois comme le rayon de la Lune ; le rayon du Soleil est alors cinq fois et demi le rayon de la Terre, et son volume est cent soixante-dix fois le volume de la Terre. La distance maximale de la Lune est soixante-quatre et un sixième, et la distance moyenne du Soleil est mille deux cent vingt.

[17] *Remarque.* La cause de cette différence de grandeurs est que nous différons de lui légèrement quant au diamètre de la Lune, au diamètre de l'ombre et au diamètre du Soleil. Chez lui, le diamètre de la Lune à distance maximale est 31;20, chez nous c'est 30;18. Nous différons de son diamètre d'une minutes et deux secondes. Chez lui, le diamètre du Soleil est comme le diamètre de la Lune dans son chapitre concernant les grandeurs²¹¹, et le rapport du diamètre de l'ombre de la Terre au diamètre de la Lune est chez lui deux fois et trois cinquièmes de fois, alors qu'il est chez nous deux fois et quarante-trois minutes. L'examen de ces différences entre lui et nous s'est répété, pour des chercheurs en cet art comme pour nous ; et si nous utilisons sa valeur du rapport de l'ombre, la différence serait encore plus grande, donc la différence provient plutôt des diamètres du Soleil et de la Lune. Sache cela.

[18] *Remarque.* Si nous retranchons de la distance minimale du Soleil le rayon du Soleil 7;43 (avec pour unité le rayon terrestre), il reste 1 470;29 et c'est la distance minimale atteinte au sein des orbes du Soleil. Si nous ajoutons cela à sa distance maximale, on obtient 1 883;46, la distance maximale au sein de ses orbes ; en sus, il y a l'épaisseur du parécliptique, et en deçà, [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus.

[19] *Remarque.* Nous avons indiqué dans la configuration des orbes de la Lune que sa distance maximale pendant les conjonctions et les oppositions est 65;10, que sa distance minimale est alors 54;50, que sa distance maximale pendant les quadratures est 68;0, et que sa distance minimale est alors 52;0, toujours sous l'hypothèse que la distance moyenne est soixante. Si nous convertissons cela en parts telles que le rayon de la Terre en soit une seule, on trouve que sa distance minimale pendant les conjonctions et les oppositions est 53;0, sa distance maximale est alors 63;0, sa distance minimale pendant les quadratures est 50;16, et sa distance maximale est alors 65;44. Il faut ajouter à cette dernière distance le rayon de la Lune, 0;16,39,30, on trouve 66;0,39,30 ; en sus, il y a l'épaisseur du parécliptique. Et si nous retranchons [de la distance minimale pendant les quadratures] le rayon de la Lune, il reste 49;59,21 ; en deçà, il y a le [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus.



[١٦] وعند بطلميوس أنه، إذا كان قطر القمر واحداً كان قطر الأرض ثلاثة أجزاء وخمسي جزء، وقطر الشمس مثل قطر القمر ثماني عشرة مرة وأربعة أخماس مرة؛ وأن قطر الشمس مثل قطر الأرض خمس مرات ونصف، وجرمها مثل جرم الأرض مائة وسبعين مرة؛ وأن أبعد بُعد القمر أربعة وستون وسُدس، وبُعد الشمس الأوسط ألف ومائتان وعشرون.

[١٧] تنبيه. سبب هذا الاختلاف في هذه المقادير هو أننا خالفناه في شيء يسير في قطر القمر وقطر الظل وقطر الشمس. فإن قطر القمر عنده في بُعد الأبعد لا ك، وهو عندنا ل سح. فقد خالفناه في قطره بدقيقة وثانيتين. وقطر الشمس عنده في سائر أبعادها مثل | قطر القمر، ونسبة قطر ظل الأرض إلى قطر القمر عنده مرتان وثلاثة أخماس مرة، | وعندنا مرتان وثلاث وأربعون دقيقة*. وتكرّر امتحان ما خالفناه فيه لمحققِي هذا الفن، ولنا أيضاً؛ ولو اعتمدنا على نسبة الظل عنده كان الخلاف | أكثر، وإنما وقع الخلاف | لسبب قطري الشمس والقمر. فاعرف ذلك.

[١٨] تنبيه. إذا أسقطنا من أقرب قُرب الشمس نصف قطر الشمس (على أن نصف قطر الأرض واحد) وذلك ر مجد، بقي ١٤٧٠ كط وهو أقرب قُرب أفلاك الشمس. وإذا زدنا ذلك على أبعد بُعدها وهو ١٨٨٣ مو، حصل أبعد بُعد أفلاكها؛ وفوقه سمك الممثل، وتحت اتصال الفلك.

[١٩] تنبيه. قد ذكرنا في هيئة أفلاك القمر أن أبعد بُعده في الاجتماع والاستقبال يكون سه ي، وأقرب قُربه فيهما ند ن، وأبعد بُعده في التريبعين سح ٠، وأقرب قُربه فيهما نب ٠، هذا على | أن البُعد الأوسط ستون. فإذا حولنا ذلك إلى الأجزاء التي بها نصف قطر الأرض واحد، حصل | أقرب قُربه في الاجتماع والاستقبال نج ٠، وأبعد بُعده فيهما سج ٠، وأقرب قُربه في التريبعين ن نو، | وأبعد بُعده فيهما سه مد. ويجب أن يزداد على ذلك نصف قطر القمر، | وهو ٠ يو ل ط ل، يبلغ سو ٠ ل ط ل؛ وفوق ذلك سمك الممثل. وأقرب قُربه إذا أسقطنا منه نصف قطر القمر، بقي مط نط كا؛ وأقل من ذلك باتصال الفلك.

^٢ القمر: كتب أولاً "الأرض" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب "القمر" [ج]. ^٣ وأربعة أخماس مرة: وك [ج]، و [ج] [هامش ج].
^٦ أننا: أنا [أ]، ج، د، س. ^٨ قطره: قطر [س]. ^٩ مرة: ناقص [س]، فوق السطر [ج]. ^{١٠} ولنا أيضاً: فوق السطر [س].
^{١١} لسبب: بسبب [د، ج]. ^{١٨-١٩} وأقرب قُربه في التريبعين ... سه مد: في الهامش [س]. ^{٢٠} وفوق: فوق [س].

^٤ س ٦٥ و. ^٨ گ ٧٨ ظ. ^٩ ٤٣ أ و. ^{١١} ٧٠ ه و. ^{١١} ب ٤٣ و. ^{١٧} س ٦٥ ظ. ^{١٨} د ٥١ و. ^{١٩} گ ٧٩ و. ^{١٩} ق ٤٠ و.
^{٢٠} ج ٤٦ ظ.

* زاد ناسخ نسخة د في الهامش مع إشارة إلى هذا الموضع "زائداً عنه ز دقائق."

Deuxième section

Les distances de Mercure et Vénus au centre de la Terre (en rayons terrestres)

[20] Nous avons montré dans la configuration des orbes de Mercure que le rapport de la distance minimale de ces orbes à leur distance maximale est comme le rapport de trente et un à quatre-vingt-neuf et demi, et que le rapport de la distance minimale des orbes de Vénus à leur distance maximale est comme le rapport de quatorze à cent six.

[21] Nous avons montré que l'orbe le plus distant de la Lune est son orbe incliné, et qu'il est à soixante-six rayons terrestres. En sus, il y a l'épaisseur du parécliptique que l'on pose d'un degré ; donc la distance maximale des orbes de la Lune est soixante-sept, et c'est aussi la distance minimale des orbes de Mercure. Si nous la multiplions par le rapport propre à Mercure, c'est-à-dire que nous la multiplions par quatre-vingt-neuf et demi, puis que nous divisons par trente et un, il en sort cent quatre-vingt-treize et un tiers et un dixième environ : c'est la distance maximale des orbes de Mercure. Si nous la multiplions par le rapport propre à Vénus, c'est-à-dire que nous la multiplions par cent six, puis que nous divisons le résultat par quatorze, il en sort mille quatre cent soixante-quatre et quatre septièmes : c'est la distance maximale des orbes de Vénus. Elle est inférieure à la distance minimale des orbes du Soleil, de cinq parts, deux tiers de part et un quart de part : c'est [ce qu'il faut] pour que les orbes du Soleil soient contigus. Il est ainsi démontré que les lieux de Vénus et de Mercure sont sous le Soleil, contrairement à l'opinion de Mu'ayyad al-'Urḏī²¹² et de Ibn 'Aflāḥ.

Troisième section

Les distances des trois planètes supérieures au centre de la Terre
(en rayons terrestres)

[22] Nous avons montré dans la configuration des orbes des trois planètes [supérieures] que le rapport de la distance minimale des orbes de Mars à leur distance maximale est comme le rapport de huit à cent douze, que le rapport de la distance minimale des orbes de Jupiter à leur distance maximale est comme le rapport de quarante-deux à soixante-dix-huit, et que le rapport de la distance minimale des orbes de Saturne à leur distance maximale est comme le rapport de quarante-six à soixante-quatorze.

[23] On vient de voir que la distance maximale des orbes portant le Soleil est mille huit cent quatre-vingt-trois, deux tiers et un dixième, avec en sus l'épaisseur du parécliptique que nous supposons égale à 6;14, et on atteint ainsi mille huit cent quatre-vingt-dix : c'est aussi la distance minimale

الفصل الثاني

في معرفة أبعاد عطارد والزهرة | من مركز الأرض
(بالأجزاء التي بها نصف قطر الأرض واحد)

[٢٠] قد بينّا في هيئة أفلاك عطارد أنّ نسبة أقرب أفلاكه إلى أبعد بُعدها كنسبة أحد وثلاثين إلى تسعة وثمانين ونصف، وأنّ نسبة أقرب قُرب أفلاك الزهرة إلى أبعد بُعدها كنسبة أربعة عشر إلى مائة وستّة.

[٢١] وقد بينّا أنّ أبعد أفلاك القمر الفلك المائل، وهو ستّة وستّين مثلاً لنصف قطر الأرض وفوقه سمك الممّثل ونفرضه درجة؛ فيكون أبعد بُعد أفلاك القمر سبعة وستّين، وهو أقرب قُرب أفلاك عطارد وإذا ضربنا ذلك في نسبة عطارد، وهو تسعة وثمانون ونصف، وقسمنا الحاصل على الأحد والثلاثين، خرج مائة وثلاثة وتسعون وثُلث وعُشر بالتقريب: وهو أبعد بُعد أفلاك عطارد. فإذا ضربنا ذلك في أكثر نسبة الزهرة، وذلك مائة وستّة، | وقسمنا الحاصل على | أربعة عشر، خرج ألف وأربع مائة وأربعة وستّون وأربعة أسباع: وهو أبعد بُعد أفلاك الزهرة. وهو ينقص عن أقرب قُرب أفلاك الشمس خمسة أجزاء وثُلثي جزء ورُبع | جزء: وذلك اتّصال أفلاك الشمس. فتبيّن إمكان الزهرة وعطارد تحت الشمس، خلافاً للمؤيّد العرضي ولابن أفلح.

الفصل الثالث

| في معرفة أبعاد الثلاثة العلوية من مركز الأرض (بأمثال نصف قطرها)

[٢٢] قد بينّا في هيئة أفلاك الثلاثة أنّ نسبة أقرب قُرب أفلاك المريخ إلى أبعد بُعدها كنسبة ثمانية إلى مائة واثنان عشر، ونسبة أقرب قُرب أفلاك المشتري إلى أبعد بُعدها كنسبة اثنين وأربعين إلى ثمانية وسبعين، ونسبة أقرب قُرب أفلاك زحل إلى أبعد بُعدها كنسبة ستّة وأربعين إلى أربعة وسبعين.

[٢٣] وقد تقدّم أنّ أبعد بُعد حامل الشمس ألف وثمان مائة وثلاثة وثلاثون مثلاً وثلاثون وعُشر مثل، وفوق ذلك سمك الممّثل ونفرضه و $\overline{\text{د}}$ ، فيبلغ ألفاً وثمان مائة وتسعين: وهو أقرب قُرب

^٧ القمر الفلك: كتب أولاً "عطارد" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "القمر الفلك" فوق السطر [س]. ^٨ ستّة وستّين: كتب أولاً ٣٦ ثمّ ضرب على ٣ بالقلم وكتب ٦ في الهامش [ج]. ^٩ نسبة: أكثر نسبة [س]. ^{١٠} وعُشر: عشر [أ، د، ج]. ^{١١} أكثر: أكبر [س]. ^{١٢} خمسة أجزاء ... ورُبع جزء: في الهامش مع إشارة [ج]. ^{١٣} فتبيّن: غير مقروء [أ]. ^{١٤} الثلاثة: الثلاثة العلوية [ج]. ^{١٥} المشتري: كتب أولاً "المريخ" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "المشتري" [ج]. ^{١٦} مثلاً: ميلاً [ج، س]. ^{١٧} مثل: ميل [س].

٥ ٧٠ ظ. ١١ ٤٣ ظ، س ٦٦ و. ١١ ٧٩ ظ. ١٣ ب ٤٣ ظ. ١٦ ٧١ و.

des orbes de Mars. Si nous multiplions cela par le numérateur du rapport propre à Mars, puis que nous divisons le produit par son dénominateur, on obtient vingt-six mille quatre cent soixante : c'est la distance maximale des orbes de Mars. Si nous multiplions cela par le numérateur du rapport propre à Jupiter, puis que nous divisons le produit par son dénominateur, on obtient quarante-neuf mille cent quarante environ : c'est la distance maximale des orbes de Jupiter. Si nous multiplions cela par le numérateur du rapport propre à Saturne, puis que nous divisons le produit par son dénominateur, on obtient soixante-dix-neuf mille cinquante et un, un sixième et un huitième²¹³ : c'est la distance maximale des orbes de Saturne, et c'est aussi la distance minimale des étoiles fixes. Moindre que cela, c'est impossible ; mais cela pourrait être plus. Dieu est le plus savant.

Quatrième section

Mesures des corps des cinq astres errants

[24] Hipparque et Ptolémée ont observé les diamètres de ces planètes, et ils ont trouvé que le diamètre de Mercure est un quinzième du diamètre du Soleil, celui de Vénus un dixième, celui de Mars un vingtième, celui de Saturne un dix-huitième, et celui de Jupiter un douzième ; mais ils n'ont pas dit à quelles distances se rapportent leurs observations. Ptolémée les a prises ainsi dans les distances moyennes, mais parmi les chercheurs en cet art, les modernes les ont prises ainsi dans les distances minimales, sauf pour Mercure où ils les ont prises ainsi dans les distances moyennes²¹⁴.

[25] Ceci étant admis, si nous divisons la distance moyenne du Soleil par son diamètre, on obtient cent huit parts et demi et un cinquième de part ; gardons ce nombre de côté ; puis divisons la distance moyenne de Mercure c'est-à-dire 130 et treize minutes par le rapport du Soleil à son diamètre c'est-à-dire quinze, on obtient huit parts et quarante minutes que l'on divise par le nombre qu'on a mis de côté, et on obtient quatre minutes et quatre cinquièmes de minute²¹⁵ : c'est le diamètre de Mercure si le diamètre de la Terre est l'unité²¹⁶.

[26] Si nous prenons de même le dixième de la distance moyenne²¹⁷ de Vénus (huit cent vingt-neuf) et que nous le divisons par le nombre mis de côté, on obtient deux tiers de part et un dixième de part²¹⁸ : c'est le diamètre de Vénus si le diamètre de la Terre est l'unité.

[27] Quant à Mars, si nous supposons que ce rapport est le sien dans les distances moyennes, alors il devrait être à distance minimale plus grand

أفلاك المريخ فإذا ضربناه في أكثر نسبة المريخ، وقسمنا ما بلغ على أقلها، حصل ستّة وعشرون ألفاً وأربع مائة وستّون: وهو أبعد بُعد أفلاك المريخ. | وإذا ضربنا ذلك في أكثر نسبة | المشتري، وقسمنا ما بلغ على أقلها، | حصل تسعة وأربعون ألفاً ومائة وأربعون بالتقريب: | وهو أبعد بُعد أفلاك المشتري. وإذا ضربنا ذلك في أكثر نسبة | زحل، وقسمنا ما حصل على أقلها، حصل تسعة وسبعون ألفاً وأحد وخمسون وسُدس مرّة وثُمن: وهو أبعد بُعد أفلاك زحل، وهو أقرب قُرب الكواكب الثابتة. هذا أقل ما يمكن؛ ويمكن أن يكون أكثر من ذلك. والله أعلم.

الفصل الرابع

| في مقادير أجرام الكواكب الخمسة المتحرّية

[٢٤] قد رصد إبرخس وبطلميوس أقطار هذه الكواكب، فوجدوا قطر عطارد جزء من خمسة عشر من قطر الشمس، والزهرة جزء من عشرة، والمريخ جزء من عشرين، وزحل جزء من ثمانية عشر، والمشتري جزء من اثنا عشر؛ ولم يذكروا في أيّ الأبعاد كان رصدها. واختار بطلميوس كونها في بُعدها الأوسط، واختار المتأخرون من محقّقي هذا الفنّ كونها في بُعدها الأقرب، إلّا عطارد دونهم اختاروا | كونه في بُعدها الأوسط.

[٢٥] وإذا قد تقدّم | ذلك، فإنّا إذا قسمنا بُعد الشمس الأوسط على قطرها، خرج مائة وثمانية أجزاء ونصف وخُمس؛ فتحفظ هذا العدد؛ | ثمّ تقسم بُعد عطارد الأوسط وهو ١٣٠ وثلاث عشرة دقيقة | على نسبة قطره من الشمس وذلك خمسة عشر، تخرج ثمانية أجزاء وأربعون دقيقة تقسم على العدد المحفوظ، تخرج أربع دقائق وأربعة أخماس دقيقة: وهو قطر عطارد على أنّ قطر الأرض واحد.

[٢٦] وإذا أخذنا من بُعد الزهرة الأوسط (الذي هو ثمان مائة وتسعة وعشرون) عُشره، وقسمنا ذلك على العدد المحفوظ، خرج ثلثا جزء وعُشر جزء: وهو قطر الزهرة على أنّ قطر الأرض واحد.

[٢٧] وأمّا المريخ، فإنّا، إن جعلنا النسبة له في بُعدها | الأوسط، | رُئي في بُعدها الأقرب أكبر

^١ أكثر: أكبر [س]. ^٢ وإذا: فإذا [س]. ^٣ مرّة: ناقص [س]. ^٤ والله أعلم: ناقص [س]. ^٥ وبطلميوس: ثمّ بطلميوس [ج، د]. ^{٦-١٠} جزء من خمسة عشر: جزءين من خمسة عشر (وكتب في الهامش مع إشارة "جزء من خمسة عشر") [د]. ^{١٣} دونهم: فانهم [د، س]، ناقص (وكتب في الهامش مع إشارة "فانهم") [ج]. ^{١٦} الشمس: قطر الشمس [س]. ^{١٧-١٦} تقسم ... وأربعة أخماس دقيقة: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١٩} وإذا: والا [ج]. ^{١٩} ثمان: ثمانية (وكتب في الهامش مع إشارة "ثمانية") [د]. ^{٢١} إن: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{٢١} رُئي: أي (وكتب "رُئي" في الهامش مع إشارة) [ج]. ^{٢١} أكبر: أكثر [أ، ج، د].

^٢ ت ٣١. ^٢ گ ٨٠. ^٣ ج ٤٧. ^٣ س ٦٦. ^٤ ق ٤٠. ^٥ ظ ٧١. ^{١٣} أ ٤٤. ^{١٤} د ٥١. ^{١٥} ب ٤٤. ^{١٦} گ ٨٠. ^{٢١} ه ٧٢. ^{٢١} س ٦٧.

que Vénus ; or ce n'est pas le cas, donc nous avons pris ce rapport comme étant le sien quand il est entre sa distance moyenne et sa distance minimale, c'est-à-dire quand sa distance à la Terre vaut huit mille trente-deux fois le rayon de la Terre²¹⁹. Prenons un vingtième de ce nombre, divisons-le par cent huit, un demi et un cinquième, on obtient trois parts et deux tiers de part environ²²⁰ : c'est le diamètre de Mars si le diamètre de la Terre est l'unité.

[28] Quant à Jupiter, si nous supposons que ce rapport est le sien dans les distances moyennes, alors divisons sa distance moyenne (trente-sept mille huit cents) par douze, on obtient trois mille cent cinquante ; divisons cela par cent huit, un demi et un cinquième, on obtient vingt-neuf environ : le diamètre de Jupiter est donc vingt-neuf fois le diamètre de la Terre²²¹. Si nous supposons au contraire que ce rapport est le sien à distance minimale, c'est-à-dire à vingt-huit mille huit cent onze environ (car la planète Jupiter n'atteint pas la distance minimale de ses orbites qui est égale à la distance maximale de Mars), alors le diamètre de Jupiter est vingt-trois fois le diamètre de la Terre. Au cube, cela fait douze mille cent soixante-sept, et c'est le rapport de son volume au volume de la Terre : son volume mesure douze mille cent soixante-sept fois le volume de la Terre environ.

[29] Quant à Saturne, supposons que le rapport mentionné ci-dessus est le sien à distance minimale, c'est-à-dire à la distance maximale de Jupiter à laquelle on ajoute l'orbite déferente de Saturne : cette distance est quarante-neuf mille neuf cent soixante-huit²²². Divisons-la par le rapport du diamètre du Soleil au diamètre de Saturne (dix-huit), on obtient deux mille sept cent soixante-seize. Divisons cela par cent huit, un demi et un cinquième (le nombre que nous avons mis de côté), on trouve vingt-cinq, un tiers et un cinquième environ²²³ : c'est le diamètre de Saturne si le diamètre de la Terre est l'unité.

[30] Quant aux étoiles fixes, celles qui sont de première magnitude ont pour diamètre un vingtième du diamètre du Soleil, celles qui sont de deuxième magnitude ont pour diamètre un vingt-deuxième, celles qui sont de troisième magnitude ont pour diamètre un vingt-quatrième, celles qui sont de quatrième magnitude ont pour diamètre un vingt-sixième, celles qui sont de cinquième magnitude ont pour diamètre un vingt-huitième, et celles qui sont de sixième magnitude ont pour diamètre un trentième du diamètre du Soleil s'il est à distance moyenne²²⁴.

[31] Sache donc ces nombres, puis divise la distance maximale de Saturne (soixante-dix-neuf mille cinquante et un) par cent huit, un demi et un cinquième (le nombre qu'on avait mis de côté), on obtient sept cent vingt-sept

- من الزهرة؛ ولم يوجد كذلك، وإنما أخذنا هذه النسبة له إذا كان فيما بين بُعد الأوساط والأقرب، وذلك عند كون بُعد من الأرض ثمانية آلاف واثنين وثلاثين مرة مثل نصف قطر الأرض. فإذا أخذنا من هذا العدد نصف عُشره، وقسمناه على المائة والثمانية والنصف والخمس، خرج ثلاثة أجزاء وثلاث أجزاء بالتقريب: وهو قطر المريخ على | أن قطر الأرض واحد.
- ٥ [٢٨] وأما المشتري، فإننا إن جعلنا له هذه النسبة وهو في بُعد الأوساط، فإننا إذا قسمنا بُعد الأوساط (الذي هو سبعة وثلاثون ألفاً وثمان مائة) على اثنا عشر، خرج ثلاثة آلاف ومائة وخمسون؛ فتقسمها على المائة والثمانية والنصف والخمس، فيخرج تسعة | وعشرون بالتقريب: فقطر المشتري مثل قطر الأرض تسع وعشرين مرة. وإن جعلنا له هذه النسبة وهو في بُعد الأقرب، الذي هو ثمانية وعشرون ألفاً وثمان مائة وأحد عشر | بالتقريب (لأن كوكب المشتري لا يصل إلى أقرب قُرب أفلاكه التي هي أبعد بُعد المريخ)، فإن قطر المشتري يخرج مثل قطر الأرض ثلاث وعشرين مرة. ويكون مكعبه اثنا عشر ألفاً ومائة وسبعة وستين، وهي نسبة جرمه إلى جرم الأرض: فجرمه قدر جرم الأرض اثنا عشر ألفاً مرة ومائة وسبع | وستين مرة بالتقريب.
- ١٠ [٢٩] وأما زحل، فإننا جعلنا له النسبة المذكورة في أقرب قُربه، وهو مثل أبعد بُعد المشتري مع زيادة حامل زحل: وذلك البُعد تسعة وأربعون ألفاً | وتسع مائة وثمانية وستون. فتقسمه على نسبة قطر زحل من قطر الشمس (وهو ثمانية عشر)، يخرج ألفان وسبع مائة وستة وسبعون. تقسمها على المائة والثمانية والنصف | والخمس (المحفوظ)، يخرج خمسة وعشرين وثلاث وخمسة بالتقريب: وهو قطر زحل على | أن قطر الأرض واحد.
- ١٥ [٣٠] | وأما الكواكب الثابتة، فإن ما كان منها في القدر الأول فقطره جزء من عشرين من قطر الشمس، والذي في القدر الثاني قطره جزء من اثنين وعشرين، | وما كان منها في القدر الثالث فقطره جزء من أربعة وعشرين، وما كان منها في القدر الرابع فقطره جزء من ستة وعشرين، وما كان منها في القدر الخامس فقطره جزء من ثمانية وعشرين، وما كان منها في القدر السادس فقطره جزء من ثلاثين من قطر الشمس إذا كانت في بُعدها الأوسط.
- ٢٠ [٣١] فاعرف هذه الأعداد، ثم اقسّم أبعد بُعد أفلاك زحل (وهو تسعة وسبعون ألفاً وأحد وخمسون) على المائة والثمانية والنصف والخمس (المحفوظ)، يخرج سبع مائة وسبعة وعشرون
- ٢ عند: ناقص [د، ج]. ١٠ المريخ: كتب أولاً "المشتري" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب "المريخ" [س]. ١١ مكعبه: مكعب [أ، د]. ١٢ ومائة: ومائة مرة [س]. ١٣ مرة: فوق السطر [ج]. ١٤ قطر: فوق السطر [ج]. ١٥ خمسة: كتب أولاً "سبع مائة" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب "خمسة" [س]. ١٦-٢٠ فقطره (أربع مرة): فوق السطر [س]. ٢١ القدر: ناقص [ج].
- ٤ ج ٤٧ ظ. ٧ گ ٨١ و. ٩ ق ٤١ و. ١٢ ه ٧٢ ظ. ١٤ أ ٤٤ ظ. ١٦ س ٦٧ ظ. ١٧ گ ٨١ ظ. ١٨ ت ٣١ ظ. ١٩ ب ٤٤ ظ.

et un quart : on appelle cela la base. Si nous divisons ce nombre par vingt, on obtient le diamètre des étoiles de première magnitude ; si nous le divisons par vingt-deux, on obtient le diamètre de celles de deuxième grandeur ; si nous le divisons par vingt-quatre, on obtient le diamètre de celles de troisième magnitude ; si nous le divisons par vingt-six, on obtient le diamètre de celles de quatrième magnitude ; si nous le divisons par vingt-huit, on obtient le diamètre de celles de cinquième magnitude ; et si nous le divisons par trente, on obtient le diamètre de celles de sixième magnitude.

[32] Divisons donc par les nombres qu'on a mentionnés ; on trouve que le diamètre de celles de première magnitude est trente-six fois, un cinquième de fois et un sixième de fois [le rayon terrestre], que le diamètre de celles de deuxième magnitude est trente-trois et un quatorzième environ, que le diamètre de celles de troisième magnitude est trente, un cinquième et un sixième, que le diamètre de celles de quatrième magnitude est vingt-huit environ, que le diamètre de celles de cinquième magnitude est vingt-six environ, et que le diamètre de celles de sixième magnitude est vingt-quatre, un cinquième et un sixième.

[33] Si nous mettons au cube les diamètres des astres errants et des fixes, ceci sera rapporté à l'unité qu'est le cube du diamètre de la Terre. On a déjà traité le cas de la Lune et du Soleil. Quant à Mercure, son diamètre est quatre minutes et quatre cinquièmes de minutes, et le cube de ceci est une seconde, quarante-six tierces, quarante-cinq quarts, et sept quintes ; donc le rapport de son volume au volume de la Terre est comme le rapport de l'unité à deux mille vingt-cinq environ.

[34] Le diamètre de Vénus est quarante-six minutes ; le cube de ceci est vingt-sept minutes, [Vénus] est donc deux cinquièmes et un vingtième du globe terrestre.

[35] Nous avons montré que le diamètre de Mars est trois parts et deux tiers de part si le diamètre de la Terre est l'unité ; son cube est quarante-neuf, un sixième et un huitième ; le volume de Mars mesure donc quarante-neuf fois, un sixième et un huitième de fois la Terre environ.

[36] Le diamètre de Jupiter est vingt-neuf fois le diamètre de la Terre ; le cube de son diamètre est vingt-quatre mille trois cent quatre-vingt-neuf, et son volume mesure donc vingt-quatre mille trois cent quatre-vingt-neuf fois le volume de la Terre, à condition que le rapport du diamètre du Soleil à son diamètre vaille quand [Jupiter] est à distance moyenne (à distance minimale, voir ce qui précède). Sache cela.

[37] Quant au diamètre de Saturne, il est vingt-cinq fois, un tiers et un quart de fois comme le diamètre de la Terre ; son cube est seize mille

ورُبع: ونسَمِّيه الأصل. فإذا قسمنا هذا العدد على عشرين، خرج قطر الكواكب التي في القدر الأول؛ وإذا قسمناه على اثنين وعشرين، خرج قطر الذي في العظم الثاني؛ وإذا | قسمناه | على أربعة وعشرين، خرج قطر | الذي في القدر الثالث؛ وإذا قسمناه على ستة وعشرين، خرج قطر الذي في القدر الرابع؛ وإذا قسمناه على ثمانية وعشرين، خرج قطر الذي في القدر الخامس؛ وإذا قسمناه على ثلاثين، خرج قطر الذي في القدر السادس.

٥ [٣٢] فقسمننا على | الأعداد المذكورة؛ فخرج قطر الذي في القدر الأول ستّ وثلاثون مرّة وخُمس وسُدس مرّة، وخرج قطر التي في القدر الثاني ثلاث وثلاثون مرّة ونصف سُبْع مرّة بالتقريب، وخرج قطر التي في القدر الثالث ثلاثون مرّة وخُمس وسُدس مرّة، وخرج قطر التي في القدر الرابع ثمانين وعشرون مرّة بالتقريب، | وخرج قطر التي في القدر الخامس ستّ وعشرون مرّة بالتقريب، وخرج قطر التي في القدر | السادس أربع وعشرون مرّة وخُمس وسُدس مرّة.

١٠ [٣٣] فإذا كَعَبنا أقطار الكواكب المتحرّية والثابتة، كان ذلك نسبتها إلى الواحد الذي هو مكعّب قطر الأرض. أمّا القمر والشمس فقد تقدّم ذلك. وأمّا عطارد، قطره | أربع دقائق وأربعة أخماس دقيقة، ومكعّب ذلك ثمانية وستّ وأربعون ثلاثة وخمس وأربعون رابعة وسبع خوامس؛ فنسبة جرمه إلى جرم الأرض كنسبة الواحد إلى ألفين وخمسة وعشرين بالتقريب.

١٥ [٣٤] وقطر الزهرة ستّ وأربعون دقيقة؛ ومكعّب ذلك سبع وعشرون دقيقة، فهي خُمساً كرة الأرض ونصف عُشرها.

[٣٥] | وأمّا قطر المريخ فقد بيّنا أنه ثلاثة أجزاء وثُلثا جزء على أنّ قطر الأرض واحد؛ فيكون مكعّبه تسعة وأربعين وسُدس | وثُمن؛ فجرم المريخ قدر الأرض تسع وأربعين مرّة وسُدس وثُمن مرّة بالتقريب.

٢٠ [٣٦] وقطر المشتري مثل قطر الأرض تسع وعشرين | مرّة؛ ومكعّب قطره أربعة وعشرون ألفاً وثلاث مائة وتسعة وثمانون، وجرمه قدر جرم الأرض أربع وعشرين ألفاً مرّة وثلاث مائة وتسع وثمانين، هذا إن كانت النسبة لقطره من قطر الشمس في بُعده الأوسط (وإن كانت في بُعده الأقرب فعلى ما تقدّم قبل ذلك). فاعرفه.

[٣٧] وأمّا قطر زحل، فمثل قطر الأرض خمس وعشرين مرّة وثُلث ورُبع مرّة؛ ومكعّبه ستّة عشر

^١ ونسَمِّيه: ونسَمِّيه (أ، س). ^١ فإذا: فإن (د، ج). ^٥ الذي: في الهامش مع إشارة [س]. ^٦ فقسمننا: فإذا قسمنا [ج]. ^٦ فخرج: خرج [ج]. ^٦ الذي: التي [س]. ^٨ التي: الذي (د، ج). ^٨ التي: الذي (د، ج). ^{١٠} وقطر: وأمّا قطر [ج]. ^{٢٢-٢٣} هذا ... فاعرفه: في الهامش مع إشارة [س].

^٢ د ٥٢.و. ج ٤٨.و. ^٢ ٧٣.و. ^٦ ٨٢.و. ^٩ س ٦٨.و. ^{١٠} ق ٤١.ظ. ^{١٢} أ ٥٥.و. ^{١٧} هـ ٧٣.ظ. ^{١٨} ك ٨٢.ظ. ^{٢٠} ب ٤٥.و.

deux cent quatre-vingt-quatorze, un demi et un huitième environ ; donc le volume de Saturne mesure seize mille deux cent quatre-vingt-quatorze fois le volume de la Terre.

[38] Quant à la grandeur des étoiles fixes, le diamètre de celles qui sont de première magnitude mesure trente-six fois, un cinquième de fois et un sixième de fois le diamètre de la Terre environ ; le cube de ceci, arrondi, est vingt-sept mille six cent cinquante-quatre ; et son volume est d'autant par rapport au volume de la Terre, c'est à dire quarante-sept mille six cent cinquante-quatre fois la Terre environ.

[39] Quant aux étoiles fixes les plus petites, de sixième magnitude, le diamètre de chacune d'entre elles est vingt-quatre fois, un cinquième et un sixième de fois le diamètre de la Terre ; le cube de ceci est quatorze mille quatre cent soixante-trois environ ; donc son volume est quatorze mille quatre cent soixante-trois fois le volume de la Terre.

[40] En vertu des fondements véritables, ces grandeurs ne peuvent être moindres, mais peut-être sont-elles encore plus grandes, et cela ne nous étonnerait point. La grandeur est à Dieu, il est le plus grand, sa puissance est immense, il est puissant sur toute chose. Tous les anciens étaient d'accord quant à la portée des observations qui ont conduit à ces choses. De manière répétée, Ptolémée disait déjà que les distances ne peuvent être moindres que ce qu'il avait indiqué ; quant aux volumes, ils sont fonctions des distances, et si les distances sont supérieures alors les volumes le sont aussi (et non l'inverse [car] cela n'est pas requis dans cette espèce [de jugement]) ; et il se contredit à propos de la configuration et des volumes des astres dans son livre des « Hypothèses planétaires ». Nous demandons le succès à Dieu le Très Haut.

[41] *Remarque.* Pour toute sphère dont le diamètre est connu, on connaît ses grands cercles, ainsi que les portions de ses grands cercles, sa surface et son volume. Toute grandeur connue par rapport à une certaine grandeur, l'est aussi par rapport à tout ce par rapport à quoi cette grandeur-ci l'est. Par exemple, les distances des orbes et les volumes des astres sont connus par rapport à la grandeur du rayon de la Terre, et le rayon de la Terre est connu par rapport aux parasanges, aux milles, aux coudées, aux doigts et au grain d'orge ; ainsi les distances et les volumes sont connus aussi par rapport à ces grandeurs-ci.

[42] Sache que si nous ajoutons à la distance maximale des orbes de Saturne les diamètres des étoiles fixes, cela fait la distance maximale

ألفاً ومائتين وأربعة وتسعين ونصف وثمن | بالتقريب؛ فجرم زحل قدر جرم كرة الأرض ستة عشر ألفاً مرة ومائتين وأربع وتسعين مرة*.

[٣٨] وأما الكواكب الثابتة، فأعظمها، وهو الذي في القدر الأول فقطره مثل قطر الأرض | ست وثلاثين مرة وخمس مرة وشُدس مرة بالتقريب؛ ومكعب ذلك | سبعة وأربعون ألفاً وست مائة وأربعة وخمسون مجبوراً؛ وجرمها من جرم الأرض كذلك، أعني مثل الأرض سبعة وأربعين ألفاً مرة وست مائة وأربع وخمسين مرة بالتقريب.

[٣٩] وأما أصغر الثوابت، التي في القدر السادس، فقطر أحدها مثل قطر الأرض أربع وعشرين مرة وخمس وشُدس مرة؛ | ومكعب ذلك أربعة عشر ألفاً وأربع مائة وثلاثة وستون بالتقريب؛ فجرمها مثل جرم الأرض أربعة عشر ألفاً مرة وأربع مائة وثلاث وستين مرة.

[٤٠] هذه المقادير، على موجب الأصول الصحيحة، ولا يمكن أن تكون أصغر من ذلك؛ ويمكن أن تكون أكبر، ولا يُستعظم ذلك. فعظمة الله أعظم، وقدرته أوسع، وهو على كل شيء قدير. وجميع المتقدمين مجمعون على العمل بموجب الأرصاد التي أدت إلى هذه الأشياء. وقد تكرر من بطليموس | أن قال أمّا الأبعاد فلا يمكن أن تكون أقلّ ممّا ذكرنا؛ وأمّا الأجرام فهي تبعّ للأبعاد، فإن كانت الأبعاد | أكثر كانت الأجرام أكبر ولا ينعكس؛ وليس هذا بمستقصى في هذا النوع؛ وقد ناقض نفسه في كتابه الذي سمّاه بالافتصاص، في الهيئة وفي الأجرام. ونسأل الله تعالى التوفيق والهداية وهو حسبنا ونعم الوكيل.

[٤١] تنبيه. كلّ كرة قطرها معلوم، فدورها معلوم، وأجزاء الدور معلومة، ومساحة بسيطها معلومة، ومساحة جرمها معلومة. وكلّ مقدار معلوم بمقدار، فهو معلوم بكلّ ما يُعلم به ذلك المقدار. مثاله: أبعاد الأفلاك وأجرام الكواكب معلومة بمقدار نصف قطر الأرض، ونصف قطر | الأرض معلوم بالفراسخ والأميال والأذرع والأصابع | والشعيرات؛ فكذلك الأبعاد والأجرام معلومة بهذه المقادير.

[٤٢] | واعلم أننا إذا زدنا على أبعاد بُعد أفلاك | زحل أقطار الكواكب الثابتة، كان ذلك أبعاد

^١ كرة: فوق السطر [ج]. ^٤ مرة: ناقص [ج]. ^٤ بالتقريب: في الهامش مع إشارة [ج]. ^{١١} الله: الله تعالى [أ].
^{١٢} مجمعون: اجمعوا [ج]، مجمعين [أ، س]. ^{١٤} فإن كانت الأبعاد: في الهامش مع إشارة [س]. ^{١٨} بمقدار: فوق السطر [أ]. ^{١٨} بكلّ: كلّ [أ]. ^{١٩} معلومة: كتب أولاً "العلوية" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "معلومة" [س]. ^{١٩} نصف (مرتّين): فوق السطر [س]. ^{٢٠} بالفراسخ: بالفراسخ [ج].

^١ ج ٤٨ ظ. ^٣ س ٦٨ ظ. ^٤ ت ٣٢ و. ^٨ گ ٨٣ و. ^٨ ٥ ٧٤ و. ^{١٣} أ ٥ ٤٥ ظ، ق ٤٢ و. ^{١٤} د ٥٢ ظ. ^{١٩} گ ٨٣ ظ. ^{٢٠} س ٦٩ و. ^{٢٢} ب ٤٥ ظ. ^{٢٢} ٥ ٧٤ ظ.

* يُزاد فوق السطر، في الهامش، "و $\frac{1}{8}$ و $\frac{1}{4}$ مرة" [ج].

atteinte au sein des étoiles fixes ; il est possible que cela soit davantage, si Dieu le veut, mais il est impossible que cela soit moins, comme je l'ai enseigné. La distance maximale du huitième orbe ou la distance minimale du neuvième n'est pas moins que soixante-dix-neuf mille quatre-vingt-huit fois la grandeur du rayon de la Terre ; c'est son rayon, et si je le double puis que je multiplie cela par trois plus un septième, on obtient la circonférence de la cavité du neuvième orbe ; si nous divisons ensuite la circonférence par trois cent soixante, on obtient une portion d'un degré du bord de la cavité du neuvième orbe ; si nous divisons le degré par soixante, on en obtient une portion d'une minute d'arc.

[43] Nous avons multiplié le rayon de la partie convexe de la sphère des fixes (soixante-dix-neuf mille quatre-vingt-huit) par trois plus un septième, puis nous avons doublé le résultat, on obtient la circonférence d'un grand cercle situé à la surface du huitième orbe (qui coïncide avec la cavité du neuvième orbe) : 497 124 et quatre septièmes. Nous avons divisé cela par trois cent soixante, on obtient 1 380, deux tiers et un quart : c'est une portion d'un degré d'un cercle de la cavité du neuvième orbe. Nous divisons cela par soixante, on obtient vingt-trois et des fractions (en rayons terrestres) : c'est une minute d'arc. Cette durée suffit à un homme pour compter rapidement jusqu'à six ; le temps qu'il dise « un », l'orbe se meut deux fois comme le diamètre de la Terre environ. Nous avons montré que quand le neuvième orbe se meut d'un degré, c'est à dire en un quinzième d'heure, alors il se meut d'une grandeur mesurant mille trois cent quatre-vingts fois, deux tiers de fois et un quart de fois le rayon de la Terre. S'il se meut d'une minute, alors il se meut d'une grandeur mesurant vingt-trois fois le rayon de la Terre. Cela concerne sa face concave ; quant à son épaisseur, personne ne la connaît sauf Dieu le Très Haut ; une portion d'un degré de sa face convexe est plus grande qu'une telle portion de sa face concave, mais personne ne sait de combien, sauf Dieu le Très Haut.

[44] *Remarque.* Sache que l'apparence des diamètres de Vénus et de Mars n'est pas fonction de leurs distances. La distance maximale de chacun est un [grand] multiple de sa distance minimale ; or les diamètres devraient suivre les distances, c'est-à-dire que chacune de ces deux planètes devrait paraître avoir, à distance minimale, pour diamètre, un [grand] multiple de son diamètre à distance maximale ; mais ce n'est pas ce qu'on voit.

[45] Ptolémée a dit : «[Quant à] la cause pour laquelle ce qui apparaît à la vision et qu'elle se représente de la grandeur du corps ne correspond pas au rapport de ses distances, il convient que nous sachions qu'il s'agit là de l'illusion qui intervient pour la vision

بُعد الكواكب الثابتة؛ وجائز أن يكون أكثر من ذلك بما شاء الله تعالى، وغير جائز أن يكون | أقلّ من ذلك، كما علمت. فيكون أبعد بُعد الثامن أو أقرب قُرب التاسع لا ينقص عن تسعة وسبعين ألفاً وثمانية وثمانين مثلاً لمقدار نصف قطر الأرض؛ فهذا هو نصف قطره، فإذا أضعفته وضربت ذلك في ثلاثة وسُبع، حصل دور مقعّر التاسع؛ فإذا قُسم الدور على ثلاث مائة وستين، حصل حصّة درجة واحدة من محيط مقعّر التاسع؛ وإذا قُسمت الدرجة على ستين، حصل حصّة دقيقة واحدة منه.

[٤٣] وقد ضربنا نصف قطر محدّب كرة الكواكب الثابتة (وهو تسعة وسبعون ألفاً وثمانية وثمانين) في ثلاثة وسُبع، وأضعفنا ما بلغ، فحصل محيط أعظم دائرة يقع على سطح الثامن (وهو مساو لمقعّر التاسع): وذلك ٤٩٧١٢٤ وأربعة أسباع. ثمّ قسمنا ذلك على ثلاث مائة وستين، فحصل ١٣٨٠ وثلاثان ورُبع: وهو | حصّة درجة واحدة من دور مقعّر التاسع. فقسمنا ذلك على ستين، فحصل ثلاثة وعشرون وكسر (لمثل نصف قطر الأرض): وهو دقيقة واحدة. وهو بمقدار ما يعدّ إنسان ستّة مسرعاً؛ فيكون بمقدار ما يقول إنسان واحد، يتحرّك الفلك مثل قطر الأرض مرّتين بالتقريب. فقد تبين أنّ الفلك التاسع إذا تحركّ درجةً، وهو ثلث حُمس ساعة، | تحركّ بقدر نصف قطر الأرض ألف وثلاث مائة وثمانين وثلاثين ورُبع. وإذا | تحركّ دقيقة، تحركّ بمقدار نصف قطر الأرض ثلاث وعشرين | مرّة. هذا على فرض مقعّره؛ وأمّا سمكه فما يعلمه | إلاّ الله عزّ وجلّ؛ فتكون مسافة الدرجة في محدّبه أعظم من | المسافة في مقعّره بما لا يعلمه إلاّ الله عزّ وجلّ سبحانه وتعالى.

[٤٤] تنبيه. اعلم أنّ الزهرة والمريخ لا يُرى قطرها على مقتضى أبعادهما لأنّ أبعد بُعد كلّ واحد منهما أضعاف لأقرب قُربه؛ فكان يجب أن يكون الأقطار تبع الأبعاد، أعني أن يُرى الكوكب، في أقرب قُربه، أضعاف قطره في أبعد بُعده؛ ولم نر ذلك.

[٤٥] أمّا بطليموس فقال: ”أمّا [السبب الذي من أجله صار ما يظهر للبصر ويتخيّل إليه من عظم الجرم ليس على مثل نسب أبعادهما، فينبغي لنا أن نعلم أنّه الغلط | الذي يدخل على البصر

٣-٢ تسعة وسبعين ألفاً وثمانية وثمانين: تسعة وتسعين ألفاً وثمانية وثمانين [د]، ٩٩٠٨٨ [ج]. ° محيط: فوق السطر [أ].
 ° قُسمت: قسم [س، د، أ]. ٧-٨ تسعة وسبعون ألفاً وثمانية وثمانين: تسعة وتسعون ألفاً وثمانية وثمانون [د]، ٩٩٠٨٨ [ج].
 ٩ وأربعة أسباع: وأربعة أتساع [د]، ٤ [ج]. ١٢ يعدّ إنسان: يعدوا نسان (؟) [د]. ١٢ قطر: ناقص [د]، في الهامش مع إشارة [ج]. ١٣ مرّتين: في الهامش [أ]، ناقص [س]. ١٣ تحركّ: فوق السطر [ج]. ١٤ وإذا: فإذا [ج]. ١٤ بمقدار: مقدار [س]. ١٥ فما: فلا [ج]. ١٥-١٦ الله عزّ وجلّ: الله تعالى [ج]. ١٦ في: من [ج، س]. ١٦ في: من [ج، س]. ١٧ عزّ وجلّ: ناقص [س]. ١٧ سبحانه وتعالى: ناقص [د، ج]. ٢١ أجله: أصله [د].

١ ج ٤٩ و. ١٠ گ ٨٤ و. ١٣ هـ ٧٥ و. ١٤ أ ٤٦ و. ١٥ س ٦٩ ظ. ١٥ ق ٤٢ ظ. ١٦ ت ٣٢ ظ. ٢٢ ج ٤٩ ظ.

en raison de la variation des images visuelles. Ceci est manifeste dans tout ce qui apparaît à la vision [...] un intervalle situé entre les objets de tailles différentes [...] connaître²²⁵, étant donné qu'il les sous-estime en permanence. C'est pourquoi chacun des astres est vu plus proche qu'il ne l'est en vérité, à cause de l'abaissement de la vision vers les distances auxquelles elle est habituée et accoutumée autour de nous. Il en est de même pour les sur-estimations et les sous-estimations des grandeurs, en fonction de la sur-estimation et de la sous-estimation des distances : elles sont inférieures à ce que donnerait leur proportion réelle, à cause de l'incapacité de la vision, comme nous l'avons dit, à distinguer et à percevoir la mesure exacte des intervalles de chacune des sortes de choses que nous avons mentionnées²²⁶. »

[46] Ceci est la réponse de Ptolémée. Voici la nôtre :

- quand une sphère se rapproche de l'œil, ce qui en est visible est moindre que ce qui en est visible à distance ;
- la vision ne peut percevoir les diamètres réels des corps qui ont de l'éclat à cause de la réception de la vision par les rayons lumineux ;
- avec la distance, la vision ne voit pas les choses comme elles sont.

[47] Expliquons cela. Prenons deux corps sphériques, le diamètre de l'un étant double du diamètre de l'autre, et regardons-les de loin. La vision ne pourra percevoir la grandeur réelle de leurs diamètres, ni ne pourra déterminer que le diamètre de l'un est double du diamètre de l'autre, ni ne pourra le vérifier par l'aide d'aucun instrument, même si l'on sait que le diamètre de l'un est double du diamètre de l'autre. Que la vision estime la grandeur de l'un des diamètres par rapport à l'autre ; supposons que l'un des deux reste à sa place et que l'autre se déplace au double de sa distance ; la vision ne pourra plus admettre la différence qu'elle avait estimée, même si l'on sait préalablement la différence.

[48] D'autre part, si la vision se porte sur la lumière d'une lampe à distance donnée et que la vision imagine qu'elle est d'une certaine grandeur, puis qu'on s'approche [de cette lampe] à mi-distance ou qu'on s'en éloigne d'autant, alors le regard n'aura pas l'impression d'un tel changement de distance. À partir de là et de ce qui précède, on a la réponse à la question. À distance, la vision est incapable de vérifier la grandeur des choses dans leur état. Nous affirmons que, avec la distance, si la vision se porte sur Paul et Pierre, elle ne peut déterminer lequel des deux est plus grand, ni ne peut dire de quelle grandeur l'un est plus grand que l'autre ; ceci, même s'il n'y a

من قبل | اختلاف المناظر. ويتبين ذلك في جميع ما يظهر للعين ولا تفاضل ما بين الأشياء المختلفة الأقدار [...] يعلم لنقصانها الدائم*. لذلك | يرى كل واحد من الكواكب قريباً منا أكثر من حال حقيقته، لانحطاط البصر إلى الأبعاد التي قد اعتادها وألفها فيما | بيننا. كذلك الحال في الزيادات والنقصانات التي تعرض للعظم بحسب زيادة الأبعاد ونقصانها: فإنها تكون أقل من النسبة التي هي لها، لعجز البصر، كما قلنا، عن تمييز وإدراك كمّية تفاضل كل نوع ممّا ذكرنا.“

[٤٦] هذا جواب بطلميوس عن ذلك، والذي عندي في ذلك:

- أن الكرات | إذا قربت من البصر، كان ما يظهر منها أقل ممّا كان يظهر مع البعد.

- وأن الأجسام النيرة لا يدرك البصر حقيقة | أقطارها لاستقبال البصر بشعاع النور.

- وأن البصر مع البعد لا يرى الأشياء على ما هي عليه.

[٤٧] وممّا يوضح ذلك أنه، إذا فرض جسمان كرتيان، قطر أحدهما ضعف قطر الآخر، ونظر إليهما من بُعد، لم يمكن البصر إدراك حقيقة مقدار القطرين، ولا يعين أن قطر أحدهما ضعف الآخر، ولا يمكن تحقيق ذلك بآلة من الآلات، مع العلم بأن قطر أحدهما ضعف قطر الآخر. وإن حرر البصر تقريب مقدار أحد القطرين من الآخر؛ ثم فرضنا بقاء أحدهما | في مكانه وتحرك الآخر ضعف ذلك البعد؛ لم يحتمل البصر اختلاف ما كان حرره مع العلم بخلاف الأول.

[٤٨] وبنوع آخر، لو وقع البصر على ضوء مصباح من بُعد مفروض، وتوهم البصر له مقداراً | ما، ثم قرب منه نصف ذلك البعد أو بعد عنه بذلك المقدار، لم يُخيّل للبصر تغيير ذلك المقدار. فمن هذا وممّا تقدّم، يتركّب الجواب عن المسألة وعلم حقيقته مع البعد عجز البصر عن تحقيق مقادير الأشياء عمّا هي عليه. فإننا نجزم بأن البصر، لا يمكنه إذا وقع على | زيد وعمر ومع البعد تحقيق أيهما أطول من الآخر، ولا بأيّ مقدار أحدهما أطول من | الآخر؛ هذا مع البعد الذي

^١ المناظر: المنظر [أ، ج، د]. ^١ ولا تفاضل: وتفاضل [د، ج]. ^٢ قد: ناقص [د، ج]. ^٣ بيننا: غير مقروء [ج].
^٣ كذلك: لذلك [أ]، كتب أولاً "كذلك" ثم حوّله إلى "لذلك" [ج]. ^٤ الكرات: الكواكب [د]. ^٥ منها: في الهامش مع إشارة [ج]. ^٦ لاستقبال: لاشتغال [ج، د، س]. ^٧ قطر أحدهما... الآخر: أحدهما قطره ضعف قطر الآخر [ج].
^٨ حرر: جوز [ج]. ^٩ فرضنا: فرضا [أ]، فرض [س]. ^{١٠} حرره: جوزة [ج]. ^{١١} ونوع: ونوع [أ، د، ج]. ^{١٢} مقداراً: مقدار [د]. ^{١٣} للبصر: البصر [ج، د]. ^{١٤} تغير: تغير [أ]. ^{١٥} تحقيق: حقيقة [ج، د]. ^{١٦} بأيّ: بأيّ [أ]، باثر [د]، ياتر (وضرب عليه بالقلم وكتب "بأيّ" في الهامش) [ج]. ^{١٧} أحدهما: في الهامش مع إشارة [س].

^١ گ ٨٤ ظ. ^٢ ب ٤٦ و. ^٣ د ٥٣ و. ^٤ ه ٧٥ ظ. ^٥ س ٧٠ و. ^٦ گ ٨٥ و. ^٧ ٤٦ ظ. ^٨ ق ٤٣ و. ^٩ ج ٥٠ و.

* بطلميوس، كتاب الاقتصاد (تصحیح راجيس مورالون، ص. ٨٣-٨٥): "... وتبين اختلاف ذلك في جميع ما يظهر ويرى على بعد كثير. فكما أن الأبعاد أنفسها لا تكون كمّيتها معلومة فيما يظهر للعين، ولا التفاضل فيما بين الأشياء المختلفة الأقدار منها يُعلم على تناسب الذي هي عليه، لجمع البصر وقبضه إيّاه بتنقيصه له إلى ما هو له أشدّ ألفاً أن يُعلم لنقصانها الدائم..."

aucune distance entre eux deux. Il s'est avéré que la distance maximale de Mars est vingt-six mille quatre cent soixante comparée à la grandeur du rayon de la Terre. Le pouvoir de la vision échoue pour les grandeurs à des distances bien moindres que cela ; de plus, elle répugne à la détermination des grandeurs même si nous percevons que les diamètres des astres diffèrent aux autres distances et qu'elle le sent (sauf que cela est selon un autre rapport que le rapport des distances comme nous l'avons expliqué). De là, on comprend que les astres sont des corps qui ont un éclat et que leur lumière leur est propre, non comme la Lune qui est un corps opaque dont la lumière, accidentelle, vient du reflet des rayons du Soleil à sa surface. Pour cette raison, la détermination du diamètre [de la Lune] aux autres distances de la Terre est possible, mais non celle des diamètres des autres astres.

[49] Ceci achève ce que nous voulions produire dans cette première partie. Va suivre une deuxième partie sur la configuration de la Terre et ce qui en dépend. Nous continuerons cela par le calcul des tables des équations des astres selon ces fondements dans une troisième partie si Dieu le veut. On espère que le lecteur de ce livre ne rejettera pas ce qu'il ne connaît pas parfaitement, qu'il empruntera le chemin de la vérité et de la raison, et qu'il échappera à la voie de l'entêtement. L'exactitude de ce que nous avons produit et la clarté de la voie que nous avons empruntée paraîtra à qui confrontera ces fondements avec ce que se sont imposé les anciens et les modernes s'il emprunte en cela le chemin de la vérité.

Merci à Dieu, qu'il soit notre refuge, nous nous en remettons à Lui.
Il nous a donné suffisamment et Il a comblé de bienfaits celui qui s'en remet à Lui.

هو بالنسبة إلى غيره لا شيء. فإنه قد اتضح أنّ أبعد بُعد المريخ | ستّة وعشرون ألفاً وأربع مائة وستون بمقدار نصف قطر الأرض. فيسقط حكم البصر على المقادير مع أقلّ من هذا البعد بكثير؛ فهو، مع هذا، أكثر نفوراً عن تحقيق المقادير مع أنّنا ندرك اختلاف أقطار الكواكب في سائر أبعادها ويُحسّ به (إلاّ أنّه على غير ما يقتضيه نسب | الأبعاد كما أوضحنا). ومن هنا، يُفهم أنّ الكواكب أجسام نيّرة نورها من ذاتها، لا كالقمر فإنّه جسم كثيف | ونوره عرضيّ من انعكاس شعاع الشمس على سطحه. وبهذا السبب أمكن تحديد قطره في سائر أبعاده من الأرض، خلاف غيره من الكواكب.

[٤٩] فهذا آخر ما قصدنا إيرادَه في هذه المقالة. | ويتلو هذه المقالة مقالة ثانية في هيئة الأرض وما يلزمها. وتبع ذلك بحساب جداول تعاديل الكواكب على مقتضى هذه الأصول في مقالة ثالثة إن شاء الله تعالى. والمرجوّ من متصفّح هذا الكتاب | أن لا ينكر ما لا يحيط به علمه، ويسلك مسلك الحقّ والإنصاف، ويتجنّب طريق العناد. فإنّه من قابل بين هذه الأصول وبين ما تكلفه المتقدّمون والمتأخّرون في ذلك وسلك في ذلك طريق الحقّ، ظهر له صحّة ما أوردناه ووضوح الطريق الذي سلكناه.

والله المشكور المحمود وبه نعتصم وعليه نتوكّل وهو حسبنا ونعم الوكيل

^٢ فيسقط: فسقط [أ، س]. ^٤ يقتضيه: تقتضيه [ج، د]. ^{٨-٩} ويتلو... يلزمها: ناقص [س]، في الهامش [أ]. ^{١٠} ثالثة: ثانية [س]. ^{١٢} في ذلك: ناقص [ج]. ^{١٢} ظهر: ظهرت [ج]. ^{١٣} سلكناه: قد سلكناه [ج]. ^{١٤} المشكور: المتكور [أ]، المسؤل [د]. ^{١٤} وبه: به [د]. ^{١٤} وهو: فإنّه [ج].

^١ ٧٦٥ و. ^٤ س ٧٠ ظ. ^٥ گ ٨٥ ظ. ^٨ ب ٤٦ ظ. ^{١٠} ت ٣٣ و.

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux
J'implore son secours
Seconde partie de L'achèvement de l'enquête

La configuration de la Terre et de ce qui en dépend concernant la
variation de position des corps célestes, en dix sections

Première section

L'ensemble de la configuration de la Terre et ce qui l'entoure

[1] Nous avons déjà dit au début de la première partie que la Terre, globalement, est ronde, qu'un individu debout où que ce soit, a la tête vers la périphérie (c'est-à-dire vers le haut) et les pieds vers le centre (c'est-à-dire vers le bas), et que la surface convexe de la Terre est parallèle à la surface concave de l'orbe qui l'entoure. Le sommet de la tête d'un voyageur, sur Terre, indique sans cesse une portion différente de cet orbe.

[2] Supposons que trois personnes se séparent en un lieu, que l'un se dirige vers l'ouest, l'autre vers l'est, et que le troisième demeure immobile jusqu'à ce que les deux autres aient fait un tour et reviennent à lui ; on trouve que les jours mis par le voyageur allant vers l'ouest sont en nombre inférieur aux jours de celui qui est immobile, et que les jours mis par le voyageur allant vers l'est sont en nombre supérieur aux siens. En effet le voyageur allant vers l'ouest retranche [quelque chose] des circonférences à cause de son voyage, et celui qui va vers l'est y ajoute [quelque chose] à cause de son voyage. La durée du jour pour celui qui va vers l'ouest est plus grande que pour celui qui est immobile, à raison de son mouvement ; et la durée du jour pour celui qui est immobile est plus grande que pour celui qui va vers l'est, à raison du mouvement de celui-ci. La quantité ajoutée ou retranchée est d'une journée, donc si l'on dit à chacun des trois « quel jour de la semaine est-on ? » et que celui qui était immobile répond vendredi, alors celui qui allait vers l'ouest dira jeudi, et celui qui allait vers l'est dira samedi.

[3] Si l'on imagine que le plan de l'équateur coupe le monde, il coupe la Terre en deux moitiés nord et sud, et cette section s'appelle ligne de l'équateur. Imaginons encore un autre grand cercle passant par les pôles de l'équateur ; il coupe la Terre en deux moitiés dessus comme dessous. Ils divisent donc la Terre en quatre ; deux quarts au nord et deux quarts au sud. L'un des quarts nord, le plus élevé, est le quart peuplé. Le reste est soit en grande partie sous les mers, soit inconnu.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ وَبِهِ أَسْتَعِينُ | المقالة الثانية من نهاية السؤل

في هيئة الأرض وما يلزمها بحسب اختلاف أوضاع العلويات وقيها عشرة فصول

الفصل الأوّل

في جملة هيئة الأرض وأحوالها.

- [١] قد سبق في صدر المقالة الأولى أنّ الأرض بجملتها مستديرة وأنّ الواقف عليها | من جميع الجهات رأسه إلى ما يلي المحيط وهو فوق ورجله إلى ما يلي المركز وهو التحت وأنّ محدّب الأرض موازٍ لمقعر الفلك المحيط. والسائر على الأرض يجب أن يصير سمت رأسه في كلّ وقت جزءاً آخر من الفلك.
- [٢] وإذا فرض تفرّق ثلاثة أشخاص* من موضع وسار أحدهم نحو المغرب والآخر نحو المشرق وأقام الثالث إلى أن دار السائران ووصلا إليه تُوجد أيام السائر نحو المغرب عند العدّ ناقصة عن أيام المقيم وأيام السائر نحو المشرق زائدة عن أيامه لأنّ السائر نحو المغرب ينقص بسيره عن الأدوار والسائر نحو المشرق يزيد به عليها. فإنّ قوس النهار للمغربيّ أعظم من قوس النهار للمقيم بقدر حركته وهي للمقيم أعظم منها للمشرقّيّ بقدر حركته. وقدر الزائد والناقص يوم فإذا قيل لكلّ واحد من الثلاثة ما يومك | هذا من الأسبوع قال المقيم يوم الجمعة وقال المغربيّ يوم | الخميس وقال المشرقّيّ يوم السبت.
- [٣] وإذا تُوهّم سطح معدّل النهار قاطعاً للعالم قطع الأرض نصفين شماليّ وجنوبيّ ويُسمّى ذلك المقطع منها خطّ الاستواء. فإذا تُوهّمت عظمة أخرى من دوائر الأفق مارّة بقطبي المعدّل قاطعةً الأرض نصفين فوق وأسفل انقسمت الأرض بهما أرباعاً، | ربعان شماليّان وربعان جنوبيّان. أحد الشماليين الفوقاني هو الربع المسكون والباقية إمّا غامرة في البحار أو غير معلومة الأحوال.

^١ بسم الله الرحمن الرحيم وبه أستعين: ناقص [ج]، بسم الله الرحمن الرحيم [ق]. ^٢ نهاية السؤل: نهاية السؤل في تصحيح الأصول [ج]. ^٣ عشرة فصول: اثني عشر فصلاً [ج]، كُتب ١٢ فوق السطر [د]، صوابه اثني عشر [هامش د]. ^٤ الفصل: ناقص [ج]. ^٥ موازٍ: ناقص [ق]. ^٦ تفرّق: ناقص [ق]. ^٧ تُوجد: فوجد [ق]. ^٨ للمغربيّ: به للمغربي [ق]. ^٩ يوم: في الهامش مع إشارة [د]، فوق السطر [ج]. ^{١٠} المغربيّ: الغربي [ق]. ^{١١} المقطع: المنقطع [ج]. ^{١٢} عظمة: دائرة عظمة [ج]، كُتب في الهامش "دائرة" مع إشارة [د].

١ أ٤٧ظ، د٥٣ظ، ه٧٦ظ. ٢ ج٥٠ظ. ٣ گ٨٦و. ٤ ه٧٧و. ٥ ق٤٦و. ٦ گ٨٦ظ.

* كُتب في هامش نسخة ج: "مطلب تفرّق الأشخاص الثلاثة."

[4] La connaissance de la raison de [cette] affirmation est accordée au sage. Certains spécialistes de cette science disent que la partie sud, parce qu'elle est proche du périégée solaire, est très chaude ; sa grande chaleur empêche l'habitation. Si c'en était la cause, [les contrées] du sud dont la latitude dépasse l'inclinaison maximale seraient habitées ; et pourquoi certaines contrées du nord seraient-elles appropriées à l'habitation, tandis que d'autres ne le sont pas, à latitude et longitude égale ? Mais selon certains de ces spécialistes, pendant la période où le périégée est au sud de l'écliptique, ces contrées sont très chaudes, ce que montre la couleur de ceux qui en sont proches.

[5] La chaleur attire l'humidité, comme le montre la flamme d'une lampe quand elle attire l'huile ; ainsi les mers seraient-elles entraînées vers la moitié sud, et la moitié nord de la Terre serait-elle laissée à découvert ? L'existence de mers au nord empêche ce jugement.

[6] Selon certains, celles de ces contrées qui ne sont pas peuplées sont celles situées entre [les lieux] où descendent les deux luminaires, et on les appelle « routes brûlantes » ; mais c'est une fable des astrologues²²⁷.

[7] L'auteur du « Mémoire²²⁸ » a dit : si la raison n'en était la Providence, pas un des deux quarts nord ne serait approprié à l'habitation. Cette parole a lieu, même s'il advient certes que l'on connaît cette spécificité. On sait que la partie peuplée est le quart le plus élevé, dans la moitié nord, parce qu'en longitude, il n'existe pas, aux deux extrémités de la partie peuplée, de lieu où la limite de l'avancée de l'éclipse de Lune et de son retard dépasse douze heures, et parce qu'en latitude, il n'existe nulle part, dans toutes les contrées peuplées, où l'extrémité de l'ombre du gnomon soit côté sud à midi des équinoxes, sauf dans quelques lieux aux confins des pays des Noirs, de l'Éthiopie, etc.

[8] Les premières latitudes peuplées au sud sont là où le pôle sud est haut de 16;25 degrés, ce sont les lieux qu'on vient de mentionner. Les dernières au nord sont là où le pôle nord est haut de 66 degrés ; il est impossible de vivre au delà à cause du froid dû à l'éloignement du Soleil par rapport au zénith là-bas. Donc les latitudes peuplées mesurent 82;25 degrés ; les longitudes, 177;15 degrés. La mer entoure de presque tout côté la part peuplée. Pour le côté ouest, le côté nord, et presque tout le sud, notamment le sud-est, c'est connu. Pour le sud-ouest, ce n'est pas connu. Il est dit que des voyageurs, en remontant

[٤] والعلم بحكمة التخصيص مختصّ بالحكيم الفاعل المختار وقد قال بعض أهل هذا العلم أنّ الناحية | الجنوبيّة، لقربها من حضيض | الشمس، أشدّ حرارةً. وشدّة الحرارة تُنافي العمارة. ولو كان السبب ذلك، لكان ما جاوز عرضه من الجنوب غاية الميل معمورًا. ولمّا اختصّ بعض نواحي الشمال بالعمارة، دون البعض، مع مساواة العرض | والطول؟ وقال بعضهم لا شكّ أنّ، [في] مدّة كون الحضيض في البروج الجنوبيّة، تلك النواحي أشدّ حرارة يدلّ عليها لون من قرب منها.

[٥] والحرارة تجذب الرطوبة بدليل جذب شعلة السراج الزيت فانجذبت البحار إلى النصف الجنوبيّ وانكشف النصف الشماليّ من الأرض. ووجد البحار في الشمال ينافي هذا الحكم. [٦] وقال بعضهم ما ليس | بمسكون من تلك الناحية ما يقع بين هبوطي النّيرين ويُسمّى بالطريقة المحترقة وهذا من خرافات الأحكاميين.

[٧] وقول صاحب التذكرة لو كان السبب غير العناية الإلهيّة، لمّا اختصّ أحد الرّبعين الشماليّين بالعمارة. إنّما يتأتّى إنّ لو حصل العلم بذلك الاختصاص وإنّما حُكم بأنّ المعمور رُبع الأرض الذي هو | الفوقاني من النصف الشمالي، أمّا طولًا، | فلاّنه لم يوجد في طرفي العمارة [موضع] فيه غاية تقدّم الخسوف وتأخّره زائدة على ١٢ ساعة، وأمّا عرضًا، فلاّنه لم توجد أظلال المقاييس في نواحي العمارة | كلّها عند انتصاف نهار الاعتدالين إلى طرف الجنوب، إلّا في قليل من مساكن على | أطراف الزنج والحبشة وغيرهما.

[٨] وأوّل عرض المعمور من الجنوب حيث ارتفاع القطب الجنوبيّ نو كه، و هي المساكن المذكورة آنفًا. وآخره في الشمال حيث ارتفاع القطب الشماليّ سو وما بعده لا يمكن أن يُسكن فيه لشدّة البرد اللازم من بُعد الشمس عن سمت الرأس هناك. فعرض المعمور فب كه وطولها ١٧٧ نه. البحر محيط بأكثر جوانب القدر المسكون أمّا من جانب المغرب والشمال وأكثر الجنوب لا سيّما الشرقي منه فمعلوم وأمّا جنوب المغرب فغير معلوم. وقد ذُكر | أنّ السائرين على سمت

١ بحكمة: بجملة (؟) [أ]. ١ مختصّ: محصّص [ق]. ٢ لكان: المكان [ق]. ٣ نواحي: النواحي [ق]. ٤ في: ناقص [أ، ج، د، ق]. ٥ تلك: بتلك [ج، د]، ابتلك [ق]. ٦ لون: كون [ج، ق]. ٧ قرب: بقرب [أ]. ٨ تجذب: تحدث [ق]. ٩ جذب: فوق السطر [ج]. ١٠ إلى النصف: للنصف [ج]. ١١ بين: من [ج، د، ق]. ١٢ خرافات: خرافات [ق]. ١٣ الإلهيّة: الالهية [أ]. ١٤ عرضًا: عرضنا [ق]. ١٥ فلاّنه: فإّنه [د]. ١٦-١٧ حيث (مرتين): جيب [ق]. ١٨ البحر: والبحر [ق]. ١٩ بأكثر: بأكثر [ق].

٢٠ ب ٤٧ و. ٢١ ج ٥١ و. ٢٢ أ ٤٨ و. ٢٣ ه ٧٧ ظ. ٢٤ گ ٨٧ و. ٢٥ ت ٣٣ ظ. ٢٦ ق ٤٦ ظ. ٢٧ د ٥٤ و. ٢٨ ه ٧٨ و.

le Nil en Égypte, sont arrivés en des lieux dont la latitude sud dépasse quelques dix degrés, et qu'ils ont vu, plus loin vers le sud, les montagnes blanches, apparentées à la Lune, où sont les sources du Nil ; ils n'ont pas atteint de mer. Nous n'avons pas non plus de témoignage au sujet d'une mer au nord-est.

[9] Dans la partie découverte comme étant habitée, il y a de nombreuses mers. Certaines mers touchent l'Océan, comme celle qui part du Maghreb et d'Al-Andalous et qui est entre Al-Andalous et la Syrie, ou comme la mer du sud qui touche au côté est d'où sortent quatre golfes vers le milieu des terres peuplées : le golfe de Berbera²²⁹, celui qui est le plus proche du Maghreb, le golfe Rouge²³⁰, le golfe Persique et le golfe Vert²³¹. Chacun d'eux a une longitude et une latitude avantageuses. [Parmi les mers qui touchent l'Océan], il y a aussi la mer des Warrank²³² du côté nord. Certaines mers ne touchent pas l'Océan, comme la mer du Tabaristan²³³, le lac du Khwarezm²³⁴, et d'autres qui sont des vallées et des pêcheries.

[10] Outre les mers, parmi les choses empêchant l'habitation, il y a les steppes, les montagnes, les sables, les collines, les maquis, et beaucoup d'autres que savent les spécialistes des routes, les voyageurs, etc. ; la connaissance détaillée de cela est traitée séparément dans les livres de cette catégorie. La majeure partie de la partie habitée, du côté nord, tombe entre un peu plus de dix degrés de latitude jusqu'à la limite des cinquante degrés.

[11] Les hommes de métier l'ont divisée en sept climats longitudinalement, de sorte que chaque climat couvre l'étendue d'est en ouest sous un certain parallèle ; les conditions des lieux qui s'y trouvent sont semblables ; sa latitude résulte en un incrément d'une demi-heure dans la durée du jour le plus long du milieu d'un climat [au milieu du suivant]. Du septième climat jusqu'à une latitude de 66 parts, on trouve peu de constructions, et leurs habitants ressemblent à des bêtes sauvages. Au delà de 63 parts de latitude, il y a l'île de Thulé²³⁵ dont les habitants vivent dans les bains à cause du grand froid ; le jour le plus long y dure vingt heures. Ptolémée a dit que là où la latitude est de 64 parts, il y a un peuple de Slaves non identifiés.

[12] Les Grecs placent la longitude en partant de l'ouest de sorte que sa quantité augmente dans le sens de signes, ils placent le début des latitudes sur l'équateur pour les délimiter de manière naturelle, et ils placent le début des lieux peuplés aux îles Canaries qui sont

منابع نيل مصر انتهوا إلى مواضع زاد عرضها الجنوبيّ على بضع عشر درجة* وشاهدوا الجبال البيض من | الثلج المنسوبة إلى القمر التي منها ينابيع النيل في جنوبهم في بعيد ولم يصلوا إلى بحر. | وأيضًا ليس لنا وقوف يقيني على بحر في شمال الشرق.

[٩] وفي القدر المكشوف العمارة بحار كثيرة. بعضها متّصل بالمحيط كالذي من المغرب والأندلس | والذي بين أندلس والشام وكالبحر الجنوبي المتّصل بالجانب الشرقي الذي خرج منه أربع خليجات | إلى وسط العمارة، الخليج البربري، وهو أقربها إلى المغرب، والخليج الأحمر، وخليج فارس، والخليج الأخضر، ولكلّ واحد منها طول وعرض صالحان، وكبحر ورنك من جانب الشمال. وبعضها غير متّصل بالمحيط كبحر طبرستان وبُحيرة خوارزم وغيرهما من البطائح والمغائص.

[١٠] وغير البحار من موانع العمارة كالبراري والجبال والرمال والقلال والآجام وغيرها كثير يعرفها أهل العلم بالمسالك والسيّاح وغيرهم، والعلم بتفاصيل ذلك فمن مفرد مذكور | في الكتب المصنّفة فيه. معظم العمارة في طرف الشمال يقع بين ما يجاوز عشر درجات في العرض إلى حدود الخمسين.

[١١] قسمها أهل الصناعة | إلى سبعة أقاليم طولًا، فيكن كلّ إقليم تحت مدار ممتدّ بين الخافقين، وتتشابه أحوال البقاع التي فيه. وعرضه ما يوجب تفاضل نصف ساعة في مقادير النهار الأطول في أواسط الأقاليم. وما بين الإقليم السابع إلى عرض سو جزءًا، عمارات يسيرة وسكّانها شبيهة بالوحوش. وعلى عرض سجّ جزءًا جزيرة تولى وأهلها | يسكنون الحمامات لشدة البرد ونهارها الأطول ٢٠ ساعة. وقال بطليموس بالموضع الذي عرضه سدّ جزءًا قوم من الصقالية لا يُعرفون.

[١٢] والجمهور جعلوا الطول من جانب المغرب ليكون ازدياد عدد الطول في جهة توالي البروج، ومبدأ العرض من خطّ الاستواء لتعيينه بالطبع، وبداية العمارة من جزائر الخالدات، وهي

^١ منابع: متابع [ق، د، ج، أ]. ^١ الجنوبيّ: فوق السطر [ج]. ^٣ الشرق: السرقى [د، ق]. ^٥ الأندلس: أندلس [ق، د]. ^٥ وكالبحر: وكالبحور [ق]. ^٦ وخليج: خليج [ج]. ^٩ موانع: مراع [ق]. ^٩ والرمال والقلال: والقلال والرمال [ق، د]. ^٩ كثير: في الهامش [د]. ^{١٠} فمن: من [ق]. ^{١١} طرف: اطراف [ق]. ^{١٢} حدود الخمسين: الحدود الخميس [ق]. ^{١٣} حدود خمسين درجة [ج]. ^{١٣} قسمها: فقسمها [ق]. ^{١٣} تحت: بحسب [ق]. ^{١٣} ممتدّ: ممثلة [ج، د، ق]. ^{١٦} شبيهة: شبيهه [ج، د]، شبيهين (٩) [ق]. ^{١٦} سجّ: ثلاثة وثلاثين [ق]. ^{١٦-١٧} جزيرة تولى ... سدّ جزءًا: ناقص [ق]. ^{٢٠} ومبدأ: ميل [ق].

^٢ ج ٥١ ظ. ^٣ گ ٨٧ ظ. ^٥ ب ٤٧ ظ. ^٦ أ ٤٨ ظ. ^{١٠} ق ٤٧ و. ^{١٣} ه ٧٨ ظ. ^{١٦} گ ٨٨ و.

* قال الطوسي في التذكرة (في نصّ رجب، ص. ٢٤٧) "على بضع عشرة درجة" ويوضحه رجب وهو قال في ترجمته أنّ ذلك العرض أقلّ من عشر درجات أو عشرين درجةً.

aujourd'hui entourées d'eau. Un peuple le place au littoral ouest du Maghreb. Entre eux deux, il y a dix degrés. La dernière limite de la partie peuplée est Kangdezh ²³⁶ – selon certains, c'est la demeure des démons – et c'est le début de la partie peuplée pour ceux qui le placent du côté de l'est. Ils appellent ce qui est [au milieu] entre les deux limites, sur l'équateur, le Dôme de la Terre. Il est situé à un quart de circonférence du commencement ouest ; il faut que ce lieu soit variable (de par sa définition) parce que [le commencement ouest] est variable.

[13] *Le premier climat* commence là où le jour le plus long dure douze heures trois quarts et où la latitude est douze degrés et deux tiers de degré. En son milieu, le jour dure treize heures et la latitude est seize degrés, un demi-degré et un huitième de degré ²³⁷.

[14] *Le deuxième climat* commence là où le jour dure treize heures et quart et où la latitude est vingt degrés, un quart et un cinquième de degré. En son milieu, le jour dure treize heures et demi, et la latitude est vingt-quatre degrés, un demi et un sixième de degré ²³⁸.

[15] *Le troisième climat* commence là où le jour dure treize heures trois quarts et où la latitude est vingt-sept degrés et demi. En son milieu, le jour dure quatorze heures, et la latitude est trente degrés et deux tiers de degré ²³⁹.

[16] *Le quatrième climat* commence là où le jour dure quatorze heures et quart, et où la latitude est trente-trois degrés et demi et un huitième de degré. En son milieu, le jour dure quatorze heures et demi, et la latitude est trente-six degrés, un cinquième et un sixième de degré ²⁴⁰.

[17] *Le cinquième climat* commence là où le jour dure quatorze heures trois quarts et où la latitude est trente-neuf degrés moins un dixième de degré. En son milieu, le jour dure quinze heures, et la latitude est quarante et un degrés et un quart de degré ²⁴¹.

[18] *Le sixième climat* commence là où le jour dure quinze heures et quart et où la latitude est quarante-trois degrés, un quart et un huitième de degré. En son milieu, le jour dure quinze heures et demi, et la latitude est quarante-cinq degrés, un quart et un dixième de degré ²⁴².

[19] *Le septième climat* commence là où le jour dure quinze heures trois quarts et où la latitude est quarante-sept degrés et un cinquième de degré. En son milieu, le jour dure seize heures et quart, et la latitude est cinquante degrés

- الآن مغمورة بالماء. وقوم جعلوها ساحل البحر المغربي. وبينهما عشر درجات. ونهاية العمارة كَنَكْدِز، وهو مستقرّ | الشياطين عند بعض العلماء، ومبدؤها عند من جعله من جانب المشرق. وسمّوا ما بين النهايتين على خطّ الاستواء قبة الأرض. وهي على بُعد رُبع الدور من المبدأ الغربي، فيلزمها الاختلاف من جهة تعيينها بسبب الاختلاف فيه.
- ٥ [١٣] أمّا الإقليم الأوّل فمبدؤه حيث النهار | الأطول اثنتا عشرة ساعة ونصف ورُبع، وعرضه اثنتا عشرة درجة وثلاثا درجة، ووسطه حيث النهار ثلاث عشرة ساعة وعرضه ستّ عشرة درجة | ونصف وثمن.
- [١٤] | وأمّا الإقليم الثاني فمبدؤه حيث النهار ثلاث عشرة ساعة ورُبع، والعرض عشرون درجة ورُبع | وخمس، ووسطه حيث النهار ثلاث عشرة ساعة ونصف، والعرض أربع وعشرين درجة ونصف وشُدس.
- ١٠ [١٥] | وأمّا الإقليم الثالث | فمبدؤه حيث النهار ثلاث عشرة ساعة ونصف ورُبع، والعرض سبع وعشرون درجة ونصف، ووسطه حيث النهار أربع عشرة ساعة، والعرض ثلاثون درجة وثلاثان.
- [١٦] | وأمّا الإقليم الرابع فمبدؤه حيث النهار أربع عشرة | ساعة ورُبع، والعرض ثلاث وثلاثون درجة ونصف وثمن، ووسطه حيث النهار أربع عشرة ساعة ونصف، والعرض ستّ وثلاثون درجة وخمس وشُدس.
- ١٥ [١٧] | وأمّا الإقليم الخامس فمبدؤه حيث النهار أربع عشرة ساعة ونصف ورُبع، والعرض تسع وثلاثون درجة إلا عُشرها، ووسطه حيث النهار خمس عشرة ساعة، والعرض إحدى وأربعون درجة ورُبع درجة.
- [١٨] | وأمّا الإقليم السادس فمبدؤه حيث النهار خمس عشرة ساعة ورُبع، والعرض ثلاث وأربعون درجة ورُبع وثمن، ووسطه حيث النهار خمس عشرة ساعة ونصف، والعرض خمس وأربعون درجة ورُبع وعُشر.
- ٢٠ [١٩] | وأمّا الإقليم السابع فمبدؤه حيث النهار الأطول خمس عشرة ساعة ونصف ورُبع، والعرض سبع وأربعون درجة وخمس، ووسطه حيث | النهار ستّ عشرة ساعة ورُبع، والعرض خمسون درجة
- ^١ المغربي: غربي [ق]. ^٢ وهو مستقرّ ... من جعله: في الهامش مع إشارة [د]. ^٣ ومبدؤها: ومبداها [أ]. ^٤ المشرق: الشرق [ج]. ^٥ قبة: فيه [ق]. ^٦ على: ناقص [ج]. ^٧ فمبدؤه: فمبتداه [ق]. ^{٨-١١} والعرض أربع ... ساعة ونصف: ناقص بسبب قفزة لتشاؤم الكلم [ق]. ^٩ والعرض: وعرضه [ج]. ^{١٢} ورُبع: ناقص [ج، د، ق]. ^{١٣} الخامس: كتب أوّلاً "الخامس ونصف" ثمّ ضرب على "نصف" بالقلم [ق]. ^{١٤} عُشرها: وعُشر درجة [د]. ^{١٥} درجة: ناقص [أ، د، ق]. ^{١٦} ورُبع: فوق السطح [ج]. ^{١٧} الأطول: ناقص [أ، د، ق].
- ٢ ج ٥٢ و. ٥ ت ٣٤ و. ٦ د ٥٤ ظ. ٨ ه ٧٩ و. ٩ أ ٤٩ و. ١١ ك ٨٨ ظ. ١١ ب ٤٨ و. ١٣ ق ٤٧ ظ. ٢٣ ه ٧٩ ظ.

et un tiers de degré²⁴³.

[20] La fin de chaque climat est le commencement de celui qui le suit. D'autres gens posent le commencement du premier climat à l'équateur, et la fin du septième là où s'achève la partie peuplée, non là où s'en achève la majeure partie.

[Figure 19.]

[21] Dans [ces climats], il y a des montagnes et des fleuves. *Dans le premier climat* il y a vingt montagnes et trente rivières, et la plupart de ses peuples sont noirs. *Dans le deuxième climat* il y a vingt-sept montagnes et vingt-sept rivières, et les couleurs de ses peuples sont noire et brune. *Dans le troisième climat*, il y a trente-trois montagnes et vingt-deux rivières, et la plupart de ses peuples sont bruns. *Dans le quatrième climat*, il y a vingt-cinq montagnes et vingt-deux rivières, et la couleur de la plupart de ses peuples est entre brun et blanc ; ce sont les hommes les plus justes, et c'est pourquoi [ce climat] a été une mine de prophètes, de saints et de savants ; d'ailleurs les peuples du troisième, du cinquième et des autres climats manquent de cette qualité. *Dans le cinquième climat*, il y a trente montagnes et quinze rivières, et la plupart de ses peuples sont blancs. *Dans le sixième climat*, il y a onze montagnes et quarante rivières, et souvent la couleur de ses peuples est le blond. *Dans le septième climat*, il y a autant de rivières et de montagnes, et la couleur de ses peuples est entre blond et blanc ; la plus grande part en est inoccupée à cause de l'intensité du froid et de la fréquence des neiges et des pluies, et les peuples de certaines de ses contrées habitent dans des bains [chauds] pendant six mois de l'année. Entre la fin du septième climat et la fin de la partie peuplée, il y a beaucoup moins d'habitations qu'en amont ; là, le peuple ressemble parfaitement à des bêtes sauvages.

[22] Le jour le plus long dure 17 heures quand la latitude est 54 degrés environ. Il dure 18 heures à 58 degrés de latitude. Il dure 19 heures à 61 degrés de latitude. Il dure 20 heures à 63 degrés de latitude. Il dure 21 heures à 64;30 degrés de latitude. Il dure 22 heures à environ 65 degrés de latitude. Il dure 23 heures à 66 degrés de latitude. Il dure 24 heures quand la latitude atteint le complément de l'inclinaison [de l'écliptique]. Il dure un mois à 67 degrés de latitude. Il dure deux mois à 69;45 degrés de latitude. Il dure trois mois à 73;30 degrés de latitude. Il dure quatre mois à 78;30 degrés de latitude. Il dure cinq mois à 84 degrés de latitude. Il dure six mois quand la latitude atteint un quart de circonférence.

وثُلث.

[٢٠] وأخِر كلِّ إقليمٍ أوَّل ما يليه بعده. وقوم آخر | جعلوا مبدأ | الإقليم الأوَّل خطَّ الاستواء، وأخِر السابع منتهى العمارة لا منتهى معظمها.

[صورة ١٩].

٥ [٢١] وفي [هذه الأقاليم] جبال وأنهار عظيمة. ففي الإقليم الأوَّل عشرون جبلاً وثلاثون نهراً ولون أكثر أهل السواد. وفي الإقليم الثاني سبعة وعشرون من كلِّ منهما وألوان أهل السواد والسمره. وفي الإقليم الثالث ثلاثة وثلاثون جبلاً واثنان وعشرون نهراً ولون أكثر أهل السمره. وفي الإقليم الرابع جمسة وعشرون جبلاً واثنان وعشرون نهراً ولون أكثر أهل بين السمره والبياض وهم أعدل الناس خلقاً وخلقا ولهذا كان معدن الأبنياء والأولياء والحكماء ثمَّ أهل الثالث والخامس وأهل سائر الأقاليم ناقصون خلقاً وخلقا. وفي الإقليم الخامس ثلاثون جبلاً وخمسة عشر نهراً ولون أكثر أهل البياض. | وفي الإقليم السادس أحد عشر جبلاً وأربعون نهراً والغالب على لون أهل الشقرة. وفي الإقليم السابع مثله نهراً وجبلاً ولون أهل بين الشقرة والبياض، وأكثره خراب لشدة البرد وكثرة الثلوج والأنداء، وأهل بعض مساكنه يسكنون الحمّامات مدّة سنّة أشهر. وفيما بين آخره ومنتهى العمارة مساكن أقلّ كثيراً ممّا قبله، وأهلها أشبه بالوحوش.

١٥ [٢٢] والنهار | الأطول يبلغ ١٧ ساعة حيث العرض ند | وكسر ويبلغ ١٨ ساعة حيث العرض نَح ويبلغ ١٩ ساعة حيث العرض ٦١ درجة ويبلغ ٢٠ ساعة حيث العرض سج | ويبلغ ٢١ ساعة حيث العرض سد ونصف ويبلغ ٢٢ ساعة حيث العرض سه وكسر ويبلغ ٢٣ ساعة حيث العرض سو ويبلغ ٢٤ ساعة حيث العرض | تمام الميل الكليّ ويبلغ شهراً حيث العرض سز ويبلغ شهرين حيث العرض سط مه ويبلغ ثلاثة أشهر حيث العرض عج ونصف ويبلغ أربعة أشهر حيث العرض عح ونصف ويبلغ خمسة أشهر حيث العرض فد ويبلغ نصف السنة حيث العرض رُبع الدور.

٥ وفي هذه الأقاليم: وفيها [أ، د، ج، ق].^٦ لون: ناقص [أ، د، ج، ق].^٦ السواد: السودان [أ، د، ج، ق].^٦ الإقليم: ناقص [أ، د، ق].^٦ السواد: السود [ق].^٧ الإقليم: ناقص [أ، د، ق].^٧ لون: ناقص [ق، د، ج، أ].^٧ الإقليم: ناقص [أ، د، ق].^٨ لون: ناقص [ق].^٩ الثالث: كتب أولاً "الخامس و" ثمَّ ضرب عليه بالقلم وكتب "الثالث" [د].^{١٠} الإقليم: ناقص [ق، د، أ].^{١٠} لون: ناقص [ق، د، ج، أ].^{١١} الإقليم السادس ... وفي الإقليم: ناقص [ق].^{١١} الإقليم: ناقص [د، أ].^{١١} الشقرة: كتب "الصفرة" فوق السطر وكرّره في الهامش [د].^{١٢} الإقليم: ناقص [د، أ].^{١٤} وأهلها: وأهل [ق].^{١٥} ند وكسر ويبلغ ١٨ ساعة حيث العرض: ناقص [ج، د] (وكُتِب ١٨ في هامش نسخة ج).^{١٧} ونصف: ناقص [ج].^{٢٠} نصف السنة: سنّة أشهر [ج].

٢ ج ٥٢ ظ. ٢ گ ٨٩ و. ٧ ج ٥٣ و. ١١ أ ٤٩ ظ. ١٢ گ ٨٩ ظ. ١٢ ق ٤٨ و. ١٥ ب ٤٨ ظ. ١٥ هـ ٨٠ و. ١٦ ت ٣٤ ظ. ١٨ د ٥٥ و.

[23] Passons aux pays connus des anciens dans chaque climat, en allant de l'extrémité est vers l'extrémité ouest. *Le premier climat* commence à l'est aux confins de la Chine et il passe par la partie sud de la Chine où il y a la capitale du royaume de Chine, puis par le Sud de l'Inde et du Sind, l'île *K-r-k*²⁴⁴ [?], le royaume du Yemen puis le golfe Persique et la péninsule Arabique qui fait à peu près cinq cents parasanges et où se trouve tout l'État arabe, ses tribus et ses peuplades, Hedjaz, Taëf, le Yemen, Bahrein, Nejd, Tihama, La Mecque, et Médine ou Yathrib, mais toutes ne sont pas dans le premier climat. Parmi les villes célèbres, celles qui s'y trouvent sont la ville de Zafar, Oman, Hadramaout, Aden, Tá'izz, Sanaa du Yemen, Mārā, Zabid, Qalhāt, Shihr, Huras, Mahra, et Saba. Puis [le premier climat] passe par l'Éthiopie et coupe le Nil d'Égypte, le Soudan et la Nubie, comme *H-r-ā*, palais du roi d'Éthiopie, et *D-b-l-m-a* une ville de Nubie, et le Ghana d'où vient l'or du Soudan, dans le Maghreb, puis il passe par le Sud de la Berbérie, jusqu'à l'Océan à l'ouest.

[24] *Le deuxième climat* commence dans l'Est de la Chine, puis il traverse la majeure partie de l'Inde, le Sind, comme la ville de Mansura, Narwar, et *D-n-b-k*, et il arrive à Oman et Bassorah. Il coupe la péninsule Arabique sur les terres de Nejd et Tihama ; il compte, parmi les villes de là-bas : Al-Yamāma, Bahrein, Hajar, Yathrib, Harr, La Mecque, Taëf et Jeddah. Il coupe la mer de Qulzum²⁴⁵ et passe par la Haute-Égypte, puis il coupe le Nil ; il compte, parmi les villes de là-bas, Qūs, Akhmîm, *Sāb-r*, Saïs, et Assouan, puis il prend sur les terres du Maghreb et il traverse Ifriqiya, puis la Berbérie, pour finir à l'Océan.

