

La *Nihāya al-sūl fī taṣḥīḥ al-’uṣūl* d’Ibn al-Šāṭir

Édition, traduction et commentaire

Erwan Penchèvre

# Table des matières

Introduction générale	6
Édition et traduction	28
Préface	28
Introduction	32
I.1 Fondements posés comme axiomes en géométrie	50
I.2 Fondements déjà établis	52
I.3 Disposition des neuf orbes	54
I.4 Cercles remarquables et latitudes des pays	60
I.5 Le mouvement des étoiles fixes, et une notice sur leurs changements de position causés par les déplacements vers l'Est ou vers l'Ouest	70
I.6 Les mouvements par accident et les autres mouvements	76
I.7 L'orbe du Soleil et ses mouvements	84
I.8 Calcul de l'équation des nyctémères	102
I.9 Les orbes de la Lune et leurs mouvements	104
I.10 Détermination des mouvements de la Lune à une date donnée	122
I.11 La Lune vraie par les tables ou par le calcul	130

I.12 Configuration des orbes de Saturne selon la vraie méthode	140
I.13 La régulation des mouvements de Saturne et leurs conditions initiales à l'Époque	156
I.14 Détermination de Saturne vrai	158
I.15 Configuration nouvelle des orbes de Jupiter	160
I.16 Régulation des mouvements de Jupiter	170
I.17 La configuration des orbes de Mars d'après notre description, avec une notice sur les cercles trajectoires des centres des sphères solides	172
I.18 Régulation des mouvements de Mars	182
I.19 La configuration des orbes de Vénus selon notre méthode, avec une notice sur les cercles trajectoires des sphères solides	184
I.20 Régulation des mouvements de Vénus	194
I.21 Configuration des orbes de Mercure selon notre méthode confirmée par l'observation	196
I.22 Régulation des mouvements de Mercure	206
I.23 Calcul de l'équation des astres	208
I.24 Latitudes des trois planètes supérieures : Saturne, Jupiter et Mars	214
I.25 Mouvements de Vénus et Mercure en latitude, en deux parties	230
I.26 Cause de la vitesse, de la lenteur, des stations et des rétrogradations des astres	242
I.27 Visibilité et invisibilité des cinq astres errants	250
I.28 Cause des éclipses de Lune et de Soleil, en deux sections	252
I.29 Les intervalles de temps entre les éclipses de Lune et de Soleil	258

I.30 Science de la forme de la Terre et de sa surface	264
I.31 Conclusion : distances et [grandeurs] des corps	270
II.1 L'ensemble de la configuration de la Terre et ce qui l'entoure	305
II.2 Particularités de l'équateur terrestre	321
II.3 Particularités des lieux qui ont une latitude [non nulle]	329
II.4 Particularités des lieux dont la latitude ne dépasse pas le complément de l'inclinaison [de l'écliptique]	337
II.5 Particularités des lieux dont la latitude dépasse le complément de l'inclinaison [de l'écliptique] sans atteindre un quart de cercle	343
II.6 Particularités des horizons dont la latitude est égale à un quart de cercle	352
II.7 Les coascensions de l'écliptique	356
II.8 Comment déterminer la durée des jours avec leurs nuits, et leurs équations	362
II.9 L'aurore et le crépuscule	370
II.10 Détermination des parties du jour, les heures, et des multiples des heures, les mois et les années	378
II.11 Les degrés de transit des astres au méridien, leurs levers, et leurs couchers	384
II.12 Détermination du méridien du lieu et de l'azimut de la <i>qibla</i>	390

Commentaire mathématique	399
Bibliographie	496
Index	500

# Introduction générale

En 2009, j’avais lu l’*Almageste* de Ptolémée et la *Configuration des mouvements* d’Ibn al-Haytham, et j’avais suivi un cours de Régis Morelon sur l’histoire de l’astronomie ancienne. Fier de mes balbutiements en arabe, c’est avec ce bagage que je suis allé voir Roshdi Rashed. Je souhaitais étudier un texte médiéval arabe d’astronomie, il m’a suggéré de me pencher sur la *Nihāya al-sūl fī taṣḥīḥ al-’Uṣūl* d’Ibn al-Šāṭir et 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 (p. 28-397) sont l’œuvre d’un débutant surtout intéressé par les questions mathématiques. Le commentaire mathématique (p. 399-493) tient donc une place qui m’est chère ; j’y ai seulement analysé la “théorie planétaire” contenue dans la première partie de la *Nihāya*<sup>1</sup>.

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.

**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-Šāṭir<sup>2</sup>. 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 (quadrants<sup>3</sup>), des cadrans solaires, et des astrolabes<sup>4</sup>. Il y a à l’Observatoire de Paris un astrolabe qu’il aurait construit en 1326 : il avait alors seulement vingt ans<sup>5</sup>. Un contemporain a décrit un astrolabe automatique qu’Ibn al-Šāṭir exposait dans sa propre demeure<sup>6</sup>. *Muwaqqit* à la Mosquée de Damas, chargé de calculer les heures

---

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-’uṣūl* d’Ibn al-Šāṭir.

2. Pour le présent paragraphe, mes principales sources sont [42] et [15].

3. Cf. [38] 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, cf. [39] 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 B. N. F., pour cette dernière information qu’elle tient d’un ouvrage d’A. Turner à paraître en 2017. Une photographie figure dans [18] 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 : *ṣana’ahu ‘alā b. ibrahīm b. muḥammad b. abī muḥammad b. ibrahīm sana sitta wa-’ishrūn wa-sab’a-mi’a*. D. A. King fait l’analyse détaillée de cet instrument dans [18] t. 2 p. 692-693.

6. Dans la traduction de Sauvaire [37] t. 2 p. 263, l’historien al-Ṣafādī contemporain d’Ibn al-Šāṭir rapporte : “je l’ai vu plus d’une fois et suis entré dans son logis au mois de

des prières, 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<sup>ème</sup> siècle, "le cadran solaire le plus sophistiqué de la période médiévale" selon David A. King<sup>7</sup>. 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-ghāyā fī a'māl al-falakīyāt*, ouvrage aujourd'hui perdu qui aurait été un *zīj* (recueil de tables astronomiques) strictement ptoléméen<sup>8</sup>.

– *Ta'liq 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'liq al-arṣād*.

– *Al-zīj al-jadīd* : un *zīj* construit au moyen des modèles décrits dans la *Nihāya*. De nombreuses copies sont conservées<sup>9</sup>.

Que retenir de ces quelques repères biobibliographiques ? Tôt astronome de métier, il ne faut pas chercher dans 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 aussi des instruments d'observation, et il est assez remarquable que l'observation soit le sujet d'un de ces titres, hélas perdu.

**Les manuscrits de la *Nihaya*** Voici les manuscrits dont j'ai connaissance :

- Oxford, Bodleian Library, Marsh 139, que je désignerai par la lettre A [A, 1]. Il compte 64 *folii*. Le colophon indique qu'il a été copié en 768 [=1366]. La page de titre désigne l'auteur comme suit : *al-šayḥ al-imām abū al-ḥaṣan 'alī b. ibrahīm b. muḥammad b. al-humām abī muḥammad b. ibrahīm b. 'abd*

*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. Cf. [18] t. 2 p. 85. Louis Janin en a donné une description en 1972, cf. [8] 108-121 ; une photographie de la pierre dédicatoire est à la p. 72, un dessin à l'échelle de la copie d'al-Ṭanṭāwī (1873) à la p. 112, et une photographie du style p. 111.

8. d'après la description qu'en donne Ibn al-Šāṭir lui-même dans son *Zīj al-jadīd*.

9. Une description précise de ce *zīj* est donnée par Kennedy [11].

*al-raḥman al-anṣārī al-muwaqqit bi-al-jāmi‘ al-ummawīy al-ma‘rūf bi-ibn al-ṣāṭir.*

- Oxford, Bodleian Library, Marsh 290 [B, ب], 63 *folii*. Une date, 941 [=1535], est indiquée f. 1r.

- Oxford, Bodleian Library, Marsh 501 [C, خ], 71 *folii*. La page de titre indique qu’il a été copié en 984 [=1577].

- Oxford, Bodleian Library, Hunt 547 [D, د]. Ce sont les f. 21 à 65 d’un codex datant de 979 [=1571]. Les portions inférieures des f. 26r-30v manquent car elles ont dû être endommagées lors d’un incendie.

- Bibliothèque de Leyde, Or 194 [E, ه], 101 *folii*, sans date.

- Bibliothèque Nationale d’Egypte, 1.2.15 [F, ف], 74 *folii*, abîmé, date d’environ 1325 [=1907], et ne contient que les onze premiers chapitres de la première partie<sup>10</sup>.

- Bibliothèque Suleymaniyye, 339 [S, س], 70 *folii*, 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 existant<sup>11</sup>.

- Jérusalem, Bibliothèque Khālidiyya, n°66/5 [Q, ق]. D. A. King indique dans [15] que ce manuscrit contient une copie de la *Nihāya* sous le titre de *Risāla fī al-hay’a al-jadīda*.

Je n’ai eu accès qu’à A, B, C, D et E. J’ai établi le texte des onze premiers chapitres de la première partie sur la base de ces cinq manuscrits ; pour la suite, bien que m’aidant parfois de B et E, je n’ai finalement retenu que A, C et D dans l’apparat critique. Dès le début, j’ai seulement indiqué les numéros de *folio* pour A, C et D en marge de mon édition.

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. E en commet de nombreuses<sup>12</sup>, parfois par saut du même au même. B présente des signes de ressemblance avec E : certaines

10. Ces informations proviennent du catalogue de D. A. King [16].

11. Cf. [35] p. 36. Dans [27] p. 115, Saliba indique en effet quelques différences notables concernant le chapitre sur la Lune.

12. Ainsi p. 66 l. 14-15, p. 94 l. 2-3, p. 114 l. 16, p. 234 l. 7, p. 240 l. 12, *etc.*

omissions de B sont aussi commises par E mais corrigées par des ajouts en marge de E<sup>13</sup>. Il est difficile d'en tirer une conclusion concernant la relation entre B et E car il arrive qu'une omission dans B ne soit pas commise dans E<sup>14</sup>. Bien que B commette beaucoup moins d'omissions que E, il présente certains signes de gaucherie qui m'ont finalement conduit à le négliger<sup>15</sup>. Plusieurs omissions sont propres à C et D<sup>16</sup>; certaines ont toutefois été corrigées dans C, en marge<sup>17</sup>. 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 C qui présente pourtant d'autres omissions en sus de celles partagées avec D<sup>18</sup>. De rares omissions<sup>19</sup> propres à B, C, D et E, et non commises par A, n'ont pas suffi à me convaincre que B, C, D et E auraient un ancêtre commun non partagé avec A. Sauf une exception<sup>20</sup>, je n'ai repéré aucune omission propre à A. Tous ces indices renvoient au *stemma* de la figure 1.

D. A. King mentionne que V. Roberts avait préparé une édition et une traduction anglaise de la *Nihāya* qui n'ont pas été publiées<sup>21</sup>. G. Saliba a indiqué, il y a trente ans, que sa propre édition critique serait bientôt prête<sup>22</sup>, 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 tables<sup>23</sup>, mais ceci ne figure pas dans le plan donné en introduction. Ce

13. Ainsi p. 50 l. 10-11 et p. 54 l. 2; mais *toutes* les omissions *n'ont pas* été corrigées, ainsi p. 46 l. 2 (un seul mot).

14. Rarement, ainsi p. 130 l. 9.

15. Ainsi p. 34 l. 9-10 où B déplace le pronom possessif, trompant le lecteur quant à l'attribution d'une doctrine à l'auteur; p. 312 l. 1-3 où B et E commettent un contre-sens (corrigé en marge de E) en inversant deux négations; p. 56 l. 8 où B et E ajoutent deux mots qui nuisent au sens (dans E, ils ont ensuite été barrés); p. 76 l. 14-15, encore un contre-sens par inversion qui cette fois-ci est pire dans E, car mal corrigé. Comparées à A, C et D, les figures dans B et E sont aussi d'une qualité assez pauvre: ainsi aux figures p. 97 et 99, B et E commettent plusieurs erreurs concernant la position des orbes du Soleil dans les quadratures et les octants, et même à l'apogée dans E.

16. Ainsi p. 312 l. 14-15 et p. 394 l. 7-8. La figure des trajectoires des centres des orbes de Mars p. 179 est aussi omise par C et D seulement.

17. Ainsi p. 394 l. 5-6. À la p. 90 l. 1-2, une longue omission par saut du même a été corrigée en marge de C; 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.

18. Ainsi p. 124 l. 2-4, p. 132 l. 15, p. 138 l. 5.

19. Ainsi p. 74 l. 12-13 et p. 112 l. 19.

20. Page 254 l. 22, un mot seulement.

21. Cf. [15], p. 362, note 1.

22. Cf. [34].

23. Cf. p. 303 et 319 *infra*.

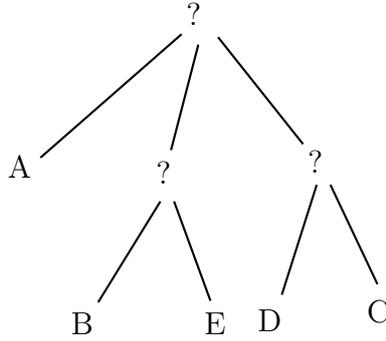


FIGURE 1 – *stemma*

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-zīj al-jadīd*. Fuad Abbud a montré en 1962 que les tables du *Zīj al-jadīd* peuvent être calculées au moyen des modèles de la *Nihāya*<sup>24</sup>. 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 le *Zīj al-jadīd*.

**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 Maragha (XIII<sup>ème</sup> 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 Ṭūsī [2] et de Saliba sur ‘Urḏī [35], 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

---

24. Cf. [8] p. 73-80.

al-Haytham au XI<sup>ème</sup> 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 (orbés)
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 (orbés)
  - (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 <sup>25</sup> :

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)

---

25. Cf. [2] p. 100.

- ii. volitif (orbis)
- 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 s'écarte probablement des autres tenants de cette doctrine en affirmant que le mouvement des astres est « simple-composé » et que les orbis 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 orbis 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<sup>26</sup>. 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 orbis qui l'entraînent. On peut donc bien parler d'un mouvement à la fois simple et composé<sup>27</sup>. Chaque mouvement simple, en tant que composé avec d'autres mouvements communiqués au mobile « par 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 orbis, 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-bas<sup>28</sup>, c'est bien plus souvent *un corps solide* à

---

26. 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, cf. [3] p. 47).

27. Ibn al-Šāṭir insiste sur l'impuissance phénoménologique de l'observateur dans le sixième chapitre, p. 77 *infra*.

28. Ainsi p. 163 *infra*.

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 sphères<sup>29</sup>. Le caractère impénétrable des orbes solides impose certaines contraintes cosmologiques qu'Ibn al-Šāṭir ne se prive pas de mettre à profit<sup>30</sup> 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 exemple<sup>31</sup>.

**Les excentriques** Si les savants de Maragha semblent avoir ignoré la naissance d'une cinématique céleste entre les mains d'Ibn al-Haytham, 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*. 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  $O_1$  le centre d'un orbe "excentrique" portant un point  $P$ . Alors  $O_1 \neq O$ . On notera aussi, sur ce cercle, l'apogée  $A$  dans la direction du point  $O$ . 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  $O$  (*cf.* figure 2(i)).

*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 mu autour de  $O$ , et ce mouvement entraîne tout l'orbe excentrique et l'apogée  $A$ . 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. *Cf.* fig. 2(iii).

*Cas 4.*  $O_1$  est mu autour de  $O$ , et ce mouvement entraîne tout l'orbe excentrique et l'apogée  $A$ . La planète  $P$  est mue le long du cercle de centre

29. *Cf.* par exemple les figures p. 97 et 99 *infra* pour le Soleil.

30. Dans la conclusion de la première partie, p. 270 et suivantes.

31. *Cf.* les chapitres 24 et 25, p. 214-241, et mon commentaire p. 400.

$O_1$ , à vitesse angulaire constante par rapport à  $O_1$ .

Les astronomes de Maragha 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 irrégulier, avec ses accélérations, rétrogradations, *etc.*<sup>32</sup>. Si l'on admettait des mouvements circulaires non uniformes, il ne serait plus besoin d'orbites multiples, d'excentriques, ni d'épicycles : 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 diurne<sup>33</sup>, 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<sup>e</sup> siècle, imposent aussi au Soleil le mouvement de précession et le mouvement de l'Apogée, 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 p. 35 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'Apogée et tout l'excentrique se mouvoir d'un mouvement de révolution autour du centre du Monde : on rétablit 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'apogée 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 orbites 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 orbe<sup>34</sup>. Ibn al-Šāṭir et

---

32. *cf.* p. 39 *supra*.

33. qui entraîne le point  $O_1$  et l'apogée  $A$  en un tour toutes les vingt-quatre heures autour de  $O$ .

34. *Cf.* figure 2(ii) p. 18, et prop. 1 p. 399 *infra*.

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. 2(iii)) ? 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  $P$  (cf. figure 2(v)) ; car la substance de l’éther était certainement conçue comme impénétrable. Chez les prédecesseurs 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 (cf. fig. 2(vi)), compliquant ainsi davantage la hiérarchie des corps célestes<sup>35</sup>. 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 rayon de l’orbe le portant : il ne contient plus le point  $O$  (cf. figure 2(iii) et (iv)). En général, c’est la situation de la fig. 2(iv) 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 Ptolémée<sup>36</sup>. Les astronomes de Maragha étaient parvenus à remplacer, dans chaque modèle ptoléméen, l’excentrique de la fig. 2(iii), dont

35. 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 ?