[25] *Le troisième climat* commence à l'est et passe par la Chine, par le royaume Indien et le Gandhāra qui est dans les hautes-terres de l'Inde, par Multan dans le Sind, par *Zā'il*, Bust, Sīstatmān²⁴⁶, Kerman, Sirjan, Fars, Ispahan, Ahvaz, Askar, Koufa, Bassorah, Wasit, Baghdad, Al-Anbār, Hit ; puis il passe par

[٢٣] وأما ما في كلِّ إقليم من البلاد المشهورة عند القدماء، فمبدأ النهاية شرقاً إلى النهاية غرباً، أمّا الإقليم الأوّل | فإنه يبتدئ من المشرق من أقاصي بلاد الصين ويمرّ على بلاد الصّين ممّا يلي الجنوب وفيه مدينة ملك الصّين ثمّ على جنوب بلاد الهند وبلاد السّند وعلى جزيرة الكرك والبهاير قبل ملك اليمن، ثمّ خليج فارس، وجزيرة العرب، وهي قريب من | خمس مائة فرسخ وفيه جملة ولاية العرب وأحيائهم وقبائلهم نحو الحجاز والطائف واليمن والبحرين ونجد وتهامة ومكة | والمدينة وهي يثرب، ولكن ليس كلّها في الإقليم الأوّل. بل ما منها فيه من المدائن المعروفة، مدينة ظفار وعمان وحضرموت وعدن وتعزّ وصنعاء اليمن ومارا وزبيد وقلهات | وشحر وحرس ومهرة وسبأ. ثمّ يمرّ على بلاد الحبشة، ويقطع | نيل مصر والسودان والثوبة مثل حريّ دار ملك الحبشة، ودهلمة مدينة النوبة، وغانه معدن الذهب من بلاد السودان المغرب، ثمّ على جنوب بلاد بربّر، إلى المحيط الغربيّ. ١٠

[٢٤] وأمّا الإقليم الثاني فيبتدئ من المشرق من بلاد الصين ثمّ يمرّ بمعظم بلاد الهند ثمّ ببلاد السند كالمدينة المنصورة والنيروز والدينك ويصل إلى عُمان والبصرة ويقطع جزيرة العرب من أرض نجد وتهامة وفيه من المدن هناك اليمامة والبحرين وهجر ويثرب والحار ومكة | والطائف وجدة ويقطع بحر قلزم ويمرّ بصعيد | مصر، ثمّ يقطع النيل وفيه من المدن هناك قوص وأخميم والسابر والصا وأسوان، ثمّ يأخذ في أرض المغرب ويمرّ نواسط بلاد إفريقية، ثمّ ببلاد البربر وينتهي إلى المحيط. ١٥

[٢٥] وأمّا الإقليم الثالث فيبتدئ من المشرق ويمرّ على بلاد الصين وعلى مملكة الهند وقندهار الذي هو من عطايم بلاد الهند وموليان من أرض السند وزابل | وبست وسيستمان وكيرمان وسرحان وفارس وأصفهان وأهواز وعسكر والكوفة والبصرة وواسط وبغداد والأنبار وهيت، ثمّ يمرّ على بلاد

^١ كلِّ إقليم: الإقليم [ج]. ^٢ فمبدأ: ميل (٩) [ق]. ^٣ والبهاير: وإليها من [أ، ق]. ^٤ فارس: في الهامش مع إشارة [د]. ^٥ وهي يثرب: ويثرب [أ، ق]. ^٦ ولكن: فوق السطر [ج]، ولكنه [ق]. ^٧ نقيه: ناقص [د، ج]. ^٨ وتعزّ: والعين [أ، ق] (وكتب "والعين" في هامش نسخة ج أيضاً، مع إشارة إلى "تعزّ"). ^٩ وقلهات: وبلهات [ق]. ^{١٠} وشحر: وشهر [أ، د، ق]. ^{١١} الحبشة: الحبش [ق]. ^{١٢} حريّ: حريّ؟ [أ]. ^{١٣} السودان: السودان [ق]. ^{١٤} جنوب: في الهامش مع إشارة [أ]. ^{١٥} النيروز: البيروز [د، ج]، التكرور [ق]. ^{١٦} الدينك: الدنيل [ق، أ]. ^{١٧} اليمامة ... المدن هناك: في الهامش مع إشارة [د]. ^{١٨} وهجر: وبحر [ق]. ^{١٩} ويثرب والحار ومكة: ومكة ويثرب والحار [د، ج]. ^{٢٠} ويقطع: ثمّ يقطع [ق، د]. ^{٢١} ثمّ يقطع: ويقطع [ج، ق، د، أ]. ^{٢٢} السابر: الساي [ق]. ^{٢٣} والصا: والصبا [أ، ناقص [ق]. ^{٢٤} في: من [د، ج، ق]. ^{٢٥} بلاد: ناقص [ق]. ^{٢٦} هو: هي [ج]. ^{٢٧} وزابل: وزابل [ج، ق]، وزابل [د]. ^{٢٨} سيستمان: سلستان [د، ج]، سيسيان [ق]. ^{٢٩} أصفهان: اصبهان [ج]. ^{٣٠} بلاد: ناقص [ق، د، أ].

^{٣١} گ ٩٠. ^{٣٢} ج ٥٣ ظ. ^{٣٣} ه ٨٠ ظ. ^{٣٤} ق ٤٨ ظ. ^{٣٥} أ ٥٠. ^{٣٦} ب ٤٩ و. ^{٣٧} گ ٩٠ ظ. ^{٣٨} ه ٨١ و.

la Syrie, où sont les villes de *H-γār*, Salamiya, Ḥoms, Hama, Baalbek, Maarret en Nouman, Damas, Tyr, Acre, Tibériade, Qaysāriya²⁴⁷, Jérusalem, Ascalon, *M-dīn*, Ḥarsūf²⁴⁸, Ramla, Gaza, puis il passe par la Basse-Égypte où sont les villes de Farama²⁴⁹, Tanis, Damiette, Le Caire, Alexandrie ; puis il passe en Ifriqiya où sont les villes de Kerouan et Sousse, puis il passe par les peuplades de la Berbérie, puis par Tanger, pour finir à l'Océan.

[26] *Le quatrième climat* commence dans le Nord de la Chine, il passe par Tibet, *H-l-bīz*, Cathay, Khotan, les montagnes du Cachemire, Bulūr, Badakhshān, Kaboul, Balkh, Hérāt, Ferghāna, Samarcande, Boukhara, Āmul²⁵⁰, Merv, Sarakhs, Tus, Nishapur, Gorgan, Esfarayen, Qūhīstān, *Qūm-z*, Daylam, Tabaristan, Qom, Hamadan, Azerbaïdjan, Qazvin, Dinavar, Hulwān, Shahrazūr, Mossoul, Sāmarrā, Nusaybin, Āmid²⁵¹, Mardin, Ra's al-'Ayn, Samosate, Malatya, Alep, Qinnasrīn, Antioche, Tripoli²⁵², Tarse, Ammuriye²⁵³, Lattaquié, puis il passe par l'île de Chypre, par Rhodes, et par les terres occidentales de l'Europe, et par Tanger, pour finir à l'Océan au détroit entre Al-Andalous et le Maghreb.

[27] *Le cinquième climat* commence à l'est à la frontière du Turkestan, près de Gog et Magog ; il passe par les célèbres nations du Turkestan avec ses peuplades, jusqu'à la limite de Kachgar²⁵⁴, Taraz, Ḥsfijāb²⁵⁵, *Hāb*, Usrushana²⁵⁶, Ferghāna, Samarcande, Soghd, Boukhara, Khwarezm, *Sās*, la contrée d'Arménie, Barda, Mayyāfāriqīn²⁵⁷, la Séleucie, Erzurum, Ahlat²⁵⁸, et il passe dans l'Empire romain par *H-r-s-f-h*, *F-r-h*, et la Grèce, puis par les côtes de la mer de Syrie²⁵⁹, l'Italie et Al-Andalous, jusqu'à l'Océan.

[28] *Le sixième climat* commence à l'est par les terres des Turcs orientaux et leurs peuplades, il traverse la mer de Gorgan²⁶⁰, il passe par les Khazars et les *Mūtān*, par les Slaves²⁶¹, [?], Bāb al-Abwāb²⁶², la Russie, puis l'Empire romain dont Constantinople, et le Nord d'Al-Andalous, pour finir à l'Océan.

[29] *Le septième climat* commence à l'est en passant par l'extrémité des Turcs orientaux et de leurs peuplades, par le nord (Gog et Magog), puis il passe par des marais et des montagnes où des Turcs s'abritent comme des bêtes sauvages. Puis il passe par Bolghar, la Russie et les Slaves, et il traverse

الشام، وهناك من المدن الحيار وسلبيّة وحمص وحماة وبعلبك والمعرة الثعمان ودمشق وصور
وعكّا وطبرية وقيسارية وبيت المقدس وعسقلان ومدين وأرسوف والرملة وعزة، ثمّ يقطع أسفل أرض
مصر وهناك من المدن الفرما وتانيس ودمياط، ومصر وتسمى فسطاط، والإسكندرية، ثمّ يمرّ ببلاد
إفريقية وفيه مدينة القيروان | والسوس ثمّ يمرّ بقبائل البربر وبلاد طنجة وينتهي إلى المحيط.
٥ [٢٦] وأما الإقليم الرابع فيبتدئ من شمال بلاد الصين ويمرّ ببلاد تبت وخرخيز وخطا وختن
وجبال كشمير وبلور وبدخشان وكابل وبلخ وهراة وفرغانة | وسمرقند وبخارى وامويه ومرو وسرخس
وطوس | ونيسابور وجرجان وإسفرايين وقهستان وقومز والديلم وطبرستان وقمّ وهمدان ونهاوند
وآذربيجان وقروين | ودينور وحلوان وشهرزور والموصل وسامرة ونصيبين وآمد وماردين | ورأس العين
وسميساط وملطية وحلب وفنيسرين وأنطاكية | وطرابلس وطرسوس وعمورية واللادقية، ثمّ يمرّ على
١٠ جزيرة قبرص ورودس وبأرض المغرب على بلاد إفرنجة وطنجة وينتهي إلى المحيط على الرفاق بين
الأندلس وبلاد المغرب.

[٢٧] وأما الإقليم الخامس فيبتدئ من المشرق من أقصى بلاد الترك ويجوج وماجوج ويمرّ على
أجناس الترك المعروفين بقبائلهم إلى حدّ كاسغر وطراز واسحاب وحاح واشروسه وفرغانة وسمرقند
وسعد وبخارى وخوارزم والساس وديار أرمينية وبردعه | وميافارقين ودروب الروم وارزن وخلاط، ويمرّ
١٥ في بلاد الروم على حرسفه وفره ورومية الكبيرة، ثمّ سواحل بحر الشام وبلاد الروم وبلاد الأندلس
حتىّ ينتهي إلى المحيط.

[٢٨] وأما الإقليم السادس فيمرّ من المشرق على مساكن أتراك المشرق وقبائلهم، ويقطع
وسط بحر جرجان ويمرّ على خزر وموتان وعلى الصقالبة | والار وياب الأبواب، والروس، ثمّ ببلاد
الروم مثل قسطنطينية، وشمال الأندلس، وينتهي إلى المحيط.

٢٠ [٢٩] وأما الإقليم السابع فيبتدئ من المشرق ويمرّ بنهايات أترাকে وقبائلهم، وشمال ماجوج
وماجوج، ثمّ على غياض وجبال يأوي إليها أتراك كالحوش، ثمّ على بلغار والروس والصقالبة ويقطع

^١ وهناك: في الهامش مع إشارة [أ]. ^١ الحيار: هناك الجبال [ق]، هناك الحيار [أ]. ^١ حماة: حماص [ق]. ^١ المعرة:
معة [ق، د، أ]. ^٢ وعكّا: عكه [ق، د، أ]. ^٣ تانيس: تنيس [د، ج، أ، ق]. ^٤ يمرّ: ناقص [ق، أ]. ^٥ شمال:
في الهامش مع إشارة [ج]. ^٥ وخرخيز: غير مقروء [ق]. ^٥ ختن: خين [ق]. ^٧ قومز: تومن [ق]، غير مقروء [د].
^٨ شهرزور: شهرزور [ج]. ^٨ نصيبين وآمد ونصيبين [ج]. ^{١٠} بأرض: اراضى [ج]، أرض [ق]. ^{١١} بلاد المغرب:
بلاد الغرب [أ]. ^{١٣} كاسغر: كاشغر [أ]، كاسغرد [ج]، كاسعد [د]. ^{١٤} سعد: سفد [د]. ^{١٤} الساس: الشاس [أ]،
الساس [ق]. ^{١٤} وارزن وخلاط: وارزون واخلاط [ج]. ^{١٥} حرسفه وفره: حرسفه وفره [ج]، حرسفه وفره [أ]. ^{١٦} حتىّ:
حين [د]. ^{١٨} موتان: موريان [د، ج]، مويان (؟) [ق]. ^{١٨} الار: الارويان [ج، د]. ^{١٨} الأبواب: الابوابى [ق].
^{٢٠} بنهايات: بنهيات [د، ج]. ^{٢١} بلغار: بلغاد [ج]، لغار [ق].

^٤ ج ٥٤٤. ^٦ ق ٤٩٥. ^٧ گ ٩١. ^٨ ٥٠. ^٨ ٥٠. ^٨ ت ٣٥. ^٩ د ٥٥٥. ^٩ ٥٨١. ^{١٤} ب ٤٩. ^{١٨} گ ٩١. ^{١٨} ٩١. ^{١٨} ٩١.

la mer Méditerranée et les pays slaves pour finir à l'Océan.

[30] J'ai placé ces pays dans leurs climats, de manière détaillée, selon leur longitude et leur latitude, dans les tables de la troisième partie, avec les autres tables déjà mentionnées. Dieu approuve la raison.

Deuxième section

Particularités de l'équateur terrestre

[1] L'équateur passe par les zéniths des lieux qui se trouvent sur l'équateur terrestre, et il coupe leurs horizons orthogonalement, et leurs cercles horizontaux bissectent chaque trajectoire diurne puisqu'ils passent par les pôles de l'équateur. C'est pourquoi en ces lieux, le jour et la nuit sont toujours égaux. L'origine de leurs azimuts est l'équateur, et ses pôles sont aux points nord et sud du cercle horizontal. Ainsi tous les astres ont un lever et un coucher, sauf [ceux qui sont] aux pôles, car une moitié [de leur trajectoire diurne] est visible et l'autre cachée. La durée de visibilité de chaque point de l'orbe est égale à la durée pendant laquelle il est caché ; il y a certes un écart à cause de l'irrégularité des trajectoires due au second mouvement²⁶³, mais cet écart est insensible.

[2] Le Soleil passe deux fois l'an au zénith, et c'est quand il est aux points des équinoxes ; il n'y alors, à midi, pas d'ombre projetée horizontale. Il ne s'éloigne pas du zénith d'un angle supérieur à l'inclinaison [de l'écliptique], et sa hauteur n'est jamais inférieure au complément de l'inclinaison ; il passe la moitié de l'année de chaque côté, et l'ombre à midi est alors située de l'autre côté. Les ombres au début de l'été et au début de l'hiver sont égales. Les pôles de l'écliptique sont à l'horizon chaque fois qu'un des deux points des équinoxes est au zénith, la ceinture de l'écliptique est alors orthogonale à l'horizon, et le méridien du lieu bissecte la partie visible de l'écliptique. Pendant que la moitié nord de la ceinture de l'écliptique passe par le méridien du lieu, c'est son pôle sud qui est visible. Pendant que la moitié sud de la ceinture y passe, c'est son pôle nord qui est visible. La hauteur de chacun ne dépasse pas l'inclinaison [de l'écliptique].

[3] Ils ont, dans chaque année, huit saisons : deux printemps, deux étés, deux automnes et deux hivers. Le début du premier printemps, c'est quand le Soleil est au milieu du Verseau, et le début du second, c'est quand il est au milieu du Lion ; le début du premier été, quand il est au commencement du Bélier, et le début du second quand il est au commencement de la Balance ; le début du premier automne quand il est au milieu du Taureau, et le début du second quand il est au milieu du Scorpion ; le début du la premier hiver quand il est au commencement du Cancer et le début du second quand il est au commencement du Capricorne ; comme il est montré dans la figure suivante. Dieu est le plus savant.

بحر الشام والصفالبة وينتهي إلى المحيط.
 [٣٠] وقد أوضحت تلك البلاد في الأقاليم | مفصلة الطول | والعرض في جداول المقالة
 الثالثة مع بقية الجداول | المذكورة فيها. والله الموفق للصواب.

الفصل الثاني

في خواص خط الاستواء

[١] يمر المعدل بسمت رؤوس البقاع التي عليه، فيقطع آفاقهم على قوائم، ودوائر آفاقهم
 تنصف جميع المدارات اليومية لكونها مارةً بقطبي معدل النهار. فلذلك نهار تلك البقاع وليلها في
 جميع السنة متساويين دائماً. يكون أول سموتهم المعدل، وقطباه على نقطتي الشمال والجنوب
 من دائرة الأفق. فلجميع الكواكب طلوع وغروب، إلا على القطبين، لظهور نصف منه لا بعينه
 وخفاء النصف الآخر. ويكون زمان ظهور كل نقطة على الفلك مساوياً لزمان خفائه | وإن كان
 ثم تفاوت بسبب اختلاف السير بالحركة الثانية في النصفين، وذلك التفاوت غير محسوس.
 [٢] وتمر الشمس في السنة مرتين بسمت رؤوسهم، وذلك عند كونها في نقطتي الاعتدالين،
 واذن لا يكون لها ظلّ منبسط على الأفق وقت انتصاف النهار. ولا تبعد عن سمت رؤوسهم إلا
 بقدر غاية الميل الكلي، فلا تنقص غاية ارتفاعها عن تمامها. وتكون في كل جهة نصف سنة،
 وظلّ نصف النهار إلى خلاف تلك الجهة. وظلال أول الصيف والشتاء متساويين. وقطبا البروج
 على الأفق عند كون إحدى نقطتي الاعتدالين | على السمات، وهناك يكون قطع منطقة البروج
 الأفق على قوائم. | وحينئذ تنصف دائرة نصف النهار النصف الظاهر من البروج، وفي مدة مرور
 النصف الشمالي من المنطقة على نصف النهار يكون الظاهر من قطبي البروج جنوبيهما، وفي
 مدة مرور النصف الجنوبي عليه يكون الظاهر شماليهما. ولا يزيد ارتفاعهما على قدر الميل الكلي.
 [٣] ويكون لهم في كل سنة ثمانية فصول، ربيعان وصيفان وخريفان وشتاءان. ومبدأ الربيع
 الأول كون الشمس في منتصف الدلو والثاني كونها في منتصف الأسد، | ومبدأ الصيف الأول
 كونها | في أول الحمل والثاني كونها في أول الميزان، وأول الخريف الأول كونها في منتصف الثور
 | والثاني كونها في منتصف العقرب، وأول الشتاء الأول كونها | في أول السرطان والثاني كونها
 في أول الجدي، على ما بين في هذا الشكل، والله أعلم.

^٣ الثالثة: الثانية [ق]. ^٣ الموفق للصواب: أعلم [ق، د]، أعلم بالغيب [ج]. ^٦ آفاقهم: الإقليم [د، ج]. ^٧ تنصف:
 بنصف [ق]. ^٩ دائرة: دوائر [ق]. ^{١١} ثم: تمر [ج]. ^{١٩} يزيد: يزيد على [ق]. ^{٢٤} بين: بين [ج].

^٢ ٨٢٥. ^٢ ج ٥٤ظ. ^٣ ق ٤٩ظ. ^٤ ت ٣٥ظ، ك ٩٢. ^{١٠} أ ٥١. ^{١٦} ك ٩٢ظ. ^{١٧} ٨٢٥ظ. ^{٢١} ب ٥٠. ^{٢٢} ج ٥٥. ^{٢٣} د ٥٦. ^{٢٣} ق ٥٠.

[Figure 20.]

[4] Là-bas, l'orbe tourne comme une roue puisque l'horizon coupe toutes les trajectoires diurnes orthogonalement. C'est pourquoi on appelle ses horizons « horizons de l'orbe droit » ou « horizons de la sphère droite ». Comme leur horizon est un des cercles de déclinaison (il passe par les pôles), alors l'*amplitude ortive* de tout point ²⁶⁴, c'est-à-dire l'arc à l'horizon entre son lever et le lever des équinoxes, est égal à sa déclinaison. De même pour son amplitude occase.

[5] Les gens s'accordent à dire que les lieux les plus chauds en été sont ceux qui sont sous le tropique, si aucune raison terrestre ou atmosphérique n'enlève rien à sa chaleur, car le Soleil arrive à leur zénith et en reste proche pendant à peu près deux mois, à cause de la diminution de ses différences en déclinaison. Pour cette raison, il semble alors ne pas avoir de mouvement en déclinaison pendant des jours. Le jour en été ne dure pas plus longtemps, ni la nuit moins longtemps, mais la longueur du jour n'influe pas sur l'intensité de la chaleur quand le Soleil est proche du zénith, à cause de l'épaississement des rayons quand cela arrive, épaississement dû au fait qu'ils se réfléchissent en formant des angles aigus.

[6] Le Grand Maître ²⁶⁵ est d'avis que les contrées les plus tempérées sont à l'équateur terrestre, parce que le Soleil n'y reste pas longtemps au zénith, et son argument est que son mouvement en déclinaison y est le plus rapide. Bien que le passage au zénith cause l'échauffement, c'est surtout la durée [du passage au zénith] qui importe ici. C'est ainsi que, [en général], l'été est plus chaud que le printemps, et l'après-midi plus chaud qu'avant midi. De plus, à cause de l'égalité entre la durée du jour et la durée de la nuit, la dureté des conditions de chacun sera rapidement rompue par l'autre ; ainsi [chacun] sera tempéré [par l'autre].

[7] L'Imam ²⁶⁶ réfute cela, en disant que l'échauffement du Soleil en hiver, à l'équateur terrestre, est comme l'échauffement du Soleil en été dans un pays dont la latitude est le double de l'inclinaison de l'écliptique, et que cet échauffement est très intense. Que penser alors de la chaleur estivale à l'équateur terrestre où le Soleil peut être considéré au zénith toute l'année !

[8] On réfute l'Imam en s'opposant [à l'idée] que la chaleur hivernale à l'équateur soit comme la chaleur estivale dans ce pays : car la chaleur estivale de ce pays est plus intense, à cause de la longueur du jour et de la courte durée de sa nuit, au contraire de ce qui se passe à l'équateur terrestre. De plus les choses habituelles n'ont pas autant d'influence que les choses inhabituelles. À cause de l'accoutumance de la constitution des peuples de l'équateur à la chaleur, et de leur manque d'accoutumance au froid, il est donc possible qu'ils ne ressentent pas la chaleur de l'air

[صورة ٢٠].

[٤] | ودور الفلك هناك دولابيّ، لتقاطع الأفق وجميع المدارات اليومية على قوائم. ولذلك سُميت آفاقهم بأفاق الفلك المستقيم والكرة المنتصبة. ولكن أفقهم إحدى دوائر الميول، لمرورها بالقطبين، كان سعة مشرق كل نقطة، وهي قوس | من الأفق بين مطلعها ومطلع الاعتدال، بقدر ميلها. وكذلك سعة | مغربها.

[٥] | واتفقوا على أن أحرّ البقاع صيفاً هي التي تحت مدار المنقلبين، إن لم يُنقص من حرارتها سبب أرضيّ أو سماويّ، لأنّ الشمس | تسامتها وتلبث في قرب مسامتتها قريباً من شهرين، لتناقض تفاضل الميل، ولهذا لا يظهر لها حركة في الميل أياماً حينئذٍ. ولا نهارها الصيفي يطول والليل يقصر، ولا يؤثر في شدة الحرارة طول النهار مع قرب الشمس من السمّ لتكاثف الأشعة حينئذٍ لانعكاسها على زوايا حادة.

[٦] | وذهب الشيخ الرئيس* إلى أن أعدل البقاع خطّ الاستواء محتجاً على ذلك بأنّ الشمس لا تلبث على سمته كثيراً، لأنّ حركتها في الميل إلى جهة أخرى أسرع ما يكون. والمسامتة، | وإن كانت مفتضية للتسخين، لكنّ المكث أبلغ في ذلك. ولذلك يكون الصيف أحرّ من الربيع، وبعد الزوال أحرّ ممّا قبله. ولتساوي زماني نهارهم وليلهم تنكسر سورة كل واحدة من الكيفيتين بالأخرى سريعاً، فيعتدل الزمان.

[٧] | وردّ عليه الإمام بأنّ تسخين الشمس في شتاء خطّ الاستواء كتسخينها في صيف بلد | عرضه ضعف غاية الميل، وهو شديد | جداً. فما ظنك بحرّ صيف خطّ الاستواء، والشمس طول السنة في حكم المسامتة.

[٨] | وردّ على الإمام بمنع كون حرّ شتاء خطّ الاستواء كحرّ صيف ذلك البلد، فإنّ | حرّ صيف البلد أشدّ لطول نهاره وقصر ليله، | بخلاف خطّ الاستواء، ولأنّ المألوف لا يؤثر كغير المألوف. فجاز، لألف مزاج أهل خطّ الاستواء بالحرارة وعدم ألفهم بالبرودة، ولا يستحرون الهواء

^٢ هناك: هنا [ق]. ^٦ من: ناقص [ج]. ^٧ قرب مسامتتها: قوس مسامتتها [ج]. ^٨ والليل: ولا الليل [ق]. ^٩ ولا: و [ق، أ]. ^٩ يؤثر: المؤثر [ق، أ]. ^٩ الحرارة: الحر [د، ج]. ^{١١} إلى: ناقص [أ، ق، د]. ^{١٢} إلى: على [ج، د]. عن [ق، د، أ]. ^{١٤} تنكسر: ينكسر [أ، ق]. ^{١٦} الإمام: الامان (؟) [ق]. ^{١٦} الشمس: في الهامش مع إشارة [د]. ^{١٧} وهو: ناقص [ق]. ^{١٩} كون: بكون [ق]. ^{٢٠} كغير: لغير [د، ج، ق]. ^{٢١} مزاج أهل: في الهامش مع إشارة [د].

^٢ ٥١٠ ظ. ^٤ ٥٨٣ و. ^٥ ٩٣ و. ^٧ ٥٥ ظ. ^{١٢} ٥٠ ظ. ^{١٦} ٥٠ ب. ^{١٧} ٣٦ ت. ^{١٩} ٩٣ ظ. ^{٢٠} ٥٨٣ ظ.

* وهو أبا علي بن سينا. انظر في الطوسي، التذكرة، ص. ٢٥٧. أمّا الإمام الذي ردّ عليه فهو فخر الدين الرازي.

quand le Soleil est au zénith, ni sa froideur quand il est aux solstices, contrairement au peuple de cet [autre] pays aux mêmes moments.

[9] L'Imam est d'avis que le climat le plus tempéré est le quatrième. Il le déduit du fait que le milieu [de la région] où prospèrent les habitations des sept climats se trouve sans doute plus proche de la position d'équilibre que les extrémités. Ainsi l'essaimage [des habitations] et [leur] grossièreté, requis par les conditions de chaleur ou de froid, sont visibles aux extrémités.

[10] La vérité est que, si l'on entend par *tempéré* l'uniformité des états, il n'y a aucun doute qu'elle est atteinte davantage à l'équateur terrestre ; mais si l'on entend par là le fait que les deux conditions se compensent, alors il n'y a aucun doute qu'il est atteint davantage dans le quatrième climat. Le montrent les faits suivants. La couleur noire des habitants de l'équateur terrestre dans les pays des Noirs et en Éthiopie est très intense, et leurs cheveux sont très crépus : c'est causé par la chaleur de l'air. Les faits contraires ont lieu dans le quatrième climat ; car l'air y est tempéré.

Troisième section

Particularités des lieux qui ont une latitude [non nulle]

[1] On les appelle *horizons inclinés* ; ce sont ceux qui sont entre l'équateur terrestre et l'un des pôles de l'équateur. Là-bas, l'orbe tourne de manière oblique comme un ceinturon. Par rapport à ces horizons, l'équateur est du côté du pôle caché. Par rapport à [l'équateur], chacun de ces horizons est incliné du côté du pôle visible. C'est pourquoi on les appelle horizons inclinés. La hauteur du pôle est du même côté, et elle est égale à la latitude locale.

[2] La distance des trajectoires diurnes toujours visibles ou toujours cachées, par rapport à l'équateur, est supérieure ou égale au complément de la latitude locale. La plus grande d'entre elles est celle dont la distance est égale au complément de la latitude, elle touche l'horizon, et elle n'est jamais invisible, ou bien jamais visible. Les trajectoires diurnes sont coupées par l'horizon en deux arcs inégaux. Le plus grand [arc] est celui qui est visible, quand il s'agit d'une trajectoire proche du pôle visible et située du même côté que lui ; c'est celui qui est caché, quand il s'agit d'une trajectoire proche du pôle caché et située du même côté que lui. Pour tout couple de trajectoires diurnes équidistantes de l'équateur mais situées de part et d'autre de l'équateur, les arcs alternés sont deux à deux égaux²⁶⁷.

[3] Plus le Soleil s'éloigne de l'équateur du côté du pôle visible, plus l'excès du jour sur la nuit croît, et inversement du côté du pôle caché – mais si on augmente la latitude locale, alors l'écart entre l'arc visible et l'arc caché [de chaque trajectoire diurne] augmente aussi. Le jour s'allonge jusqu'à ce que [le Soleil] atteigne le sommet du solstice qui est proche du pôle visible, et il raccourcit jusqu'à

والشمس في سمت رؤوسهم ويستبردونه وهي في المنقلب، بخلاف أهل البلد في الوقتين. [٩] وحكم الإمام بأنّ الأعدل الإقليم الرابع مستدلاً بأنّ وسط ما توفّرت فيه العمارات، من الأقاليم السبعة، يكون لا محالة أقرب إلى الاعتدال ممّا على أطرافها. ولذلك الإفراق والفجاجة اللازمان من كَيْفِيَّتِي الحرارة والبرودة ظاهران في الطرفين.

[١٠] والحقّ في ذلك أنّه، إن أعني بالاعتدال تشابه الأحوال، | فلا شكّ أنّه | في خطّ الاستواء أبلغ، وإن أعني به تكافؤ الكيفيّتين، فلا شكّ أنّه في الإقليم الرابع أبلغ. يدلّ | عليه شدة سواد لون سكّان خطّ الاستواء من الزنج والحبشة، وشدة جعودة شعورهم ممّا يقتضي حرارة الهواء. وأضداد ذلك ممّا يقتضيه اعتدال الهواء في الإقليم الرابع.

الفصل الثالث

في خواص المواضع التي لها عروض

[١] وتُسمّى بالآفاق المائلة، وهي التي بين خطّ الاستواء وأحد | قطبي المعدّل. ودور الفلك هناك حمائليّ. المعدّل عن هذه الآفاق في جهة القطب الخفيّ. وميل الأفق من تلك الآفاق عنه في جهة القطب الظاهر، ولهذا سُمّيت بالآفاق المائلة. ويكون ارتفاع القطب في جهة الموضع بقدر عرض البلد.

[٢] وتُعدّ المدارات | الأبدية الظهور أو الخفيّة عن | معدّل النهار أكثر من تمام عرض البلد أو مساوٍ له، وأعظمها هو المساوي الذي يماسّ الأفق، ولا يخفى أو لا يظهر. والمدارات تنقسم بالآفاق إلى مختلفتين، أعظمها الظاهر فيما هو إلى القطب الظاهر أقرب وفي جهته، والخفيّ فيما هو إلى القطب الخفيّ أقرب وفي جهته. ويتساوى القسمان على التبادل في كلّ مدارين متساويي البُعد عن معدّل النهار في جنبه.

[٣] وكلّما بعدت الشمس عن المعدّل في جهة القطب الظاهر كانت زيادة النهار على الليل أكثر، وبالعكس في جهة القطب الخفيّ. وبازدياد عرض البلد يزداد التفاوت بين القسمي الظاهرة والخفيّة، ويتزائد | النهار إلى رأس المنقلب الذي يلي القطب الظاهر، ويتناقص إلى رأس المنقلب

٢ الإمام: ما [ق]. ٢ الأعدل: الاعتدال في [د، ج، ق]. ٣ ولذلك: وكذلك [ق]. ٣ الإفراق: الافتراق [د، ج]، الاحتراق [أ]. ٥ أنّه: في أنّه [ق]. ٦ تكافؤ: بكافؤ [ق]. ٧ جعودة: جعود [ج]. ١١ أحد: إحدى [د، ج]. ١٢ حمائليّ: ممّا يلي [أ، د]، كنب في الهامش "حمائلي" و"ممّا يلي" [ج]. ١٣ الموضع: المواضع [ق]. ١٥ أو: و [ق]. ١٦ ولا يخفى: في الهامش مع إشارة [ج]. ١٧ مختلفتين: المختلفين [د، ج]. ١٧ هو إلى: إلى هو [ق]. ٢١ في: وفي [ق].

٥ د ٥٦ ظ. ٥ ٢٠ ظ. ٦ ج ٥٦ و. ٩ ت ٣٦ ظ، گ ٩٤ و. ١١ ق ٥١ و. ١٥ گ ٩٤ ظ. ١٥ ه ٨٤ و. ٢٢ ب ٥١ و.

l'autre solstice. En chaque partie [du circuit du Soleil sur l'écliptique], le jour est égal à la nuit en la partie opposée, et inversement. Les deux temps ne sont égaux que lorsque le Soleil est à l'équinoxe à son lever ou à son coucher. S'il se lève quand il est à l'équinoxe, alors la nuit de ce lever est égale à son jour ; s'il se couche quand il est à l'équinoxe, alors le jour où il se couche est égal à la nuit du lever [suivant]. D'où apparaît l'impossibilité que [le jour et la nuit] soient égaux dans toutes les contrées à une même date, puisqu'il est impossible que [le Soleil] soit situé en même temps sur tous les horizons.

[4] Soit deux cercles de déclinaison, l'un à l'est, l'autre à l'ouest, tels que chacun passe par l'un des deux points d'intersection de l'horizon et de la trajectoire diurne du Soleil, d'un astre, ou d'un point quelconque. Il y a deux triangles : l'un à l'est, l'autre à l'ouest, sous l'horizon si l'on est du côté du pôle visible, et sur l'horizon si l'on est du côté du pôle caché. Le premier côté de chacun de ces deux triangles est un arc du cercle de déclinaison, et sa longueur est la déclinaison du Soleil, de l'astre, ou du point quelconque. Le deuxième côté est un arc du cercle de l'horizon, et c'est l'amplitude ortive quand on est du côté [est], ou bien l'amplitude occase quand on est du côté [ouest] ; en effet l'amplitude ortive est un arc du cercle de l'horizon entre la trajectoire de l'astre (ou du point quelconque) et le lever des équinoxes²⁶⁸, et l'amplitude occase est l'arc entre la trajectoire mentionnée et le coucher des équinoxes²⁶⁹. Le troisième côté est l'arc de l'équateur entre ce lever – ou ce coucher – et le cercle de déclinaison passant par l'intersection de la trajectoire et de l'horizon : c'est l'*équation du jour* du Soleil ou de l'astre.

[Figure 21.]

[5] L'excédent de l'arc diurne (de l'astre ou du point quelconque) sur son arc diurne en l'équateur terrestre est le double de l'équation du jour, lorsque l'astre (ou le point quelconque) est du côté du pôle visible ; et c'est son défaut qui est le double, lorsque l'astre est du côté du pôle caché. Il est clair qu'on obtient la moitié de l'arc diurne en ajoutant l'équation, pendant un quart de circonférence, puis en la retranchant ; il est donc bien permis de l'appeler « équation du jour », car c'est l'équation pour la moitié [du jour].

[6] Il y a des gens qui posent un seul cercle de déclinaison passant par le lever de l'équinoxe et par son coucher. Avec l'horizon et avec toute trajectoire diurne, [ce cercle de déclinaison] forme deux triangles, l'un à l'est et l'autre à l'ouest ; mais ils sont sur l'horizon si [la trajectoire diurne] est du côté du pôle visible, et sous l'horizon si elle est du côté du pôle caché. L'équation du jour est alors un arc de la trajectoire de l'astre ou du point quelconque, entre le cercle de l'horizon et le cercle de déclinaison passant par le lever de l'équinoxe et son coucher. Cet arc de la trajectoire diurne est semblable à l'arc de l'équateur mentionné ci-dessus.

الآخر. ونهار كلّ جزء كليل نظيره وبالعكس. ولا يتساوى الملوان إلا عند كون الشمس في الاعتدال عند طلوعها أو غروبها. فإنّها إذا طلعت وهي على الاعتدال، فليلة ذلك الطلوع مساوية لنهاره، وإن غربت وهي على الاعتدال، كان يوم الغروب مساويًا ليلية طلوعه. ومنه يظهر استحالة تساويهما في جميع البقاع في وقت واحد، لاستحالة كونها في أفق الجميع.

٥ [٤] وإذا فرضت دائرتا ميل إحداهما من جهة الشرق والأخرى من جهة الغرب، بحيث يمرّ كلّ منهما | بنقطتي تقاطع الأفق ومدار الشمس أو كوكب أو جزء. ووجدت | مثلثان، أحدهما شرقيّ والآخر غربيّ، تحت الأفق في جهة القطب | الظاهر، وفوقه في جهة القطب الخفيّ. أحد أضلاع كلّ من المثلثين | قوس من دائرة الميل، وهي بمقدار ميل الشمس أو الكوكب أو الجزء. والضلع الثاني قوس من دائرة الأفق، وهي سعة مشرق ما في جهته، وسعة مغرب ما في جهته، إذ سعة المشرق قوس من دائرة الأفق بين مدار الكوكب أو الجزء وبين مطلع الاعتدالين، وسعة المغرب قوس منه بين المدار المذكور آنفًا وبين مغيب الاعتدال. والضلع الثالث قوس من المعدّل بين مطلع ومغيبه وبين دائرة الميل المارّة بتقاطع المدار والأفق: وهي تعديل نهار الشمس أو الكوكب.

[صورة ٢١].

١٥ [٥] ويزداد قوس نهار الكوكب أو الجزء على قوس نهار خطّ الاستواء بضعف تعديل النهار، إن كان الكوكب أو الجزء في جهة القطب الظاهر. وينقص منها بضعفه إن كان في جهة القطب الخفيّ. والمشهور أنّ التعديل يزداد على رُبع الدور وينقص منه، ليحصل نصف قوس النهار في جهة القطب الظاهر أو الخفيّ. ولا يخفى معرفة قوسي النهار والليل بعد معرفة نصفهما، ويُسمّى الفضل بتعديل النهار مجازًا، لأنّه تعديل لنصفه حقيقة.

٢٠ [٦] | ومنهم | من يفرض دائرة ميل واحدة تمر بمطلع الاعتدال ومغيبه. فيحدث منها ومن الأفق ومن | كلّ مدار مثلثان شرقيّ وغربيّ، الّا أنّهما فوق الأفق في جهة القطب الظاهر، وتحتة في جهة القطب الخفيّ. وتعديل النهار قوس من مدار الكوكب أو الجزء بين دائرة الأفق ودائرة الميل المارّة بمطلع الاعتدال ومغيبه، وهذه القوس من المدار شبيهة بتلك من المعدّل.

^١ الملوان: الميلوان [أ]، المتلوان [ج، د]، الملوان (٤) [ق]. ^{٢-٣} فليلة ... على الاعتدال: في الهامش مع إشارة [د].
^٢ فليلة: فليكن [د، ج]. ^٢ مساوية: مساويًا [د، ج]. ^٣ ومنه: ومنها [د، ج]. ^٥ وإذا: وإذ [ق]. ^٩ مشرق: ناقص [ق]. ^٩ وسعة: أو سعة [د]. ^{١٠} دائرة: ناقص [أ، ق]. ^{١١} آنفًا: ناقص [ج]. ^{١١} الاعتدال: الاعتدالين [د، ج].
^{١٦} منها: عنها [د، ج]. ^{١٧} يزداد: يزداد [ج]. ^{١٨} قوسي: قوس [ج، ق]. ^{١٣} المدار: مدار [د، ج، ق].

^٦ ج ٩٥ و. ^٧ ٥٨٤ ظ، ق ٥١ ظ. ^٨ ٥٢ ظ. ^{٢٠} ب ٥١ ظ، ه ٨٥ و، ج ٥٨ ظ، د ٥٧ و. ^{٢٠} ج ٩٥ و. ^{٢١} ٥٣ و.

[Figure 22.]

[7] Toute trajectoire diurne dont la distance à l'équateur est égale à la latitude locale touche le cercle origine des azimuts, au zénith si elle est du côté du pôle visible, et au nadir si elle est du côté du pôle caché. Si la distance est supérieure à la latitude du pays, alors [la trajectoire diurne] ne rencontrera pas le cercle origine des azimuts ; elle passera près du zénith mais du côté du pôle visible, ou bien près du nadir mais du côté du pôle caché. Si en revanche la distance est inférieure [à la latitude locale], alors [la trajectoire diurne] coupera le cercle origine des azimuts en deux points, l'un à l'est et l'autre à l'ouest. Dès lors que l'astre est sur l'arc de trajectoire diurne situé entre le cercle origine des azimuts et l'équateur, il est situé, par rapport au cercle origine des azimuts, du côté du pôle caché si cette trajectoire diurne est située du côté du pôle visible, et inversement.

Quatrième section

Particularités des lieux dont la latitude ne dépasse pas le complément de l'inclinaison [de l'écliptique]

[1] Ces lieux se répartissent en quatre catégories.

[2] *Première catégorie* : là où la latitude est inférieure à l'inclinaison de l'écliptique. En ces lieux, le Soleil passe au zénith en deux points [de l'écliptique] dont les déclinaisons sont égales à la latitude locale et qui sont situés du même côté que le pôle visible ; la ceinture de l'écliptique est alors perpendiculaire à l'horizon, ses pôles sont à l'horizon, et un homme debout n'a pas d'ombre à midi. Tant que le Soleil est dans l'arc compris entre ces deux points du côté du pôle visible, l'ombre sera portée du côté du pôle caché, et le pôle visible de l'écliptique sera celui des deux qui est proche du pôle caché de l'équateur, et son pôle caché sera celui qui est proche du pôle visible [de l'équateur]. Tant que le Soleil est dans l'arc opposé compris entre ces deux points du côté du pôle caché, l'ombre sera portée du côté du pôle visible de l'équateur, et le pôle visible de l'écliptique sera celui qui est proche du pôle visible de l'équateur, et son pôle caché celui qui est proche du pôle caché. Plus la latitude croît, plus les deux points se rapprochent l'un de l'autre. L'arc entre les deux points, ainsi que les pôles de l'écliptique, ont des levers et des couchers. Les saisons ne sont pas égales. Ainsi leurs étés sont plus longs. Puisque le Soleil atteint le zénith deux fois l'an, les saisons ne seront pas égales même si l'on en comptait plus que quatre, car le Soleil atteint deux distances zénithales maximales différentes, contrairement à ce qui se passe à l'équateur.

[صورة ٢٢.]

[٧] | وكلّ مدار، يساوي بُعده عن معدّل النهار عرض البلد، يماسّ دائرة أوّل السموت على سمت الرأس إن كان في جهة القطب الظاهر، وعلى سمت الرجل إن كان في جهة القطب الخفيّ. وإن كان أكثر من عرض البلد، فلا يلاقيها بل يمرّ بسمت الرأس في جهة القطب الظاهر وعن سمت الرجل في جهة الخفيّ. وإن كان أقلّ منه، قطعها على نقطتين | إحداها شرقية والأخرى غربية. وما دام الكوكب في قوس مداره التي بين أوّل السموت والمعدّل، يكون | في جهة القطب الخفيّ عن أوّل السموت | إن كان المدار في جهة القطب الظاهر، وبالعكس.

الفصل الرابع

| في خواص المواضع التي عرضها عن المعدّل لا يتجاوز تمام الميل الكليّ

١٠ [١] وتلك المواضع تنقسم إلى أربعة أقسام.

[٢] القسم الأوّل: ما يكون عرضه أقلّ من الميل الكليّ. وتمرّ الشمس في ذلك الموضع بسمت | الرأس في نقطتين ميلهما عن المعدّل يساوي عرض البلد في جهة القطب الظاهر؛ وحينئذ تقوم منطقة البروج على الأفق على قوائم، فيكون قطباها على الأفق، ولا يكون للأشخاص في أنصاف النهار ظلّ. ما دامت الشمس في القوس التي بين النقطتين في جهة القطب الظاهر، ويقع الظلّ إلى جهة القطب الخفيّ، ويكون الظاهر من قطبي البروج ما يلي القطب الخفي من المعدّل، والخفيّ منها ما يلي القطب الظاهر منه. وما دامت الشمس في القوس الأخرى بين النقطتين في جهة القطب الخفيّ منه، يقع الظلّ إلى جهة القطب الظاهر من المعدّل، ويكون الظاهر من قطبي البروج هو الذي يلي الظاهر من المعدّل، والخفيّ منهما هو الذي يلي الخفي منه. وبازدياد عرض البلد تقرب إحدى النقطتين من الأخرى. ويصير للقوس التي بينهما ولقطبي البروج طلوع وغروب. ولا تتساوى فصول السنة، ثمّ يكون صيفهم | أطول. ولوصول الشمس إلى سمت رؤوسهم | في السنة مرتين، لا تكون فصول السنة متساوية، وإن زادت على الأربعة، لاختلاف غايتهي بعدها عن السموت في الجهتين بخلاف خطّ الاستواء.

١٥

٢٠

٢ السموت: السموات (لن نشير إلى مثله مرة أخرى) [ق]. ٦ بين: من [د، ج]. ١٠ إلى: ناقصة [أ، د، ق]. ١٣ على الأفق: ناقص [ج]. ١٣ للأشخاص: الأشخاص [ق]. ١٤ أنصاف النهار: الأنصاف [ق]. ١٦ ولقطبي: وبقطبي [ق].

٢ ت ٣٧ظ، ب ٥٢و، ج ٩٦و، د ٥٧ظ. ٥ ٨٥ظ. ٦ ق ٥٢ظ. ٧ ك ٩٦ظ. ٩ ب ٥٢ظ. ١٢ أ ٥٣ظ. ٢٠ ك ٩٧و. ٢١ ٨٦و.

[3] *Deuxième catégorie* : là où la latitude est égale à l'inclinaison de l'écliptique. En ces lieux, le Soleil passe au zénith une seule fois par an, l'un des pôles de l'écliptique est toujours visible, l'autre toujours caché, et ils ne touchent pas l'horizon dans leurs trajectoires sauf quand le point solsticial situé du côté du pôle visible atteint le zénith – et alors la ceinture de l'écliptique est perpendiculaire à l'horizon. Les ombres sont toute l'année du côté du pôle visible, sauf quand le Soleil est au zénith – alors il n'y en a pas. La hauteur du Soleil croît de l'un des deux points solsticiaux à l'autre, puis la variation change de sens et elle décroît jusqu'à revenir à sa valeur initiale. Les saisons sont quatre, ni plus ni moins, et elles sont égales et analogues alternativement pour les contrées du nord et pour celles du sud ; mais là où la latitude sud est égale à l'inclinaison [de l'écliptique] il fait plus chaud que là où la latitude nord est égale à l'inclinaison de l'écliptique, parce que l'auge du Soleil est au nord, et que son périégée est au sud.

[4] *Troisième catégorie* : là où la latitude est supérieure à l'inclinaison de l'écliptique mais inférieure à son complément. Le Soleil n'y atteint pas le zénith. Deux hauteurs lui sont propres : l'une est la somme de l'inclinaison de l'écliptique et du complément de la latitude locale, et l'autre est plus petite, c'est l'excédent du complément de la latitude sur l'inclinaison de l'écliptique. Il en est de même du pôle toujours visible, car il n'atteint jamais l'horizon, et sa hauteur maximale est atteinte lors du passage du solstice caché au méridien du lieu, et sa hauteur minimale lors du passage de l'autre solstice au méridien du lieu. Quant au pôle caché, d'après le même raisonnement, il atteint deux hauteurs négatives²⁷⁰. Les autres conditions, quant au fait que les ombres tombent du côté du pôle visible et quant à la longueur du jour et de la nuit, sont comme nous avons montré ci-dessus. Quant aux planètes, celles dont la latitude dépasse l'excédent de la latitude locale sur l'inclinaison de l'écliptique passeront par le zénith deux fois ; celles dont la latitude est égale à l'excédent y passeront une fois ; et celles dont la latitude est moindre ne passeront pas par le zénith. Plus la latitude augmente, plus l'équation du jour et les amplitudes ortive et occase augmentent.

[5] *Quatrième catégorie* : là où la latitude est égale au complément de l'inclinaison de l'écliptique. Là, la trajectoire du solstice situé du côté du pôle visible est toujours visible, et la trajectoire de l'autre solstice est toujours cachée. La trajectoire du pôle visible de l'écliptique passe par le zénith, et la trajectoire de l'autre pôle passe par le point opposé. Donc quand le point solsticial visible arrive à l'horizon, il le touche en un point qui est le pôle du cercle origine des azimuts du côté du pôle

[٣] القسم الثاني: ما يكون | عرضه عن المعدل مساوياً للميل الكلي. وفي ذلك الموضع تمر الشمس في السنة مرة واحدة بسمت الرأس، وأحد قطبي البروج أبدي الظهور، والآخر أبدي الخفاء، ولا يماثلان الأفق في دورينهما إلا عند انتهاء نقطة الانقلاب التي في جهة القطب الظاهر إلى سمت الرأس، وحينئذ تقطع منطقة البروج الأفق على قوائم. والأظلال في جميع | السنة إلى جهة القطب الظاهر، إلا حال كون الشمس على سمت فإنها معدومة حينئذ. ويتزايد ارتفاع الشمس من إحدى نقطتي الانقلابين إلى الأخرى، ثم يرجع ويتناقص إلى أن يعود إلى الأولى. وفصول السنة أربعة لا غير، وهي للمساكن الشماليّة والجنوبيّة كمّا وكيفاً على التبادل، لكنّ ما يساوي عرضه غاية الميل الكليّ في الجنوب أحرّ ممّا يساوي عرضه غايته في الشمال بسبب كون أوج الشمس في الشمال والحضيض في الجنوب.

[٤] القسم الثالث: ما يكون عرضه عن المعدل زائداً عن الميل الكليّ ناقصاً | عن تمامه. وهناك لا تنتهي الشمس إلى سمت الرأس، ولها ارتفاعان، أحدهما أعلى وهو بقدر مجموع الميل الكليّ وتمام عرض البلد، | والآخر أسفل وهو بقدر | فضل تمام العرض على الميل الكليّ. وكذا | للأبدي الظهور من قطبي البروج، | لأنّه لا يصل إلى الأفق، أعلاهما عند وصول المنقلب الخفيّ إلى نصف النهار، وأسفلهما عند وصول المنقلب الآخر إليه. وللأبدي | الخفاء انحطاطان على هذا القياس. وسائر الأحوال من وقوع الأظلال إلى جهة القطب الظاهر وطول الملون وقصرهما كما تبين آنفاً. ومن السيّارة، ما زاد عرضه على فضل عرض البلد على الميل الكليّ مرّ بسمت الرأس مرتين، وما ساوى عرضه الفضل مرّ به مرّة، وما نقص عرضه، من السيّارة، عن الفضل، لا يمرّ بالسمت. ويزداد تعديل النهار وسعة المشرق والمغرب بازدياد العرض.

[٥] القسم الرابع: ما يكون عرضه عن المعدل مساوياً لتمام الميل الكليّ. وهناك يصير مدار المنقلب الذي يكون في جهة القطب الظاهر أبديّ الظهور، ومدار | المنقلب الآخر أبديّ الخفاء. ويمرّ مدار قطب فلك البروج الظاهر بسمت الرأس، ومدار القطب الآخر بمقابلته. فإذا وافى المنقلب الظاهر الأفق ماسّه على نقطة هي قطب دائرة أول السموت التي في جهة القطب

^٤ والأظلال: والظلال [ج]. ^٧ والجنوبيّة: في الهامش مع إشارة [ج]. ^٨ بسبب: وبسبب [ق]. ^{١١} مجموع: ناقص [أ، ق]، تحت السطر في الهامش [د]. ^{١٥} الأظلال: الظلال [ج]. ^{١٥} الملونين: المتلونين [د]. ^{١٦} تبين: تبين [ق]. ^{٢١} مدار: كتن "مركز" في الهامش مع إشارة إلى هذه الكلمة [ج]. ^{٢١} بمقابلته: بمقابلة [أ، ق]. ^{٢٢} ماسّه: فيما سّه [ق].

^١ ج ٥٨ ظ. ^٤ ق ٥٣ و. ^{١٠} ك ٩٧ ظ. ^{١٢} د ٥٨ و. ^{١٢} أ ٤١٢ ظ. ^{١٢} ب ٥٣ و. ^{١٣} ه ٨٦ ظ. ^{١٤} ت ٣٨ و. ^{٢٠} ج ٥٩ و.

visible, le point solsticial invisible touche l'autre pôle du cercle origine des azimuts, les deux pôles [de l'écliptique] viennent au zénith et au [nadir], la ceinture de l'écliptique coïncide avec le cercle de l'horizon, la tête du Bélier avec le point est, le commencement de la Balance avec le point ouest, la tête du Cancer avec le point nord, et la tête du Capricorne avec le point sud ; et le point de l'équateur en face de la tête du Capricorne sera situé sur le méridien du lieu au sud au dessus de la Terre²⁷¹, et le point de l'équateur en face de la tête du Cancer sera situé sur le méridien du lieu au nord au dessous de la Terre²⁷², si le pôle visible est au nord. De cela, on connaît aussi la position des deux ceintures relativement à l'horizon quand [le pôle visible] est au sud.

[6] Quand le pôle s'incline vers l'ouest par rapport au zénith dans le sens direct²⁷³, le point solsticial et la moitié est de la ceinture de l'écliptique (dont le centre est l'équinoxe de printemps) s'élèvent [au dessus de l'horizon], si le pôle visible est au nord ; par là même, la moitié ouest s'abaissera aussi. Les deux cercles²⁷⁴ se couperont en deux points opposés proches des solstices et des points nord et sud : il y a tangence en ces quatre points, donc nécessairement ils se couperont en d'autres points. Alors la partie suivant le solstice caché près du pôle du cercle origine des azimuts tendra à se coucher, et la partie suivant le solstice visible près de l'autre pôle du cercle origine des azimuts tendra à se lever ; puis les parties de la moitié cachée se lèveront l'une après l'autre en chacune des parties de la moitié est de l'horizon, et les parties de la moitié visible se coucheront l'une après l'autre en chacune des parties de la moitié ouest de l'horizon, pendant la durée d'un nyctémère, jusqu'à ce que la position de l'orbe revienne à son état initial.

[7] L'amplitude ortive et l'équation du jour atteint [en ces lieux] un quart de cercle. Le jour s'allonge jusqu'à ce que la durée d'un nyctémère soit un jour entier lorsque le Soleil arrive au solstice visible, parce que sa trajectoire est alors toujours visible comme nous l'avons dit, puis apparaissent des nuits, et elles s'allongent jusqu'à ce que la durée [d'un nyctémère] soit une nuit entière lorsqu'il arrive au solstice caché ; c'est ainsi si l'on considère le début de la nuit ou du jour comme étant l'arrivée du centre du Soleil à l'horizon. Si l'on considère le début du jour comme étant l'apparition de la clarté et la disparition des étoiles fixes, et le début de la nuit comme étant la disparition [de la clarté] et l'apparition [des étoiles fixes], alors la durée [maximale] de chacun des deux est un mois d'après ce qu'a montré Théodose dans les *Habitations*.

[8] La hauteur du Soleil croît jusqu'au double de l'inclinaison de l'écliptique, puis elle décroît jusqu'à s'évanouir au point de tangence avec l'horizon. Après son lever au pôle du cercle origine des azimuts, il s'élève à l'est, il franchit [le grand cercle] correspondant à la droite est-ouest, il atteint sa hauteur maximale à son arrivée au méridien du lieu, au sud, et c'est le double

الظاهر، | وماسّ المنقلب الخفيّ القطب الآخر من أول | السموت، وصار القطبان على سمت الرأس ومقابلته، وانطبقت منطقة البروج على دائرة الأفق، ورأس الحمل على نقطة المشرق، وأول الميزان على نقطة المغرب، ورأس السرطان على نقطة الشمال والجدى على الجنوب، والنقطة المقابلة لرأس الجدى من المعدّل عن نصف النهار في الجنوب فوق الأرض، | والمقابلة لرأس السرطان منه عليه في الشمال تحتها، إن كان القطب الظاهر شماليًا. ومنه علم وضع المنطقتين من الأفق إن كان جنوبيًا.

[٦] فإذا مال القطب عن سمت نحو المغرب على التوالي ارتفع المنقلب الظاهر والنصف الشرقيّ من المنطقة وهو ما يتوسّط الاعتدال الربيعيّ، إن كان القطب الظاهر شماليًا، وانخفض النصف الغربيّ دُفعةً أيضًا. وتقاطعت الدائرتان على نقطتين متقابلتين قريبتين من المنقلبين ومن نقطتي الشمال والجنوب، لأنّ المماسّة كانت بين هذه النقط الأربع، والتقاطع يكون على غيرها بالضرورة، فيكون الجزء الثاني للمنقلب الخفيّ على قطب أول السموت يريد الغروب، والجزء التالي للمنقلب الظاهر على القطب الآخر | لأول السموت يريد الطلوع، ثمّ يطلع النصف الخفيّ جزءً بعد جزء في جميع أجزاء نصف الأفق الشرقيّ، ويغيب | النصف الظاهر جزءً بعد جزء في جميع أجزاء نصفه الغربيّ في مدّة اليوم بليته، إلى أن يعود وضع الفلك إلى الحالة الأولى.

[٧] ويكون هناك كلّ واحدة من سعة المشرق وتعديل النهار رُبعاً من الدور، وزيادة النهار | إلى أن يصير مقدار يوم بليته نهارًا كلّ، وذلك عند وصول الشمس إلى المنقاب الظاهر، لما ذكر من أنّ مداره هناك أبديّ | الظهور، ثمّ يحدث الليل ويزيد إلى أن يصير المقدار ليلة كلّ، حينما وصلت إلى المنقلب الخفيّ؛ هذا إن اعتبر ابتداء | الليل والنهار من وصول | مركز الشمس إلى الأفق. وإن اعتبر ابتداء النهار من ظهور الضوء واختفاء الثوابت وابتداء | الليل من اختفائه وظهورها كان مقدار كلّ منهما شهرًا على ما بيّنه تاودوسوس في مساكنه.

[٨] ويتزايد ارتفاع الشمس إلى ضعف الميل الكلّي، ثمّ يتناقص إلى أن يفنى عند مماسّتها الأفق. ترتفع في جهة المشرق بعد طلوعها على قطب أول السموت، وتتجاوز عن محاذاة خطّ المشرق والمغرب، وتبلغ غاية ارتفاعها عند وصولها إلى نصف النهار في الجنوب وهي بقدر ضعف

^٧ ارتفع: يقع [ق]. ^{١٢} التالي: الثاني [ج، ق]. ^{١٢} يريد: يريد [أ]. ^{١٢} ثمّ: ناقص [ق]. ^{١٤} إلى: على [ق].
^{١٦} ذكر: ذكرنا [ج، د]. ^{١٨} الليل والنهار: كتب أولًا "من النهار" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "الليل والنهار" [د].
^{٢٢} الأفق: له الافق [د، ج، ق]. ^{٢٢} ترتفع: ويرتفع [ق].

^١ گ ٩٨٨. ^١ ق ٥٣ظ. ^٤ ه ٨٧و. ^{١٢} أ ٥٤ظ. ^{١٣} گ ٩٨ظ. ^{١٥} ب ٥٣ظ. ^{١٧} ج ٥٩ظ. ^{١٨} د ٥٨ظ. ^{١٨} ه ٨٧ظ. ^{١٩} ق ٥٤ظ.

de l'inclinaison [de l'écliptique] ; puis sa hauteur décroît jusqu'à toucher l'horizon au pôle du cercle origine des azimuts. Puisque le Soleil tourne autour du gnomon, et que l'ombre est toujours du côté opposé, l'ombre tourne aussi autour du gnomon.

[9] Comme nous l'avons montré, en ces lieux, une moitié du l'orbe de l'écliptique se lève avec une révolution de l'équateur, tandis que l'autre moitié se lève instantanément. La partie peuplée s'arrête, du côté nord, aux environs de cet horizon, comme on sait.

Cinquième section

Particularités des lieux dont la latitude dépasse le complément de l'inclinaison [de l'écliptique] sans atteindre un quart de cercle

[1] En ces lieux, la trajectoire du pôle de l'écliptique dévie un peu du zénith, du côté du pôle caché. La plus grande trajectoire diurne toujours visible est plus grande que la trajectoire du solstice, et elle coupe la ceinture de l'écliptique en deux points de déclinaisons égales, du côté du pôle visible ; et la plus grande trajectoire diurne toujours cachée la coupe en deux points qui sont leurs opposés, du côté du pôle caché.

[2] La ceinture de l'écliptique se divise en quatre portions. *La première*, toujours visible, est celle dont le centre est le solstice du côté du pôle visible, et le Soleil y reste pendant un jour de leur été. *La deuxième*, toujours cachée, est celle dont le centre est le solstice du côté du pôle caché, et le Soleil y reste pendant une nuit de leur hiver. Les extrémités du premier arc touchent l'horizon en l'un des pôles du cercle origine des azimuts, du côté du pôle visible, et ils ne se couchent pas avec le mouvement diurne ; les extrémités du deuxième arc touche [l'horizon] en l'autre pôle du cercle origine des azimuts, et ils ne se lèvent pas. *La troisième* [portion] est celle dont le centre est le commencement du Bélier ; elle se lève à rebours, c'est-à-dire que sa fin se lève avant son début, et elle se couche à l'endroit, c'est-à-dire que son début se couche avant sa fin, quand le pôle visible est au nord ; mais elle se lève à l'endroit et elle se couche à rebours quand le pôle visible est sud. *La quatrième* est celle dont le centre est le commencement de la Balance, et son régime est à l'inverse de la troisième.

[3] Le solstice visible a deux hauteurs. Sa hauteur maximale est la somme de l'inclinaison de l'écliptique et du complémentaire de la latitude locale, et [elle est atteinte] sur le méridien du lieu, du côté du pôle caché. Sa hauteur minimale est l'excédent de la latitude locale sur le complémentaire de l'inclinaison de l'écliptique, et [elle est atteinte] sur le méridien du lieu, du côté du pôle visible. Le pôle visible de l'écliptique a aussi deux hauteurs. Sa hauteur maximale est la somme du complémentaire de la latitude locale et du complémentaire de l'inclinaison de l'écliptique. Sa hauteur minimale

الميل الأعظم؛ ثم يتناقص ارتفاعها إلى أن يماس | الأفق لقطب أول السموت. ولدوران الشمس حول المقياس وكون الظل دائماً في الجهة المقابلة، يدور الظل | حوله. [٩] وقد تبين أن هناك أيضاً طلوع نصف من فلك البروج مع دور من المعدل وأن طلوع النصف الآخر لا في زمانٍ. وتنتهي العمارة في جهة الشمال إلى هذا الأفق كما عُرف.

الفصل الخامس

في خواص ما يتجاوز عرضه تمام الميل الكلي ولا يبلغ ربع الدور

[١] في تلك المواضع مدار قطب البروج مائل عن سمت الرأس إلى جهة القطب الخفي. وأعظم المدارات الأبدية الظهور أعظم من مدار المنقلب، فيقطع منطقة البروج على نقطتين يتساوى ميلها في جهة القطب الظاهر. ويقطعها أعظم المدارات الأبدية الخفاء على نقطتين متقابلتين لهما في جهة القطب الخفي.

[٢] وتنقسم منطقة البروج إلى أربع قسي. إحداها أبدية الظهور، وهي التي يتوسطها المنقلب الذي في جهة القطب الظاهر، وزمان كون الشمس فيها يوم من صيفهم. والثانية أبدية الخفاء، وهي التي يتوسطها المنقلب الذي | في جهة القطب الخفي، وزمان كون الشمس فيها ليلة من شتائهم. وطرفا القوس الأولى يماسان الأفق على أحد قطبي أول السموت | من جهة القطب الظاهر ولا يغيبان بالحركة الأولى، وطرفا القوس الثانية يماسانه على القطب الآخر لأول السموت، ولا يطلعان. والثالثة هي التي يتوسطها أول الحمل، | وتطلع معكوسة، | أي يطلع آخرها قبل أولها، وتغرب مستوية، أي يغرب أولها قبل آخرها، إن كان القطب الظاهر شمالياً، وتطلع مستوية وتغرب معكوسة إن كان القطب الظاهر جنوبياً. والرابعة هي التي يتوسطها أول الميزان وحكمها في الطلوع والغروب بضد | الثلاثة.

[٣] وللمنقلب الظاهر ارتفاعان، ارتفاع أعلى وهو بقدر مجموع الميل الكلي وتمام عرض البلد على دائرة نصف النهار في جهة القطب الخفي، وأسفل وهو بقدر فضل عرض البلد على تمام الميل الكلي على دائرة نصف النهار في جهة القطب الظاهر. وللقطب الظاهر من فلك البروج أيضاً ارتفاعان، ارتفاع اعلى وهو بقدر مجموع تمام عرض البلد وتمام الميل الكلي وأسفل وهو

^١ يتناقص: يتناقص إلى [ق]. ^١ أن: ناقص [ق]. ^٦ ربع: ناقص [أ، ق]، في الهامش مع إشارة [د]. ^٨ مدار: مدارات [ج]. ^{٢٢} من: في [ق]. ^{٢٣} وهو بقدر مجموع ... وأسفل: في الهامش مع إشارة [د]. ^{٢٣} تمام: ناقص [ج]، مضروب بالقلم [د].

^١ ت ٣٨ ظ. ^٢ ك ٩٩ و. ^{١١} ٥ ٨٨ و. ^{١٣} أ ٥٥ و. ^{١٤} ج ٦٠ و. ^{١٦} ق ٥٤ ظ. ^{١٦} ك ٩٩ ظ. ^{١٩} ب ٥٤ و.

est l'excédent de la latitude locale sur l'inclinaison de l'écliptique. Le pôle et le solstice passent ensemble au méridien du lieu, de part et d'autre du zénith, à des hauteurs complémentaires. On déduit de manière analogue l'état du solstice et du pôle cachés. En ces horizons, l'aurore et le crépuscule [peuvent] durer longtemps. L'ombre [peut] tomber de tous les côtés, mais elle est plus longue du côté du pôle caché.

[4] Pour se représenter facilement les positions, supposons que la latitude locale est 70 degrés nord, que l'arc toujours visible [contient] les Gémeaux et le Cancer, que l'arc toujours caché [contient] le Sagittaire et le Capricorne, que l'arc qui se lève à rebours et se couche à l'endroit va du début du Verseau à la fin du Taureau, et que celui qui se lève à l'endroit et se couche à rebours va du début du Lion à la fin du Scorpion. Si la tête du Cancer est au sud, à sa hauteur maximale 43;35, alors le pôle visible est au nord sur le méridien du lieu à sa hauteur minimale 46;25, le début de la Balance s'apprête à se lever au point du lever des équinoxes, le début du Bélier s'apprête à se coucher au point de leur coucher, et la moitié visible de l'orbe de l'écliptique est au sud, d'ouest en est, comme on voit sur la figure.

[Figure 23.]

[5] Que les orbes soient mus par le premier mouvement, alors le début du Cancer s'abaisse vers l'ouest, le pôle de l'écliptique s'élève vers l'est, le début du printemps se couche, le début de l'automne se lève, et de même pour les deux arcs qu'ils délimitent ; [le long de l'horizon], la distance entre le lever de chaque partie – resp. le coucher de la partie opposée – et le lever de l'équinoxe – resp. son coucher – croît jusqu'à ce que vienne le tour des deux parties dont l'une touche l'horizon sans [jamais] se coucher et l'autre le touche sans [jamais] se lever. Alors la Balance et le Scorpion se sont levés à l'endroit, et leurs amplitudes ortives ont occupé tout le quart sud-est. Le Bélier et le Taureau se sont couchés à l'endroit, et leurs amplitudes occases ont occupé tout le quart nord-ouest. Le début du Sagittaire est au point sud où il touche l'horizon ; et le début des Gémeaux touche l'horizon au nord. Le pôle visible de l'écliptique est du côté est, entre ses hauteurs maximale et minimale, sur le cercle origine des azimuts ; son autre pôle est à l'opposé. La moitié visible de la ceinture de l'écliptique est maintenant à l'ouest, du sud au nord ; et sa moitié cachée est à l'opposé. L'intersection de la ceinture de l'écliptique et de l'horizon est aux points nord et sud. Voir la figure.

بقدر فضل عرض البلد على الميل الكليّ. | ويكون القطب مع المنقلب على نصف النهار معاً في الجهتين المتقابلتين عن سمت الرأس وعلى الارتفاعين | المتبادلين. ويُقاس عليه حال المنقلب والقطب الخفيين. وفي هذه الآفاق يطول الصبح والشفق، ويقع الظلّ في جميع الجوانب وإلى جانب القطب الخفيّ أطول.

٥ [٤] ولنفرض، لتسهيل تصوّر الأوضاع، العرض ع في الشمال، والقوس الأبدية الظهور الجوزاء والسرطان والأبدية الخفاء القوس | والجدي، والقوس التي تطلع معكوسةً وتغرب مستوية من أول الدلو إلى آخر الثور والتي تطلع مستوية وتغرب معكوسة من أول الأسد إلى آخر العقرب. فإذا كان رأس السرطان في الجنوب في ارتفاعه الأعلى وهو مج له، كان القطب الظاهر في الشمال على نصف النهار في ارتفاعه الأدنى وهو مو كه، وعلى مطلع الاعتدال أول الميزان يريد الطلوع، وعلى مغيبه أول الحمل يريد الغروب، | ونصف فلك | البروج الظاهر من المغرب إلى المشرق في الجنوب، على هذه الصورة.

[صورة ٢٣.]

[٥] | ثم يتحرك الفلك بالحركة الأولى، فينحطّ أول السرطان نحو المغرب، ويرتفع قطب البروج نحو المشرق، ويغرب أول الربيعي، ويطلع أول الخريفي، وكذلك القوسان المتصلتان بهما، ويتزايد بُعد مطلع كلّ جزء ومغيب نظيره من مطلع الاعتدال ومغيبه إلى أن تنتهي النوبة إلى الجزأين اللذين يماسّ أحدهما الأفق ولا يغرب عنه ويماسّه الآخر ولا | يطلع. فيكون قد طلع الميزان والعقرب مستويين مستغرقاً سعة مشرقهما الربع الشرقيّ الجنوبيّ، ويغرب الحمل والثور مستويين | مستغرقاً سعة مغربهما الربع الغربيّ الشماليّ، وأول القوس على نقطة الجنوب مماساً للأفق، وأول الجوزاء مماساً على الشمال، وقطب البروج الظاهر في جهة المشرق بين ارتفاعيه الأعلى والأسفل على أول السموت، ونظيره في مقابلته، وبصير النصف الظاهر من منطقة البروج في الجانب الغربيّ من الجنوب إلى الشمال، والخفيّ منها في مقابلته، فيكون تقاطع منطقة البروج والأفق على نقطتي الشمال والجنوب، | على هذه الصورة.

^١ نصف: نصف [ق]. ^{٢-٣} والشفق ... الخفيّ: مكرّر (وكتب "إلى حال جانب" ضد "إلى جانب") [ق].
^٤ التي: الذي [ج]. ^{٥-٦} تطلع ... آخر الثور والتي: ناقص [ق]. ^٧ الظاهر: ناقص [ق]. ^٨ الأولى: الاولة [أ، د، ق].
^٩ فينحطّ: منحطّ [ق]. ^{١٠} أول: ناقص [أ، د، ق]. ^{١١} عنه: ناقص [أ، د، ق]. ^{١٢} مماساً: كتب "للأفق" في الهامش مع إشارة إلى بعد هذه الكلمة [د]. ^{١٣} أول: ناقص [ق]. ^{١٤} في: ناقص [ق].

^{١٥} ٨٨٨ ظ. ^{١٦} د ٥٩. ^{١٧} گ ١٠٠. ^{١٨} ج ٦٠. ^{١٩} أ ٥٥. ^{٢٠} ق ٥٥، ^{٢١} گ ١٠٠، ^{٢٢} ٨٩٥، ^{٢٣} ت ٣٩، ^{٢٤} ب ٥٤. ^{٢٥} ج ٦١. ^{٢٦} گ ١٠١، ^{٢٧} د ٥٩. ^{٢٨} أ ٥٦.

[Figure 24.]

[6] Que les orbes [continuent] de se mouvoir, alors le début des Gémeaux prend de la hauteur en allant vers l'est. Adjacente, la fin du Taureau se lève peu à peu – de sorte que le lever de chaque partie soit plus proche du lever de l'équinoxe que les levers des parties qui se lèvent avant elle. Le Taureau se lève, puis la fin du Bélier, puis son début. Le quart nord-est est entièrement occupé par les amplitudes ortives de ces signes. Finalement le début du Bélier atteint son lever. En face de cela, le début du Sagittaire se met à s'abaisser sous l'horizon, la fin du Scorpion – qui lui est adjacente – se couche, il se couche peu à peu, puis la Balance se couche de sa fin jusqu'à son début, et leurs amplitudes occases occupent tout le quart sud-ouest. Le début de la Balance atteint son coucher. Le début du Cancer atteint le méridien du côté nord où il est à sa hauteur minimale 3;35 et où le pôle de l'écliptique est à sa hauteur maximale du côté sud, 86;25. La moitié visible de l'orbe de l'écliptique est du côté nord entre le lever de l'équinoxe et son coucher, mais dans un ordre différent de l'ordre habituel. Sa moitié cachée est à l'opposé. La ceinture de l'écliptique et l'horizon se coupent aux points est et ouest. Voir la figure.

[Figure 25.]

[7] Que les orbes [continuent] de se mouvoir, alors les Poissons se lèvent de leur fin jusqu'à leur début, puis le Verseau, de sa fin jusqu'à son début, de sorte que leurs amplitudes ortives occupent tout le quart sud-est. En face d'eux, la Vierge se couche de sa fin jusqu'à son début, puis le Lion, de sa fin jusqu'à son début, leurs amplitudes occases occupent tout le quart nord-ouest, et le début du Verseau vient toucher l'horizon au point sud. La moitié visible du cercle de l'écliptique est entre les deux, du côté est. Le début du Cancer a pris de la hauteur à l'est, et le pôle s'est mis à descendre à l'ouest. Voir la figure.

[Figure 26.]

[8] Que les orbes [continuent] de se mouvoir, alors le début du Lion s'élève de l'horizon en se dirigeant vers l'est, et les parts [du Lion] se lèvent dans l'ordre jusqu'à sa fin, puis [jusqu'à] la fin de la Vierge, de même. Leurs amplitudes ortives occupent tout le quart nord-est.

[صورة ٢٤.]

[٦] | وليتحرك الفلك، فيأخذ أول الجوزاء في الارتفاع نحو المشرق ويطلع آخر الثور المتصل به شيئاً بعد شيء، بحيث يكون مطلع كل جزء أقرب إلى مطلع الاعتدال من مطلع الجزء المقدم عليه في الطلوع، إلى أن يطلع الثور ثم يطلع آخر الحمل، إلى أوله، ويستغرق الربع الشمالي الشرقي في سعة مشرق هذين البرجين. وينتهي أول الحمل إلى مطلعته. ويأخذ بإزاء ذلك أول القوس في الانحطاط تحت الأفق، ويغرب آخر العقرب المتصل به، شيئاً بعد شيء إلى أن يغيب، ثم يغرب آخر الميزان إلى أوله، ويستغرق الربع الجنوبي | الغربي سعة مغربهما، وينتهي أول الميزان إلى مغيبه. وينتهي أول السرطان إلى دائرة نصف النهار في جانب الشمال ويكون في ارتفاعه الأسفل وهو ج له، وقطب فلك البروج إلى ارتفاعه | الأعلى في جانب الجنوب وهو فوقه، ويكون النصف من فلك البروج الظاهر في جانب الشمال بين مطلع الاعتدال ومغيبه على التوالي مخالف المعهود، ونصفه الخفي مقابله، وتتقاطع منطقة البروج والأفق على نقطتي المشرق والمغرب، | على هذه الصورة.

[صورة ٢٥.]

[٧] | ثم ليتحرك الفلك فيطلع آخر الحوت إلى أوله، ثم آخر الدلو إلى أوله، بحيث يستغرق الربع الشرقي الجنوبي سعة مشرقهما، ويغيب بإزائهما آخر السنبله إلى أولها ثم آخر الأسد إلى أوله مستغرقاً الربع الشمالي سعة مغربهما، ويصير أول الدلو على نقطة الجنوب مماساً للأفق، والنصف الظاهر من دائرة البروج فيما بينهما من جهة المشرق، وأول السرطان قد ارتفع في المشرق، والقطب قد أخذ في الانحطاط مغرباً، على هذه الصورة.

[صورة ٢٦.]

[٨] | ثم ليتحرك الفلك وارتفع أول الأسد عن الأفق أخذاً نحو النصف الشرقي، فتطلع أجزاءه على التوالي إلى آخره، ثم آخر السنبله كذلك، مستغرقاً سعة مشرقهما الربع الشمالي الشرقي.

^٢ وليتحرك: ويتحرك [ق]. ^٣ يكون: في الهامش مع إشارة [د]. ^٣ أقرب: المغرب وأقرب [ق]. ^٣ مطلع: ناقص [ق]. ^٤ يطلع الثور ثم: ناقص [د، ج، ق]. ^٥ وينتهي: ناقص [د، ج، ق]. ^{١٠} الاعتدال: الاعتدالين [ج]. ^{١٤} ليتحرك: يتحرك [ق]. ^{١٤} الحوت: الجنوب [ق]. ^{١٥} الربع: الجنب [ق]. ^{١٦} الغربي: الجنوبي [د، أ، ق]، كتب "الغربي" في الهامش مع إشارة [د]، كتب أولاً "الجنوبي" ثم ضرب عليه بالقلم وكتب "الغربي" [ج]. ^{١٦} مغربهما: مشرقهما (وكتب أيضاً "مغربهما" في الهامش مع إشارة) [ج]. ^{١٨} المشرق: الشرقي [ق]. ^{١٨} الانحطاط: انحطاط [ق]. ^{٢٠} ليتحرك: يتحرك [ق].

^٢ ج ٦١ ظ، ق ٥٥ ظ، ك ١٠١ ظ، هـ ٨٩ ظ، ت ٣٩ ظ، ب ٥٥ و. ^٧ ك ١٠٢ و. ^٩ د ٦٠ و. ^{١١} أ ٥٦ ظ. ^{١٤} ج ٦٢ و، ق ٥٦ و، ك ١٠٢ ظ، هـ ٩٠ و، ت ٤٠ و، ب ٥٥ ظ. ^{٢٠} أ ٥٧ و، ك ١٠٣ و، هـ ٩٠ و، ت ٤٠ ظ. ^{٢١} ج ٦٢ ظ.

En face de cela, le début du Verseau s'abaisse sous terre à partir de l'horizon, et le Verseau se couche puis les Poissons dans l'ordre [des signes], occupant de leurs amplitudes occases tout le quart sud-ouest, le lever atteignant le début de la Balance, et le coucher atteignant le début du Bélier ; car la proximité des levers des parts [de l'écliptique] – resp. de leurs couchers – et du lever – resp. du coucher – de l'équinoxe augmente. Pendant ce temps-là, le début du Cancer a atteint sa hauteur maximale au méridien, et le pôle visible de l'écliptique a atteint sa hauteur minimale au méridien. La moitié visible de l'orbe de l'écliptique est du côté du sud. Le cercle est complet, et on retrouve les positions supposées au commencement.

[9] En ces horizons, si la latitude locale se rapproche de la latitude maximale et que la hauteur de l'équateur par rapport à l'horizon devient petite, il peut arriver qu'un astre ayant une trajectoire [diurne] très proche de l'horizon se déplace vers une autre trajectoire [diurne] à cause du deuxième mouvement. Il [peut] alors disparaître après avoir été visible bien qu'il soit dans la moitié est ; ou il peut apparaître après avoir été caché bien qu'il soit dans la moitié ouest. Il se serait alors couché à l'est, ou levé à l'ouest. Ceci compte parmi les questions singulières²⁷⁵.

Sixième section Particularités des horizons dont la latitude est égale à un quart de cercle

[1] En ces lieux, un des pôles de l'équateur est au zénith, et l'équateur et l'horizon sont confondus. Par le premier mouvement, les cieux tournent comme une meule. L'est ne se distingue pas de l'ouest, puisque lever et coucher sont possibles dans toutes les directions. La hauteur maximale est égale à l'inclinaison de l'écliptique, et de même pour l'abaissement maximal. La moitié de l'orbe de l'équateur située du côté du pôle visible est toujours visible, et l'autre moitié est toujours cachée. De même pour l'orbe de l'écliptique ; ainsi, il fait jour tant que le Soleil est dans la moitié visible [de l'écliptique], et il fait nuit tant qu'il est dans l'autre moitié.

[2] L'année est un jour et une nuit, mais les deux diffèrent à cause de la vitesse ou de la lenteur du mouvement [du Soleil]. À la date présente, au pôle nord, le jour dure sept nyctémères de plus que la nuit, parce que l'auge du Soleil est vers la fin des Gémeaux et que son périgée est vers la fin du Sagittaire. C'est ainsi si l'on considère que le jour va du lever [du Soleil] à son coucher et que la nuit va de son coucher à son lever ; mais si l'on considère que le jour va de l'apparition de la clarté – qui fait disparaître les fixes – jusqu'à

وبإزاء ذلك ينحطّ أوّل الدلو عن الأفق تحت الأرض، فيغرب الدلو ثمّ الحوت على التوالي، مستغرّقاً سعة مغربهما الربع الجنوبيّ الغربيّ، منتهياً الطلوع | إلى أوّل الميزان والغروب | إلى أوّل الحمل، لازدياد قُرب مطالع الأجزاء ومغيبها من مطلع الاعتدال ومغيبه. وصار حينئذ أوّل السرطان إلى ارتفاعه الأعلى من منتصف النهار، والقطب الظاهر | من فلك البروج إلى ارتفاعه الأسفل من نصف | النهار. والنصف الظاهر من فلك البروج في جانب الجنوب. ويتمّ الدور ويعود الوضع إلى ما فُرض مبدأً.

[٩] وفي هذه الآفاق، إذا قرب عرض البلد من النهاية وصار ارتفاع معدّل النهار من الأفق قليلاً، فربّما ينتقل كوكبٌ يقرب مداره من الأفق جدّاً إلى مدار آخر بحركته الثانية، فيغيب بعد ما كان ظاهراً وهو في النصف الشرقيّ، أو يظهر بعد ما كان خفياً وهو في النصف الغربيّ. فيكون قد غرب في المشرق أو طلع من المغرب. وهذا من الأسئلة المستغربة.

الفصل السادس

في خواص الآفاق التي عرضها | من المعدّل ربع الدور سواءً

[١] وهناك يكون | أحد قطبي المعدّل على سمت الرأس والمعدّل منطبق على الأفق. ودور الفلك بالحركة الأولى رحوية. والمشرق غير متميّز من المغرب لإمكان الطلوع والغروب في جميع الجهات. وغاية الارتفاع بقدر الميل الكليّ، وكذلك غاية الانحطاط. ونصف فلك المعدّل في جهة القطب الظاهر أبديّ الظهور، والنصف الآخر أبديّ الخفاء. وكذلك فلك البروج، فما دامت الشمس في النصف الظاهر منه يكون نهاراً، وما دامت في النصف الآخر منه يكون ليلاً.

[٢] وتكون سنتها يوماً وليلةً. وإنما يتفاضلان بسبب سرعة حركتها وبطئها. فيكون النهار في هذا التاريخ تحت القطب الشماليّ أكثر من الليل بسبعة أيام بلياليها* من أيّامنا لكون أوج الشمس في أواخر الجوزاء وحضيضها في أواخر القوس. هذا إذا اعتبر النهار من طلوعها إلى غروبها والليل من غروبها إلى طلوعها. إمّا إذا اعتبر النهار من ظهور الضوء المنخفي للثوابت إلى

° من: و [ق]. ° الدور: الدلو [ق]. ° الوضع: الموضع [أ، ق]. ° وهو: وهي [أ]، فهي [ق، د] (وضرب ناسخ نسخة د عليه بالقلم ثمّ كتب "وهو" فوق السطر). ° ١٣ على: عن [ق]. ° ١٥ فلك: كتب أولاً "قطب" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "فلك" [د]. ° المعدّل: البروج [ق]. ° وكذلك فلك البروج: ناقص [ق]. ° ٢١ الضوء: المضى (وكتب "الضوء" في الهامش) [ق].

٢ ب ٥٦. ٢ گ ١٠٣ ظ. ٤ د ٦٠ ظ. ° ق ٥٦ ظ. ١٢ ه ٩١ و. ١٣ ت ٤١ و. ٢٠ ج ٦٣ و.

* كُتب في هامش نسخة ج: "أعني ١٦٨ ساعة."

sa disparition, et que c'est le contraire pour la nuit, alors le jour dure plus de sept mois et la nuit dure presque cinq mois selon Théodose dans les *Habitations*. Si l'on considère que le jour va du lever de l'aurore jusqu'au coucher du crépuscule, alors le jour dure neuf mois et sept jours environ – de nos jours. En effet le lever de l'aurore et le coucher du crépuscule durent chacun cinquante jours – de nos jours – comme le montrera leur description ultérieurement.

[3] En ces lieux, le lever ou le coucher des astres, causé par le deuxième mouvement, ne se fait pas en une position déterminée de l'horizon. Toute étoile fixe dont la latitude est nulle sera pendant douze mille ans au dessus de l'horizon, et pendant la même durée en dessous. [Toute étoile fixe] dont la latitude est inférieure à l'inclinaison [de l'écliptique] aura un lever et un coucher, mais la durée de sa visibilité et de son invisibilité dépendra de la distance de sa trajectoire par rapport à la ceinture de l'écliptique²⁷⁶. [Toute étoile fixe] dont la latitude est égale à [l'inclinaison] touche l'horizon à chaque révolution due au deuxième mouvement; une telle étoile – de même qu'une étoile ayant une latitude supérieure à l'inclinaison – n'aura ni lever ni coucher, et elle sera toujours visible ou toujours cachée. Qu'on se souvienne de ce qui a été mentionné au sujet de la position de l'orbe à cause des deux premiers mouvements; ceci dépend de cela.

[4] Ici s'achève le compte-rendu des caractéristiques des contrées ordonnées selon les trajectoires diurnes et ce qui suit leur cours.

Septième section

Les coascensions de l'écliptique

[1] La *coascension*, ce sont les parts d'arc de l'équateur qui se lèvent en même temps que se lèvent des parts d'arc de l'écliptique. On dit que l'arc de l'écliptique [est mesuré] en *degrés égaux*. Les coascensions varient selon les horizons. Leur origine est l'équinoxe de printemps chez les Grecs. Chez certains [autres savants] c'est le solstice d'hiver; ce qu'ils font montre qu'ils adoptent cette hypothèse.

[2] À l'équateur terrestre, chaque quart délimité par deux des quatre points des équinoxes et des solstices se lève avec un quart [de l'équateur]. En effet, quand le point de l'équinoxe – qui est l'une des deux bornes [de chacun] des deux quarts des ceintures de l'équateur et de l'écliptique – atteint le zénith, alors les solstices atteignent l'horizon. Et comme le [grand cercle] passant par les quatre pôles est confondu avec lui, alors [l'horizon] coupe perpendiculairement les ceintures de l'écliptique et de l'équateur. On raisonne de manière analogue pour chacun des quatre quarts. Ce qui se lève, de l'équateur, avec le signe [du zodiaque] suivant un des quatre points, n'est pas [un arc] égal, c'est-à-dire trente parts. Un signe adjacent à un des points des équinoxes est plus grand

- الخفاء والليل بالعكس، | فنهاره أكثر من سبعة أشهر، وليله قريب من خمسة أشهر على ما حققه تاودوسيوس في المساكن. وإن اعتبر النهار من طلوع الصبح إلى | غروب الشفق كان نهاره تسعة أشهر وسبعة عشر يومًا من أيامنا تقريبًا، إذ مدّة كل واحدٍ من طلوع الصبح وغروب الشفق خمسون يومًا من أيامنا على ما يبين وصفهما فيما بعد.
- ٥ [٣] وهناك | طلوع الكواكب وغروبها، إنّما هو بالحركة الثانية، لا في موضع معيّن من الأفق. وما لا عرض له من الثوابت يكون اثنا عشر ألفًا سنة فوق الأرض ومثلها تحتها. وكلّ ما كان عرضه أقلّ من الميل الكلّي كان له طلوع وغروب واختلف مدّتا ظهوره وخفائه بحسب بُعد مداره عن منطقة البروج وقربه منها. وكلّ ما يكون عرضه مساويًا له يماسّ الأفق في دورة واحدة بالحركة الثانية | ولا يكون له ولا لما زاد عرضه على الميل الكلّي طلوع وغروب بل يكون أبدًا ظاهرًا أو خفيًا.
- ١٠ فلنذكر ما ذكر في أوضاع الفلك بسبب الحركتين الأوليين ويُحكم هاهنا بحسب ذلك.
- [٤] وهذا آخر بيان خواصّ البقاع المسامطة للمدارات اليوميّة وما يجري مجراها.

الفصل السابع

في مطالع البروج

- [١] المطالع أجزاء قوس من المعدّل تطلع مع أجزاء قوس تطلع من فلك البروج. ويُقال لتلك القوس التي من فلك البروج درج السواء. والمطالع تختلف بحسب الآفاق. ومبدؤها من الاعتدال الربيعيّ عند الجمهور ومن الانقلاب الشتويّ عند البعض بفرض يظهر في العمل.
- ١٥ [٢] ففي خطّ الاستواء كلّ رُبع يتحدّد بنقطتين من النقط الأربع التي هي الاعتدالان والانقلابان يطلع مع رُبع؛ لأنّ نقطة الاعتدال التي هي إحدى حدّي الرُبعين من منطقتي المعدّل والبروج إذا انتهت | إلى سمت الرأس انتهى الانقلابان إلى الأفق، | ولانطباق المارة بالأقطاب الأربعة عليه، ولقطعه منطقتي البروج والمعدّل على قوائم. ويُقاس | عليه سائر الأرباع. ولا يطلع مع برج يلي إحدى النقط الأربع مثله من المعدّل وهو ثلاثون جزءًا. أمّا ما يلي نقطة الاعتدال فإنّه أعظم |
- ٢٠
- ١ فنهاره: فهذه [ق]. ١ قريب: أقرب [ق]. ٢-٣ إلى غروب الشفق ... من طلوع الصبح: في الهامش مع إشارة [د].
 ٢ الشفق: الشمس [أ، ق]. ٢ تسعة: ٧ [د، ج]. ٣ تقريبًا: ناقص [د، ج]. ٤ الثانية: الثابتة [ق]. ٥ مدّتا: مدّة [ج، ق]. ٦ الثانية: الثابتة [ق]. ٧ فلنذكر: فلنذكر [ق]. ٨ الأوليين: الأولتين [ق، أ]، الأوليتين [د، ج]. ٩-١٤ مطالع البروج ... أجزاء قوس تطلع: ناقص [ق]. ١٥ التي: ناقص [ج، ق]، في الهامش مع إشارة [د]. ١٦ بفرض: يفرق [ق]. ١٧ حدّي: ناقص [ق]. ١٨ المعدّل: في الهامش مع إشارة [ج]. ١٩ إحدى: ناقص [ق]. ٢٠ نقطة: نقطته [ج].
- ١ ٥٧٥ ظ. ٢ ق ٥٧. ٥ ٩١ ظ. ٩ ب ٥٦ ظ. ١٩ د ٦٠ ظ. ١٩ هـ ٩٢ و. ٢٠ ج ٦٣ ظ. ٢١ ق ٥٧ ظ.

que sa coascension, parce que l'arc d'écliptique dont il est question est plus grand que l'arc correspondant de l'équateur. En effet dans le triangle formé par eux et par l'horizon, cet arc-là est le côté opposé à l'angle droit formé par l'équateur et l'horizon, alors que la coascension est le côté opposé à l'angle aigu formé par l'écliptique et l'horizon ; et le côté opposé à l'angle droit est plus grand que le côté opposé à l'angle aigu. Ce qu'on vient de dire se produit aussi pour deux signes²⁷⁷ suivant le même point et pour leur coascension. Quant à [l'arc] complément du quart [de la circonférence] de l'écliptique et adjacent au solstice, sa coascension est plus grande que lui. On le démontre ainsi : ce qui reste de l'équateur pour compléter le quart [de l'équateur] est supérieur à ce qui reste à partir du point de l'écliptique pour compléter le quart [de l'écliptique], et l'excédent de ceci est égale au manque de cela. De l'excédent et du manque en coascension, et de l'égalité de cet excédent et de ce manque, il apparaît aussi que deux arcs égaux et à distances égales de l'un des quatre points ont des coascensions égales à l'équateur terrestre.

[3] Si on connaît la coascension d'un quart [de l'écliptique], alors on connaît aussi la coascension des autres quarts. De la même manière, de la coascension d'un signe on peut connaître la coascension des suivants, jusqu'à tout connaître. Divisons la ceinture de l'écliptique en quatre segments dont les extrémités sont les milieux des quarts [ci-dessus]. Chaque segment dont le milieu est une équinoxe est plus grand que sa coascension, et chaque segment dont le milieu est un solstice est plus petit que sa coascension.

[4] Il en est des passages de la ceinture de l'écliptique et de l'équateur aux méridiens et aux cercles de déclinaisons dans toutes les contrées comme il en est de leurs coascensions à l'équateur terrestre, puisque chaque [cercle de déclinaison] est un horizon parmi les horizons de l'équateur terrestre. Et puisque la codescension est [l'arc] de l'équateur qui se couche en même temps que se lève [l'arc mesurant] la coascension, alors la codescension de chaque signe est égal à sa coascension.

[5] Quand l'horizon passe par les pôles de l'équateur et de l'écliptique, c'est-à-dire quand le point de l'équinoxe est au zénith, la nécessité que l'horizon coupe perpendiculairement ces deux cercles n'est pas régie par l'autorité du postulat, même si chacun des deux arcs (celui de l'équateur et celui de l'écliptique) est un côté opposé à un angle droit, et même s'il y a deux angles droits dans le triangle. S'il n'y avait pas deux angles droits, alors un quart de la ceinture de l'écliptique serait nécessairement plus grand qu'un quart de l'équateur ; or l'hypothèse est qu'ils sont égaux. C'est parce que l'impossibilité [de deux angles droits dans un triangle] n'a lieu que dans les triangles plans.

[6] Passons aux horizons inclinés. Là, une moitié [se lève] en même temps qu'une moitié quand elles sont délimitées par les équinoxes – et non un quart en même temps qu'un quart.

من مطالعه، لأنّ القوس التي هي عبارة عن البرج أعظم ممّا في مقابلة من المعدّل، لكونها في المثلث الحادث منهما ومن الأفق وتر قائمة يحيط بها المعدّل والأفق، وكون مطالع البروج وتر حادّة يحيط بها قوسا البروج والأفق في ذلك المثلث، وتر القائمة أعظم من وتر الحادّة. وهذا القول يتأتى أيضًا في برجين يليان تلك النقطة وفي مطالعهما. وأمّا ما يلي نقطة الانقلاب من البروج الذي هو تمام الرُّبع، فإنّ مطالعه أعظم منه، لما تبين من أن ما بقي من المعدّل إلى تمام الرُّبع أكثر ممّا بقي من نقطة البروج إلى تمام الرُّبع، ومقدار زيادة ذلك كمنقصان هذا. ويظهر من زيادة المطالع ونقصانها وتساوي مقدار الزيادة والنقصان، أنّ كلّ قوسين متساويتين متساويتي البعد عن أحد النقط الأربع، فمطالعهما في خطّ الاستواء متساوية.

[٣] وإذا عُلم مطالع رُبع عُلم مطالع الأرباع الباقية. وعلى هذا يُعلم من مطالع برج ما يليه إلى أن يُعلم الجميع. وتنقسم منطقة البروج إلى أربع قطع ويكون مبادئها أواسط الأرباع. وكلّ قطعة يقع في وسطها | أحد الاعتدالين تكون أعظم من مطالعها، وكلّ قطعة يقع في وسطها أحد الانقلابين تكون أصغر من مطالعها.

[٤] ومرور منطقة البروج والمعدّل على دوائر انصاف النهار ودوائر الميول في جملة البقاع كطلوعها في خطّ الاستواء، لأنّ كلّ منها أفق من آفاقه. ولما كان المغارب ما يغرب من المعدّل مع المطالع كان مغارب كلّ برج كمطالعه.

[٥] لا يُقاد، | لَمّا مرّ الأفق بقطبي المعدّل والبروج، عندما تكون نقطة الاعتدال على السمّت، لزوم تقاطعهما الأفق على قوائم بحكم المصادرة، وإن تكون كلّ واحدة من قوسي المعدّل والبروج وتر قائمة، وإن يكون في المثلث قائمتان. وإن سلم عدم لزوم قائمتين فيه لزم أن يكون | رُبع منطقة البروج حينئذ أعظم من رُبع المعدّل، والفرص المساواة؛ لأنّ ذلك الامتناع إنّما يكون في مثلث في سطح مستوٍ.

[٦] وأمّا ما في الآفاق المائلة، فيُقطع نصفًا مع نصف إذا تحدّد بالاعتدالين | لا رُبعًا مع رُبع،

^١ البرج: البروج [ق، أ]. ^٢ منهما: منها (وكتب "منهما" في الهامش مع إشارة [ج]. ^٣ البروج: البرج [أ]. ^٣ المثلث: ناقص [ق]. ^٥ البروج الذي: البرج التي [أ، ج]، البرج الذي [د، أ]. ^٥ من: فوق السطر [ج]. ^٦ أكثر ممّا ... تمام الرُّبع: في الهامش مع إشارة [ج، د]. ^٧ المطالع: المطلع [أ، ق]. ^٧ متساويتين: ناقص [د]، في الهامش مع إشارة [ج]. ^٨ النقط: كتب أولًا "القطع" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "النقط" [ج]. ^{١٠-١١} وكلّ قطعة ... أعظم من مطالعها: ناقص [د]، في الهامش [ج]. ^{١٣} على: عن [ق]. ^{١٣} جملة: جميع [ق]. ^{١٤} المغارب: الغارب [ج]، المغربي [ق]. ^{١٤} يغرب: يقرب [ج]. ^{١٥} المطالع: الطالع [ج]. ^{١٦} يُقاد: يقال [ق، ج، د، أ]. ^{١٧} المصادرة: المضادده [د، ج] (ولكن كتب في هامش نسخة ج "المصادرة"). ^{١٨} قائمتين: قائمتان [ق، أ].

En effet l'équateur n'est pas perpendiculaire à l'horizon. Si un quart adjacent à un équinoxe et situé du côté du pôle visible se lève, alors il sera plus grand que sa coascension, d'autant plus grand que l'angle obtus sera plus grand qu'un angle droit ; car [ce quart] est le côté opposé à un angle obtus dans le triangle mentionné ci-dessus, et sa coascension est le côté opposé à un angle aigu. S'il est au contraire situé du côté du pôle caché, alors sa coascension sera plus grande que lui, puisqu'on sera dans le régime inverse. De là, on démontre que les coascensions d'arcs égaux situés à des distances égales d'un des deux équinoxes sont égales. Si l'on divise l'orbe de l'écliptique en deux moitiés au milieu de chacune desquelles se situe un des deux points des équinoxes, alors celle dont le milieu est le passage du côté du pôle visible sera plus grande que sa coascension, et inversement. La coascension des arcs au nord dans les horizons du nord est égale à la coascension des arcs opposés, au sud, dans les horizons du sud ; de même pour les horizons du sud. Quel que soit l'horizon, la codescension d'un arc est toujours égal à la coascension de l'arc opposé.

[7] En un lieu dont la latitude est égale au complément de l'inclinaison de l'écliptique, on l'a déjà montré plus haut, la moitié de l'écliptique se lève avec un tour complet de l'équateur, et l'autre moitié se lève instantanément ; quant au coucher, il faut échanger les deux moitiés.

[8] Là où la latitude dépasse le complément de l'inclinaison sans toutefois atteindre un quart de circonférence, il y a des arcs toujours visibles de l'orbe de l'écliptique, et ce qui est à l'opposé est toujours caché. On divise l'équateur en des parties qui se lèvent en même temps que les parties de l'écliptique se levant à rebours, et des parties qui se lèvent en même temps que les parties de l'écliptique se levant à l'endroit. Ainsi à 70 degrés de latitude, les Gémeaux et le Cancer sont toujours visibles, et le Sagittaire et le Capricorne toujours cachés ; quand l'équinoxe de printemps se lève, les Poissons se lèvent après elle, à rebours, de leur fin jusqu'à leur début, puis le Verseau [se lève] à rebours aussi, puis le Lion commence à se lever, à partir de son début, à l'endroit, puis la Vierge puis la Balance puis le Scorpion, de même ; lorsqu'est atteint le début du Sagittaire, la fin du Taureau commence à se lever à rebours, puis le Taureau et le Bélier se lèvent à rebours, jusqu'à ce que le point de l'équinoxe de printemps revienne à l'horizon. On traite de la même manière les autres horizons, ainsi que le coucher. Les portions de l'écliptique ou de l'équateur qui ne se lèvent ni ne se couchent n'ont ni coascension ni codescension. C'est pourquoi il n'y a ni coascension ni codescension à la latitude de 90 degrés.

[9] *L'équation de la coascension* d'un pays est ce qu'on ajoute ou retranche à la coascension de la sphère droite²⁷⁸. C'est l'équation du jour. La codescension de l'arc est comme sa coascension. *L'ascendant* est la part de l'orbe de l'écliptique qui vient à l'horizon vers l'est, et le *descendant* est la part opposée, à l'horizon ouest.

لأنّ المعدّل غير قائم على الأفق. ليلزم ما لزم في خطّ الاستواء. بل إذا طلع رُبع يلي الاعتدال ويكون من المعدّل في جهة القطب الظاهر، كان أعظم من مطالعه بما تفضل المنفرجة على القائمة، لكونه في المثلث المذكور وتر منفرجة ومطالعه وتر حادّة. وإن كان في جهة القطب الخفيّ كان مطالعها أعظم منها، إذ | الحكم يصير بضدّ ما كان. وتبيّن من ذلك أنّ مطالع القسي المتساوية التي تتساوى أبعادها عن إحدى نقطتي الاعتدال | متساوية. وإنّ فلك البروج ينقسم إلى نصفين يتوسّط كلّ واحد منهما إحدى نقطتي الاعتدالين، فالذي يتوسّط المجاز إلى جهة القطب الظاهر أعظم من مطالعه، والآخر بالعكس. ومطالع القسي الشماليّة في الآفاق الشماليّة كمطالع نظائرها من الجنوبيّة في الآفاق الجنوبيّة، وفي الجنوبيّة كذلك. ومغارب كلّ قوس في كلّ أفق كمطالع نظير تلك القوس.

١٠ [٧] وقد تبيّن فيما سبق أن، في موضع يساوي عرضه تمام الميل الكلّي، يطلع نصف البروج مع جميع المعدّل، والنصف الآخر لا في زمان؛ ويُتبادل النصفان في الغروب.

[٨] وفيما يجاوز عرضه التمام ولم يبلغ الربع، حيث يكون قسي من فلك البروج أبدية الظهور، وما يقابلها منه أبدية الخفاء. ينقسم المعدّل إلى | ما يطلع مع ما يطلع من البروج معكوسة وإلى ما يطلع مع ما يطلع منها مستوية: كما في عرض ع، فإنّ الجوزاء والسرطان فيه أبدية الظهور، والقوس والجدي أبدية الخفاء، فإذا طلعت نقطة الاعتدال الربيعي، طلع بعدها الحوت معكوسًا من الآخر إلى الأوّل، ثمّ الدلو معكوسًا كذلك، ثمّ يتبدئ طلوع الأسد من أوّله مستويًا، | ثمّ السنبله، ثمّ الميزان، ثمّ العقرب كذلك؛ فإذا انتهى إلى أوّل القوس، ابتداءً آخر الثور بالطلوع المعكوس، ويطلع الثور والحمل معكوسين، | فتعود نقطة الاعتدال الربيعي إلى الأفق. وقس عليه سائر الآفاق، والغروب على الطلوع. وما لا يطلع ولا يغرب من البروج أو المعدّل، فلا خطّ له من المطالع والمغارب. ولهذا لا يكون للبروج في عرض ص | مطالع | ولا مغارب.

٢٠ [٩] | وتعديل مطالع البلد هو ما يُزاد أو يُنقص من مطالع الفلك المستقيم، وهو تعديل النهار، ومغارب القوس كمطالعها. والظالع هو الجزء الموفي للأفق من فلك البروج ممّا يلي الشرق، والغارب ما يقابله على أفق المغرب.

١ على: ناقص [ق]. ٧-٨ الشماليّة كمطالع ... في الآفاق: ناقص [ق، د، ج]. ٨ الجنوبيّة: كتب أوّلًا "الجنوبيّة" ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب "الشماليّة" فوق السطر [د]، الشماليّة [ج]. ٩ نظير: في الهامش مع إشارة [أ]. ١٤ فإنّ: فإذا [ق]. ١٧ المعكوس: المعكوس [د، ج]. ٢٠ والمغرب: تحت السطر [ج]. ٢٠ ولهذا: وهذا [د، ج، ق]. ٢٢ الموفي: الموفي [ج].

٤ ٩٣٠ و. ١٥ ٥٨١ ظ. ١٣ د ٦١ ظ. ١٦ ق ٥٨ ظ. ١٨ ه ٩٣ ظ. ٢٠ ج ٦٤ ظ. ٢٠ ت ٤٢ و. ٢١ ب ٥٧ ظ.

Huitième section

Détermination de la durée des nyctémères, et leur équation

[1] Le mot « jour » désignera un nyctémère²⁷⁹. Il y a le jour *vrai* et le jour *moyen*. Le jour vrai est la durée entre le lever du Soleil, son coucher ou son passage au méridien, d'une part, et son retour à ce qu'on a posé comme origine parmi les trois, d'autre part, en raison du premier mouvement ; sa grandeur est une circonférence de l'équateur, plus l'arc d'équateur qui se lève en même temps que l'arc parcouru par le Soleil en raison de son mouvement propre entre le début et la fin [du jour].

[2] Cet arc [de l'écliptique] est moindre [quand le Soleil est] dans la moitié la plus distante, et il est plus grand [quand le Soleil est] dans la moitié la plus proche ; et l'arc d'équateur qui se lève en même temps qu'un arc [donné] de l'écliptique est tantôt moindre, tantôt plus grand. En raison de ces deux variations, la grandeur d'un nyctémère varie. L'écart est petit, donc cette variation est insensible sur une durée d'un petit nombre de jours (un ou deux jours par exemple), mais elle est sensible sur une durée d'un grand nombre de jours.

[3] Les astronomes sont contraints d'utiliser des nyctémères de grandeurs égales pour déterminer les mouvements des [astres] moyens et d'autres choses dont ils ont besoin ; aussi ont-ils posé que l'excès²⁸⁰ est égal au mouvement du Soleil moyen pendant un nyctémère, et ils ont appelé ces jours « jours moyens ». Chacun est égal à une rotation de l'équateur, plus le Soleil moyen.

[4] Ils les ont appelés « moyens » car impliquent le parcours moyen [du Soleil], de même qu'ils ont appelé les premiers « jours vrais » car ils impliquent le parcours vrai [du Soleil], c'est-à-dire son mouvement en longitude. Les deux [durées ainsi définies] sont parfois égales, parfois différentes, parce que la coascension de son mouvement en longitude est parfois supérieure, parfois inférieure [au mouvement en longitude] ; outre ces deux cas, le mouvement en longitude est tantôt égal au mouvement moyen (quand [le Soleil] est à la position moyenne), tantôt supérieur (quand [le Soleil] est dans la moitié [de sa trajectoire passant par] le périégée), tantôt inférieur (quand [le Soleil] est dans la moitié [de sa trajectoire passant par] l'auge). On aura donc six divisions.

[5] Les deux [durées] sont égales quand coascension et [astre] moyen sont égaux, c'est-à-dire quand sont égaux les deux excédents ou défauts par rapport à la longitude. L'écart [entre les deux] s'appelle *équation des nyctémères*. Elle n'est sensible que sur une durée d'un grand nombre de jours – pas un jour ni deux. Pour la déterminer quantitativement, il faut connaître les deux variations.

[6] L'écart dû [à la variation du] parcours du Soleil est quatre fois l'anomalie maximale qui est environ deux degrés, parce que le mouvement en longitude dans la moitié [passant par] l'auge est égal au mouvement moyen moins deux fois le maximum

الفصل الثامن

أ في بيان معرفة مقادير الأيام بلياليها وتعديليهما

[١] يطلق اليوم على اليوم بليته وهو حقيقي ووسطي. فأما الحقيقي زمان واقع بين طلوع الشمس أو غروبها أو كونها في نصف النهار وبين عودها إلى ما جعل مبدأ من الأمور الثلاثة بالحركة الأولى. ومقداره دورة من معدّل النهار مع ما يطلع منه مع القوس التي تقطعها الشمس بحركتها الخاصّة فيما بين المبدأ والمنتهى.

[٢] وتلك القوس، في النصف الأبعد أصغر، وفي النصف الأقرب أكبر. وما يطلع من المعدّل مع ما يطلع من فلك البروج تارة يكون أصغر وتارة يكون أكبر. وبسبب هذين الاختلافين تختلف مقادير الأيام بلياليها. ولقلة التفاوت، لا يُحسّ ذلك الاختلاف في أيام قليلة كيوم أو يومين ويُحس في أيام كثيرة.

[٣] وأهل الحساب لا يضطّرونهم إلى استعمال الأيام بلياليها متساوية المقدار لمعرفة حركات الأوساط وغيرها ممّا هم محتاجون، جعلوا تلك الزيادة مقدار حركة الشمس الوسطى في يوم بليته، وسَمّوا تلك الأيام الوسطى. وكلّ يوم منها مقدار دور من المعدّل مع وسط الشمس وهو اليوم الوسطى.

[٤] ويسمّى | بالوسطى لاعتبار | سيرها الوسط فيه، كما سُمّي الأوّل بالحقيقي لاعتبار سيرها الحقيقي فيه وهو الحركة التقويمية. وهما قد يتساويان وقد يختلفان لأنّ مطالع حركتها التقويمية إمّا زائدة عليها وإمّا ناقصة منها، وعلى التقديرين فالتقويمية إمّا مساوية للحركة الوسطية كما في موضع الحركة الوسطى، أو زائدة عليها كما في النصف الحضيضي، أو ناقصة عنها كما في الأوجي. فالأقسام ستّة.

[٥] وهما يتساويان فيما يتساوى فيه المطالع والوسط وذلك | عند تساوي زيادتهما على التقويم أو نقصانهما منه. وهذا التفاوت يسَمّى تعديل الأيام بلياليها. وإنّما يُحسّ به في أيام كثيرة دون يوم أو يومين. وتحقيق كميّته محوج إلى معرفة غاية كلّ من الاختلافين.

[٦] أمّا التفاوت الذي بسبب سير الشمس، فبأربعة أمثال غاية اختلافها، وهي درجتان بالتقريب، لكون الحركة التقويمية في النصف الأوجي ناقصة عن الحركة الوسطية بضعف الغاية

^٢ وتعديليهما: وتعديليها [ج]. ^٣ يطلق: مطلق [ق]. ^٤ اليوم على: ناقص [د، ج، ق]. ^٥ فأما: ف [د، أ، ق].
^٥ دورة: ذروة [ق]. ^٦ المبدأ: المبدأ [ج]. ^٧ ممّا هم محتاجون: فيما هم محتاجون إليه [د، ج]. ^٨ محوج: تحوج [د، ج، ق]. ^٩ اختلافها: اختلافهما [ج]، ارتفاعها [ق]. ^{١٠} وهي: وهو [د، ج]، وهما [ق].

^{١١} ج ١٠٤. ^{١٢} أ ٥٩. ^{١٣} ق ٥٩. ^{١٤} ك ١٠٤. ^{١٥} ج ٦٥.

de ce qu'on lui ajoute, et qu'il en est de même dans la moitié [passant] par le périhélie. Il n'y a pas de contradiction entre le fait que l'arc en longitude soit supérieur à l'arc moyen – comme il arrive dans les orbites du Soleil – et le fait que le mouvement en longitude soit inférieur au mouvement moyen – comme nous venons de dire.

[7] L'écart dû à la coascension dépend des horizons, donc ça n'est pas la même chose pour toutes les contrées. Si l'on pose que les jours commencent quand le Soleil arrive à l'horizon, de sorte que l'origine est l'arrivée du Soleil à l'horizon est, alors on compte l'écart entre les degrés égaux et leur coascension par rapport au lieu [donné]. Si l'on pose que l'origine est l'arrivée du Soleil à l'horizon ouest, alors on compte l'écart entre les degrés égaux et la coascension [de l'arc] opposé, par rapport au lieu [donné]. Si l'on pose que l'origine est l'arrivée [du Soleil] au méridien, alors l'écart est le même pour tous les horizons, et les jours ont la même durée dans tous [les horizons] : on compte le déplacement et la coascension par rapport à l'équateur terrestre. Et c'est pourquoi le méridien a été choisi comme origine.

[8] Ci-dessus²⁸¹, on a divisé l'orbite de l'écliptique en quatre. Parmi les quatre portions, il y en a deux qui ont chacune un équinoxe en son milieu et qui sont chacune supérieure à sa coascension. L'une va du milieu du Verseau au milieu du Taureau, l'autre va du milieu du Lion au milieu du Scorpion. L'excédent de chacune sur sa coascension par rapport à l'équateur terrestre est cinq degrés. Les deux autres portions ont chacune un solstice en son milieu et elles sont chacune inférieure à sa coascension. L'une va du milieu du Taureau au milieu du Lion, et l'autre va du milieu du Scorpion au milieu de Verseau. Le défaut de chacune à sa coascension par rapport à l'équateur terrestre est aussi cinq degrés.

[9] En combinant les deux écarts par excès et par défaut, cette variation fera la grandeur totale de l'écart entre les jours moyens et les jours vrais.

[10] On ne peut faire autrement que choisir un jour [de l'année] comme origine. Les autres jours lui seront rapportés, de sorte que midi de ce jour soit l'origine des jours moyens ainsi que des jours vrais. Quel que soit le jour de l'année choisi comme origine du temps, l'écart entre les jours moyens et les jours vrais écoulés depuis ce jour sera tantôt additif, tantôt soustractif ; mais si l'on prend l'origine vers la fin du Verseau, alors les jours vrais seront toujours inférieurs aux jours moyens ; et si l'on prend l'origine vers le début du Scorpion, alors les jours

زائدة عليها، وفي النصف الحضيضيّ يمثل ذلك أيضًا. ولا منافاة بين أن تكون القوس التقويمية زائدة على القوس الوسطية كما مرّ في أفلاك الشمس وبين أن تكون الحركة التقويمية ناقصة من الحركة الوسطية كما ذكر هنا.

[٧] | وأما التفاوت الذي يكون بسبب المطالع، فيختلف باختلاف الآفاق، ولم يكن في جميع البقاع | شيئًا واحدًا. إن جعل مبادئ الأيام انتهاء الشمس إلى الأفق حتى أن جعل المبدأ انتهاؤها إلى الأفق الشرقيّ كان بحسب التفاوت | بين درج السواء ومطالعها في ذلك الموضع. وإن جعل المبدأ انتهاؤها إلى الأفق | الغربيّ كان بحسب التفاوت بين درج السواء ومطالع نظيرها في ذلك الموضع. وإن جعل المبدأ انتهاؤها إلى نصف النهار اتفق التفاوت في جميع الآفاق، وتساوت الأيام | فيها قدرًا: ويكون ذلك بحسب السير والمطالع بخط الاستواء. فلهذا اختاروا المبدأ من نصف النهار.

[٨] وقد سبق أن فلك البروج ينفصل على أربع، تُقطع قطعتان منها يتوسط كل واحدة منهما أحد الاعتدالين وتزيد على مطالعها، إحداها من | أواسط الدلو إلى أواسط الثور والأخرى من أواسط الأسد إلى أواسط العقرب، ومقدار زيادة كل واحدة منهما على مطالعها بخط الاستواء خمس درجات. وكل واحدة من القطعتين الآخريين يتوسطها أحد الانقلابين وتنقص عن | مطالعها، إحداها من أواسط الثور إلى أواسط الأسد والأخرى من أواسط العقرب إلى أواسط الدلو. ومقدار نقصان كل واحدة منهما عن مطالعها | بخط الاستواء خمس درجات أيضًا.

[٩] وإذا تركب التفاوتان بالزيادة أو النقصان فالاختلاف جعل مقدار التفاوت بين الأيام الوسطى والأيام الحقيقية جملة في السنة.

[١٠] ولا بدّ من فرض يوم مبدأ لقياس عليه سائر الأيام، بحيث يكون نصف نهار ذلك | اليوم مبدأ الأيام الوسطى والحقيقية جميعًا. وأي يوم من السنة يُفرض مبدأ لزمان يكون التفاوت بين الأيام الوسطى والحقيقية الماضيين من ذلك اليوم زائدًا تارة وناقصًا أخرى؛ إلا إذا جعل المبدأ أواخر الدلو فإنّ الأيام الحقيقية دائمًا ناقصة من الوسطى؛ وإلا إذا جعل أوائل العقرب فإنّ الأيام

^١ ذلك: ناقص [ق]. ^٢ هنا: هناك [ق]. ^٣ شيئًا: سببًا [ج]. ^٤ ومطالعها: ومطالع نظيرها [ج، ق]، كتب أولًا "ومطالع نظيرها" ثم صحّحه إلى "مطالعها" [د]. ^٥ جعل: كان [أ]، كان جعل [ق]. ^٦ إلى الأفق الغربيّ ... انتهاؤها: في الهامش مع إشارة [د]. ^٧ المبدأ: الميل [ق]. ^٨ المبدأ: المبدأ فيها [ج، د]. ^٩ الآخريين: الآخريين [ج]. ^{١٠} مطالعها: مطالع [د، ج]. ^{١١} الأسد: الاوسط [أ، ق]. ^{١٢} عن: من [أ، ق]. ^{١٣} أو النقصان: والنقصان [د، ج]. ^{١٤} فالاختلاف: والاختلاف [أ، د، ج، ق]. ^{١٥} بين: من [د، ج، ق]. ^{١٦} لقياس: القياس [ق]. ^{١٧} لزمان: لزم أن [ق]. ^{١٨} زائدًا ... وناقصًا: زائدة تارة وناقصة [د، ج].

^{١٩} ١٠٥٠. ^{٢٠} ٥٨٠. ^{٢١} ٥٩٤. ^{٢٢} ٦٢٠. ^{٢٣} ٥٩٧. ^{٢٤} ٥٩. ^{٢٥} ٤٢. ^{٢٦} ١٠٥. ^{٢٧} ٦٥. ^{٢٨} ٩٥٥.

vrais seront toujours supérieurs aux jours moyens. Les hommes de métier se sont accordés à choisir [l'origine] vers la fin du Verseau.

[Figure 27.]

[11] L'écart dû à l'anomalie solaire change à cause du mouvement de l'auge, mais seulement sur de longues durées.

[12] Ainsi s'achève l'explication de l'écart dans la grandeur des jours. L'explication de [leur] grandeur à un instant donné relève davantage des livres pratiques. Cet écart s'appelle équation des nychtémères. Au cours d'une révolution complète, [la durée totale des] jours vrais et [la durée totale des] jours moyens sont égales, et la considération précédente tombe.

Neuvième section

L'aurore et le crépuscule.

[1] L'aurore est l'illumination de l'horizon est à l'approche du Soleil, et le crépuscule est l'illumination de l'horizon ouest après que le Soleil s'y soit retiré. La cause de l'aurore est la suivante : pendant la nuit, de dessous la Terre, quand le Soleil approche l'horizon est, le cône d'ombre de la Terre (en quoi consiste la nuit) penche vers l'ouest. Plus il penche, plus le rayon de lumière à son bord s'approche de l'œil, du côté de l'est, jusqu'à être vu, petit à petit.

[2] Pour se le représenter, imaginons un triangle à angles aigus dont la base soit l'horizon et dont les côtés soient dans le plan du cône²⁸², qu'on imagine passant par le centre du Soleil, le centre de la Terre et le sommet du cône. Imaginons un autre triangle ayant un angle droit, dont la base soit entre l'horizon et le *premier point vu de l'aurore* (c'est-à-dire un point du côté du premier triangle), et dont les deux autres côtés soient issus de l'observateur, l'un des deux passant par une des extrémités de la base et l'autre par l'autre, l'une [des deux extrémités de la base] étant le point mentionné, et l'autre un point de l'horizon. Comme [le côté] issu de l'observateur et passant par le point [mentionné] est perpendiculaire [en ce point], alors [l'autre] côté [issu de l'observateur] vers l'horizon est plus long car c'est l'hypoténuse²⁸³. Ainsi ce qu'on voit [en premier] de l'aurore est comme une droite située au dessus de l'horizon ; ce qui est plus proche de l'horizon est [encore] obscur. On appelle ce qui en est vu *première aurore* parce que cela apparaît en premier à l'aurore, et *aurore trompeuse* parce que cela [semble] être en contradiction avec l'obscurité de ce qui est plus proche encore du Soleil. [On l'appelle aussi] *queue du loup* à cause du déploiement de son début et de la ponctualité de sa fin.

[Figure 28.]

[3] Ensuite, si le Soleil s'approche beaucoup de l'horizon, la lumière se développe à l'horizon comme une demi-disque, et l'aurore devient alors *franche*. L'horizon est s'emplit de clarté, la moitié du ciel est atteinte, et cette clarté ne cesse plus de croître jusqu'à ce que rougeois l'horizon, que le Soleil se lève, et que le cône d'ombre se couche. Plus le Soleil monte, plus le cône s'abaisse, jusqu'à midi ; alors le Soleil commence à se diriger vers l'ouest, et l'ombre en vis-à-vis va vers l'est, jusqu'à ce que le Soleil arrive à l'horizon ouest, qu'il le fasse rougir, et que le cône [d'ombre] arrive à l'horizon est. Si le Soleil se couche et que se lève le cône d'ombre, alors le rougeoisment appelé crépuscule commence à décroître. À sa suite, la blancheur croît, jusqu'à ce que la blancheur soit complète et que la rougeur cesse, puis la blancheur commence à décroître, jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'une clarté de forme allongée, comme l'aurore trompeuse. Puis commence la nuit.

[4] Parce que les gens sont favorables à la quiétude et au sommeil à l'injonction du crépuscule, et au déploiement dans la satisfaction de leurs besoins le matin, ils se sont laissés distraire de [la tâche de] préciser l'injonction du crépuscule, et ils se sont occupés des conditions exactes de l'aurore²⁸⁴.

[5] On a appris empiriquement que l'abaissement du Soleil sous l'horizon au commencement du lever de l'aurore et à la fin du coucher du crépuscule est de dix-huit degrés [mesurés] sur le cercle de hauteur passant par le centre du Soleil ; mais comme la coascension de [cet arc] est variable, la [durée] en heures entre le lever de l'aurore et le lever du Soleil est variable, de même que [la durée en heures] entre le coucher du Soleil et le coucher du crépuscule. À l'équateur terrestre, quand le Soleil est à l'un des deux équinoxes, cette grandeur de dix-huit degrés [équivalent] à une durée d'une heure et un cinquième d'heure. Quand le Soleil est à l'un des deux équinoxes, il n'y a aucun lieu sur Terre où la durée de l'aurore ou du crépuscule soit inférieure à cela. À l'équateur terrestre, en deux positions [de l'écliptique] équidistantes d'un des deux équinoxes, les durées de l'aurore ou du crépuscule sont égales.

[6] La durée de l'aurore et du crépuscule dans le quatrième climat est deux heures quand le Soleil est vers le début du Cancer, et c'est environ une heure et un tiers d'heure quand il est vers le début du Capricorne.

[7] Aux lieux dont la latitude vaut 48;30, quand le Soleil est au solstice d'été, l'aurore est contiguë au crépuscule. Là où la latitude est encore supérieure, leur contiguïté [a lieu] selon que l'abaissement [maximal du Soleil] sous l'horizon est inférieur à cette grandeur, et alors le lever de l'aurore est avant le coucher du crépuscule²⁸⁵.

[8] Là où la latitude [locale] est égale au complément de l'inclinaison [de l'écliptique], lorsque le Soleil atteint son point le plus haut à l'horizon au solstice

[٣] ثم إذا قربت الشمس من الأفق جدًّا، انبسط | النور على الأفق كنصف دائرة، وحينئذ يصير الصبح صادقًا. فيمتلئ أفق المشرق ضياءً، ويبلغ وسط السماء، ولا يزال يزداد ذلك الضوء، إلى احمرار الأفق وطلوع الشمس وغروب مخروط الظل. وكلما ترتفع الشمس، ينحطّ المخروط إلى انتهائها نصف النهار؛ فتأخذ الشمس نحو المغرب والظلّ بحذائها نحو المشرق، إلى أن تصل الشمس [إلى] أفق المغرب، وتحمره، ويصل المخروط إلى أفق المشرق. فإذا غربت الشمس وطلع المخروط، أخذت الحمرة المسمّاة بالشفق في التناقص، وتبعها في الزيادة البياض، | إلى أن يتكامل البياض وتزول الحمرة، ثم يأخذ البياض في التناقص، | إلى أن يبقى منه ضوء مستطيل كالصبح الكاذب. ثمّ يتبدئ سواد الليل.

[٤] ولميل الناس إلى الدعة والنوم عند أمر الشفق، وميلهم إلى انتشارهم في قضاء الحاجات عند الصباح، اشتغلوا عن تدقيق أمر الشفق واشتغلوا بدقيق أحوال الصبح.

[٥] | وقد عُرف بالتجربة أنّ انحطاط الشمس عن الأفق عند أول طلوع الصبح وآخر غروب الشفق يكون ثمانية عشر جزءًا | من دائرة الارتفاع | المارة بمركز الشمس؛ ولكن لاختلاف مطالع قوس الانحطاط، تختلف الساعات التي بين طلوعي الصبح والشمس والتي بين غروبي الشمس والشفق. ومقدار ثمان عشرة درجة | بالزمان ساعة وخمس ساعة في خط الاستواء عند كون الشمس في إحدى نقطتي الاعتدالين. ولا يكون في موضع من سطح الأرض زمان الصبح والشفق أقلّ من هذا إذا كانت الشمس في أحد الاعتدالين. وكلّ جزءين يتساوى بعدهما عند أحد الاعتدالين، يتساوى مدّة صبحهما وشفقهما في خط الاستواء.

[٦] ومدّة الصبح والشفق في الإقليم الرابع والشمس في أوائل السرطان ساعتان، وفي أوائل الجدي ساعة وثلاث تقريبًا.

[٧] وفي المواضع التي تكون عروضها مح ل، إذا كانت الشمس في المنقلب الصيفي، يتّصل الصبح بالشفق؛ وفيما جاوزت العروض تلك المواضع، | يكون اتّصالهما بحسب تناقص انحطاطهما عن الأفق عن ذلك | المقدار، ويكون طلوع الصبح قبل غروب الشفق.

[٨] وحيث ساوى عرضه تمام الميل الكليّ، إذا سامت الشمس الأفق في المنقلب الذي

^٦ وتبعها: [ج]. ^٧ ثمّ: ناقص [ج]. ^٨ يبقى: يبق [ج]. ^٩ ولميل: وتميل [د، ج]. ^{١٠} الدعة: الدعوة [ق]. ^{١١} الصباح: الصبح [ج]. ^{١٢} عن: عند [أ، ق]. ^{١٣} بدقيق: بتدقيق [د]. ^{١٤} أول: ناقص [ج]. ^{١٥} طلوعي: طلوع [ق]. ^{١٦} ومقدار: وبمقدار [د، ج]. ^{١٧} الاعتدالين: الاعتدال [د، أ، ق]. ^{١٨} في: من [د، ج]. ^{١٩} قبل غروب ... الميل الكليّ: في الهامش مع إشارة [د]. ^{٢٠} ساوى: تساوى [ق].

^١ هـ ٩٦ و. ^٢ ج ٦٦ ظ. ^٣ گ ١٠٧. ^٤ ج ٦٧ و، أ ٦١، ب ٥٩ ظ. ^٥ د ٦٣ و. ^٦ ق ٦١ و. ^٧ هـ ٩٦ ظ. ^٨ گ ١٠٧ ظ. ^٩ ت ٤٣ ظ، ب ٦٠ و.

situé du côté opposé à la latitude, il ne se lève pas, et la durée [de l'aurore ou du crépuscule] est cinq heures et un tiers d'heure. Ce qui reste des vingt-quatre heures est treize heures et un tiers : c'est la durée de l'obscurité. Le Soleil touche [aussi] l'horizon [au solstice] situé du même côté que la latitude ; alors il ne disparaît pas, et il n'y a donc ni aurore ni crépuscule à ces dates.

[9] Lorsque la latitude [locale] est 90 (où l'horizon est comme une meule), la durée de chacun est de 50 jours – de nos jours à nous.

[10] L'explication des grandeurs que nous avons mentionnées et de celles que nous n'avons pas mentionnées relève des livres pratiques.

Dixième section

Détermination des parties du jour, les heures, et des multiples des jours, les mois et les années

[1] Il est bien connu que l'*arc diurne* est la moitié d'une circonférence de l'équateur si l'équation est nulle, et qu'il faut y ajouter ou en retrancher le double de l'équation si elle n'est pas nulle. En vérité, [l'arc diurne devrait mesurer] combien tourne l'équateur à partir de l'instant où s'est levé à l'horizon la moitié du corps du Soleil jusqu'à l'instant où s'est couché la moitié ; et selon cette interprétation, il est supérieur à la grandeur ci-dessus, d'un excédent égal à la coascension de l'arc parcouru par le Soleil le long de l'écliptique pendant ce jour par rapport à cette contrée. L'arc nocturne dépend [aussi] de ce qu'on vient de dire concernant l'arc diurne ; et l'équation du jour voulue est la moitié de l'excédent de l'arc diurne sur une demi-circonférence de l'équateur.

[2] Tantôt, on divise chacun des deux arcs en portions de quinze degrés, et on appelle ces portions *heures équinoxiales* à cause du fait que leurs parts sont toujours égales. Tantôt, [on les divise] en douze portions, et on appelle ces portions *heures courbes* à cause du fait que leurs parts sont variables et dépendent de la variation des deux temps²⁸⁶ suivant qu'ils sont courts ou longs. Si les deux temps sont égaux, chacun sera douze heures, équinoxiales et courbes. Si les deux temps diffèrent, alors le nombre d'heures équinoxiales augmente et les parts des heures courbes augmentent, car l'une est plus que l'autre.

[3] Dans l'esprit des astronomes, le début du jour et de l'arc diurne est au lever du Soleil, et c'est le point de vue naturel. Dans l'esprit de la loi, c'est au lever de l'aurore franche ; alors l'un dépasse l'autre, de la différence entre les deux levers. Le début de la nuit est au coucher du Soleil.

في خلاف جهة العرض، ولا تطلع، وتكون ساعات كلّ منهما حَمَسًا وثُلثًا. والبقى إلى تمام أربع وعشرين ساعة، وهو ثلاث عشرة وثُلث، يكون ساعات الظلمة. وفي جهة العرض، تماسّ الأفق، وحينئذ ولا يخفى فلا يكون فيها صبح ولا شفق في ذلك الوقت.

[٩] وحيث العرض ص، وهو الأفق الرحوي، يكون زمان كلّ منهما ن يومًا من أيامنا.

[١٠] وبيان ما ذكر من المقادير وما لم يُذكر يتعلّق بكتب العمل.

الفصل العاشر

في معرفة أجزاء الأيام وهي الساعات، وما يتركّب من الأيام وهي الشهور والسنون

[١] المشهور أنّ قوس النهار هي نصف الدور من المعدّل حيث لا تعديل فيه، أو هو مع ضعفه | أو بدونه حيث وجد فيه. وبالْحَقِيقَة هي ما يدور من المعدّل من وقت طلوع نصف جرم الشمس من الأفق إلى وقت غروب نصفه فيه، وهي بهذا التفسير أزيد من الأولى بقدر مطالع ما تقطعه الشمس من منطقة البروج في ذلك اليوم لتلك البقعة. وقوس الليل بحسب ما ذكر | من قوس النهار، والمراد من تعديل النهار* نصف فضله على نصف دور المعدّل.

[٢] وتقسم كلّ واحدة من قوسي النهار والليل تارةً على خمس عشرة درجة وتُسمّى تلك الأقسام ساعات مستوية لاستواء أجزائها دائمًا، وتارةً على اثنا عشر قسمًا وتُسمّى تلك الأقسام ساعات مُعَوّجَة لاختلاف أجزائها بحسب اختلاف الملويين طولًا وقصرًا. وكلّما تساوى الملوان، كان كلّ منهما اثنتا عشرة ساعة مستوية ومعوّجة. وكلّما اختلف الملوان زاد عدد الساعات المستوية وأجزاء المعوجة، لأحدهما على الآخر.

[٣] ومبدأ النهار في عرف المنجّمين والقوس والوضع الطبيعيّ من طلوع الشمس، وفي عرف الشرعة من طلوع الصبح الصادق، وهو زائد على الأوّل بما بين الطلوعين. ومبدأ الليل من غروبها.

^١ وتكون: يكون [أ، ق]. ^١ ثُلثًا: ثلاثا [ق، أ، ج، د]. ^٢ تماسّ: بما بين [ق]. ^٣ ولا: فلا [ق، ج]. ^٣ فلا: ولا [ج]. ^٤ وما لم: ولم [ق]. ^٧ أجزاء: الأجزاء [ق]. ^٧ الشهور: الشفق [ق]. ^٨ هي: هو [ج]. ^٩ هي: هو [د، ج]. ^{١٠} التفسير: التقدير [د، ج]. ^{١٠} الأولى: الأوّل [د، ج، ق]. ^{١٣} درجة: قسمًا [أ، ج، د، ق]. ^{١٥} معوجة: كتب في الهامش مع إشارة "لعلّه زمانيّة أو حوجه (٩)" [ق]. ^{١٥} الملويين: الميلويين [أ]، المتلويين [د، ج]. ^{١٥} الملوان: الميلوان ان [أ]، المتلوان [د، ج]. ^{١٦} الملوان: الميلوان [أ]، المتلوان [ج]. ^{١٩} الشرعة: المتشرعة [أ، د، ج، ق].

^٥ ق ٦١ ظ. ^٦ ت ٤٤ و، گ ١٠٨ و. ^٧ ٩٧٥ و. ^٨ ج ٦٧ ظ. ^٩ گ ١٠٨ ظ. ^{١١} أ ٦١ ظ.

* كُتِبَ في هامش نسخة ق مع إشارة: "لعلّه النهار."

[4] Chez certains astronomes le début du nyctémère est à midi, chez d'autres c'est à minuit, chez d'autres encore qui sont légistes c'est au début de la nuit, et chez d'autres c'est au début du jour ; [il dure] jusqu'au prochain [événement] semblable.

[5] Quand on conçoit le mois à partir des phases de la Lune selon sa position relative au Soleil, et selon que l'excès du mouvement de la Lune sur le mouvement du Soleil – en mouvements vrais – fait une circonférence, alors on le trouve difficilement, et il varie encore à cause de l'irrégularité des deux mouvements. Les observateurs disent que la période va d'un jour de conjonction au [suivant], ou bien d'une nuit de [première] visibilité du croissant à la [suivante], ou bien d'une autre phase [de la Lune] à la prochaine semblable, par convention. Les astronomes parlent de la différence entre les deux mouvements *moyens*, au sens où ils soustraient le Soleil moyen de la Lune moyenne, et ils trouvent ainsi que l'intervalle entre deux conjonctions est vingt-neuf jours et demi et une fraction. Puisque deux mois successifs réunis font cinquante-neuf jours, ils posent qu'un mois [sur deux] vaut trente jours et l'autre vingt-neuf jours. Ils ajoutent les fractions accumulées en sus de [chaque période de vingt-neuf jours et] demi, tous les trente ans, onze jours. Onze mois parmi les mois devant compter vingt-neuf jours, tous les trente ans, deviendront ainsi onze mois de trente [jours]. Ces jours s'appellent des jours *intercalaires* : un jour intercalaire est un jour constitué des fractions en sus des jours entiers d'une année, et ils ajoutent les jours intercalaires à [certains] mois.

[6] Autrement dit, ils posent que le premier mois de l'année (*muharram*) fait trente jours, que le deuxième fait vingt-neuf jours, et ainsi de suite jusqu'à la fin de l'année, mais *dū al-ḥiġġa* compte alors vingt-neuf jours et un cinquième et un sixième de jour, c'est-à-dire 0;22 jour, résultat de la multiplication par douze du 0;1;50 en sus du demi-jour. [Ce mois] devient [un mois de] trente [jours] lors de l'année de l'*intercalaire* qui est l'année comptant le jour intercalaire, trentième jour de *dū al-ḥiġġa*, constitué des fractions [accumulées]. C'est ainsi que sont les mois lunaires ; on en tire les mois vrais et les mois moyens.

[7] L'année est le retour du Soleil en son lieu sur l'écliptique. Ce retour implique le retour des conditions de l'année selon les saisons. Ceci se produit en trois cent soixante-cinq jours un quart, et une fraction. [L'année] consiste

- [٤] وأوّل اليوم عند بعض الحسّاب من نصف النهار، وعند بعضهم من نصف الليل، وعند غيرهم من اهل الشرع | من أوّل الليل، وعند غيرهم من أوّل النهار | إلى مثله.
- [٥] ولمّا كان الشهر مأخوذاً من تشكّلات القمر بحسب أوضاعه من الشمس، وصار فضل حركة القمر على حركة الشمس الحقيقيّين دوراً، اختلف مع تعذُّر* وجدانه لاختلاف حركتيهما. فقال أهل الظاهر الدور من يوم الاجتماع إلى يومه، أو من ليلة رؤية الهلال إلى ليلتها، أو من تشكّل آخر إلى مثله، بحسب ما يصطلحون عليه. وقال | أهل | الحساب من الفضل ما بين الحركتين الوسطيين، بمعنى أنّهم أسقطوا وسط | الشمس من وسط القمر فوجدوا ما بين الاجتماعين تسعة وعشرين يوماً ونصفاً وكسراً. ثمّ لمّا كان مجموع كلّ شهرين متواليين | تسعة وخمسين يوماً، جعلوا شهراً من السنة ثلاثين شهراً تسعة وعشرين. وزادوا الكسور المجتمعة التي تزيد على نصف يوم، في كلّ ثلاثين سنة، أحد عشر يوماً. فتصير أحد عشر شهراً، ممّا يجب أن يكون تسعة وعشرين يوماً في مدّة ثلاثين سنة، أحد عشر ثلاثين. وتسمّى تلك الأيام كبائس: والكبيسة يوم مجتمع من الكسور الزائدة على الأيام التامة لسنة، ويزيدون الكبائس في الشهور.
- [٦] على وجهٍ آخر، وهو أن يجعلوا الشهر الأوّل من السنة وهو المحرم ثلاثين يوماً، والثاني تسعة وعشرين يوماً، على هذا الترتيب إلى آخر | السنة، فصار ذو الحجة تسعة وعشرين يوماً وخمس وسُدس يوم، أعني اثنتين | وعشرين دقيقة من يوم، وهي الحاصلة من ضرب | دقيقه وخمسين ثانية الزائد على نصف يوم في اثنا عشر. فيصير^١ ثلاثين في سنة الكبيسة، وهي ما فيها يوم الكبيسة وهو الثلاثون من ذي الحجة المجتمع من الكسر. وهذه الشهور قمرية، فمنها حقيقية، ومنها وسطية.
- [٧] والسنة عودة الشمس إلى موضعها من فلك البروج، وهذه العودة تقتضي عودة حال السنة بحسب الفصول. ويحصل ذلك في ثلاث مائة وخمسة وستين يوماً ورُبُع يوم إلاّ كسراً ما. ويتمّ^٢
- ^{٢-١} وعند غيرهم ... أوّل الليل: ناقص [د]، في الهامش مع إشارة [ج]. ^٣ الشهر: الشرع [ق]. ^٤ شهراً ... شهراً: الشهر ... والشهر [أ، د، ق]. ^{١١} ثلاثين: أحد عشر [د، هامش ج]. ^{١١} أحد عشر ثلاثين: ثلاثين ثلاثين [أ، ج، د]، ثلاثين [ق]. ^{١٢} ويزيدون: ويزيدون [د]. ^{١٦} في: ناقص [ج، ق]. ^{١٧-١٨} فمنها حقيقة: ناقص [ق]. ^{١٩} عودة: عود [ج]. ^{١٩} من: في [ق]. ^{١٩} وهذه العودة تقتضي عودة: وهذا العود يقتضي عود [أ، د، ج، ق]. ^{٢٠} ويحصل: ويحسب (وكتب أيضاً "يُحصل" في الهامش) [ج]. ^{٢٠} كسراً ما: كسر [ج].
- ^٢ ٩٧٥ ظ. ^٢ ١٠٩ و. ^٦ ب ٦٠ ظ. ^٦ د ٦٣ ظ. ^٧ ق ٦٢ و. ^٨ ج ٦٨ و. ^{١٤} ك ١٠٩ ظ. ^{١٥} ه ٩٨ و. ^{١٥} أ ٦٢ و.
- * انظر في تذكرة الطوسي، ص. ٣٠١: "وجوده متعذر ومع تعذره مختلف لاختلاف حركتيهما." ^١ كُتب في هامش نسخة ج: "هذا إنّما هو زيادة على كط لان وهو الشهر القمريّ فإنّنا إذا ضربنا كط ل في اثنا عشر حصل ه ند وإذا ضربنا ان في اثنا عشر حصل كب هو الخمس والسُدس."

en douze mois parmi les mois lunaires, et onze jours, sans compter les fractions. Tantôt, les gens considèrent que l'année va d'un jour où le Soleil arrive à l'équinoxe de printemps jusqu'au [jour où il revient au] même point. Ils font commencer ses mois aux jours où il arrive en de semblables points de l'écliptique ; ou bien ils comptent trente jours pour chacun de ses mois mais ils ajoutent au dernier cinq ou six jours. Les cinq jours sont dits *volés* ou *supplémentaires*, et le sixième est dit *intercalaire* (comme on dit avec l'année). Leurs années sont des années *solaires vraies*, et leurs mois sont des mois solaires vrais, ou bien des mois conventionnels qu'ils font commencer à n'importe quel jour ne coïncidant peut-être avec aucune observation de la position du Soleil. Ils choisissent des mois aux alentours de trente jours parce que les mois lunaires sont proches de cela.

[8] Tantôt, les gens prennent la fraction en sus des trois cent soixante-cinq jours égale à un quart exactement : ils intercalent un jour tous les quatre ans. Tantôt ils l'éliminent complètement. Ces années sont des années solaires conventionnelles. S'ils prennent en considération les mois lunaires, ils rendent l'année solaire en ajoutant, tous les trois ans ou tous les deux ans, un mois à l'année pour rassembler les [intervalles] de onze jours – en négligeant la fraction conventionnellement.

[9] Un peuple pose que douze mois lunaires font une année, et ils l'appellent *année lunaire*. Chaque peuple a une origine à laquelle il rapporte toutes les années de son histoire. La connaissance détaillée de ceci relève des livres de pratique.

Onzième section

Les degrés de passage des astres au méridien, leurs levers, et leurs couchers

[1] Le *degré de passage* de l'astre est le [point] du cercle de l'écliptique qui traverse le méridien en même temps que l'astre le traverse, et le cercle de déclinaison [de l'astre] indique [ce point]. On a déjà montré que le degré de longitude est indiqué par le cercle de latitude ; donc si ces deux cercles sont confondus, comme il arrive lorsque l'astre est sur le cercle passant par les quatre pôles, ou bien si [l'astre] a une latitude nulle, alors [le degré de passage et le degré de longitude] coïncident. Ailleurs qu'en ces deux positions, ils diffèrent.

[2] La différence s'appelle *anomalie du passage*, et l'arc de l'équateur situé entre son intersection avec

بأثنا عشر | شهرًا من الشهور القمرية وأحد عشر يومًا غير شيء من الكسور. وربما تُعتبر السنة من يوم تحلّ الشمس فيه نقطة الاعتدال الربيعي إلى تلك النقطة. ويأخذون شهورها من الأيام التي تحلّ فيها أمثال تلك النقطة من البروج؛ أو يعدّون الشهور ثلاثين ثلاثين، ويزيدون في آخرها خمسة أيام أو ستّة. وتُسمّى تلك الخمسة المسترفة ولواحق والسادس كبيسة على القول بالسنة. وسنو هؤلاء شمسية حقيقية، وشهورهم شمسية حقيقية أو اصطلاحية، وقد يعتبرونها من أي يوم يتفق من غير ملاحظة موضع الشمس. | ويصطلحون على | شهور تدور حول الثلاثين لكون الشهور القمرية | قريبة منه.

[٨] وربما يأخذون الكسر الزائد على ثلاث مائة وخمسة وستين ربعًا تامًا، ويكسبون في كلّ أربع سنين بيوم. وربما يحذفونه مطلقًا، | وهذه السنون شمسية اصطلاحية. وإذا اعتبروا الشهور القمرية، جعلوا السنة شمسية وزادوا في كلّ ثلاث سنين أو في كلّ سنتين شهرًا في السنة لاجتماع الأحد عشر يومًا غير | الكسر المذكور على حسب اصطلاحهم عليه.

[٩] وجعل قوم كلّ اثنا عشر من الشهور القمرية سنة، وسمّوها سنين قمرية. ولكلّ قوم مبدأ ينسبون سني تاريخهم إليه. ومعرفة تفاصيل ذلك متعلّقة بكتب العمل.

الفصل الحادي عشر

في درجات ممرّ الكواكب بنصف النهار وطلوعها وغروبها

[١] درجة ممرّ الكوكب، هي ما يمرّ من دائرة فلك البروج بنصف النهار مع مرور الكوكب به، وتحدها دائرة الميل. وقد تبين أنّ درجة الطول تحدها دائرة العرض، فإن اتّحدت الدائرتان، كما إذا كان الكوكب على الدائرة المارة بالأقطاب الأربعة، أو كان عديم العرض، اتّحدت الدرجتان. وفي غير هذين الموضعين تختلف الدرجتان.

[٢] وفيما بين الدرجتين يُقال له اختلاف | الممرّ، والقوس من المعدّل التي بين تقاطعه مع

^١ من: في [ق]. ^٢ الشهور: الشهر [ج]. ^٣ أيام: ناقص [أ]، في الهامش مع إشارة [د]. ^٤ تلك: الخمسة [أ، ق].
^٥ وسنو هؤلاء: وسنوها اولاً [د، ج] (كتب ناسخ "وسني هؤلاء" أيضًا في هامش نسخة ج). ^٥ شمسية: سميت [ج].
^٥ من: في [ق]. ^٥ أي: أول [د، ج]. ^٦ حول: ناقص [ق]. ^٦ لكون: تكون [ج]. ^٨ ربعًا: كتب في الهامش "ويجعلونه" مع إشارة إلى الموضع قبل "ربعًا" [هامش د]. ^{١٠} ثلاث: كتب أولًا "ثلاثين" ثمّ صحّحه إلى "ثلاث" ولكن كتب أيضًا "٣٠" في الهامش مع إشارة إلى موضعه [ج]. ^{١٠} سنتين: كتب في الهامش "٦٠" مع إشارة إلى هذا الموضع [ج]. ^{١٠} في السنة: ناقص [د]، في الهامش مع إشارة [ج]. ^{١٥-١٦} وطلوعها ... بنصف النهار: ناقص بسبب قفزة لتشاؤبه الكلمات [ق]. ^{١٦} هي: هو [د، ج]. ^{١٦} فلك: ناعص [أ]، في الهامش مع إشارة [د]. ^{٢٠} التي: الذي [ق].

١ ت ٤٤ظ. ٦ گ ١١٠و. ٦ ق ٦٢ظ. ٧ ج ٦٨ظ. ٩ ه ٩٨ظ. ١١ ب ٦١و. ٢٠ أ ٦٢ظ.

le cercle de latitude de l'astre et son intersection avec son cercle de déclinaison s'appelle *équation du degré de passage*. L'anomalie est maximale près commencements du Bélier et de la Balance, et elle est minimale près des commencements du Cancer et du Capricorne.

[3] Si le pôle de l'écliptique est sur le méridien, c'est-à-dire quand les deux points des solstices y sont aussi et quand les deux points des équinoxes sont à l'horizon, alors le passage de l'astre [au méridien] se fait en même temps que [celui du point indiquant] sa longitude, parce que le méridien est son cercle de latitude.

[4] Si celui des deux pôles [de l'écliptique] qui est visible est à l'est du méridien – ceci a lieu quand la moitié de l'écliptique centrée en l'équinoxe d'automne passe [par le méridien] et quand sa moitié sud se lève, si le pôle visible est au nord, ou bien quand la moitié de l'écliptique centrée en l'équinoxe de printemps passe [par le méridien] et quand sa moitié nord se lève, si le pôle visible est au sud – alors tout astre dont la latitude est du côté du pôle visible passe au méridien *après* son degré²⁸⁷. En effet, son cercle de latitude issu du pôle le plus proche rencontre au méridien l'astre en premier, puis il rencontre son degré seulement après avoir traversé le méridien et être passé à l'ouest ; [inversement], si son degré vient au méridien, l'astre est encore du côté est [du méridien]. [Dans les mêmes conditions], tout astre dont la latitude est du côté opposé au pôle visible passe au méridien *avant* son degré. En effet, le cercle de latitude en question rencontre le degré de l'astre (degré qui, lui, a été en premier au méridien), puis il rencontre l'astre seulement après avoir traversé le méridien et être passé à l'ouest.

[5] Si le pôle visible est à l'ouest – ceci a lieu quand la moitié de l'écliptique centrée en l'équinoxe de printemps passe [par le méridien] et quand sa moitié nord se lève, si le pôle visible est au nord, ou bien quand la moitié de l'écliptique centrée en l'équinoxe d'automne passe [par le méridien] et quand sa moitié sud se lève, si le pôle visible est au sud – alors tout astre dont la latitude est du côté du pôle visible passe au méridien *avant* son degré, et [tout astre] dont la latitude est du côté opposé passe [au méridien] *après* son degré, pour les mêmes raisons que dans le paragraphe précédent.

[6] Le degré du lever ou du coucher d'un astre est [le point] du cercle de l'écliptique qui se lève ou qui se couche en même temps que cet astre. Si l'astre a une latitude nulle, alors son degré de longitude est égal à son degré de lever et de coucher. Il en est de même

دائرة عرض الكوكب | وبين تقاطعه مع دائرة ميله يُقال | لها تعديل درجة الممر. وأكثر الاختلاف بين الدرجتين إنّما يكون فيما يقرب من أول الحمل والميزان، وأقلّه فيما يقرب من أول السرطان والجدي.

[٣] فإذا كان قطب | فلك البروج على دائرة نصف النهار، وذلك يكون عند كون نقطتي الانقلابين أيضًا ونقطتي الاعتدالين على الأفق، فمرور الكواكب حينئذ يكون مع درجاتها الطولية لأنّ دائرة نصف النهار تكون دائرة عرضها.

[٤] وإذا كان القطب الظاهر من قطبيه شرقياً عن نصف النهار - وذلك يكون عند مرور النصف من فلك البروج الذي يتوسطه الاعتدال الخريفيّ وطلوع النصف | الجنوبيّ منه إن كان القطب الظاهر شمالياً، أو عند مرور النصف الذي يتوسطه الاعتدال الربيعيّ وطلوع النصف الشماليّ إن كان القطب الظاهر جنوبيّاً - فالكواكب التي تكون عروضها في جهة القطب الظاهر تمرّ على دوائر نصف النهار بعد درجاتها، لأنّ دوائر عروضها الخارجة من القطب الأقرب تلاقي الكواكب في نصف النهار أولاً، ثمّ تلاقي درجاتها وقد مرّت وصارت غربيّة عن نصف النهار؛ وإذا وافت درجاتها نصف النهار كانت الكواكب شرقية البعد عنه. والكواكب التي تكون عروضها في خلاف جهة القطب الظاهر تمرّ | على نصف النهار قبل درجاتها، لأنّ دوائر العروض المذكورة تلاقي درجة الكواكب الكائنة على نصف النهار أولاً ثمّ تلاقي الكواكب وقد مرّت | وصارت غربيّة قبل ذلك.

[٥] وإذا كان القطب الظاهر غربيّاً - ويكون ذلك عند مرور النصف من فلك | البروج الذي يتوسطه الاعتدال الربيعيّ وطلوع النصف الشماليّ إن كان القطب | الظاهر شمالياً، أو عند مرور نصفه الذي يتوسطه الاعتدال الخريفيّ وطلوع النصف الجنوبيّ إن كان القطب الظاهر جنوبيّاً - فالكواكب التي تكون عروضها في جهة القطب الظاهر تمرّ قبل درجاتها والتي تكون عروضها في خلاف تلك الجهة تمرّ بعد درجاتها لما ذكر بعينه.

[٦] ودرجات طلوع الكواكب وغروبها وهي ما تطلع وتغرب من دائرة البروج مع الكواكب. فإن كانت الكواكب عديمة العرض، كانت درجة طولها هي درجة الطلوع والغروب. | وكذا إذا

^٤ قطب: قطبا [أ]. ^٧ وإذا كان القطب الظاهر: مكرّر [ج]. ^٧ قطبيه: قطبه [أ، ق]. ^٩ الربيعيّ: الخريفيّ [ق]. ^٩ الشماليّ: الجنوبيّ [ق]. ^{١٠} عروضها: عرضها [أ، ق]. ^{١٢} وافت: وافى [أ، د، ج، ق]. ^{١٤} نصف النهار: كتبوا "دوائر" قبله في هامش [د، ج]. ^{١٥} أولاً: ناقص [ج]. ^{١٥} وصارت: ناقص [د]. ^{٢٠} قبل: بعد [د، ج]. ^{٢١} بعد: قبل [د، ج]. ^{٢٢} درجات: ودرجة [أ، د، ق]. ^{٢٢} وهي ما: هي التي [ج، د]، وهي [ق]. ^{٢٣} العرض: العروض [ق]. ^{٢٣} طولها: أطوالها [ج، د].

د ٦٤٤ و. ا ١١٠ ظ. ٤ ٩٩٥ و. ٨ ج ٦٩ و. ١٤ ت ٤٥ و. ١٥ گ ١١١ و. ١٧ ب ٦١ ظ. ١٨ ه ٩٩ ظ. ٢٣ أ ٦٣ و.

d'un astre qui vient à l'horizon en même temps que le pôle de l'écliptique : l'horizon est alors son cercle de latitude puisqu'il passe par l'astre et par le pôle de l'écliptique.

[7] Si l'horizon est à latitude nulle, comme il arrive à l'équateur terrestre, alors le lever et le coucher d'un astre sont comme les passages au méridien pour les autres horizons. [Tout astre] qui vient à l'horizon en même temps que le pôle et le solstice se lève et se couche en même temps que son degré, comme on vient de le dire. [Tout astre] situé du côté du pôle visible de l'écliptique se lève avant son degré et se couche après. [Tout astre] situé du côté du pôle caché se lève après son degré et se couche avant. En effet, le cercle de latitude issu du pôle visible atteint l'astre situé du même côté, [quand l'astre est] à l'horizon, avant [d'atteindre] son degré de longitude ; et [il atteint] son degré de longitude, [quand celui-ci est] à l'horizon, avant [d'atteindre] l'astre situé du côté du pôle caché. Là, le pôle nord [de l'écliptique] est visible pendant le lever de la moitié centrée en l'équinoxe de printemps et pendant le passage de la moitié sud au méridien au dessus [de l'horizon]. Le pôle sud est visible pendant le lever de la moitié centrée en l'équinoxe d'automne et pendant le passage de la moitié nord au méridien.

[8] Dans les horizons inclinés, la règle du lever et du coucher des astres est comme nous l'avons décrite pour l'équateur terrestre. Quant au passage des moitiés de l'écliptique, il y a certes une différence. Il est possible qu'un des deux pôles [de l'écliptique] soit visible, et que [la partie] qui passe ou qui se lève soit un arc inférieur à une moitié, ou bien supérieur. La règle ci-dessus suit son cours, quand la latitude locale est supérieure à l'inclinaison [de l'écliptique], sans avoir à distinguer [de cas], parce qu'un des deux pôles de l'écliptique est alors toujours visible. La règle reste identique là où la latitude n'est pas supérieure : si celui des deux pôles de l'écliptique situé au nord est visible, alors la règle passe, mais s'il est caché, alors c'est la règle inverse. En effet, l'astre se lève alors après son degré et il se couche avant son degré si sa latitude est au nord, et inversement si sa latitude est au sud.

[9] Après réflexion, il ne vous échappera pas que le degré du lever de l'astre se lève de jour s'il est entre le Soleil et le point opposé [au Soleil], et qu'il se lève de nuit s'il est entre le point opposé et le Soleil. Le degré de coucher se couche de nuit s'il est entre ces deux-là, et il se couche de jour s'il est entre ces deux-ci. Parmi les astres situés sur un même grand cercle ²⁸⁸ coupé par la trajectoire diurne toujours visible maximale, ceux qui sont plus proches du pôle se lèvent avant ceux qui sont plus loins, et ils se couchent après ceux qui sont plus loins. C'est pourquoi l'écart entre les degrés de longitude et de lever est plus grand pour un astre proche du pôle que pour un astre loin [du pôle].

كانت الكواكب توافي الأفق مع قطب البروج لكون الأفق دائرة عرضها حينئذ لمرورها بالكواكب وقطب البروج.

[٧] فإن لم يكن للأفق عرض كما في خط الاستواء فطلوع الكواكب وغروبها فيه كمرورها على دائرة نصف النهار في سائر الآفاق. فما يوافي الأفق منها مع القطب والانقلاب يطلع | ويغرب مع درجته كما عُرف. وما يكون منها في جهة القطب الظاهر من فلك البروج يطلع قبل درجته ويغيب بعدها، والذي في جهة القطب الخفي يطلع بعد درجته | ويغيب قبلها، | لان دائرة العرض الخارجة من القطب الظاهر تنتهي إلى الكوكب الذي في جهته على الأفق قبل درجته وإلى الدرجة على الأفق قبل الكوكب الذي في جهة القطب الخفي. ويكون هناك القطب الشمالي ظاهراً مدة طلوع النصف الذي يتوسطه الاعتدال الربيعي ومرور النصف الجنوبي على نصف النهار من فوق، | والقطب الجنوبي ظاهراً مدة طلوع النصف الذي يتوسطه الاعتدال الخريفي ومرور النصف الشمالي | على نصف النهار.

[٨] وفي الآفاق المائلة حكم طلوع الكواكب وغروبها كما وصفناه في خط الاستواء. وأما مرور الأنصاف من فلك البروج فإن ذلك يختلف. إذ ربما يكون أحد القطبين منه ظاهراً، وتكون المارة والطالعة قوساً أصغر من النصف أو أكبر. ويترد حكمها المذكور فيما يزيد عرضه على الميل الكلي، من غير اختلاف، لأن أحد قطبي البروج فيه أبدي الظهور. وكذلك الحكم فيما لا يزيد عرضه عليه لأن الشمالي من قطبي البروج إن كان ظاهراً فالحكم كما مرّ وإن كان خفياً كان الحكم بالعكس، لأن الكواكب تطلع بعد درجاتها وتغرب قبل درجاتها إن كانت شمالية العرض وبالعكس إن كانت جنوبية العرض.

[٩] ولا يخفى عليك بعد التأمل، أن درجة طلوع الكوكب | إن كانت بين الشمس ونظيرها، طلع نهاراً، وإن كانت بين نظيرها والشمس، طلع ليلاً؛ وأن درجة غروبه، إن كانت فيما بين الأولين، غربت ليلاً، وإن كانت بين الآخرين غربت نهاراً. وإن أقرب الكواكب التي على دائرة عظيمة قاطعة لأعظم الأبدية الظهور من القطب الظاهر تطلع قبل أبعدها وتغرب بعد أبعدها. ولهذا يكون | التفاوت بين درجتي الطول والطلوع | للأقرب من القطب أكثر ممّا بين درجتي الأبعد منه.

^٤ دائرة: ناقص [أ، ق]، في الهامش مع إشارة [د]. ^{١٤} الميل: تمام الميل [هامش د، هامش ج]. ^{٢٠} نهاراً: نهارها [أ]. ^{٢٢} بعد: في الهامش مع إشارة [أ].

^٤ ج ٦٩ ظ. ٦ ق ٦٣ ظ. ٦ گ ١١١ ظ. ١٠ ه ١٠٠ و. ١١ د ٦٤ ظ. ١٩ گ ١١٢ و. ٢٣ أ ٦٣ ظ. ٢٣ ج ٧٠ و.

Douzième section

Détermination du méridien du lieu et de l'azimut de la *qibla*

[1] On détermine la *ligne méridienne* en prenant le Soleil à deux hauteurs égales de part et d'autre de sa hauteur maximale ; on trace les deux directions de son ombre portées par un même gnomon sur un terrain plan ; puis on bissecte l'angle formé entre elles. Pour ce faire, on prend le sommet de l'angle comme centre, on trace un arc de cercle qui coupe les deux ombres, et on mène une droite entre leur milieu et le centre. Cette droite est dans le plan du cercle méridien et on l'appelle ligne méridienne. La ligne passant par le centre et perpendiculaire à cette ligne est dans le plan du cercle origine des azimuts, et on l'appelle ligne de l'est et de l'ouest.

[Figure 29.]

[2] Voici une autre méthode pour déterminer [la ligne méridienne]. On installe un gnomon sur un terrain extrêmement plan ; on y trace un cercle de rayon deux fois plus long que le gnomon ; on observe l'entrée de l'ombre du gnomon dans le cercle avant midi, puis sa sortie [du cercle] après [midi] ; on fait une marque à l'entrée et à la sortie, on mène une droite entre le milieu de l'arc joignant les extrémités des deux ombres et le centre ; c'est la ligne méridienne. La ligne qui lui est perpendiculaire et qui passe par le centre du cercle est la ligne de l'est et de l'ouest. Ces deux lignes font quatre quarts de cercle, et on découpe chaque quart en 90 subdivisions égales afin d'y lire les azimuts là où l'ombre tombe sur la circonférence : [le nombre] de ces subdivisions entre le point de l'est ou de l'ouest et l'ombre est un azimut. Ce cercle s'appelle cercle *indien*.

[Figure 30.]

[3] L'azimut de la *qibla* est l'intersection de l'horizon du lieu et du cercle azimutal passant par le zénith du lieu et par le zénith de La Mecque. La ligne menée entre ce point [d'intersection] et le centre de l'horizon est la ligne d'azimut de la *qibla* ; c'est la flèche ²⁸⁹ de l'arc [de cercle] compris entre les bases du *mibrāb* qui est sur elle. Si l'orant en prière met cette flèche entre ses deux jambes en se prosternant dessus, alors il aura prié sur la circonférence d'un cercle à la surface de la Terre passant par la position de sa prosternation, ce qui est entre ses deux pieds et le centre de la Maison ²⁹⁰. Il aura donc fait face à la droite menée

الفصل الثاني عشر

في معرفة خط نصف النهار وسمت القبلة

[١] يُعرف خط نصف النهار بأن يُؤخذ ارتفاعان متساويان للشمس في يوم واحد عن جنبي غاية ارتفاعها، ويُخطّ على أرض مستوية سمتا ظلّيهما عن مقياس واحد، ثمّ يُنصف الزاوية الحادثة بينهما، بأن تُجعل نقطة الزاوية مركزًا وتُرسم قوس تقطع الظلّين، ويُوصل بين منتصفيهما والمركز بخطّ يكون في سطح دائرة نصف النهار، ويُسمّى خطّ نصف النهار. والخطّ المارّ بالمركز العمود على هذا الخطّ يكون في سطح دائرة أول السموت، ويُسمّى خطّ المشرق والمغرب والاعتدال*.

[صورة ٢٩.]

[٢] | ويُعرف بوجه آخر، وهو أن يُنصب مقياس على سطح أرض مستوية غاية الاستواء، ويُرسم عليها دائرة نصف قطرها بقدر ضعف المقياس، ويُرصد دخول ظلّ المقياس الدائرة قبل نصف النهار وخروجه عنها بعده، ويُعلّم على المدخل والمخرج، ويُوصل بين منتصف القوس التي بين طرفي الظلّين وبين المركز بخطّ مستقيم، وهو خطّ نصف النهار. والخطّ العمود عليه المارّ بمركز الدائرة، وهو خطّ المشرق والمغرب. وهذان الخطّان يربّعان الدائرة، ويُقسم كلّ ربع ص قسمًا متساوية لتُعرف منها مقادير السموت من خطّ الظلّ الواقعة على المحيط: إذ ما بين نقطة المشرق والمغرب وخطّ الظلّ من تلك الأقسام سمت. وهذه الدائرة تُعرف بالهندية.

[صورة ٣٠.]

[٣] | وسمت القبلة، نقطة تقاطع أفق البلد والدائرة السمتية المارّة بسمت رأسي البلد ومكّة. والخطّ الواصل بينها وبين مركز الأفق خطّ سمت القبلة، وهو سهم القوس التي بين أساس المحراب عليها. فالمصليّ، إذا جعل ذلك السهم بين رجليه ساجدًا عليه، يكون قد صلّى على محيط دائرة على بسيط الأرض لموضع سجوده وما بين قدميه ووسط البيت. إذاً يكون قد استقبل الخطّ الواصل

* نقطة: تلك [ج]. ١١ التي: الذي [ج]. ١٧ رأسي: رأس [ج]. ١٨ خطّ: هو [ج]. ١٨ التي: الذي [د، ج]. ١٨ المحراب: المحراب المصلا [ج]، المحراب المصلي [د]. ٢٠ لموضع: بموضع [أ]. ٢٠ إذاً: اذن [د، أ].

١ ٥ ١٠٠ ظ، ت ٤٥ ظ. ٩ ج ٧٠ ظ، ت ٤٦ و، ك ١١٢ ظ. ١٠ ك ١١٣ و. ١٧ ج ٧١ و، أ ٦٤ و، د ٦٥ و، ه ١٠١ و، ت ٤٦ ظ، ك ١١٣ ظ.

* كُتب في هامش نسخة د مع إشارة: "وصورته في الصفحة الآتية."

entre la Maison et le point au dessus d'elle nommé zénith de La Mecque, parce qu'il fait face à la Maison, et que l'horizon de La Mecque est au dessous de l'horizon de l'orant sans néanmoins atteindre le nadir de la Maison.

[4] *L'arc de déviation* de la *qibla* est l'arc de l'horizon entre son point d'intersection avec le cercle azimutal et son point d'intersection avec le méridien ; il mesure combien l'orant doit se détourner de la direction d'un des quatre points [cardinaux] – le nord, le sud, l'est ou l'ouest – pour faire face à la Maison.

[5] Pour déterminer les azimuts [de la *qibla*], il faut déterminer la longitude de La Mecque, celle du lieu supposé, et leurs latitudes. En prenant comme origine les îles Canaries, la longitude de La Mecque vaut soixante-dix-sept parts et un sixième ; en prenant comme origine la côte de la mer, elle vaut soixante-sept parts et un sixième ; sa latitude vaut vingt et une parts et deux tiers. La Mecque est à l'est de chaque pays dont la longitude est inférieure à la longitude de La Mecque, et elle est à l'ouest de chaque pays dont la longitude est supérieure à sa longitude. Si leur deux longitudes sont égales, alors La Mecque est sur le méridien [du pays], vers le sud si sa latitude est inférieure à la latitude [locale], et vers le nord si sa latitude est supérieure à la latitude [locale]. Si leurs deux latitudes sont égales, alors le pays et La Mecque sont ensemble sous la même trajectoire diurne ; si la longitude [locale] est moindre que la longitude de La Mecque, alors La Mecque est à gauche du point où se lève l'équinoxe pour ce pays ; et si la longitude [locale] est supérieure à sa longitude, alors La Mecque est à droite du point où se couche l'équinoxe ; mais elle n'est pas au point est dans le premier cas, ni au point ouest dans le second cas. En aucun des deux cas elle n'est sur la ligne de l'est et de l'ouest.

[6] En effet, puisque leurs longitudes diffèrent, le cercle origine des azimuts de l'un [des deux pays] est tangent à la trajectoire diurne mentionnée en un point distinct du point que touche le cercle origine des azimuts de l'autre [pays] ; donc [la trajectoire diurne et l'horizon] se coupent en des points distincts des points est et ouest, et les lignes de l'est et de l'ouest [des deux pays] ne sont les mêmes. Certes, ce qu'on a cru est pourtant vrai dans les contrées de l'équateur terrestre, et quelle que soit la longitude ; car tous les zéniths y sont sur l'équateur, et [l'équateur] est donc le cercle origine des azimuts de toutes [ces contrées].

[7] Parmi les moyens les plus simples pour déterminer l'azimut de la *qibla* en différentes longitudes ou même en différentes longitudes et latitudes, en voici un. On observe le passage du Soleil au zénith des gens de La Mecque – c'est-à-dire quand il est là-bas à midi dans le huitième ou le septième degré des Gémeaux ou bien dans le vingt-troisième degré du Cancer. On prend l'écart entre les deux longitudes. On pose une heure pour chaque [portion] de quinze parts d'écart, et quatre minutes pour chaque part.

بين البيت والنقطة التي تسامته من فوق المسماة بسمت رأس مكّة، لأنّه قد استقبل البيت، لأنّ أفق مكّة يكون تحت أفق المصلّي، فلا يسامت نظره البيت حينئذ.

[٤] وقوس انحراف القبلة، قوس من الأفق بين نقطتي تقاطعه مع الدائرة السمّية | ونصف النهار، وهذا هو قدر ما يجب أن ينحرف المصلّي عن مواجهة إحدى تلك النقط - أعني نقطة الشمال والجنوب والمشرق والمغرب - ليواجه البيت.

[٥] ولا بدّ لمعرفة السمّتين من معرفة طول كلّ واحد من مكّة والبلد المفروض وعرضه. وطول مكّة من جزائر الخالدات سبعة وسبعون جزءاً وشُدس جزء، ومن ساحل البحر سبعة وستون جزءاً وشُدس جزء، وعرضها أحد وعشرون جزءاً وثلاثاً | جزء. فكلّ بلد يكون طوله أقلّ من طول مكّة فمكّة شريفة عنه، وكلّ بلد يكون طوله أكثر من طول مكّة فمكّة غريبة عنه. وإن تساوى طولاهما فمكّة على نصف نهاره، جنوبيّة عنه إن كان عرضها أقلّ من عرضه، وشمالية إن كان عرضها أكثر. وإن تساوى عرضاهما كان البلد مع مكّة تحت مدار واحدٍ | يوميّ، فإن كان طوله أقلّ من طول مكّة فمكّة عن يسار مشرق اعتدال ذلك البلد، وإن كان طوله أكثر من طولها فمكّة | عن يمين مغرب اعتداله؛ لا على نقطة المشرق على التقدير الأوّل، ولا على نقطة المغرب على التقدير الثاني، ولا على خطّ المشرق والمغرب على التقدير كما ظنّ.

[٦] إذ لاختلاف طوليهما، يماسّ أوّل السموت لأحدهما المدار | المذكور على نقطة غير النقطة التي يماسّها أوّل السموت للآخر؛ فيتقاطعان على غير نقطتي المشرق والمغرب، فلا يكون خطّ مشرقهما ومغربهما واحداً. نعم ما ظنّ إنما يصحّ في مساكن خطّ الاستواء، وإن اختلفت في الطول؛ لأنّ سمت | رؤوس الجميع هناك على المعدّل إذ هو أوّل سموتهم.

[٧] ومن أسهل طرق معرفة سمت القبلة عند اختلاف الطول أو عند اختلاف الطول والعرض معا، أن يُرصد زمان مرور الشمس بسمت رؤوس أهل مكّة - وذلك عند كونها في الدرجة الثامنة والسابعة | من الجوزاء أو الدرجة الثالثة والعشرين من السرطان وقت أنصاف النهار هناك - ويُؤخذ التفاوت بين الطولين، ويُجعل كلّ خمسة عشر جزءاً من التفاوت ساعة وكلّ جزء أربع دقائق، فما

٤ النقط: النقطة [د، ج]. ° ليواجه: فيواجه [أ، د]. ٦ وطول: فطول [ج]. ٧-٨ ومن ساحل البحر ... وشُدس جزء: ناقص [د]، كُتب من يد آخر في الهامش [ج]. ٩ عنه، وكلّ بلد ... فمكّة: ناقص [د]، عنه وإلاّ فهي [ج، هامش د]. ١٤ على التقدير: كتب "على التقديرين" تحت السطر في الهامش [ج]. ٢٠ معا: ناقص [أ]. ٢١ والسابعة: ناقص [أ]، كتب أوّلاً "والسرمن" (؟) ثمّ ضرب عليه بالقلم وكتب في الهامش مع إشارة "السابعة" [ج]. ٢١ أو الدرجة: و [أ، د]. ٢١ أنصاف: انتصاف [ج]. ٢٢ جزءاً: ناقص [د، ج].

٣ ب ٦٣. ٨ گ ١١٤. ١١ د ٦٥. ١٢ هـ ١٠١. ١٥ ج ٧١. ١٨ أ ٦٤. ٢١ گ ١١٤. ظ.

Le total, ce sont des heures à compter de midi. Puis on fait une observation, le même jour, à cet instant avant midi si La Mecque est à l'est, après midi si elle est à l'ouest ; alors l'azimut de l'ombre du gnomon à l'heure [où tu observes] est l'azimut de la *qibla*.

[8] On a besoin de retrancher l'arc de déviation aussi bien quand les deux [pays] diffèrent seulement en longitude que quand ils diffèrent en longitude et en latitude ; mais quand il ne diffèrent qu'en latitude, alors l'azimut [de La Mecque] est sur la ligne méridienne, et l'orant fait donc face au point sud si la latitude de La Mecque est inférieure, et il fait face au point nord si sa latitude est supérieure. Dieu est le plus savant.

[9] Avec cette section s'achève la deuxième partie du livre « L'achèvement de l'enquête et la correction des fondements ».

Dieu fait réussir ce qui est juste, Il nous a donné suffisamment
et Il a comblé de bienfaits celui qui s'en remet à Lui.

اجتمع يكون ساعات البُعد من نصف النهار، ثم يُرصد في ذلك اليوم ذلك الوقت قبل نصف النهار إن كانت مكّة شريقيّة وبعده إن كانت غربيّة، فسمت ظلّ المقياس في ساعتك سمت القبلة. [٨] ويحتاج فيه إلى استخراج قوس الانحراف سواء إن كان الاختلاف بينهما في الطول فقط أو في الطول والعرض. وعند اختلافهما في العرض | فقط يكون سمتها على خطّ نصف النهار فيواجه المصلّي نقطة الجنوب إن كان عرض مكّة أقلّ ونقطة الشمال إن كان عرضها أكثر والله أعلم.

[٩] وبتمام هذا الفصل كملت المقالة الثانية من كتاب نهاية السؤل في تصحيح الأصول.

والله تعالى الموفّق للصواب وهو حسبنا ونعم الوكيل*.

^١ في: من (وكتب أيضًا "في" في الهامش) [ج]. ^٤ وعند اختلافهما في العرض فقط: وعند اختلافهما في الطول فقط يكون سمتهما على خطّ المشرق والمغرب فيواجه المصلّي نقطة المشرق إن كانت مكّة أطول ونقطة المغرب إن كانت مكّة أقلّ وعند اختلافهما في العرض فقط [ج، هامش د]. ^٨ تعالى: ناقص [ج].

^٤ ت ٤٧و.

* أُضيف إليه في نسخة د: "وصلّى الله على سيدنا محمّد وآله وصحبه وسلّم، وحسبنا الله ونعم الوكيل."

NOTES DE LA TRADUCTION

60. Qui observe et indique l'heure de la prière.

61. *Ta'liq al-arsād*, ouvrage perdu d'Ibn al-Šāṭir.

62. « Ce qui en émane procède d'une manière unique » : c'est un attribut du mouvement dans la classification qui va suivre.

63. Les comètes appartiennent-elles au monde sublunaire ou bien aux cieux ? Dans son « Mémoire d'astronomie », al-Ṭūsī laisse entendre qu'il s'agit d'éther (al-Ṭūsī, 1993, II.1 [6]), bien qu'elles appartiennent au monde sublunaire (*ibid.*, II.2 [5]). Elles seraient parfois emportées par le mouvement des cieux, à cause du fait qu'elles sont assez loin de la Terre (contrairement à la partie de l'air « adjacente à la Terre » qui se conforme au mouvement rectiligne, *ibid.*, II.1 [6]). Cf. néanmoins Neuhäuser *et al.*, 2016.

64. Ce paragraphe laisse déjà entendre qu'il y a deux doctrines, l'une affirmant que le mouvement des astres est un mouvement simple volitif, l'autre que le mouvement des orbites est un mouvement simple naturel. D'autre part, c'est la première mention d'un mouvement « composé simple ».

65. Voir l'analyse de ces deux doctrines dans mon commentaire p. 7.

66. Sur le mouvement simple-composé, voir mon introduction p. 8.

67. Le mot *masā'il* renvoie aux *masā'il darūriyya* de la préface : d'où ma traduction.

68. Ibn al-Šāṭir fait ici allusion aux deux modèles équivalents proposés par Ptolémée pour le mouvement du Soleil : l'un faisait intervenir un excentrique (de centre fixe distinct du centre du monde et dans la direction de l'auge, elle-même fixée, cet excentrique était en rotation uniforme autour de son propre centre), et l'autre faisait intervenir un épicycle.

69. Allusion aux deuxième et troisième modèles de la Lune dans l'*Almageste*.

70. Allusion au point de prosneuse dans le troisième modèle de la Lune dans l'*Almageste*, mais cette critique concerne aussi son deuxième modèle.

71. Première occurrence du mot *dirwa* que l'on traduit par « apogée » : c'est une extrémité du diamètre de l'épicycle parallèle à la direction Terre – astre moyen. On traduit *'awğ* par « auge » : c'est le point où le centre de l'épicycle est à distance maximale de la Terre. Voir la figure xxvii p. 247.

72. Littéralement, « accès et recès ».

73. Voir I.31.21.

74. Donc la parallaxe ne devrait pas être négligée dans l'observation du Soleil et des planètes inférieures (Lune, Mercure, Vénus).

75. « Un jour et une nuit » désigne ici un jour solaire. Un jour solaire est en effet un peu plus long qu'un jour tropique.

76. Ibn al-Šāṭir fait allusion ici à une première nomenclature. Il expliquera plus loin qu'une première nomenclature consiste à nommer les divisions du zodiaque selon les constellations (les « figures » formées par les étoiles, donc). La seconde nomenclature consiste à les nommer en partant du point vernal : la première division s'appellerait alors « Bélier » par pure convention, et elle ne longerait pas toujours la constellation du Bélier, à cause du mouvement de précession.

77. Le mot « signe » désigne désormais un arc de trente degrés de l'écliptique, et la locution « dans le sens des signes » indique l'ordre (conventionnel) des signes du zodiaque, c'est-à-dire d'ouest en est.

78. Ce grand cercle est le cercle méridien décrit dans le paragraphe suivant.

79. En général, je traduirai *mayl* par « inclinaison », sauf quand il s'agit justement de cette « première inclinaison » : je suivrai alors l'usage moderne en nommant cette coordonnée équatoriale « déclinaison ».

80. La coascension du degré de passage au méridien n'est autre que l'ascension droite de l'astre. Cf. I.8.1 où Ibn al-Šāṭir l'appelle *maṭāli' istiṭwā'iyya*. Remarquons que le terme couramment traduit par ascension ou coascension est toujours au pluriel en arabe, *al-maṭāli'*, litt. les ascensions.

81. Dans les modèles planétaires, la même expression « argument de latitude » désignera plutôt l'arc de l'écliptique entre le nœud et le degré de longitude de l'astre. Cf. I.9.34.

82. Est-ce pour autant qu'Ibn al-Šāṭir ne connaît pas la loxodromie ? Non, car il savait que, pour un pays à même latitude que La Mecque et situé à l'ouest, la direction de la *qibla* n'est pas le point est, et qu'elle est « à gauche » du point est (cf. II.12.6).

83. Pour cette traduction, voir al-Bīrūnī, 1985, note 1, p. 236.

84. *Al-'ufūq al-ḥādīt*, « l'horizon incident » : traduction littérale.

85. Al-Qūhī (x^e siècle) a fait œuvre de pionnier en commençant son « Traité sur l'art de l'astrolabe » par un chapitre théorique sur les projections coniques et cylindriques ; la lecture de ce chapitre est facilitée par l'important commentaire contemporain d'Ibn Sahl. Les deux textes sont édités et traduits par R. Rashed (2005, p. 878-939 et 940-967). Dans son traité, al-Qūhī écrit que « la sphère se projette, sur des surfaces de genres divers, par rapport à diverses positions » (*wa-al-kura tatasatṭahu 'alā sutūḥ muḥtalifa al-'aḡnās min mawāḍi'a muḥtalifa*). Il affirme que l'image d'un cercle par une projection conique ou cylindrique sur un plan est une section conique. Une autre étude, contemporaine, de la projection conique des cercles d'une sphère sur un plan quelconque nous est donnée par al-Sāḡānī (Abgrall, 2000). Dans le cas particulier de la projection stéréographique cher aux astrolabistes, l'image d'un cercle est un cercle, et cette propriété était déjà utilisée par Ptolémée (Abgrall, 2015). L'image des muqantars et des cercles de hauteur dans le plan de l'équateur forme alors deux faisceaux de cercles conjugués.

86. Voir Schjellerup, 1874, p. 88. C'est le double amas ouvert NGC 884 – NGC 869.

87. Voir Schjellerup, 1874, p. 204 et 207. Selon Kunitzsch (Ptolémée, 1986-1991, t. III, p. 198), il s'agit de λ d'Orion et le caractère nébuleux attribué par Ptolémée à cette étoile n'est pas à mettre sur le compte de la proximité des trois étoiles $\lambda\phi^1\phi^2$ car elles sont clairement séparables à l'œil nu.

88. Schjellerup (1874, p. 35 et 150) dit que c'est le « nez » (*natra*) du Lion ou son « museau » (*mabṭa*). C'est l'amas ouvert M44, en fait situé dans le Cancer. Voir Kunitzsch, 1961, 201 p. 88 ; et Ptolémée, 1986-1991, t. I, n. 1 p. 92.

89. Voir Schjellerup, 1874, p. 173, où le « dard » s'appelle *al-'ibra*, et p. 172 où il s'appelle *al-ḥuma*. Selon Kunitzsch (Ptolémée, 1986-1991, t. I, n. 6 p. 108), ce serait donc M7, visible à l'œil nu non loin du « dard » (le dard étant constitué des deux étoiles λ et ν du Scorpion).

90. Voir Schjellerup, 1874, p. 176 (8^e étoile du Sagittaire, c'est-à-dire ν^1 et ν^2).

91. C'est-à-dire sa vitesse.

92. C'est-à-dire relativement à un observateur situé sur Terre en un lieu dont la latitude locale serait donnée. Pour la définition du concept de climat, voir II.1.11.

93. Un exposé plus détaillé de cette thèse figure dans le commentaire d'al-Sayyid al-Šarīf al-Ġurḡānī (1339-1413) au « Mémoire d'astronomie » d'al-Ṭūsī ; voir passage traduit par Ragep (al-Ṭūsī, 1993, p. 410).

94. Al-Ṭūsī utilise précisément cet argument dans son « Mémoire d'astronomie » (al-Ṭūsī, 1993, II.2, p. 108) : selon lui, il est alors impossible que le mouvement de précession des étoiles fixes (huitième orbe) ait mêmes pôles que le mouvement diurne (neuvième orbe).

95. Celui qui « pense que c'est impossible » fait donc une sorte de raisonnement par l'absurde : la possibilité du mouvement en question ne peut s'expliquer que par l'hypothèse de l'« adhérence », mais l'adhérence empêche le mouvement propre du contenu. L'hypothèse de l'adhérence semble se décliner en trois hypothèses rejetées tour à tour : il y a toujours adhérence ; des points tantôt s'at-

tachent, tantôt se séparent ; le contenu est collé au contenant et cela freine le mouvement.

96. Ibn al-Šāṭir s'intéresse ici à la composition de trois mouvements concentriques : un mouvement propre, le mouvement d'un contenant, et le mouvement d'un autre contenant. Le Soleil est entraîné par un mouvement annuel ayant pour origine l'auge, dû au mouvement de l'« orbe parécliptique du Soleil ». Mais il est aussi entraîné par le mouvement diurne du neuvième orbe le contenant, et par le mouvement de l'auge. Le mouvement de l'auge doit être causé par le mouvement d'un autre orbe le contenant. Si cet orbe est le huitième (animé du mouvement de précession des fixes), alors les orbes intermédiaires (dont ceux de Jupiter et Saturne) doivent aussi être entraînés par ce mouvement comme par le mouvement diurne. Et sinon, alors il faut concevoir un autre orbe.

97. Le modèle du Soleil avec un épicycle, chez Ptolémée.

98. Ibn al-Šāṭir semble simplement répéter le raisonnement du paragraphe précédent. La structure de tout ce paragraphe et du précédent est confuse.

99. Justification des épicycles : bien qu'ils causent une certaine « composition », de toute façon les orbes ne sont jamais absolument « simples » (sauf le neuvième qui ne contient aucun astre...).

100. Si l'on utilise cette valeur pour calculer le Soleil moyen (Soleil moyen = centre + auge), les trois derniers rangs sexagésimaux diffèrent de la valeur donnée dans la suite du texte. On retiendra donc, comme valeur du mouvement du centre, 0;59,8,9,51,47 degrés par jour. Le manuscrit *G* corrige d'ailleurs cette erreur (voir apparat critique dans l'arabe).

101. Soixante années persanes.

102. Le texte porte « épicycle », mais il faut bien lire « déférent ».

103. La distance moyenne est atteinte lorsque le Soleil est sur la ceinture du parécliptique, c'est-à-dire lorsque la distance au centre du monde est de 60 parts. La résolution d'une équation de degré 2 montre que cette distance est atteinte lorsque le centre est de 3 signes et 0;18,2,25,27,47,11 degrés.

104. Il suffit pour le voir de construire une table de l'équation du Soleil en fonction du centre, comme avait pu en construire Ibn al-Šāṭir. Si on construit une telle table pour des valeurs du centre variant de demi-degré en demi-degré, on constate que l'équation maximale est atteinte quand le centre est entre 96;30 et 97 degrés, et qu'elle est alors supérieure à 2;2,5,10. La comparaison des premières différences montre que l'équation du Soleil ne peut, sur cet intervalle, varier de plus de 0;0,0,38 degrés quand le centre varie de 0;30 degrés. L'équation maximale est donc inférieure à 2;2,5,48. Une table plus précise montrerait qu'elle est de 2;2,5,13. Voir aussi le graphe de l'équation du Soleil dans mon commentaire, fig. VII p. 215.