36. Sauf le Soleil mentionné dans le cas 1.

le mouvement n'est pas uniforme par rapport à  $O_1$ , par un déférent en rotation uniforme par rapport à son centre. Pour ce faire, il faut changer la position de  $O_1$ , adjoindre un épicycle, *etc.* : je décrirai ces modèles dans mon commentaire, ils relèvent en général du cas 4. Ibn al-Šāṭir quant à lui préfère toujours une solution usant de la figure 2(iv) *sans excentrique*, même quand elle est cinématiquement équivalente à la figure 2(iii). Pourquoi ?

G. Saliba a qualifié une telle attitude de “purisme”<sup>37</sup>. 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 Copernic<sup>38</sup> ; 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 Maragha leurs modèles usant de la fig. 2(iii), c'est en fait la démonstration de ces modèles qui est l'objet du reproche.*

Quand les auteurs de Maragha démontrent, ils le font en prouvant que le mouvement décrit par l'astre dans leur modèle est *proche* du mouvement décrit par l'astre *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<sup>39</sup> dans leurs efforts pour comprendre la genèse

37. Cf. [35] p. 66.

38. Cf. [26]. 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-Neugebauer [40] :

- le modèle des planètes supérieures du *Commentariolus* de Copernic est identique au modèle d'Ibn al-Šāṭir après changement d'origine
- le modèle des planètes supérieures du *De revolutionibus* est identique à celui de 'Urḍī (lui-même cinématiquement équivalent au modèle d'Ibn al-Šāṭir)
- les modèles des planètes inférieures dans le *De revolutionibus* sont une adaptation facile de ceux d'Ibn al-Šāṭir
- 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 (cf. [26] 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.

39. Cf. la figure dans [8] p. 88 ; je l'ai reproduite en fig. 33 p. 462 *infra*. Je ne me priverai pas de tels outils que j'ai résumés dans les propositions 1, 2 et 3 de mon commentaire p. 399 ; 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 ([8] p. 60), il me semble que les travaux de ce dernier se situent à un autre niveau.

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<sup>40</sup> 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 [34] 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.

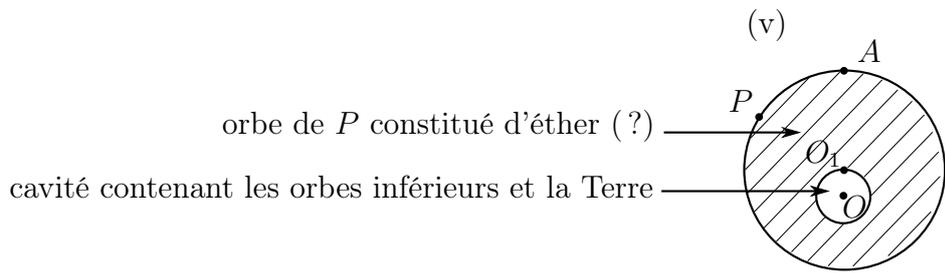
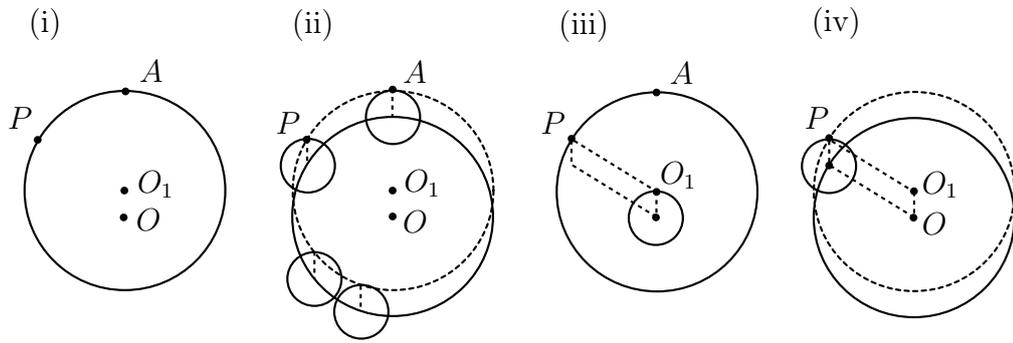
Cette conjecture que certains jugeront peut-être audacieuse s'est graduellement imposée à moi ; elle devrait gagner en plausibilité à la lecture du texte et du commentaire ; hélas, seul l'ouvrage perdu *Commentaire des observations* pourrait l'infirmier ou l'étayer pleinement.

**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 suive 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  $P$  (*cf.* fig. 3 p. 19). 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

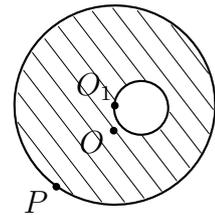
---

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<sup>e</sup> siècle (*cf.* l'usage des projections cylindrique et conique dans le *Traité sur l'astrolabe* d'al-Qūhī étudié dans [29] et [1] ; plus généralement, voir l'introduction de [28]).

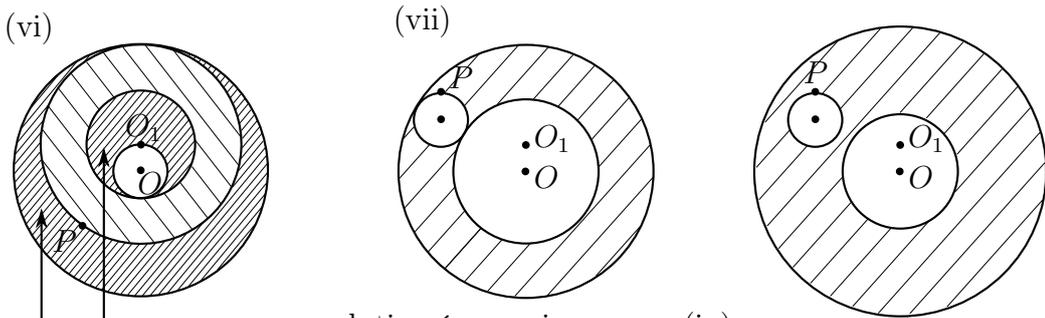
40. C'est un modèle qui n'utilise pourtant aucun orbe excentrique au sens ci-dessus, *cf.* fig. 19 p. 436 *infra*.



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



Impossible! La Terre est en  $O...$



solution économique pour (iv)

deux composantes connexes  
 d'un même orbite  
 contenant l'orbite de  $P$

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

FIGURE 2 – Les apories de l'orbite excentrique

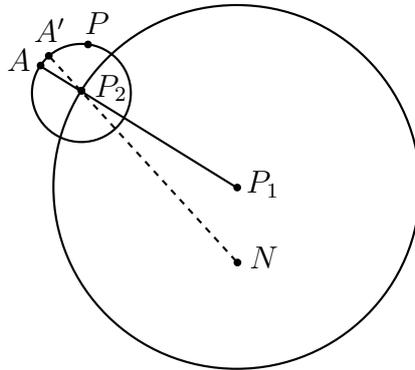


FIGURE 3 – Quand l’apogée de l’épicycle suit un point autre que le centre de l’orbe qui le porte

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’épicycle<sup>41</sup>. 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 *équant*, 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 ?

41. Cf. [21] p. 186-187.

**La 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 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 Maragha et par Ibn al-Šāṭir décrivent aussi les latitudes des astres<sup>42</sup>. J'ai montré dans [22] 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 planètes<sup>43</sup>. 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 sur de nouvelles observations ; mais il s'agit bien d'un modèle composé exclusivement de mouvements de rotation uniforme<sup>44</sup>.

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

---

42. 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, *cf.* [5] 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.

43. *Cf.* commentaire mathématique *infra*, p. 444-474 pour les planètes supérieures, p. 482-493 pour Mercure.

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

harmoniques, d'où une expression de la forme :

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

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 :

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

où les  $\mathbf{u}_k$ ,  $\mathbf{v}_k$  sont des vecteurs constants et les  $\alpha_k$  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  $\cos \alpha \cdot \mathbf{u} + \sin \alpha \cdot \mathbf{v}$  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 :

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

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 :

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

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  $(\cos \alpha \cdot \mathbf{u}_1 + \sin \alpha \cdot \mathbf{v}_1)$  et  $(\cos \alpha \cdot \mathbf{u}_2 + \sin \alpha \cdot \mathbf{v}_2)$  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  $(\star)$ , 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  $\alpha_k$  autour du vecteur  $\mathbf{w}_k$ ; l'équation  $(\star)$  devient alors :

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

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

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

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

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

Bien que cette représentation ne soit pas unique, on tient là une description du mouvement comme composée 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.*

**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 pour calculer les fréquences propres et les 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 longitude<sup>45</sup> et de la latitude, calculées au moyen de différents modèles à comparer (les modèles de Ptolémée, ceux des savants de Maragha, 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'IMCCE<sup>46</sup>. 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 latitude 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 choisi 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*<sup>47</sup>, on retiendra que la précision des prédictions délivrées par les modèles 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.

**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

---

45. *L'équation en longitude* désigne l'écart entre la longitude de l'astre et sa longitude moyenne.

46. 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, selon [6] 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.

47. 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'.

fréquence	Soleil		Lune		Mercure		Vénus	
	lon.	lon.	lon.	lat.	lon.	lat.	lon.	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	
	lon.	lat.	lon.	lat.	lon.	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'

TABLE 1 – Fréquences cumulées de l’erreur absolue en degrés de longitude et latitude des modèles d’Ibn al-Šāṭir.

[13] des Kennedy pour identifier les toponymes. Le *Zīj al-jadīd* 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 *Zīj*, ni l’inverse. Il est fait mention, dans ce chapitre de la *Nihāya*, d’une carte des fleuves et des montagnes hélas absente des manuscrits que j’ai consultés<sup>48</sup>.

**Astronomie et cosmologie** La première partie de la *Nihāya*, si originale, se conclut sur des considérations cosmologiques, dans la lignée du *Livre des Hypothèses* 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 Lune<sup>49</sup>. 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

48. Cf. p. 313 *infra*. Un vague schéma fait peut-être office de carte dans les manuscrits C f. 52v et D f. 54v ; je ne l’ai pas reproduit.

49. Cf. note 179 p. 275 *infra*

al-‘Urḍī à Maragha ; 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 secondes<sup>50</sup> : 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’orbites<sup>51</sup> ! 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 79088 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-Šāṭir donne, pour la première fois, une estimation raisonnable des variations relatives de la distance Terre-Lune<sup>52</sup>.

**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, Valeria Candeli, Aline Auger, Lila Lamrani, Houda Ayoub, les lecteurs anonymes de mon article [22], et Françoise mon épouse ; ce travail n’aurait pu voir le jour sans votre aide. Merci.

---

50. Quatre secondes : la durée qu’il faut à un homme “pour compter rapidement jusqu’à six”, *cf.* 297 *infra*.

51. Voir fig. 2(viii) p. 18 *supra* : rien n’empêche la présence de matière superflue en deçà et au delà des épicycles dans les orbites déferents.

52. *Cf.* fig. 16 p. 431 *infra*.

# Édition et traduction

## كتاب نهاية السؤل في تصحيح الأصول

بسم الله الرحمن الرحيم اللهم صل على محمد وآله الحمد لله حمداً يليق  
بجلاله، وصلى الله على سيدنا محمد وآله.

وبعد فإنه يقول علي بن إبراهيم بن محمد بن الشاطر المؤقت بالجامع  
الأموي، عفا الله عنه :

غرضنا ان نورد في هذه المقالة هيئة أفلاك الكواكب على الوجه الذي  
ابتكرناه، وهو السالم من الشكوك الموافق للإرصاد الصحيحة، مجردةً عن  
البراهين، بقولٍ وجيز ليسهل الإطلاع عليها، والإنتفاع بها. ونضيف الى ذلك  
ما يجب اضافته ممّا يحتاج اليه ونستدلّ عليه من الأصول والمسائل الضرورية.  
وهذا مطلبٌ جليلٌ، اذ يعرف به أحوال الأجرام العلوية والسفلية من جهة  
كمياتها، ومقادير الأبعاد والأجرام العلوية والسفلية من جهة كمياتها، وبعض  
كيفياتها، وأوضاع حركاتها، ومقاديرها وجهاتها، ومقادير الأبعاد والأجرام وما يتفرع  
من ذلك ممّا هو معلومٌ مشهورٌ.

وقد تقدّم بطلميوس وغيره من المتقدمين والمتأخرين بوضع أصولٍ، إلا أنّها  
لا تفي بالمطلوب، لأنّها مخالفةٌ لما قد تقرّر من الأصول الهندسيّة والطبيعيّة.  
وقد اورد جماعةٌ من محقّقي هذا العلم على تلك الأصول شكوكاً يقينيه. واوردنا  
نحن شكوكاً آخر وقفنا عليها بالرصد وغيره.

ولم يمكن من كان قبلنا وضع أصول تفي بالمقصود من غير مخالفةٍ  
للإرصاد الصحيحة، كما ذكروا في كتبهم. وقد تتبّعنا تلك الشكوك الواردة  
على تلك الأصول، وشرحنا ذلك في كتابنا الذي سميناه بتعليق الإرصاد. ونورد  
هذه الشكوك في أوّل هذه المقالة من غير براهين عليها ولا شرح لها، حتّى  
يعلم عذرنا فيما قلناه، وعظم فائدة ما ابتكرناه. ولا يعلم ذلك إلا من احاط  
علمًا بما ابتكرته المتقدمون والمتأخرون، من مخالفة تلك الأصول لما يجب  
من الأصول، وإستفراغ الجهد منهم على وضع أصول تفي بالمقصود.

<sup>٢</sup> صلى الله : صلى الله وسلم [ج] ° عفا الله عنه : رحمه الله [د،ج] <sup>٩</sup> نستدلّ : يستدلّ  
[د،ج] <sup>١٠</sup> أحوال الأجرام : احوال الأجرام [أ] <sup>١٤</sup> بوضع أصول : بوضع [د،ج] <sup>١٥</sup> قد : ناقصة  
[ج] <sup>٢٣</sup> ابتكرته المتقدمون والمتأخرون : ابتكرته المتقدمون والمتأخرون [أ] <sup>٢٢</sup> تلك : سلك [ج]  
<sup>٢٤</sup> إستفراغ : إستفراغ [أ]

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

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux ; louer Dieu convient à sa Majesté ; que Dieu bénisse notre seigneur Mahomet et sa descendance.

‘Alī b. Ibrāhīm b. Muḥammad b. al-Šāṭir, *muwaqqit*<sup>53</sup> 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 et nous le 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 observations*<sup>54</sup>. 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.

---

53. Qui observe et indique l’heure de la prière.

54. *Ta’līq al-arṣād*, ouvrage perdu d’Ibn al-Šāṭir.

فلم يوفّقوا لذلك، وقد وفق الله تعالى وله الحمد للأمل المعجوز عنه، وذكرنا جميع مقدّمات هذه الأصول، وما يتفرّع منها والبراهين عليها في كتاب تعليق الإرساد. وغرضنا ان نجرّد تلك الاصول عن البراهين، ونورد تلك الشكوك كما قلنا، ونسأل الله التوفيق والعصمة. وقد جعلتها تشتمل على مقالتين أمّا المقالة الأولى فإنّها مشتملة على ثلاثين بابًا وخاتمة فالمقدمة نذكرها في فصلين.

---

١ تعالى: ناقصة [أ] ١ للأمل: للأمر [أ] ٢ كتاب: كتابنا [ج] ٣ على مقالتين أمّا المقالة الأولى فإنّها مشتملة على ثلاثين بابًا وخاتمة فالمقدمة: على مقدمة وخاتمة أمّا المقدمة [أ، د]. كتب في هامش [د] «و ثلاثين بابًا» ٤ نذكرها في فصلين: في الهامش [أ]

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

## المقدمة الفصل الأول

اعلم ان العالم اسم لما حواه السطح الظاهر من الفلك الأعلى الأول المسمى  
محدد الجهات اذ به وبمركزه تتحدّد جهتا العلو والسفل. وهو البسيط المطلق.  
والأجسام تنقسم الى بسيط ومركب. فالبسيط ما يتشابه أجزاءه وطباعه،  
اعني لا ينقسم الى اجسام مختلفة الصور والطباع ؛ بل له طبيعة واحدة يصدر  
عنها ما يصدر على نهج واحد. والمركب ضدّه.

والبسيط، ينقسم الى اثيري وعنصري. فالاثيري، هو الأفلاك بما فيها من  
الكواكب. ويسمّى العالم العلوي وعالم الأفلاك والسموات. والقسم الثاني، هو  
العناصر الأربعة المشهورة. ويسمّى الاستقصات بما فيها من المركّبات. ويسمّى  
بالعالم السفلي وعالم الكون والفساد ومكان العناصر والمركّبات منها تحت فلك  
القمر.

وينقسم الى تامّ التركيب حافظ الصورة مدّةً والى غير تامه غير حافظ للصورة.  
والقسم الأوّل، هو المواليد الثلاثة، وهي المعدن، والنبات، والحيوان. فالمعدن  
ما لا يكون فيه قوّة نامية، والنبات ما فيه قوّة نامية من غير ادراك، والحيوان ما  
فيه قوّة نامية مع ادراك. والقسم الثاني من المركب، هو المسمّى بالاثار العلوية،  
كالسحب والشهب ذوات الاذنان ونحوها. وأمكنة المركّبات أمكنة الجزئ الغالب  
فيها، مع عدم المجاذبات.

والحركة هي كون الشيء المتحرّك فيما بين المبتدأ والمنتهى، بحيث يكون  
حاله في كلّ آنٍ مخالفاً لما بعده وما قبله.

٤ تتحدّد : يتحدّد [د] ١٠ يسمّى : تسمّى [د،ج] ١٣ تامه : تام [ج] ١٤ الثلاثة : الثلاثة [د]  
١٧ كالسحب والشهب ذوات الاذنان : كالشهب ذوات الاذنان والسحب [ج]

## Introduction

### Première section

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.

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 ; au contraire, le corps simple a une nature unique et ce qui en émane procède d’une manière unique<sup>55</sup>. Le corps composé, c’est le contraire.

Parmi les corps simples, on distingue l’*éther* et les *éléments simples*. 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 simples 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 simples et des corps qui en sont composés sous l’orbe de la Lune.

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<sup>56</sup> : les nuages, les étoiles filantes, *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.

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.

---

55. *d’une manière unique* ou *d’une même manière* ou *d’une seule manière* ou *selon le même* ? Nous avons choisi la première traduction. C’est un attribut du mouvement dans la classification qui va suivre.

56. Les météores appartiennent-ils au monde sublunaire ou bien aux cieux ? Al-Ṭūsī laisse entendre qu’il s’agit d’éther (*cf.* [2] § II.1), bien qu’ils appartiennent au monde sublunaire ([2] § II.2). Ils seraient parfois emportés par le mouvement des cieux, à cause du fait qu’ils sont assez loin de la Terre (contrairement à la partie de l’air « adjacente à la Terre » qui se conforme au mouvement rectiligne, *cf.* [2] § II.1).

والحركة إمّا 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 مستفاداة من سبب خارجي. **والإرادية** كحركة الحيوان التي يكون لها شعور. **والطبيعية** ان لا يكون لها شعور بما يصدر عنها، كحركة العناصر، و الأفلاك على قولٍ، والنبات.

والحركة الطبيعية تنقسم الى ما لا يكون على نهج واحدٍ، كحركة النبات، والى ما يكون على نهج واحد. وهي تنقسم على ما ارى قسامين : <sup>ظ ٢ ج</sup> مستقيمة ومستديرة. **فالمستقيمة** طلب الوسط وتختص بالعناصر، والمركبات منها. <sup>ظ ٢ ا</sup> **والمستديرة** كحركة الأفلاك عندي.

وعند طائفةٍ ان الإرادية تنقسم الى ما لا يكون على نهج واحدٍ كحركة الحيوان والى ما يكون على نهج واحد كحركة الأفلاك على مراكزها. وعند هذه الطائفة ان الأفلاك والكواكب لها شعور، وعند أخرى أنّها بسائط ليس لها شعور. وانا ارى انها مركبة غير التاسع منها، لكن من غير العناصر. <sup>١٥</sup> والحركة الفلكية المفردة ما يصدر عن محركٍ واحدٍ 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 ان شا الله تعالى. **والمحتاج الى تقديمه من الطبيعيات سبع مسائل :**

**المسألة الأولى،** ان الخلاء محال، والسكون في الأفلاك محال.

٤ والإرادية : وإرادية [أ،د] ١٥ يصدر : تصدر [أ] ١٥ محرك : تحرك [ج] ١٦ من : عن [د]

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 procède d'eux, comme les éléments, les orbes (à ce que certains disent), et les plantes.<sup>57</sup>

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 selon moi comme le mouvement des orbes.

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.<sup>58</sup>

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 (plus qu'un). 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.<sup>59</sup>

On a besoin de sept principes<sup>60</sup> physiques :

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

---

57. 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 orbes est un mouvement simple naturel. D'autre part, c'est la première mention d'un mouvement « composé simple ».

58. cf. l'analyse de ces deux doctrines dans notre commentaire p. 11.

59. cf. notre commentaire sur le mouvement simple-composé p. 12.

60. Le mot *masā'il* renvoie aux *masā'il darūriyya* de la préface : d'où ma traduction.

**المسألة الثانية،** ان لكل حركة مبتدأً. والمتحرك إن لم يفارقه مبدؤه بالوضع، بحيث ان يكون الاشارة الحسية اليه واحدة، قيل أنه متحرك بنفسه. وإن فارقه بحيث يُنسب التحرك اليه والتحريك الى ما فيه مبدؤه، قيل أنه متحرك بغيره.

**المسألة الثالثة،** ظهور حركة اجسام لا تكون متحركة بنفسها بل تكون من تحريك أجسام آخر متحركة بنفسها.

**المسألة الرابعة،** كل ما فيه مبدأ حركة مستديرة فهو لا يقبل الحركة المستقيمة، وبالعكس، إلا بالقسر.

**المسألة الخامسة،** لا يمكن ان يكون في متحرك بسيط مبدأ حركتين مختلفتين لأن اختلاف الحركات يقتضي اختلاف المتحركات. ولكل مختلف الحركة من الفلكيات حركة من نفسه وأخرى من غيره.

**المسألة السادسة،** الأفلاك لا تقبل الحركة المستقيمة، ولا يجوز ان يكون حركة الكوكب في السماء كحركة السمك في الماء.

**المسألة السابعة،** ان حركات الأفلاك على نهج واحد، فلا تسرع ولا تُبطئ، ولا يكون لها رجوع قبل تمام الدورة، ولا وقوف، ولا خروج من حيز، ولا اختلاف حال. بل ابداً متحركة حركة بسيطة مستديرة الى الجهة التي كانت تميل اليها. وما وجد فيها بالرصد خلاف ذلك فهو بالعرض من تركيب حركات بسيطة.

فهذه الأصول لا يجوز الخروج عن مقتضاها، ومقتضى الهيئة التي وافق <sup>ج ٣</sup> عليها بطلميوس ووافق عليها غيره لا يوافق هذه الأصول، ولا ما تكلفوه افاضل المتأخرين على ما ظهر عنهم في كتبهم.

<sup>٢</sup> بحيث ان يكون: يجب ان يكون [د]، يجب ان تكون [ج]، غير مقروء [أ] <sup>٣-٢</sup> فارقه بحيث يُنسب التحرك: فارقه بنسب التحريك [أ،د]، فارقه سبب التحرك [ج] <sup>٣</sup> التحريك: التحرك [ج] <sup>٦</sup> ما فيه مبدأ: في هامش [أ] <sup>٦</sup> حركة: حركته [أ] <sup>٦</sup> فهو لا يقبل: فهي لا تقبل [د،ج] <sup>٩</sup> يقتضي: غير مقروء [أ] <sup>١٣</sup> حركات: حركة [د،ج] <sup>١٩</sup> يوافق: توافق [ج] <sup>١٩</sup> تكلفوه: تكلفه [ج]

*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*.

*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.

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

*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<sup>61</sup>. 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.

*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.

*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 dûs à la composition de mouvements simples.

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.

---

61. « choses mues », *sic*, à moins que *mtharrk* puisse aussi signifier moteur.

## الفصل الثاني

في الشكوك والمحالات التي وقفنا عليها في الهيئة المشهورة.  
فمن ذلك **الفلك الخارج المركز** اذا كان محيطاً بمركز العالم محال، لأنه <sup>١٣</sup> ا  
يلزم منه ان يكون في الأفلاك المحيطة بمركز العالم اشكال غير تامّة الاستدارة  
وغير متحرّكة. وان تحرك حول مركز العالم لزم ان يكون هناك خلاف ؛ وان  
تحرك الخارج المركز حركة مستوية عند مركزه لزم ان يكون محيطاً بمركز العالم <sup>٢٢</sup> د  
حركات غير متساوية، فان جاز ذلك فلا ضرورة لوضع الأفلاك بل نقول ان  
لكل كوكب فلك يحركه حركة مختلفة فيقف ويرجع ويسرع ويبطئ وهذا محال.  
وهو مع حركة الأوج أشد محالاً، ولما كان الأوج في رأي بطليموس ثابتاً اختار  
الخارج المركز. وأما فلك التدوير في الشمس فهو جائز إلا أنه لم يوافق دقيق  
الرصد على ما تقف عليه في ذكر هيئة الشمس وذلك انا وجدنا اختلاف  
الشمس وهو التعديل غير موافق في أنصاف أرباع منطقة البروج لدقيق الرصد.  
ومن الشكوك في افلاك القمر. الخارج المركز فيها محال. واستواء حركة  
الخارج المركز عند غير مركزه محال. ومحاذاة قطر التدوير لغير مركز حامله  
محال ؛ فانه يظهر منه ان فلك التدوير تكون حركته مختلفة ويكون فيه حركتان  
مستوية ومختلفة والمختلفة لا تكمل الدورة وهذا محال. وذلك يعطى ان يكون  
قطر القمر في التربعين ضعف قطر القمر في الابدان، وهذا محال لانه لم يُر  
كذلك.

<sup>٥</sup> تحرك : تحركه [د] <sup>٦</sup> محيطاً : محيط [أ] <sup>١١</sup> تقف : تفق [د] <sup>١٤</sup> الخارج : ناقصة [د،ج]  
<sup>١٦</sup> يعطى : يقتضى [د]، المقتضى [ج]

## Deuxième section

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

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'Apogée, c'est encore plus impossible. Comme Ptolémée pensait que l'Apogée est fixe, il a adopté l'excentrique. Quant à l'orbe épicycle<sup>62</sup> pour le Soleil, il est permis, mais il n'est pas en accord avec des observations précises, comme tu en prendras connaissance 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.

Parmi les doutes concernant les orbes de la Lune, il y a aussi l'excentrique. L'excentrique dans les orbes de la Lune est impossible, et l'uniformité du mouvement de l'excentrique autour d'un point autre que son propre centre est aussi impossible<sup>63</sup>. Le fait que le rayon de l'épicycle suive un point autre que le centre de l'orbe qui le porte est impossible<sup>64</sup> : l'orbe 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.

---

62. 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'Apogée, elle-même fixée, cet excentrique était en rotation uniforme autour de son propre centre), et l'autre faisait intervenir un épicycle.

63. Allusion aux deuxième et troisième modèles de la Lune dans l'*Almageste*.

64. Allusion au point de prosneuse dans le troisième modèle de la Lune dans l'*Almageste*, mais cette critique concerne aussi son deuxième modèle.

ويظهر بدقيق الرصد أنّه، اذا كان بعد القمر من الشمس برج ونصف، مخالفة في تقويمه بتلك الاصول لما يقتضيه الرصد الصحيح. ولم يذكر بطلميوس ولا غيره رصد تقويم القمر في تلك المواضع. وتحديد وسطه ومركزه من دائرة شبيهة من فلك البروج محال لانّها لم تؤخذ من دائرة واحدة ولا نقطة واحدة.

والفلك الخارج المركز في باقى السيارة محال، لما قلنا واستواء حركة الخوارج المراكز عند غير مراكزها محال. وقولهم ان الخارج المركز في سطح المائل وسطح الخارج المركز تقاطع الممثل على نقطتين متقابلتين (وهما الرأس والذنب)، محال، لانّ العظيمة ما يقطعها بنصفين الا عظيمة، والخارج المركز <sup>ج ٣</sup> ليس بعظيم؛ فمحال ان يقطع الممثل على نقطتين متقابلتين، وفيه دقّة، فتأمله. ومحاذاة قطر التدوير لغير مركز حامله، محال، كما وضعوا ذلك في افلاك الكواكب الخمسة. والفلك المعدّل المسير محال. وهو توهم كاذب. وتوهم <sup>١٠</sup> خطّ احد طرفيه ثابت في مركز معدّل المسير، وطرفه الآخر يطول ويقصر ويمرّ بمركز تداوير الكواكب ويديرها حول تلك النقطة، محال. وليس للخطّ جسم، ويحتاج الى خلاء، والى غير ذلك من المحالات اللازمة عنه. وكون أقرب قرب عطارد في غير مقابلة الأوج محال بما تحقّق بالرصد، لا بالتصور. وتصور <sup>١٥</sup> أفلاك في أفلاك تداوير الكواكب السيارة، على الوجه الذي ذكره بطلميوس في الاقتصاص، تميل سطوحها عن سطح البروج، لاجل حركة عرض الكوكب، محال.

الوضع الذي ذكره النصير الطوسي في التذكرة في ازالة شكوك افلاك القمر محال لوجد الخارج المركز ولمحاذاة قطر التدوير لغير مركز حامل التدوير. <sup>٢٠</sup>

<sup>١</sup> أنّه : لانه [ج] مخالفة : محال [د،ج] <sup>٢</sup> تحديد : تجديد [ج] <sup>٣</sup> من دائرة : في هامش [أ]  
<sup>٢</sup> شبيهة : تشبيهه [أ،د] <sup>٧</sup> تقاطع : يقاطع [ج،د] <sup>٨</sup> يقطعها : تقطعها [د] <sup>١٠</sup> لغير : لضع [أ]  
<sup>١٠</sup> محال : فوق السطر [د] <sup>١٣</sup> تداوير : تدوير [د] <sup>١٤</sup> اللازمة : الملازمة ؟ [أ] <sup>١٥</sup> بالرصد : الرصد [د] <sup>١٦</sup> ذكره : ذكر [أ] <sup>١٧</sup> تميل : يمثل [ج،د] <sup>٢٠</sup> لوجد الخارج المركز ولمحاذاة : لوجود الخارج ولمحاذاة [ج،د]

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'orbe de l'écliptique est impossible car ils ne sont pas pris dans le même cercle, ni par rapport au même point.

L'orbe 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'orbe 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'orbe qui le porte, c'est impossible, or ils l'ont posé ainsi dans les orbes des cinq planètes. L'orbe équant est impossible. C'est une image fausse. Imaginer une droite dont l'un des deux bouts est fixe au centre de l'orbe 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'Apogée est impossible à cause des observations, bien que cela ne soit pas impossible à concevoir. Concevoir des orbes dans les orbes des épicycles des astres errants, de la manière indiquée par Ptolémée dans les *Hypothèses planétaires*, orbes qui inclinent leurs plans par rapport au plan du zodiaque, pour le mouvement en latitude des astres, c'est impossible.

La position mentionnée par Naṣīr al-Ṭūsī dans la *Tadkira* sur l'élimination des doutes des orbes 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.

الوضع الذي ذكره النصير الطوسي في إصلاح هيئة الكواكب الأربع، زحل، والمشتري، والمريخ، والزهرة، محال، لبقاء الخوارج المراكز، ومعدلات المسير، واختلاف الخاصة لحركة ذروة التداوير، الى غير ذلك من المحالات. وقد اعترف رحمه الله بالعجز عن أصل يفني بالمقصود.

الوضع الذي حدسه المويد العرضي في هيئة أفلاك القمر من قلبه لجهة حركة الخارج المركز واختلاف ذروة التداوير بمحاذاتها لنقطة غير مركز حامل التداوير، محال.

الوضع الذي ذكره المويد العرضي في إصلاح أفلاك السيارة محال لبقاء الخارج المركز، ومعدلات المسير، وغير ذلك.

الوضع الذي ذكره قطب الدين الشيرازي في إصلاح هيئة أفلاك القمر محال، لبقاء الخارج المركز ولنقطة المحاذاة. والحجة التي احتج بها، رحمه الله، على جواز نقطة المحاذاة في القمر، من امحل المحالات وتوهم كاذب. وقد رجع عن ذلك في التحفة، وذكر فيها وجه آخر، وهو محال ايضاً. الأصل الذي سماه الابداعي في فاسد عروض الكواكب محال.

الوضع الذي ذكره في إصلاح أفلاك الكواكب السيارة محال لوجود الخوارج المراكز فيها، ومعدلات المسير، واختلاف ذروتي التداوير.

حركة الإقبال والإدبار غير صحيحة لمخالفتها لما صحّ بالأرصاد قديماً و حديثاً. مع أنه تصوّر كاذب مع امكان تصور وضع أفلاك يلزم عنها تلك الحركة. لو كان لها حقيقة، ولقد قومت الشمس براى الزرقالة، فوجدتها ينقص عن الصحيح ثلث درجات وأكثر من نصف درجة، هذا والحركة مقبلة. فلو كانت مدبرة كانت المخالفة اكثر من اثني عشر درجة اذا كان في نهاية و، ا ج

<sup>٣</sup> لحركة : بحركة [ج] <sup>٢</sup> ذروة : دورة [د،ج] <sup>٦</sup> ذروة : دورة [ج،د] <sup>٦</sup> بمحاذاتها : لمحاذاتها [د،ج] <sup>٦</sup> لنقطة : النقطة [ج] <sup>١٣</sup> وجه : وجهها [د] <sup>١٥</sup> الوضع : و الوضع [ج] <sup>١٥</sup> أفلاك : فوق السطر [ج] <sup>١٥</sup> السيارة : فوق السطح [د] <sup>١٦</sup> ذروتي : غير مقروء [أ]، دورتي [ج،د] <sup>١٧</sup> الإقبال : غير مقروء [أ] <sup>١٩</sup> براى : برى [ج] <sup>١٩</sup> ينقص : تنقص [ج،د] <sup>٢٠</sup> ثلث : ثلاث [ج] <sup>٢٠</sup> مقبلة : غير مقروء [أ] <sup>٢١</sup> كانت : لكانت [ج]

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'apogée<sup>65</sup> des épicycles, et d'autres choses impossibles. Il l'a lui-même reconnu — Dieu le pardonne : il lui manquait un principe suffisant.

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.

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.

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 fautive. Il en est revenu dans la *Tuhfa* ; il y indique une autre manière, mais elle est aussi impossible.

Le principe qu'il a nommé l'invention concernant le désordre des latitudes des astres est impossible.