105. Ibn al-Šāṭir veut dire l'équinoxe de printemps. À cause du « deuxième mouvement » (le mouvement de précession), le Bélier se déplace par rapport à l'équinoxe de printemps...

106. Comme en I.0.18, allusion au modèle du Soleil de l'*Almageste* (soit avec un excentrique, soit, de manière strictement équivalente, avec un épicycle).

107. Un modèle du Soleil avec un excentrique.

108. Dans les modèles avec un excentrique, il faut bien faire attention à quel centre se rapporte chaque paramètre angulaire (par rapport au centre de l'excentrique, ou non). Chez Ibn al-Šāṭir la question ne se pose pas, car à chaque orbe ne correspond qu'un unique centre. Mieux encore, les paramètres *centre*, *auge* et *Soleil moyen* désigneront tous des angles mesurés le long de cercles concentriques ; c'est plus compliqué chez Ptolémée.

109. Addition sexagésimale avec retenues.

110. Il faut lire seulement : trois signes, c'est-à-dire 90°.

111. Il faut lire plutôt : neuf signes, c'est-à-dire 270°.

112. Notons α le diamètre apparent du Soleil (c'est un angle), et OS sa distance au centre du monde. À distance moyenne, OS = 60 et $\alpha = 0^{\circ}32'32''$, or $\alpha \approx \sin \alpha$ est inversement proportionnel

à OS. On a donc, aux autres distances : $\alpha = \frac{0^{\circ}32'32'' \times 60}{OS}$.

113. *Almageste*, V.14.

114. Le mot *bubt* que je traduis par « vitesse apparente » est utilisé pour chaque astre dans le même contexte et semble désigner la vitesse angulaire mesurée par rapport aux étoiles fixes, c'est-à-dire l'arc parcouru par l'astre le long d'un grand cercle du huitième orbe, par unité de temps. Il ne faut sûrement pas y voir un concept défini de manière rigoureuse. Cette grandeur est, grossièrement, inversement proportionnelle à OS ; elle est donc, grossièrement, proportionnelle au diamètre apparent de l'astre. Pour le Soleil, on s'en convainc aisément en pensant à un modèle (approximatif) avec un excentrique. Quant à l'origine de ce mot, voir Neugebauer, 1962, chap. 29, note 1 p. 57.

115. C'est-à-dire lors des quadratures.

116. Au signe près, j'ai noté cette équation $c_2(\alpha, 0)$ dans mon commentaire, et elle sera désignée comme « deuxième équation » en I.11.6-8 ci-dessous.

117. Dans mon commentaire, c'est ce que j'ai noté, au signe près, $\chi(2\bar{\eta})(c_2(\alpha, 180^{\circ}) - c_2(\alpha, 0))$.

118. Notée $c_1(2\bar{\eta})$ dans mon commentaire.

119. Notée $e_n(\bar{\lambda} - \lambda_{\odot} + c_2)$ dans mon commentaire.

120. Ce coefficient est noté $\chi(2\bar{\eta})$ dans mon commentaire. Ceci est mieux expliqué en I.11.

121. « Ses dernières latitudes », c'est-à-dire les latitudes (nord et sud) maximales.

122. Les taches dues au relief à la surface de la Lune, comme on le sait depuis Galilée.

123. Le « cinq signes et 13;7,40,49,48,21 degrés », c'est ma correction (modulo 360 comme les valeurs suivantes) ; le texte arabe (y compris l'édition page ci-contre) donne « deux signes et 7;40,49,48,21 ».

124. Une année lunaire compte exactement douze mois lunaires.

125. Avec les notations adoptées dans mon commentaire mathématique, le mois lunaire moyen est $360^{\circ}/\bar{\eta}$. On trouve bien la valeur donnée ici, jusqu'au cinquième rang sexagésimal, à partir des paramètres adoptés par Ibn al-Šāṭir.

126. Le texte arabe (y compris l'édition ci-contre) dit « trois cinquièmes de soixantièmes de secondes », ce qui semble incohérent avec la valeur écrite en chiffres. Pourtant, en calculant l'année solaire avec un mouvement moyen par année persane de 359;45,40, on trouve 365 jours et 5;49,0,33,36 heures. Le 36 exprime donc bien « trois cinquièmes de soixantièmes de secondes », et l'erreur commise par le copiste serait alors d'avoir oublié trente-trois secondes. Mais la durée de l'année en jours donnée ensuite confirme le choix que nous avons fait (sinon, elle serait en effet 365;14,32,31,24).

127. Je n'ai pas compris cette phrase.

128. 'Aṭīr al-Dīn al-'Abharī.

129. Kūšyār b. Labbān.

130. La règle est la même que pour le Soleil, voir note 112 *supra*.

131. Al-Šāṭir donne donc trois valeurs du diamètre de l'ombre : 2;36, 2;42 et 2;40. La première, attribuée à Ptolémée, est rejetée sur la base d'observations.

132. Le « centre de la Lune » est donc ce qu'il a appelé précédemment (I.9.14 et I.9.33) l'« élongation double », c'est-à-dire la longueur de l'arc du rotateur entre le centre de la Lune et le point du rotateur où la distance (au centre de l'épicycle) est maximale. La description donnée à présent (« l'élongation entre le centre de l'épicycle et le point où la distance est maximale ») semble contredire le modèle d'Ibn al-Šāṭir : c'est qu'elle se rapporte en fait au modèle de Ptolémée, où la variation du diamètre apparent de l'épicycle est causée par un excentrique (voir fig. xv p. 229).

133. Six signes = 180° .

134. C'est donc la « troisième variation » du chapitre 9, notée c_1 dans mon commentaire.

135. C'est, au signe près, $c_2(\alpha, 0)$ dans mon commentaire, *i. e.* la « première équation » du chapitre 9.

136. C'est $(c_2(\alpha, 180^\circ) - c_2(\alpha, 0))$ dans mon commentaire.

137. C'est χ dans mon commentaire, appelé « coefficient d'interpolation » (*daqā'iq al-nisab*) au chapitre 9.

138. Je traduirai toujours *al-ta'dil al-muḥkam* par « équation ajustée ». Pour la Lune comme pour les autres astres, l'équation ajustée est celle calculée au moyen des transformations planes, après rabattement du plan de l'orbe incliné dans le plan de l'écliptique. Elle néglige donc l'effet des inclinaisons des orbes. Mais peut-être ce nom renvoie-t-il surtout au fait que cette équation est toujours calculée par interpolation.

139. C'est la « quatrième variation » du chapitre 9, notée e_n dans mon commentaire.

140. Voir chapitre 8.

141. Son « sens », c'est-à-dire si elle est orientée vers le nord ou bien vers le sud.

142. L'*argument de latitude* est ici l'argument de latitude *par rapport à l'écliptique* (de même que Ibn al-Šāṭir a distingué précédemment la Lune vraie par rapport à la ceinture de l'orbe incliné et la Lune vraie par rapport à l'écliptique). La *latitude entière* est l'inclinaison de l'orbe incliné par rapport à l'écliptique, 5° . Voir commentaire mathématique, p. 226.

143. Au signe près, c'est $c_2(\alpha, 0)$ dans mon commentaire. À nouveau, Ibn al-Šāṭir a changé de numérotation. Il désigne ici par « deuxième équation » celle qu'il appelait « troisième équation » au début de ce chapitre, et « première équation » au chapitre neuf.

144. « À distance minimale » : il veut dire ici quand le rayon de l'épicycle apparent est maximal, c'est-à-dire que la Lune peut être au plus proche de la Terre.

145. Veut-il dire simplement que l'interpolation se fait ici par soustraction plutôt que par addition ?

146. Dans ce qui suit, Ibn al-Šāṭir semble expliquer comment construire, pour chaque valeur du centre, une « table unique » contenant l'équation de la Lune propre et toutes les valeurs de l'équation ajustée correspondant aux différentes valeurs de la Lune propre (mais l'explication reste sujette à interprétation). Il conçoit donc une sorte de tableau à double entrée pour représenter l'équation ajustée comme fonction de deux variables : le centre et la Lune propre. Chaque colonne de ce tableau est elle-même une table, et il explique dans le paragraphe suivant comment construire la colonne correspondant à un centre de 90° .

147. L'orbe portant la Lune, c'est-à-dire l'orbe rotateur.

148. Peut-être veut-il dire qu'il y aura de nombreuses colonnes dans ce tableau à double entrée : en effet, une colonne pour chaque valeur de l'élongation double.

149. L'orbe portant l'épicycle, c'est-à-dire l'orbe incliné.

150. Deux minutes et demi font un vingt-quatrième.

151. Immobile, au sein du référentiel constitué par l'orbe rotateur.

152. Le mot « apogée », *dirwa*, désigne l'extrémité d'un diamètre de l'épicycle parallèle à la direction Terre – centre de l'épicycle. La grandeur appelée « mouvement de l'astre propre » désigne le mouvement de rotation de l'épicycle sur lui-même *relativement à ce diamètre* ; mais le mouvement de l'épicycle *relativement à l'orbe rotateur*, excédent du mouvement propre sur le mouvement du centre, intéresse Ibn al-Šāṭir davantage.

153. Voir la figure xxvii p. 247 pour mieux saisir la terminologie adoptée par Ibn al-Šāṭir pour les planètes supérieures et en particulier pour Saturne. L'*apogée apparent* et le *périgée apparent* sont les points de l'épicycle alignés avec le centre du monde et le centre de l'épicycle.

154. Cf. I.23.4.

155. Ibn al-Šāṭir ne prend plus la peine de préciser « le point en face de l'équinoxe de printemps », c'est-à-dire le point de l'orbe incliné situé à la même distance du nœud que l'équinoxe de printemps sur l'écliptique (cf. modèle de la Lune).

156. Je traduis *muḡawwam al-kawkab* ainsi que *taqwīm al-kawkab* par « astre vrai ».

157. Cette valeur est certainement corrompue : l'épaisseur de l'orbe incliné ne peut être inférieure à 26;40, diamètre de l'orbe déferent (voir paragraphe suivant).

158. Pour Saturne et pour les autres planètes, Kennedy et Roberts ont retrouvé les valeurs des auges à cette date par un calcul de précession au moyen des valeurs indiquées dans le *Ziğ* d'Ibn al-Šāṭir pour une autre date ; ceci confirme cette lecture, en particulier pour le chiffre 52 (voir Kennedy, Roberts, 1959, p. 232). D'autre part, la coïncidence des rangs fractionnaires des auges des cinq planètes pourrait s'expliquer par des données initiales arrondies au degré près pour l'année 1339 (cf. I.24.6).

159. Seulement pour les planètes supérieures (Saturne, Jupiter, Mars).

160. Ibn al-Šāṭir explique ainsi comment calculer la « troisième équation ajustée », c'est-à-dire l'équation due au mouvement de l'épicycle, en s'aidant des tables. Il doit y avoir trois colonnes numérotées C_2 , C_3 , C_4 , ainsi qu'un multiplicateur λ . Il dit de calculer $C_3 + \lambda C_4$ ou bien $C_3 + \lambda C_2$, avec λ « additif » ou « soustractif ».

161. Plus précisément, cette droite coupe l'épicycle en un point qui est son « apogée apparent » et qui sert d'origine pour mesurer l'astre propre corrigé. Voir fig. xxvii p. 247.

162. Il y a une petite incohérence dans la valeur du mouvement de l'astre propre, au niveau du troisième rang sexagésimal : le 50 devrait être un 40 si on calcule le mouvement propre comme différence entre Soleil moyen et Mars moyen. Cela peut venir d'une confusion entre Mars moyen et son centre (le mouvement des auges est environ 0;0,0,10).

163. Modulo 360°.

164. Le rayon du rotateur serait donc 0;50. Mais les calculs des rayons des orbes solides donnés plus loin laissent penser qu'il doit être 0;55, c'est-à-dire un demi, un tiers et un demi-sixième de degré.

165. Cet orbe qu'Ibn al-Šāṭir avait appelé *muḡīṭ* est maintenant désigné du nom de *šāmil*. J'ai traduit ces deux termes par « englobant ».

166. Ces deux orbes (englobant et protecteur) constituent un *couple d'al-Ṭūsī* (voir mon commentaire).

167. Il faut comprendre ces distances extrêmes comme étant les distances extrêmes de Mercure au centre du monde *quand Mercure est à l'auge ou au périégée*, c'est-à-dire quand $\bar{\kappa} = 0^\circ$ ou 180° . Le rayon de l'épicycle apparent est alors minimal.

168. Ibn al-Šāṭir déroge ici à son habitude qui consiste à choisir un même « complément », tantôt ajouté, tantôt soustrait, pour obtenir les distances minimale et maximale au sein du système d'orbes d'une planète : en prenant un même complément de 0;8, on obtiendrait en effet une distance minimale de 31 et une distance maximale de 89, or il affirme que la distance maximale est ici 89;30. Ce ne peut pas être une simple erreur de copie, car cette valeur est utilisée dans un calcul en I.31.20.

169. Les valeurs suivantes ont probablement été calculées à partir des valeurs observées par an ou en vingt années persanes. On obtient alors, par division, presque exactement la valeur donnée par jour 3;6,24,10,1,38,27,48,29 : seul le huitième rang est erroné.

170. Notée $c_1(\bar{\kappa})$ dans mon commentaire.

171. Ceci est erroné, il faut toujours ajouter quelque soit la valeur du centre (voir commentaire mathématique).

172. Notée $c_2(0, \alpha)$ dans mon commentaire.

173. C'est-à-dire à l'auge ou au périégée, en lesquels le couple d'al-Ṭūsī rend l'épicycle apparent moindre que le vrai.

174. Notée $c_2(180^\circ, \alpha) - c_2(0, \alpha)$ dans mon commentaire.

175. Noté $\chi(\bar{\kappa})$ dans mon commentaire.

176. Pour toutes les planètes sauf Mercure, il s'agit simplement du rayon constant de l'épicycle.

177. Cette manière « plus courante » conduirait aux tables auxquelles le chapitre I.14 fait implicitement référence. C'est ainsi que faisait Ptolémée.

178. Pour décrire la mesure de l'angle dièdre entre les plans de deux grands cercles, on utilisait habituellement l'expression « inclinaison maximale » ; mais Ibn al-Šāṭir oubliera souvent le mot « maximale » pour parler simplement d'« inclinaison ».

179. Dans ce paragraphe, ainsi qu'en I.24.20-22, I.25.2, I.25.6 et I.25.12-15, Ibn al-Šāṭir utilise le mot *'awğ* pour désigner l'apogée d'un petit orbe, et non pas l'auge. Ici, il s'agit sans aucun doute de l'apogée moyen (*dirwa wustā*) de l'épicycle. Pour mieux comprendre, voir fig. xxviii p. 249.

180. Trois cercles : le déférent, le rotateur et l'épicycle.

181. Ces valeurs et les suivantes sont tirées des tables de latitudes de l'*Almageste* (livre XIII). Les données de l'observation rapportées par Ptolémée sont respectivement : 2° , 3° , 1° , 2° , $-$, $4^\circ 20'$, 2° , 3° , 1° , 2° , $-$, 7° (Swerdlow, 2005, p. 45-46).

182. S'agit-il d'une confusion ou d'un autre titre de la *Nihāya al-'idrāk* de Quṭb al-Dīn, ou bien du titre d'un chapitre ?

183. Cf. I.0.26 ; voir aussi note 348 p. 260 *infra*.

184. Pour comprendre ce qui suit, voir les fig. 15 et 16 d'Ibn al-Šāṭir, et la fig. xxviii de mon commentaire p. 249. Le modèle exposé dans les paragraphes 13 à 23 ci-dessous suppose que la relation entre l'orbe incliné et l'orbe déférent correspond au cas (a) de ma fig. iv p. 205 ; de même pour la relation entre l'orbe déférent et l'orbe rotateur.

185. En fait, bien qu'ils deviennent parallèles, les deux plans ne sont jamais confondus. Ils le seraient si le rayon de la ceinture du déférent était nul, *i. e.* si le centre du rotateur était confondu avec le centre du déférent. Comme le rayon du déférent est petit devant le rayon de l'orbe incliné, cette hypothèse peut se justifier ; Ibn al-Šāṭir l'a aussi adoptée dans le paragraphe suivant et sur la figure 15.

186. Pour transcrire les lettres *a lā b ġ d h w z ṭ k m s ' s q* utilisées dans les figures 15 et 16, on utilisera respectivement les lettres A A' B Ġ D H W Z Ṭ K M S O Ṣ Q. Noter surtout le A' pour le *lām-alif lā*, et le O pour le *'ayn*.

187. Il faudrait plutôt dire « parallèle à la droite HT ». Voir fig. 16, où la position du point Ṭ est sans doute erronée.

188. Ce paragraphe semble faire allusion à un modèle alternatif où les relations des orbes correspondraient plutôt au cas (b) de ma fig. iv p. 205.

189. Ici, les manuscrits portent le mot « épicycle », cf. texte arabe. C'est pourtant le plan du rotateur qui doit subir l'inclinaison de $3^\circ 30'$; l'épicycle en hérite par composition.

190. Il est difficile de donner un sens précis à ces deux valeurs. Peut-être $1^\circ 3'$ désigne-t-elle la latitude nord maximale atteinte par Vénus quand le centre de l'épicycle est à la queue : le diamètre de l'épicycle passant par son apogée est alors incliné de $2^\circ 30'$ par rapport au plan de l'écliptique, et on a $1^\circ 3' \approx 2^\circ 30' \times \frac{43;33}{60 + 43;33}$. La valeur $8^\circ 40'$ semble en revanche être erronée, bien que les latitudes de Vénus puissent dépasser cette valeur dans le modèle fondé sur l'« amendement fait par les modernes ».

191. Le raisonnement peu rigoureux d'Ibn al-Šāṭir est à peu près le suivant. Pour chaque astre, aussi bien que pour la Lune qu'il a traitée dans un chapitre antérieur, l'inclinaison de l'orbe incliné a peu d'influence sur le mouvement en longitude (l'équation du déplacement, qu'il sait calculer, est faible). Donc les inclinaisons des autres orbes auront *a fortiori* une influence négligeable sur les mouvements en longitude.

192. L'objet de cette remarque est une coïncidence importante présente dans tous les modèles médiévaux ; ce sera un argument essentiel en faveur de l'héliocentrisme copernicien aux yeux de Kepler.

193. Cf. al-Bīrūnī qui parle d'*iḥtirāq* (mot construit sur la même racine) dans le même contexte, cité par Rashed, 2017, p. 154.

194. Mesuré le long d'un cercle de hauteur, cet abaissement maximal du Soleil sous l'horizon s'appelle « arc de visibilité » dans les paragraphes suivants.

195. C'est-à-dire que l'ombre portée sur le disque lunaire semble progresser dans le sens rétrograde, d'est en ouest. Ibn al-Šāṭir ne semble pas vouloir préciser ici si l'assombrissement commence plutôt au sud-est de l'écliptique (quand la Lune est au nœud descendant) ou bien au nord-est (quand elle est au nœud ascendant).

196. Au milieu du 4^e climat, 36°22' N (voir II.1.16). En de tels lieux, la parallaxe doit être retranchée de la latitude réelle de la Lune.

197. La distance minimale Terre-Lune aux syzygies est de 53 rayons terrestres selon Ibn al-Šāṭir (voir I.31.19), or $\arcsin(1/53) \approx 64;52$ minutes d'arc.

198. La parasange est une unité de longueur. On va voir que : 1 parasange = 3 milles ; 1 mille = 4 000 coudées des modernes ; 1 coudée des modernes = 24 doigts (1 coudée des anciens = 32 doigts) ; 1 doigt = 6 grains d'orge. Dans ce paragraphe, Ibn al-Šāṭir compte en coudées des modernes.

199. Si la circonférence terrestre est de 8 000 parasanges, et que la coudée des modernes mesure 144 grains d'orge, alors on a bien : $\frac{\frac{1}{2} \times 144}{8\,000 \times \frac{7}{22}} = \frac{198}{1\,000} \times \frac{1}{7} < \frac{1}{5} \times \frac{1}{7}$.

200. Coudées des anciens.

201. Coudée des anciens.

202. Ici, Ibn al-Šāṭir prend donc $\pi \approx 3 + \frac{1}{7}$.

203. Ces deux mesures de volume ne sont pas parfaitement exactes si l'on adopte les valeurs données ci-dessus pour la surface et le diamètre du globe. Si, comme pour les anciens, la longueur du méridien est 8 000 parasanges, on devrait avoir : $\text{volume de la Terre} = \frac{\text{surface} \times \text{diamètre}}{6} = 8\,639\,118\,457 + \frac{36 + 1/3}{121}$ parasanges cubes. Si la longueur du méridien est 6 800 parasanges, on devrait avoir un volume de $5\,305\,498\,622 + \frac{71 + 1/3}{121}$ parasanges cubes.

204. Autrement dit, la distance du Soleil et son diamètre apparent sont inversement proportionnels : $\frac{\text{diamètre apparent du Soleil}}{60} = \frac{0;32,32}{\text{distance du Soleil}}$.

205. Il y a erreur : $\frac{0;32,32}{0;30,18} = 0;64,25,20$. Hélas la valeur 0;62,30 sera utilisée dans la suite du texte.

206. Cette valeur est un peu supérieure à celle annoncée en I.9.8 et I.10.5 : si le diamètre de la Lune mesure 0;32,54 parts, son rayon mesure seulement $0;16,27 \times 0;58 = 0;15,54$ rayons terrestres. Mais cela ne remet pas en cause les dimensions du système d'orbes adopté par l'auteur pour la Lune, car, en I.9.31, il compte large en ajoutant 1 part à la distance maximale Terre-Lune (68 parts) et en retranchant 1 part de sa distance minimale (52 parts).

207. En effectuant ce calcul, on trouve que le rayon de l'ombre vaut 0;45,15,17,41,6 rayon terrestre ; hélas, la suite révèle que Ibn al-Šāṭir a mené le calcul en supposant que le rayon de l'ombre est 0;45,30,19,41.

208. On a en effet $45;30,19,41 + 16;39,29,42 = 62;9,49,23$, et $120 - 62;9,49,23 = 57;50,10,37$.

209. Ce calcul de la distance Terre-Soleil comprend donc deux erreurs : l'estimation du rayon de l'ombre et la valeur 0;62,30. Si l'on corrige ces deux erreurs, la distance moyenne du Soleil est 1 840 rayons terrestres. Mais il est peu sensé de vouloir « corriger » ainsi les erreurs de calcul de l'auteur, car ce procédé pour calculer la distance Terre-Soleil est trop sensible à la précision des données de l'observation. Notons u le sinus du rayon apparent de la Lune à distance maximale, et C le « coefficient de l'ombre », $C = 2;43$. La distance Terre-Soleil lors de syzygies où les deux rayons apparents sont égaux est, selon Ibn al-Šāṭir : $\frac{63}{63(1+C)u-1}$. Comme le dénominateur (c'est ZY dans le texte) est de l'ordre de 0;2, on voit aisément qu'une erreur relative de 1 % sur u ou sur C conduit à une erreur relative de 30 % sur la distance Terre-Soleil !

210. Il y a une erreur de calcul ou de copie : on trouve 7;41,56 et non 7;42,53.

211. *Almageste*, V.14.

212. Est surtout en cause l'estimation de la distance Terre-Soleil. Selon al-'Urḏī, la distance minimale des orbites du Soleil vaut seulement $2 \times 577;2,30 = 1154;5$ rayons terrestres. Voir Goldstein, Swerdlow, 1970, p. 159.

$$213. 49140 \times \frac{74}{46} = 79051 + \frac{7}{23} \simeq 79051 + \frac{7}{24} = 79051 + \frac{1}{6} + \frac{1}{8}.$$

214. Al-'Urḏī compte parmi les « modernes » : voir Goldstein, Swerdlow (1970, p. 161-163 et n. 11 p. 170). Ces auteurs montrent qu'al-'Urḏī offre « une critique bien fondée des arguments de Ptolémée sur les diamètres apparents dans les Hypothèses planétaires ».

215. En parts telles que le rayon de l'orbite incliné de Mercure en compte 60, le rayon du globe planétaire est donc $0;2,24 \times 31/67 = 0;1,7$ parts. La provision de 0;8 parts admise en I.21.10 était donc amplement suffisante.

216. Erreur : l'unité est le rayon de la Terre, et non son diamètre. Le diamètre de Mercure est donc 0;4,48 rayon terrestre, son rayon est 0;2,24 rayon terrestre. L'auteur commet la même erreur pour les autres planètes (on s'abstiendra de le mentionner). Ce n'est pas une simple erreur textuelle puisqu'elle entache aussi le calcul des volumes des globes planétaires.

217. Ibn al-Šāṭir suit donc Ptolémée en supposant que Vénus mesure $\frac{1}{10}$ du diamètre du Soleil quand la planète est à *distance moyenne*. Al-'Urḏī avait remarqué que la planète à distance minimale aurait alors un diamètre jamais observé. Si on suit les distances calculées par Ibn al-Šāṭir, elle mesurerait en effet $\frac{1}{10} \times \frac{829}{193 + \frac{1}{3} + \frac{1}{10}} > \frac{2}{5}$ du diamètre du Soleil. Ibn al-Šāṭir attribuait le défaut d'observation à une illusion d'optique (voir plus loin, I.31.44).

218. En parts telles que le rayon de l'orbite incliné de Vénus en compte 60, le rayon de son globe planétaire est donc $0;23 \times \frac{14}{193;26} = 0;1,40$. La provision de 0;20 part admise en I.19.6 est donc amplement suffisante.

219. 8 032 est la moyenne entre la distance minimale du système d'orbites de Mars (1 890) et sa distance moyenne à la Terre $\frac{1890 + 26460}{2} = 14175$ rayons terrestres. Le raisonnement d'Ibn al-Šāṭir est le suivant. Si le diamètre de Mars mesurait $\frac{1}{20}$ du diamètre du Soleil quand Mars est à distance moyenne (14 175 rayons terrestres), la planète mesurerait, à distance minimale, $\frac{1}{20} \times \frac{14175}{1890} = 0,375 > \frac{1}{10}$ du diamètre apparent du Soleil, et elle paraîtrait alors plus grande que Vénus quand Vénus est à distance moyenne. Même quand Vénus est à distance minimale, Vénus mesure $\frac{1}{10} \times$

$\frac{829}{193 + \frac{1}{3} + \frac{1}{10}} \approx \frac{4}{10}$ du diamètre apparent du Soleil. Mais, à l'observation, Mars semble toujours nettement plus petit que Vénus, donc Ibn al-Šāṭir considère que la mesure de Ptolémée se rapporte à une distance de 8 032 rayons terrestres, distance intermédiaire entre distance minimale et distance moyenne. Ce choix ne résoud pas entièrement le problème : sous cette hypothèse, Mars mesure, à distance minimale, $\frac{1}{20} \times \frac{8\,032}{1\,890} \approx 0,212$ fois le diamètre apparent du Soleil, et c'est encore supérieur au diamètre apparent de Vénus quand Vénus est à distance moyenne. Mais Ibn al-Šāṭir jugeait que les observations du diamètre apparent de Mars pouvaient subir, comme pour Vénus, l'effet d'une illusion optique (I.31.44).

220. En parts telles que le rayon de l'orbe incliné de Mars en compte 60, le rayon de son globe planétaire est donc $1;50 \times \frac{8}{1\,890} \approx 0;0,28$. La provision de 0;30 parts admise en I.17.6 suffit donc amplement.

221. En parts telles que le rayon de l'orbe incliné de Jupiter en compte 60, le rayon de son globe planétaire est donc $14;30 \times \frac{42}{28\,811} \approx 0;1,16$ part. La provision de 1 part (I.15.8) suffit amplement.

222. Erreur : à la fin du chapitre I.12, Ibn al-Šāṭir a montré que la distance minimale *atteinte* par Saturne, rapportée au rayon de la ceinture de son orbe incliné, est 50;5. En rayons terrestres, cela fait donc : $\frac{49\,140 + 79\,051 + \frac{1}{6} + \frac{1}{8}}{2} \times 0;50,5 \approx 53\,502$, et non 49 968.

223. En parts telles que le rayon de l'orbe incliné de Saturne en compte 60, le rayon de Saturne est donc $12;46 \times \frac{46}{49\,140} \approx 0;0,43$ part, ce qui est bien inférieur à la provision de 0;40 part faite en I.12.34.

224. Ibn al-Šāṭir peut avoir emprunté ces valeurs à al-'Urḍī (cf. Goldstein, Swerdlow, 1970, p. 167). Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī (1993, IV.7 [3]) procède plutôt de la manière suivante. Si les étoiles de 1^{re} magnitude mesurent $\frac{1}{20}$, il considère que la différence entre les étoiles d'une magnitude donnée et celles de la magnitude suivante est $\frac{1}{6} \times \frac{1}{20}$; donc les étoiles de 6^e magnitude mesureraient $\frac{1}{120}$, celles de 5^e mesureraient $\frac{2}{120}$, ... , et celles de 2^e mesureraient $\frac{5}{120}$. Sous cette hypothèse, ce serait donc les étoiles de 3^e magnitude qui mesureraient $\frac{1}{30} = \frac{4}{120}$, contrairement à l'affirmation d'Hipparque, selon Ptolémée, que les étoiles les plus petites (donc, de 6^e magnitude) mesurent $\frac{1}{30}$.

225. Pour ce début de phrase ici très lacunaire, cf. le texte même des « Hypothèses planétaires », dans la traduction de Régis Morelon : « ... cette variation est manifeste pour l'ensemble de ce qui apparaît et se voit à grande distance. Car de même que les distances elles-mêmes sont telles que leurs valeurs ne sont pas connues par ce que l'œil perçoit, et que l'intervalle situé entre les objets de tailles différentes n'est pas connu selon la proportionnalité de leurs distances, en raison de la façon dont le regard recueille et saisit ces distances, en les sous-estimant [et en les ramenant] à ce qu'il lui est plus facile de connaître... » (Morelon, 1993, p. 82).

226. Cf. l'édition critique de Morelon, 1993, l. 14 p. 83 – l. 4 p. 85 ; voir aussi Rashed, 1992.

227. Je suis ici Ragep qui traduit *ḥurāfāt al-abkāmīyyīn* par *the fairy tales of the astrologers*. Selon al-Ṭūsī, ces fables placent ces contrées « sous les cercles horaires au sud de l'équateur situés entre [les lieux] où descendent les deux luminaires » (al-Ṭūsī, 1993, p. 248) : faut-il comprendre qu'il s'agit de contrées situées entre 23°31' et 28°31' S ? (Ce sont les latitudes sud maximales respectives du Soleil et de la Lune selon les modèles d'Ibn al-Šāṭir.)

228. Le « Mémoire d'astronomie » d'al-Ṭūsī (1993, p. 248) : « sinon, pourquoi l'un des deux quarts nord serait-il approprié à l'habitation plutôt que l'autre, en dépit de leur situation égale par

rapport aux cieux ? »

229. Le golfe d'Aden où se trouve la ville de Berbera.

230. La mer Rouge.

231. Le golfe d'Oman.

232. La mer Baltique.

233. La mer Caspienne.

234. La mer d'Aral.

235. Les Hébrides, l'Islande ou la Norvège peut-être.

236. Cf. al-Ṭūsī, 1993, p. 251.

237. Début 12;40. Milieu 16;37,30.

238. Début 20;27. Milieu 24;40.

239. Début 27;30. Milieu 30;40.

240. Début 33;37,30. Milieu 36;22.

241. Début 38;54. Milieu 41;15.

242. Début 43;22,30. Milieu 45;21.

243. Début 47;12. Milieu 50;20.

244. Dans II.1.23-29, je laisse en italiques, translittérés comme j'ai pu, les toponymes que je n'ai pas su identifier.

245. La mer Rouge.

246. Sistan ?

247. Aujourd'hui Baniyas.

248. Apollonie.

249. Péluse.

250. Aujourd'hui Türkmenabat au Turkmenistan.

251. Aujourd'hui Diyarbakır en Turquie.

252. Tripoli du Liban.

253. La ville antique d'Amorium, aujourd'hui Hisarköy en Turquie.

254. Dans le Xinjiang.

255. Aujourd'hui Sayram, au Kazakhstan.

256. Aujourd'hui Istaravchan au Tadjikistan.

257. Silvan, en Turquie.

258. Au bord du lac de Van.

259. La mer Méditerranée.

260. La mer Caspienne.

261. D'après Kazimirski, nom générique donné aux peuples du Nord-Est de l'Europe.

262. Aujourd'hui Derbent en Russie.

263. Le second mouvement est le mouvement du huitième orbe, c'est-à-dire le mouvement de précession des fixes.

264. *L'amplitude ortive d'un astre* mesure donc, à l'horizon, l'arc entre le point où se lève les équinoxes et le point où se lève l'astre. L'amplitude occase est relative aux couchers.

265. Avicenne.

266. Al-Rāzī.

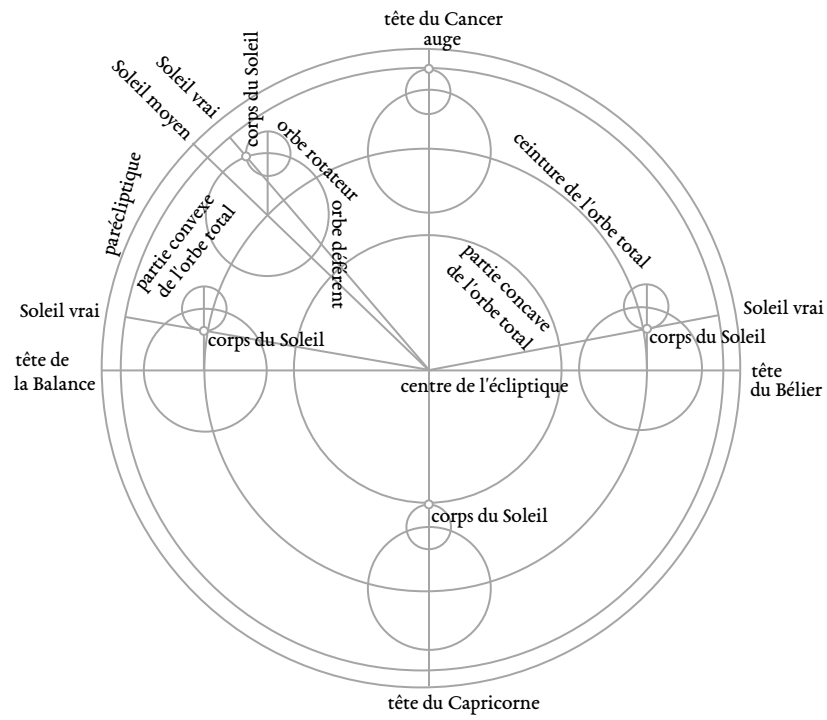
267. L'arc visible de l'une des deux trajectoire est égal à l'arc caché de l'autre, et inversement.

268. Le point est, à l'horizon.

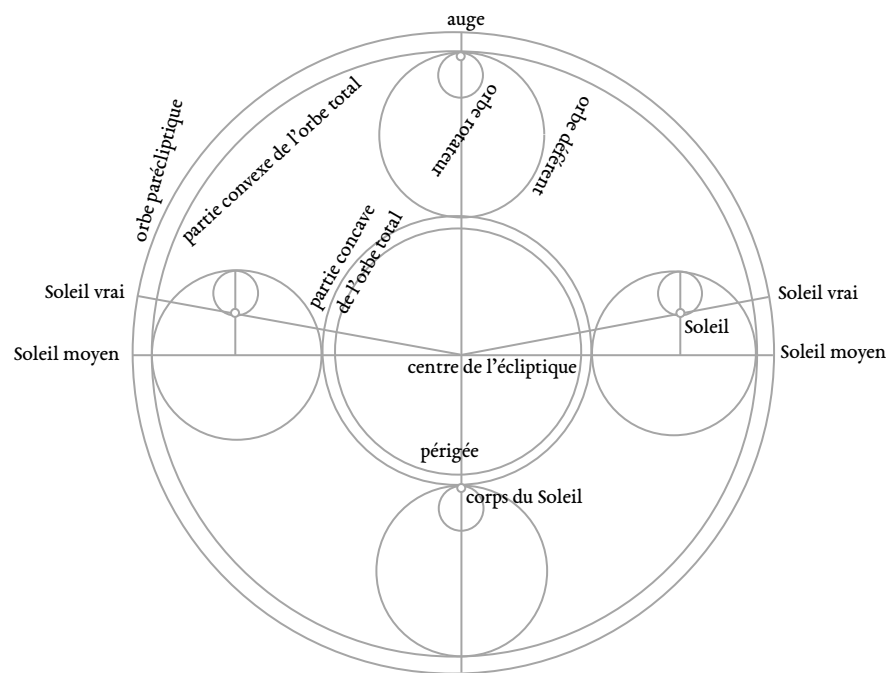
269. Le point ouest, à l'horizon.

270. La hauteur négative, *al-inḥiṭāt* que j'ai ailleurs traduit par « l'abaissement », désigne une hauteur mesurée le long d'un grand cercle perpendiculaire à l'horizon mais *sous* l'horizon.
271. C'est-à-dire au dessus de l'horizon.
272. C'est-à-dire sous l'horizon.
273. Le sens direct est ici le sens du mouvement diurne, c'est-à-dire d'est en ouest ; ce n'est donc pas le sens « des signes ».
274. Ceinture de l'écliptique et horizon.
275. La partie ayant survécu du traité d'Ibn al-Hayṭam sur « La configuration des mouvements des sept astres errants » concerne précisément cette question (voir Penchèvre, 2019, section 1.3, p. 145-148).
276. Ici, « trajectoire » ne désigne pas une trajectoire diurne bien qu'il s'agisse du même mot. C'est plutôt la trajectoire de l'étoile par rapport au référentiel attaché au neuvième orbe : il s'agit d'une trajectoire circulaire dans un plan parallèle à la ceinture de l'écliptique. Rappelons que pour Ibn al-Šāṭir le mouvement de précession, *i. e.* le « deuxième mouvement », est le mouvement de rotation du huitième orbe – les étoiles fixes – autour d'un axe incliné par rapport à l'axe nord-sud au sein du référentiel attaché au neuvième orbe.
277. C'est-à-dire un arc de 60° adjacent à l'équinoxe le long de l'écliptique.
278. La coascension calculée à l'équateur terrestre, c'est-à-dire l'ascension droite.
279. Littéralement, le « jour avec sa nuit ».
280. C'est-à-dire la différence entre jour solaire et jour sidéral.
281. Voir II.7 ci-dessus.
282. Un plan médiateur du cône.
283. Parmi les directions situées dans le même cercle de hauteur que le Soleil, celle où l'observateur voit la clarté en premier est normale au cône d'ombre, car la distance à la surface du cône est minimale le long de la normale. C'est mieux expliqué chez al-Ṭūsī (1993, p. 294-297).
284. Peut-être est-ce là une manière d'expliquer l'absence de vocabulaire spécifique aux différentes phases du crépuscule, sur le modèle aurore trompeuse / aurore franche.
285. Pendant la période de l'année où l'abaissement maximal du Soleil sous l'horizon est inférieur à 18°, aurore et crépuscule seront contigus.
286. Les deux « temps » sont le jour et la nuit.
287. Le « degré » de l'astre marque ici l'intersection entre son cercle de latitude et le cercle de l'écliptique : c'est son « degré de longitude » (défini en I.4.9).
288. Sous-entendu, un cercle de latitude.
289. La flèche : la médiatrice de la corde d'un arc de cercle.
290. La maison sacrée, c'est-à-dire la *Ka'ba*.

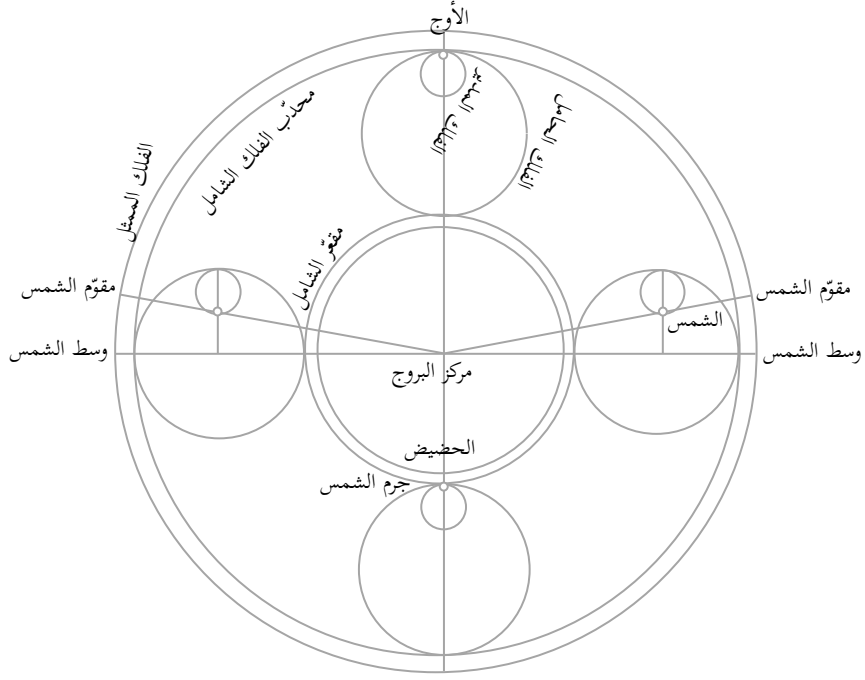
FIGURES



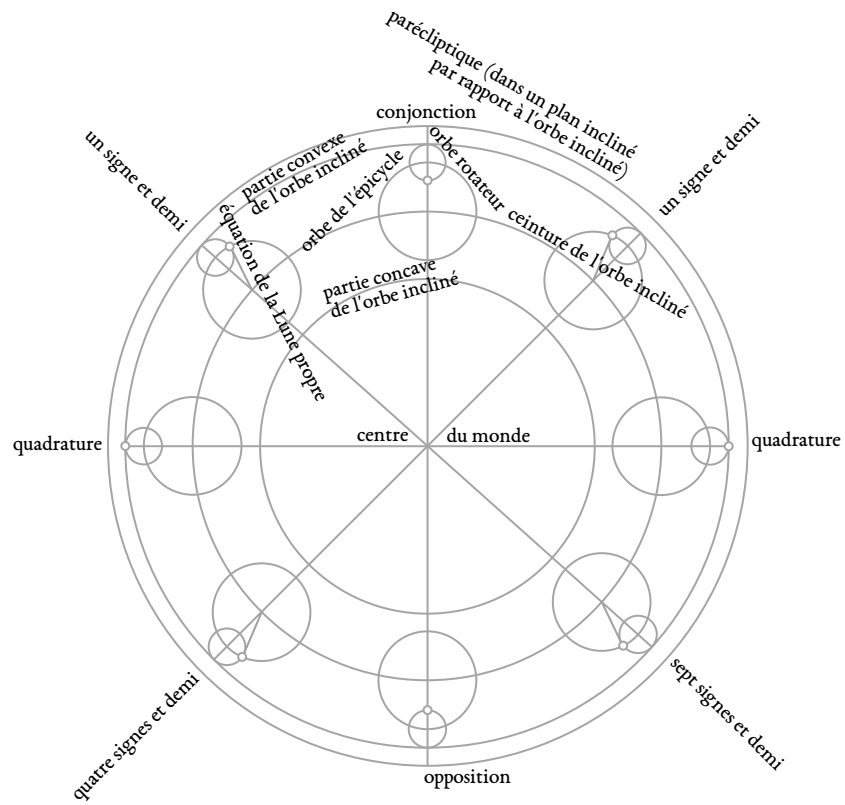
[I.7.3. Figure 1 :] Les orbes du Soleil figurés par les trajectoires des centres des sphères.



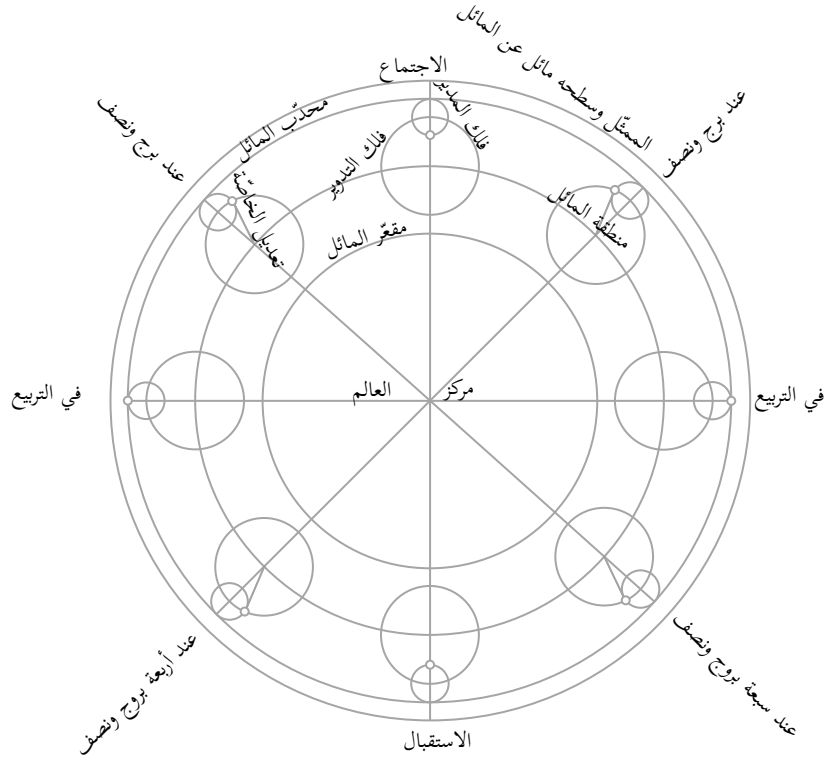
[I.7.7. Figure 2 :] Les orbes solides du Soleil qui sont des sphères solides entières.



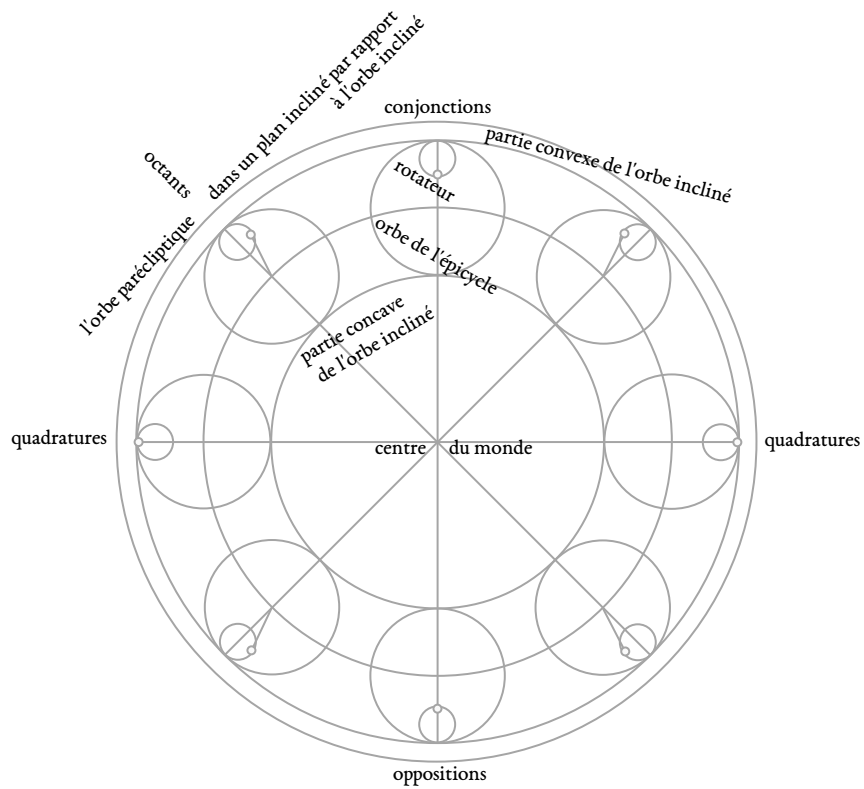
[صورة ٢:] صورة أفلاك الشمس المجسّمة وهي كرات
 مجسّمة تامّة [س ١٧ظ، أ ١١ظ، د ٢٨ظ، ج ١٣و].



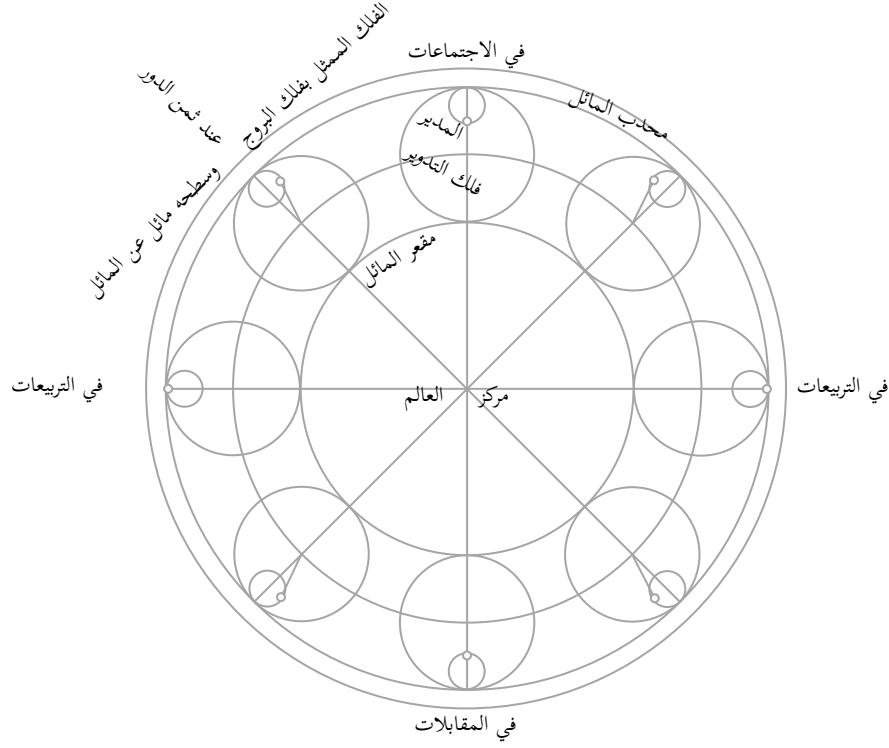
[I.9.34. Figure 3 :] Les orbites de la Lune figurés par les trajectoires des centres des sphères. Nous y avons représenté l'orbe de l'épicycle et le rotateur en huit positions : la conjonction, l'opposition, les quadratures et les octants.



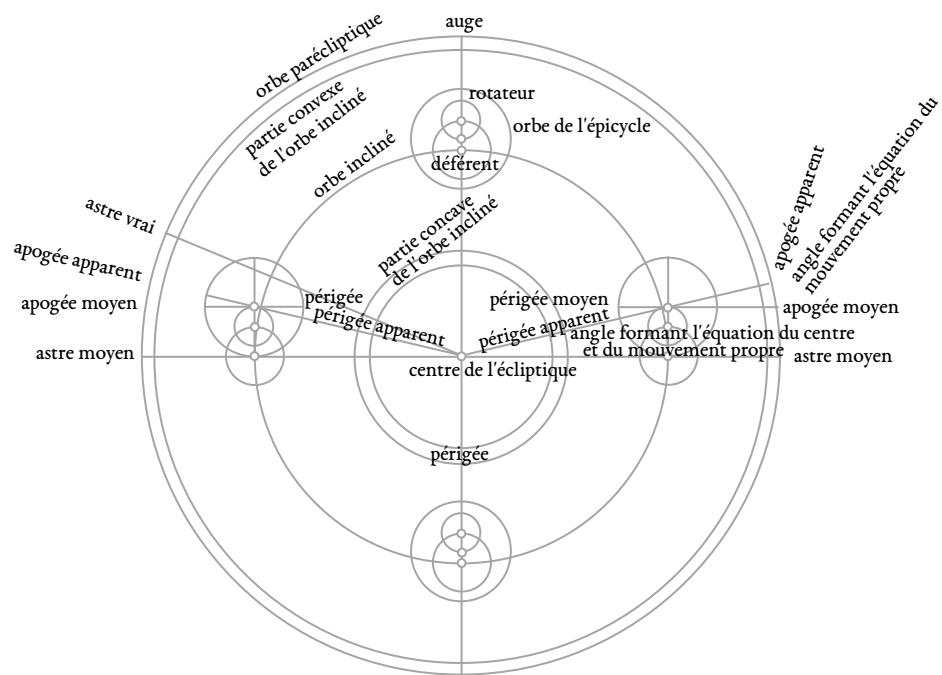
[صورة ٣:] وهذه صورة أفلاك القمر وهي مدارات مراكز الأكر التامة على حسب ما يتصور على البسيط لإقامة البراهين وحساب التعاديل على أننا صورنا فلک التدوير والمدير في ثمانية أماكن وتلك الأماكن هي الاجتماع والاستقبال والتربيع وفي أنصاف الأرباع ليسهل تصور ذلك في كل مكان [أ ١٦ ظ، د ٣٢ و، ج ١٨ و].



[I.9.34. Figure 4 :] Les orbes solides de la Lune mus de mouvements simples uniformes en leurs centres. Le plan de la figure est le plan de l'orbe incliné : on a vu que le plan de l'orbe incliné est incliné par rapport au plan de l'écliptique ou du parécliptique d'une inclinaison égale à la latitude de la Lune.



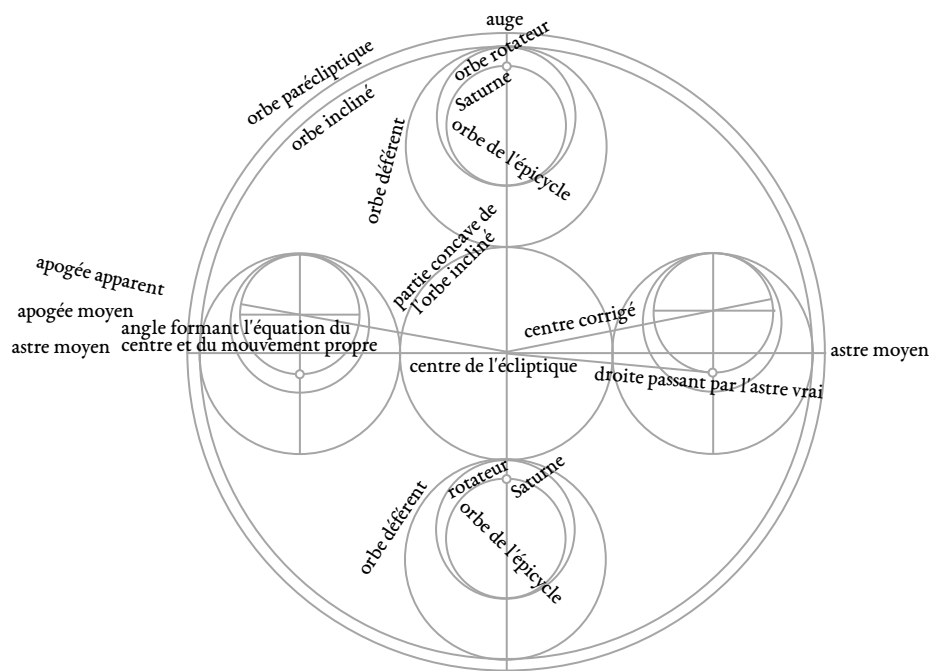
[صورة ٤:] وهذه صورة أفلاك القمر المجسّمة على أنّها كرات تامّة متحرّكات حركات بسيطة مستوية عند مراكزها حسب ما يُتصوّر في البسيط الذي هو سطح المائل وقد تقدم أن سطح المائل مائل عن سطح البروج أي الممّثل ميلاً واحداً نهايته مثل عرض القمر [أ ١٧، د ٣٢، ج ١٩].



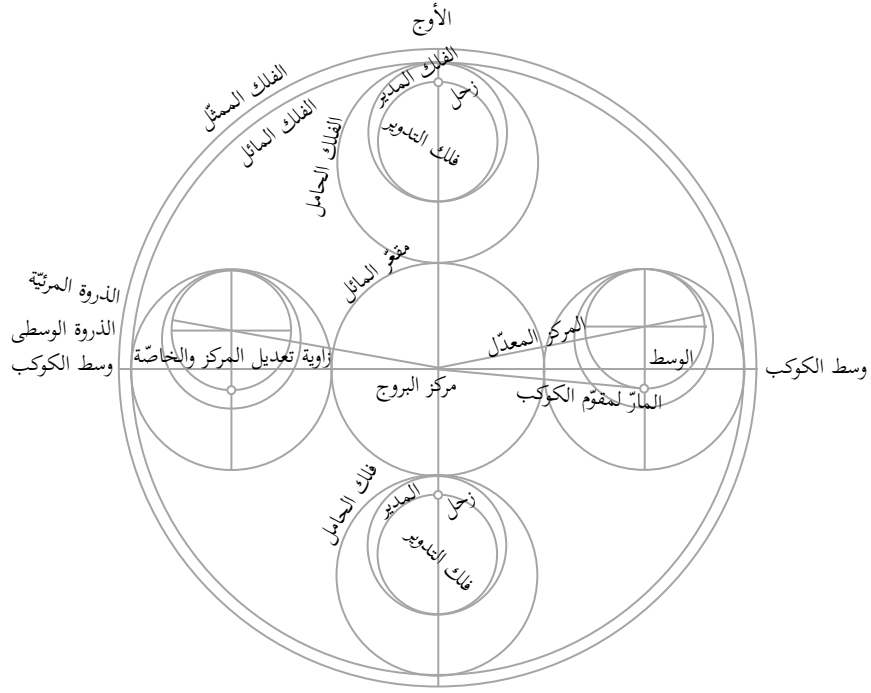
[I.12.16. Figure 5 :] Les orbites de Saturne, représentées dans le plan par les ceintures trajectoires des centres des orbites solides ou par les surfaces de ces ceintures.



[صورة ٥:] صورة أفلاك زحل على ما يُرى في البسيط وهي مناطق مدارات مراكز الأفلاك المجسّمة أو سطح تلك المناطق لسهولة التصرّو وإقامة البراهين [س ٣٨ ظ، أ ٢٠ ظ، د ٣٥ و، ج ٢٢ ظ].



[I.12.35. Figure 6 :] Les orbites de Saturne, sphères entières représentées dans le plan à l'auge, au périégée et aux deux élongations intermédiaires.



[صورة ٦:] صورة أفلاك زحل على أنها كرات تامّة على حسب ما يُتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض وفي البُعدين الأوسطين [س ٤١ظ، أ ٢١ظ، د ٣٦و، ج ٢٤و].

[La figure 7 est identique à la figure 5.]

[I.15.3. Figure 7 :] Les orbes de Jupiter représentés par les trajectoires des centres des sphères solides à l'auge, au périégée, et aux deux élongations intermédiaires.

[La figure 8 est identique à la figure 6.]

[I.15.6. Figure 8 :] Configuration des orbes solides de Jupiter à l'auge, au périégée et aux deux élongations intermédiaires.

[La figure 9 est identique à la figure 5.]

[I.17.4. Figure 9 :] Configuration des orbes de Mars représentés dans le plan par les trajectoires des centres des sphères solides à l'auge, au périégée et aux deux élongations intermédiaires.

[La figure 10 est identique à la figure 6.]

[I.17.6. Figure 10 :] Configuration des orbes de Mars, sphères entières représentées dans le plan à l'auge, au périégée et aux deux élongations intermédiaires.

[La figure 11 est identique à la figure 5.]

[I.19.6. Figure 11 :] Configuration des orbes de Vénus représentés par les trajectoires des centres des orbes solides à l'auge, au périégée et aux deux élongations intermédiaires.

[La figure 12 est identique à la figure 6.]

[I.19.7. Figure 12 :] Configuration des orbes solides de Vénus, sphères entières représentées dans le plan à l'auge, au périégée et aux deux élongations intermédiaires.

[هذه الصورة هي كصورة ٥.٥]

[صورة ٧:]: صورة أفلاك المشتري وهي مدارات مراكز الأكر المجسّمة على حسب ما يُتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبُعدين الأوسطين [س ٤٣ظ، أ ٢٣و، د ٣٧و، ج ٢٥ظ].

[هذه الصورة هي كصورة ٥.٦]

[صورة ٨:]: هيئة أفلاك المشتري المجسّمة على أنّها كرات تامّة على حسب ما يتشكّل على البسيط في الأوج والحضيض والبُعدين الأوسطين [س ٤٤ظ، أ ٢٣ظ، د ٣٧ظ، ج ٢٦و].

[هذه الصورة هي كصورة ٥.٥]

[صورة ٩:]: هيئة أفلاك المريخ وهي مدارات مراكز الأكر المجسّمة على ما يُتصوّر في البسيط في الأوج والحضيض والبُعدين الأوسطين [س ٤٦ظ، أ ٢٥و، ناقص في نُسخ د، ج].

[هذه الصورة هي كصورة ٥.٦]

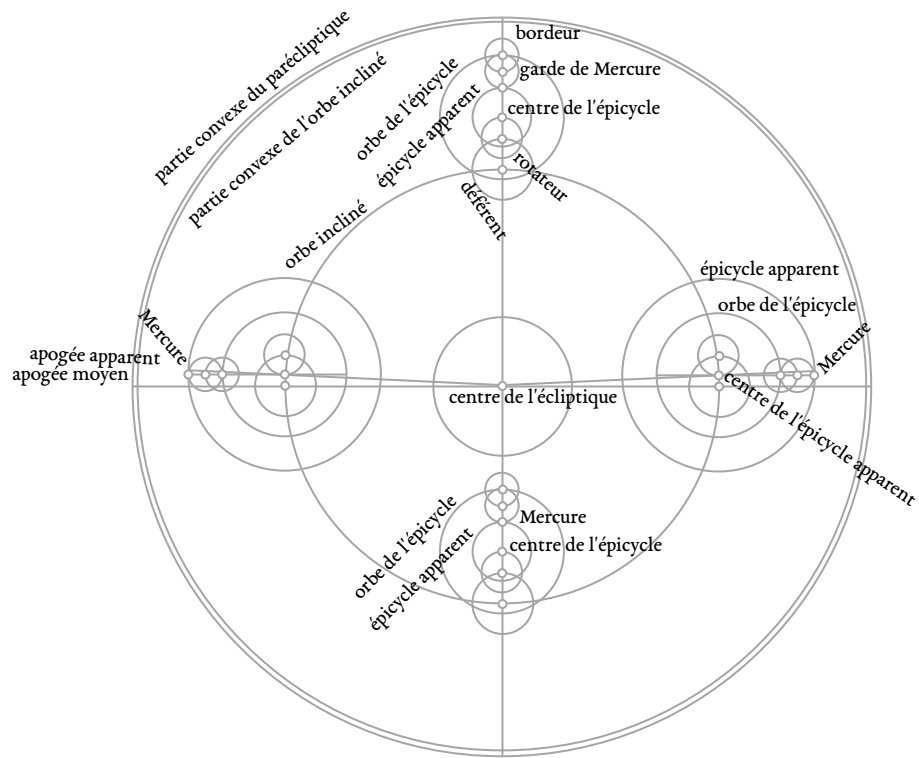
[صورة ١٠:]: هيئة أفلاك المريخ المجسّمة وهي كرات تامّة على ما يُتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبُعدين الأوسطين [س ٤٧ظ، أ ٢٥ظ، د ٣٨ظ، ج ٢٧ظ].

[هذه الصورة هي كصورة ٥.٥]

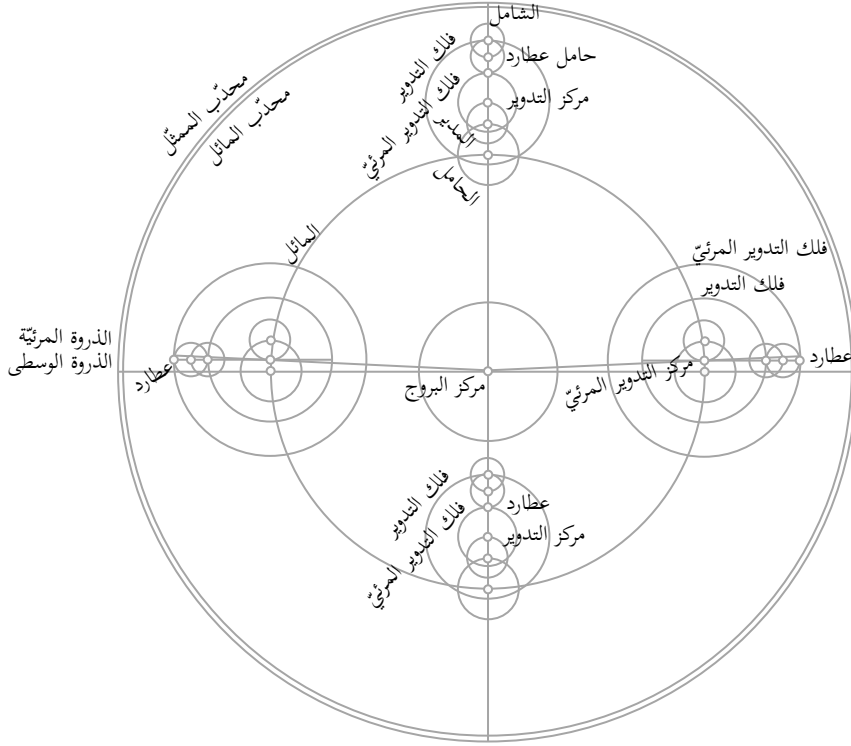
[صورة ١١:]: صورة أفلاك الزهرة على أنّها مدارات مراكز الأفلاك المجسّمة على ما يُتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبُعدين الأوسطين [س ٢٩ظ، أ ٢٧و، د ٤٠و، ج ٢٩ظ].

[هذه الصورة هي كصورة ٥.٦]

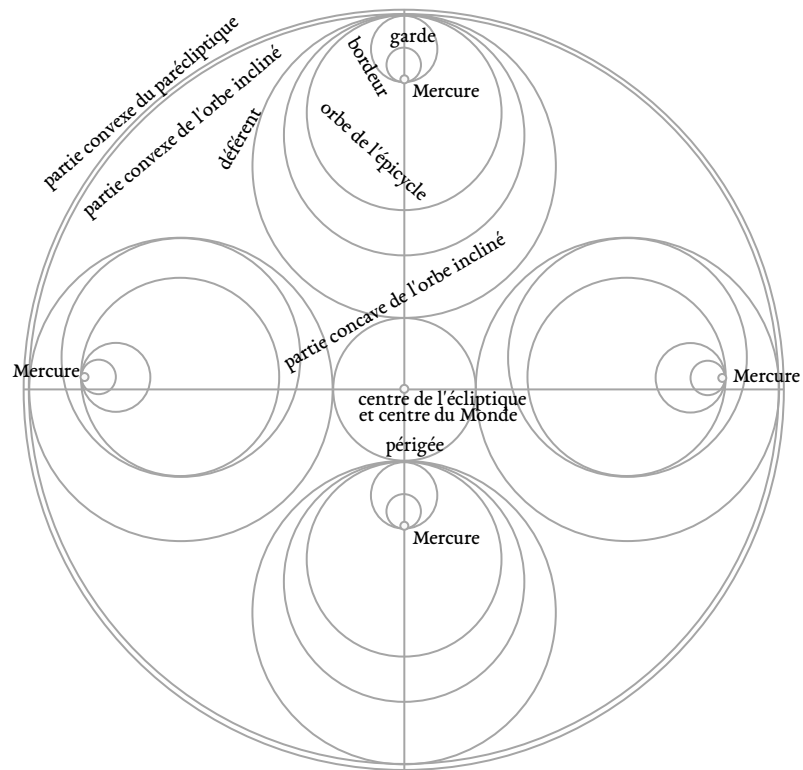
[صورة ١٢:]: هيئة أفلاك الزهرة المجسّمة على ما يُتوهم في الفلك أنّها كرات تامّات على ما يُتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبُعدين الأوسطين [س ٣٠و، أ ٢٧ظ، د ٤٠ظ، ج ٣٠و].



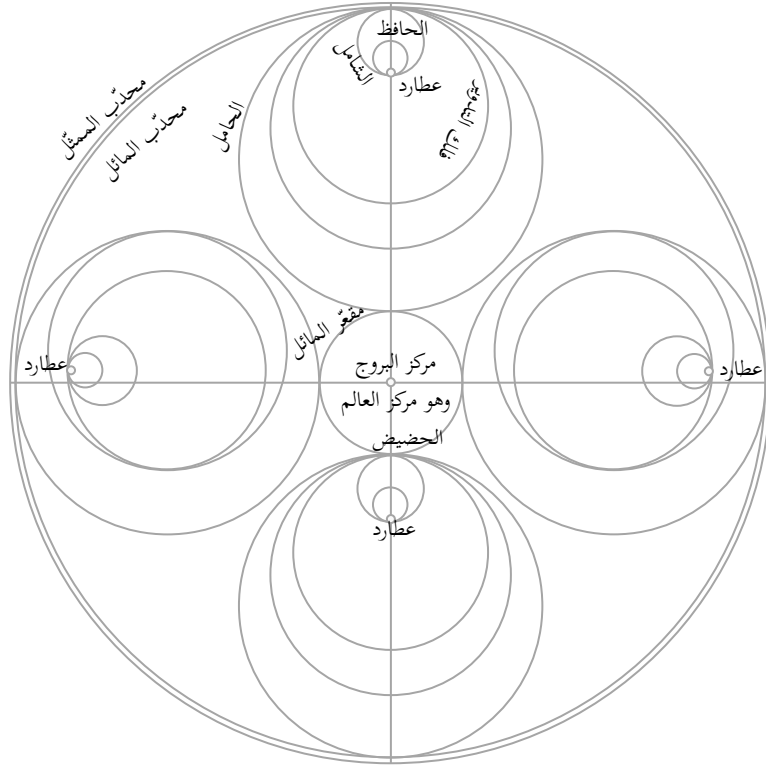
[I.21.7. Figure 13 :] Configuration des orbes de Mercure représentés par les centres des sphères solides dans le plan.



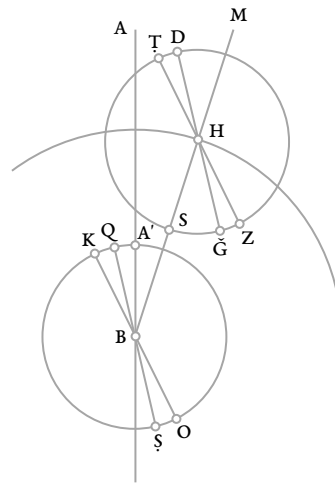
[صورة ١٣:] صورة أفلاك عطارد على أنّها مراكز الأكر التامة على حسب ما يُتصوّر على البسيط [س ٣٢، أ ٢٩، د ٤١، ظ، ج ٣١].



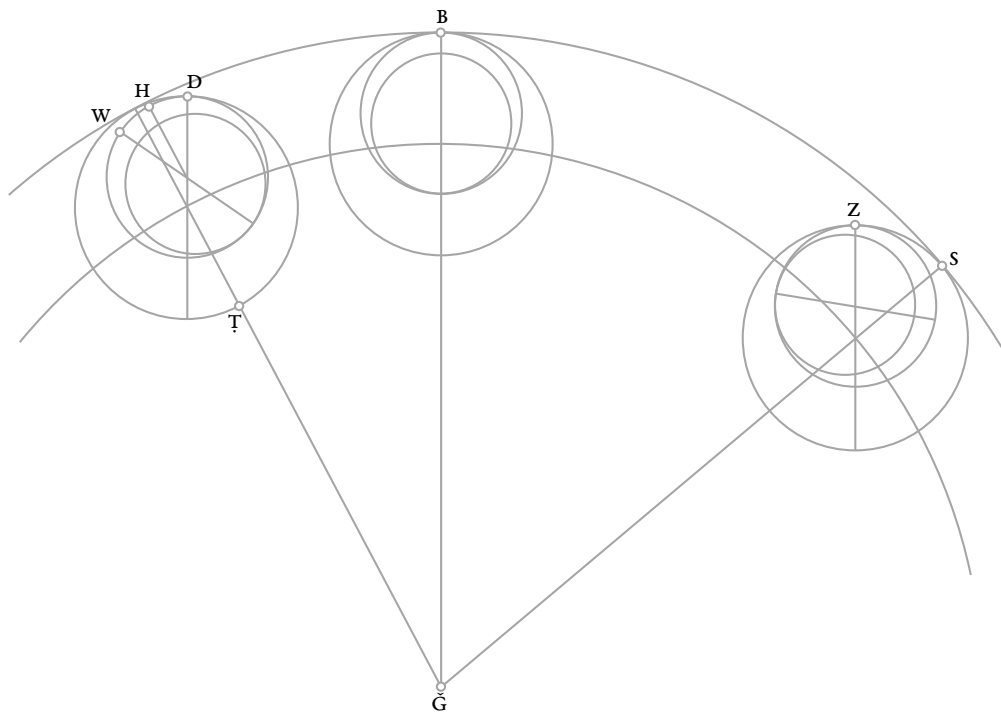
[I.21.8. Figure 14 :] Configuration des orbites solides de Mercure, sphères entières représentées dans le plan à l'auge, au périhélie et aux élongations intermédiaires.



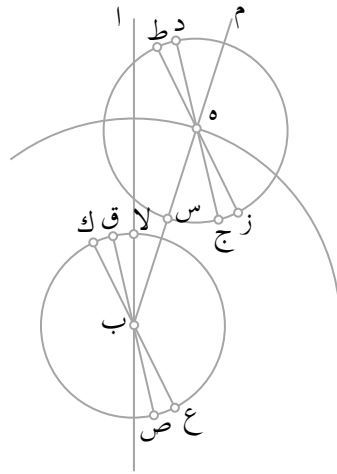
[صورة ١٤:] هيئة أفلاك عطارد المجسّمة وهي كرات تامّة على حسب ما يُتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبُعدين الأوسطين [س ٣٣، أ ٢٩، د ٤٢، ج ٣٢].



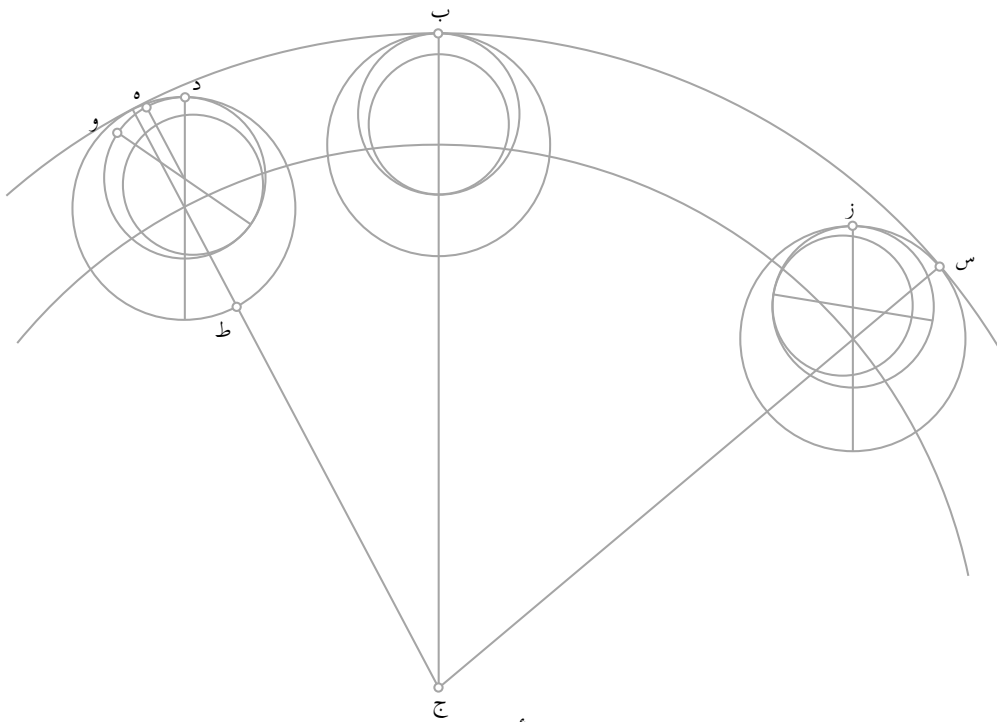
[I.24.15. Figure 15]



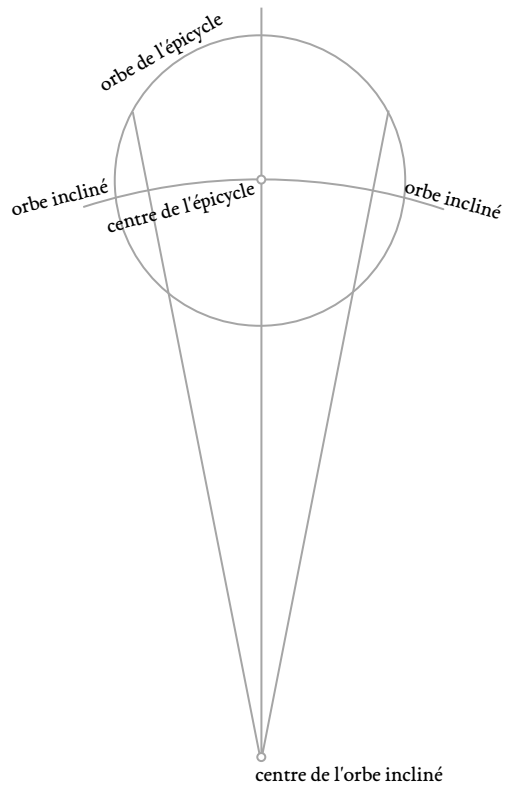
[I.24.23. Figure 16]



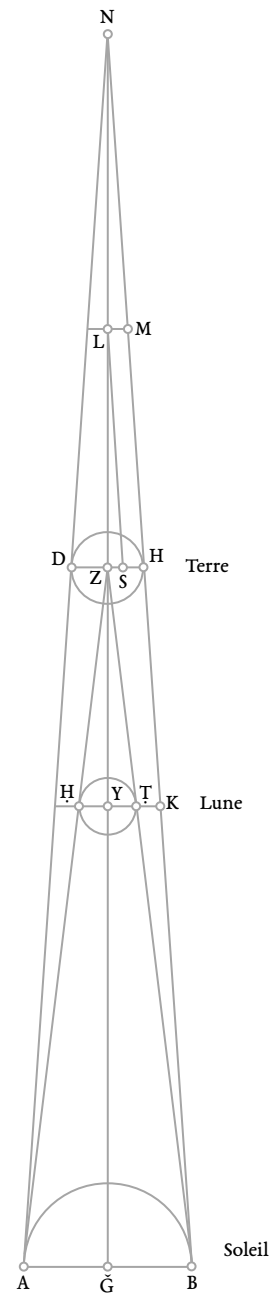
[صورة ١٥] [س ٥٠، أ ٣٣، د ٤٤، ظ، ج ٣٦]

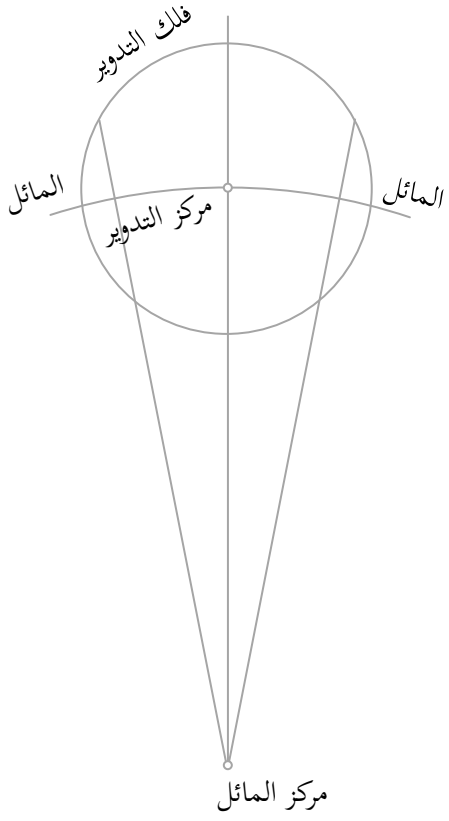


[صورة ١٦] [س ٥٠، ظ، أ ٣٣، د ٤٤، ظ، ج ٣٦]

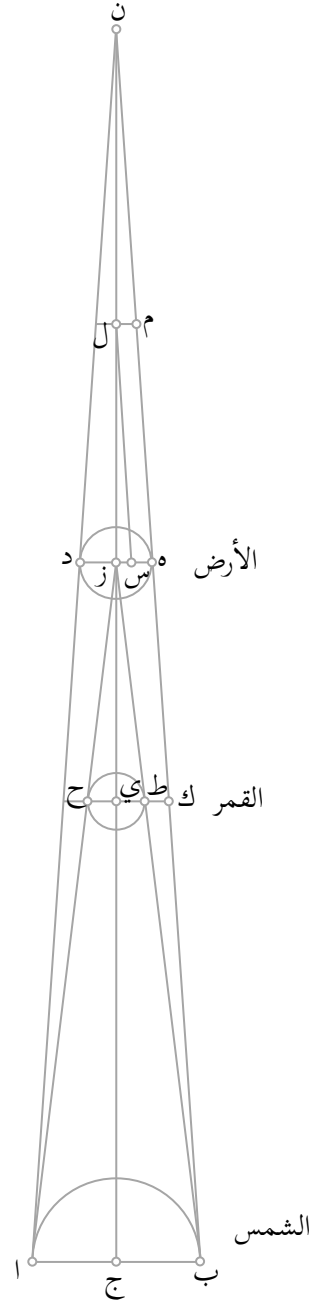


[I.26.2. Figure 17]

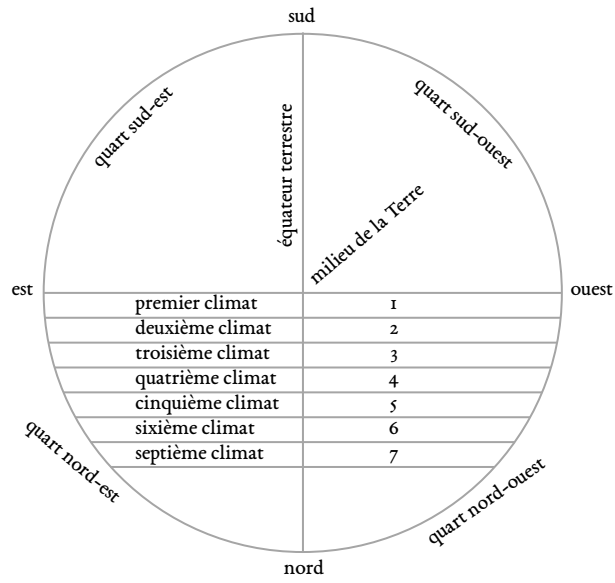
[I.31.5. Figure 18 :
La figure en forme de sapin.]



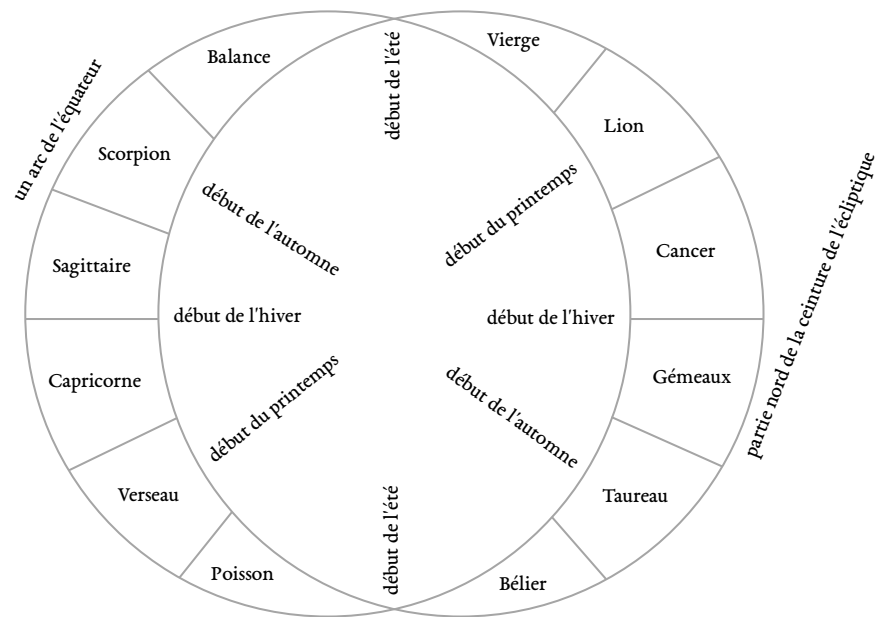
[صورة ١٧]
[س ٤٥ظ، أ ٣٦و، د ٤٦ظ، ج ٣٩و]



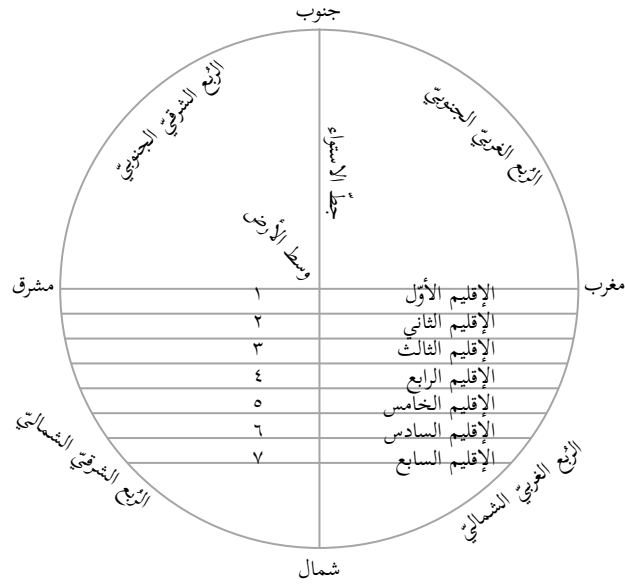
[صورة ١٨: الشكل الصنوبري.]



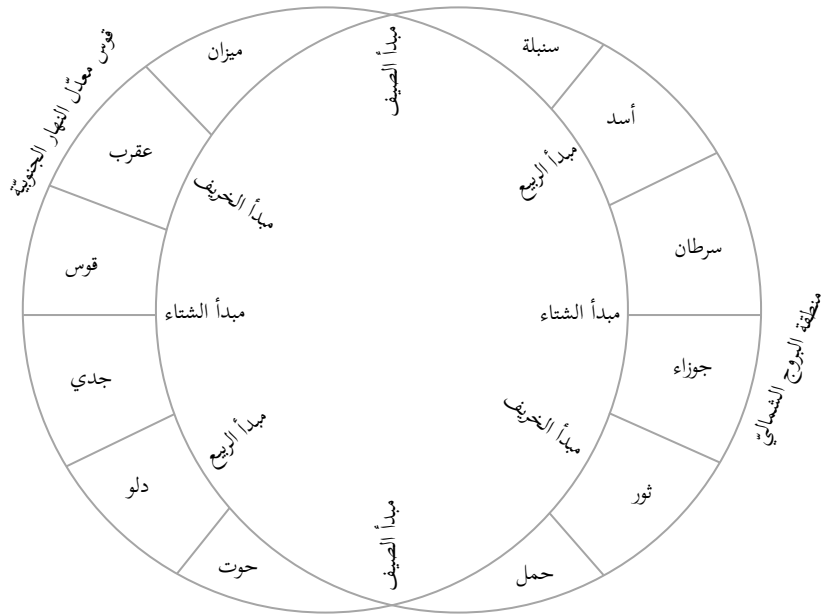
[II.1.20. Figure 19 :] La figure des sept climats.



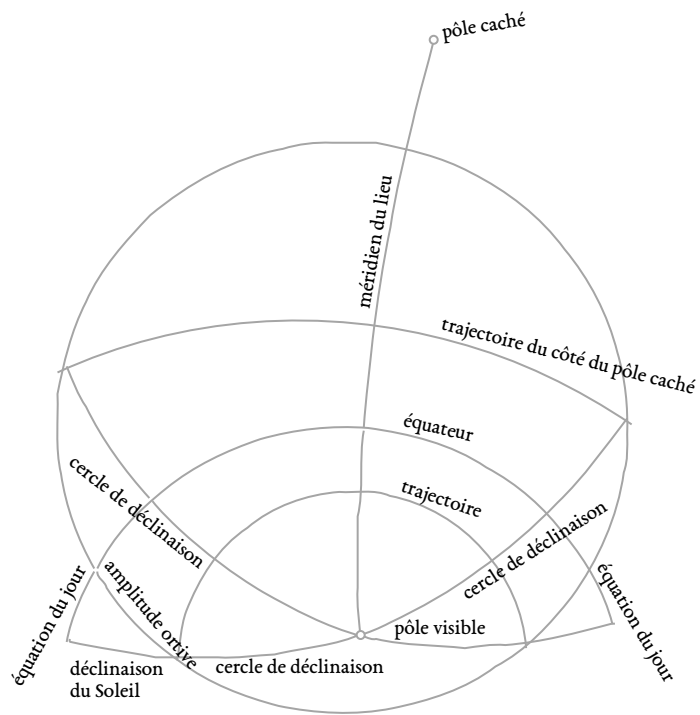
[II.2.3. Figure 20]



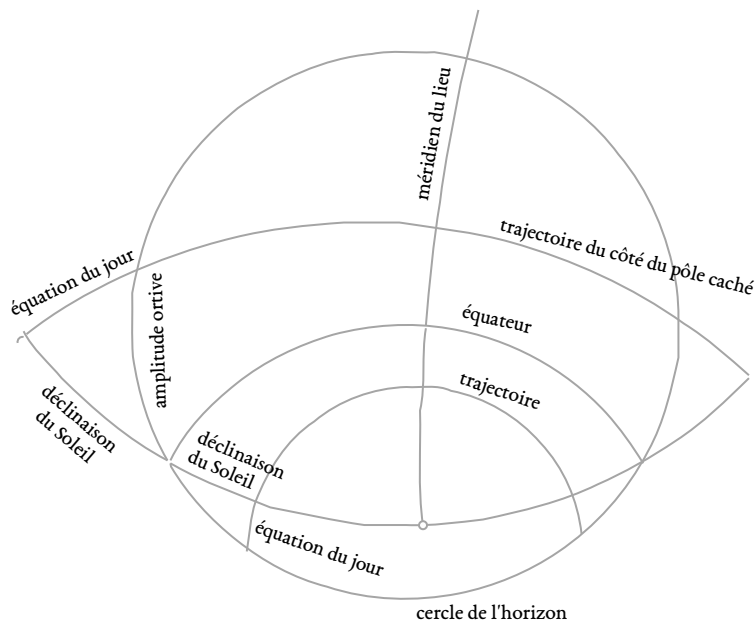
[صورة ١٩: صورة الأقاليم السبعة [د ٥٤ظ، ج ٥٢ظ].



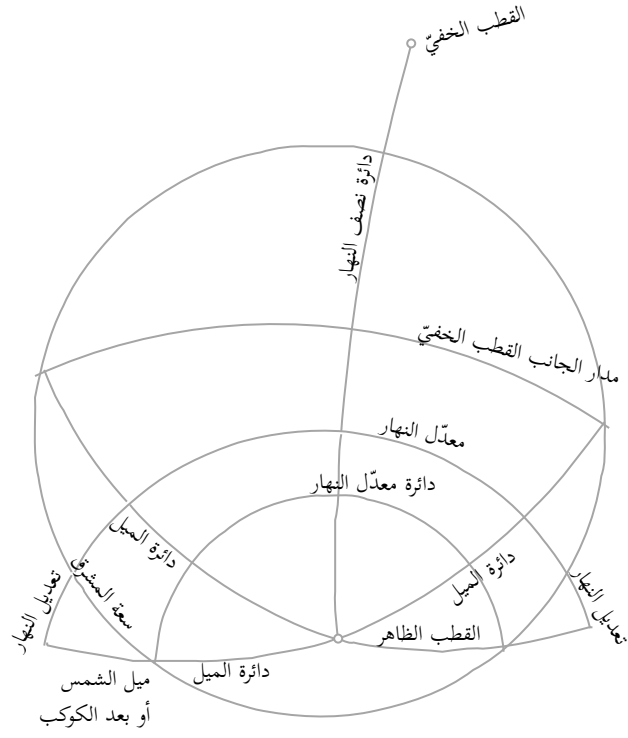
[صورة ٢٠] [أ ٥١، د ٥٦، ج ٥٥]



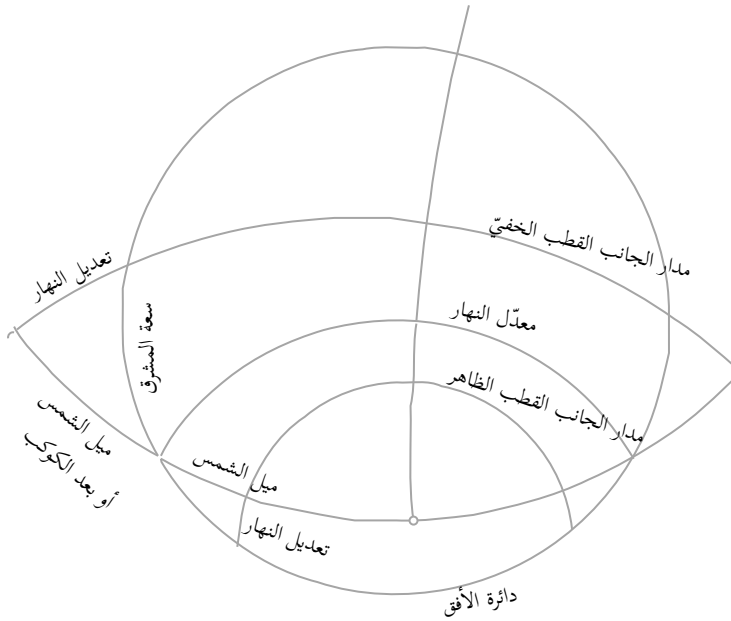
[II.3.4. Figure 21 :] Figure des deux triangles quand on pose deux cercles de déclinaison.