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 deux apogées de l'épicycle.

Le mouvement de trépidation<sup>66</sup> n'est pas vrai car cela diffère de ce qu'on vérifie dans les observations anciennes et modernes. C'est d'ailleurs une idée fautive 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-Zarqūlla et je l'ai trouvé inférieur à la vérité de plus de trois degrés et demi — ceci pendant l'accession. Pendant la récession, la différence serait de plus de douze degrés s'il est en fin de récession.

---

65. Première occurrence du mot *dhirwa* que l'on traduit par « apogée » (sans majuscule) : c'est une extrémité du diamètre de l'épicycle parallèle à la direction Terre-astre moyen. On traduit *'awj* par « Apogée » (avec une majuscule) : c'est le point où le centre de l'épicycle est à distance maximale de la Terre. Voir la figure 26 p. 446 *infra*.

66. Littéralement, « accession et récession ».

وقد قوّمت قلب الاسد بتلك الحركة، فلم يوافق لما هو عليه، وخالف سائر ما ذكر من أرصاد ذلك الكوكب من قديم الى يومنا هذا مخالفة فاحشة تزيد في الغالب اربع درجاتٍ الى درجتين. ولم اجد في الأصول ما فيه هذا المقدار من الخلل. وقد تحقّق بالرصد ان حركة الثوابت حركةً بسيطةً مستويةً حول مركز العالم وعلى قطبي البروج الى جهة المشرق. فخالف ذلك محال.

قول المجريطي ان حركات جميع أفلاك الكواكب من المشرق الى المغرب، وما ترى من الحركات الى جهة المشرق فذلك من تقصير الحركات الشرقية من اللحوق بالحركة اليومية، محال.

وقوله أنّ قطب فلك البروج يدور في دائرة (حول قطب العالم) سمتها مقدار الميل الاعظم، الى جهة المشرق، من تقصير حركة الفلك الثامن، محال. وذلك لتبدّل أجزاء معدّل النهار مع أجزاء البروج. والتحقيق خلافه. ومثال ذلك، انّ قطب فلك البروج اذا تحرك، بتقصيره، الى جهة المشرق، ربع دائرة الميل، وأخرجنا دائرة عظيمة تمرّ بقطبي فلك البروج وقطبي معدّل النهار وبالمقلبين، مرّت بالجزئ الذي كان يحاذي الأوّل من برج الحمل من دائرة معدّل النهار. وقد تحقّق بالرصد ثبات النقط الأربع من معدّل النهار : وانّما يتبدّل على تلك النقط بأجزاء البروج المكوكبة لا البروج الحقيقيّة. فما قاله محال في التوهّم والوجود.

وكما جوّز حركة قطبي فلك البروج الى جهة المشرق حول قطبي معدّل النهار، يجوز حركة غيره الى المشرق ؛ فهذا غير ما انكره من وجود حركة الى جهة المشرق. وقوله ان الحركات التي الى جهة المشرق من تقصير الثامن وغيره باطل. وقد قام البرهان على وجودها ودلّ على انّ تقصير الفلك بمقدار  $\epsilon$  ، ج هذه الحركة محال.

<sup>٣٢</sup> في الغالب اربع درجاتٍ الى درجتين : على د درجات الى درجتين في الغالب [ج] <sup>٩</sup> قطب : ناقصة [د] <sup>١٤</sup> الأوّل من : أوّل [أ،ج،د] <sup>١٦</sup> النقط : النقطة [ج،د] <sup>١٦</sup> الحقيقيّة : الحقيقة [د] <sup>١٨</sup> فلك : فوق السطر [ج،د] <sup>١٩</sup> انكره : غير مقروء [أ]

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 différent est impossible.

Al-Majrī̄ī 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.

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.

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.

قول من قال ان لكل كوكب فلك واحد يتحرك به حول قطبي فلك البروج الى جهة المشرق، بتقصيره ايضاً، يتولد من هذين الحركتين للكواكب وقوف ورجوع، واستقامة وميل الى الجهتين، وغير ذلك مما وجد للكواكب، قول باطل. وقد تتبعت ذلك واقمت البرهان على ابطاله في كتابي المسمي بتعليق الأرصاد.

جميع ما تكلفه المجريطي في رسالته من تغيير الحركات وإثبات فلك الشمس حول مركز العالم، مركزه خارج عن قطب العالم، وان قطبي فلك الشمس يدور على تلك الدائرة الخارجة المركز الى جهة المشرق بتقصير ذلك الفلك، محال. وذلك ان محور فلك الشمس اذا دار في خارج المركز على قطبي معدّل النهار، رسمت الشمس، بل كل نقطة تفرض في سطح فلك الشمس، فلك خارج المركز ؛ وهو غير ما اذكره. على ان ما ذكره غير مطابق الرصد ؛ فقد تبين ابطال ذلك.

الحركة اللولبية التي ذكرها ارسطو لا يظهر منها للكوكب سرعة ولا بطو ولا وقوف ولا رجوع. وهي اشارة الى مدارها الذي ترسمه بالحركتين اليومية والخاصة بها، لا غير. وبيان ذلك ان الشمس اذا كانت في رأس الجدي ثم تحركت في نصف سنة الى رأس السرطان، فان الشمس ترسم مداراً حلزونيّاً حول مركز العالم. والى هذا اشار ارسطو بالحركة اللولبية، لا غير. فظن من سمع ذلك ان مقصود ارسطو ان الشمس، اذا تحركت حركة لولبية، حصل اختلاف حركة الشمس، وعلى ذلك غيرها من الكواكب، وهو محال.

كل حركة مستوية عند نقطة فهي مختلفة عند أخرى، وعكسه. فعلى ذلك كل فلك حركته مستوية عند غير مركزه فحركته مركبة.

من وجود أفلاك صغار كأفلاك التداوير، غير محيطة بمركز العالم، غير ممتنع في سوى الفلك التاسع. ويدلّ على ذلك انه كما وجد في كل فلك كوكب، وفي الثامن كواكب كثيرة كرية، كل واحد منها أعظم من بعض تداوير بعض الكواكب و الكوكب مخالفٌ لجسم الفلك. فلا يمتنع وجود أفلاك تداوير ونحوها، ومن هنا يفهم ان الأفلاك فيها تركيب ما ؛ والبسيط المطلق، هو التاسع، ولا يمكن ان يتصور فيه كوكب ولا غيره.

٦ جميع : و جميع [ج] <sup>٨</sup> تلك الدائرة : تلك الدوائر [ج،د] <sup>١١</sup> اذكره : غير مقروء [أ]، انكروه [د،ج] <sup>١٢</sup> اللولبية : الطولية [ج،د] <sup>١٣</sup> ارسطو : ارسطو [ج] <sup>١٤</sup> الذي : التي [ج] <sup>١٦</sup> فان الشمس : فانها [ج] <sup>١٧</sup> اللولبية : الكوكبية [ج،د] <sup>١٨</sup> لولبية : كوكبية [ج،د] <sup>٢٢</sup> من : في الهامش [د]، ناقصة [أ،ج] <sup>٢٥</sup> و الكوكب : ناقصة [ج،د] <sup>٢٦</sup> هنا : هذا [د،ج]

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*.

Tout ce qu'a suivi al-Majrīṭī dans sa lettre 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 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.

Le mouvement hélicoïdal qu'a 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.

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.

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.

وضع المنشورة الذي ذكرها بطلميوس في كتابه المعروف **بالاقتصاص** باطل<sup>١</sup>.  
ما ذكره ابن افلح والمؤيد العرضي من كون الزهرة فوق الشمس، وما استدللّ به، محال.

تقارب منطقة فلك البروج من منطقة معدل النهار، وتباعدها عنها، محال.  
الميل الاعظم لا يختلف باختلاف الزمان ولا باختلاف المكان. وما وجد فيه من الاختلاف فذلك من قبل الالات، واختلاف نصبها، ومن قبل اختلاف ظل اطراف المقاييس، ومن قبل اختلاف شعاع الشمس الداخل من جرم الهدف، ومن كون مركز حجم الارض غير مطابق لمركز العالم، على نحو ما شرحناه في كتابي الموسوم **بتعليق الأرصاد**.

١٠. ما ذكر عن الهنود وغيرهم، أن جملة ميل الشمس أربعة وعشرون درجة، و١٠ باطل، لا حقيقة له. وكأنّ هذه الطائفة تشير الى الجسم الذي يحوى ميل الشمس الى الجهتين؛ وانّ عرضه ثمانية وأربعون درجة ونصفه أربعة وعشرون درجة، وذلك الى منتهى عرض الشمس، فيكون الى **مركزها** لا يزيد على كج لا. فان كان على هذا راي هذه الطائفة فهو صحيح والآ فلا.

---

<sup>١</sup> وضع المنشورة: وضع المنشورات [د،ج]، وكتب «وضع» فوق السطر في [ج] الذي: التي [د،ج] المعروف: المسمى [ج] فلك: فوق السطر [ج] اختلاف: في الهامش [ج] <sup>٢</sup> جرم: خرم [ج] كتابي: كتابنا [ج] وغيرهم: في الهامش [ج] الطائفة: غير مقروء [أ] <sup>٣</sup> فيكون: فتكون [ج] يزيد: تزيد [ج،د] هذا: فوق السطر [ج]

Les *manšūra* qu'indique Ptolémée dans son livre intitulé *Hypothèses planétaires* sont futiles.

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

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

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*.

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 a 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.

## الباب الأول

في اصولِ موضوعة مسلّمة في الهندسة متّفق عليها

النقطة والخطّ والزاوية والسطح والدائرة والكرة موجودة معلومة الصور. وانّ كلّ واحدٍ من النقطة والخطّ المستقيم والسطح المستوي والزاوية ينطبق على مثله. وانّ الفصل المشترك بين كلّ خطّين نقطة، وبين كلّ سطحين خطّ، وبين كلّ جسمين سطح.

ولنا ان نفرض خطًّا على ايّ سطحٍ كان، أو مارًّا بنقطة كيف شئنا، وان تعين نقطة على اي خطّ أو سطحٍ كان، وان نصل خطًّا مستقيمًا محدودًا على اي سطحٍ أو جسمٍ شئنا، وان نرسم على كلّ نقطةٍ وبكلّ بعدٍ دائرة. وانّ الزوايا القائمة متساوية واذا قام خطّ مستقيم على خط مستقيم فإمّا ان يحدث زاويتين قائمتين أو زاويتين حادّة ومنفرجة، و مجموع الزاويتين قائمتين. وانّ مجموع زوايا كلّ مثلث قائمتين.

<sup>٧</sup> شئنا: شئت [ه] <sup>٨</sup> تعين: نعيّن [ب، د، ه] <sup>٩</sup> نصل: اتّصل [ب]، يصل [د] <sup>١٠</sup> محدودًا: محدودًا  
<sup>١١</sup> [د] <sup>١٢</sup> نرسم: ترسم [أ، ب] <sup>١٣</sup> بكلّ: لكلّ [ب] <sup>١٤</sup> متساوية واذا قام خطّ مستقيم على خط مستقيم فإمّا ان يحدث زاويتين: ناقصة [ب، ه]، وكتب في هامش [ه]: «متساوية واذا قام خطّ مستقيم على خط مستقيم فإمّا ان يحدث» <sup>١٥</sup> قائمتين: في الهامش [أ] <sup>١٦</sup> و: ناقصة [أ، ب، د، ه] <sup>١٧</sup> قائمتين: قائمتان [ب، ه]

## Chapitre un

### Fondements posés comme axiomes en géométrie

Le point, la ligne, l'angle, la surface, le cercle et la sphère sont des êtres de figures connues. Chaque point, droite, plan ou angle s'ajuste sur son semblable. L'intersection de deux lignes quelconques est un point, celle de deux surfaces est une ligne, et celle de deux solides est une surface.

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.

Les angles droits sont égaux. 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. La somme des angles de tout triangle est égale à deux droits.

## الباب الثاني فيما تقرّر من الأصول

- قد تقرّر إستدارة السطح الظاهر من الارض والما بالتقريب.  
وانّ استدارة السماء كاستدارة الكرة.  
وانّ الارض عند السماء كمركز الكرة عند محيطها. <sup>ظ ه ج</sup>  
وانّ لها قدر محسوس فيما دون فلك المريخ.  
وانّ مركز ثقلها مطابق لمركز العالم، لا مركز حجمها، ساكنة فيه غير متحركة الى جهة من الجهات.  
وانّ الفوق، الى ما يلي السماء ويبعد من المركز ؛ والتحت ما يلي المركز.  
وميل الاثقال جميعها الى المركز، وميل ما هو خفيف الى المحيط. <sup>ا</sup>

<sup>٢</sup> تقرّر: نقرر [أ] <sup>٦</sup> قدر محسوس: قدرًا محسوسًا [ج] <sup>٧</sup> مطابق: يطابق [ج] <sup>٧</sup> فيه: ناقصة [ه] <sup>٧</sup> غير: لا [ج]

## Chapitre deux

### Fondements déjà établis

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

La rotondité des cieux est comme celle de la sphère.

La Terre est au cieux comme le centre de la sphère est à son bord.

La grandeur de la Terre est sensible comparée à ce qui est au-dessous de l'orbe de Mars<sup>67</sup>.

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

Le haut est ce qui est vers les cieux 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 tend vers le bord.

---

67. Donc la parallaxe sera négligeable dans l'observation des planètes supérieures (Mars, Jupiter, Saturne).

## الباب الثالث في ترتيب الأفلاك وهي تسعة

- أولها وهو المحيط بالشمائية، وشكله كروي، ومركزه مركز العالم، وله قطبان يتحرك<sup>٢٤</sup> و<sup>د</sup> عليهما حول مركزه الذي هو مركز العالم ومركز الكل، حركة مستوية في اليوم بليلته دورة واحدة بنفس مطالع ما تتحركه الشمس في يوم بليلته، وبهذه الحركة تتحرك جميع الافلاك من المشرق الى المغرب حول مركزه وعلى قطبيه. ومنطقة هذه الحركة، وهي التي بعدها من القطبين على السواء، وتسمى منطقة معدّل النهار. و القطب 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 ثلثمائة وستين جزئاً، وتسمى هذه الاقسام بازمان معدّل النهار، وأجزاء معدّل النهار ايضاً؛ ليقاس بها الحركات لفرض ثباتها. وهذا الفلك، اعنى الأول، هو البسيط المطلق المحدى للجهات المسمى بالاطلس.
- والفلك الثاني، وهو فلك الكواكب المسمّاه بالثوابت، وشكله كروي، محدّبه مماسّ لمقرّ التاسع، ومقرّهُ مماسّ لمحدّب الفلك السابع المحيط بافلاك زحل. وله قطبان ثابتان و يتحرك عليهما حول مركز العالم حركة بسيطة مستويّة من جهة المغرب إلى جهة المشرق، على ما تحقق بالبرهان والرصد. ومنطقة هذه الحركة، التي بعدها من قطبي هذا الفلك على السواء، مرسومة على سطحه، مقسومة بالبروج الاثنى عشر ودرجها وكسورها، مبتدئاً من التقاطع المحاذي لصورة الحمل من المكوكب عند أول التسمية على ما هو مشهور.
- وسطح هذه المنطقة مايل عن سطح فلك معدّل النهار كج لا، وهو الميل الاعظم.

<sup>٢</sup> تسعة : ناقصة [ب]، في الهامش [ه] ° بنفس مطالع ما تتحركه الشمس في يوم بليلته : في هامش [ج]، بنفس مطالع ما تتحركه الشمس في يوم وليلة [ب]، يتنفّس مطالع ما تتحركه الشمس في يوم وليلته [ه]، بشمس مطالع ما تتحركه الشمس في يوم بليلته [د] <sup>٧</sup> القطبين : غير مقروء [أ]، النقطتين [ب] <sup>٧</sup> و : ناقصة [ج] <sup>٨-٩</sup> و القطب الذي على شمال مستقبل المشرق يقال له قطب معدّل النهار : في الهامش [ه] <sup>٩</sup> دائرة : فوق السطر [ج] <sup>١٠</sup> ثانية : ثابتة [ه] <sup>١٠</sup> ستين : ستون [د] <sup>١١</sup> تسمى : يسمى [ب] <sup>١١</sup> الاقسام : في الهامش [ج] <sup>١١</sup> بأجزاء : أجزاء [ج] <sup>١٢</sup> المحدى : محدّد [ج، د، ه] <sup>١٥</sup> الفلك : ناقصة [ج] <sup>١١</sup> و : ناقصة [ج] <sup>١٨</sup> سطحه : سطح [ه] <sup>٢٠</sup> المكوكب : الكواكب [ه]

## Chapitre trois

### Disposition des neuf orbes

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 nuit<sup>68</sup>. De ce mouvement, l'ensemble des orbes se meut d'Est en Ouest autour de son centre et sur ses pôles. 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 équatoriaux 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*.

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. 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 désignations<sup>69</sup>, comme on sait.

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).

---

68. "Un jour et une nuit" désigne un jour solaire. Un jour solaire est en effet un peu plus long qu'un jour tropique.

69. Peut-être Ibn al-Šāṭir fait-il 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.

ونفرض دائرة عظيمة تمرّ بقطبي معدّل النهار وبقطبي فلك البروج فتقطع منطقة و ٦ ج فلك البروج على نقطتين، و التقاطع القريب من القطب الشمالي يسمّى المنقلب الصيفي، والثاني المنقلب الشتوي. و سطح البروج يقطع معدّل النهار على نقطتين، فالنقطة التي قبل المنقلب الصيفي تسمى الاعتدال الربيعي، والتي قبل المنقلب الشتوي تسمى الاعتدال الخريفي. وهذه النقط الاربعة ثابتة غير متحركة عمّا تحاذيه من دائرة معدّل النهار. فيفرض ما بين كلّ نقطتين مقسوم بثلاثة أقسامٍ متساوية، ويتوهمّ ست دوائر عظام مارةً بقطبي البروج و بتلك الاقسام، فيتنقسم بها المنطقة اثني عشر قسماً متساويةً، وكذلك جملة بسيط الثامن. وكلّ قسمٍ منها يسمّى برجاً وكلّ برج مقسوم ثلاثين قسماً مستوية تسمى درج البروج.

وكان في قديم الزمان محاذي للقسم الذي أوله الاعتدال الربيعي صورة الحمل من الفلك الثامن المكوكب. يسمّى هذا القسم بالحمل، والثاني بما كان يحاذيه وهو الثور، ثمّ الجوزاء، ثمّ السرطان، الى آخر الاثني عشر، على و ٦ ا ما هو مشهور. والى حدود ثمان مائة وعشرين من تأريخ الهجرة، يحاذي القسم الأول صورة الحوت من المكوكب؛ فينتقل الصور الى توالي البروج برج واحد، فيحاذي الأقسام الثابتة غير ما كان يحاذيها. فيجوز حينئذ ان يسمّى القسم الأول الحوت والثاني الحمل والثالث الثور الى آخرها. ويجوز بقاء اسمائها عليها، ولا ينظر الى ما يحاذي من صور البروج المكوكبة. وقد تحقق بالرصد ان مقدار هذه الحركة في كلّ سبعين سنة فارسيّة درجة واحدة، وعند بطلميوس في ٢٠ كلّ مائة سنة درجة واحدة، وعند المتأخرين في كلّ مائة سنة درجة ونصف، و ٢٤ د وعند بعضهم في كلّ سبعين سنة درجة من السنين الفارسيّة.

<sup>١</sup> نفرض : يفرض [ج، د، هـ] <sup>١</sup> معدّل : معتدل [ب] <sup>١</sup> فتقطع : فيقطع [ب] <sup>١</sup> منطقة : منق. طة [هـ]  
<sup>٢</sup> و التقاطع : فالتقاطع [أ] <sup>٢</sup> من : في [هـ] <sup>٤</sup> تسمي : يسمي [ب، د] <sup>٥</sup> تسمى : ناقصة [أ، ب، د، هـ]  
<sup>٥</sup> الاربعة : الاربعة [أ، هـ] <sup>٦</sup> تحاذيه : يحاذيه [ج] <sup>٧</sup> يتوهمّ : نتوهمّ [أ، ب] <sup>٧</sup> ست : ستّة [ج]  
<sup>٧-٨</sup> و بتلك الاقسام : في الهامش [أ] <sup>٨</sup> فيتنقسم : فيتنقسم [ب]، <sup>٩</sup> فتتنقسم [هـ]، <sup>١٠</sup> فتتنقسم [ج، د]  
<sup>٨</sup> اثني : اثنا [د] <sup>٨</sup> متساويةً : متساوية ست دوائر [ب] متساويةً و ست دوائر [هـ] <sup>١٠</sup> مستوية :  
مستويين [هـ] <sup>١١</sup> محاذي للقسم : يحاذي القسم [ب، هـ] <sup>١٤</sup> مائة : في الهامش [هـ] <sup>١٥</sup> المكوكب :  
الكوكب [ب]، الكواكب [هـ] <sup>١٥</sup> فينتقل : فينتقل [هـ] <sup>١٦</sup> الثابتة : الثانية [ج، هـ] <sup>١٦</sup> ان : بان [ج]  
<sup>١٧</sup> آخرها : الآخر [ج] <sup>١٨</sup> يحاذي : يحاذيها [ج] <sup>١٨</sup> المكوكبة : الكوكبيّة [ب، هـ] <sup>١٩</sup> كلّ : ناقصة  
[أ، ب، د، هـ] <sup>٢٠</sup> واحدة : ناقصة [أ، ب، هـ] <sup>٢٠</sup> سنة : ناقصة [ب]

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*.

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.

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 signes<sup>70</sup>. 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 considèrera plus les constellations qu'ils longent dans le zodiaque étoilé. On a observé que ce mouvement est d'un degré en soixante-dix années persanes. Chez 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.

---

70. 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.

وإذا تقرّر ذلك فاعلم أنّ الفلك الأدنى وهو الأوّل للقمر، والثاني لعطارد، والثالث للزهرة، والرابع للشمس، والخامس للمريخ، والسادس للمشتري، والسابع لزحل، والثامن مرصّع فيه الكواكب الثابتة سمّيت بذلك لثبات اوضاعها بعضها من بعض، ثمّ التاسع المتقدّم ذكره المتحرّك على قطبيه وحول مركزه من <sup>ظ ٦ ج</sup> المشرق الى المغرب الحركة اليوميّة. ويتحرّك بهذه الحركة أفلاك الكواكب السبعة على موازاة منطقة معدّل النهار، ويلى فلك القمر فلك النار، ثمّ الهوا ثمّ الماء ثمّ التراب وهو كرة الارض. وقد تقدّم تقرير ذلك، وقد بيّنا ضعف دليل من إستدلّ على ان الزهرة فوق الشمس، ولم ير ذلك من اهل العلم الا قليلاً. وقد شرحنا ذلك في غير موضع من كتبنا، و الله أعلم.

<sup>٢</sup> للزهرة: لزهرة [ه] <sup>٣</sup> مرصّع فيه الكواكب: موضع الكواكب [ب،ج،ه]، مرصّع بالكواكب [د] بعضها: في الهامش [د]، بعض [ه] <sup>٤</sup> على: عن [ج،د] <sup>٥</sup> الحركة: بالحركة [د] <sup>٥</sup> يتحرّك بهذه الحركة: بهذه الحركة تتحرك [ج] <sup>٦</sup> منطقة: فوق السطر [ج] <sup>٨</sup> على ان: بان [ج] <sup>٨</sup> ير: يرى [ب،ه] <sup>٨</sup> من اهل: اهل [ب،د،ه] <sup>٩</sup> و الله أعلم: ناقصة [ه]

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 enchassées 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 orbes des sept astres sont mêlés par ce mouvement parallèlement à l'équateur. 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. 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.

## الباب الرابع في الدوائر المشهورة وعرض البلد

اشهر الدوائر العظام دائرة معدّل النهار. وهي التي بعدها من قطبي معدّل النهار سواء، وهي منطقة الحركة اليومية ودائرة الاستواء والاعتدال. ويفرض سطحها فاصلاً لكرة الارض، فيسمّى خطّ الاستواء لاستواء الليل والنهار على جميع السكّان عليه، وذلك لكون الفلك يدور هناك دولابي وقطبي معدّل النهار على الافق. ولما كانت الارض كرية ثابتة في مركز العالم، كان الذهاب من خطّ الاستواء على الارض الى جهة الشمال، يرتفع القطب الشمالي عن افقه؛ والذهاب الى جهة الجنوب، يرتفع القطب الجنوبي عن افقه. وبمقدار ارتفاع احدهما، ينخفض الآخر.

ظ ٦ ا

فيسمّى ارتفاع القطب عرض البلد. وهو قوس من الدائرة المارّة بسمت الرأس و قطبي معدّل النهار، و هذا القوس مساوية لانحفاظ القطب الآخر، وهي ايضاً مساوية لبعدهم دائرة معدّل النهار من سمت الرأس في تلك البقعة في تلك الافق.

دائرة نصف النهار وطول البلد وهي الفاصلة لجميع المدارات الظاهرة بنصفين. وهي المارّة بالقطب الظاهر وسمت الرأس. وهي تختلف بالتشريق والتغريب ولا تختلف بالسلوك شمالاً ولا جنوباً.

ونفرض لكل بلد دائرة نصف نهار، ونتوهم كلّ واحدة منها فاصلة لكرة الارض أو مرتسمة عليها. فيما بين دائرة نصف النهار المارّة بأول المعمور من جهة المغرب ودائرة نصف النهار بقعة مفروضة، هو طول البلد. وغايته مائة وثمانين درجة. وغاية العرض تسعون درجة. و ذلك عند كون احد قطبي العالم على سمت الرأس. ويدور الفلك هناك رحوياً، ويدور في باقي العروض حمائلياً. و ٧ ج

° فيسمّى: فيسمّا [ج] ٦ دولابي: دولابياً [ه] ١٠ ينخفض: ينحفض [ه] ١١ فيسمّى: فتسمّى [ه] ١٢ و قطبي معدّل النهار: فيما بين القطب والافق [ه] ١٣-١٢ و هذا القوس مساوية لانحفاظ القطب الآخر، وهي ايضاً مساوية لبعدهم دائرة معدّل النهار من سمت الرأس في تلك البقعة: في الهامش [ه]، وهذا القوس مساوية لانخفاض القطب الآخر، وهي ايضاً مساوية لبعدهم دائرة معدّل النهار من سمت الرأس في تلك البقعة [أ،ج،د] ١٣-١٤ في تلك الافق: ناقصة [أ،ب،ج،د] ١٧ بالسلوك: بالشكوك [ج]، بالسلوك [د] ١٧ لا: ناقصة [أ،ج،ه،د] ١٨ نفرض: يفرض [ج،د] ١٨ نهار: النهار [ه،ج،د] ١٨ نتوهم: يتوهم [ج،د] ١٩ فيما: فما [أ]، غير مقروء [ب،ه] ٢٠ النهار: نهار [ب،ج،ه،د] ٢١ و: من [ه] ٢١ احد: احدى [ب،ج،د] ٢٢ رحوياً: رحوياً [ج] ٢٢ حمائلياً: [ه،ج،؟]

## Chapitre quatre

### Cercles remarquables et latitudes des pays

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 des équinoxes. Qu'on conçoive son plan coupant le globe terrestre, la ligne de coupe s'appelle équateur 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'équinoxe 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.

L'élévation du pôle s'appelle *latitude du pays*. C'est un arc du grand cercle<sup>71</sup> 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 entre l'équateur et le zénith dans cette région.

Le *cercle méridien* ou 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.

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 habité et le méridien d'un lieu supposé, c'est la *longitude du pays*. Son maximum est cent quatre-vingt degrés. 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.

---

71. Le cercle méridien décrit dans le paragraphe suivant.

والمسكون من ظهر الارض من خط الاستواء الى حيث ارتفاع القطب الشمالي مساوٍ لتمام الميل الاعظم، وهو سو كط، وفي الطول من طول درجة الى تمام مائة وثمانين درجة.

وإذا تقرّر ذلك، فاقول ان - من الدوائر المشهورة - ايضاً دائرة منطقة البروج. وهي منطقة الفلك الثامن وتسمى بطريقة الشمس، لمسامته الشمس لها ابداً. وتوهّم هذه الدائرة فاصلة لجميع الأفلاك فترسم في كلّ فلك دائرة عظيمة تسمى بالفلك الممثل. والنصف من منطقة البروج الذي ابتداءه نقطة الاعتدال الربيعي شمالي عن معدّل النهار، والنصف الآخر جنوبي عنه. وكلّ واحدٍ منهما مقسوم بستة اقسام، يسمى كلّ قسم برجاً علي ما تقدّم.

ومن الدوائر العظام دائرة الميل. وهي العظيمة المارة بقطبي معدّل النهار و ٢٥ د وباي جزئ كان أو بكوكب مفروض؛ فيقطع منطقة معدّل النهار. والقوس الصغرى الواقعة منها بين ذلك الجزئ ومعدّل النهار هي ميل ذلك الجزئ ويسمى الميل الأول. فان كانت هي المارة برأس السرطان والجدى، فتمرّ حينئذ بقطبي فلك البروج ايضاً ويكون الميل في نهايته. فان فرضت مارة بكوكب كان ما بين الكوكب وبين معدّل النهار منها هو بعد ذلك الكوكب عن معدّل النهار. ونقطة تقاطعها لمعدّل النهار هي مطالع درجة ممرّ ذلك الكوكب بدائرة نصف النهار؛ ونقطة تقاطعها لمنطقة البروج الثانية هي درجة ممرّ ذلك الكوكب.

ومن الدوائر العظام، دائرة العرض. وهي العظيمة المتوهمة المارة بقطبي و ١٧ ا فلك البروج وبجزئ مفروض من البروج أو بكوكب. وتعرف بدائرة الميل الثاني. والقوس الصغرى الواقعة منها بين منطقتي البروج ومعدّل النهار هي ميل ذلك الجزئ الثاني، ويقال له عرض ذلك الجزئ ايضاً.

٤ اذا: اذ [ب،د] ٤ دائرة: ناقصة [د] ٥ الفلك: فوق السطر [د] ٥ لمسامته: لمماسه [ج] ٥ الشمس: بالشمس [ه] ٦ نتوهّم: يتوهّم [ج] ٦ فترسم: فيرسم [ج،د] ٦ علي ما تقدّم: ناقصة [ه] ١٠ العظيمة المارة: دائرة عظيمة مارة [ج]، العزيمة [ه]، وكتب «المارة» في هامش [ه] ١١ بكوكب: كتب في [ه] تحت السطح «بل بطرف خطّ مارة بمركز الكوكب خارج عن مركز العالم» ١١ فيقطع: فتقطع [ج،ه،د] ١٢ يسمّى: تسمّى [ه] ١٣ فتمرّ: فيمرّ [ه] ١٥ بين: ناقصة [أ،ب،ه،د] ١٦ تقاطعها: مقاطعها [ه،د] ١٦ ذلك: ناقصة [ج] ١٧ تقاطعها: مقاطعها [ه] ١٧ الثانية: الثابتة [ه،ج،د] ١٧ هي: ناسخ [ه] كتب بعدها «منطقة» ١٩ الدوائر: ناقصة [أ،ب،ه،د] ٢٠ تعرف: يعرف [ج،د]

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-vingt degrés.

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.

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 la déclinaison de ce point appelée *première déclinaison*. 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 transit de cet astre au méridien ; et le second point, où il rencontre la ceinture de l'écliptique, est le *degré de transit* de cet astre.

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 déclinaison*. [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.

فان مرّت بكوكب، كان ما بين الكوكب ومنطقة البروج منها من الجهة الاقرب عرض ذلك الكوكب؛ والقوس الصغرى منها التي فيما بين الكوكب ومعدّل النهار هو عرض ذلك الكوكب المعدّل ويسمّى حصّة عرض الكوكب ايضاً. ودائرة العرض اذا مرّت بكوكب مفروض وقطعت منطقة البروج، قطعتة على درجة <sup>ج</sup> طول ذلك الكوكب. وابتدا اطوال الكوكب من نقطة الاعتدال الربيعي، وهي رأس الحمل، اصطلاحاً. وان قطعت لمعدّل النهار، كان ذلك التقاطع طول ذلك الكوكب المعدّل. وان كان الجزء المفروض أحد الانقلابين، طابقت لدائرة الميل الأوّل: وكانت هي المارةً بقطبي فلك البروج وبقطبي معدل النهار، واتّحد الميلان الأوّل والثاني، وكان كلّ واحدٍ منهما في نهايته وهو كج لا. ومن الدوائر المشهورة دائرة الافق. وهي الفاصلة بين الظاهر والخفي من الفلك. وأحد قطبيها سمت الرأس، والآخر سمت القدم. وعلى هذه الدائرة يكون الطلوع والغروب. وهي ترسم من الخطّ الخارج من البصير المماسّ لكرة الارض منتهى الى التاسع؛ فانّ الظاهر يكون اكثر من الخفي.

و قول من قال بان الظاهر اكثر من الخفي بمقدار اربع دقائق وستّ وعشرين ثانية ليس بصحيح. فان وجدت بالرصد ان قسيمي الشمس والكواكب الظاهرة اكثر من المحسوب بمقدار مختلف يزيد على ثلثي درجة، وذلك مركب من انحدار البصير ومن انخفاض مركز كرة الارض عن مركز العالم. وذلك لكون المطابق لمركز العالم هو مركز ثقل الارض لا مركز حجمها. واختلاف المركز ضروري، لكونها مركّبة من ماءٍ وتراب، ومركز الثقل في جهة التراب.

تقرر ذلك بتواتر الامتحان، وقد افردت لذلك رسالةً.

ومن العظام، دائرة نصف النهار، وقد تقدّم بعض صفاتها. وهي المتوهّمة العظيمة المارةً بقطبي الافق وبقطبي معدّل النهار. فان كان قطب الافق هو قطب المعدّل، كان هي القائمة عليه على قوائم، وهي تفصل الظاهر من المدارات اليوميّة نصفين.

<sup>٣</sup> حصّة: بحصّة [ج،د] <sup>٤</sup> على: فوق السطر [د] <sup>٥</sup> الكوكب: الكواكب [ب،ج،د] <sup>٦</sup> نقطة: منطقة [ب] <sup>٧</sup> لمعدّل: المعدّل [ب] <sup>٨</sup> الجزء المفروض: الجزء المفروض [ج] <sup>٩</sup> الخطّ: ناقصة [ه] <sup>١٠</sup> البصير: البصر [ب،ه،ج،د] <sup>١١</sup> و قول من قال بان الظاهر اكثر من الخفي: في الهامش [د] <sup>١٢</sup> فان: فاني [ب،ه،ج] <sup>١٣</sup> قسيمي: قسي [ه،ج] <sup>١٤</sup> ثلثي درجة: م دقيقة [ج] <sup>١٥</sup> انحدار: انحدار [ج] <sup>١٦</sup> البصير: البصر [ب،ه،ج] <sup>١٧</sup> انخفاض: انخفاض [ب،ه] <sup>١٨</sup> كرة: فوق السطر [ج] <sup>١٩</sup> لكون: ليكون [ب،ج] <sup>٢٠</sup> المركز: المركزين [ه] <sup>٢١</sup> في: من [ه،ج] <sup>٢٢</sup> ذلك: بذلك [ه] <sup>٢٣</sup> بتواتر: بتواتر [ج] <sup>٢٤</sup> كان: كانت [ب،ه،ج] <sup>٢٥</sup> هي: في [ه]

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'astre.<sup>72</sup> 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 déclinaisons sont réunies, et chacune est à son maximum 23; 31.