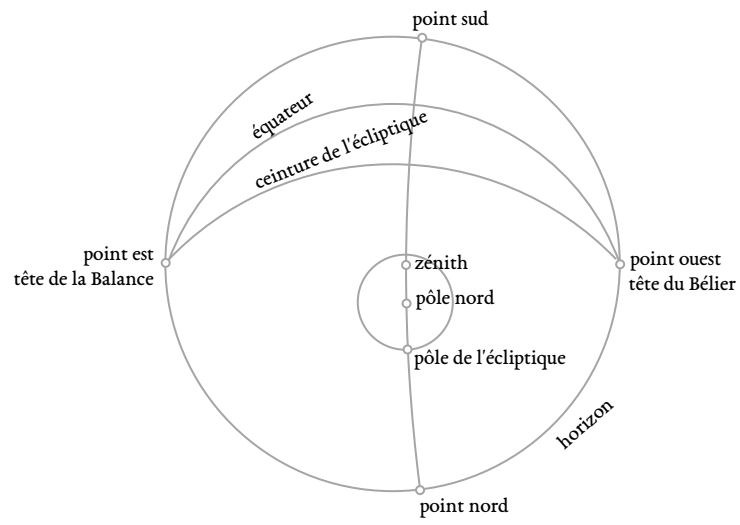
[II.3.6. Figure 22 :] Figure des deux triangles quand on pose un seul cercle de déclinaison.



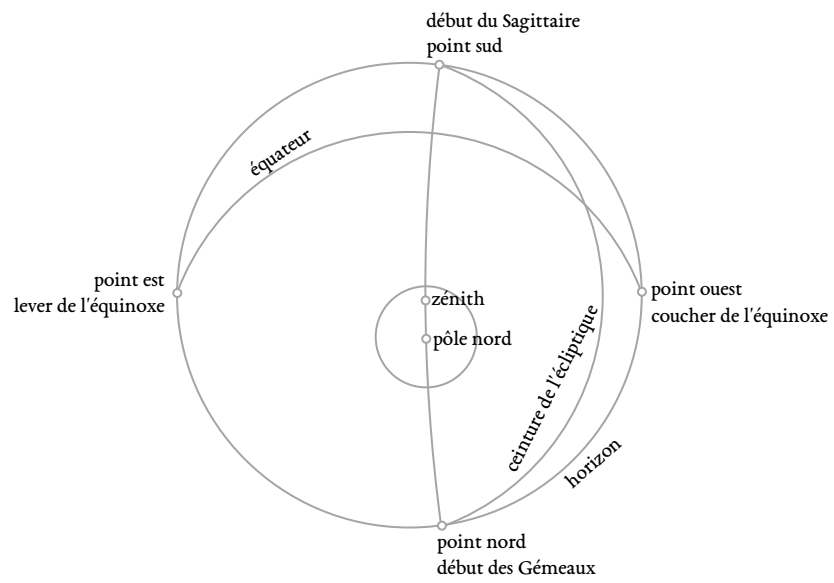
[صورة ٢١:] صورة المثلثين على فرض دائرتي الميل [أ ٥٢ظ، د ٥٧، ج ٥٧].



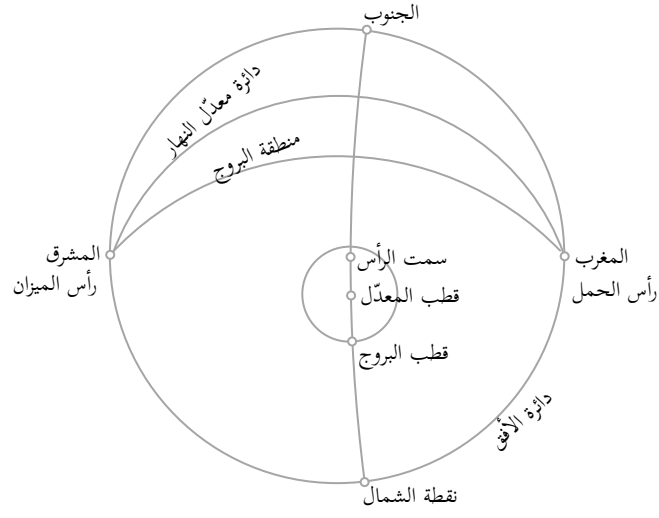
[صورة ٢٢:] صورة المثلثين على فرض دائرة واحدة للميل [أ ٥٣، د ٥٧، ج ٥٧].



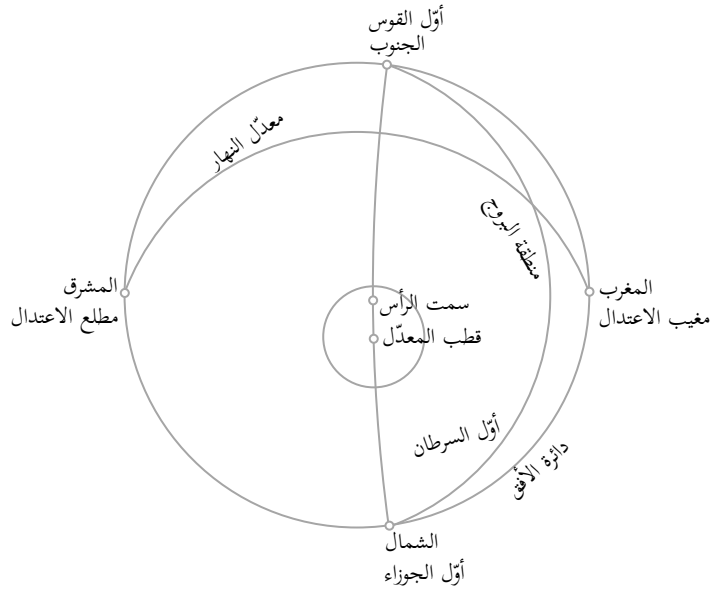
[II.5.4. Figure 23]



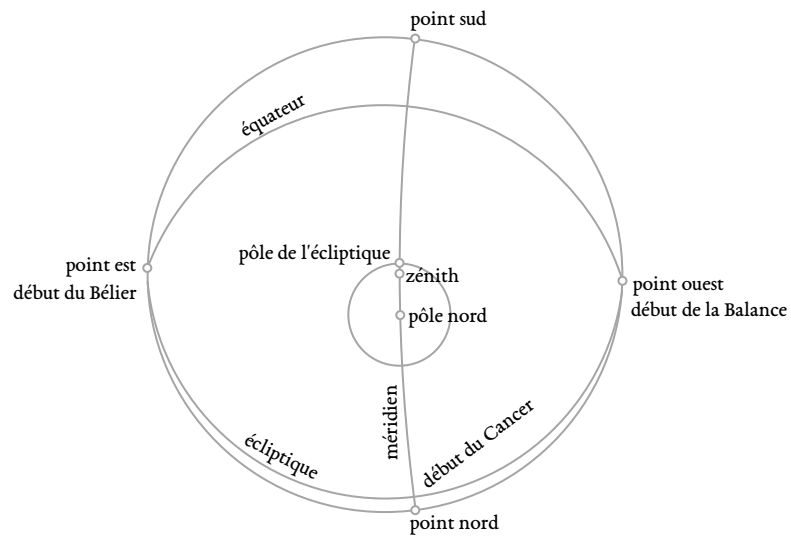
[II.5.5. Figure 24]



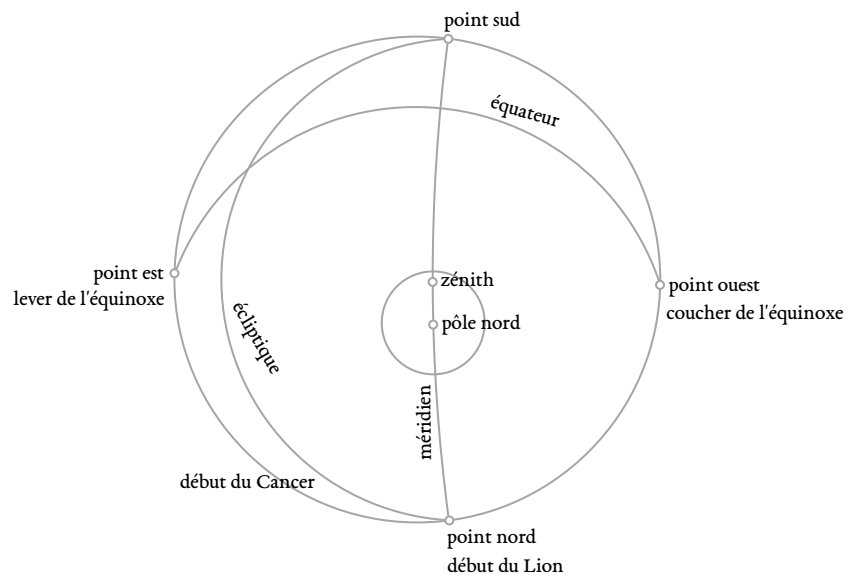
[صورة ٢٣] [أ ٥٥ ظ، د ٥٩ و، ج ٦٠ ظ]



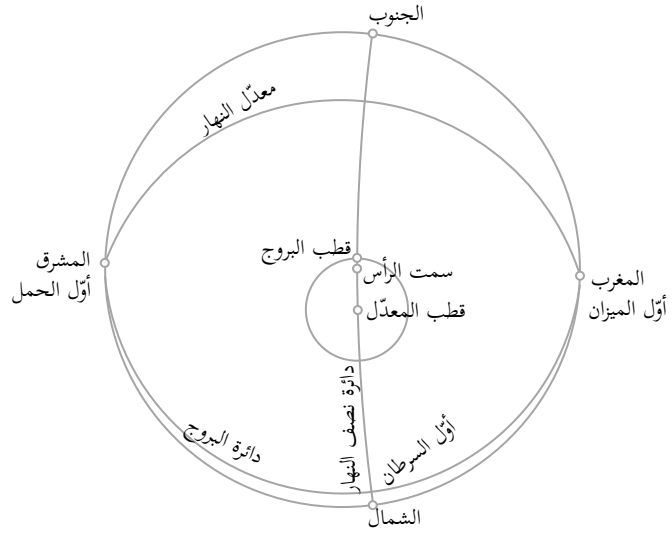
[صورة ٢٤] [أ ٥٦ و، د ٥٩ ظ، ج ٦١ و]



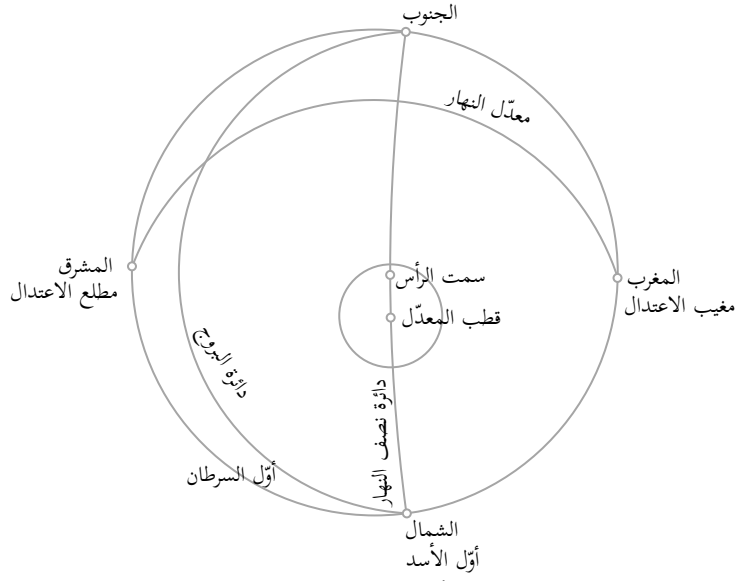
[II.5.6. Figure 25]



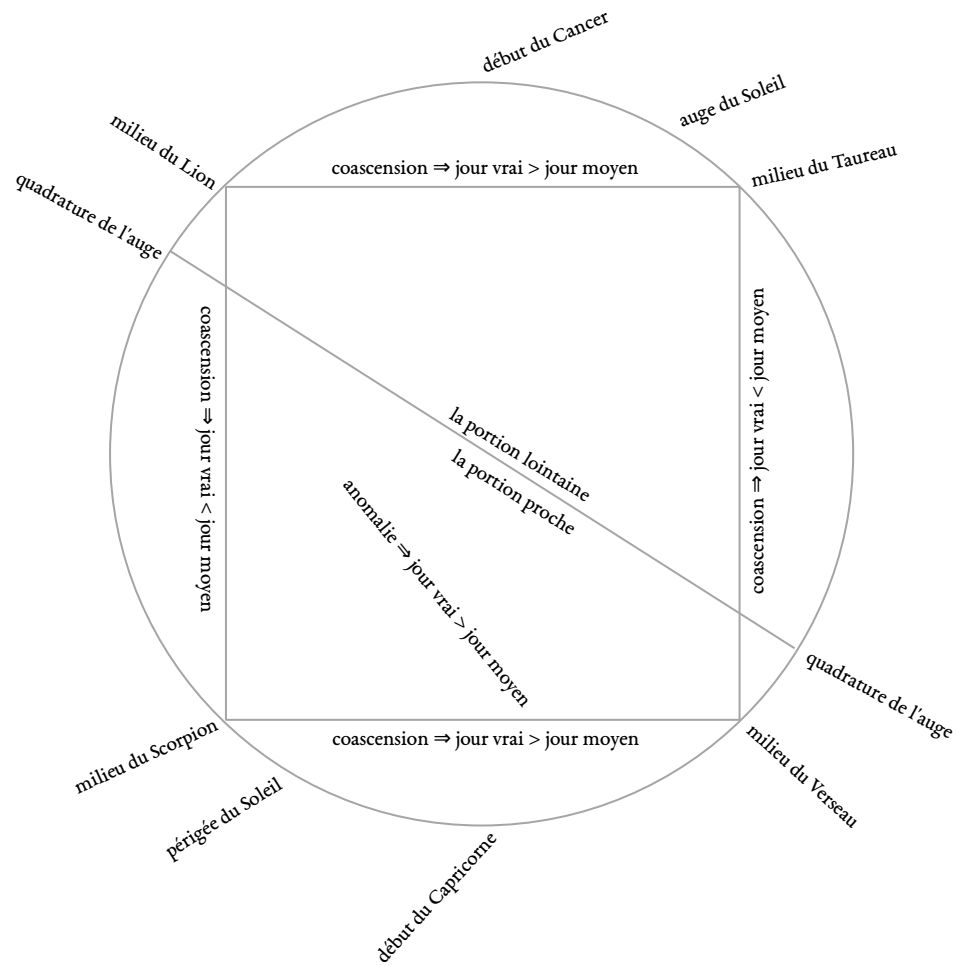
[II.5.7. Figure 26]



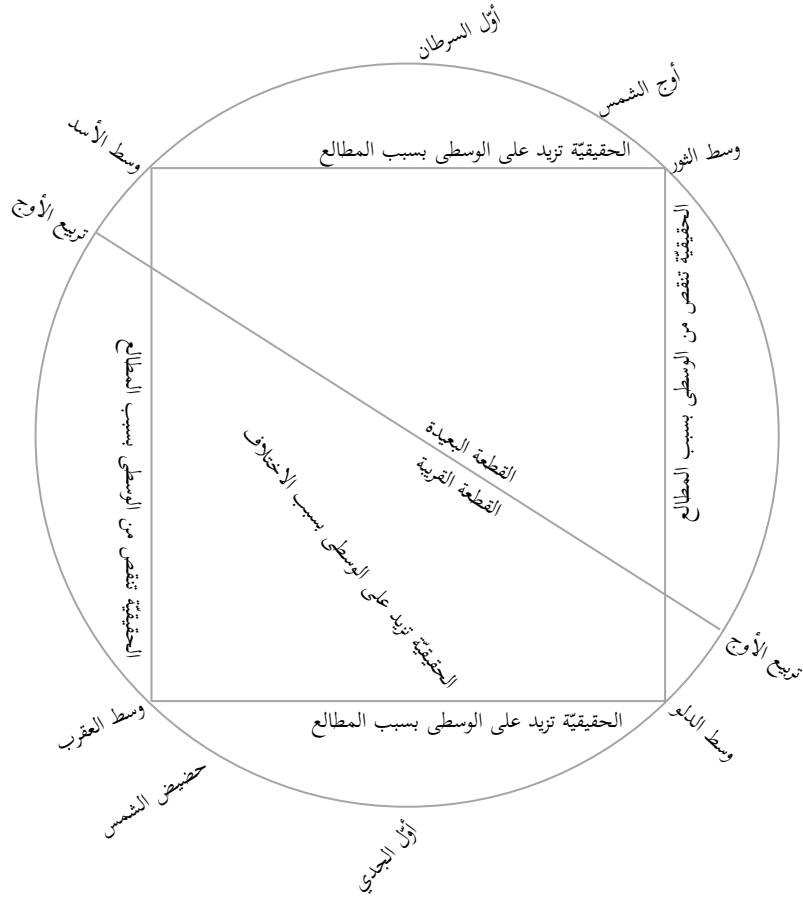
[صورة ٢٥] [أ ٥٦ ظ، د ٦٠ و، ج ٦١ ظ]



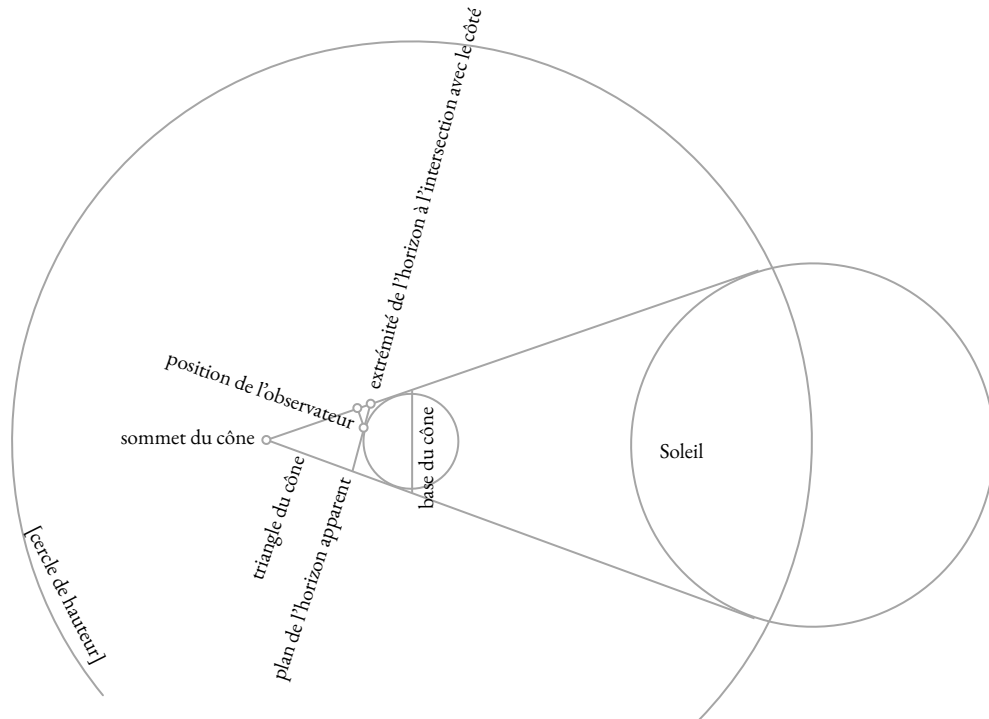
[صورة ٢٦] [أ ٥٦ ظ، د ٦٠ و، ج ٦٢ و]



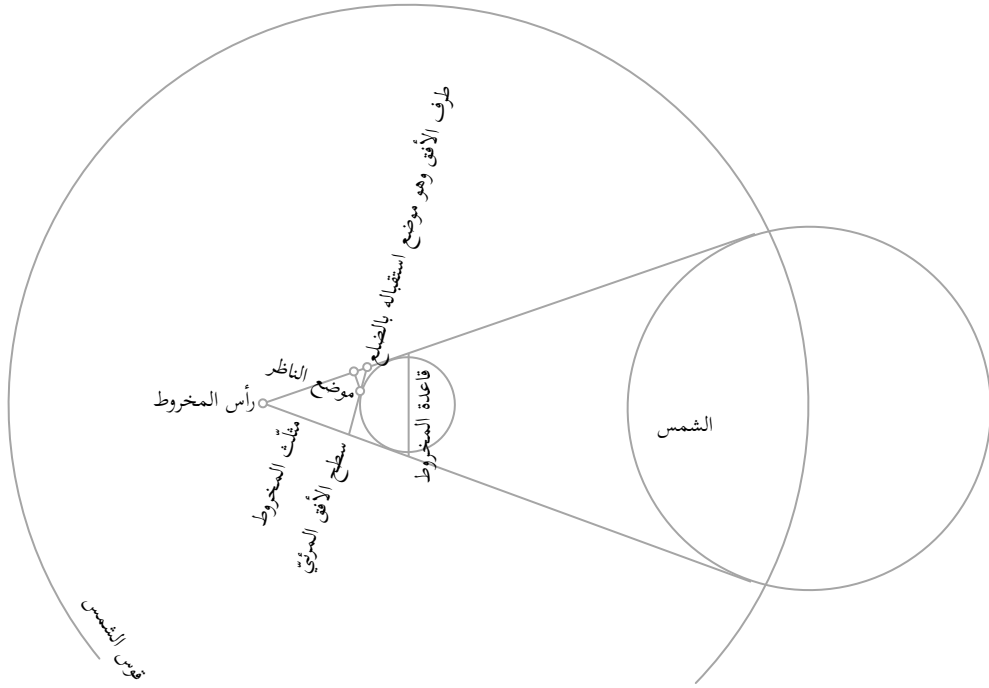
[II.8.10. Figure 27 :] Les six divisions, sous l'hypothèse que l'auge est à la fin des Gémeaux.



[صورة ٢٧:] صورة القطع على أنّ الأوج في آخر الجوزاء [أ ٦٠، د ٦٢، ج ٦٥ ظ].

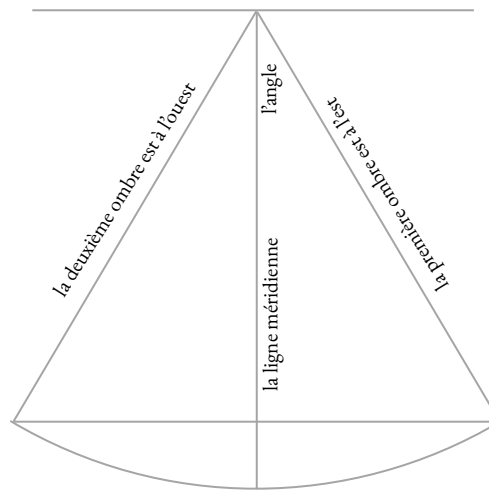


[II.9.2. Figure 28 :] La figure avec l'horizon, le triangle, la perpendiculaire, le Soleil et la Terre.

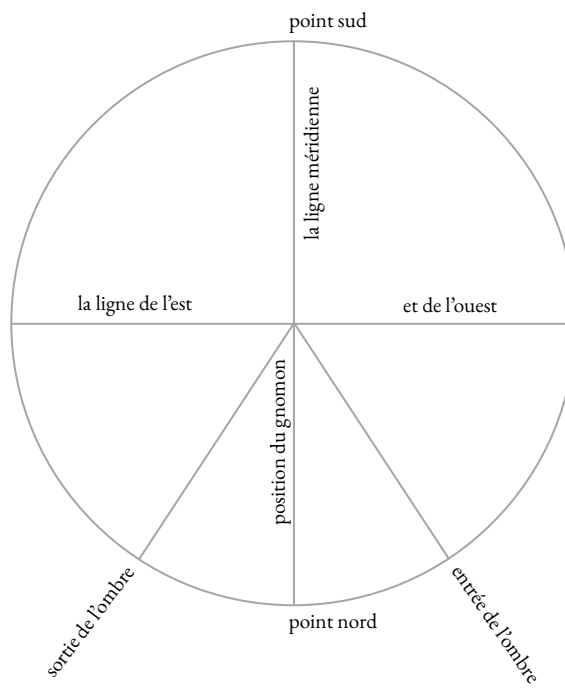


[صورة ٢٨:] صورة الأفلاك والمثلث والعمود والشمس والأرض [أ. ٦٠ ظ، د ٦٢ ظ، ج ٦٦ ظ].

la perpendiculaire, dans la direction du cercle origine des azimuts

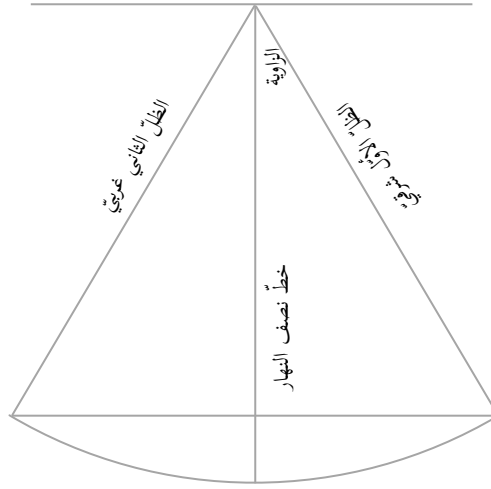


[II.12.1. Figure 29]



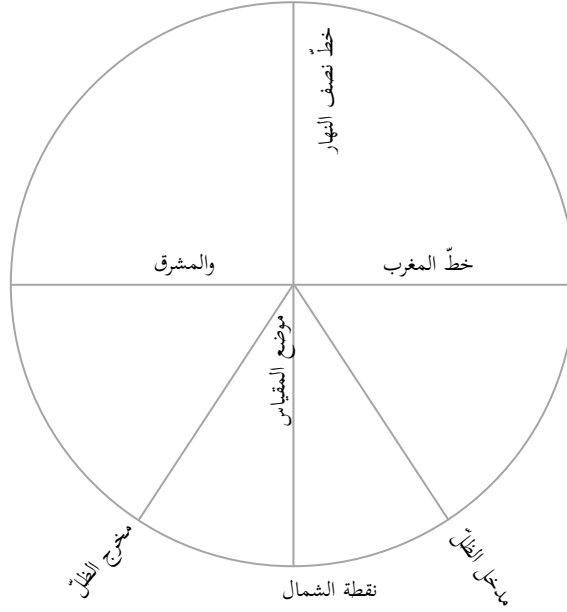
[II.12.2. Figure 30]

العمود اللذي في سمت دائرة أول السموت



[صورة ٢٩] [أ ٦٣ ظ، د ٦٥ و، ج ٧٠ و]

نقطة الجنوب



[صورة ٣٠] [أ ٦٣ ظ، د ٦٥ و، ج ٧٠ ظ]

COMMENTAIRE MATHÉMATIQUE

1. LEMME D'AL-URDĪ ET COUPLE D'AL-ṬŪSĪ

On démontre ici trois propositions concernant les rotations affines du plan. Elles nous seront utiles pour comparer entre eux les modèles planétaires.

PROPOSITION 1. Soient P_1, P_2, P_3, P_4 quatre points alignés et $\alpha \in [0, 2\pi]$. Si $\overrightarrow{P_1P_3} = \overrightarrow{P_2P_4}$, alors $R_{P_2, \alpha} = R_{P_1, \alpha} R_{P_3, -\alpha} R_{P_4, \alpha}$.

Démonstration. $R_{P_2, \alpha} R_{P_4, -\alpha}$ est une transformation affine directe dont l'application linéaire associée est l'identité, et c'est donc une translation. C'est la translation de vecteur :

$$\overrightarrow{P_4 R_{P_2, \alpha}(P_4)} = R_\alpha(\overrightarrow{P_2 P_4}) - \overrightarrow{P_2 P_4},$$

où R_α désigne la rotation *vectorielle* d'angle α . De même $R_{P_1, \alpha} R_{P_3, -\alpha}$ est une translation de vecteur :

$$\overrightarrow{P_3 R_{P_1, \alpha}(P_3)} = R_\alpha(\overrightarrow{P_1 P_3}) - \overrightarrow{P_1 P_3},$$

mais $\overrightarrow{P_1 P_3} = \overrightarrow{P_2 P_4}$, donc $R_{P_1, \alpha} R_{P_3, -\alpha} = R_{P_2, \alpha} R_{P_4, -\alpha}$, *q. e. d.*

Si P_2 est situé entre P_1 et P_3 , une conséquence de cette proposition était bien connue de Ptolémée. Si P_1 est le centre du monde, P_2 le centre d'un excentrique, et P_4 un astre à son apogée sur l'excentrique, on a :

$$R_{P_2, \alpha}(P_4) = R_{P_1, \alpha} R_{P_3, -\alpha}(P_4).$$

Ceci montre que l'excentrique peut être remplacé par un modèle équivalent constitué d'un déférent de centre P_1 et d'un épicycle de centre P_3 (*Almageste*, III.3).

PROPOSITION 2. Soient P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 cinq points alignés, et $\alpha \in [0, 2\pi]$. Si $\overrightarrow{P_3 P_4} = -\overrightarrow{P_1 P_2}$ et $\overrightarrow{P_3 P_5} = \overrightarrow{P_1 P_2}$, alors

$$R_{P_1, \alpha} R_{P_3, \alpha} R_{P_4, -\alpha} = R_{P_2, \alpha} R_{P_5, -\alpha} R_{P_3, 2\alpha} R_{P_4, -\alpha}.$$

Démonstration. Comme $\overrightarrow{P_2 P_5} = \overrightarrow{P_1 P_3}$, d'après la proposition 1, on a :

$$R_{P_1, \alpha} = R_{P_2, \alpha} R_{P_5, -\alpha} R_{P_3, \alpha},$$

d'où le résultat escompté si l'on compose à droite avec $R_{P_3, \alpha} R_{P_4, -\alpha}$.

Remarque. $R_{P_5, -\alpha} R_{P_3, 2\alpha} R_{P_4, -\alpha}$ est une translation parallèlement à la droite $(P_1 P_2)$. En effet :

$$(R_{P_5, -\alpha} R_{P_3, \alpha})(R_{P_3, \alpha} R_{P_4, -\alpha}) = t_{\overrightarrow{P_3 R_{P_5, -\alpha}(P_3)}} t_{\overrightarrow{P_4 R_{P_3, \alpha}(P_4)}},$$

mais

$$\overrightarrow{P_3 R_{P_5, -\alpha}(P_3)} + \overrightarrow{P_4 R_{P_3, \alpha}(P_4)} = R_{-\alpha}(\overrightarrow{P_3 P_4}) + R_{\alpha}(\overrightarrow{P_3 P_4}) - 2\overrightarrow{P_3 P_4},$$

or

$$(R_{-\alpha}(\overrightarrow{P_3 P_4}) + R_{\alpha}(\overrightarrow{P_3 P_4}) - 2\overrightarrow{P_3 P_4}) \wedge \overrightarrow{P_3 P_4} = \|\overrightarrow{P_3 P_4}\|^2 (\sin \alpha + \sin(-\alpha)) = 0.$$

Cette composée de rotations apparaît dans les modèles planétaires utilisant un « couple d'al-Ṭūsī ».

PROPOSITION 3. Soit P_1, P_2, P_3 trois points alignés avec $\overrightarrow{P_1 P_3} = -\overrightarrow{P_1 P_2}$, alors $R_{P_3, -\alpha} R_{P_1, 2\alpha} R_{P_2, -\alpha} = R_{P_3, \alpha} R_{P_1, -2\alpha} R_{P_2, \alpha}$. En particulier, le sens de rotation des orbes d'un couple d'al-Ṭūsī n'importe pas.

Démonstration.

$$R_{P_3, 2\alpha} R_{P_1, -2\alpha} = t_{\overrightarrow{P_1 R_{P_3, 2\alpha}(P_1)}} = t_{\overrightarrow{P_2 R_{P_1, 2\alpha}(P_2)}} = R_{P_1, 2\alpha} R_{P_2, -2\alpha},$$

d'où le résultat.

2. PRÉLIMINAIRES

Je n'analyserai pas en détail ce qu'est un orbe pour Ibn al-Šāṭir. Qu'il suffise de le concevoir comme un corps à symétrie sphérique. Chaque orbe est doté d'un centre. Le centre de certains orbes est aussi centre du monde. Enfin, et surtout, Ibn al-Šāṭir utilise chaque orbe comme un référentiel solide en mouvement. Pour qu'un corps solide à symétrie sphérique puisse faire office de référentiel spatial, il faut distinguer un plan attaché à l'orbe et passant par son centre, et une direction dans ce plan. Dans tout ce qui suit, on représentera plus commodément chaque orbe par une sphère, un cercle et un point : à savoir, une sphère dont le centre est le centre de l'orbe, un grand cercle section de cette sphère par son plan, et un point de ce cercle situé dans la direction distinguée par rapport au centre.

Chaque orbe est mobile par rapport à l'orbe qui le porte (c'est-à-dire au sein du référentiel constitué par l'orbe qui le porte). Un seul mouvement est admis pour chaque orbe : un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe passant par son centre. Autrement dit, le centre de chaque orbe est immobile au sein de l'orbe qui le porte. Il n'y a aucune restriction quant à l'inclinaison de l'axe par rapport au plan de l'orbe : tel orbe a son axe perpendiculaire à son plan, tel autre a son axe perpendiculaire au plan de l'orbe qui le porte. Mais tous ces mouvements sont relatifs, et chaque orbe hérite aussi « par accident » (au sens aristotélicien du terme) du mouvement de l'orbe qui le porte, qui hérite lui-même du mouvement de l'orbe qui le porte, et ainsi

de suite. Le mouvement de chaque orbe est donc composé d'un mouvement propre de rotation uniforme par rapport à l'orbe qui le porte, et du mouvement absolu de l'orbe qui le porte. Seul le neuvième orbe, porté par aucun autre, n'est animé que de son mouvement propre de rotation uniforme²⁹¹.

Ce cadre conceptuel donne lieu à trois combinaisons possibles, toutes présentes dans le texte d'Ibn al-Šāṭir. Je les décrirai au moyen des trois figures (a), (b) et (c) page 205. Dans chacune de ces trois figures il y a deux orbes représentés chacun par une sphère, un grand cercle de cette sphère et un point sur ce cercle. Le premier orbe dont le point est P porte le second dont le point est Q. Dans les figures (a) et (b), le point P de l'orbe portant est choisi par commodité au centre de l'orbe porté. Au contraire, dans la figure (c), les deux orbes ayant même centre O, il a fallu choisir un autre point : le point P est alors un point à l'intersection des plans des deux orbes. Dans tout ce paragraphe, on désignera chaque orbe par son point. L'orbe de P porte donc l'orbe de Q. Ainsi, le lieu occupé par l'orbe de Q est constant au sein du référentiel solide constitué par l'orbe de P. Mais l'orbe de Q est animé d'un mouvement de rotation uniforme sur lui-même, autour d'un axe représenté par un vecteur sur chaque figure. Peu importe ici le sens de cette rotation ; seule importe la direction de son axe, perpendiculaire au plan de l'orbe de P dans la figure (a), mais perpendiculaire au plan de l'orbe de Q dans les figures (b) et (c). La figure (a) présente cette particularité que la trajectoire du point Q au sein du référentiel constitué par l'orbe de P n'est pas dans le plan de l'orbe de Q : le point Q décrit un petit cercle parallèle au plan de l'orbe de P. Enfin, dans chacune des trois figures, l'orbe de P est lui-même animé d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe représenté par un vecteur d'origine O. Peu importe que ce vecteur soit perpendiculaire au plan de l'orbe de P – comme il l'est dans ces figures – ou non. Ce dernier mouvement entraîne le point P et aussi l'orbe de Q.

Chacune des planètes supérieures (Mars, Jupiter, Saturne) est portée par un système d'orbes : un « orbe parécliptique », un « orbe incliné », un « orbe déférent », un « orbe rotateur » et un « orbe de l'épicycle ». La figure (a) représente alors la relation entre l'orbe incliné (orbe de P) et l'orbe déférent (orbe de Q), ainsi que la relation entre l'orbe déférent (orbe de P) et l'orbe rotateur (orbe de Q). Pour Vénus, les orbes portent les mêmes noms, mais la figure (b) représente alors la relation entre l'orbe déférent (orbe de P) et l'orbe rotateur (orbe de Q), ainsi que la relation entre l'orbe rotateur (orbe de P) et l'orbe de l'épicycle (orbe de Q). Mercure compte

²⁹¹ Le mouvement du 9^e orbe (orbe de l'équateur) se fait au sein d'un référentiel absolu. Ce dernier référentiel n'est attaché à aucun orbe mais Ibn al-Šāṭir le décrit clairement quand il dit : « Dans le plan de l'équateur on suppose qu'il y a un second cercle [...] ; à cause de l'immobilité de ce cercle, c'est par lui qu'on mesure les mouvements (I.3.2). » Cercle dont l'existence est seulement feinte, car par ailleurs, « dans les orbes, le repos est impossible » (I.0.10).

davantage d'orbites sans toutefois introduire de combinaison nouvelle.

Pour chaque planète, la figure (c) représente la relation entre l'orbite parécliptique (orbite de P) et l'orbite inclinée (orbite de Q) : le point P est alors l'un des nœuds. Mais cette figure représente aussi la relation entre le neuvième orbite (orbite de P) et le huitième, dit de l'écliptique (orbite de Q) : le point P est alors le point vernal.

3. PRÉCESSION DES ÉQUINOXES

Observons à nouveau la figure (c). Chez Ptolémée, les étoiles fixes sont attachées au dernier orbite et le mouvement relatif de cet orbite par rapport aux orbites inférieures rend compte du mouvement de précession des équinoxes. Pour les astronomes arabes, depuis le *Traité sur l'année solaire* certainement dû aux Banū Mūsā²⁹² (IX^e siècle), il existe un neuvième orbite au delà des étoiles fixes situées sur le huitième orbite, et c'est le mouvement relatif du huitième orbite par rapport au neuvième qui rend alors compte de la précession. Tous les orbites inférieurs des planètes, du Soleil et de la Lune héritent de ce mouvement comme les étoiles fixes (tandis que chez Ptolémée, le Soleil en était exempt²⁹³).

Chez Ibn al-Šāṭir, l'orbite parécliptique de chaque planète est un orbite dont le centre coïncide avec le centre du Monde, comme l'écliptique. L'orbite parécliptique reproduit, en plus petit, l'orbite de l'écliptique et il y est attaché en son centre. Le parécliptique est animé d'un petit mouvement de rotation sur lui-même, par rapport au référentiel constitué par l'orbite de l'écliptique ; mais comme l'axe de rotation du parécliptique coïncide avec l'axe de l'écliptique, et que la composée de deux rotations de même axe en est encore une, le parécliptique est aussi en rotation uniforme autour de son axe au sein du référentiel constitué par le neuvième orbite. Le mouvement de l'orbite de l'écliptique par rapport au neuvième est d'un degré toutes les soixante-dix années persanes. Le mouvement de l'orbite parécliptique par rapport au neuvième orbite est un peu plus rapide, comme l'avait vérifié al-Zarqālluh (XI^e siècle) : il est d'un degré toutes les soixante années persanes, c'est-à-dire $0^{\circ}1'$ par année persane²⁹⁴.

²⁹² Voir Ṭābit b. Qurra, 1987, p. XLVI-LXXV et 27-67.

²⁹³ Voir Pedersen, 1974, p. 147. La Lune aussi en était exempte, puisque l'apogée de son excentrique est constamment situé à $\bar{\eta}$ du Soleil moyen (voir fig. xv p. 229 *infra*) dans les 2^e et 3^e modèles de l'*Almageste*.

²⁹⁴ Al-Zarqālluh (Azarquiel) avait observé que l'apogée solaire se meut d'un degré tous les 279 ans par rapport aux étoiles fixes, elles-mêmes étant animées du mouvement de précession (Rashed, 1997, p. 285-287). Or $\frac{1}{70} + \frac{1}{279} \approx \frac{1}{60}$.

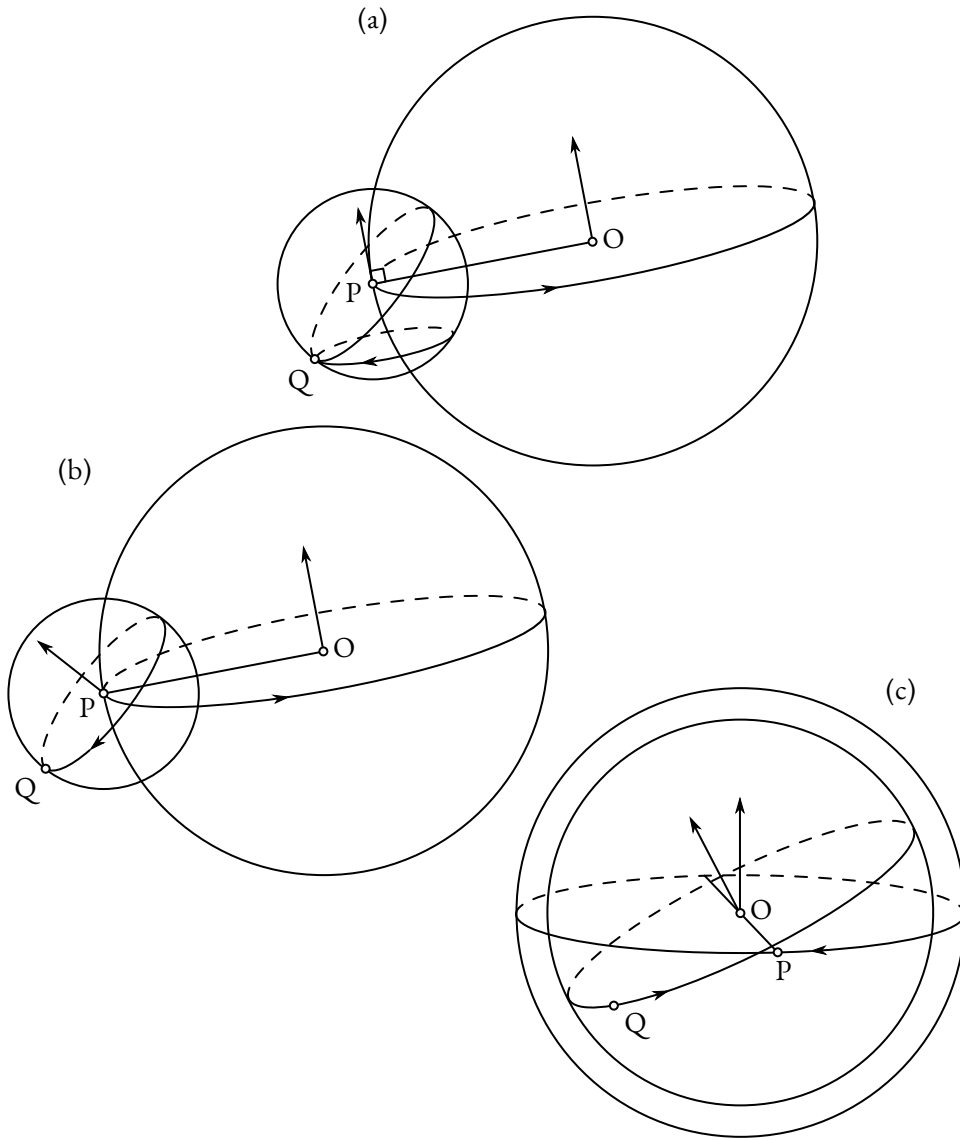


FIG. IV : Un orbe est un référentiel solide en mouvement

4. UNITÉ DE TEMPS

Le temps absolu est mesuré par le mouvement du neuvième orbe, seul orbe dont le mouvement propre est absolu (les mouvements propres des autres orbes sont relatifs à l'orbe qui les porte).

En un lieu donné, la durée entre deux culminations du Soleil (de midi à midi du lendemain) est approximativement constante.

Considérons deux unités possibles pour la mesure du temps :

– le *jour sidéral* : durée d'une rotation complète du ciel visible autour du pôle nord (temps de retour d'une étoile fixe en son lieu par rapport au pôle nord et à l'horizon) ;

– le *jour solaire* : durée entre deux culminations du Soleil (de midi à midi du lendemain).

Le neuvième orbe étant supposé mû d'un mouvement uniforme, le jour sidéral est de durée constante (sauf à tenir compte du mouvement de précession, le mouvement propre du huitième orbe, qui est infime). En revanche, la durée du jour solaire varie au fil des saisons, ce n'est donc pas une bonne unité. En effet, soit midi au Soleil. Un jour sidéral plus tard, le Soleil aura presque effectué une rotation complète d'est en ouest à cause du mouvement du neuvième orbe ; pas tout à fait cependant, à cause du mouvement des orbes du Soleil qui l'auront légèrement entraîné vers l'est, d'un peu moins qu'un degré. Il ne sera donc pas encore midi au Soleil : le jour sidéral est plus court que le jour solaire. Cet effet se fera sentir d'autant plus que l'angle entre l'écliptique et la trajectoire diurne du Soleil sera faible (ainsi la différence sera plus importante lors des solstices que lors des équinoxes). De toute façon, le mouvement du Soleil le long de l'écliptique n'est pas uniforme.

Tout calendrier civil adoptant pourtant le jour solaire comme unité, il est commode de choisir comme unité astronomique un « jour solaire moyen » : durée entre deux culminations, non plus du Soleil, mais d'un point imaginaire mû d'un mouvement uniforme le long de l'équateur et faisant le tour du ciel exactement en même temps que le Soleil²⁹⁵. C'est l'unité adoptée par Ibn al-Šāṭir : le nychtémère, *al-yawm bi-laylatibi*. Quand une date est donnée en temps civil (c'est-à-dire un certain nombre d'heures à compter de midi au Soleil), il faut la corriger en lui ajoutant une certaine « équation du temps », *ta'dīl al-'ayām*, qui s'annule lors de l'équinoxe de printemps quand le Soleil et le point imaginaire coïncident sur l'équateur²⁹⁶. L'heure est un vingt-quatrième de jour solaire moyen.

Soit t_0 la date d'un équinoxe de printemps, et t un instant donné quelconque,

²⁹⁵ C'est-à-dire en une année tropique.

²⁹⁶ En fait, comme on va le voir, le point imaginaire suit le Soleil *moyen* et il est donc situé un peu à l'ouest du Soleil au moment de l'équinoxe.

dates exprimées en jours solaires moyens. Les mêmes dates exprimées en temps civil (jours solaires, et heures comptées à partir de midi au soleil) seront notées τ_0 et τ , et en jours sidéraux T_0 et T .

Le point imaginaire se déplace le long de l'équateur à la vitesse du Soleil moyen ; son ascension droite varie donc comme la longitude $\bar{\lambda}$ du Soleil moyen. À l'instant t , elle vaut $\bar{\lambda}(t)$.

De combien le Soleil s'est-il déplacé vers l'est depuis le dernier équinoxe de printemps ? C'est précisément son ascension droite $\alpha(t)$.

Le jour sidéral est plus court que le jour solaire, d'autant qu'il faut au mouvement diurne pour récupérer le déplacement du Soleil vers l'est. La vitesse du mouvement diurne est d'environ 15° par heure (elle est de 360° par jour sidéral, mais le jour sidéral compte un peu moins que 24 heures). On a donc :

$$(T - T_0) - (\tau - \tau_0) \simeq \frac{\alpha(t)}{15^\circ} \text{ heures.}$$

Il ne s'agit que d'une approximation, puisque pendant cette durée, le Soleil se déplace légèrement davantage vers l'est...

De même, le jour sidéral est plus court que le jour solaire moyen, d'autant qu'il faut au mouvement diurne pour récupérer le déplacement du point imaginaire vers l'est le long de l'équateur :

$$(T - T_0) - (t - t_0) \simeq \frac{\bar{\lambda}(t) - \bar{\lambda}(t_0)}{15^\circ} \text{ heures.}$$

Ibn al-Šāṭir donne $\bar{\lambda}(t_0) = -2^\circ 1' 7''$. L'équation du temps est donc ²⁹⁷ :

$$E = (t - t_0) - (\tau - \tau_0) \simeq \frac{-\bar{\lambda}(t) - 2^\circ 1' 7'' + \alpha(t)}{15^\circ} \text{ heures.}$$

Chez Ibn al-Šāṭir, l'unité de temps est le jour solaire moyen, ou l'année persane de 365 jours solaires moyens. L'« Époque » (c'est-à-dire l'instant $t = 0$) est à midi du 24 décembre 1331. Il s'agit probablement d'une date en temps solaire moyen (les valeurs des paramètres à cette date ayant été obtenus par le calcul à partir d'observations antérieures ²⁹⁸, un jour d'équinoxe de printemps). Le temps GMT (*Greenwich mean time*) est un temps solaire moyen mesurant comme précédemment le déplacement uniforme d'un point imaginaire le long de l'équateur, mais ce point ne coïncide

²⁹⁷ On adopte ici la convention française quant au signe de l'équation du temps E.

²⁹⁸ Du propre aveu d'Ibn al-Šāṭir en I.8.1 : « Nous avons déjà posé que le jour où nous avons observé à la fois l'astre moyen et l'astre vrai est l'équinoxe de printemps, et nous lui rapportons tous les autres nyctémères. »

pas avec le Soleil lors de l'équinoxe de printemps : l'équation du temps n'a donc pas la même origine que chez Ibn al-Šāṭir, elle est d'environ 8 min à l'équinoxe de printemps et elle s'annule vers le 15 avril. Il faut aussi tenir compte du décalage horaire à la longitude de Damas, $36^{\circ}18'23''$. L'Époque d'Ibn al-Šāṭir est donc, en temps GMT, le 24 décembre 1331 à $12 \text{ h } 8 \text{ min} - \frac{36^{\circ}18'23''}{15^{\circ}} \simeq 9 \text{ h } 43 \text{ min}$.

Pourquoi Ibn al-Šāṭir choisit-il le 24 décembre 1331 comme Époque ? Le premier jour de la première année de l'ère de Yazdgard est le 12 juin 632 (date julienne). Sept cents années persanes plus tard (soit $700 \times 365 = 255\,500$ jours), on est le premier jour de l'année 701 de l'ère de Yazdgard, un mardi (*yawm al-talāṭā'*), le 23 *rabi' al-awwal* 732 de l'hégire (date julienne : 24 décembre 1331). Ibn al-Šāṭir avait alors 24 ans.

5. LE SOLEIL

5.1. Figure initiale

Soit $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ la base canonique de \mathbb{R}^3 qu'on identifiera à l'espace physique. Selon Ibn al-Šāṭir, la trajectoire du Soleil est contenue dans le plan de l'écliptique (\mathbf{i}, \mathbf{j}) . Dans les modèles d'Ibn al-Šāṭir, on chercherait en vain une description mathématique du mouvement en termes de transformations ou de différences entre deux instants. L'objet de la description mathématique est ici l'opération transformant une figure initiale (qui n'a d'existence qu'imaginaire) en une autre figure représentant la configuration des astres à un instant donné. Mais pour décrire le mouvement des astres, Ibn al-Šāṭir n'admet que des mouvements circulaires uniformes ou bien des mouvements composés de mouvements circulaires uniformes : les seules opérations autorisées seront donc des rotations spatiales dont les paramètres dépendent linéairement de la variable temps.

Dans la figure initiale, les centres des orbes du Soleil sont tous alignés dans la direction du vecteur \mathbf{j} elle-même confondue avec la direction du point vernal. Le point O est le centre du monde, P_1 est le centre de l'orbe total (*al-falak al-šāmil*²⁹⁹), et P_2 le centre du parécliptique du Soleil. Ces trois points sont confondus $O = P_1 = P_2$. Le point P_3 est le centre de l'orbe déferent, P_4 le centre de l'orbe rotateur, et P est

²⁹⁹ La dénomination des orbes du Soleil peut prêter à confusion. Pour décrire le mouvement en longitude des planètes, chacune possède deux orbes concentriques, parécliptique et orbe incliné. Le Soleil n'a pas d'orbe incliné ; son « orbe total » joue à peu près le rôle du parécliptique des autres planètes, et son « parécliptique », celui de l'orbe incliné. Mais pour le Soleil, ces deux orbes ayant même centre et même axe de rotation, on pourrait aussi bien les confondre en un orbe unique ; Ibn al-Šāṭir le savait, et il laisse planer une certaine ambiguïté, par exemple dans la fig. 2 p. 166 où le parécliptique semble contenir l'orbe total, tandis que son texte semble affirmer le contraire.

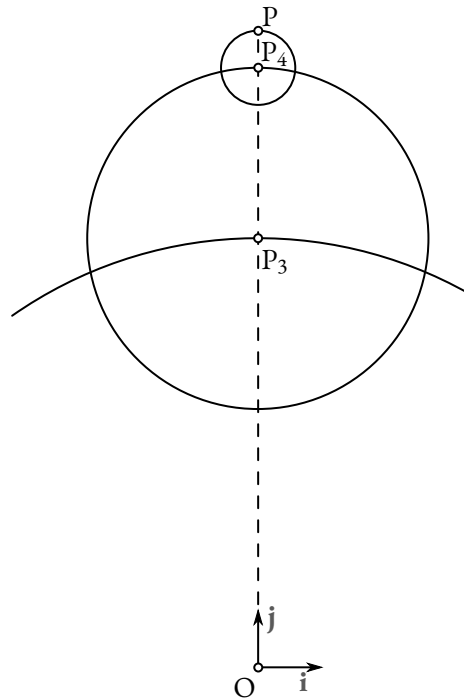


FIG. v : Les orbres du Soleil, figure initiale

le centre du Soleil, cet astre étant lui-même un corps sphérique. La figure v précise la position de ces points ³⁰⁰. Elle n'est pas à l'échelle. Je donne une représentation à l'échelle et en perspective, fig. ix, p. 216. Posons $\overrightarrow{OP_3} = 60 \mathbf{j}$, alors

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_3P_4} &= 4;37 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_4P} &= 2;30 \mathbf{j}\end{aligned}$$

où le point-virgule sépare partie entière et partie fractionnaire ³⁰¹.

³⁰⁰ Attention, ma figure v n'est pas présente dans le traité d'Ibn al-Šāṭir. Il a certes représenté les centres des orbres du Soleil dans cinq positions distinctes, fig. 1 p. 164 ; mais le Soleil y atteint son auge au commencement du Cancer (c'était à peu près le cas à l'époque d'Ibn al-Šāṭir), et non au point vernal. Dans mon commentaire, je préfère suivre l'usage adopté par Ibn al-Šāṭir pour d'autres planètes, car cet usage colle davantage avec l'architecture conceptuelle de l'ensemble. Enfin, dans les figures du commentaire, sauf mention explicite, je n'indiquerai jamais le vecteur \mathbf{k} : il forme toujours un trièdre droit avec les deux autres vecteurs de base \mathbf{i} et \mathbf{j} .

³⁰¹ Toutes les valeurs numériques seront données en sexagésimal, et la virgule sert alors à séparer les rangs. Par exemple, $359;45,40 = 359 + \frac{45}{60} + \frac{40}{60^2}$.

Insistons encore sur ce point déjà soulevé : *a priori* la figure initiale ne représente la position des orbes à aucun instant de l'histoire passée ou future du monde. La situation représentée peut se produire dans la réalité, s'il arrive que le Soleil soit à l'apogée de sa trajectoire à la traversée du point vernal, c'est-à-dire à l'équinoxe de printemps ; mais Ibn al-Šāṭir ne se pose même pas la question de savoir si le Soleil a jamais été à l'apogée de sa trajectoire à l'instant précis de l'équinoxe de printemps. Peu importe. Comme je l'ai dit, il faut appliquer au point P une suite de transformations géométriques pour obtenir la position du Soleil prédite ou observée à un instant donné.

5.2. Transformations géométriques

Les transformations appliquées au Soleil P sont des rotations dans le plan (\mathbf{i}, \mathbf{j}) paramétrées par deux angles λ_a , $\bar{\kappa}$ appelés *l'auge* et le *centre*³⁰². Voici la liste de ces transformations :

$$R_{P_4, \mathbf{k}, 2\bar{\kappa}}, \quad R_{P_3, \mathbf{k}, -\bar{\kappa}}, \quad R_{P_2, \mathbf{k}, \bar{\kappa}}, \quad R_{P_1, \mathbf{k}, \lambda_a},$$

où $R_{Q, \mathbf{k}, \theta}$ désigne la rotation de centre Q et d'angle θ , le vecteur \mathbf{k} désignant la direction de l'axe de rotation, et le sens de rotation. La description d'Ibn al-Šāṭir ne laisse aucun doute quant à l'ordre dans lequel appliquer ces quatre transformations.

Pour obtenir la configuration des orbes à un instant donné, il faut donc appliquer ces rotations aux points P_3, P_4, P . L'image du point P_3 entraîné par les mouvements de l'orbe total et de l'orbe parécliptique est :

$$P'_3 = R_{P_1, \mathbf{k}, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{k}, \bar{\kappa}} (P_3).$$

Quant au point P_4 , il est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe déférent et devient :

$$P'_4 = R_{P_1, \mathbf{k}, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{k}, \bar{\kappa}} R_{P_3, \mathbf{k}, -\bar{\kappa}} (P_4).$$

Enfin le point P, aussi entraîné par le mouvement de l'orbe rotateur, devient :

$$P' = R_{P_1, \mathbf{k}, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{k}, \bar{\kappa}} R_{P_3, \mathbf{k}, -\bar{\kappa}} R_{P_4, \mathbf{k}, 2\bar{\kappa}} (P).$$

³⁰² Ici comme ailleurs, mon choix de notations est dicté par la commodité dans les comparaisons futures avec les modèles d'autres auteurs. Je m'inspire beaucoup des travaux de Neugebauer et Swerdlow.

5.3. Trajectoire

Dans le cadre théorique qu'on vient de décrire, l'on ne peut guère parler de trajectoire dans l'espace. Il y a bien toutefois une trajectoire dans l'ensemble des valeurs des paramètres :

$$\lambda_a = \dot{\lambda}_a t + \lambda_a(0),$$

$$\bar{\kappa} = (\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\lambda}_a)t + (\bar{\lambda}(0) - \lambda_a(0)).$$

On a :

$$\bar{\lambda}(0) = 280;9,0, \quad \dot{\bar{\lambda}} = 359;45,40 \text{ par année persane,}$$

$$\lambda_a(0) = 89;52,3,1, \quad \dot{\lambda}_a = 0;1 \text{ par année persane.}$$

Si l'observation et la tradition délivrent une vitesse moyenne par année persane de 359;45,40 degrés, une simple division permet d'en déduire la vitesse par jour solaire moyen, par mois de trente jours, ou bien par heure équinoxiale. C'est dans cet ordre qu'a dû procéder Ibn al-Šāṭir, comme le révèle la précision absurde des valeurs données en I.7.7 :

$$\dot{\bar{\lambda}} = 0;59,8,19,43,33,41,55,4,6 \text{ par jour solaire moyen,}$$

$$= 29;34,9,51,46,50,57,32 \text{ par mois de trente jours,}$$

$$= 0;2,27,50,49,18,54,14,47 \text{ par heure équinoxiale.}$$

On en déduit aussi (voir I.7.3) :

$$\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\lambda}_a = 0;59,8,9,51,47 \text{ par jour.}$$

5.4. Équation du Soleil

Le calcul de la position du point P' revient à résoudre deux triangles rectangles (cf. fig. VI p. 213) pour calculer l'angle $c(\bar{\kappa})$ traditionnellement appelé « équation du Soleil » :

$$c(\bar{\kappa}) = (\overrightarrow{OP'_3}, \overrightarrow{OP'}) = -\arcsin\left(\frac{P_3P_4 \sin \bar{\kappa} - P_4P \sin \bar{\kappa}}{OP'}\right)$$

où

$$OP' = \sqrt{(P_3P_4 \sin \bar{\kappa} - P_4P \sin \bar{\kappa})^2 + (OP_3 + P_3P_4 \cos \bar{\kappa} + P_4P \cos \bar{\kappa})^2}.$$

La longitude de P' , depuis le point vernal, est alors :

$$\lambda = \left(\mathbf{j}, \overrightarrow{OP'}\right) = \lambda_a + \bar{\kappa} + c(\bar{\kappa})$$

On remarque que :

$$c(360^\circ - \bar{\kappa}) = -c(\bar{\kappa})$$

On a tracé le graphe de l'équation du Soleil en fonction de $\bar{\kappa}$, voir fig. VII où l'on a aussi représenté à des fins de comparaison l'équation calculée suivant la méthode de Ptolémée³⁰³ :

$$c_{\text{Ptolémée}}(\bar{\kappa}) = -\arcsin\left(\frac{2;29,30 \sin \bar{\kappa}}{\sqrt{(2;29,30 \sin \bar{\kappa})^2 + (60 + 2;29,30 \cos \bar{\kappa})^2}}\right).$$

La figure VII montre aussi l'équation telle qu'aurait pu l'observer Ibn al-Šāṭir en 1331, en retranchant à la longitude vraie observée³⁰⁴ le soleil moyen calculé avec les paramètres $\bar{\lambda}(0)$, $\dot{\lambda}$ mentionnés ci-dessus.

5.5. Application

On a vu qu'Ibn al-Šāṭir donnait la longitude du Soleil moyen à $t = 0$: c'est $\bar{\lambda}(0) = 280^\circ 9' 0''$. Pour avoir la position exacte du Soleil le long de l'écliptique à cette date, il faut corriger cette valeur par l'équation du Soleil comme on l'explique dans la section précédente. On trouve $\lambda = 280^\circ 33' 31''$. À titre de comparaison, l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides de l'Observatoire de Paris donne $\lambda = 280^\circ 29'$ le 24 décembre 1331 à 9 h 43 min.

5.6. Distances extrêmes et dimensions des orbes

Tandis que la figure v représentait, pour chaque orbe, la trajectoire circulaire de son centre au sein de l'orbe le portant, la figure VIII est une section des corps à symétrie sphérique constituant les orbes : chaque cercle y représente le bord d'un orbe. Cette figure n'est pas à l'échelle, mais on y a écrit les dimensions des orbes, en unités telles que $OP_3 = 60$. Il est alors facile de calculer la distance maximale du Soleil à la Terre, $OP = 67;7$, et sa distance minimale, $52;53$. Soit r le rayon du globe solaire lui-même. On a :

$$\text{rayon du rotateur} = 2;30 + r$$

$$\text{rayon du déferent} = 4;37 + 2;30 + r = 7;7 + r$$

$$\text{rayon extérieur du parécliptique} = 60 + 7;7 + r = 67;7 + r$$

$$\text{rayon intérieur du parécliptique} = 60 - (7;7 + r) = 52;53 - r$$

L'épaisseur du parécliptique serait donc $14;14 + 2r$. Or Ibn al-Šāṭir nous dit (I.7.9) :

³⁰³ Cf. Pedersen, 1974, p. 150.

³⁰⁴ Comme je l'explique *supra*, p. 20, la longitude vraie observée est assimilée à la longitude λ_{IMCCE} calculée par le serveur d'éphémérides de l'IMCCE (Observatoire de Paris).

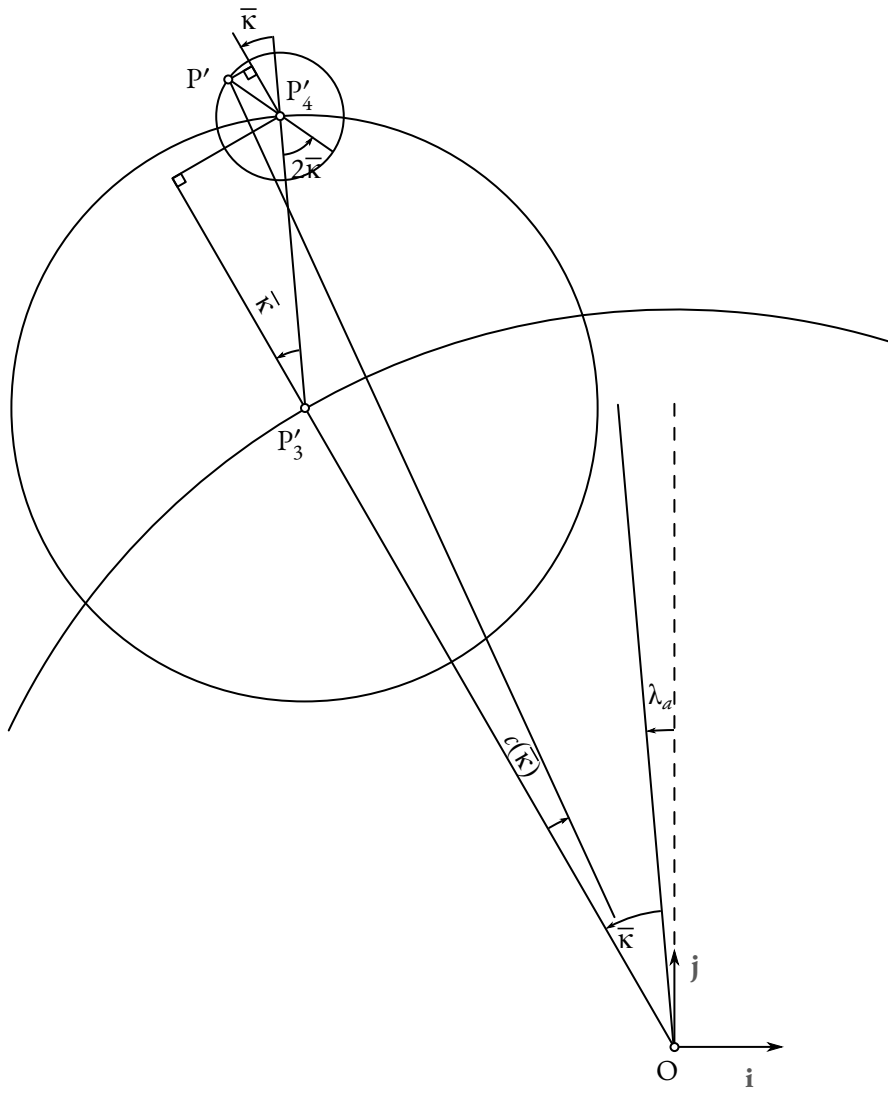


FIG. VI : Le Soleil : transformations planes

Son épaisseur est de quatorze degrés et trente-quatre minutes, plus un complément. Pour que [les orbes] soient mutuellement contigus quand on y plonge l'orbe déférent, nous prenons un complément d'un tiers de degré à l'extérieur et à l'extérieur, en parts telles que son rayon extérieur est soixante-sept parts et dix-sept minutes.

Une épaisseur de 14;34 inclut déjà un « complément » de 0;20 égal au diamètre supposé du globe solaire dans le chapitre I.7 ; mais cette valeur est provisoire, comme on le voit dans la conclusion de la première partie de la *Nihāya*. D'une part, l'observation permettra de déterminer le diamètre du globe solaire (voir I.31.12). D'autre part, il faudra prendre un « complément » suffisant pour que la partie concave de l'orbe du Soleil touche exactement la partie convexe du système d'orbes de Vénus (I.31.21). Enfin, l'épaisseur de 0;43 choisie pour l'orbe total dans le chapitre I.7 a aussi un caractère provisoire ; elle n'influe en rien sur la trajectoire décrite par le Soleil dans ce modèle ; et Ibn al-Šāṭir l'oubliera complètement dans sa conclusion.

Pour chaque astre, Ibn al-Šāṭir trace toujours deux figures, analogues des figures v et VIII. Celle représentant les trajectoires des centres des orbes est très utile à la compréhension du modèle mathématique : elle permet de situer la position des centres des orbes et donc aussi la position de l'astre. L'autre figure, représentant les « orbes solides », relève davantage de l'astronomie physique et de la nature des orbes ; elle nous offre une image du monde par ses sections planes, et elle permet aussi d'en calculer les dimensions sous l'hypothèse que les systèmes d'orbes appartenant aux différents astres s'emboîtent les uns dans les autres sans qu'il n'y ait de vide.

5.7. Diamètre apparent

Le diamètre apparent du Soleil quand il est à distance moyenne ($OP' = 60$) est, selon Ibn al-Šāṭir, 0;32,32 degrés. À partir de cette observation et des distances extrêmes calculées précédemment, on trouve facilement le diamètre apparent à l'apogée :

$$\frac{0;32,32 \times 60}{67;7} \simeq 0;29,5$$

et au périhélie :

$$\frac{0;32,32 \times 60}{52;53} \simeq 0;36,55.$$

D'après Saliba³⁰⁵, Ibn al-Šāṭir est le premier auteur étudiant sérieusement la variation du diamètre apparent du Soleil, en lien avec la possibilité des éclipses annulaires que n'avait pas envisagées Ptolémée ; il y avait là motivation à offrir un nouveau modèle du Soleil. Des observations du diamètre apparent suffisent en effet à déterminer

³⁰⁵ Rashed, 1997, p. 103.

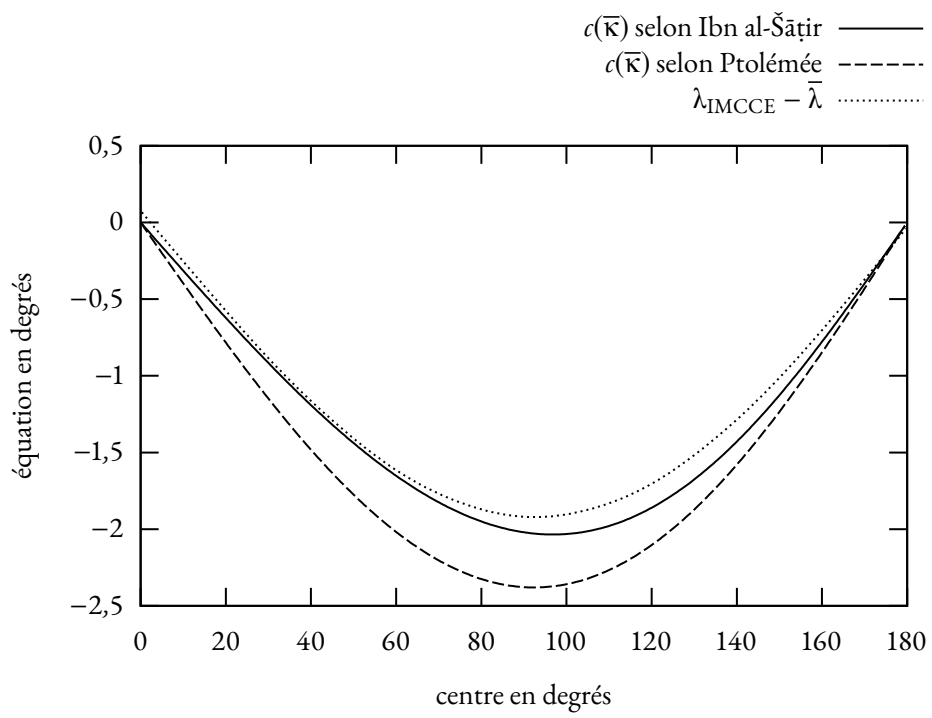


FIG. VII : L'équation du Soleil

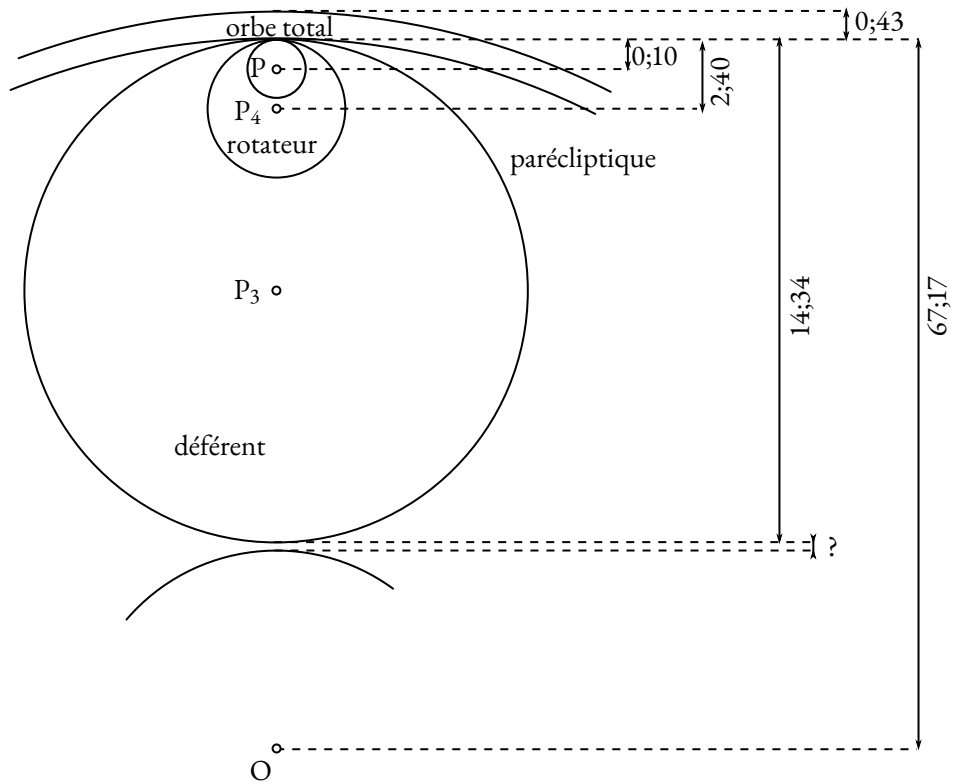


FIG. VIII : Les orbes solides du Soleil

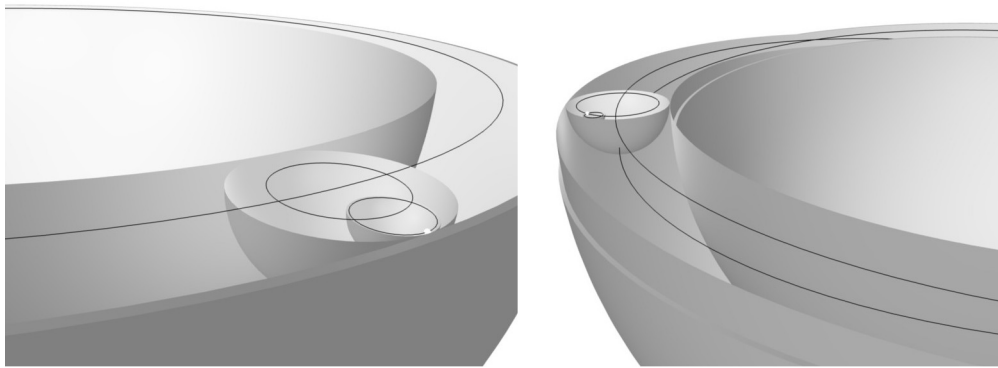


FIG. IX : Une représentation moderne des orbes du Soleil (à gauche) et de la Lune (à droite), librement inspirée d'Ibn al-Šāṭir

$OP_3 + P_3P_4 + P_4P$ et $OP_3 - P_3P_4 - P_4P$, d'où l'on tire $P_3P_4 + P_4P$, à un facteur d'échelle près permettant de choisir $OP_3 = 60$. Pour régler entièrement les paramètres du modèle, il suffirait enfin de déterminer $P_3P_4 - P_4P$. Saliba suggère qu'Ibn al-Šāṭir a pu le faire en observant l'équation maximale. Ibn al-Šāṭir mentionne des observations concernant le diamètre apparent du Soleil (en I.7.15 et I.31.3).

Sans remettre en cause l'analyse de Saliba, j'aimerais suggérer que ce scénario n'est pas le seul possible. Un premier ensemble d'observations aurait pu permettre de déterminer l'équation maximale ou bien l'équation dans les quadratures. On montre facilement que l'équation dans les quadratures vaut :

$$c(90^\circ) = -\arctan\left(\frac{P_3P_4 - P_4P}{OP_3}\right).$$

Quant à l'équation maximale c_{\max} , on montre facilement qu'elle est atteinte lorsque³⁰⁶

$$\cos \bar{\kappa} = -\frac{P_3P_4 + P_4P}{OP_3},$$

et on a alors :

$$(OP_3^2 - (P_3P_4 + P_4P)^2) \tan^2 c_{\max} = (P_3P_4 - P_4P)^2.$$

Ibn al-Šāṭir aurait ensuite pu utiliser des observations concernant l'équation du Soleil dans les octants : il mentionne lui-même ces observations comme étant un argument en faveur de ses modèles³⁰⁷. On montre facilement que :

$$\frac{P_3P_4 - P_4P}{OP_3} = -\left(\sqrt{2} + \frac{P_3P_4 + P_4P}{OP_3}\right) \tan c(45^\circ).$$

Finalement, les observations concernant le diamètre apparent auraient très bien pu n'être utilisées que comme test d'un modèle déjà achevé. Dans tous les cas, il reste à étudier *comment* de telles observations – diamètre apparent, équation maximale, équation dans les quadratures, dans les octants – ont pu être menées, et à quelle précision, avec les moyens de l'époque.

6. LA LUNE

La trajectoire de la Lune est contenue dans un plan incliné par rapport au plan de l'écliptique. Ibn al-Šāṭir conçoit donc un *orbe incliné*, dont le plan est immobile

³⁰⁶ On le voit en posant $z^{-1} = OP_3 + (P_3P_4 + P_4P) \cos \bar{\kappa}$. La grandeur $\tan^2 c(\bar{\kappa})$ à maximiser est un polynôme de degré 2 en z .

³⁰⁷ Voir l'introduction d'Ibn al-Šāṭir, en I.0.18.

au sein du référentiel constitué par l'orbe parécliptique de la Lune. Ce plan incliné coupe le plan du parécliptique suivant une droite, la direction des « nœuds ». Les nœuds sont deux points du parécliptique, diamétralement opposés, dans cette direction. Comme l'orbe parécliptique de la Lune entraîne l'orbe incliné dans son mouvement, alors les nœuds se déplacent de manière uniforme le long de l'écliptique, par rapport au point vernal.

Pour décrire le mouvement des points situés sur le plan de l'orbe incliné, Ibn al-Šāṭir utilise comme point de référence un point situé « en face du point vernal » : l'arc de l'orbe incliné compris entre ce point et le nœud ascendant est égal à l'arc de l'écliptique compris entre le point vernal et le nœud ascendant (voir figure x). Ibn al-Šāṭir devait en effet rabattre le plan de l'orbe incliné dans le plan de l'écliptique au moyen d'une rotation dont l'axe est la direction des nœuds. Le point « en face du point vernal » devient alors une origine naturelle pour les mesures angulaires.

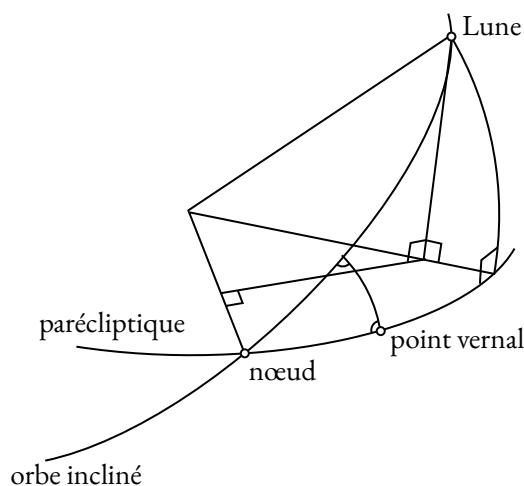


FIG. x : Mouvement en latitude de la Lune

6.1. Figure initiale

Soit $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ la base canonique de \mathbb{R}^3 . Dans la figure initiale, les plans des orbes sont tous rabattus dans le plan de l'écliptique (\mathbf{i}, \mathbf{j}) par des rotations, les centres des orbes sont tous alignés dans la direction du vecteur \mathbf{j} elle-même confondue avec la direction du point vernal ; enfin, la ligne des nœuds, à l'intersection des plans de l'orbe incliné et du parécliptique, est orientée dans la direction du vecteur \mathbf{j} , le nœud ascendant étant du même côté que \mathbf{j} . Le point O est le centre du Monde, P_1 le centre du parécliptique de la Lune, et P_2 le centre de son orbe incliné. Ces trois points sont confondus $O = P_1 = P_2$. Le point P_3 est le centre de l'orbe de l'épicycle, P_4 le

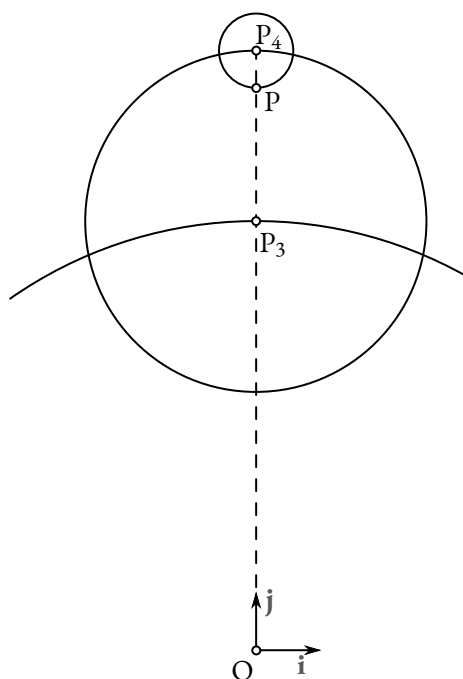


FIG. XI : Les orbes de la Lune, figure initiale

centre de l'orbe rotateur, et P le centre de la Lune, cet astre étant lui-même un corps sphérique. La figure XI précise la position de ces points, mais elle n'est pas à l'échelle. Bien qu'ils soient alignés, on remarque que les rayons vecteurs $\overrightarrow{P_n P_{n+1}}$ ne sont pas tous dans le même sens. On pose : $\overrightarrow{OP_3} = 60 \mathbf{j}$, alors

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_3 P_4} &= 6,35 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_4 P} &= -1,25 \mathbf{j}\end{aligned}$$

Il faut appliquer au point P une suite de transformations géométriques pour obtenir la position de la Lune prédite ou observée à un instant donné.

6.2. Transformations géométriques

Les transformations appliquées à la Lune P sont des rotations paramétrées par quatre angles : le *nœud* ($-\lambda_\Omega$), la *Lune propre* $\bar{\alpha}$, le *centre de la Lune* $2\bar{\eta}$, et l'argument de latitude³⁰⁸ moyen $(\bar{\lambda} - \lambda_\Omega)$. Enfin, $\bar{\lambda}$ désigne la *Lune moyenne*. Voici la liste des

³⁰⁸ Cette grandeur mesure un arc le long de l'orbe incliné entre le nœud ascendant et le centre de l'épicycle ; il ne faut donc pas la confondre avec une latitude.

transformations géométriques utilisées³⁰⁹ :

$$R_{P_4, k, 2\bar{\eta}} \quad R_{P_3, k, -\bar{\alpha}} \quad R_{P_2, k, \bar{\lambda} - \lambda_{\zeta}} \quad R_{P_2, j, 5^\circ} \quad R_{P_1, k, \lambda_{\zeta}}.$$

La rotation dont l'axe est dans la direction du vecteur j a pour effet d'incliner le plan de l'orbe incliné par rapport au plan du parécliptique. La description d'Ibn al-Šāṭir ne laisse aucun doute quant à l'ordre dans lequel appliquer ces quatre transformations.

Pour obtenir la configuration des orbes à un instant donné, il faut donc appliquer ces rotations aux points P_3, P_4, P . L'image du point P_3 entraîné par les mouvements du parécliptique et de l'orbe incliné est :

$$R_{P_1, k, \lambda_{\zeta}} R_{P_2, j, 5^\circ} R_{P_2, k, \bar{\lambda} - \lambda_{\zeta}} (P_3).$$

Quant au point P_4 , il est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe de l'épicycle et il devient :

$$R_{P_1, k, \lambda_{\zeta}} R_{P_2, j, 5^\circ} R_{P_2, k, \bar{\lambda} - \lambda_{\zeta}} R_{P_3, k, -\bar{\alpha}} (P_4).$$

Enfin le point P , aussi entraîné par le mouvement de l'orbe rotateur, devient :

$$R_{P_1, k, \lambda_{\zeta}} R_{P_2, j, 5^\circ} R_{P_2, k, \bar{\lambda} - \lambda_{\zeta}} R_{P_3, k, -\bar{\alpha}} R_{P_4, k, 2\bar{\eta}} (P).$$

³⁰⁹ Il règne une légère ambiguïté concernant λ_{ζ} dans le texte d'Ibn al-Šāṭir. Quant il décrit le mouvement du parécliptique de la Lune, qu'il dit être 0;3,10,38,27 par jour, il ajoute « en vérité, à proprement parler, ce mouvement est l'excédent du mouvement des nœuds sur le mouvement des étoiles fixes » (I.9.9). Est-ce à dire que la valeur donnée par Ibn al-Šāṭir est la différence entre le mouvement du parécliptique de la Lune et le mouvement des fixes (précession), tous deux relatifs au référentiel solide du neuvième orbe ? Ce serait donc leur somme algébrique puisque ces deux mouvements vont en sens contraires ; c'est l'interprétation que j'ai retenue dans mon commentaire mathématique. Dans ce cas, la rotation $R_{P_1, k, \lambda_{\zeta}}$ rend en fait compte du mouvement des fixes *et* du mouvement du parécliptique ; le « nœud moyen » et le « mouvement du nœud moyen » désignent alors des grandeurs mesurées par rapport au référentiel solide du neuvième orbe et décrivant le mouvement du parécliptique au sein de ce référentiel. Ibn al-Šāṭir dit plus loin (I.9.33) que le nœud moyen est l'arc « entre le commencement du Bélier et le nœud ascendant, dans l'orbe parécliptique ». Si mon interprétation est juste, il faut donc penser qu'il commet un abus de langage en désignant le point vernal par la locution « commencement du Bélier », puisque le commencement du Bélier désigne un point de l'écliptique qui subit le mouvement de précession, et non un point du neuvième orbe. Mais mon interprétation est confortée par le sort analogue dévolu au mouvement des auges pour les autres astres. Par exemple, dans le modèle du Soleil vu ci-dessus, la grandeur λ_a du mouvement de l'apogée (un degré toutes les soixante années persanes) est bien la somme du mouvement de précession (un degré toutes les soixante-dix années persanes) et du mouvement de l'orbe total. Cette interprétation est aussi confortée par la version primitive du ch. I.9 où Ibn al-Šāṭir dit que « le mouvement du nœud est, au fond, supérieur à 0;3,11 [\approx 0;3,10,38,27], de la grandeur du mouvement des fixes, par jour » : *fa-yakūn ḥaraka al-ḡuzḥar fī al-'aṣl 'aktar min talāt daqā'iq wa-'iḥdā 'ašra tāniya bi-qadr ḥaraka al-tawābit li-yawm* [ms. S f. 20v, ms. Q f. 13v].

6.3. Trajectoire paramétrée

Le modèle de la Lune est couplé au mouvement du Soleil moyen dont on notera désormais $\dot{\bar{\lambda}}_{\odot}$ et $\bar{\lambda}_{\odot}(0)$ les paramètres notés précédemment $\dot{\bar{\lambda}}$ et $\bar{\lambda}(0)$, puisque ces derniers symboles concernent désormais la Lune moyenne. Pour la Lune, la trajectoire dans l'ensemble des valeurs des paramètres est :

$$\begin{aligned}\lambda_{\odot} &= \dot{\lambda}_{\odot}t + \lambda_{\odot}(0) \\ \bar{\lambda} - \lambda_{\odot} &= (\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\lambda}_{\odot})t + \bar{\lambda}(0) - \lambda_{\odot}(0) \\ \bar{\alpha} &= \dot{\bar{\alpha}}t + \bar{\alpha}(0) \\ 2\bar{\eta} &= 2(\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\bar{\lambda}}_{\odot})t + 2(\bar{\lambda}(0) - \bar{\lambda}_{\odot}(0))\end{aligned}$$

On a, d'après Ibn al-Šāṭir :

$$\bar{\lambda}_{\odot}(0) = 280;9,0, \quad \dot{\bar{\lambda}}_{\odot} = 0;59,8,19,43,33,41,55,4,6 \text{ par jour solaire moyen}$$

$$\bar{\lambda}(0) = 213;35,50, \quad \dot{\bar{\lambda}} = 13;10,35,1,13,53 \text{ par jour solaire moyen}$$

$$\bar{\alpha}(0) = 138;32,27, \quad \dot{\bar{\alpha}} = 13;3,53,56 \text{ par jour solaire moyen}$$

$$\lambda_{\odot}(0) = -275;7,35, \quad \dot{\lambda}_{\odot} = -0;3,10,38,27 \text{ par jour solaire moyen}$$

d'où $\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\lambda}_{\odot} = 13;13,45,39,40$ par jour solaire moyen. On appelle « élongation moyenne » la grandeur $\bar{\eta} = \bar{\lambda} - \bar{\lambda}_{\odot}$.

6.4. Transformations planes

Si R et S sont deux rotations dans l'espace, il existe une rotation T telle que RS = TR, à savoir, la rotation de même angle que S et dont l'axe est l'image par R de l'axe de S. Appliquons cette relation de commutation à toutes les composées de rotations décrites p. 220 ci-dessus, de sorte à réécrire à droite toutes les rotations dont l'axe est dans la direction du vecteur **k**. Il suffit de remarquer que :

$$R_{P_1, \mathbf{k}, \lambda_{\odot}} R_{P_2, \mathbf{j}, 5^{\circ}} = R_{P_2, \mathbf{u}, 5^{\circ}} R_{P_1, \mathbf{k}, \lambda_{\odot}}$$

où le vecteur **u** est l'image de **j** par $R_{P_1, \mathbf{k}, \lambda_{\odot}}$. L'image de P est donc :

$$R_{P_1, \mathbf{u}, 5^{\circ}}(P')$$

où

$$P' = R_{P_1, k, \lambda_{\delta\zeta}} R_{P_2, k, \bar{\lambda} - \lambda_{\delta\zeta}} R_{P_3, k, -\bar{\alpha}} R_{P_4, k, 2\bar{\eta}} (P).$$

On introduit de même les points P'_3 et P'_4 suivants :

$$P'_3 = R_{P_1, k, \lambda_{\delta\zeta}} R_{P_2, k, \bar{\lambda} - \lambda_{\delta\zeta}} (P_3),$$

$$P'_4 = R_{P_1, k, \lambda_{\delta\zeta}} R_{P_2, k, \bar{\lambda} - \lambda_{\delta\zeta}} R_{P_3, k, -\bar{\alpha}} (P_4).$$

Tous ces points sont dans le plan de la figure initiale : calculer leurs positions relève entièrement de la géométrie plane.