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'observateur, tangente à la sphère terrestre et allant jusqu'au neuvième orbe ; or la partie visible est plus grande que la partie cachée.

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.

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

---

72. Dans les modèles planétaires, l'*argument de latitude* désigne plutôt l'arc de l'écliptique entre le nœud et la longitude moyenne de l'astre. Dans tout ce paragraphe l'auteur semble viser une synthèse rationnelle des usages du mot '*ard* – latitude. Pour un astre de latitude nulle, au sens où cet astre serait sur l'écliptique, l'usage devait prescrire à ce terme un autre sens que celui auquel nous sommes habitués aujourd'hui.

وتفصل منطقة البروج فوق الارض على نقطة تسمى العاشر، وتحتها على نقطة تسمى الرابع ووتد الارض. واذا وصل الكوكب اليها، كان في غاية ارتفاعه اذا لم يكن ابدى الظهور؛ فان كان ابدى الظهور، فله عليها ارتفاعان، نصف مجموعهما عرض تلك البقعة. والقوس الواقعة من دائرة نصف النهار بين قطبي

معدّل النهار والافق الحقيقي هو عرض البلد. ويقطع الارض على خطّ يسمى و ٨ ج

### خطّ نصف النهار.

ومن الدوائر العظام، دائرة المشرق والمغرب. وهي العظيمة المتوهّمة المارّة ٢٥ د  
بسمت الرأس والقدم وبقطبي دائرة نصف النهار، فتقوم على الافق على قوائم، وتسمى بدائرة أول السموت. واذا مرّ بها كوكبٌ أو جزءٌ مفروض، كان حين المرور لا سمت له. واذا توهّمت قاطعةً لكرة الارض، كان ذلك الخطّ خطّ المشرق والمغرب وهو قائم على خطّ نصف النهار. وخطّ المشرق والمغرب لا يختلف باختلاف البقاع الشرقية والغربية، بل في الشمالية والجنوبية.

ومن الدوائر العظام دائرة عرض اقليم الروية. وهي دائرة متوهّمة عظيمة مارّة بقطبي فلك البروج وبقطبي الافق، فتكون قائمة على الافق، وهي تنصف الظاهر والخفي من فلك البروج. والقوس التي منها فيما بين احد قطبي فلك البروج والافق يسمى عرض اقليم الروية.

ومن الدوائر العظام دائرة الارتفاع. وهي دائرة عظيمة متوهّمة مارّة بقطبي الافق والجزئ المفروض، فتقطع الافق على قوائم على نقطتين بعد كلّ واحدة من هاتين النقطتين من خطّ المشرق والمغرب هو سمت لذلك الارتفاع. والقوس الواقع منها بين الافق والجزئ المفروض هو الارتفاع، وبعد الجزئ عليها من سمت الرأس هو تمام الارتفاع.

ومن الدوائر العظام، دائرة الافق الحادث. وهي دائرة عظيمة تمرّ بنقطتي الشمال والجنوب والجزئ المفروض أو بكوكب مفروض. وارتفاع الافق الحادث قوس من دائرة أول السموت، بين افق البلد والافق الحادث.

١ على : ناقصة [ه] ٢ ارتفاعه : الارتفاع [ه] ٣ ابدى : ابد [ه] ٤ تلك : ناقصة [ج] ٥ الدوائر : ناقصة [أ،ب،ه] ٦ العظيمة : دائرة عزيمة [ج] ٧ على قوائم : بقوائم [ه] ٨ المشرق والمغرب : المغرب والمشرق [ه] ٩ لا يختلف : لاختلافه [ب،ه]، يختلف [ج]، لاختلاف [د] ١٠ الشمالية والجنوبية : الشمال والجنوب [ه] ١١ الدوائر : ناقصة [أ،ب،ه،د] ١٢ متوهّمة عظيمة : عظيمة متوهّمة [ه] ١٣ بقطبي : ناقصة [أ،ب،ج،د] ١٤ فتكون ... من فلك البروج : ناقصة [ه] ١٥ الدوائر : ناقصة [أ،ب،ه،د] ١٦ فتقطع : فيقطع [ج،ه،د] ١٧ عليها : عنها [ب] ١٨ الدوائر : ناقصة [أ،ب،ه،د] ١٩ السموت : السموات [ب]

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 piquet. 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 du lieu. L'arc situé sur le méridien entre les pôles de l'équateur et l'horizon vrai est la latitude du pays. Il coupe la Terre en une ligne qui s'appelle *ligne méridienne*.

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'Ouest <sup>73</sup>, mais elle change quand on va vers le Nord ou vers le Sud.

Parmi les grands cercles, il y a le *cercle de latitude de ce qui est visible sous un climat*. 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 de ce qui est visible sous le climat*.

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.

Parmi les grands cercles, il a le *cercle de l'horizon occurrent*. 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 occurrent* est un arc du cercle origine des azimuts, compris entre l'horizon du lieu et l'horizon occurrent.

---

73. Est-ce pour autant qu'Ibn al-Šāṭir ne connaît pas la loxodromie ? Il était cependant connu que, pour un pays à même latitude que la Mecque et à l'Ouest, la direction de la *qibla* n'est pas le point Est, et qu'elle est "à gauche" du point Est (*cf. infra* p. 395).

وعرض الافق الحادث قوس من دائرة عظيمة تمرّ بقطبي معدّل النهار وتقوم على دائرة الافق الحادث فيما بين قطب العالم و الافق الحادث.

ومن الدوائر المشهورة، المدارات. وهي دوائر موازية لمعدّل النهار مارة بالجزئ المفروض، وجهتها متسوية الى جهة الميل أو القطب. واعظمها ما قرب من المنطقة. و اذا كان لبلد عرض كان الظاهر من المدارات الشماليّة اكثر من النصف، ومن الجنوبيّة اقلّ من النصف، و قوس نهار الكوكب منسوب الى الظاهر من مداره؛ فان بعد المدار من القطب يقدر عرض البلد أو اقلّ، <sup>ج ٨</sup> ظ ج فالكوكب الذي عليه ابدئيّ الظهور ان كان الكوكب في جهة القطب الظاهر، والّا فهو ابدئيّ الخفاء.

ومن الدوائر المشهورة، مدارات العروض. وهي دوائر موازية لمنطقة البروج و <sup>٨ ا</sup> مارة بما نفرض من الكواكب. والكواكب الثابتة تدور على قطبي فلك البروج، الى جهة المشرق، فتكون لازمةً لدائرة من دوائر العروض غير زائلة عنها ابداً. ومن المشهورات، دوائر المقنطرات. وهي دوائر موازية للافق : وما كان منها فوق الافق يسمّى مقنطرات الارتفاع، وما كان منها تحت الافق يسمّى مقنطرات الانحطاط. ودوائر الارتفاع قائمة عليها. فتفصل دوائر الارتفاع بأجزاء متساويةً. وقطبيها سمت الرأس والقدم. و تختلف اشكالها اذا سطحت باختلاف السطح المسطحة عليه، والقطب ايضاً.

<sup>١</sup> تقوم : يقوم [ج،ه،د] <sup>٢</sup> فيما ... الافق الحادث : في هامش [ه] فقط <sup>٣</sup> المشهورة : المشهورات [ب] <sup>٤</sup> متسوية : منسوبة [ب،ج،ه] <sup>٥</sup> و اذا : فاذا [ب،ج،ه،د] <sup>٦</sup> لبلد : للبلد [ج] <sup>٧</sup> و : ناقصة [أ،ب،د] <sup>٨</sup> يقدر : يقدر [ب،ج،د] <sup>٩</sup> يفرض : يفرض [ب،ج،ه] <sup>١٠</sup> الكواكب : الكوكب [ه] <sup>١١</sup> فلك : ناقصة [ب] <sup>١٢</sup> و هي دوائر : ناقصة [ه] <sup>١٣</sup> يسمّى : تسمّى [ج] <sup>١٤</sup> كان : ناقصة [ب] <sup>١٥</sup> قطبيها : قطبها [ب]، قطباها [ج] <sup>١٦</sup> و : ناقصة [ه] <sup>١٧</sup> المسطحة عليه : المسطح عليها [ب،ج،ه]

La *latitude de l'horizon occurrent* est un arc d'un grand cercle passant par les pôles de l'équateur et perpendiculaire à l'horizon occurrent.

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 du lieu, alors l'astre qui la suit est toujours visible s'il est du côté du pôle visible, et toujours caché sinon.

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.

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 pôle.

## الباب الخامس في حركة الثوابت، ونبذة من اختلاف اوضاعها بسبب الحركتين الشرقية والغربية

الكواكب المعروفة بالثوابت مرصعة في سطح الفلك الثامن. وهي مختلفة المقادير. ولا يمكن ان يحصى عددها، الا الله عز وجل، الا ان من تقدم عهده عن ابرخس رصدوا منها الفأ واثنين وعشرين كوكبًا. وأثبتوا اطوالها وعروضها و ٢٦ د لتأريخ مفروض. ورتبوا اقدارها على ستة مراتب : المرتبة الأولى اعظمها والسادسة اصغرها. وكل مرتبة متفاوتة على ثلاثة انواع : اعظم واوسط واصغر. ووجدوا من الالف والاثنين وعشرين كوكبًا خمسة عشر في القدر الاول وخمسة واربعين في القدر الثاني ومائتين وثمانية في القدر الثالث واربعمئة وأربعة وسبعين في الرابع ومائتين وسبعة عشر في الخامس وتسعة واربعين في القدر السادس. وخارجًا عن هذه المراتب أربعة عشر كوكبًا، تسعة خفية تسمى مظلمة، وخمسة سحائية كأنها لطححة أو قطعة غيم.

ولما كثر عددها عسرت اسما ضبطها وكانت مع ذلك ثابتة الاشكال توهموا لتعريفها صورًا يكون الكواكب عليها أو بالقرب منها. فيقال قلب العقرب، وقرن الثور، وذنب الدب، ليعرف ذلك الكوكب ولا يشترك مع غيره بالاسم. فتوهموا و ٩ ج لها ثمانية واربعين صورة : منها شمالي عن منطقة البروج أحد وعشرين صورة، وعلى المنطقة اثني عشر صورة، وفي الجنوب عنها خمسة عشر صورة.

فالصور الشمالية : الدب الاصغر والدب الاكبر والتنين وقيفاوس ويقال له الملتهب ايضًا والعوا والفكة والجاثي على ركبته ويسمى الراقص والشلياق ويقال له السلحفأة ايضًا والدجاجة وذات الكرسي وحامل رأس الغول ويسمى برشاوش و ٨ آ ايضًا وممسك العنان والحواء وحية الحوا والسهم والعقاب وهو النسر الطائر والدلفين وقطعة الفرس والفرس الاكبر والمرأة المسلسلة والمثلث. وعليها من الكواكب المرصودة ثلثمائة وستون كوكبًا.

وصورة البروج : الحمل والثور والجوزاء والسرطان والاسد والسنبلة والميزان والعقرب والقوس والجدى والدالي والحواء. وعليها وحولها من الكواكب المرصودة ثلثمائة وستة واربعون كوكبًا.

٢ نبذة : نبذ [ب، ج، ه] ٤ في : على [ج] ٥ عز وجل : تعالى [ج] ٦ على : عن [ه] ٨ من : في [ه] ٩ القدر : المقدار [ج، ه] ١٠ القدر : المقدار [ه] ١١ في القدر : على المقدار [ه] ١٢ الرابع : القدر الرابع [ه] ١٤ عسرت : عسر [ب، ه] ١٦ يشترك : يترك [ج، د] ١٦ مع غيره : ناقصة [أ، ب، ج] ١٧ عشرون : عشرون [د، ه]

## 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

Les astres appelés *étoiles fixes* constellent la surface du *huitième orbe*. Elles ont diverses magnitudes. Il est impossible de les dénombrer, sauf à 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 degrés : le premier degré est la magnitude la plus grande, et le sixième, la plus petite. Chaque degré se différencie en trois genres : majeur, moyen, mineur. 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.

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 par cette nomination 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.

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.

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.

والصور الجنوبيّة قيتس والجبار والنهر والارنب و الكلب الاكبر والكلب الاصغر  
والسفيّنة والشجاع والكأس ويقال له الباطية والغراب وقنطورس والسبع والمجمرة  
والاكيليل الجنوبي والحوت الجنوبي. وعليها وحولها من الكواكب المرصودة ثلثمائة  
وستة عشر كوكبًا.

وأما السحاييات فاحدها على معصم برشاوش، وثانيها رأس الجبار، وثالثها  
النثرة، ورابعها التالي لجمّة العقرب، وخامسها عين الرامي.

والمجرّة كواكب صغار متقاربة كثيرة جدًّا، ظهرت من صغرها وكثرتها وتقاربها  
كانها لطحخات سحايية، ولذلك شبهت باللبن لونها، وبذلك سماها بطلميوس.  
ومنها منازل القمر ثمانية وعشرون و كواكبها من جملة المرصودة و اسمائها مشهورة.

## فصل

حركة هذه الكواكب في الطول دون العرض. وهي على قطبي البروج من  
المغرب الى المشرق، ويعرف بالحركة الثانية. ومقدارها عند بطلميوس في كلّ  
مائة سنة درجة، وعند المتأخرين في كلّ مائة سنة درجة ونصف، وعند بعضهم  
في كلّ سبعين سنة درجة. وقد حققت ذلك بالرصد فوجدتها تتحرك في كلّ  
سبعين سنة فارسية درجة واحدة. وقد استوعبت ارساد المتقدمين والمتأخرين  
لهذه الكواكب الذي وقعت اليها؛ وذكرت ذلك مع ما رصده وأثبتته في كتاب  
تعليق الارصاد فيكشف من هناك.

واذ تقرّر ذلك، فاعلم ان جميع الكواكب المعروفة بالثوابت لا تفارق مداراتها  
العرضية البتّة، ولا تختلف اوضاعها بقياس بعضها الى بعض ولا بقياسها الى  
قطبي البروج. وتختلف اوضاعها بالقياس الى معدّل النهار بسبب الحركة الثانية،  
وتختلف المدارات اليومية لكلّ كوكب منها وتزيد أبعادها عن معدّل النهار  
وتتناقص. وتختلف اوضاعها بالقياس الى سكان الاقليم، فيصير ما هو اكثر  
ارتفاعًا اقلّ - وذلك اذا كان مداره اليومي يبعد عن سمت الرأس - وبالعكس. و  
ويحدث لبعضها مرور بسمت الرأس بعد ان لم يكن، وذلك عند صيرورة بعده  
عن معدّل النهار يقدر عرض البلد (وفي جهته) بعد ان كان اقلّ أو اكثر.

<sup>١</sup> قيتس: قيطش [ه] <sup>٦</sup> التالي: الثاني [ب]، التالي [ه] <sup>٦</sup> لجمّة: لجهة [ب،ه] <sup>٩</sup> منها: ناقصة  
[أ،ب،ج] <sup>٩</sup> و كواكبها من جملة: كوكبًا من جملة [ب،ه]، كوكبًا من جملة الكواكب [ج]  
<sup>٩</sup> و: ناقصة [ه] <sup>١٣</sup> يعرف: تعرف [ه] <sup>١٣</sup> الثانية: الثابتة [ب،ج] <sup>١٥</sup> كلّ: ناقصة [ه] <sup>١٧</sup> أثبتته:  
أثبتته [ج] <sup>١٧</sup> كتاب: ناقصة [ه] <sup>١٩</sup> اذ تقرّر: اذا نقول [ه] <sup>٢٠</sup> تختلف: يختلف [ه] <sup>٢١</sup> الثانية:  
الثابتة [ج] <sup>٢٢</sup> تتزايد: يتزايد [ه] <sup>٢٣</sup> تتناقص: يتناقص [ه] <sup>٢٦</sup> يقدر: بقدر [ه]

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.

Quant aux étoiles nuageuses, il y en a une sur le poignet de Persée, une deuxième est la tête d'Orion, une troisième ..., une quatrième est celle qui suit le dard (le front ?) du Scorpion, et une cinquième est un œil du Sagittaire.

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.

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

## Section

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 grandeur<sup>74</sup> 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 *Ta'liq al-arṣād*, j'ai consigné cela ainsi que tout ce que j'ai observé et établi.

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. Relativement aux habitants du climat<sup>75</sup>, 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 du pays (du même côté que le pays) alors qu'elle était auparavant supérieure ou bien inférieure.

---

74. c'est-à-dire sa vitesse

75. *i. e.* relativement à un observateur situé sur Terre en un lieu dont la latitude par rapport à l'équateur serait donnée.

وبالعكس وذلك عند صيرورة بعده عن معدل النهار اقلّ من عرض البلد أو أكثر بعد ان كان مساويًا له وفي جهته، وعلى الاوّل يمرّ مداره اليومي في جهة القطب الخفي من سمت الرأس، وعلى الثاني في جهة القطب الظاهر. ويصير بعضها ابدي الظهور أو ابدي الخفا بعد ان لم يكن، وذلك عند صيرورة تمام بعده عن معدل النهار اقلّ من عرض البلد أو مساويًا له وفي جهة القطب الظاهر أو الخفيّ بعد ان كان أكثر منه. واذ ذاك فله طلوع وغروب، وعلى تقدير التساوي يماسّ الافق في كلّ دورةٍ مرّةً على دائرة نصف النهار، ولا يغرب ان كان في جهة القطب الظاهر، أو لا يطلع ان كان في جهة القطب الخفيّ؛ وغاية بعده عن الافق يكون بقدر ضعف عرض البلد. وان صار اقلّ، فلا يماسّه ويكون بعده من الافق اذا كان اقرب بقدر فضل عرض البلد على تمام بعده من المعدل واذا كان ابعد فبقدر مجموع عرض البلد وتمام بعده منه. ويحدث لبعضها طلوع وغروب بعد ان كان ابدي الظهور أو الخفا وذلك عند زيادة تمام بعده عن معدل النهار على عرض البلد بعد ان كان اقلّ منه أو مساويًا له. و من عكسه صيرورة ابدي الخفا ذا طلوع وغروب. وتعين اطلاق و ١٠ ج ١٥ اسم ابدي الظهور وابدي الخفا على بعض هذه الكواكب مجازًا إلا حقيقة، و الله أعلم.

<sup>٦</sup> اذ ذاك: ان زاد [ه] <sup>١٢-١٣</sup> ابدي الظهور أو الخفا وذلك عند زيادة تمام بعده عن معدل النهار على عرض البلد بعد ان كان: ناقصة [ب، ج، د، ه] <sup>١٤</sup> ذا: و ذا [ه] <sup>١٥-١٦</sup> و الله أعلم: ناقصة [ه]

Inversement, lorsque sa distance à l'équateur céleste devient inférieure à la latitude du pays (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. 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 du pays et qu'elle est du côté du pôle visible (resp. caché) 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 du pays. 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 du pays et le complément de sa distance à l'équateur, et au maximum, la somme de la latitude du pays et de sa distance à l'équateur. 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 du pays alors qu'elle lui était inférieure ou égale auparavant. Ainsi, les expressions « toujours visible » ou « toujours cachée » sont un abus de langage. Dieu est le plus savant.

## الباب السادس في الحركات العرضية وغيرها

إذا تحرك التاسع، تحرك معه سائر الأفلاك من المشرق الى المغرب على قطبيه وحول مركزه. وهذا يسمى حركة الحاوي للمحوى. فقد اتفق المتقدمون على جواز حركة المحوى بحركة الحاوي، مع تحرك المحوى الى جهة حركة الحاوي أو الى خلافها. واختلفوا في أنّ المحوى اذا تحرك حركته الخاصة على محور الحاوي ومركزه: هل يجوز ان يتحرك بحركة الحاوي، أم لا ؟

- فذهب بعضهم الى جواز ذلك مستدلاً عليه، بأنّ تحرك الحاوي للمحوى هو بملازمة المتحرك لمكانه من المحرك، فيتحرك بالعرض بحركة مكانه، كحركة ساكن السفينة بحركة السفينة. ثم انه مع ذلك، يتحرك حركته الخاصة به، كساكن السفينة اذا تردّد في السفينة، تارة الى جهة حركتها وتارة الى خلاف<sup>٩</sup> تلك الجهة. لكن يمتنع الادراك به، لان الادراك بحركتين مختلفتين في كرة واحدة على منطقة وقطبين باعيانها ممتنع : بل أنّما يحسّ بحركة واحدة مركبة من مجموعهما ان كانتا الى جهة واحدة، أو حاصلة من فضل أسرعهما على أبطئهما ان كانتا الى جهتين (وكذلك الحكم فيما زاد على ذلك التقدير). ويردّ عليه : انه لا يمتنع الإحساس اذا كان على الفوقاني كوكب ايضاً.
- وذهب بعضهم الى انه يمتنع مستدلاً عليه، انّ تشبّث المحوى بالحاوي حينئذ لا يكون بالقطبين لكونهما ثابتين على المحور المشترك، ولا بنقطتين غيرهما. لو كان التشبّث دائماً، اذ يوجب ان يكون التشبّث بجميع السطوح، وذلك يمنع المحوى من الحركة الخاصة به. ولا يجوز ان يكون نقط من المحوى تلزم نقطا من الحاوي تارة، وتفارقها تارة أخرى. وتحركه اقلّ من حركته<sup>١٠</sup> وباللزاق لا بنفسه. اذ لا يكون متحركاً بحركة الحاوي كلّها.

<sup>٩</sup> يسمى : يقبض [ب،ه]، يقتضى [ج] <sup>٤</sup> فقد : و قد [ه] <sup>٧</sup> لا : ناقصة [ب] <sup>١٢</sup> لكن : لاكن [ج] <sup>١٤</sup> جهة واحدة : جهتين [ب،ه] <sup>١٥</sup> أبطئهما : ابطاهما [أ،ب،ج،ه] <sup>١٥</sup> كانتا : كانت [ه] <sup>١٥</sup> جهتين : جهة واحدة [ه] <sup>١٦</sup> يردّ : يزداد [ج] <sup>١٦</sup> لو : اذا [ه] <sup>١٦</sup> بجميع : لجميع [ه]، الى جميع [ج] <sup>٢٠</sup> لا يجوز : يلزم [ب]، الا يلزم [ه] <sup>٢٠</sup> نقط : نقطة [ب،ج،ه] <sup>١١</sup> نقطا : نقطة [ه] <sup>٢١</sup> تارة : ناقصة [ب،ج،ه]

## Chapitre six

### Les mouvements par accident et les autres mouvements

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 ?

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 est mû par accident à cause du mouvement de son lieu, comme le passager du navire est mû à cause du 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 inverse. C'est certes impossible à percevoir, car il est impossible de percevoir deux mouvements différents dans une même sphère sur une ceinture et ses 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 sens (et on jugerait de même s'ils sont plus nombreux)<sup>76</sup>. À quoi l'on répond : ce n'est pas impossible à percevoir quand il y a aussi un astre sur l'orbe supérieur.

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.

---

76. Al-Ṭūsī utilise précisément cet argument dans la *Tadhkira* (II.2) : 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).

كما يوجد في المدار الموضوعة تحت الثقل؛ اذ يوجب ان يكون التحريك  
 بغير نظام لانّ هذه الحركة لا تكون طبيعية لإحدى الكرتين، بل تكون ضرباً ظ ١٠ ج  
 من الاتّفاق، وليس ثمّ شيّ مختلّ النظام. وايضاً لا يكون المحوى، حال تشبته  
 بالحاوي، متحرّكاً بذاته؛ ولا متشبّثاً حين حركته بذاته؛ فيلزم ان يكون متحرّكاً  
 بذاته و غير متحرّكٍ بذاته، ومتشبّثاً وغير متشبّثٍ؛ هذا خلف. و قال وأمّا  
 امکان تحرك المحوى على محور الحاوي حركة موافقة له أو مخالفة، فلا ارى  
 سبباً يمنع ذلك. فان تساوت حركتهما، واتّحدت الجهة والزمان، فلا يعقل  
 الانفصال فلا فائدة فيه.  
 هذه هي المذاهب مع الدلائل والشبه. قال قطب الدين الشيرازي دليل  
 الجواز اظهر واقرب، ولكن على تفصيل. ودليل الامتناع غير سالم عن المنوع،  
 لإبتناؤه على ان مع اتّحاد المركز لا بدّ من التشبث. وهو غير لازم.

## فصل

لا ارى بجواز حركة المحوى، مع حركته بنفسه، مع حركته بحاوٍ آخر على  
 خلاف قطبيه والى غير جهته. بيانه أنّ الفلك الممثل للشمس متحرك بالحركة  
 اليومية من المشرق الى المغرب، ويتحرك هو بنفسه على قطبي البروج من  
 المغرب الى المشرق، بمقدار حركة مركز الشمس أو وسطها. فلا يجوز حركته  
 بحركة الثامن لتتحرك الاوج، بل يحتاج الى فلك آخر يحركه الى المشرق على  
 قطبي البروج بقدر حركة الاوج.

١ كما: لما [أ،ب،ج،د،ه] ١ في المدار: من المدارات [ه]، من المدار [ب] ٤ حركته: تحركه  
 [أ،د] ٥ و: في [ه] فقط ٥ متحرّك: متحرّكاً [ج] ٥ هذا خلف: هف [ب،ج،د،ه] ٥ و قال:  
 ناقصة [ج] ٦ حركتهما: حركتهما [ه] ١١ لإبتناؤه: لإبتناؤه [أ] ١٢ المحوى: المحوى بحاوي  
 [أ]، المحوى بحاوٍ [ه] ١٦ يجوز: تجوز [د،ج] ١٧ لتتحرك: ليحرك [ه] ١٧ يحركه: بحركة [ب]

C'est comme dans la roue située sous une charge ; 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 contrevienne 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 absurde.<sup>77</sup> [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.

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.

## Section

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'Apogée, 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'Apogée.

---

77. 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 du contenu par le contenant. L'hypothèse de l'adhérence semble se décliner en trois hypothèses rejetées tour à tour :

- il y a toujours adhérence
- des points tantôt s'attachent, tantôt se séparent
- le contenu est collé au contenant et cela freine le mouvement

ولو فرض جواز ذلك، وجب ان يتحرك سائر الأفلاك لباقي الكواكب بتلك الحركة، فإنه لا يمكن ان يتحرك ممثّل الشمس مثاله ولا يتحرك باقى أفلاك زحل والمشتري. وفيه دقة فتامله.

١١٠ و

تنبیه. لو فرضنا للشمس تدويرًا وممثلاً على المشهور، كان ممثّل الشمس يتحرك بنفسه على قطبي البروج مثل مركز الشمس، والتدوير يتحرك في أعلاه الى خلاف التوالي، والتاسع يحرك الفلكين من المشرق الى المغرب. فلا يقوى الثامن ان يحرك الممثل من المغرب الى المشرق بمقدار حركة الاوج لما قلنا. فيحتاج الى فلك آخر تحرك الممثل بمقدار حركة الاوج. ولما لم يجده من قال بحركة الاوج ولا يحركه فرض حركته مثل حركة الثامن وفرض الثامن يحركه بالعرض الى التوالي والتاسع يحركه الى خلاف التوالي على غير قطبي الحركة و ١١ ج الاولى وهو مع ذلك يتحرك بنفسه، وهذا محال، فيحتاج الى زيادة فلك آخر يحرك الاوج بالضرورة.

تنبیه آخر. قد تواترت الارصاد الصحيحة بأن حركة الاوج اسرع من حركة الثامن. فوجب حينئذ زيادة فلك آخر يحرك الاوج بمقدار الحركة المرصودة.

تنبیه آخر. لو فرض للشمس ممثّل وتدوير و فلك آخر يحرك الاوج، لم يكن التقويم بهذا الاصل يطابق الرصد الصحيح، فانا قد رصدنا انصاف ارباع البروج محدداً، فوجدنا ذلك مخالفاً للتقويم بالاصل المذكور. وقد برهنا على ذلك في كتاب تعليق الارصاد. فاحتجنا الى اصل بسيط يطابق المرصود؛ فوفق الله وله الحمد والمنة لاصل يفى بالمقصود، على ما ستقف عليه ان شا الله تعالى. ٢٠

٤ تدويرًا وممثلاً: تدوير وممثّل [أ،ب،د] ٧-٦ فلا يقوى الثامن ان يحرك: فلا يقوى الثامن ان يحرك الفلكين من المشرق الى المغرب ولا يقوى الثامن ان يحرك [ج] ٨ تحرك: يحرك [ب،ج،ه] ٩ ولا يحركه: ولا بحركة [ب،ج،د]، ناقصة [ه] ١١ زيادة: حركة [ه] ١٢ تواترت: تواتر [ج] ١٥ و فلك: ناقصة [ج] ١٨ كتاب: في [ج] فقط ١٩ فوفق الله وله: فوفق الله تعالى وله [ج]، فوفقت اليه ولله [ه]

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 attention!<sup>78</sup>

*Remarque.* Si nous supposons que le Soleil a un épicycle et un parécliptique comme dans la configuration connue<sup>79</sup>, 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 orbite en sens inverse, et le neuvième orbite meut ces deux orbites 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'Apogée, comme nous l'avons dit. Il y a donc besoin d'un autre orbite qui meuve le parécliptique, d'un déplacement égal au mouvement de l'Apogée. Il n'y a personne qui dise que l'Apogée n'est mû ni selon l'hypothèse que son mouvement est semblable à celui du huitième orbite, ni selon l'hypothèse que le huitième orbite le meut par accident dans le sens des signes, que le neuvième le meut dans le sens inverse sur des pôles distincts de ceux du premier mouvement, et qu'en plus de cela l'Apogée se meut par lui-même ; alors il y a besoin d'ajouter un autre orbite qui meuve l'Apogée.<sup>80</sup>

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

*Autre remarque.* Si on suppose que le Soleil a un parécliptique, un épicycle et un autre orbite qui meut l'Apogée, avec ce principe, 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 sur le principe ci-dessus. Et nous avons déjà démontré cela dans le livre *Ta'īq al-arṣād*. Donc il nous faut un principe simple qui coïncide avec les observations ; Dieu a fait trouver un principe qui suffit à l'effet visé, et [c'est un principe] que tu vas connaître, si Dieu le veut.

---

78. 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'Apogée, dû au mouvement de l'« orbite parécliptique du Soleil ». Mais il est aussi entraîné par le mouvement diurne du neuvième orbite le contenant, et par le mouvement de l'Apogée. Le mouvement de l'Apogée doit être causé par le mouvement d'un autre orbite le contenant. Si cet orbite est le huitième (animé du mouvement de précession des fixes), alors les orbites 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 orbite.

79. Le modèle du Soleil avec un épicycle, chez Ptolémée.

80. Ibn al-Šāṭir semble simplement répéter le raisonnement du paragraphe précédent. La structure de tout ce paragraphe et du précédent est confuse.

تنبه آخراً. اختلفوا في حركات الأفلاك الصغار الغير محيطة بمركز العالم، كفلك التدوير ونحوه. فاجمعوا على جواز حركاتها الى ايّ جهة، فرضت مستدلين بان لفلك التدوير نصفاً أعلى ونصفاً اسفل؛ فان تحرك في اعلاه الى التوالي، تحرك في اسفله الى خلاف التوالي، وعكسه. فلا يكون حركته قسريّة، ولا عرضية، بل طبيعية. واجمعوا على جواز التدوير في غير الفلك التاسع، لوجود <sup>ظ ٢٧ د</sup> ما نراه من الكواكب في الأفلاك. فان الكوكب في الفلك يدلّ على تركيب ما. ومن قال بان الافلاك بسايط يمتنع وجود التدوير فيها، وان يكن ثم حركة على غير المركز فليست هي بسيطة، قلت قد تعين وجود التداوير وحركاتها. فان امتنع ذلك ببرهانٍ قطعيّ، ثبت تركيب الافلاك. وعدم البساطة فيها. وعندني انها مركبة من بسايط لا من العناصر، خلا التاسع، والله أعلم.

<sup>١</sup> محيطة : المحيط [ه] <sup>٤</sup> يكون : تكون [ج] <sup>٦</sup> نراه : تراه [ج،ه] <sup>٦</sup> الأفلاك : أفلاك [د،ب] <sup>٨</sup> على غير المركز: في الهامش [ه]، على غير مركز [ج] <sup>٩</sup> ثبت : تبث [أ]

*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*. A 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 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 savant.<sup>81</sup>

---

81. 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...).

## الباب السابع

### في أفلاك الشمس وحركاتها على الصحيح

- ونورد مدارات مراكز الاكر المجسمة أوّلاً لكونها اسهل تصوّراً على البسيط. <sup>١٠</sup> ط أ  
 فنتوهم فلك في سطح البروج وعلى مركزه ونسميه الممثل. ونتوهم فلك آخر،  
 مركزه على محيط الممثل، نصف قطره اربع درجات وسبع وثلاثون دقيقة بالأجزاء  
 التي يكون بها نصف قطر الممثل ستين جزءاً، ونسميه بالفلك الحامل. وعلى <sup>١١</sup> ط ج  
 محيط الحامل، مركز فلك آخر، نصف قطره درجتين ونصف بتلك الأجزاء،  
 يسمى المدير. وفلك آخر على مركز العالم، محيط على هذه الأفلاك. نصف  
 قطره من داخل بمقدار انصاف اقطار الأفلاك الثلاثة المذكورة، وزيادة نصف  
 قطر كرة الشمس ؛ وذلك سدس جزء من تلك الأجزاء، فيكون نصف قطره  
 سبعة وستين درجة وسبع عشر دقيقة. وسمكه بمقدارٍ يمكن ان يتحرك الى  
 جهة المشرق مثل حركة الاوج ؛ فيفرض نصف قطره ثمانية وستين درجةً،  
 فيكون سمكه ثلاثة واربعين دقيقة. و يسمى الشامل.
- ونفرض الأفلاك الثلاثة على الخط الخارج من مركز البروج المارّ بالاوج على  
 هذه الصورة الاتية. وأما الحركات، فإنّ الفلك الممثل يتحرك من حركة بسيطة <sup>١٢</sup> ج  
 حول مركز البروج وعلى قطبيه الى توالي البروج مثل حركة مركز الشمس، وهو  
 في اليوم . ن ط ح ط نا مو نز لب ج. فينتقل مركز الحامل الى التوالي بهذا  
 المقدار. ويتحرك الفلك الحامل حركة مستوية عند مركزه الى خلاف التوالي في  
 أعلاه مثل مركز الشمس ايضاً، وهو . ن ط ح ط نا مو نز لب ج. ويتحرك  
 الفلك المدير حركة مستوية عند مركزه في أعلاه الى التوالي مثل ضعف مركز  
 الشمس، وهو في اليوم ا نح نو بط مج لد. فينتقل مركز جرم الشمس الى  
 التوالي بهذا المقدار.