6.5. Équations de la Lune

Le calcul de la position du point P' revient à résoudre les triangles rectangles représentés sur la figure XII. On calcule d'abord l'angle $c_1 = -(\overrightarrow{P'_3 P'_4}, \overrightarrow{P'_3 P'})$ appelé « équation de la Lune propre » (I.9.24). C'est une fonction de $2\bar{\eta}$:

$$c_1 = \arcsin \left(\frac{P_4 P \sin 2\bar{\eta}}{P'_3 P'} \right)$$

où $P'_3 P'$ est le « rayon de l'épicycle apparent » :

$$P'_3 P' = \sqrt{(P_3 P_4 - P_4 P \cos 2\bar{\eta})^2 + (P_4 P \sin 2\bar{\eta})^2}.$$

On calcule ensuite une autre « équation » $c_2 = (\overrightarrow{OP'_3}, \overrightarrow{OP'})$:

$$c_2 = \arcsin \left(\frac{P'_3 P' \sin(-\bar{\alpha} - c_1)}{OP'} \right)$$

où

$$OP' = \sqrt{(OP_3 + P'_3 P' \cos(\bar{\alpha} + c_1))^2 + (P'_3 P' \sin(\bar{\alpha} + c_1))^2}.$$

La position de P' est alors donnée par OP' et par l'angle suivant :

$$\left(\mathbf{j}, \overrightarrow{OP'} \right) = \bar{\lambda} + c_2$$

La fonction c_1 est une fonction d'une seule variable, et c_2 est fonction des deux variables $\bar{\alpha}$ et $2\bar{\eta}$. Dans ce qui suit, c_2 sera plutôt conçue comme une fonction de $\alpha = \bar{\alpha} + c_1$ et de $2\bar{\eta}$, notée $c_2(\alpha, 2\bar{\eta})$. Plus précisément,

$$c_2(\alpha, 2\bar{\eta}) = \arcsin \left(\frac{P'_3 P' \sin(-\alpha)}{\sqrt{(OP_3 + P'_3 P' \cos \alpha)^2 + (P'_3 P' \sin \alpha)^2}} \right)$$

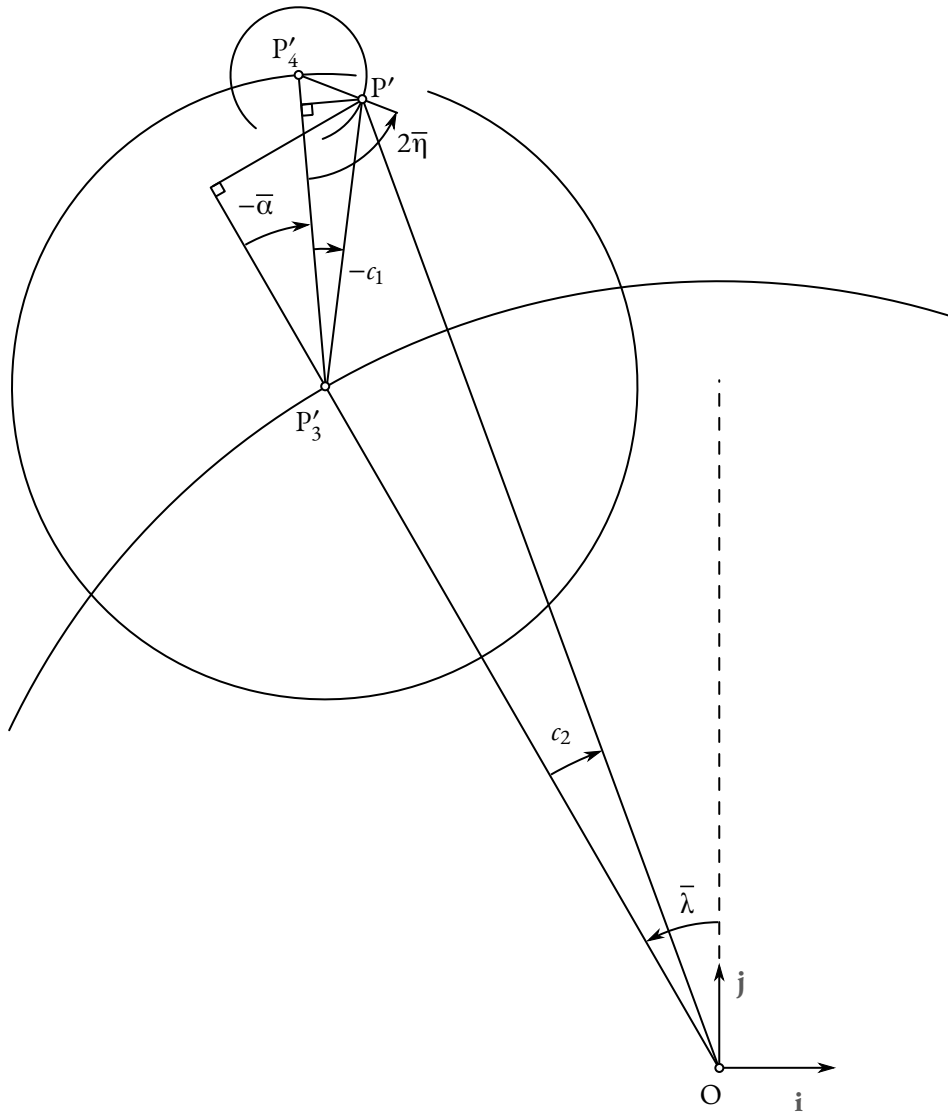


FIG. XII : La Lune, transformations planes

où P'_3P' est la fonction de $2\bar{\eta}$ vue ci-dessus. Ces fonctions sont bien sûr 2π -périodiques par rapport à chacune des variables, mais on remarque aussi que :

$$c_1(360^\circ - 2\bar{\eta}) = -c_1(2\bar{\eta})$$

$$c_2(360^\circ - \alpha, 360^\circ - 2\bar{\eta}) = -c_2(\alpha, 2\bar{\eta})$$

6.6. Fonction de deux variables et interpolation

Les valeurs de c_1 et c_2 devront être reportées dans des tables ; mais c_2 est fonction de deux variables, et il faudrait donc construire une table pour chaque valeur de $2\bar{\eta}$. Les astronomes, à partir de Ptolémée³¹⁰, utilisaient dans ce contexte une méthode d'interpolation visant à calculer une valeur approchée de c_2 au moyen d'un produit d'une fonction de α par une fonction de $2\bar{\eta}$. À α donné, Ibn al-Šāṭir interpole les valeurs de c_2 entre $c_2(\alpha, 0)$ et $c_2(\alpha, 180^\circ)$ au moyen de la formule suivante (qui n'est pas linéaire en $2\bar{\eta}$) :

$$c_2(\alpha, 2\bar{\eta}) \simeq c_2(\alpha, 0) + \chi(2\bar{\eta})(c_2(\alpha, 180^\circ) - c_2(\alpha, 0)).$$

Le coefficient d'interpolation χ est défini par :

$$\chi(2\bar{\eta}) = \frac{\max |c_2(\cdot, 2\bar{\eta})| - \max |c_2(\cdot, 0)|}{\max |c_2(\cdot, 180^\circ)| - \max |c_2(\cdot, 0)|}.$$

Ce coefficient est fonction d'une seule variable, on peut donc le calculer pour une série de valeurs de $2\bar{\eta}$ et en faire une table. Pour ce faire, on remarque que le maximum $\max |c_2(\cdot, 2\bar{\eta})|$ est atteint quand $(\tan(c_2(\alpha, 2\bar{\eta})))^2$ est maximum. En posant $z^{-1} = OP_3 + P'_3P' \cos \alpha$, on montre que $(\tan(c_2(\alpha, 2\bar{\eta})))^2$ est un polynôme de degré 2 en z . On calcule facilement son maximum³¹¹, il est atteint quand

$$\cos \alpha = -\frac{P'_3P'}{OP_3},$$

$$|\sin \alpha| = \sqrt{1 - \left(\frac{P'_3P'}{OP_3}\right)^2}.$$

On reporte ces valeurs dans $|c_2(\alpha, 2\bar{\eta})|$, et on trouve :

$$\max |c_2(\cdot, 2\bar{\eta})| = \arcsin \frac{P'_3P'}{OP_3}.$$

³¹⁰ Voir Pedersen, 1974, p. 84-89.

³¹¹ Ibn al-Šāṭir procède géométriquement, en considérant une droite tangente à l'« épicycle apparent » qui est un cercle de rayon P'_3P' .

6.7. Trigonométrie sphérique

On va à présent calculer les coordonnées sphériques du point $R_{P_1, u, 5^\circ}(P')$ par rapport à l'écliptique. L'angle formé entre le vecteur \mathbf{u} et la direction du point P' vaut (modulo 360°) :

$$(\mathbf{u}, \overrightarrow{OP'}) = (\mathbf{j}, \overrightarrow{OP'}) - (\mathbf{j}, \mathbf{u}) = \bar{\lambda} + c_2 - \lambda_{\Omega}$$

Les égalités suivantes seront aussi prises modulo 360° . Sur la figure XIII, on a représenté sur la sphère de l'écliptique le point B dans la direction du point $R_{P_1, u, 5^\circ}(P')$, et le point C dans la direction du vecteur \mathbf{u} . En particulier,

$$(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OB}) = \bar{\lambda} - \lambda_{\Omega} + c_2.$$

L'étude du triangle sphérique ABC donne :

$$\tan(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) = \cos(5^\circ) \tan(\bar{\lambda} - \lambda_{\Omega} + c_2).$$

La longitude du point $R_{P_1, u, 5^\circ}(P')$ par rapport à l'écliptique, en prenant la direction du point vernal, c'est-à-dire \mathbf{j} , comme origine, est donc, quand $\bar{\lambda} - \lambda_{\Omega} + c_2 \in]-90^\circ, 90^\circ[$:

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = (\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) - (\overrightarrow{OC}, \mathbf{j}) = \arctan(\cos(5^\circ) \tan(\bar{\lambda} - \lambda_{\Omega} + c_2)) + \lambda_{\Omega}.$$

Quand au contraire $\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2 \in]90^\circ, 270^\circ[$, on a :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = 180^\circ + \arctan(\cos(5^\circ) \tan(\bar{\lambda} - \lambda_{\Omega} + c_2)) + \lambda_{\Omega}.$$

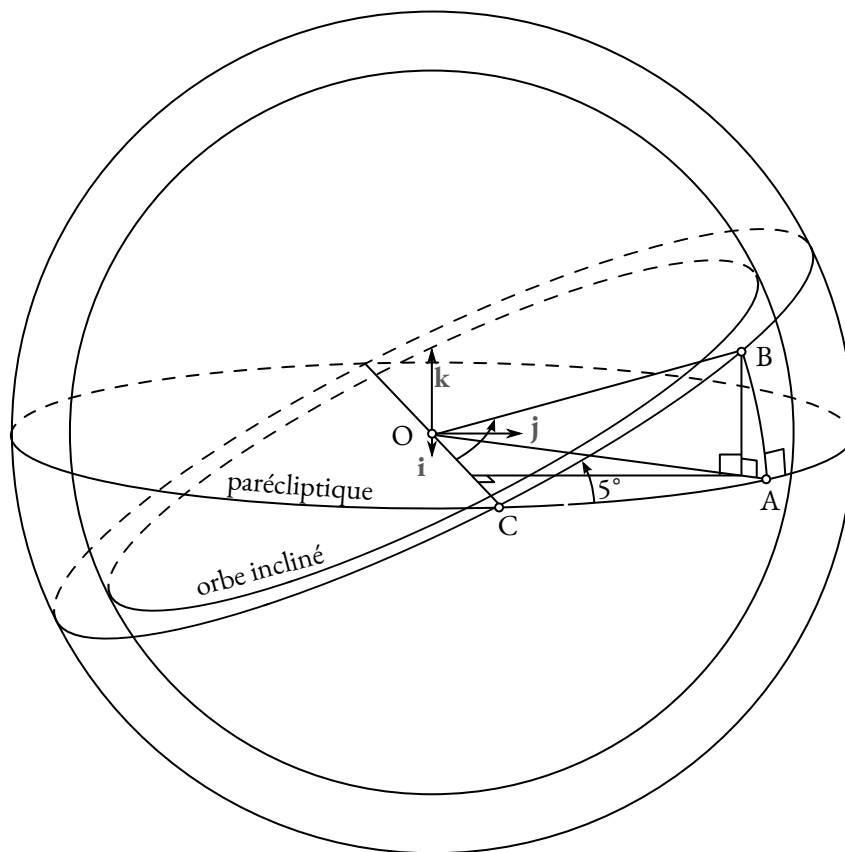
On rassemble ces deux cas dans la formule suivante, valable pour toutes les valeurs des paramètres :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = \bar{\lambda} + c_2 + e_n(\bar{\lambda} - \lambda_{\Omega} + c_2)$$

où l'« équation du déplacement »³¹² $e_n(x)$ est définie comme suit sur l'intervalle $[-90^\circ, 270^\circ[$, et ailleurs par périodicité :

$$e_n(x) = \begin{cases} \arctan(\cos(5^\circ) \tan x) - x, & \text{si } x \in]-90^\circ, 90^\circ[\\ 180^\circ + \arctan(\cos(5^\circ) \tan x) - x, & \text{si } x \in]90^\circ, 270^\circ[\\ 0^\circ, & \text{si } x = \pm 90^\circ. \end{cases}$$

³¹² *Ta'dil al-naql.*

FIG. XIII : La Lune, coordonnées de $R_{P_1, u, 5^\circ}(P')$

Enfin, la latitude de la Lune est :

$$(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}) = \arcsin(\sin(5^\circ) \sin(\bar{\lambda} - \lambda_{\delta\Omega} + c_2)).$$

On peut aussi l'obtenir ainsi (c'est la solution retenue par Ibn al-Šāṭir au ch. I.11) :

$$(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}) = \arctan(\tan(5^\circ) \sin(\bar{\lambda} - \lambda_{\delta\Omega} + c_2 + e_n(\bar{\lambda} - \lambda_{\delta\Omega} + c_2))).$$

6.8. Critique des modèles antérieurs

Les critiques adressées par Ibn al-Šāṭir à ses prédécesseurs (I.0.19) concernent :

- l'usage d'un orbe *excentrique* ;
- la question de l'uniformité du mouvement de rotation d'un orbe excentrique par rapport à un axe passant par son centre ;

- « le fait que le rayon de l'épicycle suive un point autre que le centre de l'orbe qui le porte » (en particulier le point de *prosneuse* dans le troisième modèle de Ptolémée) ;
- la variation du *diamètre apparent* de la Lune, vu de la Terre ;
- l'équation de la Lune dans les *octants*.

Pour mieux évaluer les critiques adressées par Ibn al-Šāṭir à ses prédécesseurs, et la précision de ses propres modèles et des observations dont il a pu les déduire, on procédera, pour chaque astre, au choix d'une période de référence commençant à l'Époque choisie par Ibn al-Šāṭir. Pour la Lune, on a choisi trente jours à partir du 24 décembre 1331. À des fins de comparaison, il faut remarquer que les paramètres des modèles planétaires exprimés en « mouvements moyens » ont toujours une valeur phénoménologique indépendante du modèle géométrique considéré. Par exemple pour la Lune, $\bar{\lambda}$ est la direction d'un point se mouvant uniformément sur l'écliptique et dont la vitesse est la vitesse *moyenne* de la Lune en longitude³¹³. La longitude vraie λ de la Lune oscille autour de $\bar{\lambda}$; en théorie, on peut donc déterminer $\bar{\lambda}$ statistiquement, indépendamment d'un quelconque modèle géométrique. Il est encore plus facile de calculer la vitesse moyenne $\dot{\bar{\lambda}}$: c'est l'inverse d'une période de retour aux mêmes longitudes. Les Babyloniens savaient déjà la calculer en moyennant sur un grand nombre de périodes.

Pour comparer les modèles géométriques d'Ibn al-Šāṭir et ceux de ses prédécesseurs, on pourra donc les utiliser pour calculer la trajectoire d'un *même* astre sur une *même* période de référence, en utilisant un *même* jeu de paramètres concernant les « mouvements moyens ». Les résultats d'une telle comparaison seront nécessairement partiels car aucun astre – pas même le Soleil si l'on tient compte du mouvement de l'auge – n'a un mouvement strictement périodique dans les modèles les plus élaborés.

Ainsi pour la Lune, la figure XIV compare le modèle d'Ibn al-Šāṭir et les deuxième et troisième modèles proposés par Ptolémée. On a tracé plusieurs graphes. Le premier représente l'équation de la Lune $c_2 + e_n(\bar{\lambda} - \lambda_{\Omega} + c_2)$ calculée au moyen du modèle d'Ibn al-Šāṭir ci-dessus, pendant trente jours à partir du 24 décembre 1331. Sur le même repère, on a aussi représenté l'équation telle que pouvait l'*observer* Ibn al-Šāṭir. Pour la connaître, à une date donnée, on calcule la longitude précise de la Lune au moyen d'outils modernes – éphémérides de l'IMCCE – puis on en retranche la Lune moyenne $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}(0) + \dot{\bar{\lambda}}t$ calculée avec les paramètres d'Ibn al-Šāṭir pour cette date. Enfin, toujours sur le même repère, on a représenté l'équation de la Lune calculée au moyen des deuxième et troisième modèles de Ptolémée dans l'*Almageste*.

³¹³ À ne pas confondre avec la vitesse instantanée, d'où la notation pour la vitesse moyenne $\dot{\bar{\lambda}}$ qui est une constante, à ne pas confondre avec $\dot{\lambda}$.

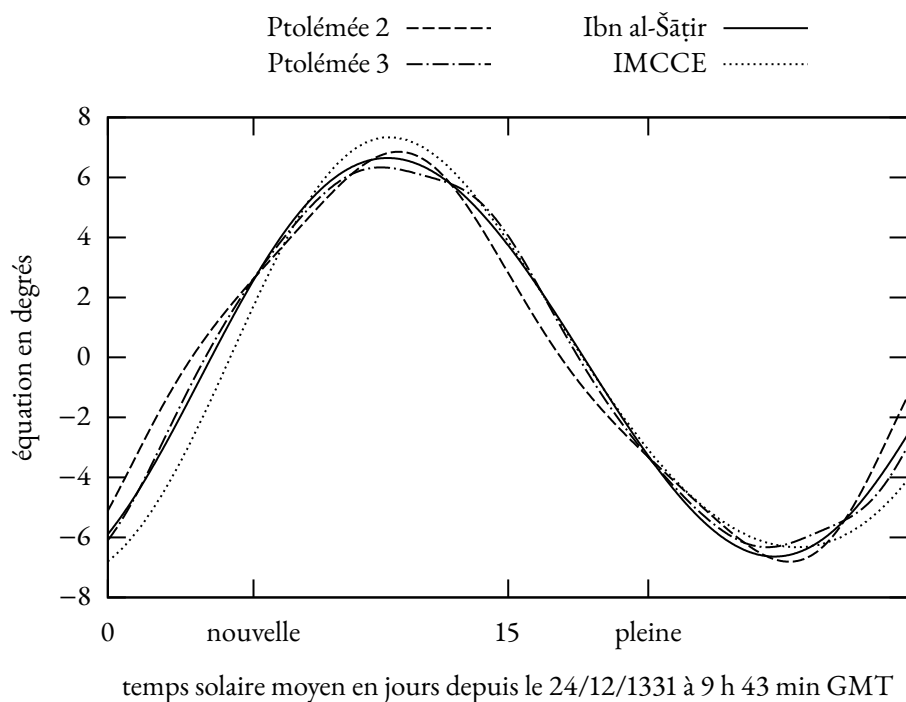


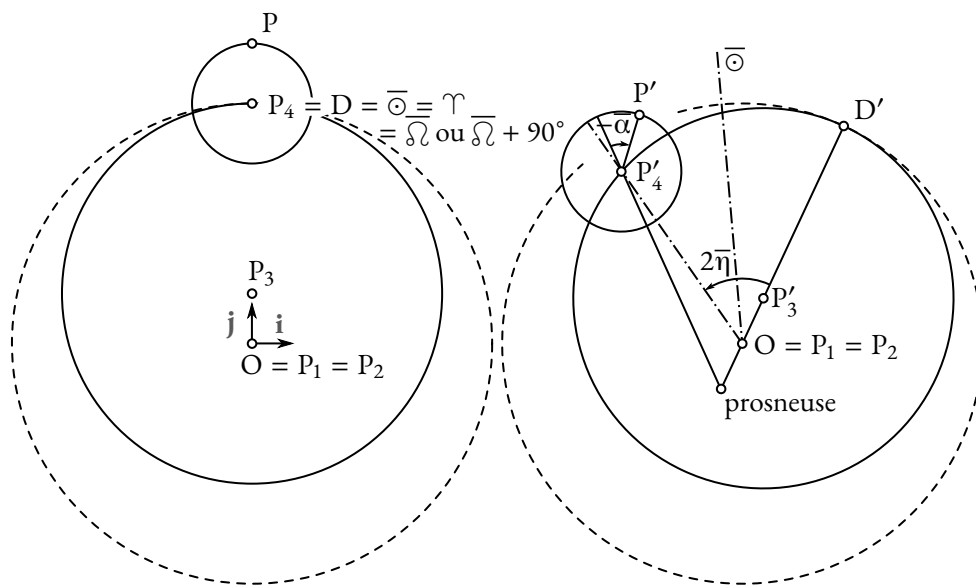
FIG. XIV : L'équation de la Lune en 1331, sur 30 jours

Remarquons que le modèle décrit par Ptolémée dans les « Hypothèses planétaires » est identique au deuxième modèle de l'*Almageste*.

À des fins de référence, la figure xv rappelle les caractéristiques du troisième modèle de la Lune dans l'*Almageste*. Rappelons que le premier modèle de la Lune dans l'*Almageste* est le modèle « naïf » avec un épicycle pour rendre compte de la première anomalie lunaire. Le deuxième modèle de la Lune dans l'*Almageste* fait intervenir un excentrique dont le centre n'est pas fixe. Cet excentrique porte un point, le centre de l'épicycle, à vitesse angulaire constante par rapport au centre du monde. Le troisième modèle de la Lune précise que la direction à partir de laquelle est comptée le mouvement de la Lune propre, $\bar{\alpha}$ dans la figure xv, passe par le centre P'_4 de l'épicycle et par un point de « prosneuse » qui est distinct du centre P'_3 de l'excentrique et du centre du monde O.

La figure xiv montre que tous les modèles donnent des résultats corrects aux syzygies, *i. e.*, pleine lune et nouvelle lune, indiquées en abscisse. D'ailleurs, c'est aussi le cas du premier modèle de Ptolémée – non représenté ici – puisqu'il est déduit des observations aux syzygies.

Le deuxième modèle de Ptolémée corrige le premier en tenant compte d'observations dans les quadratures, *i. e.*, à mi-chemin entre les syzygies. Ce faisant, il ouvre



$$P_2P_3 = 10;19 \quad P_3P_4 = 49;41 \quad P_4P = 5;15$$

Centres : écliptique P_1 , cercle concentrique dans le plan incliné P_2 ,
excentrique P_3 , épicycle P_4 , la Lune P .

$$[O\delta\delta'] = R_{\lambda_{\delta\delta'}} [O\delta\delta], \quad [OD'] = R_{(O\delta\delta'), 5^\circ} R_{\lambda_{\delta\delta'}} R_{-(2\bar{\eta} - (\bar{\lambda}_{\delta\delta'} - \lambda_{\delta\delta'}))} [OD]$$

$$[OP'_4] = R_{(O\delta\delta'), 5^\circ} R_{\lambda_{\delta\delta'}} R_{\bar{\lambda}_{\delta\delta'} - \lambda_{\delta\delta'}} [OP_4]$$

FIG. xv : Le troisième modèle de la Lune dans l'*Almageste*

le flanc à la première critique d'Ibn al-Šāṭir, puisqu'il utilise un excentrique. Mais il encourt aussi son troisième reproche, puisque la direction de l'« apogée » de l'épicycle, c'est-à-dire la direction à partir de laquelle est mesuré le mouvement de la Lune propre le long de l'épicycle, passe par le centre de l'épicycle et le centre du monde, et non par le centre de l'orbe excentrique portant le centre de l'épicycle. De plus, sur la fig. XIV, le deuxième modèle de Ptolémée présente un défaut évident aux octants.

Dans son troisième modèle, Ptolémée corrige le deuxième modèle en supposant que la direction de l'« apogée » de l'épicycle passe par le centre de l'épicycle et par un autre point, qu'on désignera par la locution « point de prosneuse ». Ce point est distinct du centre de l'excentrique et du centre du monde. Le modèle se prête donc toujours aux critiques mentionnées ci-dessus, sauf concernant les octants. Étrangement, en I.0.19, Ibn al-Šāṭir semble ignorer que Ptolémée a précisément utilisé des observations dans les octants pour déduire son troisième modèle³¹⁴. Comment est-ce possible ? Peut-être n'avait-il qu'une connaissance indirecte de l'*Almageste*, par le biais d'un des nombreux commentaires qui circulaient à l'époque, peut-être même seulement par l'intermédiaire de la *Tadkira* (al-Ṭūsī, 1993), qu'il connaissait, et où al-Ṭūsī expose le troisième modèle de Ptolémée en mentionnant des observations dans les *sextants*³¹⁵ (et non dans les *octants*).

On a aussi représenté les latitudes de la Lune prédites par le modèle d'Ibn al-Šāṭir pour les mêmes dates, voir fig. XVI. Ibn al-Šāṭir n'adresse aucune objection à ses prédécesseurs concernant les latitudes de la Lune, et son modèle reproduit de très près les prédictions en latitude du troisième modèle de Ptolémée : à l'échelle de ce tracé, les deux courbes seraient indiscernables. Enfin, on a représenté la distance Terre-Lune à la figure XVII, où l'on voit le progrès radical accompli par Ibn al-Šāṭir. Le troisième modèle de Ptolémée³¹⁶ prédit en effet des valeurs aberrantes pour la variation de la distance Terre-Lune, et donc aussi pour la variation du diamètre apparent de la Lune – il semble varier du simple au double selon ce modèle. Le modèle d'Ibn al-Šāṭir offre des prédictions correctes en ordre de grandeur.

6.9. La Lune chez al-'Urḍī

Ibn al-Šāṭir adresse une critique plus circonstanciée à son prédécesseur Mu'ayyad al-Dīn al-'Urḍī (?-1266). Il écrit en effet (I.0.23) :

La position conjecturée par al-Mu'ayyad al-'Urḍī dans la configuration des orbes de la Lune, concernant son inversion du sens du mouvement de l'excentrique et la variation

³¹⁴ *Almageste*, V.5 (Ptolémée, 1952, p. 149).

³¹⁵ En revanche, al-'Urḍī, dans son *Kitāb al-bay'a* (Saliba, 1990), commente les observations de Ptolémée dans les octants. Mais Ibn al-Šāṭir a pu négliger cette partie du traité d'al-'Urḍī après avoir compris le défaut du modèle lunaire d'al-'Urḍī – voir mon analyse ci-dessous.

³¹⁶ Son deuxième modèle présente le même défaut.

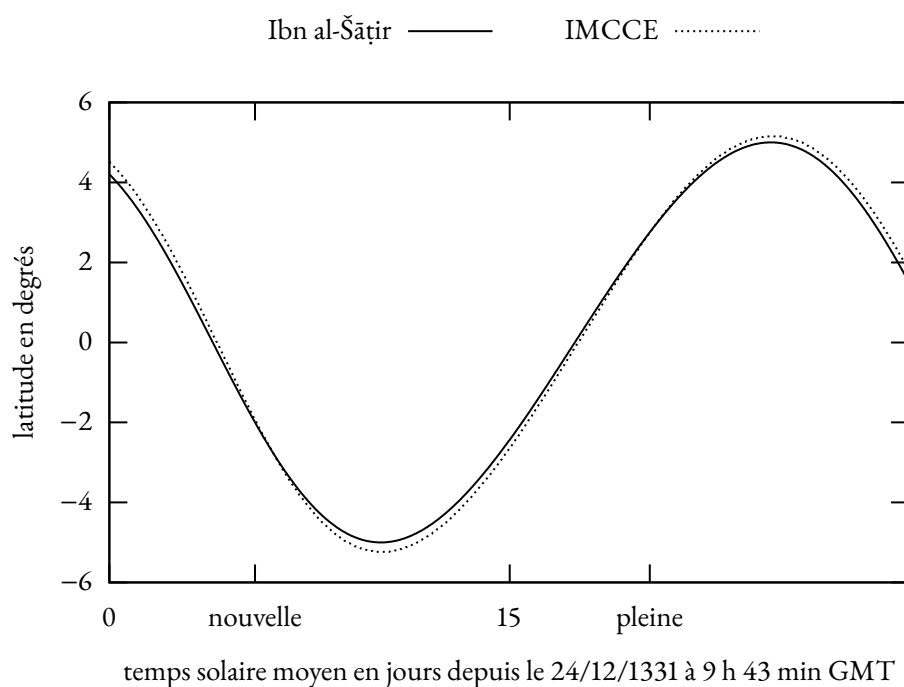


FIG. XVI : Latitudes de la Lune en 1331, sur 30 jours

de l'apogée de l'épicycle qui suit un point autre que le centre de l'orbe portant l'épicycle, est impossible.

Pour une fois, Ibn al-Šāṭir ne critique pas l'usage même d'un excentrique ; le problème est ailleurs. On peut penser que le modèle en question est celui décrit par 'Urđī dans son *Kitāb al-hay'a* ³¹⁷.

Suivons la description donnée par al-'Urđī :

Supposons que l'apogée de la Lune, le centre de son épicycle et le Soleil coïncident en un point donné de l'écliptique, à un instant donné. Qu'ils se meuvent, chacun selon son mouvement ³¹⁸.

On reconnaît la figure initiale que j'ai dessinée fig. XVIII, à gauche, où P_1 est le centre de l'« orbe des nœuds », P_2 le centre de l'orbe incliné, P_3 le centre du déférent, P_4 le centre de l'épicycle, et P la Lune. On a :

$$P_2P_3 = 10;19, \quad P_3P_4 = 49;41, \quad P_4P = 5;15.$$

Al-'Urđī continue :

³¹⁷ Cf. l'édition critique du texte arabe par Saliba (Saliba, 1990), accompagnée d'une introduction en anglais où Saliba décrit le modèle d'al-'Urđī, p. 50-55.

³¹⁸ Saliba, 1990, p. 118.

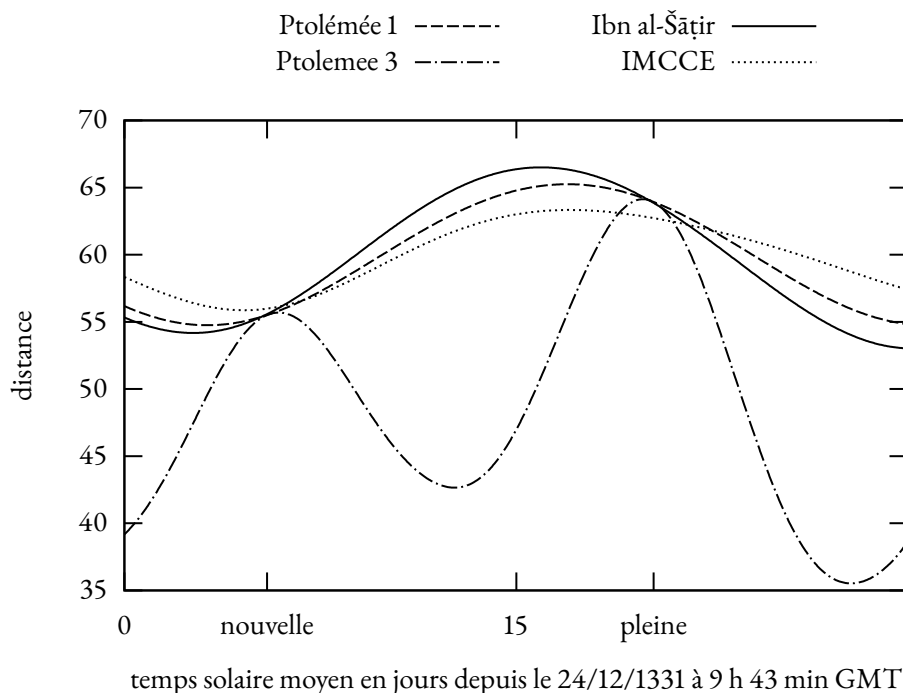


FIG. XVII : Distance Terre-Lune en 1331, sur 30 jours

Imaginons l'orbe des nœuds se mouvoir autour du centre du monde, sur ses pôles et sur son axe qui est l'axe de l'écliptique, en sens contraire aux signes, d'un mouvement uniforme égal à l'excès du mouvement en latitude sur le mouvement en longitude. Avec soi, il déplace aussi l'orbe incliné et tout ce qu'il contient [...]

Imaginons l'apogée se mouvoir, uniformément, autour de pôles situés à la surface de l'orbe incliné. L'axe de cet orbe rencontre l'axe de l'écliptique au centre du monde. Son mouvement par jour, dans le sens des signes, est $37;36,39,2 [= 2\bar{\eta} + \bar{\lambda} - \lambda_{\Omega}]$ [...]

L'orbe déférent se meut aussi et emporte l'épicycle en sens contraire aux signes, avec un mouvement par jour égal au double de l'élongation. Si l'on soustrait du mouvement de l'apogée (dans le sens des signes) les mouvements du nœud et du déférent (en sens contraire), ce qui reste est le mouvement en longitude par jour³¹⁹.

Autrement dit, on passe de la figure initiale à la figure à droite en appliquant une composée de rotations. Si l'on néglige l'inclinaison de l'orbe incliné, on obtient ainsi³²⁰ :

$$P' = R_{O,3\bar{\eta}+\bar{\lambda}_{\odot}} R_{P_3,-2\bar{\eta}} R_{P_4,-\bar{\alpha}}(P)$$

³¹⁹ Saliba, 1990, p. 118.

³²⁰ On omettra de la notation, désormais, la direction de l'axe de rotation quand c'est \mathbf{k} (perpendiculaire au plan de la figure).

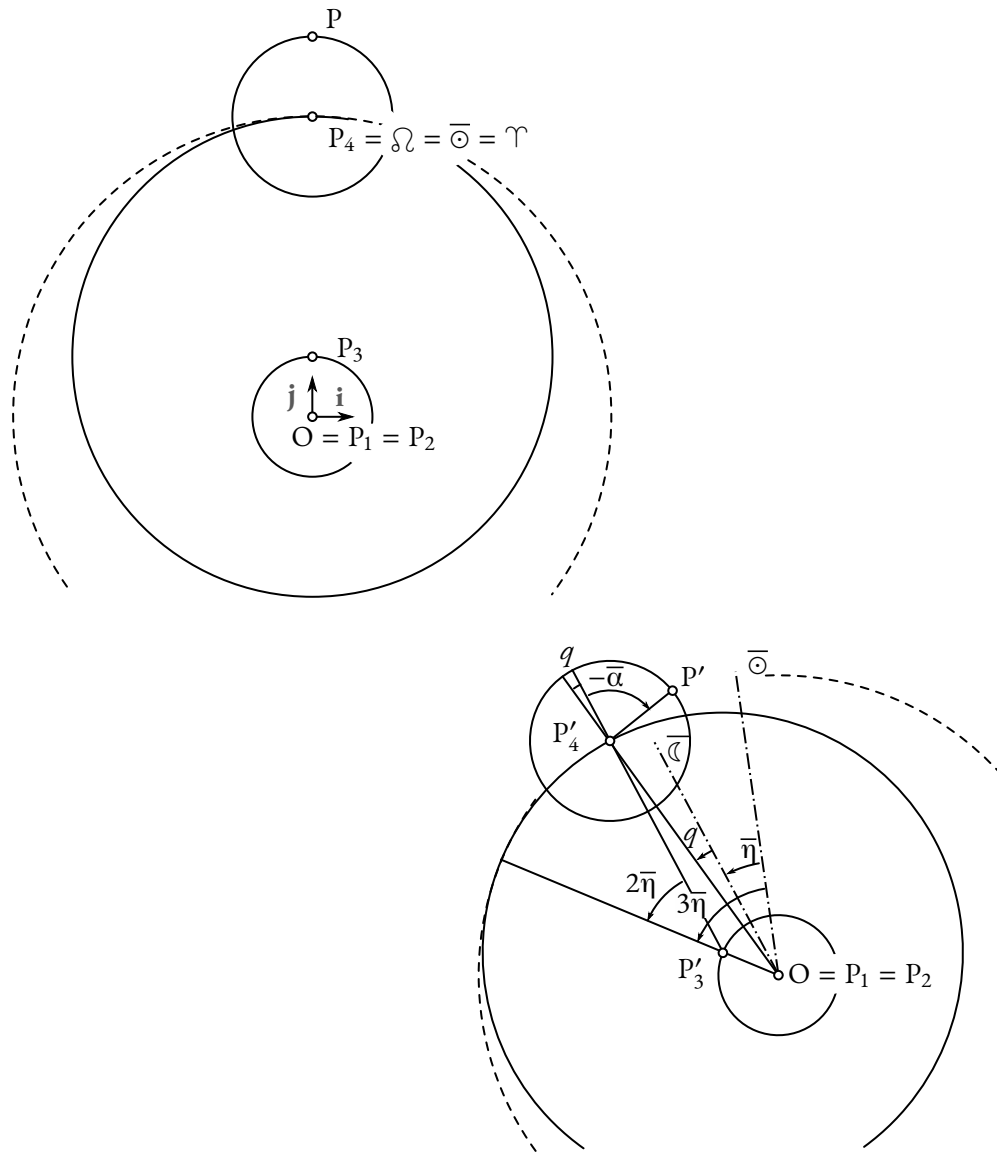


FIG. XVIII : La Lune dans le *Kitab al-bay'a* d'al-'Urđi

et, en tenant compte de l'inclinaison de l'orbe incliné,

$$P' = R_{P_1, \lambda_{\odot}} R_{P_1, j, 5^\circ} R_{P_2, -\lambda_{\odot} + 3\bar{\eta} + \bar{\lambda}_{\odot}} R_{P_3, -2\bar{\eta}} R_{P_4, -\bar{\alpha}}(P).$$

En résolvant des triangles rectangles, il est alors facile de calculer la position de point P' . En particulier :

$$\begin{aligned} OP'_4 &= \sqrt{(P_3P_4 \sin(2\bar{\eta}))^2 + (P_3P_4 \cos(2\bar{\eta}) + OP_3)^2} \\ q &= \arcsin \left(\frac{P'_3P'_4 \sin(2\bar{\eta})}{OP'_4} \times \frac{OP_3}{P'_3P'_4} \right) = \arcsin \left(\frac{OP_3 \sin(2\bar{\eta})}{OP'_4} \right) \\ OP' &= \sqrt{(P_4P \sin(\bar{\alpha} + q))^2 + (OP'_4 + P_4P \cos(\bar{\alpha} + q))^2} \end{aligned}$$

Si l'équation de la Lune était l'angle $(\overrightarrow{OP'_4}, \overrightarrow{OP'})$, elle serait donc égale à :

$$\arcsin \left(\frac{P_4P \sin(-\bar{\alpha} - q)}{OP'} \right).$$

Al-'Urđī s'estimait heureux du fait que cet arc est presque égal à l'équation de la Lune dans le troisième modèle de Ptolémée, et il l'avait vérifié, à une bonne précision, en particulier aux octants. Hélas, P'_4 n'est pas dans la direction de la Lune moyenne. Comme on voit sur la figure, l'équation de la Lune vaut donc :

$$\arcsin \left(\frac{P_4P \sin(-\bar{\alpha} - q)}{OP'} \right) + q$$

Étrangement, comme l'a remarqué Saliba, al-'Urđī se défend par anticipation contre d'éventuels contradicteurs :

Qu'on ne dise pas que ces grandeurs ne sont pas prises dans le même cercle ; parce qu'on les entend comme des mouvements moyens, ce sont des arcs de l'écliptique, semblables aux arcs de l'excentrique coupés par le centre de l'épicycle. C'est comme on a coutume de faire avec le mouvement du Soleil le long de son excentrique, où l'élongation du centre par rapport à l'auge est *approximativement* égale à l'élongation par jour³²¹.

On a donc le choix entre deux interprétations possibles :

– soit le modèle d'al-'Urđī n'est pas un modèle cinématique, mais seulement un dispositif de calcul visant à déterminer l'équation du troisième modèle de Ptolémée en n'utilisant que des rotations, en évitant donc les difficultés propres au point de prosneuse. Ce serait alors une sorte d'équatoire ;

³²¹ Mes italiques. Voir Saliba, 1990, p. 119, et la remarque de Saliba qui évite cependant de juger ce modèle, *ibid.*, p. 54.

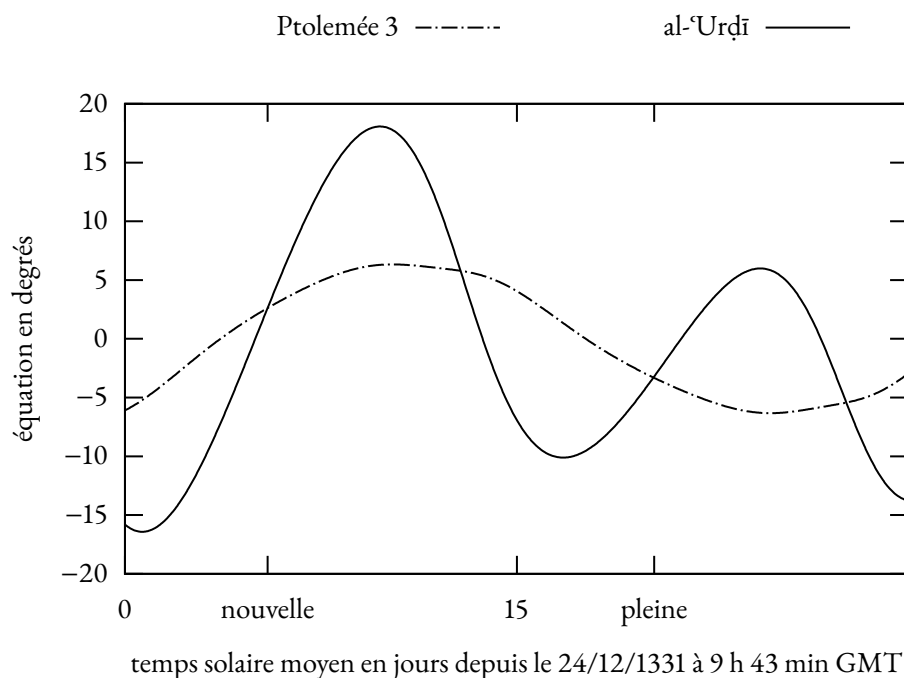


FIG. XIX : L'équation de la Lune selon al-'Urdī.

– soit il s'agit d'une erreur d'al-'Urdī, car l'équation de la Lune dans ce modèle est très loin de reproduire celle du modèle de Ptolémée (voir ma fig. XIX, où la courbe en trait plein représente $(\overrightarrow{OP}'_4, \overrightarrow{OP}') + q$).

Comme al-'Urdī exprime par ailleurs clairement que son modèle doit remplacer celui de Ptolémée, la première interprétation me semble exclue.

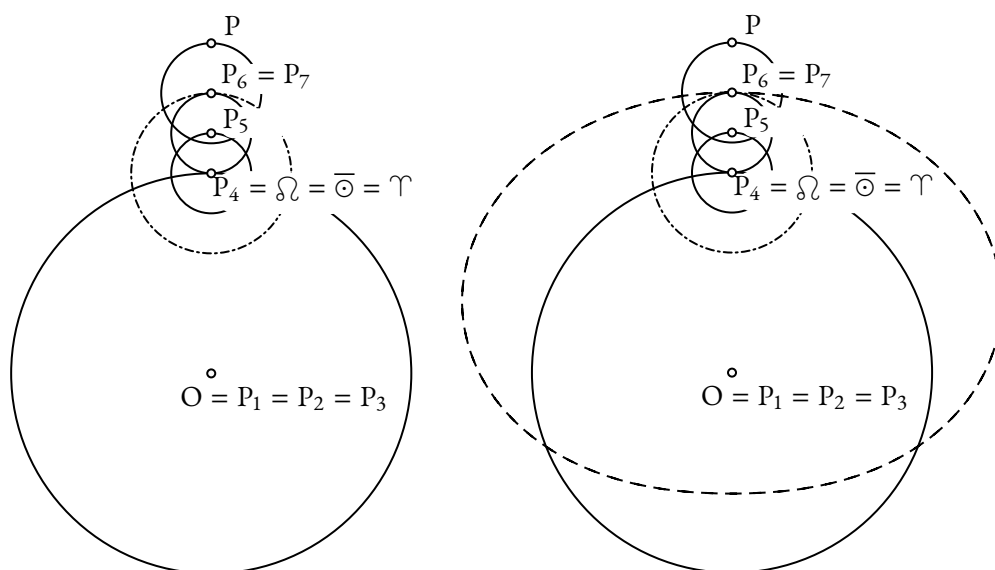
Ibn al-Šāṭir avait sûrement vu l'erreur d'al-'Urdī. À la fin du paragraphe énumérant les critiques générales sur la Lune qu'Ibn al-Šāṭir adresse à ses prédécesseurs, celui-ci émet une mise en garde qui fait curieusement écho à la défense par anticipation d'al-'Urdī (I.0.19) :

La localisation de l'astre moyen et du centre de l'astre dans un cercle semblable à l'orbe de l'écliptique est impossible car ils ne sont pas pris dans le même cercle, ni par rapport au même point.

Cette remarque était probablement adressée à al-'Urdī ou à un autre auteur, avant ou après al-'Urdī, ayant commis une erreur analogue.

6.10. La Lune chez al-Ṭūsī et al-Šīrāzī

Décrivons à présent le modèle exposé par al-Ṭūsī dans sa *Tadkira fi 'ilm al-hay'a*. On a seulement tracé la figure initiale, voir figure XX, à gauche, où P_1 est le centre du

FIG. xx : La Lune dans la *Tadkira* de Tūsi

parécliptique, P_2 le centre de l'orbe incliné, P_3 le centre d'un orbe déférent, P_4 le centre d'une « grande sphère », P_5 le centre d'une « petite sphère », P_6 le centre d'une « sphère englobante », P_7 le centre de l'« épicycle », et P la Lune³²². On a :

$$P_3P_4 = 49;41, \quad P_4P_5 = P_5P_6 = \frac{10;19}{2}, \quad P_6P = 5;15.$$

Le couple « petite sphère » et « grande sphère » forme un dispositif que les historiens ont appelé « couple d'al-Tūsi ». Que les orbes tournent, et la position du point P devient :

$$P' = R_{P_1, \lambda_{\delta\lambda}} R_{P_1, j, 5^\circ} R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_{\sigma} + \lambda_{\delta\lambda})} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -4\bar{\eta}} R_{P_6, 2\bar{\eta}} R_{P_7, -\bar{\alpha}}(P).$$

Dans le référentiel de l'orbe incliné centré en P_2 , la trajectoire du point P_6 ressemble à un cercle de rayon 49;41. J'ai représenté cette trajectoire ovale sur la fig. xx, en pointillés à droite, en adoptant pour P_3P_4 , P_4P_5 et P_5P_6 les longueurs représentées sur la figure. Comme cette figure n'est pas à l'échelle – le rapport $P_4P_5 : P_3P_4$ est bien supérieur à $\frac{10;19}{2} : 49;41$ pour la rendre plus lisible – alors mon ovale est beaucoup plus aplati que dans le modèle véritable. Al-Tūsi trace et étudie la ressemblance

³²² Comme le dit al-Tūsi, on pourrait remplacer le couple « orbe incliné » et « orbe déférent » par un orbe unique puisqu'ils ont même centre et même axe, mais il préfère garder deux orbes distincts. De même pour le couple « grande sphère » et « épicycle ».

de cette trajectoire avec la ceinture de l'orbe excentrique du modèle de Ptolémée. Dans ses effets, ce modèle reproduit d'assez près le deuxième modèle de Ptolémée.

Afin de copier l'effet de la prosneuse, Ṭūsī propose d'intercaler un autre couple d'orbites entre la « sphère englobante » et l'épicycle. Les historiens ont appelé ce dispositif un « couple d'al-Ṭūsī curviligne ». Il s'agit de deux sphères homocentriques, centrées en P_7 . Leurs rayons n'importent pas à la description du mouvement. Dans la composée de rotations qu'on fait subir au point P , al-Ṭūsī introduit donc de nouvelles rotations agissant sur $R_{P_7, -\bar{\alpha}}(P)$. Les axes de ces rotations ne sont pas orthogonaux au plan de la figure initiale, et il faut ajouter des rotations pour les rabattre dans ce plan. La position du point P' devient :

$$P' = R_{P_1, \lambda_{\zeta}} R_{P_1, j, 5^\circ} R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_{\odot} + \lambda_{\zeta})} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -4\bar{\eta}} R_{P_6, 2\bar{\eta}} \\ R_{P_7, j, 2\bar{\eta}} R_{P_7, i, \frac{c_3 \max}{2}} R_{P_7, j, -4\bar{\eta}} R_{P_7, i, -\frac{c_3 \max}{2}} R_{P_7, j, 2\bar{\eta}} R_{P_7, -\bar{\alpha}}(P).$$

On expliquera les rotations autour d'axes non orthogonaux au plan de la figure, de manière plus détaillée, quand on commentera l'usage qu'en fait Ibn al-Šāṭir pour les mouvements en latitude des planètes. Ici $c_3 \max = 13;9^\circ$ est l'inclinaison maximale de l'apogée moyen de l'épicycle due à la prosneuse, dans le troisième modèle de Ptolémée.

La solution de Ṭūsī est très réussie, en cela qu'elle reproduit de très près la trajectoire prédite par le troisième modèle de Ptolémée, sans plus utiliser ni excentrique, ni point de prosneuse ; voir ma figure XXI. La critique que lui adresse Ibn al-Šāṭir peut donc nous surprendre (I.0.21) :

La position mentionnée par Našir al-Ṭūsī dans la *Tadkira* sur l'élimination des doutes des orbites de la Lune est impossible parce qu'on y trouve l'excentrique et que le diamètre de l'épicycle suit un point autre que le centre de l'orbe portant l'épicycle.

J'y reviendrai.

Décrivons à présent le modèle de la Lune proposé par Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī dans *Al-tuhfa al-šāhiyya*³²³. Voici ce que dit Ibn al-Šāṭir (I.0.25) :

La position mentionnée par Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī dans la réforme de la configuration des orbites de la Lune est impossible car y demeurent l'excentrique et le point de prosneuse. L'argument qu'il a avancé (Dieu ait pitié de lui) pour permettre le point de prosneuse de la Lune est la plus impossible des impossibilités et c'est une image fautive. Il en est revenu dans la *Tuhfa* ; il y indique une autre manière, mais elle est aussi impossible.

³²³ J'ai consulté le manuscrit de la *Tuhfa* à la Bibliothèque nationale (BN Arabe MS 2516, livre 2, chapitres 10 f. 33r-44v, et 12 f. 50r-56r) en m'aidant de la description faite par Saliba (Rashed, 1997).

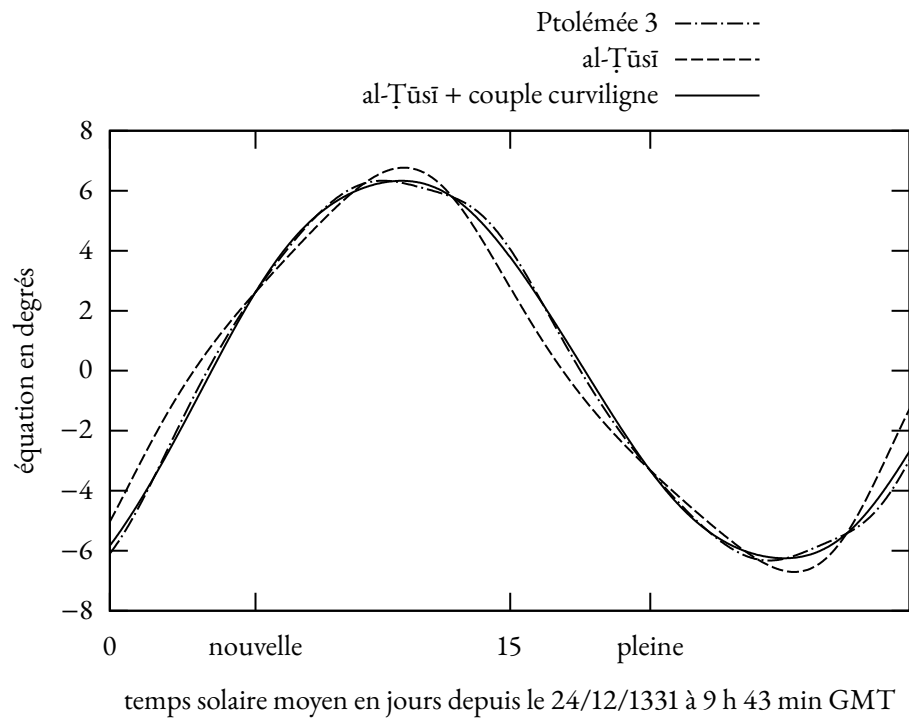


FIG. XXI : L'équation de la Lune selon Ṭūsī

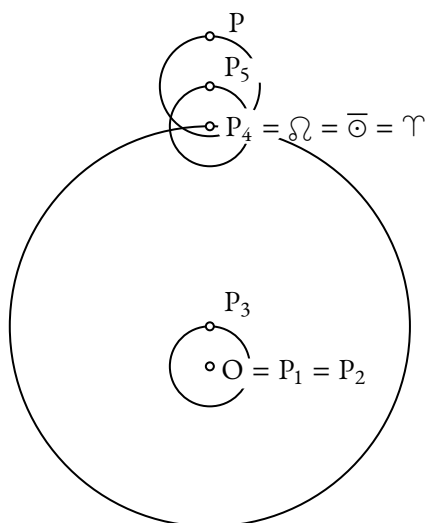


FIG. XXII : La Lune dans la *Tuhfa* de Širāzī

Saliba (Rashed, 1997), suivant peut-être l’avis d’Ibn al-Šāṭir, pense que le modèle décrit dans la *Tuhfa* est différent des modèles décrits dans deux autres textes d’al-Širāzī, les *Iḥtīyārāt-i muḏaffarī* et la *Nihāyat al-’idrāk*, qui exposeraient seulement des modèles plus anciens. Kaveh Farzad Niazi, auteur d’une thèse (2011) sur al-Širāzī, a fait une comparaison textuelle des trois ouvrages ; il affirme qu’un modèle semblable au modèle de la *Tuhfa* est bien présent dans chacun des deux autres ouvrages, mais peut-être pas là où on l’attendrait ³²⁴. Ceci m’a aussi été confirmé par Amir Mohammad Gamini (communication personnelle) qui prépare une édition critique des *Iḥtīyārāt*.

La figure initiale du modèle de la *Tuhfa* est ma figure xxii. On y voit le centre P_1 d’un parécliptique appelé orbe des nœuds, le centre P_2 d’un orbe incliné, le centre P_3 d’un orbe excentrique, le centre P_4 d’un « orbe englobant », le centre P_5 d’un épicycle, et la Lune en P . Les distances sont :

$$P_2P_3 = \frac{10;19}{2} \quad P_3P_4 = 49;41$$

$$P_4P_5 = \frac{10;19}{2} \quad P_5P = 5;15$$

La position de la Lune est donnée par la composée de rotations suivante :

$$P' = R_{P_1, \lambda_\Omega} R_{P_1, j, 5^\circ} R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot + \lambda_\Omega)} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -2\bar{\eta} - \bar{\alpha}}(P).$$

³²⁴ Niazi, 2011, p. 138-142.

Ce modèle est inspiré des modèles d'al-'Urdī pour les planètes supérieures, mais il diffère substantiellement de son modèle pour la Lune. Au contraire, il est strictement équivalent au modèle d'al-Ṭūsī sans couple curviligne : les trajectoires prédites sont égales.

Démonstration. Notons P_i ($1 \leq i \leq 5$) les centres des orbes de Šīrāzī, et \tilde{P}_i ($1 \leq i \leq 7$) les centres des orbes de Ṭūsī, avec $P_1 = P_2 = \tilde{P}_1 = \tilde{P}_2 = \tilde{P}_3$ et $P_4 = \tilde{P}_5$. On a alors :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_2 P_3} &= \overrightarrow{\tilde{P}_4 \tilde{P}_5} = \frac{10;19}{2} \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_3 P_4} &= \overrightarrow{\tilde{P}_3 \tilde{P}_4} = 49;41 \mathbf{j} \\ P_5 = \tilde{P}_6 = \tilde{P}_7, \quad \overrightarrow{P_3 P_3} &= \overrightarrow{P_4 \tilde{P}_4} = -\overrightarrow{\tilde{P}_5 \tilde{P}_6}. \end{aligned}$$

Cette dernière égalité permet d'appliquer la proposition 2, et on a alors :

$$\begin{aligned} &R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot + \lambda_\odot)} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -2\bar{\eta} - \bar{\alpha}} \\ &= R_{\tilde{P}_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot + \lambda_\odot)} \left(R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_6, -2\bar{\eta}} \right) R_{\tilde{P}_7, -\bar{\alpha}} \\ &= R_{\tilde{P}_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot + \lambda_\odot)} R_{\tilde{P}_3, 2\bar{\eta}} \left(R_{\tilde{P}_4, -2\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_5, 4\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_6, -2\bar{\eta}} \right) R_{\tilde{P}_7, -\bar{\alpha}}. \end{aligned}$$

En vertu de la proposition 3, ceci est aussi égal à :

$$R_{\tilde{P}_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot + \lambda_\odot)} R_{\tilde{P}_3, 2\bar{\eta}} \left(R_{\tilde{P}_4, 2\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_5, -4\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_6, 2\bar{\eta}} \right) R_{\tilde{P}_7, -\bar{\alpha}}, \quad q. e. d.$$

Ce modèle produit des trajectoires très proches du deuxième modèle de Ptolémée, et il ne reproduit donc pas les effets du point de prosneuse³²⁵. Dallal et Saliba ont indiqué qu'un contemporain d'Ibn al-Šāṭir, Ṣadr al-Šarī'a (?-1347), a proposé un amendement au modèle d'al-Šīrāzī pour reproduire les effets du point de prosneuse, en ajoutant une petite sphère de rayon $\overrightarrow{P_6 \tilde{P}} = 0;52 \mathbf{j}$ et de centre P_6 remplaçant le point P dans la figure initiale xxii ; il faut alors ajouter une rotation à droite³²⁶ :

$$P' = R_{P_1, \lambda_\odot} R_{P_1, \mathbf{j}, 5^\circ} R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot + \lambda_\odot)} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -2\bar{\eta} - \bar{\alpha}} R_{P_6, -2\bar{\eta}}(P).$$

³²⁵ Ce modèle achevé décrit par al-Šīrāzī ne tient donc pas compte de la troisième anomalie lunaire. Saliba affirme que, même dans la *Tuhfa*, « Quṭb al-Dīn ne semble pas avoir réussi à répondre à la seconde objection » (celle du point de prosneuse) ; voir Rashed, 1997, p. 113. Il resterait cependant à identifier clairement, par une étude complète des trois ouvrages, « l'argument qu'[al-Šīrāzī] a avancé pour permettre le point de prosneuse » selon Ibn al-Šāṭir. Kennedy (1966, p. 376-7, réimpr. Kennedy, Ghanem, 1976, p. 104-5) mentionne un passage de la *Tuhfa* se concluant par l'affirmation que « le problème du point opposé [le point de prosneuse] est réglé » ; mais la figure correspondante est omise dans les deux manuscrits qu'il a consultés, et il avoue ne pas comprendre ce passage.

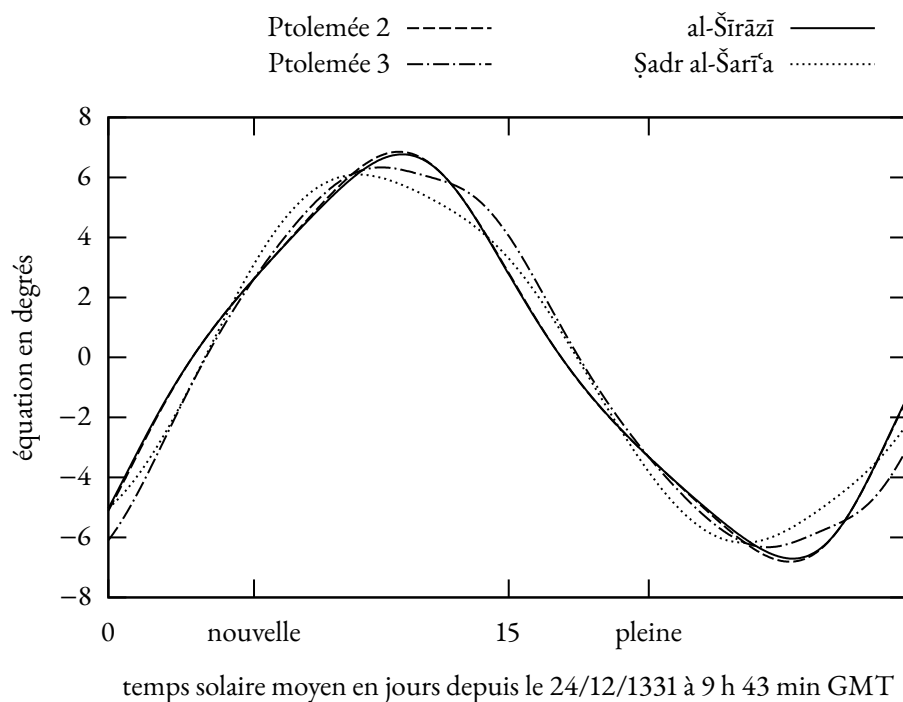


FIG. XXIII : La Lune selon al-Širāzī et Šadr al-Šarī'a

Le modèle de Šadr al-Šarī'a a bien l'effet escompté, comme on peut le voir dans les octants sur ma figure XXIII.

6.11. Comment expliquer le reproche qu'Ibn al-Šāṭir adresse à al-Ṭūsī concernant la Lune ?

Tout d'abord, al-Ṭūsī rejette lui-même son propre modèle, à la fin du chapitre II.11 de la *Tadkira*, par une intéressante analyse du taux de variation de l'anomalie due à la prosneuse (chez Ptolémée) et au couple curviligne (chez lui) : il montre que son modèle n'a pas exactement les mêmes effets que le troisième modèle de Ptolémée. Est-il donc possible que la critique d'Ibn al-Šāṭir ne s'adresse pas au modèle présenté dans II.11, mais plutôt à la description du troisième modèle de Ptolémée faite par al-

³²⁶ Cf. Šadr al-Šarī'a, 1995, p. 373-379 et Rashed, 1997, p. 112-113. Dans Rashed, 1997, le sens de rotation de la petite sphère semble erroné. Dans Šadr al-Šarī'a, 1995, Dallal donne deux interprétations possibles du texte de Šadr al-Šarī'a : avec nos notations, soit $\vec{P}_6\vec{P} = +0;52 j$ et l'angle de rotation est $-2\bar{\eta}$, soit $\vec{P}_6\vec{P} = -0;52 j$ et l'angle de rotation est $+2\bar{\eta}$. La deuxième interprétation, bien qu'elle ressemble qualitativement au modèle d'Ibn al-Šāṭir, produit un résultat numériquement peu satisfaisant. C'est la première interprétation que j'ai donc retenue dans ma comparaison.

Ṭūsī dans II.7 ? Mais c'est à al-Ṭūsī qu'Ibn al-Šāṭir adresse un reproche ; n'aurait-il pas compris qu'il s'agissait là d'un modèle dû à Ptolémée ?

Il me semble plus probable qu'Ibn al-Šāṭir ajoute à l'auto-critique d'al-Ṭūsī sur la prosneuse un second reproche plus général concernant le modèle présent dans II.11. Mais quel reproche ?

Bien qu'al-Ṭūsī n'utilise pas d'orbe excentrique, il conçoit une combinaison de mouvements épicycliques afin de donner au point P_6 une trajectoire *proche du cercle excentrique de Ptolémée dans le plan incliné* ; il prend d'ailleurs soin de le démontrer dans II.11. Al-Ṭūsī substitue donc à l'excentrique de Ptolémée un dispositif reproduisant la même trajectoire, par le truchement d'un artifice, le couple d'al-Ṭūsī, produisant un mouvement rectiligne oscillatoire. En tant qu'artifice produisant un mouvement *par essence* interdit dans les cieus, ce dispositif ne devrait-il pas être rejeté, au même titre qu'un point glissant à la circonférence d'un excentrique ? Hélas, Ibn al-Šāṭir lui-même utilise le couple de Ṭūsī dans certains modèles planétaires... Donc l'argument ne tient pas.

Voici donc la seule explication probable. Le refus des excentriques par Ibn al-Šāṭir n'est pas une objection de principe concernant seulement l'essence physique de l'excentrique ou les mouvements permis par l'astronomie physique. C'est un choix méthodologique dans l'analyse des données de l'observation. Ptolémée aurait commis une erreur dès son *deuxième* modèle lunaire, en changeant la configuration globale des orbes du premier et en intercalant un *grand* excentrique pour rendre compte d'une variation de l'amplitude maximale d'une *petite* anomalie lunaire aux quadratures. Et en effet, l'utilisation d'un excentrique a deux effets joints :

- produire cette variation d'amplitude de la petite anomalie lunaire ;
- induire un changement global dans la configuration des orbes, et en particulier dans la distance Terre-Lune.

Seul le premier effet était désirable. Ibn al-Šāṭir concevait certainement ses modèles en suivant une saine méthodologie : partir d'une estimation préalable des mouvements moyens et des distances, pour ensuite ajouter de *petites* corrections en adjoignant des épicycles *de plus en plus petits* perturbant peu les autres caractéristiques des modèles préalables. Il doit avoir expliqué cette méthode dans son ouvrage perdu sur les observations, *Ta'liq al-'arsād*. Pour la Lune, la faible variation de la distance Terre-Lune doit compter parmi les faits primitifs que les corrections successives ne peuvent remettre en cause. Les figures XXIV et XXV comparent entre eux les « meilleurs » modèles lunaires à partir du troisième modèle de Ptolémée : celui de Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī, celui d'al-Ṭūsī avec le couple curviligne, et celui d'Ibn al-Šāṭir. Pour ne pas alourdir ces figures, je n'ai pas représenté le troisième modèle de Ptolémée : on a vu que celui d'al-Ṭūsī en est très proche. À partir du deuxième modèle de Ptolémée, tous les modèles lunaires des prédécesseurs d'Ibn al-Šāṭir pro-

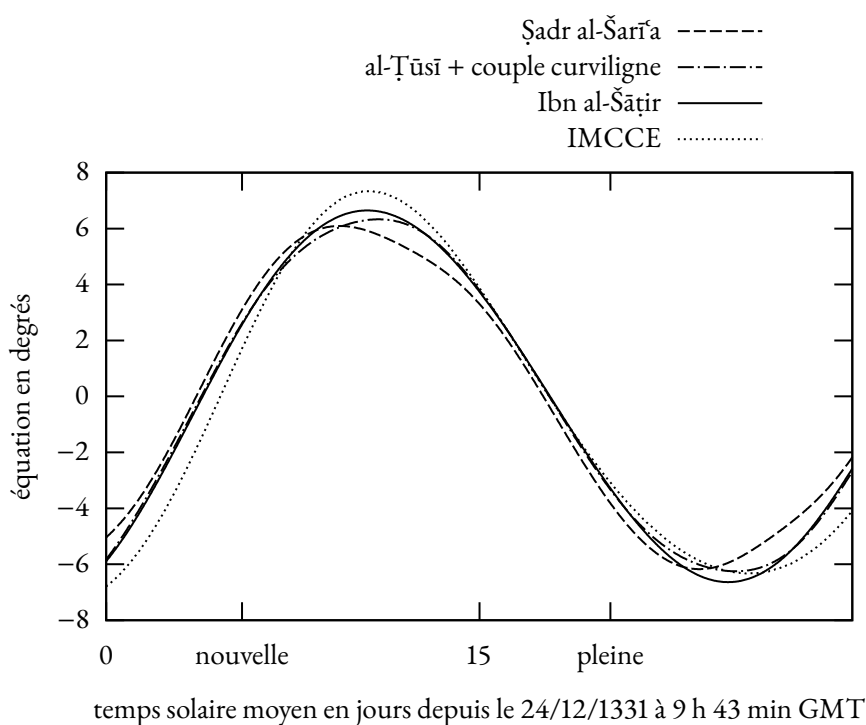


FIG. xxiv : Équation de la Lune, meilleurs modèles jusqu'à Ibn al-Şāṭir

duisaient des valeurs aberrantes de la distance Terre-Lune, y compris celui d'al-Ṭūsī, alors même que celui-ci s'était débarrassé de l'excentrique de Ptolémée vis-à-vis de l'astronomie physique. C'est qu'il fallait en fait repartir du *premier* modèle de Ptolémée, et tout reconstruire à neuf.

6.12. Calibrage du modèle lunaire d'Ibn al-Şāṭir

Le chemin qu'Ibn al-Şāṭir a pu suivre pour déterminer les paramètres P_2P_3 , P_3P_4 et P_4P est facile à reconstituer :

– on utilise trois éclipses pour calculer l'équation maximale c_2 aux syzygies comme l'avait fait Ptolémée. Cela donne

$$\frac{P_3P_4 - P_4P}{P_2P_3}.$$

Ibn al-Şāṭir utilise $c_2 = 4;56$ comme équation maximale, valeur connue depuis longtemps ;

– on utilise des observations précises donnant une équation maximale dans les

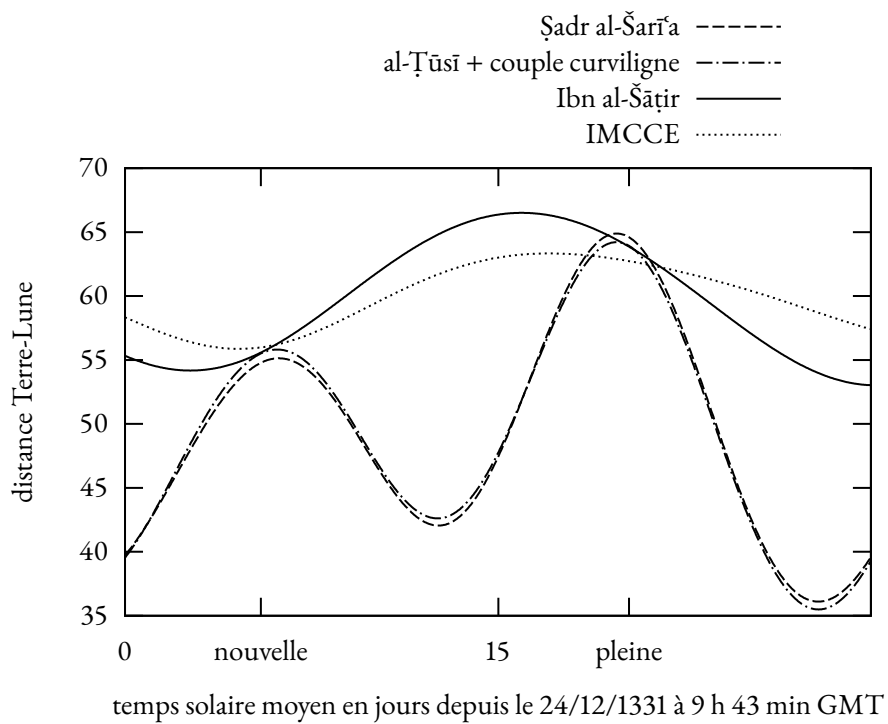


FIG. xxv : Distance Terre-Lune dans les modèles les meilleurs pour les longitudes

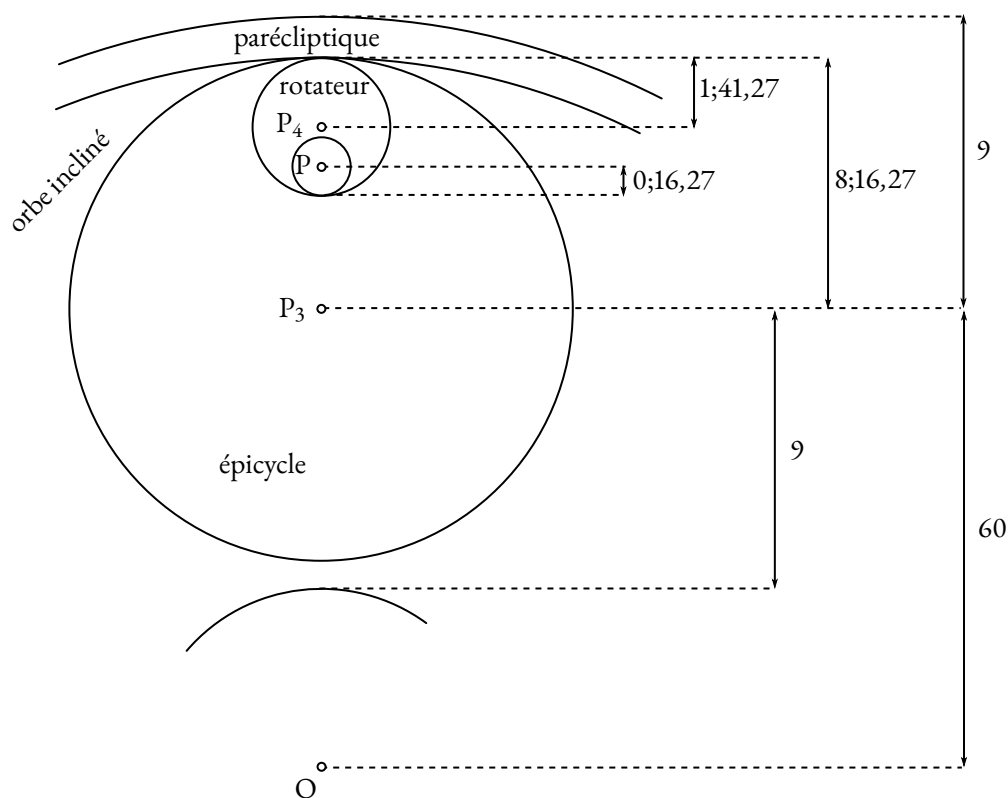


FIG. XXVI : Les orbes solides de la Lune

quadratures égale à $c_2 = 7;40$, déjà connue de Ptolémée. On en déduit

$$\frac{P_3P_4 + P_4P}{P_2P_3} ;$$

– puis on vérifie que le modèle est satisfaisant dans les octants. Pour cela, Ibn al-Šāṭir a dû faire ses propres observations puisqu’il n’avait pas conscience de celles émises par Ptolémée. Enfin, on utilise le modèle pour calculer la distance Terre-Lune et on compare avec des observations anciennes ou récentes qu’Ibn al-Šāṭir semblait bien connaître³²⁷.

³²⁷ Voir I.10.5.

7. PLANÈTES SUPÉRIEURES

7.1. Saturne : figure initiale

Dans la figure initiale, les plans des orbes de Saturne sont tous rabattus dans le plan de l'écliptique (\mathbf{i}, \mathbf{j}) par des rotations, les centres des orbes sont tous alignés dans la direction du vecteur \mathbf{j} elle-même confondue avec la direction du point vernal ; enfin, la ligne des nœuds, à l'intersection des plans de l'orbe incliné et du parécliptique, est orientée dans la direction du vecteur $\mathbf{u} = \cos(50^\circ)\mathbf{i} - \sin(50^\circ)\mathbf{j}$ qui pointe vers le nœud ascendant. Le point O est le centre du Monde, P_1 le centre du parécliptique de Saturne, et P_2 le centre de son orbe incliné. Ces trois points sont confondus $O = P_1 = P_2$. Le point P_3 est le centre d'un orbe déférent (*falak ḥāmil*), P_4 le centre de l'orbe rotateur, P_5 le centre de l'orbe de l'épicycle, et P est le centre du corps sphérique de la planète. La figure xxvii précise la position de ces points, mais elle n'est pas à l'échelle. Posons : $\overrightarrow{OP_3} = 60 \mathbf{j}$, alors

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_3P_4} &= 5;7,30 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_4P_5} &= -1;42,30 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_5P} &= 6;30 \mathbf{j}\end{aligned}$$

Il faut appliquer au point P une suite de transformations géométriques pour obtenir la position de Saturne prédite ou observée à un instant donné.

7.2. Saturne : transformations géométriques

Les transformations appliquées à Saturne P sont des rotations paramétrées par trois angles : l'auge λ_a , le centre moyen $\bar{\kappa}$, et l'astre propre $\bar{\alpha}$. L'astre moyen est $\bar{\lambda} = \lambda_a + \bar{\kappa}$, le nœud ascendant est $\lambda_\Omega = \lambda_a - 140^\circ$, et l'argument de latitude est $\bar{\lambda} - \lambda_\Omega$. Voici la liste des transformations géométriques utilisées pour produire les mouvements en longitude :

$$R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}, \quad R_{P_4, 2\bar{\kappa}}, \quad R_{P_3, -\bar{\kappa}}, \quad R_{P_2, \bar{\kappa}}, \quad R_{P_1, \lambda_a}.$$

Comme d'habitude, quand on omet la mention de l'axe de rotation, il s'agit par défaut de la direction du vecteur \mathbf{k} .

Il faut se souvenir que la figure iv p. 205 cas (a) représente pour Saturne la relation entre l'orbe incliné et l'orbe déférent, ainsi que la relation entre l'orbe déférent et l'orbe rotateur. Il faut donc adjoindre des rotations visant à incliner les plans des orbes par rapport aux plans des orbes qui les portent :

$$R_{P_4, \mathbf{v}, -1^\circ}, \quad R_{P_3, \mathbf{u}, -3^\circ 30'}, \quad R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'}.$$

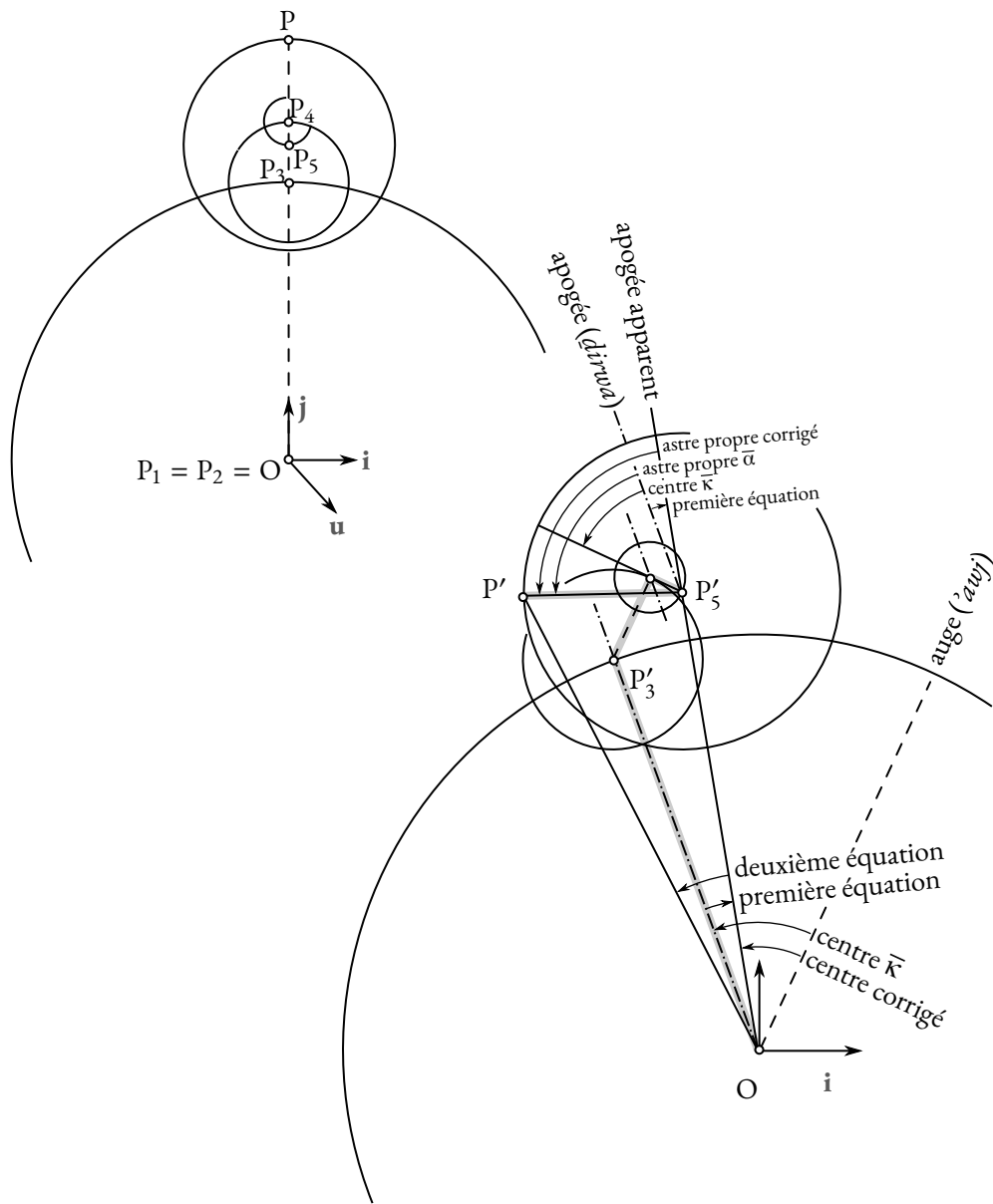


FIG. XXVII : Les orbes de Saturne, figure initiale et terminologie

où \mathbf{v} est entraîné par l'orbe rotateur de sorte à ce que sa direction coïncide avec la ligne des nœuds lorsque $\bar{\kappa} = (\mathbf{j}, \mathbf{u}) + 90^\circ$. Autrement dit :

$$R_{2((\mathbf{j}, \mathbf{u})+90^\circ)}(\mathbf{v}) = \mathbf{u}.$$

Pour Saturne, on en déduit que :

$$\mathbf{v} = R_{2(140^\circ-90^\circ)}(\mathbf{u}) = \cos(50^\circ)\mathbf{i} + \sin(50^\circ)\mathbf{j}.$$

La théorie des longitudes des chapitres 12 à 14 et la description donnée par Ibn al-Šāṭir dans le chapitre 24 sur les latitudes des planètes supérieures ne laissent aucun doute quant à l'ordre dans lequel appliquer toutes ces transformations.

Pour obtenir la configuration des orbes à un instant donné, il faut donc appliquer toutes ces rotations aux points P_3, P_4, P_5, P . L'image du point P_3 entraîné par les mouvements de l'orbe parécliptique et de l'orbe incliné est :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} R_{P_2, \bar{\kappa}}(P_3).$$

Quant au point P_4 , il est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe déférent et il devient :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_3, \mathbf{u}, -3^\circ 30'}(P_4).$$

Le point P_5 est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe rotateur et il devient :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_3, \mathbf{u}, -3^\circ 30'} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_4, \mathbf{v}, -1^\circ}(P_5).$$

Enfin le point P est aussi entraîné par l'orbe de l'épicycle dont le plan est confondu avec le plan de l'orbe rotateur, et il devient :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_3, \mathbf{u}, -3^\circ 30'} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_4, \mathbf{v}, -1^\circ} R_{P_5, \bar{\alpha}-\bar{\kappa}}(P).$$

La figure XXVIII montre l'effet des rotations inclinant les plans des orbes, pour trois positions. On a projeté orthogonalement sur le plan du parécliptique (figure du bas) et sur un plan orthogonal à la ligne des nœuds (figure du haut). On a seulement représenté les ceintures du déférent et du rotateur puisque la ceinture de l'épicycle est dans le plan de la ceinture du rotateur.

7.3. Saturne : trajectoire paramétrée

Le modèle de Saturne est couplé au modèle du Soleil en vertu de la relation suivante :

$$\bar{\alpha} = \bar{\lambda}_\odot - \lambda_a - \bar{\kappa}.$$

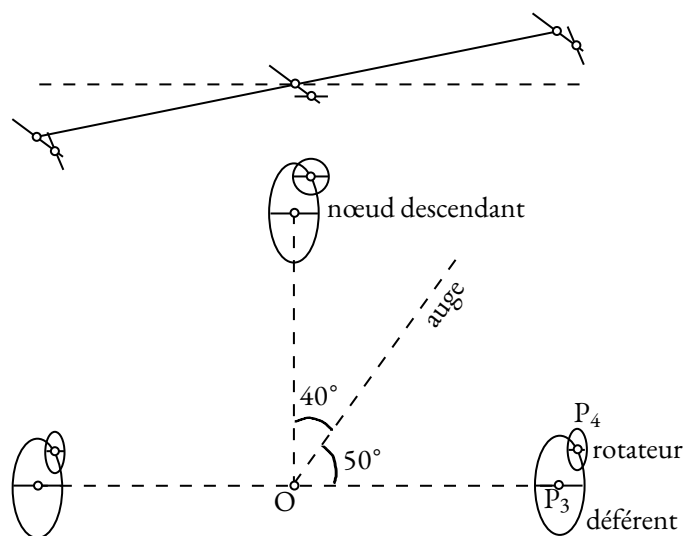


FIG. xxviii : Saturne, trois positions, projection orthogonale

La trajectoire dans l'ensemble des valeurs des paramètres est :

$$\lambda_a = \dot{\lambda}_a t + \lambda_a(0)$$

$$\bar{k} = \dot{\bar{k}} t + \bar{k}(0)$$

$$\bar{\lambda}_{\odot} = \dot{\bar{\lambda}}_{\odot} t + \bar{\lambda}_{\odot}(0)$$

On rappelle que $\bar{k} = \bar{\lambda} - \lambda_a$. On a, d'après Ibn al-Šāṭir :

$$\bar{\lambda}_{\odot}(0) = 280;9,0, \quad \dot{\bar{\lambda}}_{\odot} = 359;45,40 \text{ par année persane,}$$

$$\bar{\lambda}(0) = 157;58,20, \quad \dot{\bar{\lambda}} = 12;13,40 \text{ par année persane,}$$

$$\lambda_a(0) = 254;52, \quad \dot{\lambda}_a = 0;1 \text{ par année persane.}$$

7.4. Transformations planes

Si R et S sont deux rotations, il existe une rotation T telle que $RS = TR$, à savoir, la rotation de même angle que S et dont l'axe est l'image par R de l'axe de S. Appliquons cette relation de commutation à toutes les composées de rotations décrites ci-dessus, de sorte à réécrire à droite toutes les rotations dont l'axe est dans la direction du vecteur \mathbf{k} . Par exemple :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, u, 2^\circ 30'} = R_{P_2, a, 2^\circ 30'} R_{P_1, \lambda_a}$$

où le vecteur \mathbf{a} est l'image de \mathbf{u} par R_{P_1, λ_a} . On fait de même avec les inclinaisons des plans des petits orbes. Il existe donc une composée de rotations M telle que l'image du point P soit :

$$MR_{P_2, a, 2^\circ 30'}(P')$$

où

$$P' = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}(P).$$

On introduit de même les points P'_3, P'_4, P'_5 (voir figure xxvii) :

$$P'_3 = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}}(P_3)$$

$$P'_4 = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}}(P_4)$$

$$P'_5 = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}}(P_5)$$

Tous ces points sont dans le plan de la figure initiale : calculer leurs positions relève entièrement de la géométrie plane.

7.5. Les équations de Saturne

Le calcul de la position du point P' revient à résoudre quatre triangles rectangles. On calcule d'abord la *première équation* dite aussi « équation du centre » ; c'est l'angle $c_1 = (\overrightarrow{OP'_3}, \overrightarrow{OP'_5})$. On a :

$$c_1 = -\arcsin\left(\frac{P_3P_4 \sin \bar{\kappa} + P_4P_5 \sin \bar{\kappa}}{OP'_5}\right)$$

où

$$OP'_5 = \sqrt{(P_3P_4 \sin \bar{\kappa} + P_4P_5 \sin \bar{\kappa})^2 + (OP_3 + P_3P_4 \cos \bar{\kappa} - P_4P_5 \cos \bar{\kappa})^2}.$$

On calcule ensuite la *deuxième équation* $c_2 = (\overrightarrow{OP'_5}, \overrightarrow{OP'})$:

$$c_2 = \arcsin\left(\frac{P_5P \sin(\bar{\alpha} - c_1)}{OP'}\right)$$

où

$$OP' = \sqrt{(P_5P \sin(\bar{\alpha} - c_1))^2 + (OP'_5 + P_5P \cos(\bar{\alpha} - c_1))^2}.$$

La position du point P' est alors donnée par OP' et par l'angle suivant :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OP'}) = \lambda_a + \bar{\kappa} + c_1 + c_2.$$

Dans ce qui suit, c_1 sera conçue comme une fonction de $\bar{\kappa}$ notée $c_1(\bar{\kappa})$, et c_2 comme une fonction de deux variables $\bar{\kappa}$ et $\alpha = \bar{\alpha} - c_1$, notée $c_2(\bar{\kappa}, \alpha)$. Plus précisément :

$$c_2(\bar{\kappa}, \alpha) = \arcsin \left(\frac{P_5 P \sin \alpha}{\sqrt{(P_5 P \sin \alpha)^2 + (OP'_5 + P_5 P \cos \alpha)^2}} \right)$$

où OP'_5 est la fonction de $\bar{\kappa}$ vue ci-dessus. On remarque que :

$$c_1(360^\circ - \bar{\kappa}) = -c_1(\bar{\kappa}),$$

$$c_2(360^\circ - \bar{\kappa}, 360^\circ - \alpha) = -c_2(\bar{\kappa}, \alpha).$$

7.6. Fonction de deux variables et interpolation

Les valeurs de c_1 et c_2 devront être reportées dans des tables. Comme pour la Lune, Ibn al-Šāṭir utilise à cet effet ³²⁸ la méthode ptoléméenne d'interpolation visant à calculer une valeur approchée de c_2 au moyen d'un produit d'une fonction de $\bar{\kappa}$ par une fonction de α . À α donné, il interpole les valeurs de c_2 entre $c_2(0, \alpha)$ et $c_2(180^\circ, \alpha)$ au moyen de la formule suivante :

$$c_2(\bar{\kappa}, \alpha) \simeq c_2(0, \alpha) + \chi(\bar{\kappa})(c_2(180^\circ, \alpha) - c_2(0, \alpha)).$$

Le coefficient d'interpolation χ est défini par :

$$\chi(\bar{\kappa}) = \frac{\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)| - \max |c_2(0, \cdot)|}{\max |c_2(180^\circ, \cdot)| - \max |c_2(0, \cdot)|}.$$

Ce coefficient est fonction d'une seule variable ; on peut donc le calculer pour une série de valeurs de $\bar{\kappa}$ et en faire une table. Pour ce faire, on remarque que le maximum $\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)|$ est atteint quand la droite (O, P') est tangente au cercle de l'orbe de l'épicycle. On a alors ³²⁹ :

$$\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)| = \arcsin \frac{P_5 P}{OP'_5}.$$

³²⁸ Voir chapitre I.23.

³²⁹ On le montre aisément par le calcul en posant $z^{-1} = OP'_5 + P_5 P \cos \alpha$ et en remarquant que la quantité $\tan^2 c_2$ à maximiser est alors un polynôme de degré 2 en z .

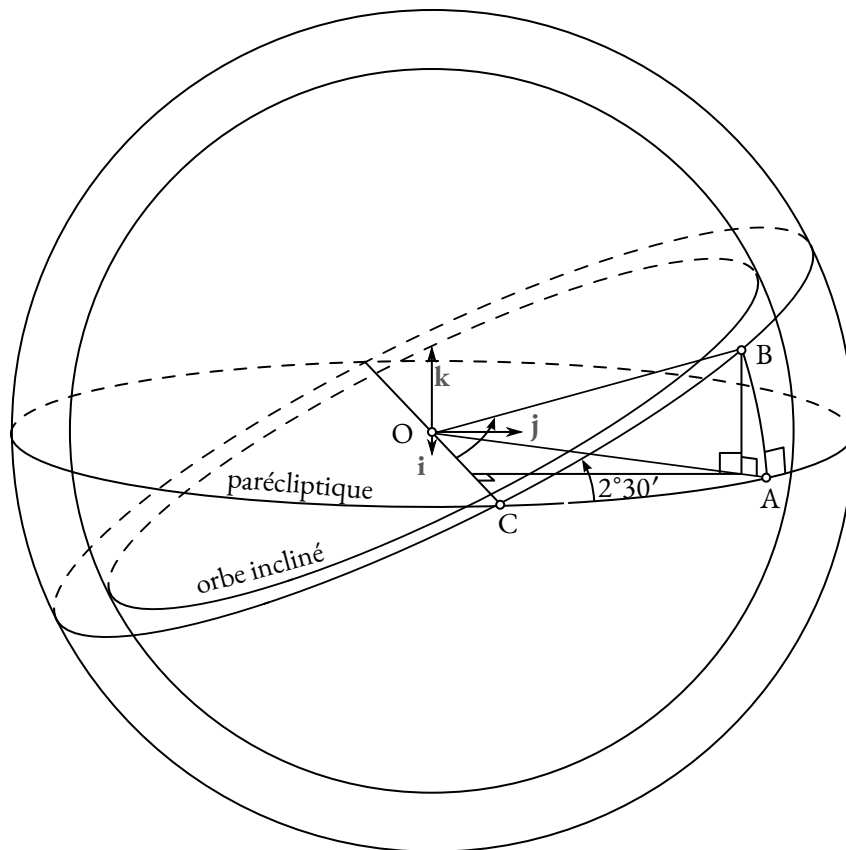


FIG. XXIX : Saturne, inclinaison de l'orbe incliné

7.7. *Trigonométrie sphérique*

On va à présent calculer les coordonnées sphériques du point $R_{P_2, a, 2^\circ 30'}(P')$ par rapport à l'écliptique. L'angle formé entre le vecteur \mathbf{a} et la direction du point P' vaut (modulo 360°) :

$$(\mathbf{a}, \overrightarrow{OP'}) = \bar{\kappa} + c_1 + c_2 + 140^\circ = \bar{\lambda} - \lambda_{\odot} + c_1 + c_2 = \lambda - \lambda_{\odot}$$

où $\lambda = \bar{\lambda} + c_1 + c_2$. Les égalités suivantes seront prises modulo 360° . Sur la fig. xxix, on représente sur la sphère de l'écliptique le point B dans la direction du point $R_{P_2, a, 2^\circ 30'}(P')$ et le point C dans la direction du vecteur \mathbf{a} . En particulier,

$$(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OB}) = \lambda - \lambda_{\odot}.$$

L'étude du triangle sphérique ABC donne :

$$\tan(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) = \cos(2^\circ 30') \tan(\lambda - \lambda_{\odot}).$$

La longitude du point $R_{P_2, a, 2^\circ 30'}(P')$ par rapport à l'écliptique, en prenant la direction du point vernal \mathbf{j} comme origine, est donc, quand $\lambda - \lambda_{\odot} \in]-90^\circ, 90^\circ[$:

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = (\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) - (\overrightarrow{OC}, \mathbf{j}) = \arctan(\cos(2^\circ 30') \tan(\lambda - \lambda_{\odot})) + \lambda_{\odot}.$$

Quand au contraire $\lambda - \lambda_{\odot} \in]90^\circ, 270^\circ[$, on a :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = 180^\circ + \arctan(\cos(2^\circ 30') \tan(\lambda - \lambda_{\odot})) + \lambda_{\odot}.$$

On rassemble ces deux cas dans la formule suivante, valable pour toutes les valeurs des paramètres :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = \lambda + e_n(\lambda - \lambda_{\odot})$$

où l'« équation du déplacement » $e_n(x)$ est définie comme suit sur l'intervalle $[-90^\circ, 270^\circ[$, et ailleurs par périodicité :

$$e_n(x) = \begin{cases} \arctan(\cos(2^\circ 30') \tan x) - x, & \text{si } x \in]-90^\circ, 90^\circ[\\ 180^\circ + \arctan(\cos(2^\circ 30') \tan x) - x, & \text{si } x \in]90^\circ, 270^\circ[\\ 0^\circ, & \text{si } x = \pm 90^\circ \end{cases}$$

Enfin, la latitude du point $R_{P_2, a, 2^\circ 30'}(P')$ est :

$$(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}) = \arcsin(\sin(2^\circ 30') \sin(\lambda - \lambda_{\odot})).$$

7.8. *Les inclinaisons des petits orbes*

Les rotations qui composent M ont leurs axes contenus dans le plan de l'orbe incliné OCB et sont d'angles petits ($3^{\circ}30'$ au plus). Elles auront peu d'effet sur la longitude de $R_{p_{2,a},2^{\circ}30'}(P')$. En revanche, l'effet de M et les inclinaisons des plans des petits orbes ont justement été introduits dans ce modèle afin de rendre compte des variations en latitude de Saturne. Hélas, les axes des rotations qui composent M ne passent pas par le point O , et de telles rotations sont difficiles à étudier en coordonnées sphériques³³⁰. Ibn al-Šāṭir se contente ici d'une description qualitative de l'effet en latitude de M (voir chapitre 24).

7.9. *Comparaisons*

À la figure xxx je donne les latitudes de Saturne pendant quinze ans, à partir de l'Époque choisie par Ibn al-Šāṭir, calculées de trois manières différentes : (1) par l'IMCCE de l'Observatoire de Paris, (2) en suivant la méthode strictement ptoléméenne de l'*Almageste* mais avec les paramètres d'Ibn al-Šāṭir à l'Époque et ses mouvements moyens³³¹, (3) au moyen du modèle complet d'Ibn al-Šāṭir décrit par la composée de huit rotations appliquée au point P comme ci-dessus.

Ibn al-Šāṭir indique que le nœud descendant de Saturne est « à cinq parts du Lion » (I.24.6), donc à 125° du point vernal, en 1339 apr. J.-C., *i. e.* à $t = 8$ ans de l'Époque, quand l'auge de Saturne est à $254;52 + 8 \times 0;1 = 255^{\circ}$ du point vernal ; on aurait alors $\lambda_{\Omega} = \lambda_a - 130^{\circ}$ comme l'affirmait déjà Ptolémée dans les « Hypothèses planétaires » 1 200 ans auparavant (Morelon, 1993, p. 54). Cependant, un peu plus loin dans le même chapitre, Ibn al-Šāṭir affirme que « le lieu de la dernière latitude nord [...] précède le lieu de l'auge chez Saturne de cinquante parts » (I.24.21), autrement dit $(\lambda_{\Omega} + 90) - \lambda_a = -50^{\circ}$, d'où $\lambda_{\Omega} = \lambda_a - 140^{\circ}$. Cette valeur, qui contredit la précédente, est celle donnée par Ptolémée dans l'*Almageste*. De toute façon³³² les valeurs données par Ptolémée sont des estimations très grossières. Dans le commentaire ci-dessus, j'ai adopté la valeur de l'*Almageste*. Pire encore, l'élongation nœud-auge n'est pas constante, et ceci explique le décalage important entre le tracé des latitudes selon Ibn al-Šāṭir et la courbe de l'IMCCE sur la fig. xxx, près du nœud ascendant³³³. J'en concluons qu'Ibn al-Šāṭir n'a pas cherché à corriger la

³³⁰ Ibn al-Hayṭam lui-même, dans un ouvrage inégalé sur l'astronomie mathématique, avait renoncé à une tâche semblable (voir *infra*, note 357 p. 267).

³³¹ J'ai suivi l'interprétation des méthodes de Ptolémée donnée par Pedersen (1974) et Swerdlow (2005).

³³² Comme l'explique Swerdlow (2005, p. 49), Ptolémée ne donne qu'une estimation très grossière de $\lambda_{\Omega} + 90$ dans l'*Almageste* (XIII.1), et il arrondit encore davantage pour obtenir les valeurs de $(\lambda_{\Omega} + 90) - \lambda_a$ données en XIII.6. Pour Saturne, Ptolémée part de $\lambda_{\Omega} + 90 \simeq 180^{\circ}$ (XIII.1), puis il utilise $\lambda_a = 233^{\circ}$ (XI.5) pour en déduire que $(\lambda_{\Omega} + 90) - \lambda_a \simeq -50^{\circ}$ (XIII.6).

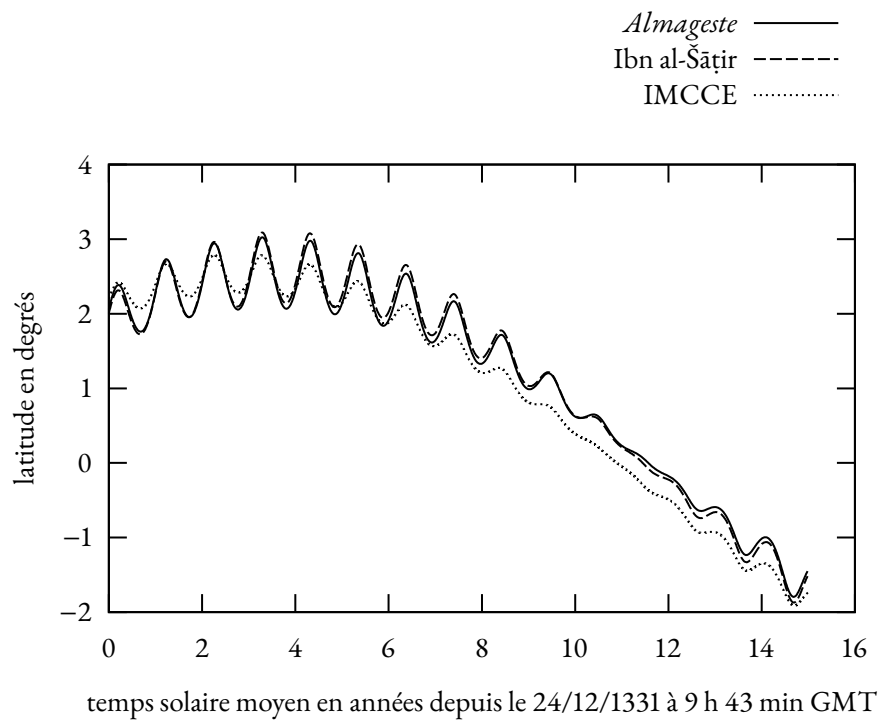


FIG. xxx : Latitudes de Saturne sur quinze ans, à partir de l'Époque

valeur donnée par Ptolémée en confrontant son modèle en latitude avec l'observation directe pour Saturne. Il semble néanmoins l'avoir fait pour Jupiter : au même endroit, il affirme que, pour Jupiter, $\lambda_{\Omega} = \lambda_a - 70 = 181 - 70 = 111$, soit 21° du Cancer (I.24.6), valeur coïncidant avec celle donnée par Ptolémée³³⁴, mais il ajoute plus loin (I.24.21) que « d'après ses propres observations » $\lambda_{\Omega} = \lambda_a - 62$. Enfin, pour Mars, il conserve l'approximation de Ptolémée³³⁵, $\lambda_{\Omega} = \lambda_a - 90 = 138 - 90 = 48$, soit 18° du Taureau (I.24.6).

Comme l'a montré Swerdlow³³⁶, la théorie des latitudes des planètes supérieures dans l'*Almageste* n'est guère satisfaisante pour l'observateur moderne ; elle commet souvent des erreurs de l'ordre de $20'$. Ceci tient à trois causes :

- le diamètre de l'épicycle indique la direction Soleil-Terre³³⁷ (on le voit en passant à un référentiel héliocentrique). Le plan de l'épicycle devrait donc toujours rester parallèle à l'écliptique, contrairement à ce que pense Ptolémée ;
- les observations transmises par Ptolémée sont peu précises ; elles sont arrondies au degré près ! De plus ces observations des latitudes maximales, lors des oppositions, ou près des conjonctions, devaient être rares pour Saturne dont la période moyenne est de 30 ans environ ;
- les calculs pour déduire les inclinaisons de l'excentrique et de l'épicycle sont sensibles à la précision de ces observations.

Comme Ibn al-Šāṭir s'appuie sur les observations de Ptolémée et sur ses inférences concernant les inclinaisons maximales des plans des orbes, son modèle présente alors à peu près les mêmes défauts en latitude que celui de Ptolémée.

7.10. Les longitudes des planètes supérieures chez al-Ṭūsī, al-'Urdī et al-Šīrāzī

Le modèle d'al-Ṭūsī pour les planètes supérieures comprend sept orbes³³⁸. Sur la figure initiale (fig. xxxi), P_1 est le centre du parécliptique, P_2 le centre de l'orbe incliné, P_3 le centre d'un orbe déferent excentrique, P_4 le centre d'une « grande sphère », P_5 le centre d'une « petite sphère », P_6 le centre d'un orbe englobant, P_7 le centre

³³³ Adopter la valeur des « Hypothèses planétaires » conduirait à un désaccord encore plus grand avec d'hypothétiques observations du temps d'Ibn al-Šāṭir.

³³⁴ Aussi bien dans les « Hypothèses planétaires » (Morelon, 1993, p. 50) que dans l'*Almageste* où Ptolémée part de $\lambda_{\Omega} + 90 \simeq 180^\circ$ et utilise $\lambda_a = 161$ (*Almageste*, XI.1) pour en déduire $(\lambda_{\Omega} + 90) - \lambda_a \simeq 20$ (XIII.6).

³³⁵ Aussi bien dans les « Hypothèses planétaires » (Morelon, 1993, p. 44) que dans l'*Almageste* où Ptolémée part de $\lambda_{\Omega} + 90 \simeq 120$ (*Almageste*, XIII.1) et utilise $\lambda_a = 115;30$ (X.7) pour trouver $(\lambda_{\Omega} + 90) - \lambda_a \simeq 0$ (XIII.6).

³³⁶ Swerdlow, 2005, p. 47.

³³⁷ À peu près, car Soleil moyen \simeq Soleil vrai.

³³⁸ Voir al-Ṭūsī, 1993, II.11 [10], p. 208.

TABLE. 2 : Synopsis des paramètres utilisés par Ibn al-Šāṭir pour les planètes supérieures

	Saturne	Jupiter	Mars
$\overrightarrow{P_3P_4}$	5;7,30 j	4;7,30 j	9 j
$\overrightarrow{P_4P_5}$	-1;42,30 j	-1;22,30 j	-3 j
$\overrightarrow{P_5P}$	6;30 j	11;30 j	39;30 j
(j, u)	-130° ou -140°	-62°	-90°
$\overline{\lambda}(0)$	157;58,20	272;6,10	292;0,0
$\dot{\lambda}$, par année persane	12;13,40	30;20,33	191;17,11
$\lambda_a(0)$	254;52	180;52	137;52
$\dot{\lambda}_a$, par année persane	0;1	0;1	0;1
inclinaison de l'orbe incliné	$R_{P_2,u,2^\circ 30'}$	$R_{P_2,u,1^\circ 30'}$	$R_{P_2,u,1^\circ}$
inclinaison du déférent	$R_{P_3,u,-3^\circ 30'}$	$R_{P_3,u,-2^\circ}$	$R_{P_3,u,-1^\circ 37' 30''}$
inclinaison du rotateur	$R_{P_4,v,-1^\circ}$	$R_{P_4,v,-0^\circ 30'}$	$R_{P_4,v,-0^\circ 37' 30''}$

de l'épicycle, et P le centre du globe planétaire. On a $O = P_1 = P_2$, et $P_6 = P_7$. Pour Saturne, on note $e = 3;25$ et on a ³³⁹ :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_2P_3} &= 2e \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_3P_4} &= 60 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_4P_5} &= \overrightarrow{P_5P_6} = -\frac{e}{2} \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_7P} &= 6;30 \mathbf{j} \end{aligned}$$

Al-Ṭūsī adjoint trois orbes supplémentaires pour rendre compte des mouvements en latitude au moyen d'un « couple d'al-Ṭūsī curviligne ³⁴⁰ » ; on les négligera pour l'instant. Les rotations décrivant le mouvement en longitude de chaque planète supérieure selon al-Ṭūsī sont alors :

$$R_{P_1,\lambda_a} R_{P_3,\bar{\kappa}} R_{P_4,\bar{\kappa}} R_{P_5,-2\bar{\kappa}} R_{P_6,\bar{\kappa}} R_{P_7,\bar{\alpha}}.$$

On aura remarqué que la « petite » et la « grande » sphère constituent un couple d'al-Ṭūsī dont l'effet est décrit par $R_{P_4,\bar{\kappa}} R_{P_5,-2\bar{\kappa}} R_{P_6,\bar{\kappa}}$.

Le modèle d'al-'Urdī pour les planètes supérieures comprend cinq orbes dont les centres sont ³⁴¹ : $O = P_1 = P_2$ le centre du Monde, P_3 le centre du déférent qu'al-

³³⁹ Pour Mars et Jupiter, on a le même modèle que Saturne ; seuls e et P_7P diffèrent.

³⁴⁰ Voir al-Ṭūsī, 1993, II.11 [19], p. 218-220.

³⁴¹ Voir Saliba (1990) et Rashed (1997, p. 119-122).

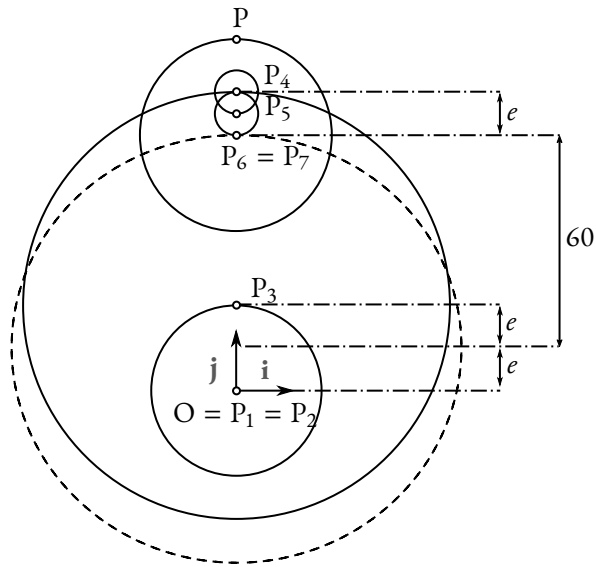


FIG. xxxi : Saturne, al-Ṭūsī, figure initiale

Šīrāzī appellera « déférent corporel » (car il est bien distinct du déférent de Ptolémée), P_4 le centre de l'orbe rotateur, P_5 le centre de l'épicycle, et P le centre du globe planétaire. Notant toujours, pour Saturne, $e = 3;25$, on pose :

$$\overrightarrow{P_2P_3} = \frac{3e}{2} \mathbf{j} = 5;7,30 \mathbf{j}$$

$$\overrightarrow{P_3P_4} = 60 \mathbf{j}$$

$$\overrightarrow{P_4P_5} = -\frac{e}{2} \mathbf{j}$$

$$\overrightarrow{P_5P} = 6;30 \mathbf{j}$$

Le mouvement en longitude est alors décrit par les rotations suivantes :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}.$$

Pour la Lune, on a vu al-Šīrāzī proposer un modèle strictement équivalent au modèle d'al-Ṭūsī sans couple curviligne, assez différent du modèle erroné qu'offrait al-'Urḍī dans son *Kitāb al-bay'a*. Pour les planètes supérieures, al-Šīrāzī semble avoir hésité, dans les années 1281-1285, entre un modèle fondé sur un « principe conjectural » et le modèle d'al-'Urḍī (ou un modèle équivalent) fondé sur un « principe déductif ». Ma connaissance des trois ouvrages écrits par al-Šīrāzī dans ces années-là³⁴² s'appuie sur les travaux de Saliba, Gamini, Hamedani et Niazi; il me faudra

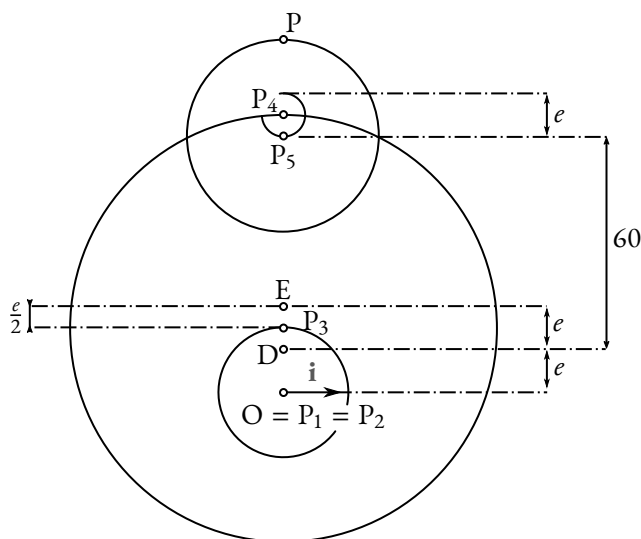


FIG. xxxii : Saturne, al-‘Urdī, figure initiale

peut-être réviser mes jugements quand les textes originaux seront plus accessibles. Niazi voit un peu la *Nihāya al-‘idrāk* comme un commentaire de la *Taḍkira* de Ṭūsī et les *Iḥtīyārāt-i muẓaffarī* comme un auto-commentaire de la *Nihāya al-‘idrāk*, bien que les deux ouvrages aient été rédigés presque simultanément³⁴³. Il n’est donc pas surprenant qu’al-Širāzī reprenne la structure du traité d’al-Ṭūsī dans sa *Nihāya al-‘idrāk* et qu’il y décrive d’abord le modèle de Ptolémée pour les planètes supérieures³⁴⁴. Puis, dans son chapitre sur les latitudes, comme l’avait fait al-Ṭūsī avec son couple d’al-Ṭūsī, al-Širāzī propose un nouveau modèle³⁴⁵. Ce modèle est aussi décrit dans les *Iḥtīyārāt* où al-Širāzī explique pourquoi il le préfère au modèle d’al-‘Urdī³⁴⁶ : dans le modèle d’al-‘Urdī, la trajectoire du centre de l’épicycle dans le plan

³⁴² Les *Iḥtīyārāt-i muẓaffarī*, la *Nihāya al-‘idrāk* et *Al-tuḥfa al-šābiyya*. Cf. Rashed (1997), Gamini, Hamedani (2013), Niazi (2011).

³⁴³ Voir Niazi, 2011, p. 213.

³⁴⁴ *Nihāya al-‘idrāk*, livre 2, chapitre 8. Voir Niazi, 2011, p. 150 et appendices où Niazi donne un résumé analytique du chapitre 8 et une édition du début de ce chapitre. Une édition critique de la fin du chapitre 8 figure dans Gamini, Hamedani, 2013.

³⁴⁵ Voir Niazi, 2011, p. 151. Il serait intéressant d’étudier le comportement du modèle d’al-Širāzī pour les latitudes. Gamini a commencé d’entreprendre cette tâche (Gamini, 2017) ; il mentionne aussi (*ibid.*, p. 199 et fig. 32 p. 202) un « second modèle pour les oscillations en latitude » décrit par al-Širāzī dans la *Tuḥfa*, dispositif consistant à adjoindre des couples d’al-Ṭūsī rectilignes aux modèles déjà existants. Ces couples d’al-Ṭūsī rectilignes ne font intervenir que des rotations dont l’axe est parallèle au plan de l’écliptique ; ils relèvent donc d’une intuition originale, peut-être moins élégante aux yeux d’un géomètre, mais en tout cas très différente des dispositifs conçus par Ibn al-Hayṭam, Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, et Ibn al-Šāṭir (voir *infra*, section 7.12).

de l'orbe incliné n'est pas exactement un cercle³⁴⁷, mais c'en est bien un dans le nouveau modèle d'al-Šīrāzī. Dans les *Iḥtīyārāt*, al-Šīrāzī utilise deux termes, « déductif » et « conjectural », pour marquer l'opposition entre les deux modèles³⁴⁸. Pourtant, Niazi montre qu'après de nombreuses révisions, l'état final du chapitre sur les latitudes de la *Nihāya al-idrāk* semble préférer une solution fondée sur le « principe déductif », c'est-à-dire à la manière d'al-'Urḏī ! La *Tuhfa*, au dire de Niazi, reflète sûrement son choix définitif, et on y trouve le modèle suivant. C'est le seul que je retiendrai ici :

Le *premier orbe* est le parécliptique ; la partie convexe [du parécliptique] de Saturne touche la partie concave du huitième orbe, sa partie concave touche la partie convexe du parécliptique de Jupiter, la partie concave du parécliptique de Jupiter touche la partie convexe du parécliptique de Mars, et la partie concave du parécliptique de Mars touche la partie convexe du parécliptique de Vénus. Le *deuxième orbe* est le déférent excentrique portant le centre de [l'orbe] englobant ; il est dans la partie supérieure du parécliptique ; la distance de son centre au centre du déférent imaginaire est la moitié de [la distance] entre les centres du monde et du déférent imaginaire de l'astre ; et sa ceinture est inclinée par rapport à la trajectoire du Soleil, de la grandeur de l'inclinaison de [l'orbe] incliné de l'astre, inclinaison constante. Le *troisième orbe* est [l'orbe] englobant ; il est dans la partie supérieure de l'excentrique ; son axe est perpendiculaire au plan de la ceinture de l'excentrique, et sa ceinture est dans son plan c'est-à-dire dans le plan de [l'orbe] incliné. Le *quatrième orbe* est le fléchisseur³⁴⁹ ; il est dans la partie inférieure de l'orbe englobant ; son axe est parallèle à l'axe de l'orbe englobant et perpendiculaire au plan de l'orbe incliné, et sa ceinture est aussi dans son plan ; et la distance de son centre au centre de l'orbe englobant est égale à celle entre les centres de l'excentrique et du déférent imaginaire de l'astre [...] Le *cinquième orbe* : l'astre tourne autour du centre du fléchisseur et d'un axe coupant l'axe du fléchisseur en le centre commun. La ceinture [du cinquième orbe] est inclinée par rapport à la ceinture [du fléchisseur] vers le nord et vers le sud, de la grandeur de l'inclinaison, pour l'astre en question, par rapport au plan de l'orbe incliné, et c'est une

³⁴⁶ Voir Niazi, 2011, p. 203-204.

³⁴⁷ On retrouve évidemment le même défaut dans le modèle d'al-Ṭūsī, comme je l'avais déjà remarqué pour la Lune (voir les courbes en pointillés, fig. xx p. 236, et xxxi p. 258).

³⁴⁸ Le « principe déductif », *istinbāṭī*, désigne le dispositif à l'œuvre dans le modèle d'al-'Urḏī, et le « principe conjectural », *ḥadsī*, désigne celui à l'œuvre dans le nouveau modèle d'al-Šīrāzī. À cette occasion, il utilise aussi un troisième terme, « innovant », *ibdā'ī*, pour désigner un principe que Niazi n'a pas su expliquer (voir Niazi, 2011, note 52, p. 138). Ce terme se rapporte peut-être aux dispositifs utilisés pour décrire les mouvements en latitude, puisqu'Ibn al-Šāṭir en parle ainsi dans la *Nihāya al-sūl* (I.0.26) : « Le fondement qu'il a qualifié d'« innovant » (*ibdā'ī*) concernant le désordre des latitudes des astres est impossible. » Selon Niazi, les termes *istinbāṭī* et *ḥadsī* sont aussi utilisés dans la *Nihāya al-idrāk*, mais ils seront absents de la *Tuhfa* (Niazi, 2011, p. 159).

³⁴⁹ Je traduis ainsi *mumayyil* ; cet orbe est responsable de l'inclinaison variable de la ceinture de l'épicycle.

inclinaison constante³⁵⁰.

Les centres des orbes dans le modèle de la *Tubfa* sont : O = P₁ centre du parécliptique, P₃ centre d'un « déferent corporel », P₄ centre de l'orbe « englobant », P₅ centre d'un orbe « fléchisseur », P₆ = P₅ centre de l'épicycle, et P centre du globe planétaire. On notera D le centre du « déferent imaginaire » qui n'est autre que le centre de la trajectoire approximativement circulaire du point P₅ au sein du parécliptique. On a :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_1P_3} &= \frac{3e}{2} \mathbf{j} = 5;7,30 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_3P_4} &= 60 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_4P_5} &= -\frac{e}{2} \mathbf{j} = -1;42,30 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_5P} &= 6;30 \mathbf{j}\end{aligned}$$

Si l'on néglige les inclinaisons, la composée de rotations entraînant le point P dans son mouvement en longitude est alors :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, -\bar{\kappa}} R_{P_6, \bar{\alpha}}.$$

Pour les longitudes, on voit que ce modèle est équivalent à celui d'al-'Urđī. Si al-Šīrāzī semble avoir finalement renoncé à proposer un modèle différent, il a cependant offert une contribution originale à la fin du chapitre 8 du livre 2 de sa *Nihāya*. Pour répondre à d'éventuels contradicteurs qui reprocheraient aux astronomes de Marāga d'avoir déplacé le centre du déferent concentrique que Ptolémée avait posé au milieu entre le centre du monde et le point équant (« bissection de l'excentricité »), al-Šīrāzī tente d'abord de justifier par des arguments issus de l'observation le choix fait par Ptolémée. Gamini et Hamedani ont récemment analysé³⁵¹ cette intéressante réflexion sur les « arcs rétrogrades ». Ce faisant, al-Šīrāzī caractérise le centre du déferent comme étant le centre de la trajectoire, circulaire chez Ptolémée, du centre de l'épicycle dans le plan de l'orbe incliné, et il caractérise le point équant comme

³⁵⁰ Ma traduction. Cf. manuscrit Arabe 2516 à la Bibliothèque nationale de France, chapitre 11, f. 45v.

³⁵¹ Le passage correspondant de la *Nihāya al-'idrāk* et des *Ihtiyārāt* est aussi étudié par Niazi (2011, p. 195-200), mais Niazi a une interprétation légèrement différente de celle de Gamini, Hamedani (2013). À ses yeux il faut voir dans tout ce passage une tentative de justifier la préférence pour les deux modèles d'al-'Urđī et d'al-Šīrāzī vis-à-vis d'éventuels contradicteurs qui souhaiteraient revenir à Ptolémée ; aux yeux de Gamini, Hamedani (2013, p. 51) il s'agit plutôt de justifier le refus du modèle d'al-'Urđī.

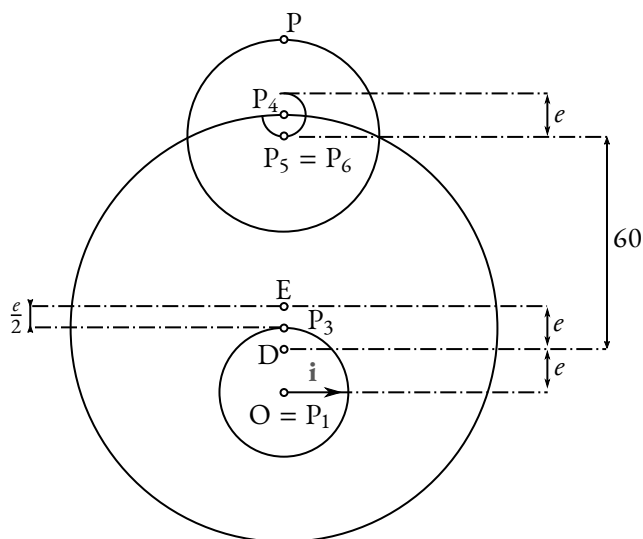


FIG. XXXIII : Saturne, al-Širāzī, figure initiale

étant le point autour duquel le mouvement du centre de l'épicycle a une vitesse angulaire constante. Dans tous les modèles des astronomes de Marāḡa ainsi qu'Ibn al-Šāṭir pour les planètes supérieures, il existe bien un tel « point équant » et un point proche du centre de la trajectoire circulaire ou presque circulaire du centre de l'épicycle – même si ces points ne sont pas toujours mentionnés dans les descriptions des modèles. Pour les modèles d'al-'Urḡī et d'al-Širāzī, ce sont les points E et D sur nos figures xxxii et xxxiii.

En fait le modèle d'al-'Urḡī (et donc aussi celui d'al-Širāzī) est strictement équivalent au modèle d'al-Ṭūsī. Partons en effet du modèle d'al-'Urḡī décrit comme ci-dessus par la composée de rotations $R_{P_1, \lambda_a} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}$ appliquée au point P de la fig. xxxii. P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 désigneront les centres des orbés dans la figure initiale de 'Urḡī, et $\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \tilde{P}_3, \tilde{P}_4, \tilde{P}_5, \tilde{P}_6, \tilde{P}_7$ désigneront les centres des orbés dans la figure initiale d'al-Ṭūsī. On a :

$$O = P_1 = P_2 = \tilde{P}_1 = \tilde{P}_2, \quad \overrightarrow{P_3 P_3} = \frac{e}{2} \mathbf{j}, \quad P_4 = \tilde{P}_5,$$

$$P_5 = \tilde{P}_6 = \tilde{P}_7, \quad \overrightarrow{P_4 P_4} = \frac{e}{2} \mathbf{j}.$$

7.11. Sections planes des orbes solides de Saturne

Les sections planes des orbes solides de Saturne sont représentées à la figure xxxv qui respecte à peu près les ordres de grandeurs sauf pour OP_3 . Les rayons sont :

$$\text{rayon du globe planétaire} = r$$

$$\text{rayon de l'orbe de l'épicycle} = 6;30 + r$$

$$\text{rayon du rotateur} = 1;42,30 + 6;30 + r = 8;12,30 + r$$

$$\text{rayon du déférent} = 5;7,30 + 1;42,30 + 6;30 + r = 13;20 + r$$

$$\text{rayon extérieur de l'orbe incliné} = 60 + 5;7,30 + 1;42,30 + 6;30 + r = 73;20 + r$$

$$\text{rayon intérieur de l'orbe incliné} = 60 - (5;7,30 + 1;42,30 + 6;30 + r) = 46;40 - r$$

$$\text{épaisseur du parécliptique} = 0;40$$

Ici comme pour l'orbe total du Soleil, le choix de l'épaisseur $0;40$ du parécliptique est arbitraire, et Ibn al-Šāṭir propose encore d'ajouter un complément à l'épaisseur de l'orbe incliné. Mais pour Saturne, il néglige r quand il calcule les rayons des orbes solides. Il n'en tient compte qu'à la fin de son raisonnement, dans le « complément » qu'il ajoute à l'épaisseur de l'orbe incliné, quand il dit :

La distance minimale est à la surface intérieure de l'orbe incliné de Saturne, en parts, quarante-six et deux tiers ; en plus de la réunion des orbes, il faut aussi compter le rayon de l'astre donc cela fait quarante-six parts³⁵³.

Il vise large en arrondissant le rayon intérieur de l'orbe incliné à 46. Le rayon intérieur du système d'orbes de Saturne est donc 46, et son rayon extérieur est, en tenant compte de l'épaisseur du parécliptique, $73;20 + 0;40 = 74$. Il ne remettra pas ces valeurs en question dans la conclusion de la *Nihāya*, et il suivra le même procédé pour les quatre autres planètes³⁵⁴.

³⁵³ Cf. I.12.34. Bien que le rayon intérieur de l'orbe incliné passe à 46, il semble qu'Ibn al-Šāṭir maintienne son rayon extérieur à $73;20$: c'est l'épaisseur *du parécliptique* qui fait passer le rayon extérieur *du système d'orbes* à 74. Dans l'orbe incliné, si l'on tient compte du rayon r de la planète, il faut alors supposer que le cercle médian n'est plus un cercle de rayon 60 mais un cercle de rayon légèrement inférieur (entre $59;40$ et 60 si $2r < 0;40$). En toute rigueur, il faudrait donc réduire proportionnellement le système entier des orbes de Saturne par rapport aux valeurs rapportées ci-dessus.

³⁵⁴ Cette méthode, consistant à ajouter et retrancher un complément en « visant large », est à rapprocher de la méthode d'approximation par itération, plus fine, d'al-'Urđi : voir Goldstein, Swerdlow, 1970, p. 143-145. On ne pouvait se passer de ces méthodes : toute estimation des dimensions des orbes dépendait des diamètres des planètes ; mais ces diamètres eux-mêmes dépendaient d'une observation des diamètres apparents *et* d'une estimation préalable des distances, donc des dimensions des orbes.

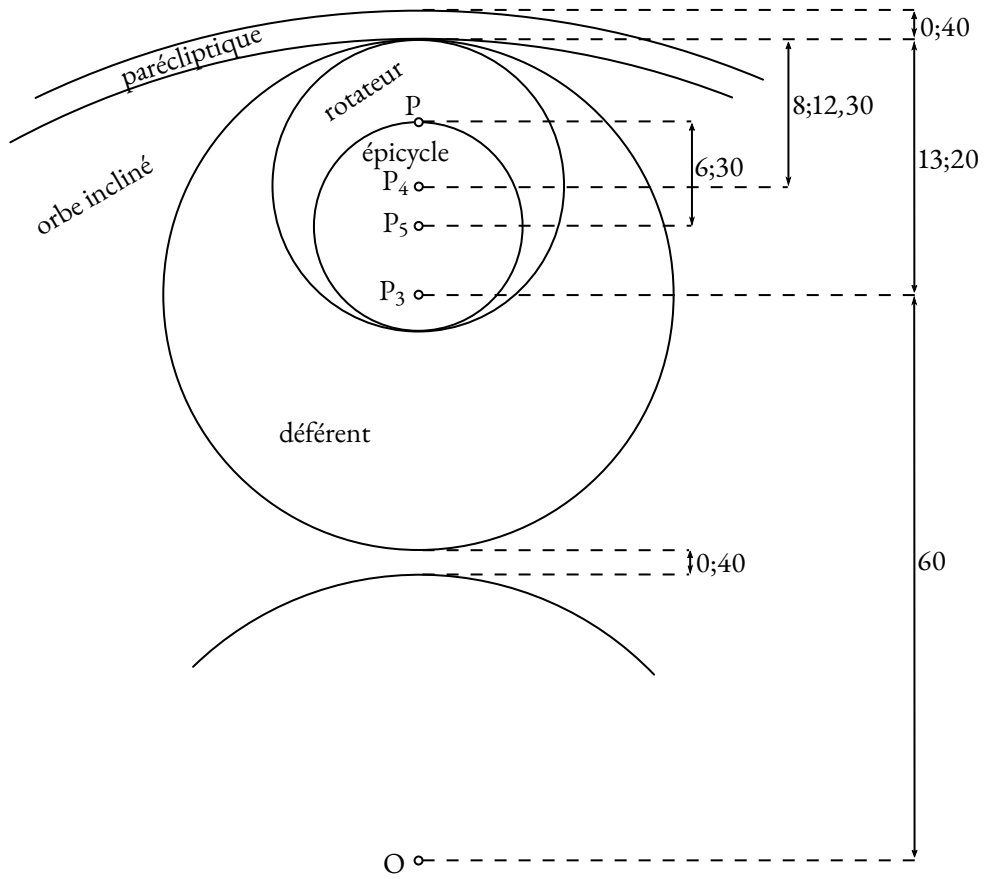


FIG. xxxv : Saturne, orbes solides

Les rayons des orbes solides de Jupiter sont :

$$\begin{aligned} \text{rayon du globe planétaire} &= r \\ \text{rayon de l'orbe de l'épicycle} &= 11;30 + r \\ \text{rayon du rotateur} &= 1;22,30 + 11;30 + r = 12;52,30 + r \\ \text{rayon de déferent} &= 4;7,30 + 1;22,30 + 11;30 + r = 17 + r \\ \text{rayon extérieur de l'orbe incliné} &= 60 + 4;7,30 + 1;22,30 + 11;30 + r = 77 + r \\ \text{rayon intérieur de l'orbe incliné} &= 60 - (4;7,30 + 1;22,30 + 11;30 + r) = 43 - r \\ \text{épaisseur du parécliptique} &= 1 \end{aligned}$$

Ceux des orbes solides de Mars sont :

$$\begin{aligned} \text{rayon du globe planétaire} &= r \\ \text{rayon de l'orbe de l'épicycle} &= 39;30 + r \\ \text{rayon du rotateur} &= 3 + 39;30 + r = 42;30 + r \\ \text{rayon du déferent} &= 9 + 3 + 39;30 + r = 51;30 + r \\ \text{rayon extérieur de l'orbe incliné} &= 60 + 9 + 3 + 39;30 + r = 111;30 + r \\ \text{rayon intérieur de l'orbe incliné} &= 60 - (9 + 3 + 39;30 + r) = 8;30 - r \\ \text{épaisseur du parécliptique} &= 0;30 \end{aligned}$$

7.12. Genèse du modèle en latitude pour les planètes supérieures

Concernant les latitudes des planètes supérieures, Ibn al-Šāṭir s'estime satisfait du progrès qu'il a accompli. Voici la critique qu'il adresse à ses prédécesseurs (I.24.9) :

Le rapprochement de la ceinture de l'épicycle et de la ceinture de l'orbe incliné, sans un mobile qui perturbe les mouvements en longitude, dans l'astronomie classique de l'*Almageste* et des « Hypothèses » concernant les corps mus en latitude, est impossible. Ce dont se sont efforcés Ptolémée et ses successeurs comme Ibn al-Hayṭam dans son « Épître », Naṣīr al-Ṭūsī dans son « Mémoire », Mu'ayyad al-'Urḏī dans son « Astronomie », Quṭb al-Šīrāzī dans son *Muntahā al-'adwār*, et ce que quiconque a repris de leurs propos dans son livre [...], rien de tout cela ne suffit au but visé pour la longitude et la latitude, et quand cela convient pour l'une, cela pêche pour l'autre. Que Dieu pardonne à ceux qui ont ici admis leur faiblesse.

À cette critique s'en ajoutera une seconde ; mais il faut déjà comprendre la première.

Pour expliquer l'oscillation du plan de l'épicycle³⁵⁵, Ptolémée avait décrit une sorte de modèle mécanique dans l'*Almageste* en termes équivoques :

En résumé général, suivant les hypothèses, les cercles excentriques des cinq planètes se trouvent inclinés sur le plan du cercle milieu du zodiaque autour du centre du zodiaque, et cette inclinaison est constante dans Saturne, Jupiter et Mars [...]

Les diamètres apogées des épicycles qui, à *certain point de départ*, étoient dans le plan de l'excentrique, sont transportés par de petits cercles fixés, pour ainsi dire, à leurs extrémités périgées, et d'un rayon propre à représenter les inégalités observées dans les latitudes. Mais ces petits cercles sont *perpendiculaires aux plans des excentriques* ; ils ont leurs centres dans ces plans [...]

Les diamètres qui coupent à angles droits les diamètres apogées [...] demeurent constamment parallèles au plan de l'écliptique [...]

Au sujet de ces petits cercles qui font ainsi varier la position des épicycles, il faut d'abord remarquer ce qui suit. Ils sont partagés en deux également *par les plans sur lesquels nous disions que se fait la variation de l'inclinaison* [...]

Qu'on n'objecte pas à ces hypothèses, qu'elles sont trop difficiles à saisir³⁵⁶ [...]

Peut-être à la recherche d'une *description exacte* du mouvement du plan de l'épicycle, alors même qu'un *calcul exact* des latitudes résultant de l'inclinaison des épicycles semblait si difficile³⁵⁷, al-Ḥasan b. al-Ḥasan b. al-Hayṭam a précisé le modèle de Ptolémée dans un texte aujourd'hui perdu « Sur le mouvement d'enroulement³⁵⁸ », probablement antérieur à son traité sur « La configuration des mouvements de chacun des sept astres errants ». C'est sûrement à ce texte perdu qu'Ibn al-Šāṭir fait allusion. Heureusement pour nous, al-Ṭūsī a décrit dans la *Tadkira* le dispositif conçu par Ibn al-Hayṭam³⁵⁹ : il s'agit d'adjoindre à l'épicycle deux orbites ou sphères homocentriques comme sur la figure xxxvi, où l'axe de l'épicycle est perpendiculaire au plan de la section représentée sur la figure. Le mouvement propre de l'épicycle devant être rapporté au référentiel solide constitué par la seconde sphère, c'est un diamètre de la seconde sphère qui jouera le rôle de l'« apogée moyen » de l'épicycle. Que ce diamètre soit l'axe *j* de la seconde sphère. Le mouvement de rotation de la première sphère autour de son axe *t* aura pour effet de faire « osciller »

³⁵⁵ Pour Saturne, selon Ptolémée, l'oscillation du plan de l'épicycle autour du plan de l'excentrique est d'amplitude $i_1 + i_2 = 4^\circ 30'$. Il oscille autour d'un plan parallèle à l'écliptique avec une amplitude de $i_2 = 2^\circ$ puisque l'excentrique est lui-même incliné de $i_1 = 2^\circ 30'$ (Swerdlow, 2005, p. 43).

³⁵⁶ Cf. Ptolémée, 1952, chap. XIII.2. Mes italiques ; J'adopte ici la traduction française de Halma.

³⁵⁷ Ibn al-Hayṭam renonce à ce calcul dans sa « Configuration des mouvements », voir Rashed, 2006, p. 444-447.

³⁵⁸ Sur ce texte perdu, voir Rashed, Penchèvre, 2020 ; cet article complète et précise la présente description du modèle de la fig. xxxvi (cf. Rashed, Penchèvre, 2020, fig. 2, p. 40 où, pour les besoins de l'article, nous avons échangé les lettres *j* et *t*).

³⁵⁹ Voir al-Ṭūsī, 1993, II.11 [16].

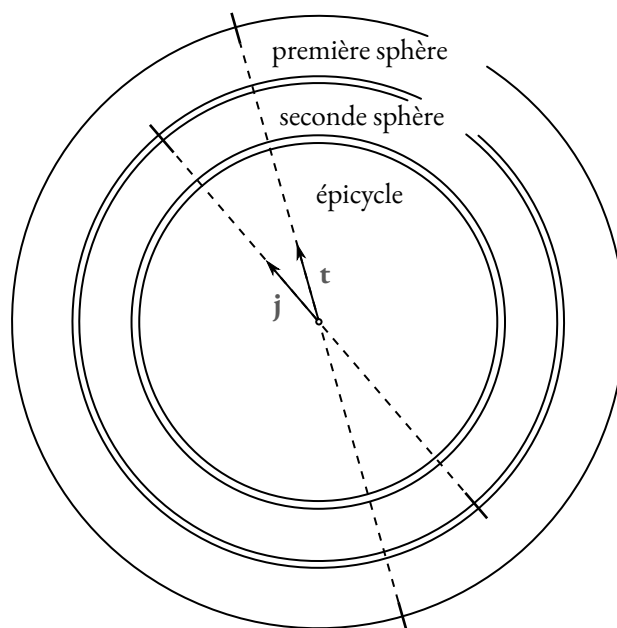


FIG. xxxvi : Ibn al-Hayṭam's *iltifāf*, according to al-Ṭūsī

la direction du vecteur j autour du vecteur t . Le rôle du mouvement de rotation de la seconde sphère autour de j est, comme pour la troisième sphère d'un couple d'al-Ṭūsī, d'annuler le moment angulaire imprimé à l'épicycle par le mouvement de la première sphère. Le plan de l'épicycle oscillera alors autour d'un plan contenant le vecteur t . Reste à comprendre où fixer les pôles de la première sphère dans le système d'orbes assurant les mouvements en longitude. Ṭūsī reste vague ; il faut donc deviner.

Naïvement, plaçons l'axe de la première sphère, c'est-à-dire le vecteur t , dans le plan de la figure initiale (fig. xxxi p. 258), et fixons ses pôles dans la « sphère englobante ». Le modèle de Ṭūsī auquel on adjoint les deux orbes d'Ibn al-Hayṭam contient maintenant neuf orbes³⁶⁰ :

- le parécliptique de centre P_1 ;
- l'orbe incliné en P_2 ;
- l'orbe déférent en P_3 ;
- une « grande sphère » en P_4 , une « petite sphère » en P_5 et une « sphère englobante » en P_6 , formant le couple de Ṭūsī ;
- les deux sphères d'Ibn al-Hayṭam en P_7 et P_8 , où $P_8 = P_7 = P_6$;

³⁶⁰ Voir fig. xxxvii p. 269, figure plane qui, bien sûr, n'est plus suffisante pour décrire la configuration initiale des orbes.

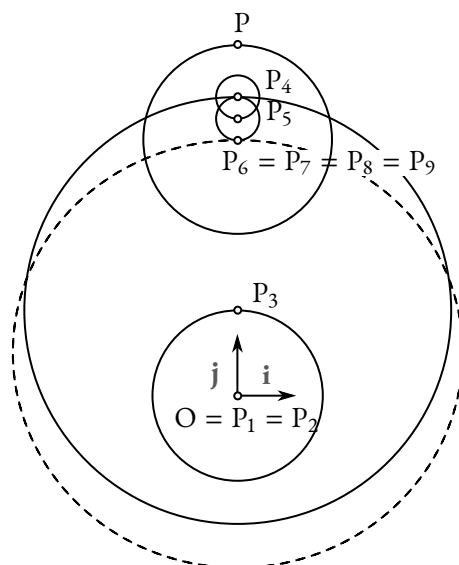


FIG. xxxvii : Saturne d'après la *Tadkira* II.11 [16]

- l'épicycle en $P_9 = P_8$;
- Saturne en P.

Les rotations décrivant le mouvement de l'astre sont :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, -2\bar{\kappa}} R_{P_6, \bar{\kappa}} R_{P_7, \mathbf{t}, -(\bar{\kappa} + 140^\circ)} R_{P_8, \mathbf{j}, (\bar{\kappa} + 140^\circ)} R_{P_9, \bar{\alpha}}$$

où $\mathbf{u} = \cos(50^\circ)\mathbf{i} - \sin(50^\circ)\mathbf{j}$, et $\mathbf{t} = \sin(4^\circ 30')\mathbf{i} + \cos(4^\circ 30')\mathbf{j}$. Al-Ṭūsī juge cette solution peu satisfaisante, car :

Les petits cercles mentionnés, en entraînant des inclinaisons latitudinales, causent aussi des inclinaisons en longitude, et les positions des apogées et des périhéees sont donc différents de ce qu'elles devraient être quant aux points avec lesquels ils devraient être alignés³⁶¹.

Dans sa première critique, Ibn al-Šāṭir ne fait que répéter celle qu'al-Ṭūsī adresse au modèle de Ptolémée précisé par Ibn al-Hayṭam, et il ajoute que ni al-Ṭūsī, ni al-'Urḍī, ni al-Šīrāzī n'ont su résoudre ce problème ; pourtant al-Ṭūsī propose une autre solution dans la *Tadkira* : il propose de remplacer la première sphère d'Ibn al-Hayṭam par deux sphères homocentriques (voir figure xxxviii). L'épicycle est toujours contenu dans la seconde sphère d'Ibn al-Hayṭam, mais elle-même est contenue dans une *petite sphère*, elle-même contenue dans une *grande sphère*, elle-même contenue dans la *sphère englobante* centrée en P_6 . Leurs centres $P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = P_{10}$

³⁶¹ Cf. al-Ṭūsī, 1993, II.11 [15].

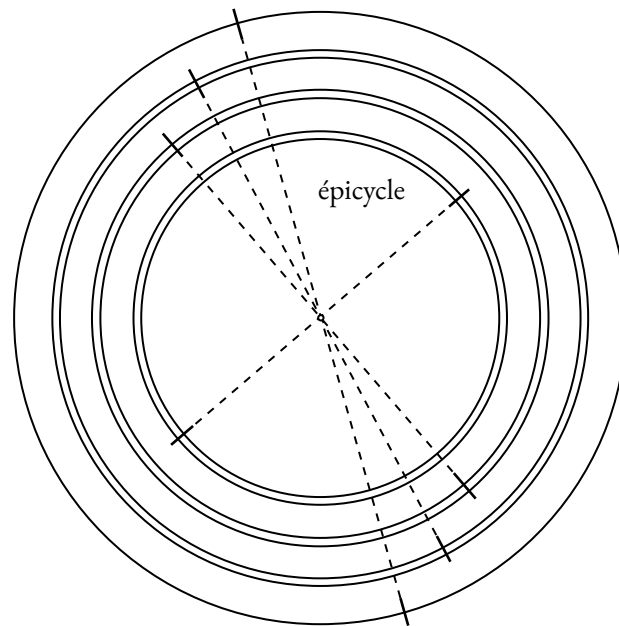


FIG. xxxviii : Le couple curviligne d'al-Ṭūsī pour les latitudes

sont tous confondus. La vitesse de rotation de la petite sphère est double et en sens inverse de celle de la grande sphère : les axes des trois sphères additionnelles étant presque parallèles, elles agiront presque comme un couple d'al-Ṭūsī.

Quel est le mouvement de l'apogée moyen produit par ce dispositif ? À la surface de la sphère englobante, la trace de l'axe de la seconde sphère d'Ibn al-Hayṭam est une courbe fermée qu'al-Ṭūsī pensait pouvoir assimiler à un petit arc d'un grand cercle de la sphère englobante, parcouru alternativement dans un sens puis dans l'autre : l'apogée moyen décrit bien un mouvement oscillatoire³⁶².

Comment insérer ce dispositif dans le modèle d'al-Ṭūsī pour Saturne ? Comme on l'a fait pour le dispositif d'Ibn al-Hayṭam, on choisira naïvement d'insérer l'axe de la grande sphère dans le plan de la figure initiale, donc dans le plan de la sphère englobante, dans la direction du vecteur \mathbf{j} . On notera :

$$\begin{aligned}\mathbf{u} &= \cos(50^\circ)\mathbf{i} - \sin(50^\circ)\mathbf{j} \\ \mathbf{v} &= \cos(4^\circ 30')\mathbf{j} - \sin(4^\circ 30')\mathbf{k} \\ \mathbf{w} &= \cos(2^\circ 15')\mathbf{j} - \sin(2^\circ 15')\mathbf{k}\end{aligned}$$

où \mathbf{v} est l'axe de la seconde sphère d'Ibn al-Hayṭam et \mathbf{w} est l'axe de la « petite sphère ».

³⁶² Ragep l'explique très bien (al-Ṭūsī, 1993, fig. C26 et note 54 p. 455).

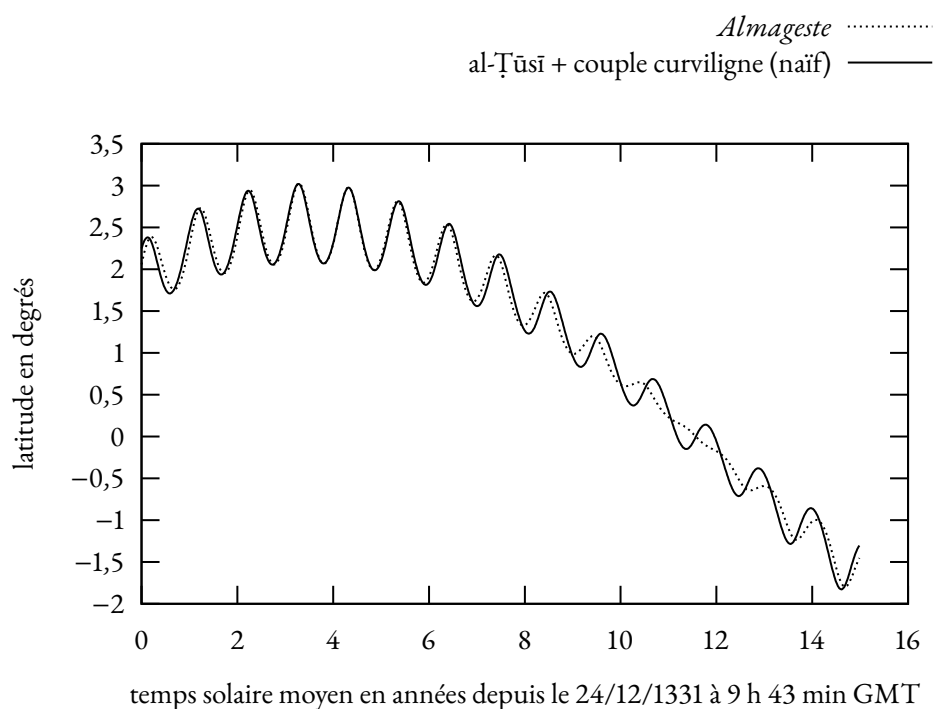


FIG. xxxix : Interprétation naïve de la solution d'al-Ṭūsī utilisant son « couple curviligne » pour les latitudes de Saturne

La composée de rotations décrivant le mouvement de Saturne est alors :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, u, 2^\circ 30'} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, -2\bar{\kappa}} R_{P_6, \bar{\kappa}} \Gamma R_{P_{10}, i, -4^\circ 30'} R_{P_{10}, \bar{\alpha}}$$

où $\Gamma = R_{P_7, j, \bar{\kappa}+50^\circ} R_{P_8, w, -2(\bar{\kappa}+50^\circ)} R_{P_9, v, \bar{\kappa}+50^\circ}$ est le « couple curviligne » des trois sphères additionnelles.

Pour Saturne dont l'épicycle est petit, la solution d'Ibn al-Hayṭam et celle du couple curviligne d'al-Ṭūsī se valent y compris pour les longitudes. Pourtant elles ont toutes deux un défaut notable : l'épicycle garde une inclinaison par rapport à l'écliptique près des nœuds, causant les larges oscillations en latitude entre $t = 10$ et $t = 12$ sur le graphe de la figure xxxix. Et pour cause : nous avons, « naïvement », fixé les pôles de la plus grande des deux ou trois sphères additionnelles dans le plan de l'orbite englobant, lui-même coïncidant avec le plan de l'excentrique de Ptolémée. L'épicycle va donc osciller autour de l'excentrique : aux nœuds, il sera confondu avec le plan de l'excentrique, dont l'inclinaison est de $2^\circ 30'$ par rapport à l'écliptique. Il y a donc erreur.

Mais où devrait-on attacher les pôles de la grande sphère dans la sphère englobante, si ce n'est dans le plan de cet orbe ? Al-Ṭūsī est plutôt vague. Selon lui, les pôles de la première sphère d'Ibn al-Hayṭam sont à une distance des pôles de sa seconde sphère « égale à la déviation maximale du diamètre [de l'apogée moyen] de la planète par rapport *au plan dans lequel elle n'a pas de latitude*³⁶³ ». Il faut donc penser que les axes des deux sphères d'Ibn al-Hayṭam devraient être inclinés de 2° l'un par rapport à l'autre, puisque l'épicycle est incliné de 2° au plus par rapport à l'écliptique. Si l'on pouvait alors fixer les pôles de la première sphère dans un plan parallèle à l'écliptique, le modèle produirait une oscillation du plan de l'épicycle de ±2° autour d'un plan parallèle à l'écliptique, et il serait confondu avec le plan de l'écliptique aux nœuds. Hélas, dans le solide de la sphère englobante, il n'existe aucun plan qui reste constamment parallèle à l'écliptique quand les orbes se meuvent !

Une rotation spatiale n'agit pas seulement sur les directions, elle agit aussi sur les plans affines. Ibn al-Šāṭir l'avait bien compris, car c'est là l'objet de sa seconde critique. Il s'est posé la question de savoir autour de quel plan l'épicycle doit osciller. Selon lui (I.24.18) :

L'observation confirme que c'est le plan de l'écliptique et non le plan de l'orbe incliné.

La plupart des modernes – Naṣīr al-Ṭūsī, Mu'ayyad al-'Urḍī, Quṭb al-Šīrāzī – ont pensé que la latitude s'annulait quand c'est le plan de l'orbe incliné : c'est impossible [...]

En effet, la solution dont j'ai tracé le graphe fig. xxxix, bien que naïve, est la seule possible, à moins de modifier radicalement le modèle d'al-Ṭūsī. Pour rendre possible l'oscillation autour d'un plan parallèle à l'écliptique, il faudrait modifier les autres orbes pour garantir l'existence d'un tel plan dans le solide de l'orbe englobant. Il faudrait par exemple incliner, une fois pour toutes, le plan et l'axe de l'orbe englobant par rapport à ceux du déférent. On aurait alors la composée de rotations suivante, toujours en accord avec les notations de la p. 270 ci-dessus :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, u, 2^\circ 30'} R_{P_3, \bar{k}} R_{P_4, \bar{k}} R_{P_5, -2\bar{k}} R_{P_6, u, -2^\circ 30'} R_{P_6, \bar{k}} T R_{P_{10}, i, -2^\circ} R_{P_{10}, \bar{a}}$$

où, comme ci-dessus,

$$T = R_{P_7, j, \bar{k}+50^\circ} R_{P_8, w, -2(\bar{k}+50^\circ)} R_{P_9, v, \bar{k}+50^\circ},$$

mais ici $v = \cos(2^\circ)j - \sin(2^\circ)k$ et $w = \cos(1^\circ)j - \sin(1^\circ)k$. Une telle modification rend l'adéquation avec les prédictions ptoléméennes presque parfaite³⁶⁴.

³⁶³ Voir al-Ṭūsī, 1993, II.11 [16]. On remarque qu'en décrivant le modèle mécanique de Ptolémée, al-Ṭūsī est, sur ce point, à peu près aussi vague que Ptolémée : le modèle résulte selon al-Ṭūsī en un « déplacement des extrémités des diamètres de l'épicycle *hors des plans dans lesquels ils n'ont pas d'inclinaison* » (II.11 [14]).

³⁶⁴ Une correction semblable s'appliquerait aussi aisément au dispositif d'Ibn al-Hayṭam de la fig. xxxvi.

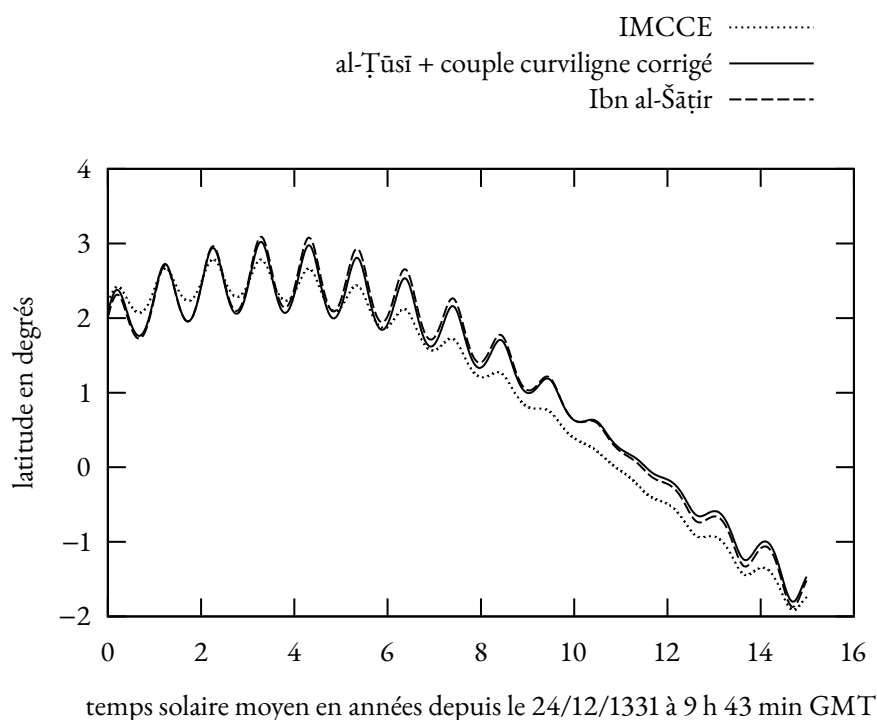


FIG. XL : Comparaison des modèles en latitude pour Saturne

Comme on l'a vu plus haut, Ibn al-Šāṭir propose une autre solution, adaptée à son propre modèle en longitude, et consistant simplement à incliner de manière judicieuse les plans et les axes des orbites déjà utilisés. Il n'est besoin d'ajouter aucun orbite additionnel pour le mouvement en latitude ; cinq orbites suffisent là où al-Ṭūsī en utilise dix. Son modèle n'est pas tout à fait équivalent à celui d'al-Ṭūsī, mais il reste très proche des prédictions ptoléméennes ; il est donc plus intéressant de comparer les deux modèles aux éphémérides modernes comme je l'avais fait à la figure XL.

Qu'en conclure ? Au moins dès le XI^e siècle avec Ibn al-Hayṭam, les astronomes avaient engagé l'étude des composées de rotations spatiales. Ibn al-Šāṭir a assimilé les travaux concernant les composées de rotations homocentriques à axes non parallèles (les sphères homocentriques utilisées pour décrire les latitudes), aussi bien que les travaux de l'école de Marāḡa décrivant les mouvements en longitude par des composées de rotations à axes parallèles. C'est peut-être une meilleure appréhension du concept d'orbite solide, et une compréhension plus fine de l'action des rotations spatiales sur les plans affines, qui lui permettent d'élucider les défauts des solutions d'Ibn al-Hayṭam et d'al-Ṭūsī, et d'y remédier.

Un indice montre que la recherche d'Ibn al-Šāṭir s'appuie bien sur les travaux de

ses prédécesseurs. Après avoir décrit son modèle pour les latitudes des planètes supérieures, Ibn al-Šāṭir discute qualitativement les effets produits par les inclinaisons des axes des orbites dans la figure initiale, sur les inclinaisons aux nœuds et aux limites des latitudes. Pour ce faire, il est conduit à identifier P_3 et P_4 dans ses explications, et sur une de ses figures. On pourra comparer la figure 15 originale (p. 182) à ma figure xxviii p. 249 où je distingue P_3 et P_4 . Quand P_3P_4 est petit devant les rayons de l'épicycle et de l'excentrique, cette approximation peut se justifier (ainsi pour Mars). Mais il s'agit sans doute d'un choix didactique ou d'un résidu d'une réflexion antérieure sur un modèle plus simple. L'usage de l'approximation $P_3 \simeq P_4$ montre que les composées de rotations homocentriques avaient valeur de paradigme dans les théories planétaires. C'est en inclinant les axes de plusieurs orbites non homocentriques qu'Ibn al-Šāṭir semble accomplir un geste nouveau.

8. VÉNUS

8.1. Figure initiale

La figure initiale pour Vénus est analogue à celle de Saturne (fig. xxvii p. 247), sauf quant aux rayons des orbites et à la position de la ligne des nœuds. La ligne des nœuds, à l'intersection des plans de l'orbite inclinée et du parécliptique, est ici orientée dans la direction du vecteur \mathbf{i} , le nœud ascendant étant du même côté que \mathbf{i} . Posons $\overrightarrow{OP_3} = 60\mathbf{j}$, alors

$$\overrightarrow{P_3P_4} = 1;41\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_4P_5} = -0;26\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_5P} = 43;33\mathbf{j}.$$

8.2. Transformations géométriques

Les rotations utilisées pour modéliser le mouvement de Vénus en longitude sont analogues à celles des planètes supérieures. En revanche la théorie des latitudes exposée dans le chapitre I.25 de la *Nihāya* est assez différente. Voici la liste complète des rotations utilisées dans les chapitres I.19 (pour les longitudes) et I.25 (pour les latitudes) :

$$\begin{aligned} &R_{P_5, \bar{\alpha}-\bar{\kappa}}, \quad R_{P_5, \mathbf{j}, 0^\circ 30'}, \quad R_{P_5, \mathbf{i}, 0^\circ 5'}, \\ &R_{P_4, 2\bar{\kappa}}, \quad R_{P_4, \mathbf{j}, 3^\circ}, \quad R_{P_4, \mathbf{i}, -0^\circ 5'}, \\ &R_{P_3, -\bar{\kappa}}, \quad R_{P_2, \bar{\kappa}}, \quad R_{P_2, \mathbf{i}, 0^\circ 10'}, \quad R_{P_1, \lambda_a}. \end{aligned}$$

L'image du point P_3 entraîné par les mouvements de l'orbite parécliptique et de l'orbite inclinée est :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \mathbf{i}, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{\kappa}}(P_3).$$

Quant au point P_4 , il est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe déférent et devient :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, i, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{k}} R_{P_3, -\bar{k}}(P_4).$$

Le point P_5 est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe rotateur et devient :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, i, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{k}} R_{P_3, -\bar{k}} R_{P_4, i, -0^\circ 5'} R_{P_4, j, 3^\circ} R_{P_4, 2\bar{k}}(P_5).$$

Enfin le point P , aussi entraîné par l'orbe de l'épicycle, devient :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, i, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{k}} R_{P_3, -\bar{k}} R_{P_4, i, -0^\circ 5'} R_{P_4, j, 3^\circ} R_{P_4, 2\bar{k}} R_{P_5, i, 0^\circ 5'} R_{P_5, j, 0^\circ 30'} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{k}}(P).$$

La figure XLI montre l'effet des rotations inclinant les plans des orbes, pour trois positions. On a projeté orthogonalement sur le plan du parécliptique (figure du bas), sur un plan orthogonal à la ligne des nœuds (figure du haut), et sur un plan orthogonal au plan du parécliptique mais parallèle à la ligne des nœuds (figure de droite). Sur la figure du bas, on a seulement représenté la ceinture de l'épicycle ; dans les deux autres figures, le petit segment en trait plein de centre P_4 est la ceinture du rotateur. Sur la figure de droite, on a confondu P_4 et P_5 , par approximation. La ceinture du déférent reste toujours dans le plan de l'orbe incliné.

8.3. Trajectoire paramétrée

Le modèle de Vénus est couplé au modèle du Soleil en vertu de la relation suivante :

$$\bar{k} = \bar{\lambda}_\odot - \lambda_a.$$

La trajectoire dans l'ensemble des valeurs des paramètres est :

$$\begin{aligned} \lambda_a &= \dot{\lambda}_a t + \lambda_a(0), \\ \bar{\lambda}_\odot &= \dot{\bar{\lambda}}_\odot t + \bar{\lambda}_\odot(0), \\ \bar{\alpha} &= \dot{\bar{\alpha}} t + \bar{\alpha}(0). \end{aligned}$$

On a, d'après Ibn al-Šāṭir :

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_\odot(0) &= 280;9,0, & \dot{\bar{\lambda}}_\odot &= 359;45,40 \text{ par année persane,} \\ \lambda_a(0) &= 77;52, & \dot{\lambda}_a &= 0;1 \text{ par année persane,} \\ \bar{\alpha}(0) &= 320;50,19, & \dot{\bar{\alpha}} &= 225;1,48,41 \text{ par année persane.} \end{aligned}$$

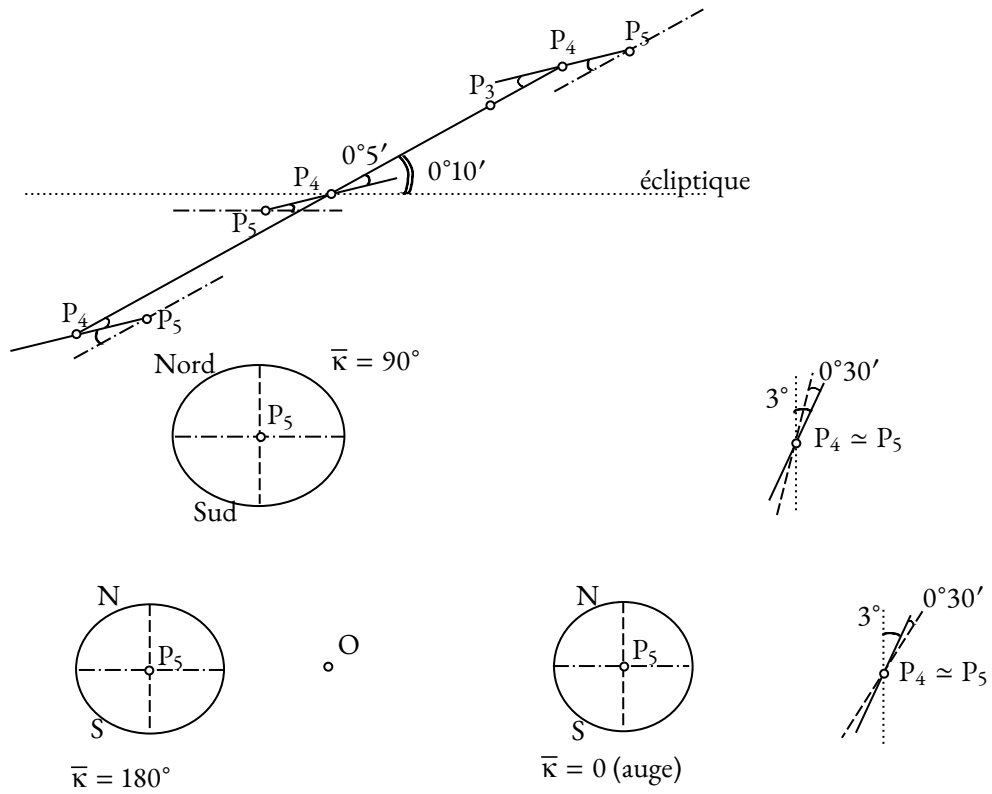


FIG. XLI : Vénus, trois positions, projections orthogonales

8.4. Transformations planes et équations de Vénus

Comme je l'ai expliqué pour Saturne, on peut réécrire à droite toutes les rotations dont l'axe est dans la direction du vecteur \mathbf{k} , en appliquant des relations de commutation. Il existe donc une composée de rotations M telle que l'image du point P soit :

$$MR_{P_2, a, 0^\circ 10'}(P')$$

où \mathbf{a} est l'image de \mathbf{i} par la rotation R_{P_1, λ_a} , et où

$$P' = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}(P).$$

On introduit de même les points P'_3 , P'_4 , P'_5 suivants exactement comme pour Saturne :

$$P'_3 = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}}(P_3),$$

$$P'_4 = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}}(P_4),$$

$$P'_5 = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}}(P_5).$$

Les équations pour le mouvement en longitude de Vénus sont donc identiques à celles des planètes supérieures (voir p. 250 ci-dessus).

8.5. Trigonométrie sphérique

On va à présent calculer les coordonnées du point $R_{P_2, a, 0^\circ 10'}(P')$ par rapport à l'écliptique. L'angle formé entre le vecteur \mathbf{a} et la direction du point P' vaut (modulo 360°) :

$$(\mathbf{a}, \overrightarrow{OP'}) = \bar{\kappa} + c_1 + c_2 + 90^\circ = \bar{\lambda} - \lambda_\Omega + c_1 + c_2 = \lambda - \lambda_\Omega$$

où $\lambda = \bar{\lambda} + c_1 + c_2$ et $\bar{\lambda} = \bar{\kappa} + \lambda_a$, et où $\lambda_\Omega = \lambda_a - 90^\circ$ est la longitude du nœud ascendant sur l'écliptique, toujours situé 90° avant l'auge. Comme on l'a montré pour Saturne, on trouve que la longitude du point $R_{P_2, a, 0^\circ 10'}(P')$ par rapport à l'écliptique, en prenant la direction du point vernal, c'est-à-dire \mathbf{j} , comme origine, vaut :

$$\lambda + e_n(\lambda - \lambda_\Omega)$$

où l'équation du déplacement $e_n(x)$ est définie comme suit sur l'intervalle $[-90^\circ, 270^\circ[$, et ailleurs par périodicité :

$$e_n(x) = \begin{cases} \arctan(\cos(0^\circ 10') \tan x) - x, & \text{si } x \in]-90^\circ, 90^\circ[\\ 180^\circ + \arctan(\cos(0^\circ 10') \tan x) - x, & \text{si } x \in]90^\circ, 270^\circ[\\ 0^\circ, & \text{si } x = \pm 90^\circ. \end{cases}$$

Sa latitude est :

$$\arcsin(\sin(0^\circ 10') \sin(\lambda - \lambda_\Omega)).$$

8.6. Les inclinaisons des petits orbes

Les rotations qui composent M ont leurs axes contenus dans le plan de l'orbe incliné et sont d'angles petits (3° au plus). Elles auront peu d'effet en longitude ³⁶⁵. Dans le chapitre 25, Ibn al-Šāṭir se contente d'une description qualitative de l'effet en latitude de M .

8.7. Second modèle

Le modèle que j'ai restitué ci-dessus est le premier modèle décrit par Ibn al-Šāṭir dans le chapitre 25. On voit que les inclinaisons des plans des orbes sont conçues dans l'idée de reproduire les effets décrits dans l'*Almageste*. L'inclinaison de l'« orbe incliné », variable dans l'*Almageste* mais constante chez Ibn al-Šāṭir, minime, n'a que peu d'influence sur le résultat final. Ibn al-Šāṭir envisage ensuite un second modèle plus proche de la théorie exposée par Ptolémée dans ses « Hypothèses planétaires ». La composée de rotations utilisée est alors la suivante :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, i, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{k}} R_{P_3, -\bar{k}} R_{P_4, i, -0^\circ 5'} R_{P_4, j, 3^\circ 30'} R_{P_4, 2\bar{k}} R_{P_5, i, 0^\circ 5'} R_{P_5, \bar{a}-\bar{k}}.$$

8.8. Comparaison

À la figure XLII, je donne les latitudes de Vénus pendant deux ans, à partir de l'Époque choisie par Ibn al-Šāṭir, calculées de quatre manières différentes : (1) par les éphémérides de l'IMCCE, (2) en suivant la méthode strictement ptoléméenne de l'*Almageste* mais avec les paramètres d'Ibn al-Šāṭir à l'Époque et ses mouvements moyens, (3) au moyen du premier modèle d'Ibn al-Šāṭir censé reproduire les valeurs de l'*Almageste*, et (4) au moyen du second modèle d'Ibn al-Šāṭir imitant les « Hypothèses planétaires ».

³⁶⁵ Voir Penchèvre, 2016, où je montre que l'erreur commise en les négligeant est inférieure à $0^\circ 5'$.

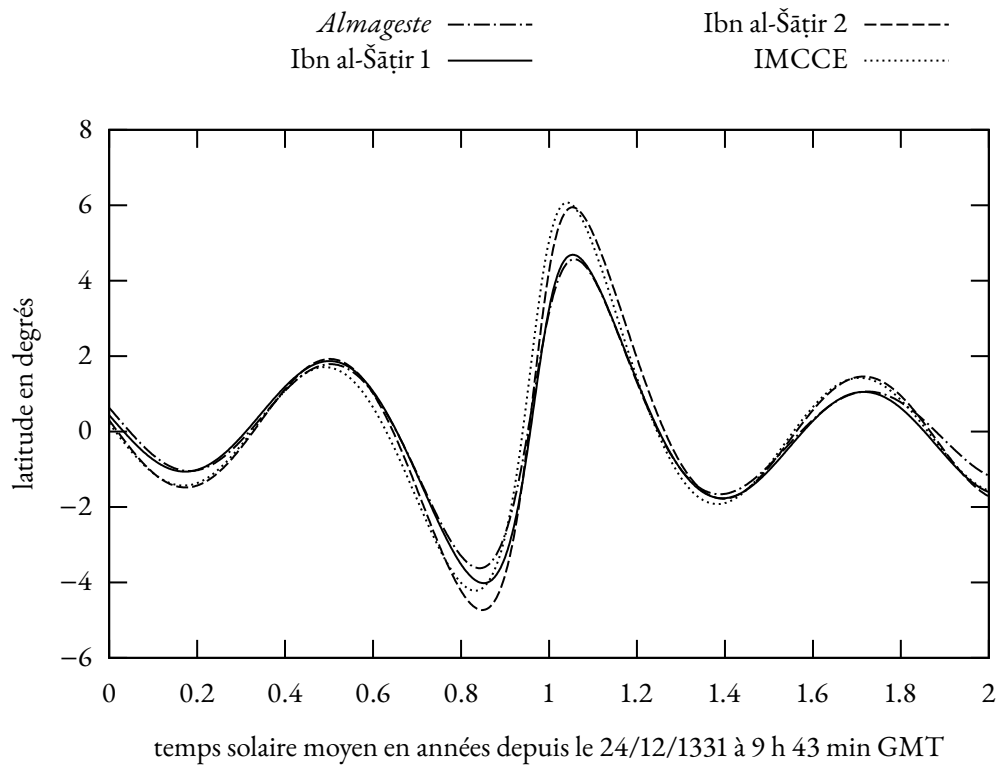


FIG. XLII : Vénus, comparaison des modèles pour les latitudes

8.9. *Les orbites solides de Vénus*

La figure est la même que pour les planètes supérieures (figure xxxv), avec les dimensions suivantes :

$$\begin{aligned} \text{rayon du globe planétaire} &= r \\ \text{rayon de l'orbite de l'épicycle} &= 43;33 + r \\ \text{rayon du rotateur} &= 0;26 + 43;33 + r = 43;59 + r \\ \text{rayon du déférent} &= 1;41 + 0;26 + 43;33 + r = 45;40 + r \\ \text{rayon extérieur de l'orbite incliné} &= 60 + 1;41 + 0;26 + 43;33 + r = 105;40 + r \\ \text{rayon intérieur de l'orbite incliné} &= 60 - (1;41 + 0;26 + 43;33 + r) = 14;20 - r \\ \text{épaisseur du parécliptique} &= 0;20 \end{aligned}$$

8.10. *Le mouvement en longitude de Vénus selon al-Ṭūsī*

Le modèle de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī pour les longitudes de Vénus est aussi analogue à son modèle pour les planètes supérieures³⁶⁶ : sept orbites, dont les centres sont déterminés par les relations suivantes³⁶⁷,

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_7P} &= 43;10 \mathbf{j}, & \overrightarrow{P_5P_6} &= \overrightarrow{P_4P_5} = -0;37,30 \mathbf{j}, & \text{d'où } \overrightarrow{P_4P_6} &= -1;15 \mathbf{j}, \\ \overrightarrow{P_3P_4} &= 60 \mathbf{j}, & \overrightarrow{P_2P_3} &= 2;30 \mathbf{j}. \end{aligned}$$

Al-Ṭūsī choisit ces paramètres de façon à reproduire la trajectoire prédite par le modèle de l'*Almageste*. Ainsi $|P_2P_3| = 2e$ et $|P_4P_6| = e$ où $e = 1;15$ est l'excentricité chez Ptolémée, et al-Ṭūsī garde le rayon de l'épicycle 43;10 utilisé par Ptolémée.

Au contraire, le modèle d'al-Ṭūsī serait équivalent au modèle d'Ibn al-Šāṭir si l'on avait :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_7P} &= 43;33 \mathbf{j}, & \overrightarrow{P_5P_6} &= \overrightarrow{P_4P_5} = -0;26 \mathbf{j}, & \text{d'où } \overrightarrow{P_4P_6} &= -0;52 \mathbf{j}, \\ \overrightarrow{P_3P_4} &= 60 \mathbf{j}, & \overrightarrow{P_2P_3} &= 2;7 \mathbf{j}. \end{aligned}$$

Sous cette hypothèse, $|P_2P_3| - |P_4P_6| = 1;15$ serait bien égal à l'excentricité de Vénus selon Ptolémée, mais $\frac{|P_2P_3|}{2} = 1;3,30$ serait égal à la demi-excentricité du Soleil

³⁶⁶ Cf. ci-dessus fig. xxxi. Quitte à bien choisir les paramètres, l'équivalence cinématique entre les modèles d'al-Ṭūsī, al-'Urḏī, al-Šīrāzī et Ibn al-Šāṭir, démontrée p. 263 *supra*, vaut donc aussi pour Vénus.

³⁶⁷ Voir al-Ṭūsī, 1993, p. 457.

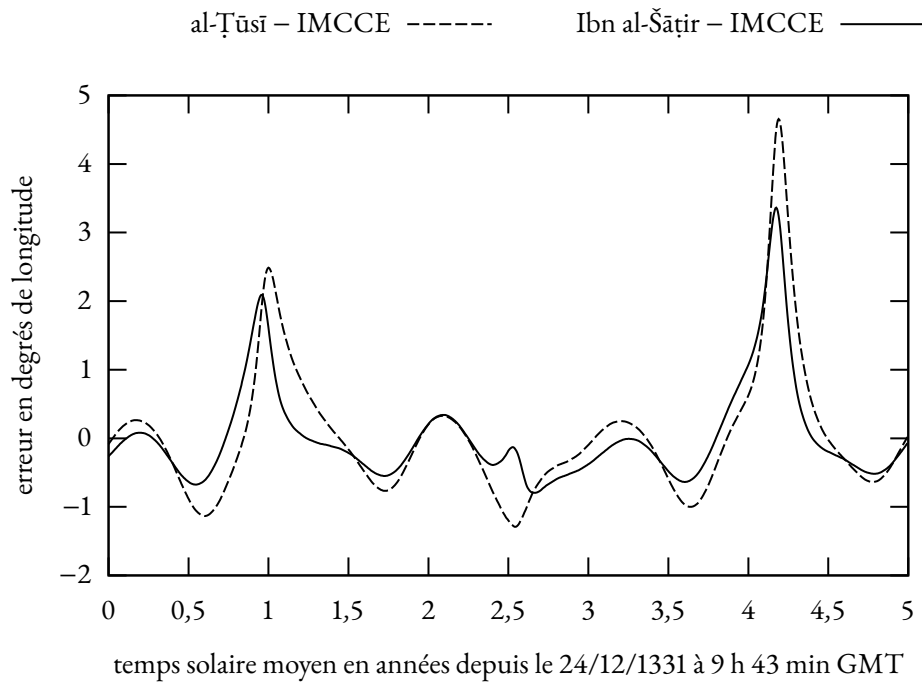


FIG. XLIII : Erreur en longitude des modèles d'Ibn al-Šāṭir et d'al-Ṭūsī pour Vénus

selon Ibn al-Šāṭir³⁶⁸. Al-Ṭūsī lui-même indiquait que l'excentricité de Vénus est la moitié de celle du Soleil, et que l'excentricité du Soleil valait 2;30 pour Ptolémée mais environ 2;5 pour des observateurs plus récents³⁶⁹.

8.11. Comparaison

Pour mieux juger des paramètres adoptés par Ibn al-Šāṭir et al-Ṭūsī, je donne fig. XLIII les longitudes de Vénus pendant cinq ans, à partir de l'Époque choisie par Ibn al-Šāṭir ; comme l'équation de Vénus a une amplitude de l'ordre de 50° en coordonnées géocentriques, j'ai préféré tracer l'erreur en degrés de longitude par rapport à la longitude prédite par le serveur d'éphémérides de l'IMCCE : (1) en adoptant le modèle d'al-Ṭūsī avec $|P_2P_3| = 2;30$ et $|P_7P| = 43;10$ et les mouvements moyens d'Ibn al-Šāṭir ; (2) en adoptant le modèle d'Ibn al-Šāṭir. Dans l'absolu, le choix d'Ibn al-Šāṭir est un peu meilleur. Celui d'al-Ṭūsī reproduit de très près les prédictions

³⁶⁸ Rappelons en effet que dans le modèle du Soleil d'Ibn al-Šāṭir, si l'on suit les notations de la fig. v p. 209 *supra*, le rayon de l'épicycle apparent minimal est $|P_3P_4| - |P_4P| = 2;7$.

³⁶⁹ Voir al-Ṭūsī, 1993, p. 146 et 182. Dans Kennedy, Ghanem, 1976, p. 64, Kennedy donne les valeurs adoptées par trois autres savants pour l'excentricité de Vénus : al-Bīrūnī 1;2,30, al-Zarqālluh 1;3,22, al-Kāshī 1;3. Elles sont toutes proches des 1;3,30 d'Ibn al-Šāṭir.

ptoléméennes de l'*Almageste*³⁷⁰.

9. MERCURE

9.1. Mercure selon Ibn al-Šāṭir

La théorie d'Ibn al-Šāṭir pour Mercure ressemble à celle de Vénus, à trois différences près :

– dans la figure initiale, la position relative de l'épicycle au sein du rotateur n'est pas la même : pour Mercure, $\overrightarrow{P_4P_5}$ est orienté dans le même sens que \mathbf{j} . Cette particularité n'est d'ailleurs pas indiquée explicitement dans le texte du chapitre I.21 ; il faut regarder les figures pour le voir, et bien des lecteurs ont dû s'y méprendre ;

– il y a deux orbes additionnels, l'*orbe englobant* et l'*orbe protecteur*, portés par l'orbe de l'épicycle, agissant comme un couple d'al-Ṭūsī, et dont le rôle est de faire varier la distance entre l'astre et le centre de l'épicycle (on notera P_6 et P_7 les centres de ces deux orbes additionnels) ;

– dans le chapitre I.25 sur les latitudes, les inclinaisons des plans des orbes sont de signes contraires à ceux de Vénus.

Sur la figure initiale (fig. XLIV), les centres des orbes sont définis par :

$$O = P_1 = P_2, \quad \overrightarrow{P_2P_3} = 60 \mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_3P_4} = 4;5 \mathbf{j},$$

$$\overrightarrow{P_4P_5} = 0;55 \mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_5P_6} = 22;46 \mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_6P_7} = \overrightarrow{P_7P} = -0;33 \mathbf{j}.$$

Comme pour Vénus, Ibn al-Šāṭir présente deux modèles différents pour Mercure dans le chapitre I.25. Le premier, censé reproduire les mouvements en latitude décrits dans l'*Almageste*, consiste en la composée de rotations suivante :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, i, -0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{k}} R_{P_3, -\bar{k}} R_{P_4, i, 0^\circ 5'} R_{P_4, j, -6^\circ 37' 30''} R_{P_4, 2\bar{k}} \\ R_{P_5, i, -0^\circ 5'} R_{P_5, j, -0^\circ 22' 30''} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{k}} R_{P_6, 2\bar{k}} R_{P_7, -4\bar{k}}.$$

Ibn al-Šāṭir envisage ensuite un second modèle plus proche de la théorie exposée par Ptolémée dans ses « Hypothèses planétaires ». La composée de rotations utilisée est alors la suivante :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, i, -0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{k}} R_{P_3, -\bar{k}} R_{P_4, i, 0^\circ 5'} R_{P_4, j, -6^\circ 30'} R_{P_4, 2\bar{k}} \\ R_{P_5, i, -0^\circ 5'} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{k}} R_{P_6, 2\bar{k}} R_{P_7, -4\bar{k}}.$$

³⁷⁰ J'ai omis la courbe représentant la théorie de l'*Almageste*, car à cette échelle elle est indiscernable de la courbe représentant le modèle d'al-Ṭūsī.

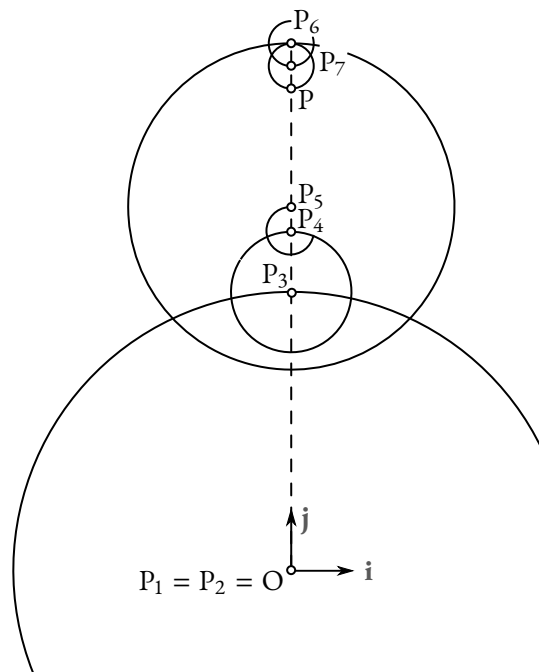


FIG. XLIV : Mercure, figure initiale

On a, d'après Ibn al-Šāṭir :

$$\bar{\lambda}_{\odot}(0) = 280;9,0, \quad \dot{\lambda}_{\odot} = 359;45,40 \text{ par année persane,}$$

$$\lambda_a(0) = 212;52, \quad \dot{\lambda}_a = 0;1 \text{ par année persane,}$$

$$\bar{\alpha}(0) = 154;2, \quad \dot{\alpha} = 1133;57,1 \text{ par année persane.}$$

Kennedy³⁷¹ a indiqué deux incohérences, concernant les rayons et les distances, que je crois pouvoir résoudre au vu de l'ensemble :

– le « rayon de l'épicycle apparent » minimal est $23;52 - 4 \times 0;33 = 21;40$, alors que les manuscrits indiquent $21;20$ dans le chapitre I.21. La ressemblance entre *tult* (0;20) et *tultay* (0;40) a probablement induit un copiste en erreur. De plus, au chapitre I.23, Ibn al-Šāṭir écrit bien $21;40$. J'ai donc opté pour $21;40$, et j'ai laissé $21;20$ dans l'apparat critique ;

– le texte donne $|P_4P_5| = 0;50$ et non $0;55$. Les valeurs annoncées par Ibn al-Šāṭir pour les distances minimale et maximale de Mercure au centre du monde quand $\bar{\kappa} = 0^\circ$ ou 180° présentent une erreur de $0;5$. Kennedy indique que cette

³⁷¹ Kennedy, Ghanem, 1976, p. 65.

erreur disparaît si l'on suppose $|P_4P_5| = 0;55$ ou bien $|P_3P_4| = 4;10$. En fait, les calculs faits par Ibn al-Šāṭir concernant les rayons des orbés solides révèlent qu'il avait lui-même adopté $|P_4P_5| = 0;55$.

9.2. Équations de Mercure et formule d'interpolation

On déduit les équations de Mercure comme on l'a fait pour les planètes supérieures et pour Vénus ; il faut seulement penser au sens de $\overrightarrow{P_4P_5}$, et surtout remplacer P_5P par le « rayon de l'épicycle apparent » P'_5P' que je calculerai ensuite :

$$c_1 = -\arcsin\left(\frac{P_3P_4 \sin \bar{\kappa} - P_4P_5 \sin \bar{\kappa}}{OP'_5}\right)$$

où $OP'_5 = \sqrt{(P_3P_4 \sin \bar{\kappa} - P_4P_5 \sin \bar{\kappa})^2 + (OP_3 + P_3P_4 \cos \bar{\kappa} + P_4P_5 \cos \bar{\kappa})^2}$.

$$c_2 = \arcsin\left(\frac{P'_5P' \sin \alpha}{OP'}\right)$$

où $OP' = \sqrt{(P'_5P' \sin \alpha)^2 + (OP'_5 + P'_5P' \cos \alpha)^2}$. La formule d'interpolation est :

$$c_2(\bar{\kappa}, \alpha) \simeq c_2(0, \alpha) + \chi(\bar{\kappa})(c_2(180^\circ, \alpha) - c_2(0, \alpha)),$$

$$\chi(\bar{\kappa}) = \frac{\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)| - \max |c_2(0, \cdot)|}{\max |c_2(180^\circ, \cdot)| - \max |c_2(0, \cdot)|},$$

$$\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)| = \arcsin \frac{P'_5P'}{OP'_5}.$$

Pour calculer P'_5P' , on rappelle que les points P'_5 et P' sont définis par les transformations planes à appliquer aux points P_5 et P :

$$P'_5 = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}}(P_5),$$

$$P' = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\alpha}-\bar{\kappa}} R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P).$$

On a donc

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P'_5P'} &= \overrightarrow{P_5R_{P_5, \bar{\alpha}-\bar{\kappa}}R_{P_6, 2\bar{\kappa}}R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P)} \\ &= R_{\bar{\alpha}-\bar{\kappa}}(\overrightarrow{P_5R_{P_6, 2\bar{\kappa}}R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P)}). \end{aligned}$$

La remarque p. 201 montre que le vecteur $\overrightarrow{P_5 R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P)}$ est colinéaire au vecteur \mathbf{j} et que

$$R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P) = \overrightarrow{P_7 R_{P_6, 2\bar{\kappa}}(P_7)} \overrightarrow{P R_{P_7, -2\bar{\kappa}}(P)}(P).$$

On a donc :

$$\begin{aligned} P'_5 P' &= \left\langle \overrightarrow{P_5 R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P)}, \mathbf{j} \right\rangle \\ &= \left\langle \overrightarrow{P_5 P} + \overrightarrow{P R_{P_7, -2\bar{\kappa}}(P)} + \overrightarrow{P_7 R_{P_6, 2\bar{\kappa}}(P_7)}, \mathbf{j} \right\rangle \\ &= \left\langle \overrightarrow{P_5 P_6} + R_{-2\bar{\kappa}}(\overrightarrow{P_7 P}) + R_{2\bar{\kappa}}(\overrightarrow{P_6 P_7}), \mathbf{j} \right\rangle \\ &= P_5 P_6 - (P P_7 + P_7 P_6) \cos 2\bar{\kappa}. \end{aligned}$$

Finalement :

$$P'_5 P' = P_5 P_6 - P P_6 \cos 2\bar{\kappa}.$$

9.3. Les orbites solides de Mercure

Voir figure XLV.

$$\begin{aligned} \text{rayon du globe planétaire} &= r \\ \text{rayon du protecteur} &= 0;33 + r \\ \text{rayon de l'orbite englobant} &= 0;33 + 0;33 + r = 1;6 + r \\ \text{rayon de l'orbite de l'épicycle} &= 22;46 + 1;6 + r = 23;52 + r \\ \text{rayon du rotateur} &= 0;55 + 23;52 + r = 24;47 + r \\ \text{rayon du déferent} &= 4;5 + 24;47 + r = 28;52 + r \\ \text{rayon extérieur de l'orbite incliné} &= 60 + 28;52 + r = 88;52 + r \\ \text{rayon intérieur de l'orbite incliné} &= 60 - (28;52 + r) = 31;8 - r \\ \text{épaisseur du parécliptique} &= 0;38 \end{aligned}$$

9.4. Comparaisons

À la figure XLVI j'ai tracé l'équation de Mercure sur un an à partir de l'Époque de référence choisie par Ibn al-Šāṭir, (1) calculée au moyen des formules ci-dessus, et (2) calculée au moyen des éphémérides de l'IMCCE. Je n'ai pas tracé la courbe représentant le modèle de l'*Almageste*, car à cette échelle cette courbe est presque confondue avec celle d'Ibn al-Šāṭir. J'ai repéré sur l'axe supérieur les syzygies³⁷² et les

³⁷² Dans tout ce qui suit, on utilisera le mot « périgée » pour désigner le point opposé ($\bar{\kappa} = 180^\circ$) à l'apogée de Mercure ($\bar{\kappa} = 0^\circ$), et ce sont ces deux points qu'on appellera « syzygies », par rapport auxquelles on parlera aussi de « quadratures » et « octants ».

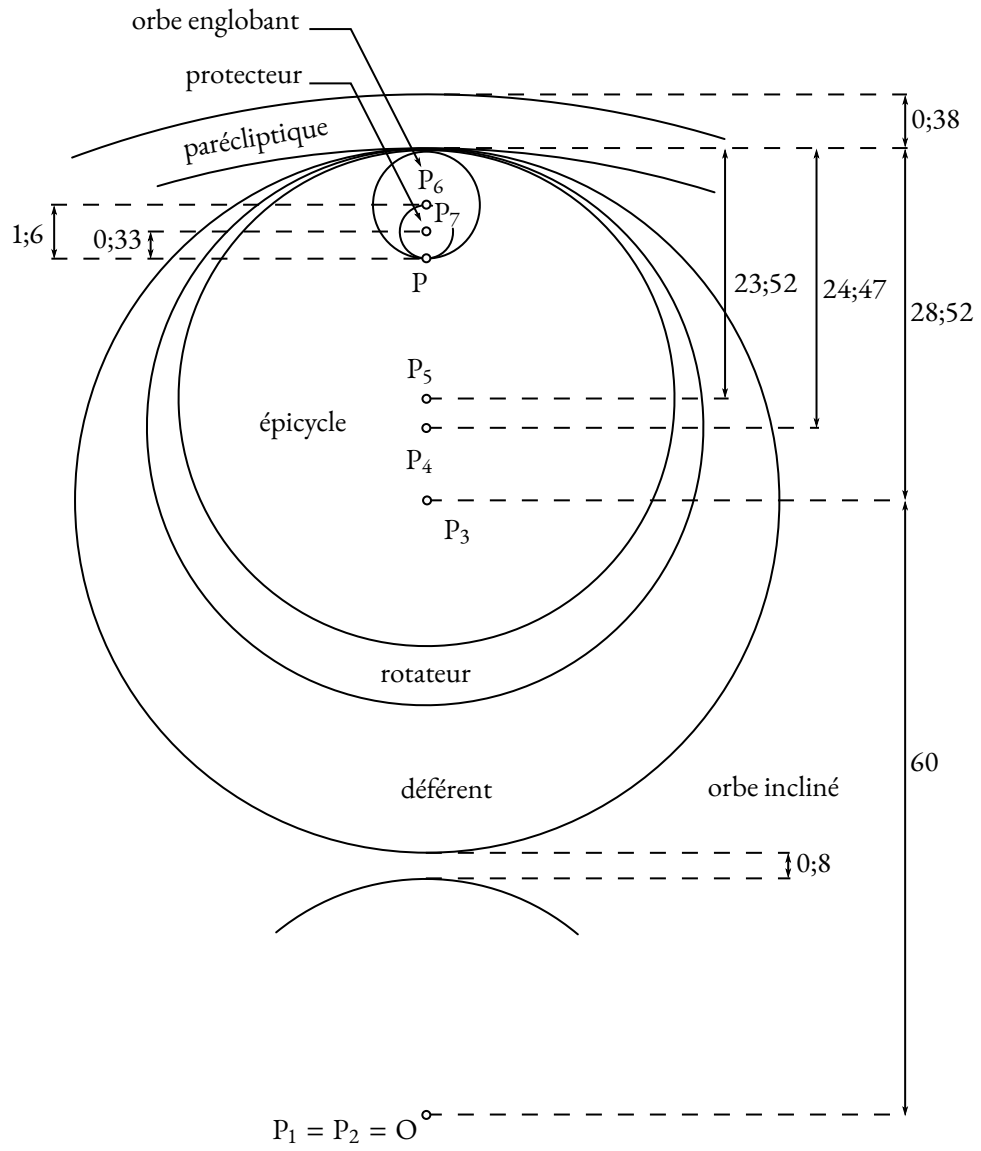


FIG. XLV : Mercure, orbes solides

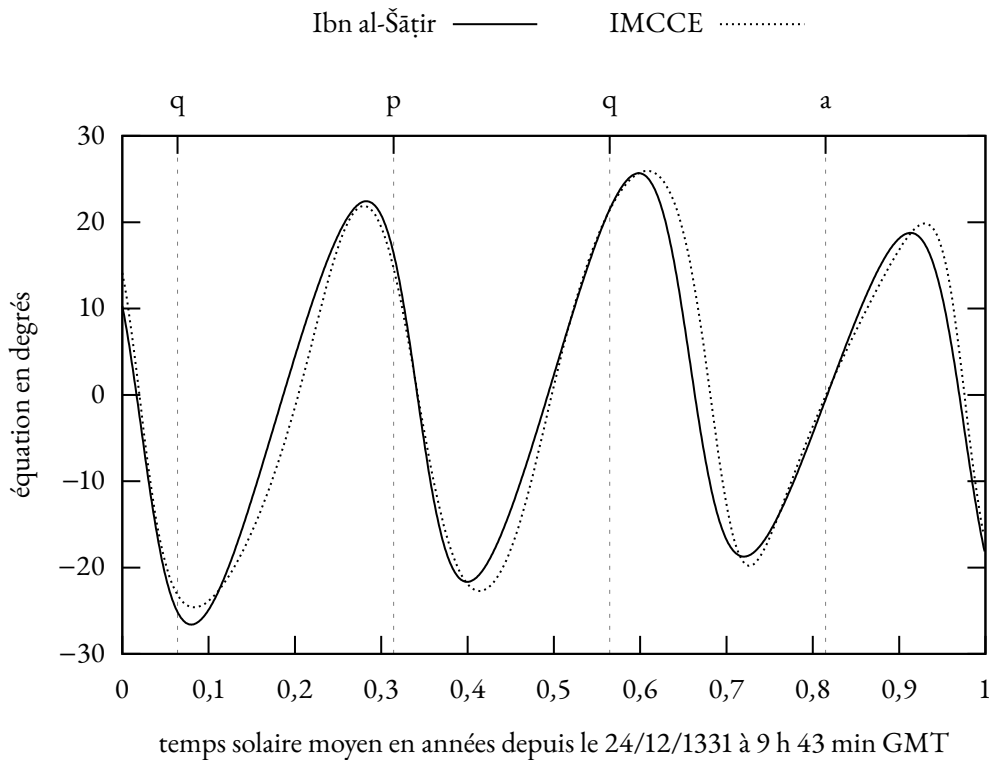


FIG. XLVI : Les longitudes de Mercure

quadratures au moyen des lettres « a », « p », « q », resp. auge, périgée, quadrature. Bien que le résultat soit assez bon aux syzygies et aux quadratures, on observe une erreur considérable près des octants ; la figure XLVII le montre plus clairement, et elle permet de vérifier que le modèle d'Ibn al-Šāṭir n'est pas l'équivalent exact du modèle de l'*Almageste*. Enfin, les latitudes de Mercure, d'après le premier modèle décrit par Ibn al-Šāṭir, sont étudiées sur la figure XLVIII.

9.5. Les modèles d'al-'Urdī et de Qutb al-Dīn al-Širāzī pour Mercure

Dans la *Tadkira*, al-Ṭūsī avoue ne pas encore être parvenu à concevoir un modèle différent de celui de Ptolémée pour Mercure³⁷³. Quant à al-'Urdī, son modèle pour Mercure dans le *Kitab al-bay'a* utilise le même dispositif que son modèle lunaire ; il s'écarte aussi beaucoup des prédictions ptoléméennes, comme en témoigne

³⁷³ Voir al-Ṭūsī, 1993, II.11 [11] p. 208-9, et surtout le commentaire de Ragep p. 448. Ragep corrige une erreur de Hartner, relayée par Kennedy et Roberts, selon laquelle la *Tadkira* devait contenir un appendice sur Mercure (Kennedy, Roberts, 1959, p. 234-235, réimpr. Kennedy, Ghanem, 1976, p. 67-68).

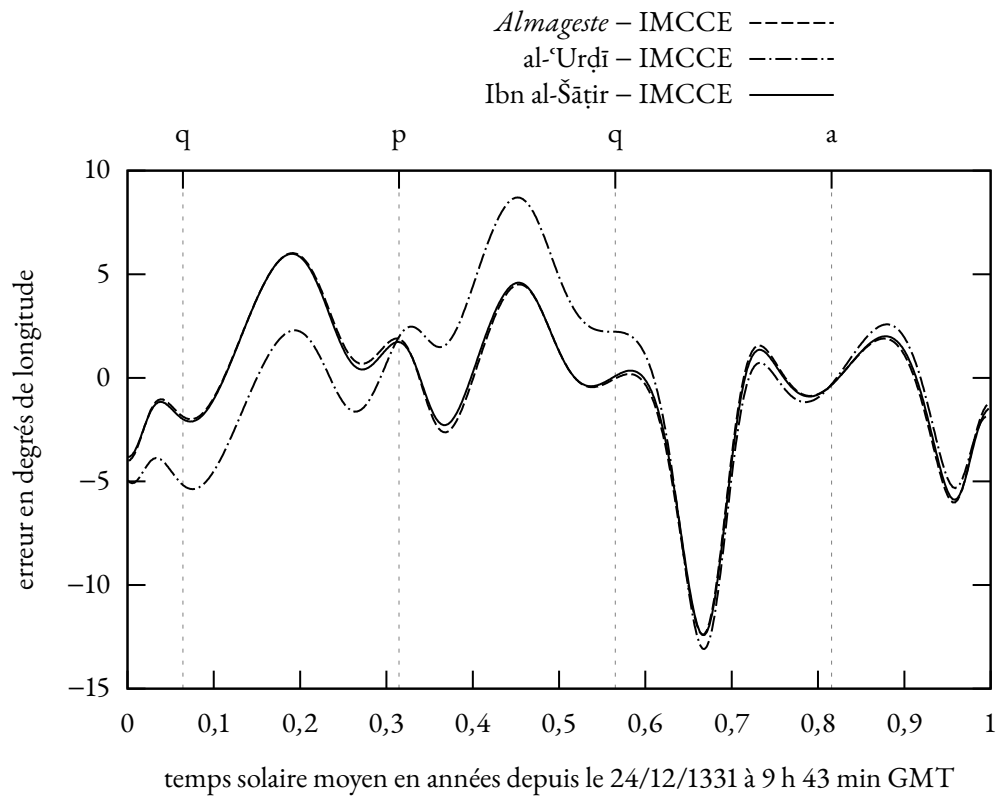


FIG. XLVII : Erreur en longitude des modèles de Ptolémée, d'al-‘Urđī et d'Ibn al-Šāṭir pour Mercure

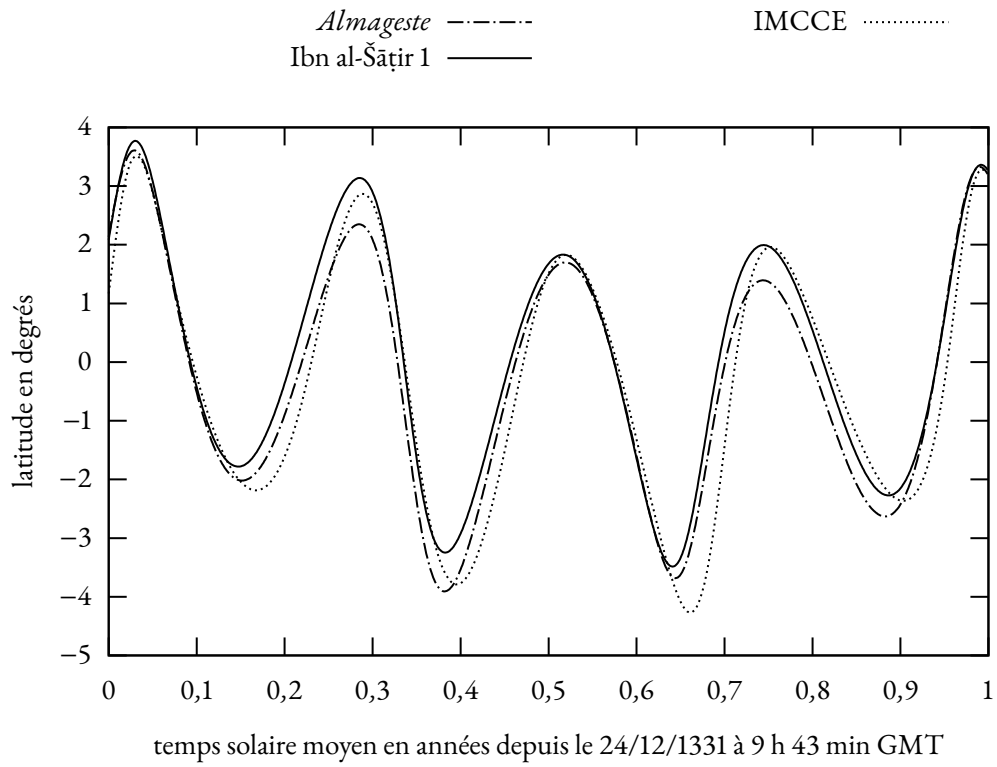


FIG. XLVIII : Les latitudes de Mercure

le graphe, fig. XLVII. Il a cependant pour lui l'avantage de la simplicité : un orbe paré-clipptique centré en P_1 , un orbe rotateur centré en P_2 , un orbe déférent centré en P_3 , et un épicycle centré en P_4 portant Mercure au point P . Posons $c = 3$. Les paramètres dans la figure initiale (voir fig. XLIX) sont les suivants :

$$\overrightarrow{P_1P_2} = 2c\mathbf{j} = 6\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_2P_3} = c\mathbf{j} = 3\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_3P_4} = 60\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_4P} = 22;30\mathbf{j},$$

et les rotations produisant les mouvements en longitude sont :

$$R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, 3\bar{\kappa}} R_{P_3, -2\bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\alpha}}.$$

Quant au modèle de Quṭb al-Dīn, il reproduit de manière assez précise les prédictions de l'*Almageste*, mieux encore qu'Ibn al-Šāṭir (au point que je n'en ai pas tracé la courbe à la fig. XLVII, car elle est indiscernable de la courbe de l'*Almageste*). Les centres des orbes dans la figure initiale (fig. XLIX, en bas à droite) sont définis par³⁷⁴ :

$$\overrightarrow{P_1P_2} = 6\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_2P_3} = 60\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_3P_4} = \overrightarrow{P_4P_5} = -\frac{c}{2}\mathbf{j} = -1;30\mathbf{j},$$

$$\overrightarrow{P_5P_6} = \overrightarrow{P_6P_7} = \frac{c}{2}\mathbf{j} = 1;30\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_7P_8} = c\mathbf{j} = 3\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_8P} = 22;30\mathbf{j}.$$

On a un déférent excentrique de centre P_2 , un épicycle de centre P_8 , et les deux triplets d'orbes centrés en (P_3, P_4, P_5) et (P_5, P_6, P_7) constituent deux couples d'al-Ṭūsī. Les rotations engendrant les mouvements en longitude sont :

$$\begin{aligned} & R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} \overbrace{R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, -\bar{\kappa}}}^{\text{premier couple}} \overbrace{R_{P_5, 2\bar{\kappa}} R_{P_6, -4\bar{\kappa}} R_{P_7, 2\bar{\kappa}}}^{\text{deuxième couple}} R_{P_7, \bar{\kappa}} R_{P_8, \bar{\alpha}-\bar{\kappa}} \\ & = R_{P_1, \lambda_a} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\kappa}} R_{P_6, -4\bar{\kappa}} R_{P_7, 3\bar{\kappa}} R_{P_8, \bar{\alpha}-\bar{\kappa}}. \end{aligned}$$

9.6. Calibrage du modèle d'Ibn al-Šāṭir pour Mercure

Willy Hartner (1974) a étudié de près les écarts entre les prédictions ptoléméennes et celles du modèle d'Ibn al-Šāṭir dans les syzygies et les quadratures, et il en a tiré quelques indices concernant la genèse de ce modèle. Je reprends ici ses analyses, en formulant d'abord les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'un modèle de

³⁷⁴ Le modèle est décrit par Kennedy (1966, p. 373-375). Gamini (2017) ne décrit pas moins de six modèles pour Mercure contenus dans les trois ouvrages *Iḥtīyārāt-i muḏaffarī*, *Nihāya al-'idrāk*, *Al-tuḥfa al-šāḥiyya* d'al-Širāzī. Ils sont tous très défectueux sauf le sixième, que je décris ici, modèle définitif proposé par al-Širāzī seulement dans la *Tuḥfa* ; mais les modèles antérieurs ont permis à Gamini de comprendre comment al-Širāzī a progressivement conçu son modèle en combinant les dispositifs hérités d'al-'Urḏī et de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī.

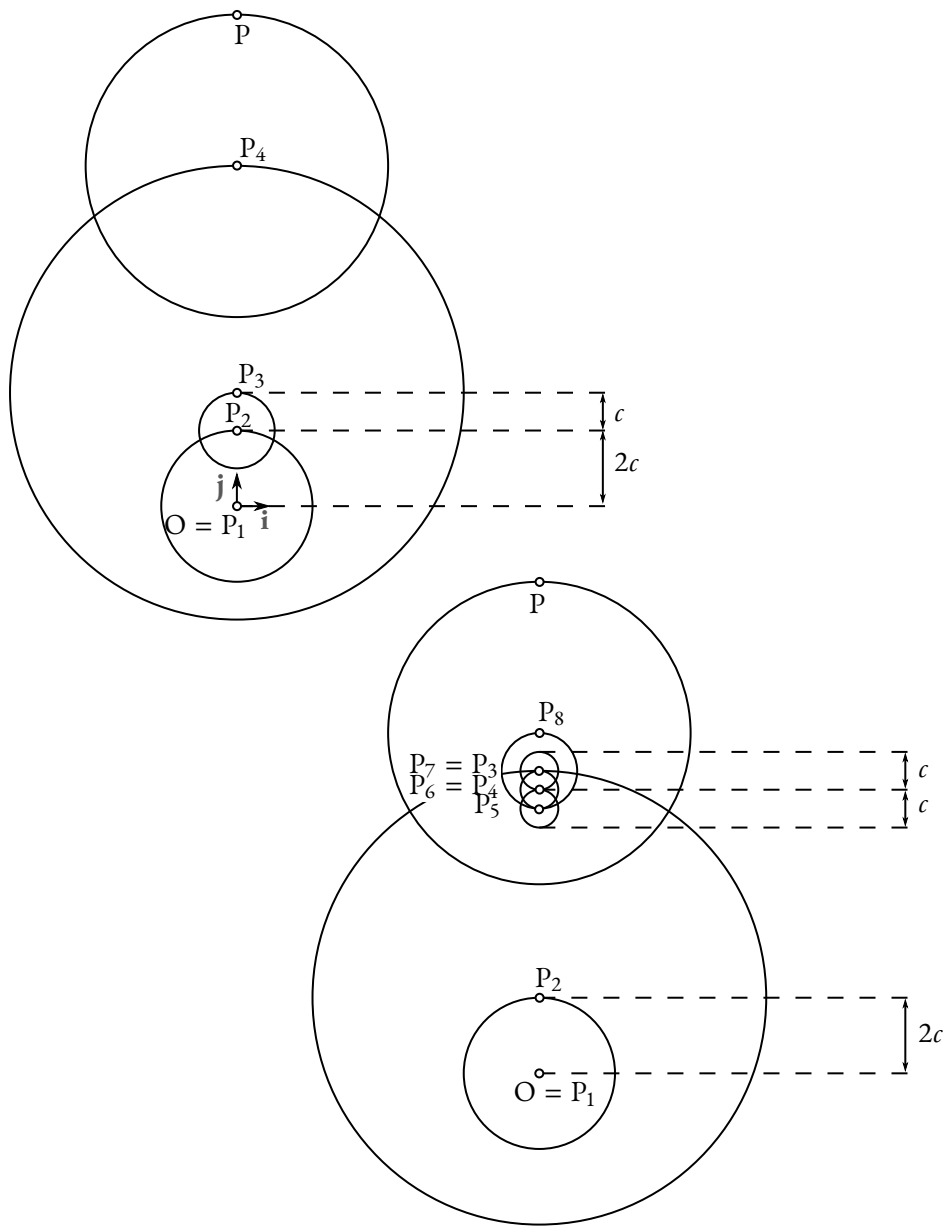


FIG. XLIX : Figure initiale, Mercure, al-‘Urđī (en haut à gauche) et Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī (en bas à droite)

même forme que celui d'Ibn al-Šāṭir reproduise exactement les élongations maximales observées par Ptolémée dans les syzygies et les quadratures.

Dans le modèle de Ptolémée, notons R le rayon du déferent excentrique portant l'épicycle : R est la distance entre le centre de l'épicycle et le centre du déferent. Notons e l'excentricité. Le rapport entre les distances Terre – centre de l'épicycle quand $\bar{\kappa} = 0^\circ$ et $\bar{\kappa} = 180^\circ$ est alors ³⁷⁵

$$\frac{R + 3e}{R - e}.$$

Dans le modèle d'Ibn al-Šāṭir, ce rapport est

$$\frac{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)}{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)}.$$

Le rayon de l'épicycle apparent d'Ibn al-Šāṭir étant le même en $\bar{\kappa} = 0^\circ$ et en $\bar{\kappa} = 180^\circ$, le modèle d'Ibn al-Šāṭir reproduira les élongations maximales ($\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)|$) du modèle de Ptolémée à l'auge et au périégée si et seulement si ces deux rapports sont égaux.

Dans les quadratures, Ptolémée avait observé que l'« équation du centre » est $c_1(90^\circ) = -3^\circ$. Dans le modèle de Ptolémée, l'équation du centre se calcule ainsi :

$$\tan c_1(90^\circ) = \frac{-e}{\sqrt{R^2 - e^2} - e}.$$

Dans le modèle d'Ibn al-Šāṭir, on a :

$$\tan c_1(90^\circ) = \frac{-(P_3P_4 - P_4P_5)}{OP_3}.$$

Ces deux grandeurs seront égales si et seulement si

$$P_3P_4 - P_4P_5 = \frac{e \times OP_3}{\sqrt{R^2 - e^2} - e}.$$

Avec $OP_3 = R = 60$, on obtient, comme Hartner ³⁷⁶, les relations suivantes :

$$P_3P_4 - P_4P_5 = \frac{R(C - 1)}{C + 1} \quad (1)$$

$$e = \frac{R(C - 1)}{C + 3} \quad (2)$$

³⁷⁵ Pour une description de la théorie de Ptolémée, voir Pedersen, 1974.

³⁷⁶ Hartner, 1974, p. 15. Je reprends ci-dessous les calculs menés par Hartner, car il les a menés sous l'hypothèse que $P_4P_5 = 0;50$, au lieu de $0;55$. Ses conclusions restent valables.

où $C = \frac{R + 3e}{R - e} = \frac{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)}{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)}$, et

$$P_3P_4 - P_4P_5 = \frac{Re}{\sqrt{R^2 - e^2} - e} \quad (3)$$

Cette dernière relation peut être inversée pour exprimer e en fonction de $P_3P_4 - P_4P_5$:

$$e = \frac{R(P_3P_4 - P_4P_5)}{\sqrt{R^2 + 2R(P_3P_4 - P_4P_5) + 2(P_3P_4 - P_4P_5)^2}} \quad (4)$$

Comme les rayons des orbes choisis par Ibn al-Šāṭir impliquent que $\frac{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)}{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)} = \frac{65}{55}$, on aurait, d'après (2), $e = 2;36,31$. D'après (3), on aurait alors :

$$P_3P_4 - P_4P_5 = 2;43,38,$$

d'où

$$c_1(90^\circ) = \arctan \frac{-(P_3P_4 - P_4P_5)}{OP_3} = -2;36,18.$$

Au contraire, selon Ibn al-Šāṭir, on a :

$$P_3P_4 - P_4P_5 = 3;10,$$

d'où

$$c_1(90^\circ) = -3;1,16.$$

Hartner en tire une première conclusion : Ibn al-Šāṭir n'a pas calibré son modèle pour reproduire exactement les élongations maximales observées par Ptolémée aux syzygies et dans les quadratures.

Étrangement, Hartner (1974, p. 23), peut-être trop prudent, juge « peu probable » qu'Ibn al-Šāṭir n'ait pas eu l'intention de concevoir seulement un « substitut géométrique » du mécanisme de l'*Almageste*. La suite de son article tend pourtant à convaincre qu'Ibn al-Šāṭir aurait au moins utilisé une observation nouvelle à l'auge ; et si l'on veut préserver l'adéquation du modèle dans les quadratures, cette observation nouvelle conduit à abandonner les relations (1) à (4). Ptolémée avait observé une élongation maximale à l'auge, $\max |c_2(0, \cdot)| = 19;3$. Le modèle d'Ibn al-Šāṭir donne³⁷⁷ $\max |c_2(0, \cdot)| = 19;28$. Cette supposée observation nouvelle sera mon point de départ pour tenter de reconstituer le calibrage du modèle d'Ibn al-Šāṭir³⁷⁸.

³⁷⁷ Hartner trouve 19;30 sous l'hypothèse que $P_4P_5 = 0;50$. On trouve 19;28 en prenant $P_4P_5 = 0;55$.

Quelles sont les données de l'observation ? On a d'abord cette nouvelle observation, qu'on arrondira à 19;30 :

$$\max |c_2(0, \cdot)| = \arcsin \frac{P_5P_6 - 2P_6P_7}{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)} = 19;30.$$

L'*Almageste* donne aussi une observation de l'élongation maximale au périhélie :

$$\max |c_2(180^\circ, \cdot)| = \arcsin \frac{P_5P_6 - 2P_6P_7}{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)} = 23;15.$$

Enfin, des observations de l'élongation maximale aux quadratures, Ptolémée déduit que $c_1(90^\circ) = -3^\circ$ et que $\max |c_2(90^\circ, \cdot)| = 23;15$. On déduit des deux premières données :

$$\frac{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)}{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)} = \frac{\sin(19^\circ 30')}{\sin(23^\circ 15')}$$

d'où, si $OP_3 = 60$,

$$P_3P_4 + P_4P_5 = 5;1,7.$$

En reportant dans $\max |c_2(0, \cdot)|$, on en déduit :

$$P_5P_6 - 2P_6P_7 = (60 + P_3P_4 + P_4P_5) \sin(19^\circ 30') = 21;42,13.$$

De $c_1(90^\circ)$, on tire :

$$P_3P_4 - P_4P_5 = 60 \tan(3^\circ) = 3;8,40,$$

d'où enfin, comme il se doit :

$$P_3P_4 = 4;4,53 \simeq 4;5,$$

$$P_4P_5 = 0;56,13 \simeq 0;55.$$

Reste à calculer $P_5P_6 + 2 \times P_6P_7$. Or :

$$\max |c_2(90^\circ, \cdot)| = 23;15 = \arcsin \frac{P_5P_6 + 2P_6P_7}{\sqrt{(P_3P_4 - P_4P_5)^2 + 60^2}},$$

d'où

$$P_5P_6 + 2P_6P_7 = \sin(23^\circ 15') \sqrt{(P_3P_4 - P_4P_5)^2 + 60^2} = 23;43;2.$$

On devrait alors avoir $2P_6P_7 \simeq 1;1$, d'où $P_6P_7 = P_7P \simeq 0;30,30$ au lieu de $0;33$ d'Ibn al-Šāṭir ; mais il est bien possible qu'Ibn al-Šāṭir ait observé une équation maximale légèrement supérieure à celle de Ptolémée dans les quadratures. Si $\max |c_2(90^\circ, \cdot)| = 23;30$, sans rien changer par ailleurs, on trouverait en effet $P_6P_7 \simeq 0;34$, arrondi qu'on pourrait aussi tronquer à $0;33$.

³⁷⁸ Nikfahm-Khubravan et Ragep (2019) ont proposé un intéressant scénario alternatif supposant qu'Ibn al-Šāṭir ait voulu reproduire les élongations maximales prédites par Ptolémée à $\pm 120^\circ$ de l'auge.

10. TABLES D'ÉQUATIONS EN LONGITUDE

Les formules p. 222, 250 et 284, ainsi que les formules d'interpolation afférentes, permettent de restituer les tables d'équations mentionnées aux chapitres 11, 14 et 23 de la première partie de la *Nihāya* comme je l'ai fait dans la table 3. Pour faciliter d'éventuelles comparaisons, j'ai adopté le même format que Fuad Abbud (Kennedy, Ghanem, 1976, p. 80).

TABL. 3 : Restitution d'un extrait des tables d'équations en longitude d'Ibn al-Šāṭir

Lune	$2\bar{\eta}$ ou α	$c_1(2\bar{\eta})$	$c_2(\alpha, 0)$	$c_2(\alpha, 180^\circ) - c_2(\alpha, 0)$	$\chi(2\bar{\eta})$
	30	7;32	-2;18	-1;8	0;5
	60	11;48	-4;5	-2;5	0;18
	90	12;9	-4;55	-2;40	0;33
	120	9;33	-4;27	-2;36	0;47
	150	5;11	-2;40	-1;39	0;57
Saturne	$\bar{\kappa}$ ou α	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	30	-3;6	2;42	0;18	0;3
	60	-5;29	4;50	0;33	0;11
	90	-6;30	5;51	0;42	0;25
	120	-5;48	5;21	0;41	0;41
	150	-3;26	3;13	0;26	0;55
Jupiter	$\bar{\kappa}$ ou α	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	30	-2;31	4;31	0;22	0;3
	60	-4;26	8;16	0;43	0;12
	90	-5;14	10;23	0;58	0;26
	120	-4;39	9;55	1;2	0;42
	150	-2;44	6;13	0;43	0;55
Mars	$\bar{\kappa}$ ou α	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	30	-5;15	11;9	1;28	0;2
	60	-9;22	21;45	3;8	0;9
	90	-11;19	30;54	5;17	0;20
	120	-10;20	36;29	8;29	0;36
	150	-6;15	31;51	13;5	0;53
Vénus	$\bar{\kappa}$ ou α	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	30	-1;0	12;25	0;19	0;4
	60	-1;44	24;26	0;40	0;14
	90	-2;1	35;25	1;8	0;28
	120	-1;46	43;42	1;52	0;44
	150	-1;2	42;47	3;13	0;55
Mercure	$\bar{\kappa}$ ou α	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	30	-1;25	7;22	0;59	0;12
	60	-2;31	13;54	2;1	0;39
	90	-3;1	18;26	3;4	1;3
	120	-2;44	19;6	3;55	1;11
	150	-1;38	13;11	3;27	1;5
	180	0	0	0	1

BIBLIOGRAPHIE

- ABGRALL, Philippe, « La géométrie de l'astrolabe au x^e s. », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 10, 2000, p. 7-77.
- ABGRALL, Philippe, *Le développement de la géométrie aux IX^e-XI^e siècles : Abū Saḥl al-Qūbī*, Paris, Albert Blanchard, 2004.
- ABGRALL, Philippe, « Les débuts de la projection stéréographique : Conception et principes », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 25, 2015, p. 135-166.
- AL-BĪRŪNĪ, *Kitāb maqālid 'ilm al-hay'a : La trigonométrie sphérique chez les Arabes de l'Est à la fin du x^e siècle*, éd., trad. et commentaire Marie-Thérèse Debarnot, Damas, Institut français de Damas, 1985.
- AL-JU'BEH, Nazmī, *Catalogue of manuscripts in al-Khālidiyyah Library, Jerusalem*, Londres, Al-Furqan Islamic Heritage Foundation, 2006.
- AL-ṬŪSĪ, Naṣīr al-Dīn, *Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī's Memoir on astronomy (Al-tadhkira fī 'ilm al-hay'a)*, éd., trad. et commentaire F. Jamil Ragep, New York, Springer, 1993.
- ARISTOTE, *De la génération et de la corruption*, éd. et trad. Marwan Rashed, Paris, Les Belles Lettres, 2005.
- DERAYATI, Mostafa (dir.), *Fehrestvāre-ye Dastnevīshā-ye Īrān (The short catalogue of Iranian manuscripts)*, 12 vol., Téhéran, Library, Museum and Documentation Center of the Islamic Consultative Assembly, 2010.
- DUHEM, Pierre, *Le système du monde : Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 10 vol., Paris, Hermann, 1913-1959.
- FAZIL, Mahmoud, *Fehrest-e nosḥehā-ye ḥaṭṭī-ye Ketābhāne-ye Čāme'e Gowharšād*, vol. 4, 1985.
- FIENGA, A., MANCHE, H., LASKAR, J., GASTINEAU, M., VERMA, A., « INPOP new release : INPOP13c », 2014, www.imcce.fr/fr/presentation/equipes/ASD/inpop/inpop13c.pdf.
- GAMINI, Amir Mohammad, HAMEDANI, Hossein Masoumi, « Al-Shīrāzī and the empirical origin of Ptolemy's equant in his model of the superior planets », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 23, 2013, p. 47-67.

- GAMINI, Amir Mohammed, « Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī and the development of non-Ptolemaic planetary modeling in the 13th century », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 17, 2017, p. 165-203.
- GOLDSTEIN, Bernard R., SWERDLOW, Noel Mark, « Planetary distances and sizes in an anonymous Arabic treatise preserved in Bodleian ms. Marsh 621 », *Centaurus*, vol. 15, n° 2, 1970, p. 135-170.
- HARTNER, Willy, « Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shāṭir and Copernicus on Mercury : A study of parameters », *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 24, 1974, p. 5-25.
- HASNAWI, Ahmad, « La définition du mouvement dans la Physique du *Šifā'* d'Avicenne », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 11, 2001, p. 219-255.
- IRANI, Rida A. K., « Arabic numeral forms », *Centaurus*, vol. 4, n° 1, 1955, p. 1-12.
- KENNEDY, Edward Stewart, « A survey of Islamic astronomical tables », *Transactions of the American Philosophical Society*, vol. 46, 1956, p. 123-177.
- KENNEDY, Edward Stewart, ROBERTS, Victor, « The planetary theory of Ibn al-Shāṭir », *Isis*, vol. 50, 1959, p. 227-235 (réimpr. in Kennedy, Ghanem, *The life and work of Ibn al-Shāṭir*, p. 60-68).
- KENNEDY, Edward Stewart, « Late medieval planetary theory », *Isis*, vol. 57, 1966, p. 365-378 (réimpr. in Kennedy, Ghanem, *The life and work of Ibn al-Shāṭir*, p. 93-106).
- KENNEDY, Edward Stewart, GHANEM, Imad (dir.), *The life and work of Ibn al-Shāṭir : An Arab astronomer of the fourteenth century*, Université d'Alep, 1976.
- KENNEDY, Edward Stewart, *Studies in the Islamic exact sciences*, Beyrouth, American University of Beirut, 1983.
- KENNEDY, Edward Stewart and Mary Helen, *Geographical coordinates of localities from Islamic sources*, Francfort-sur-le-Main, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Univ., 1987.
- KING, David A., « Ibn al-Shāṭir, 'Alā' al-Dīn Abu'l-Ḥasan 'Alī ibn Ibrāhīm », in Charles Coulston Gillispie (dir.), *Dictionary of scientific biography*, 16 vol., New York, Charles Scribner's sons, 1970-1990, vol. 12, 1975, p. 357-364.

- KING, David A., « Astronomical timekeeping in fourteenth-century Syria », in Institute for the History of Arabic Science et University of Aleppo, *Proceedings of the first international symposium for the history of Arabic science, Aleppo 1976*, vol. 2, Alep, 1978, p. 75-84 (réimpr. dans D. A. King, *Islamic mathematical astronomy*, Londres, Variorum reprints, 1986).
- KING, David A., *A catalogue of the scientific manuscripts in the Egyptian National Library / Fibris al-maḥṭūtāt al-‘ilmiyya al-maḥfūza bi-Dār al-Kutub al-Miṣriyya*, Le Caire, General Egyptian Book Organization, 2 vol., 1981-1986.
- KING, David A., *A survey of the scientific manuscripts in the Egyptian National Library*, The American Research Center in Egypt, 1986.
- KING, David A., SALIBA, George (dir.), *From deferent to equant : A volume of studies in the history of science in the ancient and medieval Near East in honor of E. S. Kennedy*, New York, 1987.
- KING, David A., « On the role of the *muezzin* and the *muwaqqit* in medieval Islamic societies », in King, 2004-2005, vol. 1, « The call of the *muezzin* », partie V, p. 631-677.
- KING, David A., *In synchrony with the heavens : Studies in astronomical timekeeping and instrumentation in Islamic civilization*, 2 vol., Brill, 2004-2005.
- KUNITZSCH, Paul, *Untersuchungen zur Sternnomenklatur der Araber*, Wiesbaden, Otto Harrassowitz, 1961.
- LAOUST, Henri, *Les gouverneurs de Damas sous les Mamlouks et les premiers Ottomans (658-1156 / 1260-1744) : Traduction des Annales d’Ibn Ṭūlūn et d’Ibn Ḡum’a*, Damas, Institut français de Damas, 1952.
- MORELON, Régis, « La version arabe du *Livre des hypothèses* de Ptolémée », *Mélanges de l’Institut dominicain d’études orientales*, vol. 21, 1993, p. 7-85.
- MURSCHEL, Andrea, « The structure and function of Ptolemy’s physical hypotheses of planetary motion », *Journal for the history of astronomy*, vol. 26, 1995, p. 33-61.
- NEUHÄUSER, Ralph, KUNITZSCH, Paul, MUGRAUER, Markus, LUGE, Daniela, VAN GENT, Rob, « Tycho Brahe, Abū Ma’shar, and the comet beyond Venus (ninth century A. D.) », *Journal for the history of astronomy*, vol. 47, n° 2, 2016, p. 136-158.

- NIAZI, Kaveh Farzad, « A comparative study of Quṭb al-Dīn Shīrāzī's texts and models on the configuration of the heavens », Columbia University, 2011.
- NICOLL, Alexander, PUSEY, E. B., *Catalogi codicum manuscriptorum orientalium Bibliothecæ Bodleianæ pars secunda*, Oxford, e Typographæo academico, 1835.
- NIKFAHM-KHUBRAVAN, Sajjad, RAGEP, F. Jamil, « The Mercury models of Ibn al-Šāṭir and Copernicus », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 29, n° 1, 2019, p. 1-59.
- OUDET, Jean-François, « Vestiges archéologiques et observation astronomique : Origine de l'observatoire (Orient médiéval, IX^e-X^e siècle) », thèse de doctorat de l'École pratique des hautes études, 2000.
- PEDERSEN, Olaf, *A survey of the Almagest*, Odense Univ. Press, 1974.
- PENCHÈVRE, Erwan, « Vénus selon Ibn al-Shāṭir », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 26, 2016, p. 184-214.
- PENCHÈVRE, Erwan, « Un lemme d'analyse dont use Ibn al-Haytham en gnomonique, dioptrique et cinématique céleste », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 29, 2019, p. 133-156.
- PTOLÉMÉE, « The Almagest », trad. R. Catesby Taliaferro, in Robert Maynard Hutchins (dir.), *Ptolemy. Copernicus. Kepler*, Encyclopædia Britannica, Inc., coll. « Great books of the Western World », vol. 16, 1952, p. VII-XIV, 1-478.
- PTOLÉMÉE, *Der Sternkatalog des Almagest : Die arabisch-mittelalterliche Tradition*, éd., trad. et commentaire Paul Kunitzsch, 3 vol., Wiesbaden, Otto Harrassowitz, 1986-1991.
- RAGEP, F. Jamil, « Ibn al-Shāṭir and Copernicus : The Uppsala Notes revisited », *Journal for the history of astronomy*, vol. 47, n° 4, 2016, p. 395-415.
- RASHED, Roshdi, « Fūthīṭos (?) et al-Kindī sur "l'illusion lunaire" », in Marie-Odile Goulet-Cazé, Goulven Madec, Denis O'Brien (dir.), *Σοφίης μαήτορες, « chercheurs de sagesse » : Hommage à Jean Pépin*, Paris, Institut d'études augustiniennes, 1992, p. 533-569.
- RASHED, Roshdi (dir.), *Histoire des sciences arabes*, vol. 1, « Astronomie, théorique et appliquée », Paris, Seuil, 1997.

- RASHED, Roshdi, *Les mathématiques infinitésimales du IX^e au XI^e siècles*, vol. IV, « Méthodes géométriques, transformations ponctuelles et philosophie des mathématiques », Londres, Al-Furqān Islamic Heritage Foundation, 2004.
- RASHED, Roshdi, *Geometry and dioptrics in classical Islam*, Londres, Al-Furqān Islamic Heritage Foundation, 2005.
- RASHED, Roshdi, *Les mathématiques infinitésimales du IX^e au XI^e siècles*, vol. V, « Ibn al-Haytham : Astronomie, géométrie sphérique et trigonométrie », Londres, Al-Furqān Islamic Heritage Foundation, 2006.
- RASHED, Roshdi (dir.), *Lexique historique de la langue scientifique arabe*, Olms, 2017.
- RASHED, Roshdi, PENCHÈVRE, Erwan, « Ibn al-Haytham et le mouvement d'enroulement », *Arabic sciences and philosophy*, vol. 30, 2020, p. 27-137.
- ROBERTS, Victor, « The Solar and Lunar theory of Ibn ash-Shāṭir : A pre-Copernican Copernican model », *Isis*, vol. 48, 1957, p. 428-432, 1957 (réimpr. in Kennedy, Ghanem, *The life and work of Ibn al-Shāṭir*, p. 44-48).
- ROBERTS, Victor, « The planetary theory of Ibn al-Shāṭir : Latitudes of the planets », *Isis*, vol. 57, 1966, p. 208-219 (réimpr. in Kennedy, Ghanem, *The life and work of Ibn al-Shāṭir*, p. 81-92).
- ŞADR AL-ŞARĪ'A, *An Islamic response to Greek astronomy : Kitāb ta'dīl hay'at al-aflāk of Şadr al-Sharī'a*, éd., trad. et commentaire Ahmed S. Dallal, Brill, 1995.
- SALIBA, George, « Theory and observation in Islamic astronomy : The work of Ibn al-Shāṭir of Damascus », *Journal for the history of astronomy*, vol. 18, n° 1, 1987, p. 35-43 (réimpr. in Saliba, *A history of Arabic astronomy*, p. 234-241).
- SALIBA, George, *The astronomical work of Mu'ayyad al-Dīn al-Urdī, a thirteenth century reform of Ptolemaic astronomy : Kitāb al-hay'ah*, Beyrouth, Center for Arab Unity Studies, 1990.
- SALIBA, George, *A history of Arabic astronomy : Planetary theories during the golden age of Islam*, New York University Press, 1994.
- SAUVAIRE, Henri, *Description de Damas*, trad. de l'arabe par Henri Sauvaire, extrait du *Journal asiatique*, Paris, Imprimerie nationale, 1895-1896, 2 vol. (voir tabl. de

- concordance avec les pages publiées au *Journal asiatique*, dans E. E. Ouéchék, *Index général de la « Description de Damas » de Sauvaire*, Institut français de Damas, 1954).
- SCHJELLERUP, H. C. F. C., *Description des étoiles fixes composée au milieu du dixième siècle de notre ère par l'astronome persan Abd-al-Rahman al-Sûfi : Traduction littérale de deux manuscrits arabes de la Bibliothèque Royale de Copenhague et de la Bibliothèque Impériale de St. Pétersbourg avec des notes*, Saint-Pétersbourg, 1874.
- SCHMALZL, Peter, *Zur Geschichte des Quadranten bei den Arabern*, Druck der Saleianischen Offizin, München, 1929.
- SÉDILLOT, Louis Amélie, *Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, Paris, Imprimerie royale, 1841.
- SWERDLOW, Noel Mark, NEUGEBAUER, Otto, *Mathematical astronomy in Copernicus' De revolutionibus*, Springer, 1984.
- SWERDLOW, Noel Mark, « Ptolemy's theories of the latitude of the planets in the Almagest, Handy tables, and Planetary hypotheses », in Jed Z. Buchwald et Allan Franklin (dir.), *Wrong for the right reasons*, Springer, 2005.
- TĀBIT B. QURRA, *Œuvres d'astronomie*, éd., trad. et commentaire Régis Morelon, Paris, Les Belles Lettres, 1987.
- TURNER, Anthony John, *Mathematical instruments in the collections of the Bibliothèque nationale de France*, Londres / Turnhout, BnF éditions / Brepols, 2018.
- URI, Johannes, *Bibliothecæ Bodleianæ codicum manuscriptorum orientalium... catalogus... a Joanne Uri confectus : Pars prima*, Oxford, e Typographeo clarendoniano, 1787.
- WIEDEMANN, Eilhard, « Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften : LXXIX. Ibn al Schâtîr, ein arabischer Astronom aus dem 14. Jahrhundert », *Sitzungsberichten der Physikalisch-Medezinischen Sozietät zu Erlangen*, vol. 60, 1928, p. 317-326 (réimpr. in Kennedy, Ghanem, *The life and work of Ibn al-Shâtîr*, p. 17-26).

INDEX NOMINUM

Ne sont ici indexées que des occurrences présentes dans le texte d'Ibn al-Šāṭir, et non celles présentes dans mon commentaire. Par exemple, une référence de la forme II.5.9 renvoie au 9^e paragraphe du 5^e chapitre (*bāb* ou *faṣl*) de la II^e partie (*maqāla*).

- المأمون, al-Ma'mūn, I.30.5
 أثير الدين الأبهري, 'Aṭīr al-Dīn al-'Abharī, I.10.5
 أرسطو, Aristote, I.0.34
 إبرخس, Hipparque, I.5.1, I.7.16, I.9.3, I.10.5, I.24.7, I.30.4, I.31.24
 بطلميوس, Ptolémée, p. 26, I.0.17-20, I.0.37, I.3.8, I.5.8, I.5.10, I.7.12, I.7.16, I.9.3, I.9.32, I.10.5, I.10.8, I.24.7, I.24.9-10, I.24.21, I.25.1-7, I.25.10-14, I.30.4, I.31.1, I.31.16-17, I.31.24, I.31.40, I.31.45-46, II.1.11
 ابن سينا, Avicenne, II.2.6
 ابن أفلح, Ibn 'Aflaḥ, I.0.38, I.31.21
 ابن الهيثم, Ibn al-Hayṭam, I.24.9
 تاودوسيوس, Théodose, II.4.7, II.6.2
 الرازي, Faḥr al-Dīn al-Rāzī, II.2.7-9
 الزرقاؤه, al-Zarqālluh, I.0.28
 قطب الدين الشيرازي, Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī, I.0.25, I.6.4, I.24.9-10, I.24.18
 كوشيار بن لبان, Kūšyār b. Labbān, I.10.5
 المؤيد العرضي, al-Mu'ayyad al-'Urḍī, I.0.23-24, I.0.38, I.24.9, I.24.18, I.31.21

المجريطي, al-Mağrīṭī, I.0.29-33
 نصير الدين الطوسي, Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, I.0.21-22, I.10.5, I.24.9, I.24.18, II.1.7

INDEX RERUM

- أثر
 أثّر غُلُويّ, météore, I.0.4
 أثيريّ, éthéré, I.0.3
- أرخ
 تأريخ, date, I.7.7, I.8.1, I.10.1-3, I.13.1
- أرض
 أرض, la Terre, I.0.40, I.2.1, I.2.3-5, I.30, II.1
 دَوْر الأرض, circonférence terrestre, I.30.7
 كُرّة الأرض, globe terrestre, I.3.10
- أسد
 قلب الأسد, le cœur du Lion, I.0.28
- أصل
 أصل, 1) fondement, 2) origine, p. 26-27, I.0.22, I.0.26, I.0.28, I.1-2, I.6.8, I.7.12, I.22.1, I.24.7, I.24.11, I.31.49
- أقلم
 إقليم, إقليم ج أقليم, climat, II.1.11-30
- أوج
 أوج, auge, apogée, I.7.4-5, I.12.17, I.24.2, I.24.20-22, I.25.2, I.25.5-8, I.25.11-15
 أوج الشمس, auge du Soleil, II.4.3, II.6.2, II.8.4
 حركة الأوج, mouvement des auges, I.6.5-8, I.7.3, I.7.7, I.12.2
- أول
 آلة ج آلات, instrument, I.0.40
- بحر
 بحر, mer, II.1.3, II.1.5, II.1.8-9
- بحر طبرستان, mer Caspienne, II.1.9
 بحر ورنك, mer Baltique, II.1.9
 بحيرة خوارزم, mer d'Aral, II.1.9
- بدأ
 مُبتدأ, voir suivant
 مبدأ, principe, origine, I.0.11-14, I.21.4, I.24.11
- برج
 بُرج ج بُروج, signe (du zodiaque), voir فلك البروج
 بُروج مكوكبة, constellations du zodiaque, I.0.30, I.3.4, I.3.7
 على توالي البروج, dans le sens des signes, I.3.7
 إلى خلاف توالي البروج, en sens contraire de celui des signes, voir précédent
 منطقة البروج, écliptique, ceinture de l'écliptique, I.0.39-41, I.3.3-8, I.4.6, II.2.2, II.3.3, II.4.2-6, II.5.1-2, II.7
- برد
 برد, froid, II.1.8, II.2.8-9
- بسط
 بسط, plan, surface, voir مساحة
 جسم بسيط, corps simple, I.0.2-3, I.0.7, I.0.36
 حركة بسيطة مركبة, voir حركة بسيطة مركبة
- بصر
 بصير, 1) vision, 2) oeil, I.4.10, I.28.2, I.28.8-9, I.31.45-48, II.9.1
- بطو
 بطء, lenteur, I.26.1-3
- بعد
 بُعد, 1) distance, 2) élongation (*i. e.*,

- écart en longitude), I.23.3
 بُعِدَ عَنِ السَّمْتِ, distance zénithale, II.4.2
 بُعِدَ مَا بَيْنَ النَّيِّرَيْنِ بِالْوَسْطِ, élongation moyenne, I.9.14
 بُعِدَ مُضَاعَفٌ, élongation double, I.9.33
 بُهِتَ, vitesse apparente, I.7.17, I.8.2, I.10.7, I.11.13
 تُولَى, île de Thulé, II.1.11
 ثَبَتَ
 ثَبَاتٌ, immobilité, I.19.3
 الثَّابِتَاتُ, les étoiles fixes, I.5
 ثَقُلَ
 مَرْكَزُ الثَّقَلِ, centre de gravité, I.2.5-6, I.4.11, I.30.1
 ثَلَاثٌ
 مُثَلَّثٌ, triangle (éventuellement sphérique), II.7.2, II.7.5-6
 ثَوْرٌ
 ثَوْرٌ, Taureau (zodiaque), I.5.5
 جَبَلٌ
 جَبَالٌ جَ جَبَلٌ, montagne, I.30.1, II.1.8, II.1.21
 جَدَلٌ
 جَدَوَلٌ جَ جَدَاوِلٌ, table, tableau, catalogue, I.7.13-14, I.10.1, I.11, I.14.1-2, I.23, I.31.49, II.1.30
 جَرٌ
 مَجْرَةٌ, Voie lactée, I.5.8
 جَرْمٌ
 جَرْمٌ جَ أَجْرَامٌ, corps, volume, voir مساحة
 جَزٌ
 جُزْءٌ جَ أَجْزَاءٌ, partie, segment, portion, part, I.3.2
 جَزْهَرٌ
 تَقْوِيمُ الْجَوْزَهَرِ, nœud vrai, I.9.33
 عَقْدَةٌ, voir جَوْزَهَرٌ
 حَرَكَةُ الْجَوْزَهَرِ, mouvement des nœuds, I.9.9
 وَسْطُ الْجَوْزَهَرِ, nœud moyen, I.9.33
 جِسْمٌ
 جِسْمٌ, corps, solide, I.0.12, I.0.20, I.1.3-4, I.31.15
 كُرَّةٌ مُجَسَّمَةٌ, فَلَكٌ مُجَسَّمٌ, sphère solide, orbe solide, I.7.1, I.7.8-10, I.15.7, I.17.6, I.19.7, I.21.9-10
 جَمْعٌ
 اجْتِمَاعٌ, conjonction, I.9.3, I.26.7, I.28.2, I.28.8
 جَمَهْرٌ
 الْجَمَهْرُ, les Grecs, I.10.5, I.30.6, II.1.12, II.7.1
 جَوْزٌ
 الْجَوْزَاءُ, les Gémeaux, I.5.5
 ذَنْبٌ, voir مَجَازٌ جَنْوَبِيٌّ
 رَأْسٌ, voir مَجَازٌ شَمَالِيٌّ
 جَيْبٌ
 جَيْبٌ, sinus, I.23.1-2
 جَيْبُ التَّمَامِ, cosinus, I.23.1-2
 حَبَشٌ
 حَبَشَةٌ, Éthiopie, II.1.7, II.1.23, II.2.10
 حَجْمٌ
 مَرْكَزُ الْحَجْمِ, centre du volume, I.30.1
 حُدٌ
 مُحَدَّدٌ الْجِهَاتِ, le neuvième orbe, I.0.1, I.0.7
 حَذْوٌ
 نَقْطَةُ الْمُحَاذَاةِ, point de prosneuse, I.0.19, I.0.21, I.0.23, I.0.25
 حَرٌ

- حَرَارَة, chaleur, II.1.4
 حَرٌّ, chaud, II.2.5-10, II.4.3
- حرق
 طريقة محترقة, routes brûlantes, II.1.6
 حريق, embrasement, I.26.7
- حرك
 حَرَكَة أُولى, premier mouvement, voir
 حَرَكَة يَوْمِيَّة
 حَرَكَة إِرَادِيَّة, mouvement volitif, I.0.5,
 I.0.7
 حَرَكَة بَسِيْطَة, mouvement simple,
 I.0.8, I.9.14
 حَرَكَة بَسِيْطَة مُرَكَّبَة, mouvement
 simple-composé, I.0.5, I.0.8,
 I.6.9, I.7.3, I.12.6-7, I.12.32,
 I.15.3, I.17.3, I.19.3, I.21.3
 حَرَكَة ثَانِيَّة, deuxième mouvement,
 I.0.28, I.0.30, I.3.7-8, I.5.10-14,
 II.2.1, II.5.9, II.6.3
 حَرَكَة خَاصَّة, mouvement propre,
 I.6.1-3
 حَرَكَة الخَاصَّة, mouvement de l'astre
 propre, I.9.11, I.12.6, I.12.12,
 I.16.2, I.17.2-3, I.19.3, I.21.3
 حَرَكَة طَبِيعِيَّة, mouvement naturel,
 I.0.5-6
 حَرَكَة عَرَضِيَّة, mouvement par acci-
 dent, I.0.5, I.6.2
 حَرَكَة قَسْرِيَّة, mouvement violent,
 I.0.5
 حَرَكَة العَرَض, mouvement en latitude,
 I.0.20, I.0.26, I.9.10
 حَرَكَة لَوَلِيْبِيَّة, mouvement hélicoïdal,
 I.0.34
 حَرَكَة مُخْتَلِفَة, mouvement irrégu-
 lier (*i. e.* non uniforme), I.0.8,
 I.0.18, I.9.20, I.15.4, I.17.4,
 I.19.4
- حَرَكَة المَرْكَز, mouvement du centre
 (en général, le centre d'un épi-
 cycle), I.12.3, I.16.2, I.19.2,
 I.21.2
 حَرَكَة مَرْكَز الشَّمْس, mouvement du
 centre du Soleil, I.7.3, I.7.7,
 I.19.2, I.21.2
 حَرَكَة مُرَكَّبَة, mouvement composé,
 I.0.8, I.0.35
 حَرَكَة مُسْتَوِيَّة, mouvement uniforme,
 I.0.18, I.0.35
 حَرَكَة الوَسَط, mouvement de l'astre
 moyen, I.16.1, I.17.3, I.22.2
 حَرَكَة وَسَط الشَّمْس, mouvement du
 Soleil moyen, I.7.3, I.7.7, I.22.2
 حَرَكَة يَوْمِيَّة, mouvement diurne,
 I.3.9, I.6.5, II.5.2
 حَرَكَة الزَاوِيَة, mouvement angulaire,
 I.26.1
 مُتَحَرِّكٌ بِنَفْسِهِ / بِغَيْرِهِ, mû par soi / par
 un autre, I.0.11-14, I.6.3, I.6.5
- حَض
 حَضِيض, périgée, I.7.4, I.9.2-3,
 I.24.2, I.24.4-5
- حَط
 ارتفاع, abaissement, voir ارتفاع
- حَمَل
 حَمَل, Bélier (zodiaque), I.5.5
- حَوْت
 حَوْت, Poissons (zodiaque), I.5.5
- حَوْط
 البَحْر المُحِيط, l'Océan, I.9.30, II.1.9,
 II.1.23-29
 مُحِيط, bord, contour, périmètre,
 I.2.3, I.2.6, I.30.7
- حَوَى
 حَاوٍ, contenant, I.6.1-3, I.6.5
 مَحْوِيٌّ, contenu, I.6.1-3, I.6.5

- خسف
خُسُوف, éclipse de Lune, I.9.2, I.10.8, I.28.1-6, I.29.1-5, I.29.10-11, I.31.7, II.1.7
- خص
خاصّة القمر, Lune propre, I.9.33
خاصّة الكوكب, astre propre (traduit par « anomalie » par de nombreux auteurs), I.12.6, I.12.20
- خط
خطّ, ligne, I.1.1-3
خطّ مُستقيم, droite, I.1.2, I.1.4
نصف خطّ نصف النهار, voir نصف
- خفي
اختفاء, invisibilité, I.27
- خليج
خَلِيج أَحْمَر, mer Rouge, II.1.9
خَلِيج أَخْضَر, « golfe vert » (golfe d'Oman), II.1.9
خَلِيج بَرْبَرِيّ, golfe de Berbera (golfe d'Aden), II.1.9
خَلِيج فَارِس, golfe Persique, II.1.9, II.1.23
- خلد
جزائر الخالدات, îles Canaries, II.1.12
- خلف
اختلاف, irrégularité, anomalie, variation, I.0.22, I.0.34-35, I.7.4, I.9.2, I.9.19, I.9.21-26, I.9.30, I.12.13, I.23.4-6, I.25.4, II.8.2
نظر اختلاف المنظر, voir
- خلو
خَلَاء, vide, I.0.10, I.0.20
- دبر
إِدْبَار, trépidation, recès, I.0.28
- درج
دَرَج السَّوَاء, degrés égaux (\neq leur coascension), II.7.1
طول درجة الطول, voir
مرّ درجة الممر, voir
دَرَجَة ج دَرَجَات, degré, I.3.6, I.30.2-6, II.7.1
- دور
تدوير, épicycle, I.0.36, I.7.12, I.9.2-3, I.9.6, I.26.1-2
التدوير المرئي, épicycle apparent, I.9.3, I.9.11, I.9.14-23, I.9.27
سمت دائرة أول السموت, voir
دائرة الأفق الحادث, cercle de l'horizon incident, I.4.16
دائرة الارتفاع, cercle de hauteur, cercle vertical, I.4.15
دائرة العرض, cercle de latitude, I.4.8, II.11.2-3
ميل دائرة الميل, voir
نصف دائرة نصف النهار, voir
استدارة, sphéricité (de la Terre, des cieux), I.30.1, II.1.1
مدار, 1) trajectoire, 2) trajectoire diurne (*i. e.* cercle parallèle à l'équateur), I.4.17, I.5.11-14, I.9.1, II.6.3, II.12.5-6
مدارات العروض, trajectoires selon les latitudes (*i. e.* cercles parallèles à l'écliptique), I.4.18, I.25.16
مدارات مراكز الأكر, trajectoires des centres des orbites, I.7.1, I.19.7
- ذرع
أذْرُع ج ذُرَاع, coudée (coudée moderne = 24 doigts), I.30.1, I.30.6
- ذرو
ذُرُوءَة, sommet, apogée, I.0.22, I.9.2-

- 3, I.12.6, I.12.33, I.19.3, I.21.3-4, I.24.4-5
 ذروة التدوير الوُسْطَى, apogée moyen de l'épicycle, I.9.33, I.15.6
 ذروة حَقِيقِيَّة, apogée vrai, I.12.13, I.12.20
 ذروة التدوير المَرْتَبِي, apogée de l'épicycle apparent, I.9.11
 ذروة مَرْتَبِيَّة, apogée apparent, I.9.34, I.12.13, I.12.21-22, I.26.5
- ذنب
 ذَنْب, queue, nœud descendant, I.0.20, I.9.5, I.15.2-3, I.17.1, I.19.1-2, I.21.1, I.25.8
 ذَنْب السَّرْحَان, queue du loup, voir صَبْح كَاذِب
- رأس
 رَأْس, tête, nœud ascendant, I.0.20, I.9.5, I.15.2-3, I.17.1, I.19.1-2, I.21.1, I.24.6, I.25.8
- رتب
 رَتَب, ترتيب, ordre, disposition, I.3
- رجع
 رُجُوع, rétrogradation, I.17.4, I.26.1
- رصد
 الرِّصَاد الصَّحِيحَة, les observations, I.0.18-19, I.0.20, I.0.28, I.0.33, I.0.40, I.5.10, I.6.7-8, I.7.12, I.10.8, I.24.2, I.24.7, I.24.15, I.24.18-21, I.25.14, I.27.4, I.31.1, I.31.7, préface
- رفع
 رَفْع, ارتفاع, hauteur (coordonnées azimutales), I.4.15, I.27.1, II.4.3-4
- ركب
 حَرَكَة بَسِيطَة مَرَكَّبَة, voir مَرَكَّب
 جِسْم مَرَكَّب, corps composé, I.0.2, I.0.4, I.0.7, I.0.36, I.6.9
- ركز
 مَرَكَز, centre, I.7.3, I.7.5, I.12.18, I.23.1
- زحل
 زُحَل, Saturne, I.0.22, I.12-14, I.24, I.27.1-2, I.31.22-24, I.31.29, I.31.37
- زمن
 أَزْمَان مُعَدَّل النَّهَار, temps de l'équateur, I.3.2, I.31.43
- زنج
 الزَّنْج, les Noirs, II.1.7
- زهر
 زُهْرَة, Vénus, I.0.22, I.0.38, I.3.11, I.19-20, I.25.1-9, I.27.3, I.31.20-21, I.31.24, I.31.26, I.31.34, I.31.44
- سول
 مَسْأَلَة ضَرْوِيَّة, principe, I.0.9-16, préface
- سحب
 سَحَاب ج شُحْب, nuage, I.0.4, I.5.2, I.5.7
 كَوْكَب سَحَابِي, étoile nuageuse, nébuleuse, I.5.2, I.5.7
- سرط
 سَرَطَان, Cancer (zodiaque), I.5.5
- سرع
 سُرْعَة, vitesse, I.26.1-3, I.31.43
- سطح
 سَطْح, surface, I.1.1-3
 سَطْح مُسْتَوٍ, plan, I.1.2, I.1.4, I.24.2-4, II.7.5
- سفن
 سَفِينَة, navire, I.6.2

- سكن
سكون, repos, I.0.10
المسكون, la partie habitée (du globe), I.29.7, I.30.9, II.1.3, II.1.6, II.1.8, II.4.7
- سمت
دائرة أول السموت, cercle origine des azimuts, premier vertical, I.4.13, II.12.1
سمت, direction, azimut, I.4.13, II.12.2
سمت الرأس, zénith, I.4.10, II.2.5-8, II.3.7, II.4.2-5
سمت القدم, سمت الرجل, nadir, I.4.10, II.3.7
- سمو
السماء, les cieux, I.2.2-3, I.2.6
- سنو
سنة الشمس, année solaire, I.10.4, II.8.10, II.10.7-8
سنة قمرية, année lunaire, I.10.4, II.10.9
فصول السنة, les saisons, II.2.3, II.4.2-3, II.5.2, II.10.7
- سوح
مساحة البسيط / الجرم, mesure d'une surface / d'un volume, I.30.8-11, I.31.12, I.31.16
- سوع
ساعات مستوية, heures équinoxiales, II.10.2
ساعات معوجة, heures courbes, II.10.2
- سوى
خط الاستواء, équateur terrestre, I.4.1, II.1.3, II.1.12, II.2
- شبت
تشبث, adhérer, I.6.3-4
- شرق
خط المشرق والمغرب, ligne de l'est et de l'ouest, I.4.13, II.12.1-2, II.12.5-6
مشرق, est, II.6.1, II.12.5-6
- شري
المشتري, Jupiter, I.0.22, I.15-16, I.24, I.27.1-2, I.31.22-24, I.31.28, I.31.36
- شعر
شعيرة, grain d'orge (unité de longueur), I.30.1
- شع
شعاع ج أشعة, rayon (de lumière), I.0.40, I.9.30, I.28.1, I.31.48, I.31.46, II.2.5, II.9.1
- شفق
شفق, crépuscule, II.5.3, II.6.2, II.9
- شك
شك, doute, préface
- شمس
شمس, Soleil, I.0.18, I.0.33-34, I.6.5-8, I.7, I.28, I.31.3-12, II.9, II.10.1-5
- شهب
شهاب ذو الذنب, comète, I.0.4
- شهر
شهر قمرى, mois lunaire, I.10.4, I.29.2-5, II.10.5-6
- صبح
صبح, aurore, II.5.3, II.6.2, II.9
صبح أول, première aurore, voir كاذب
صبح صادق, aurore franche, II.9.3, II.10.3
صبح كاذب, aurore trompeuse,

- II.9.2-3
 صبع
 إصْبَع, doigt (= 6 grains d'orge), I.30.5-6
 صَقْلَب, Slave, II.1.11
 صور
 صورة ج صور, figure, constellation, I.0.2, I.0.4, I.5.3-6
 ضوء
 ضَوْء, clarté, I.28.1, I.31.48, II.4.7, II.6.2, II.9.3
 طبع
 طَبِيعَة, nature, I.0.2
 طلس
 أَطْلَس, Atlas, voir معدّل النهار
 طلوع
 تعديل مطالع, équation de la coascension, II.7.9
 دَرَجَة الطُّلُوع, degré du lever, II.11.6-9
 طالع / غارب / طالع, ascendant / descendant, I.7.9
 طَلَعَ, se lever (\neq غروب), II.5.4-9, II.6.1-3
 طُلُوع, lever (d'un astre), I.27.1, II.11.6-9
 مطالع, coascension, ascension oblique, I.3.1, I.4.7, I.8.1, II.7, II.8.4-5, II.10.1
 مطالع استوائية, ascension droite, I.7.9, I.8.1-2
 طول
 درجة الطول, degré, degré de longitude, I.4.9, II.11.1-5
 طول, longitude (par rapport à l'écliptique), I.4.9, I.24.7, I.24.9, I.25.16
 طول البلد, longitude locale, I.4.4-5
 طول معدّل, longitude rapportée à l'équateur (mais mesurée sur un cercle de latitude), I.4.9
 ظل
 قَطْر الظلّ, diamètre de l'ombre, I.10.8, I.29.1, I.31.7, I.31.17
 مَخْرُوط الظلّ, cône d'ombre, I.28.3, I.31.5, I.31.13, II.9.1-3
 ظلم
 كَوَكَب مُظْلِم, étoile obscure, I.5.2
 مُظْلِم, obscur (\neq نَبِير), I.28.1
 ظهر
 ظُهْر, visibilité (\neq اختفاء), I.27, II.2.1-2
 عدل
 تعديل, équation, I.7.13-14, I.9.17, I.9.20-27, I.11, I.12.10-16, I.23
 تعديل الأيام, équation des nychtémères, équation du temps, I.8.1-2, II.8
 تعديل الخاصّة, équation de l'astre propre, I.12.10-11
 تعديل دَرَجَة المَمَرّ, équation du degré de passage, II.11.2
 تعديل الشَّمْس, équation du Soleil, I.7.4
 تعديل مُحْكَم, équation ajustée, I.11.2, I.11.8, I.14.2, I.23.5
 تعديل النهار, voir نهار
 تعديل المَرَكز, équation du centre, I.12.11, I.12.13
 مُعَدَّلَة خاصّة, astre propre corrigé, I.15.6, I.23.2
 اعتدال خَرِيفِيّ, équinoxe d'automne, I.3.6 56

- اعتدال ربيعي, équinoxe de printemps, I.3.6-7, I.4.9, II.10.7
- عدل, tempéré, II.2.9-10
- معدّل, centre corrigé, I.15.6, I.24.17
- معدّل, corrigé, I.15.6
- معدّل النهار, équateur, I.3.2, I.4.1
- معدّل النهار, équateur, plan de l'équateur, II.1.3, II.2.1, II.7.1-2
- عرض
عَرْض, حِصَّة, argument de latitude, I.4.8, I.9.34
- عَرْض, latitude, *i. e.* par rapport à l'écliptique, I.0.20, I.0.26, I.4.8, I.9.25, I.9.28, I.15.6, I.21.1, I.24-25, I.28.3-4
- عَرْض البلد, latitude locale, I.4.2, I.4.5, I.4.12, II.1.7-22, II.3-6
- عَرْض إقليم الرؤية, latitude du climat de la vue, *i. e.* latitude du pôle de l'horizon par rapport à l'écliptique, I.4.14
- عَرْض معدّل, latitude rapportée à l'équateur (mais mesurée sur un cercle de latitude), I.4.8
- عُطارد, Mercure, I.0.20, I.21-22, I.25.10-15, I.27.3, I.31.20-21, I.31.24-25, I.31.33
- عقد
عُقْدَة, nœud, I.9.5, I.24.2, I.24.6, I.24.20-21, I.25.2, I.25.5-8
- عكس
انعكاس, reflet, I.31.48
- علم
عالم, monde, I.0.1
- عالم سُفْلِيّ, monde inférieur, *i. e.* sub-lunaire, I.0.3
- عالم عُلوّيّ, monde supérieur, *i. e.* supralunaire, I.0.3
- عالم الكون والفساد, voir عالم سفليّ
- عمر
المعمور, العِمارة, partie cultivée de la Terre; par extension, le quart habité (مسكون), I.9.30, II.1.4, II.1.7-9, II.4.9
- عنصر
عُنْصُر, élément, I.0.3
- غرب
دَرَخَة الغروب, degré du coucher, II.11.6-9
- غَرَب, se coucher (\neq طلع), II.5.4-9, II.6.1-3
- غُرُوب, coucher (d'un astre), II.11.6-9
- مغارب, codescension, descension oblique, II.7.4, II.7.6
- مَعْرِب, ouest, II.6.1, II.12.5-8
- غور
غَوْر ج أَغْوَار, terrain encaissé, I.30.1
- فرسخ
فَرَسَخ ج فَرَايِخ, parasange (= 3 milles), I.30.1, I.30.6, I.31.41
- فلك
أَقْرَب قُرْب الفلك, rayon de la cavité de l'orbe, I.31.42
- فلك, 1) orbe, 2) cieux, I.15.5, I.30.1
- فلك البُروج, orbe de l'écliptique, I.0.39-41, I.3.3-8, I.4.6, II.7.2-4
- فلك تاسع, neuvième orbe, voir فلك معدّل النهار
- فلك التدوير, orbe de l'épicycle, I.9.6, I.12.1, I.15.2-3, I.17.1, I.19.1, I.19.3, I.21.1, I.21.3, I.24.2, I.24.13-16

- فلك الثراب, orbe de la terre, I.3.10
 فلك ثامن, huitième orbe (étoiles fixes), I.0.36, I.5.1
 فلك حافظ, orbe protecteur, I.21.1, I.21.6
 فلك حامل, orbe déférent, I.7.1, I.12.1, I.15.2-3, I.17.1, I.19.1-2, I.21.1, I.24.13-16, I.25.5-7, I.25.14
 فلك خارج المركز, orbe excentrique, I.0.18-27
 فلك شامل, orbe total, orbe englobant, I.7.2, I.21.5
 فلك الماء, orbe de l'eau, I.3.10
 فلك مائل, orbe incliné, I.9.1, I.9.5, I.12.1, I.24.1, I.24.13-16, I.25.2-8, I.25.11, I.25.13
 فلك مُدير, orbe rotateur, I.7.1, I.9.7, I.12.1, I.15.2-3, I.17.1, I.19.1-2, I.21.1, I.24.13-16, I.25.5-7, I.25.14
 فلك مُحيط, orbe englobant, I.21.1, I.21.5
 فلك مُمَثَّل, parécliptique, I.4.6, I.7.1, I.9.4, I.12.1, I.15.2-3, I.17.1, I.19.1-2, I.21.1
 فلك مُنتَصِبَة, كُرَة مُنتَصِبَة, sphère droite, II.2.4
 فلك مُعَدِّل المَسِير, orbe équiant, I.0.20, I.0.22, I.0.24
 فلك مُعَدِّل النَّهَار, orbe de l'équateur, I.0.36, I.3.1-2, I.3.5
 فلك مُكَوِّب, orbe des étoiles fixes (syn. orbe de l'écliptique), I.3.3
 فلك النار, orbe du feu, I.3.10, I.9.5
 فلك الهَوَاء, orbe de l'air, I.3.10
- فوق
 أفق, horizon, I.4.10, I.27.1, II.2.1-2, II.3.2, II.4.2-6, II.5.2, II.6.1, II.6.3, II.7.1-2, II.11.6-9
 أفق مائل, horizon incliné, II.3.1
- قب
 قبة الأرض, Dôme de la Terre, II.1.12
- قبل
 استقبال, opposition, I.9.3, I.26.7, I.28.2-4
 إقبال, trépidation, accès, I.0.28
 قِبْلَة, qibla, direction de la Ka'ba, II.12.3-8
 قوس انحراف القبلة, arc de déviation de la qibla, II.12.4, II.12.8
- قدر
 قدر الكوكب, magnitude (d'une étoile), I.5.1, I.31.30-32, I.31.38-39
- قطب
 قُطْب, pôle, I.7.8
- قطر
 أقطار الكواكب, diamètres apparents des planètes, I.31.24, I.31.44
 قُطْر, diamètre, I.24.2, I.24.4, I.25.2-6
 قُطْر عَرْضِيّ, diamètre des latitudes, I.24.23
 نصف قُطْر الشَّمْس / القَمَر, rayon apparent du Soleil / de la Lune, I.31.2-3, I.31.17
 نصف قطر التدوير المَرَبِّيّ, rayon de l'épicycle apparent, I.9.14-17, I.9.23, I.11.5, I.21.7, I.23.3-5, I.31.2
- قلب
 مدار المُنْقَلَب, tropique (litt. trajectoire du solstice), II.2.5
 مُنْقَلَب شَتَوِيّ, solstice d'hiver, I.3.5

- منقلب صَيْفِيّ, solstice d'été, I.3.5
- قمر, قَمَر, Lune, I.0.19, I.0.21, I.0.23, I.0.25, I.9-11, I.9-11, I.28, I.31.1-2, II.1.8, II.10.5
- قَمَر صَاعِد / هَابِط, Lune montante / descendante, I.9.28
- قنطر, مُقَنْطَرَات, muqantars, cercles parallèles à l'horizon, I.4.19
- قوس, قَوْس الرُّؤْيَا, arc de visibilité, I.27
- قَوْس الرُّجُوع / الاستقامة / arc direct, I.26.5
- قوم, تقويم, 1) calcul de la longitude vraie, 2) longitude vraie d'un astre, I.12.23, I.14.2, I.16.3, I.18.2, I.20.2, I.22.3, I.25.16
- تقويم الشَّمْس, Soleil vrai, I.7.12-14
- تقويم القَمَر, Lune vraie, I.9.34, I.25.16
- مُقَوِّم الكوكب, astre vrai (= longitude vraie de l'astre), I.12.23, I.15.6, I.25.17
- مُقِيم للرُّجُوع / للاستقامة, en station rétrograde / en station directe, I.26.5
- قيس, مِقْيَاس ج مَقَائِس, gnomon, I.0.40, II.1.7, II.4.8, II.12.1-2
- كيس, سَنَة الكَيْسَة / كَيْسَة, jour intercalaire / année de l'intercalaire, II.10.5-7
- كثف, كَثَافَة, opacité, I.28.8, I.31.48
- كسف
- كُسُوف, éclipse de Soleil, I.9.2, I.28.7-12, I.29.6-11
- كوكب ثابت, كَوَكَب ثَابِت, étoile fixe, I.3.3-4, I.3.7, I.3.9
- لرزق, أَلْرَق, agglutiner, coller, I.6.3
- لُون, COULEUR, II.1.4, II.1.21, II.2.10
- ليل, قَوْس اللَّيْلِ, arc nocturne, durée de la nuit, II.10.1
- محو, مَحْو, obscurcissement, I.9.30
- مر, اِخْتِلَاف المَمَرِّ, anomalie du passage, II.11.2
- مَمَرِّ دَرَجَة المَمَرِّ, degré de passage, I.4.7, II.11.1-3
- مَمَرِّ مُرُور, voir مَمَرِّ
- مَمَرِّ ج مَمَرَّات, passage (en général au méridien), I.4.7, II.7.4, II.8.1, II.11
- مرخ, مَرِيخ, Mars, I.0.22, I.2.4, I.17-18, I.24, I.27.1-2, I.31.22-24, I.31.27, I.31.35, I.31.44, I.31.48
- مِصْر, Égypte, II.1.8
- مَكَّة, La Mecque, II.12.3-8
- ميل, دَائِرَة المَيْل, cercle de déclinaison, I.4.7, II.7.4, II.11.1
- مَيْل غَايَة المَيْل, partie d'inclinaison maximale (dans un orbe incliné), I.19.2
- مَيْل, inclinaison, inclinaison maximale (*i. e.* mesure d'un angle dièdre), I.24.1, I.24.13-16

- مَيْلٌ أَوَّلٌ, première inclinaison, *i. e.* déclinaison, I.4.7
 مَيْلٌ التَّدْوِيرِ, inclinaison de l'épicycle, I.25.2, I.25.12
 مَيْلٌ ثَانِي, seconde inclinaison, *i. e.* par rapport à l'écliptique, I.4.8
 مِيلٌ جَ أَمِيَالٍ, mille (= 4 000 coudées modernes), I.30.5-6
 مَيْلٌ الْوَرَابِ, inclinaison de biais, I.25.2, I.25.12-13, I.25.15
- نزل
 مَنَازِلُ الْقَمَرِ, les maisons lunaires, I.5.9
- نسب
 دَقَائِقُ النِّسْبِ, coefficient d'interpolation, I.9.26, I.11.2, I.12.16, I.23.5
- نصف
 خَطُّ نِصْفِ النَّهَارِ, ligne méridienne, I.4.12, I.30.3, II.12.1-2
 دَائِرَةُ نِصْفِ النَّهَارِ, méridien, I.4.3, I.4.12, II.8.7, II.11.1-5, II.12.1
- نطق
 مِّنْطَقَةٌ, ceinture, I.7.8-10, I.24.5
- نظر
 مَنَظَرٌ جَ مَنَاطِرَ, image visuelle, I.31.45
 اِخْتِلَافُ الْمَنَظَرِ, parallaxe, I.9.29, I.28.9, I.29.6-7, I.31.1
 نَظَرٌ, vision, observateur (syn. بَصَرٌ), II.9.2
- نقل
 تَعْدِيلُ التَّنْقَلِ, équation du déplacement, I.9.25, I.25.16-17
- نهر
 تَعْدِيلُ النَّهَارِ, équation du jour, II.3.4-6, II.4.7, II.7.9, II.10.1
 قَوْسُ النَّهَارِ, arc diurne, durée du jour, I.4.17, II.1.22, II.3.5, II.10.1, II.10.3
- نور
 حَلَقَةٌ نُورَانِيَّةٌ, anneau lumineux (lors d'une éclipse annulaire), I.28.11
 نُورٌ, lumière, I.9.30, II.9.3
 النَّيِّرَانِ, les deux lumineux (Lune et Soleil), I.28.2
 نَيْرٌ, lumineux, I.28.1, I.31.46, I.31.48
 نِيلٌ, Nil, II.1.8, II.1.23-24
- هل
 هِلَالٌ, croissant (de Lune), I.28.2, I.28.6, I.28.11, II.10.5
- هند
 دَائِرَةُ هِنْدِيَّةٌ, cercle indien, II.12.2
 الْهِنْدِ, les Indiens, I.0.41, I.7.16, I.10.5, II.1.23-25
- هندسة
 هِنْدَسَةٌ, géométrie, I.1
- هياً
 هَيْئَةٌ, configuration, astronomie, I.0.17, I.24.12, II.1, préface
- وتد
 وَتَدٌ جَ أَوْتَادٌ, pivot (il y a 4 points de l'écliptique dits « pivots », dont le pivot de la Terre, وَتَدُ الْأَرْضِ), I.4.12
- وسط
 وَسَطٌ, astre moyen, I.7.5, I.9.14, I.12.19, I.15.6
 وَسَطُ الشَّمْسِ, Soleil moyen, II.8.3
 وَسَطُ الْقَمَرِ, Lune moyenne, I.9.33
- وسع
 سَعَةُ الْمَشْرِقِ / الْمَغْرِبِ, amplitude ortive / occase, II.2.4, II.3.4, II.4.7, II.5.5-8

وصل

مُتَّصِلٌ بَعْضُهُ بِبَعْضٍ, contigus, I.7.9,
I.15.8, I.17.6, I.19.7, I.21.10,
I.31.18-19

وقف

رُجُوعٌ, station, voir رجوع

ولد

المَوَالِيدُ الثَّلَاثَةُ, les trois règnes, I.0.4

يوم

النَّيْطَمِيرُ, اليومُ بِلَيْلَتِهِ جِ الأَيَّامُ بِلَيَالِيهَا
(litt. le jour avec sa nuit), I.8.1-2,
II.4.6-7, II.8, II.10.4

يَوْمٌ حَقِيقِيٌّ, jour vrai, II.8.1, II.8.4

كَبِيسَةٌ / يَوْمٌ مُسْتَرَقٌّ / يَوْمٌ لَاحِقٌ, jour
intercalaire / volé / supplémen-
taire, II.10.5-7

يَوْمٌ وَسْطِيٌّ, jour moyen, II.8.1, II.8.3

TABLE DES FIGURES PRIMAIRES

1	Trajectoires des centres des orbes du Soleil	165
2	Orbes solides du Soleil	167
3	Trajectoires des centres des orbes de la Lune	169
4	Orbes solides de la Lune	171
5	Trajectoires des centres des orbes de Saturne	173
6	Orbes solides de Saturne	175
7	Trajectoires des centres des orbes de Jupiter	177
8	Orbes solides de Jupiter	177
9	Trajectoires des centres des orbes de Mars	177
10	Orbes solides de Mars	177
11	Trajectoires des centres des orbes de Vénus	177
12	Orbes solides de Vénus	177
13	Trajectoire des centres des orbes de Mercure	179
14	Orbes solides de Mercure	181
15	. . . . .	183
16	. . . . .	183
17	. . . . .	185
18	Figure en forme de sapin	185
19	Sept climats	187
20	. . . . .	187
21	Deux cercles de déclinaison, deux triangles sphériques	189
22	Un cercle de déclinaison, deux triangles sphériques	189
23	. . . . .	191
24	. . . . .	191
25	. . . . .	193
26	. . . . .	193
27	Six divisions quand l'apogée est à la fin des Gémeaux	195
28	Horizon, triangle, perpendiculaire, Soleil, Terre	197
29	. . . . .	199
30	. . . . .	199

TABLE DES AUTRES FIGURES

I	Stemma	5
II	Les apories de l'orbe excentrique	13
III	Quand l'apogée de l'épicycle suit un point autre que le centre de l'orbe qui le porte	16
IV	Un orbe est un référentiel solide en mouvement	205
V	Les orbes du Soleil, figure initiale	209
VI	Le Soleil : transformations planes	213
VII	L'équation du Soleil	215
VIII	Les orbes solides du Soleil	216
IX	Une représentation moderne des orbes du Soleil et de la Lune, librement inspirée d'Ibn al-Šāṭir	216
X	Mouvement en latitude de la Lune	218
XI	Les orbes de la Lune, figure initiale	219
XII	La Lune, transformations planes	223
XIII	La Lune, coordonnées de $R_{P_1, u, 5^\circ}(P')$	226
XIV	L'équation de la Lune en 1331, sur 30 jours	228
XV	Le troisième modèle de la Lune dans l' <i>Almageste</i>	229
XVI	Latitudes de la Lune en 1331, sur 30 jours	231
XVII	Distance Terre-Lune en 1331, sur 30 jours	232
XVIII	La Lune dans le <i>Kitāb al-hay'a</i> d'al-'Urḍī	233
XIX	L'équation de la Lune selon al-'Urḍī	235
XX	La Lune dans la <i>Tadkira</i> de Ṭūsī	236
XXI	L'équation de la Lune selon Ṭūsī	238
XXII	La Lune dans la <i>Tuhfa</i> de Šīrāzī	239
XXIII	La Lune selon al-Šīrāzī et Ṣadr al-Šarī'a	241
XXIV	Équation de la Lune, meilleurs modèles jusqu'à Ibn al-Šāṭir	243
XXV	Distance Terre-Lune, modèles les meilleurs pour les longitudes	244
XXVI	Les orbes solides de la Lune	245
XXVII	Les orbes de Saturne, figure initiale et terminologie	247
XXVIII	Saturne, trois positions, projection orthogonale	249
XXIX	Saturne, inclinaison de l'orbe incliné	252
XXX	Latitudes de Saturne sur quinze ans, à partir de l'Époque	255
XXXI	Saturne, al-Ṭūsī, figure initiale	258
XXXII	Saturne, al-'Urḍī, figure initiale	259
XXXIII	Saturne, al-Šīrāzī, figure initiale	262
XXXIV	Démonstration d'équivalence entre les modèles en longitude de divers savants, selon Kennedy (1966)	263

xxxv	Saturne, orbes solides	265
xxxvi	Ibn al-Haytam's <i>iltifāf</i> , according to al-Ṭūsī	268
xxxvii	Saturne d'après la <i>Tadkira</i> II.11 [16]	269
xxxviii	Le couple curviligne d'al-Ṭūsī pour les latitudes	270
xxxix	Interprétation naïve de la solution d'al-Ṭūsī utilisant son « couple curviligne » pour les latitudes de Saturne	271
xl	Comparaison des modèles en latitude pour Saturne	273
xli	Vénus, trois positions, projections orthogonales	276
xlII	Vénus, comparaison des modèles pour les latitudes	279
xlIII	Erreur en longitude pour Vénus (Ibn al-Šāṭir et al-Ṭūsī)	281
xlIV	Mercure, figure initiale	283
xlV	Mercure, orbes solides	286
xlVI	Les longitudes de Mercure	287
xlVII	Erreur en longitude des modèles de Ptolémée, d'al-ʿUrḍī et d'Ibn al-Šāṭir pour Mercure	288
xlVIII	Les latitudes de Mercure	289
xlIX	Figure initiale, Mercure, al-ʿUrḍī et Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī	291

LISTE DES TABLEAUX

1	Fréquences cumulées de l'erreur absolue en degrés de longitude et latitude des modèles d'Ibn al-Šāṭir.	21
2	Planètes supérieures : synopsis des paramètres utilisés par Ibn al-Šāṭir . . .	257
3	Restitution d'un extrait des tables d'équations en longitude	296

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
1 Éléments biographiques	1
2 Les manuscrits de la <i>Nihāya</i>	3
3 Les concepts d'orbe et de mouvement	7
4 Les excentriques	9
5 Origine du mouvement de l'épicycle	15
6 Possibilité mathématique d'une nouvelle astronomie	15
7 Le projet d'Ibn al-Šāṭir a-t-il réussi ?	19
8 La deuxième partie de la <i>Nihāya</i>	21
9 Astronomie et cosmologie	22
10 Remerciements	23
Texte et traduction.	25
Partie I	26
I.0 Introduction	27
I.1 Fondements posés comme axiomes en géométrie	34
I.2 Fondements déjà établis	34
I.3 Disposition des orbes	35
I.4 Cercles remarquables et latitude locale	37
I.5 Le mouvement des étoiles fixes	41
I.6 Les mouvements par accident et les autres mouvements	44
I.7 L'orbe du Soleil et ses mouvements	47
I.8 Calcul de l'équation des nychtémères	51
I.9 Les orbes de la Lune et leurs mouvements	52
I.10 Détermination des mouvements de la Lune à une date donnée	59
I.11 La Lune vraie par les tables ou par le calcul	61
I.12 Configuration des orbes de Saturne	65
I.13 Les mouvements de Saturne et leurs conditions initiales à l'Époque	70
I.14 Détermination de Saturne vrai	71
I.15 Configuration nouvelle des orbes de Jupiter	72
I.16 Les mouvements de Jupiter	74
I.17 La configuration des orbes de Mars	74
I.18 Les mouvements de Mars	76
I.19 La configuration des orbes de Vénus	77
I.20 Les mouvements de Vénus	79

I.21	La configuration des orbes de Mercure selon notre méthode confirmée par l'observation	80
I.22	Les mouvements de Mercure	82
I.23	Calcul de l'équation des astres	83
I.24	Les latitudes des trois planètes supérieures : Saturne, Jupiter et Mars	85
I.25	Mouvements de Vénus et Mercure en latitude	90
I.26	Cause de la vitesse, de la lenteur, des stations et des rétrogradations des astres	95
I.27	Visibilité et invisibilité des cinq astres errants	97
I.28	Cause des éclipses de Lune et de Soleil	98
I.29	Intervalles entre les éclipses de Lune et de Soleil	101
I.30	Science de la forme de la Terre et de sa surface	103
I.31	Distances et grandeurs des corps	106
Partie II.	. . . . .	119
II.1	L'ensemble de la configuration de la Terre	119
II.2	Particularités de l'équateur terrestre	126
II.3	Particularités des lieux qui ont une latitude non nulle	128
II.4	Particularités des lieux dont la latitude ne dépasse pas le complément de l'inclinaison de l'écliptique	130
II.5	Particularités des lieux dont la latitude dépasse le complément de l'inclinaison de l'écliptique sans atteindre un quart de cercle	133
II.6	Particularités des horizons dont la latitude est égale à un quart de cercle	136
II.7	Les coascensions de l'écliptique	137
II.8	Durée des nyctémères, et leur équation	140
II.9	L'aurore et le crépuscule	142
II.10	Détermination des parties du jour, les heures, et des multiples des heures, les mois et les années	144
II.11	Les degrés de passage des astres au méridien, leurs levers, et leurs couchers	146
II.12	Méridien du lieu et azimut de la <i>qibla</i>	149
Notes de la traduction	. . . . .	152
Figures	. . . . .	164
Commentaire mathématique	. . . . .	201
1	Lemme d'al-'Urđī et couple d'al- Ṭūsī	201
2	Préliminaires	202

3	Précession des équinoxes	204
4	Unité de temps	206
5	Le Soleil	208
	5.1 Figure initiale	208
	5.2 Transformations géométriques	210
	5.3 Trajectoire	211
	5.4 Équation du Soleil	211
	5.5 Application	212
	5.6 Distances extrêmes et dimensions des orbes	212
	5.7 Diamètre apparent	214
6	La Lune	217
	6.1 Figure initiale	218
	6.2 Transformations géométriques	219
	6.3 Trajectoire paramétrée	221
	6.4 Transformations planes	221
	6.5 Équations de la Lune	222
	6.6 Fonction de deux variables et interpolation	224
	6.7 Trigonométrie sphérique	225
	6.8 Critique des modèles antérieurs	226
	6.9 La Lune chez al-‘Urđī	230
	6.10 La Lune chez al-Ṭūsī et al-Šīrāzī	235
	6.11 Comment expliquer le reproche qu’Ibn al-Šāṭir adresse à al-Ṭūsī concernant la Lune ?	241
	6.12 Calibrage du modèle lunaire d’Ibn al-Šāṭir	243
7	Planètes supérieures	246
	7.1 Saturne : figure initiale	246
	7.2 Saturne : transformations géométriques	246
	7.3 Saturne : trajectoire paramétrée	248
	7.4 Transformations planes	249
	7.5 Les équations de Saturne	250
	7.6 Fonction de deux variables et interpolation	251
	7.7 Trigonométrie sphérique	253
	7.8 Les inclinaisons des petits orbes	254
	7.9 Comparaisons	254
	7.10 Les longitudes des planètes supérieures chez al-Ṭūsī, al-‘Urđī et al-Šīrāzī	256
	7.11 Sections planes des orbes solides de Saturne	264
	7.12 Genèse du modèle des latitudes des planètes supérieures	266
8	Vénus	274

8.1	Figure initiale	274
8.2	Transformations géométriques	274
8.3	Trajectoire paramétrée	275
8.4	Transformations planes et équations de Vénus	277
8.5	Trigonométrie sphérique	277
8.6	Les inclinaisons des petits orbes	278
8.7	Second modèle	278
8.8	Comparaison	278
8.9	Les orbes solides de Vénus	280
8.10	Le mouvement en longitude de Vénus selon al-Ṭūsī	280
8.11	Comparaison	281
9	Mercure	282
9.1	Mercure selon Ibn al-Šāṭir	282
9.2	Équations de Mercure et formule d'interpolation	284
9.3	Les orbes solides de Mercure	285
9.4	Comparaisons	285
9.5	Les modèles d'al-'Urḍī et de Quṭb al-Dīn al-Širāzī pour Mercure	287
9.6	Calibrage du modèle d'Ibn al-Šāṭir pour Mercure	290
10	Tables d'équations en longitude	295
	Bibliographie	297
	Index nominum	303
	Index rerum.	304
	Table des figures primaires	317
	Table des autres figures	319
	Liste des tableaux.	321
	Table des matières	323

CE LIVRE EST DISPONIBLE SOUS LICENCE
Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

CE LIVRE EST DÉRIVÉ D'UNE VERSION PRÉLIMINAIRE « v1 »
POSTÉE SUR ARXIV EN 2017. LA PRÉSENTE VERSION « v2 » EST ACCESSIBLE
À L'ADRESSE <https://arxiv.org/pdf/1709.04965v2> SOUS FORME
D'UN FICHIER PDF PRÊT À IMPRIMER AU FORMAT A4 RECTO-VERSO.
LES REPÈRES AU BORD GAUCHE DE LA 1^{re} DE COUVERTURE FACILITENT
LA RÉALISATION D'UNE RELIURE COUSUE « À LA JAPONAISE ».

CE LIVRE EST DISTRIBUÉ DANS L'ESPOIR QU'IL SOIT LU ET ÉTUDIÉ,
MAIS SANS AUCUNE GARANTIE, PAS MÊME CELLE QU'IL SOIT CONFORME
AU CANON D'UNE DISCIPLINE INTELLECTUELLE PARTICULIÈRE.

COPYRIGHT © 2021 ERWAN PENCHÈVRE

ISBN : 978-2-9577956-0-4