٤ فنتوهم: فيتوهم [د،ج]، غير مقروء [ب،أ] ٤ فلك: فلگًا [ه] ٤ نتوهم: يتوهم [د] ٤ فلك: فلگًا  
 [ب،ه] ٥ محيط: منطقة [ب] ٦ بها: ناقصة [ج] ٦ ستين: ستون [ج] ٨ يسمى: تسمى [ه]  
 ١٠ فيكون: فتكون [ب]، غير مقروء [ه] ١٢ فيفرض: فنفرض [أ] ١٣ و يسمى الشامل: في هامش  
 [ه] فقط ١٤ نفرض: تفرض [ج] ١٥-١٤ على هذه الصورة الاتية: على هذه الاتية [د]، هكذا  
 [ج] ١٥ من: ناقصة [أ،ب] ١٦ هو: هي [د] ١٧-١٩ فينتقل... . ن ط ح ط نا مو نز لب ج :  
 في الهامش [د]، فينتقل ... . ن ط ح ط نا مو ن نه [ج] ١١ ا نح نو بط مج لد :  
 ا نح نو بط مج لد [د]، ا نح نو بط مج لد [ج]، في [ه] «نو بط» غير مقروء

## Chapitre sept

### L'orbe du Soleil et ses mouvements

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 la périphérie 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 la périphérie 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*. Et il y a un autre orbe au centre du monde dont la périphérie 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 [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'Apogée. Nous supposons que son rayon est soixante-huit degrés, alors son épaisseur est quarante-trois minutes. On l'appelle *orbe total*.

A présent, supposons que les trois orbes sont sur la ligne issue du centre du zodiaque et passant par l'Apogée (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 jour<sup>82</sup>. 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 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.

---

82. Si l'on utilise cette valeur pour calculer le Soleil moyen (Soleil moyen = centre + Apogée), 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 C corrige d'ailleurs cette erreur (voir apparat critique dans l'arabe).

ويتحرك الفلك الشامل حركة بسيطة حول مركزه من المغرب الى المشرق مثل حركة الاوج، وهو في اليوم تسع ثوالت واحدى وخمسون رابعة وست واربعون خامسة واحد وخمسون سادسة ؛ فيكمل له في السنة دقيقة واحدة، وفي كل ستين سنة درجة بالرصد المحقق. رصد ونقح، فيصير بعد مركز التدوير عن النقطة الثابتة من البروج بمقدار مجموع الحركتين، ومجموعهما الوسط، وهو بسيط مركب.

فيكون ابعء بعد الشمس من مركز العالم اذا كانت في الاوج، واقرب قربها منه اذا كانت في الحضيض، ويكون في بعدها الاوسط اذا كان المركز

ج ز ا و ح ب ج. ونخرج من مركز البروج خط مستقيم الى مركز الحامل،

- ١٠ ونخرج خط آخر من مركز البروج الى جرم الشمس، فيحيطان بزاوية اختلاف ١١ ا الشمس وهو التعديل. ويتطابقان اذا كان مركز الحامل في الاوج أو الحضيض. واكثر هذا الاختلاف درجتين ودقيقتين وست ثواني، وذلك عند كون المركز ثلاث بروج وسبع درج أو ثمانية وثلاث وعشرين درجة. والخط المار بمركز الحامل يفصل من فلك البروج وسط الشمس. وبعد هذا الخط من الخط الخارج من البروج المار بالاعتدال الربيعي وهو وسط الشمس؛ وبعده من الخط المار بالاوج هو مركزها. وبعد الخط المار بالاوج من الخط المار باول الحمل هو الاوج. ومجموع الاوج والمركز هو وسط الشمس.

٤ رصد ونقح: في الهامش [ج] التدوير: غير مقروء [ب]، المدير [ه] <sup>٨</sup> اذا: الي [ب] <sup>٨</sup> يكون: تكون [أ، ج] <sup>٩</sup> ج ز ا و ح ب ج: ج ز ا و ح ب ج [ب]، ج ز ا و ح ب ج [ه] <sup>٩</sup> نخرج: يخرج [ب] <sup>١٣</sup> ثلاث: ثلاثة [ه] <sup>١٣</sup> درج: درجات [ب] <sup>١٣-١٤</sup> بمركز الحامل: بالمركز اي بمركز الحامل [ج]

L'orbe total se meut d'un mouvement simple autour de son centre, d'Ouest en Est, comme le mouvement de l'Apogée, 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 ans<sup>83</sup>, par l'observation véritable. Observe et corrige, alors la distance du centre de l'orbe déférent<sup>84</sup> au 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.

Alors la distance du Soleil au centre du monde est maximale quand il est à l'Apogée, minimale quand il est au périégée, et moyenne quand le centre est 3 signes et 7; 7, 1, 6, 8, 13 degrés<sup>85</sup>. Trace 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'Apogée ou au périégée. Et 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 degrés<sup>86</sup>. 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 zodiaque et passant par l'équinoxe de printemps est le Soleil moyen. Sa distance à la droite passant par l'Apogée est son *centre*. La distance entre la droite passant par l'Apogée et la droite passant par le commencement du Bélier<sup>87</sup> est l'*Apogée*. La somme de l'Apogée et du centre est le Soleil moyen.

---

83. Soixante années persanes.

84. Le texte porte "épicycle", mais il faut bien lire "déférent".

85. Ou bien faut-il lire « 7; 7 ou 8; 13 » ? Mais ce résultat est erroné. 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. À moins qu'Ibn al-Šāṭir donne ici une valeur en signes et en *heures* (avec 1 h = 0°2'30") : si le cosinus du centre est arrondi à 0; 0, 18, 40, on trouve en effet 3 signes et 7; 7, 48 heures.

86. 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 la correction 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 la correction ne peut, sur cet intervalle, varier de plus de 0; 0, 0, 38 degrés quand le centre varie de 0; 30 degrés. La correction maximale est donc inférieure à 2; 2, 5, 48. Une table plus précise montrerait que la correction maximale est de 2; 2, 5, 13. Cf. aussi le graphe de l'équation du Soleil dans notre commentaire *supra* figure 7 p. 414.

87. Ibn al-Shāṭir veut dire l'équinoxe de printemps. A cause du « deuxième mouvement » (le mouvement de précession), le Bélier se déplace par rapport à l'équinoxe de printemps...

ويكون ابعده بعد مركز الشمس من مركز العالم سبع وستين درجة وسبع دقائق  
 بالأجزاء التي بها نصف قطر الممثل ستين جزئاً. واقرب قرب مركز الشمس من ط ١١ أ  
 مركز العالم اثنان وخمسون جزئاً وثلاث وخمسون دقيقة بتلك الأجزاء .  
 ووسط الشمس لنصف نهار يوم الثلاثاء اول سنة إحدى وسبعمئة ليزدجرد  
 ط ١٥ ط . بدمشق، واول الشمس للتاريخ المذكور ب ك ط ن ب ج ا؛ وحركة ط ١٢ ج  
 الاوج الى التوالي في ستين سنة فارسية درجة واحدة؛ وحركة الشمس في سنة  
 فارسية يا ك ط مه م، وفي شهر وهو ثلاثون يوماً . ك ط لد ط نا مون نزل ب،  
 وفي يوم . ن ط ح يط مج ل ح ما نه د و، وفي ساعة مستوية . ب ك ز ن مط يح ند يد مز.  
 فاذا نقصنا من الوسط الاوج بقى المركز.

١٠. نتوهم الممثل فلك كرى مجسم مقعره مماس لمحدب الشامل لأفلاك الزهرة  
 ومحدبه مماس لمقعر الفلك الشامل للشمس؛ ومركزه مركز العالم وله قطبان  
 محاذيان لقطبي فلك البروج ومنطقته في سطح منطقة البروج.  
 وسمكه اربع عشر درجة واربع وثلاثون دقيقة، وزيادة. بحيث يتصل بعضه  
 ببعض اذا غمس فيه كرة الحامل، ونفرض الزيادة من خارج وداخل ثلث درجة،  
 ١٥. بالأجزاء التي بها نصف قطر محيطه سبعة وستون جزئاً وسبع عشر دقيقة.  
 ونفرض كرة قطرها اربع عشر درجة واربع وثلاثون دقيقة، مغرقة فيه، مماسة له  
 من داخل وخارج ونفرض كرة أخرى نصف قطرها درجتان ونصف وسدس من  
 تلك الأجزاء، مغرقة في كرة الحامل بحيث تماسها على نقطة. ونفرض جرم  
 الشمس مغرقة في هذه الكرة. ونفرض مناطق هذه الاكبر في سطح فلك البروج.  
 فيكون صورتها على ما نصور على البسيط هكذا. ٢٠.

٢ ستين : ستون [ه] و : او [ه] ° ط ١٥ ط : في هامش [أ،ج] «و موافقه يوم  
 الثلاثاء أول سنة إحدى وسبعمئة ليزدجرد ثالث عشرين ربيع الأول ٧٣٢ عند المصلة من  
 الهجرة المطهرة، و رابع عشرين ربيع [...] سنة ١١٣١ [...]»، في هامش [ه] «موافق  
 للثالث والعشرين من ربيع الأول سنة اثنين وتلتين وسبعمئة هجرية» ° ب ك ط ن ب ج ا :  
 ب ك ط ن ب [أ] ° . ك ط لد ط نا مون نزل ب : . ك ط لط نا مون نزل ب [ه]  
 ° . ب ك ز ن مط يح ند يد مز : . ب ك ز ن نط يح ند يد مز [ب] ° من الوسط  
 الاوج : الاوج من الوسط [ج] ١٠ نتوهم : ف هامش [ج]، يتوهم [ه] ١٢ محاذيان : محويان  
 [ج]، محويان [د]، محاذيان [ه] ١٣ فلك البروج : فلك [ب،ج،د]، وكتب في هامش  
 [ب،ج،د] «فلك البروج» ١٣ اربع : اربعة [ه] ١٤ نفرض : نفرض [ه] ١٦ نفرض : يفرض [ه]  
 ١٦ درجة : درج [ب] ١٧ نفرض : يفرض [ه] ١٨ تلك : ذلك [ه] ١٨ تماسها : يماسها [ه] ١٨ نفرض :  
 يفرض [ج،ه] ١٩ مغرقة : مغرقة [ه] ١٩ نفرض : نفرض [ج،ه] ١٩ مناطق : منطقة [ه] ١٩ الاكبر :  
 الكرة [ه] ٢٠ نصور : تصور [ب،ه]، يصور [ج] ٢٠ هكذا : ناقصة [ج]

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.

Le Soleil moyen à midi du premier jour de l'année sept cent un de l'ère de Yazdgard 9 signes et 10; 9, 0 degrés à Damas et l'Apogée du Soleil à la date indiquée est 2 signes et 29; 52, 3, 1 degrés. Le mouvement de l'Apogée 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 égale 0; 2, 27, 50, 49, 18, 54, 14, 47. Ôtons du Soleil moyen l'Apogée, il reste le centre.

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.

Son épaisseur est de quatorze degrés et trente-quatre minutes, plus un complément. Pous 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.

ويحيط بها كرة مركزها مركز العالم، مقعره مماسّ لمحدّب ممثّل الشمس وسمكه ثلاث واربعون دقيقة ومحدّبه مماسّ لمقعر ممثّل المريخ، ومنطقته في سطح البروج، وقطباه قطبا البروج. والحركات على ما تقدّم. فيتمّ امر الشمس و ٢٩ د بأربعة أفلاكٍ : اثنان محيطان بمركز العالم وعلى مركزه وفي سطح البروج، والحامل والمدير. ولو وافق التقويم باصل التدوير على هيئة بطلميوس في أنصاف الأرباع، كان يجب ان يزداد فيه فلك آخر يحرك الأوج في كلّ ستين سنة درجة. ولكن خالف في الرصد ولم يوافق في غير النقط الاربع الاعتدالين والانقلابين لا غير. وهذه الأفلاك على مركز واحد والمركز والوسط والأوج مقدّر من دائرة واحدة ؛ فان في الهيئة المشهورة يكون الوسط مقدّر من دائرة والمركز والأوج مقدّر من دائرة أخرى وهذا لا يصحّ وجعلوه من قوس شبيه وهو محال.

## فصل

ظ ١٣ ج

وطريق تقويم الشمس بالجدول والحساب ان تجمع الوسط للتاريخ الذي تريد وتجمع الأوج ايضاً وتسقط الأوج من الوسط يبقى المركز. أو تستخرج الوسط والأوج من الجدول للوقت الذي تريد. وذلك ان تأخذ ما يخصّ السنين التامة المجموعة والسنين المبسوطة والشهور والأيام، ولا تدخل اليوم الذي انت فيه في الحساب، ثم اجمع كل جنس الى جنسه وارفع ما يجب ارتفاعه ؛ واطرح الادوار التامة، فما بقي فهو الوسط. وعلى ذلك، اجمع الأوج ثم اسقط الأوج من الوسط، يبقى المركز. فادخل به الى جدول تعديل الشمس. فما ١٢ ا وجدته بازائه من الدرج وكسورها، معدلاً بفضل ما بين السطرين، فهو تعديل الشمس. فان وقع المركز في أعلى الجدول، فنقص التعديل من الوسط، وان وقع في اسفل الجدول، فزد التعديل عللوسط.

<sup>٢٠</sup> الشمس وسمكه ثلاث واربعون دقيقة ومحدّبه مماسّ لمقعر ممثّل : ناقصة [ج،د] <sup>٤</sup> بأربعة : أربعة [ب]، اربع [د] <sup>٧</sup> خالف في الرصد : يخالف الرصد [ه] <sup>٩</sup> الهيئة : الهيات [ب،ه] <sup>٩</sup> مقدّر : مقدراً [ب،ه] <sup>١٠</sup> مقدّر : مقدراً [ه]، مقدران [ج] <sup>١٠</sup> شبيهه : شبيهه ؟ [أ] <sup>١٠</sup> هو : هذا [ب،ه] <sup>١٣</sup> تستخرج : يستخرج [ب،ه]، استخراج [ج] <sup>١٤</sup> ما يخصّ : في الهامش [ه] <sup>١٧</sup> ا طرح : اخرج [ه] <sup>١٨</sup> الأوج : ناقصة [ه] <sup>١٨-١٩</sup> فما وجدت بازائه من الدرج وكسورها : فما وجد بازايه من الدرج والدقائق [ج] <sup>١٩</sup> ما : ناقصة [د،ج]

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. 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 déférent et le rotateur. Si la correction s'accordait au principe de l'épicycle selon la configuration de Ptolémée dans les octants, il faudrait ajouter un autre orbe mouvant l'Apogée 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'Apogée sont des quantités prises dans un même cercle ; or dans la configuration connue<sup>88</sup>, le Soleil moyen est une quantité prise dans un certain cercle, et le centre et l'Apogée sont des quantités prises dans un autre cercle ; et ceci est erroné, ils en ont fait un arc semblable, et c'est impossible<sup>89</sup>.

## Section

*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'Apogée, et que tu ôtes l'Apogée du Soleil moyen, il reste le centre. Donc tu tires le Soleil moyen et l'Apogée 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 augmenté<sup>90</sup> ; rejette les circonférences entières ; reste alors le Soleil moyen. Après cela, fait l'addition pour l'Apogée, puis ôtes l'Apogée 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.

---

88. un modèle du Soleil avec un excentrique

89. 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*, *Apogée* et *Soleil moyen* désigneront tous des angles mesurés le long de cercles concentriques ; c'est plus compliqué chez Ptolémée.

90. addition sexagésimale avec retenues

فما حصل، فهو تقويم الشمس من فلك البروج لنصف النهار الذي حسبته له بدمشق.

وان شئت حساب التعديل بالحساب من غير جدول : اذا اردت ذلك، فاضرب جيب مركز الشمس في سبع درج وسبع دقائق منحطاً فما حصل، فزده على ستين ان كان المركز في جهة البعد الابدع وهو ان يكون المركز اقل من ثلاث بروج وسبع درج وسبع دقائق أو اكثر من ثمان بروج واثنين وعشرين درجة وثلاثة وخمسين دقيقة، فان كان غير ذلك فهو في جهة البعد الاقرب، 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 بعد الشمس من مركز العالم بالأجزاء التي بها نصف قطر الممثل ستين جزئاً. ثم اقسمت المقسوم على بعد الشمس من مركز العالم، يخرج جيب تعديل الشمس، قوسه في جدول الجيب، يخرج التعديل. وعلى ذلك حسبنا لجزء جزء وأثبتناه في الجدول. فان كان المركز اقل من ست بروج، فنقص التعديل من الوسط، وان كان اكثر من ست بروج، فزد التعديل على الوسط ؛ يحصل موضع الشمس من فلك البروج.

## فصل

قطر الشمس في بعدها الاوسط، وذلك عند كون بعدها من مركز العالم مثل نصف قطر الممثل، وذلك بالفرض ستين جزئاً : لب لب. وقطرها في بعدها الابدع : كط ه. وفي بعدها الاقرب : لو نه.

و ١٤ ج

<sup>٢</sup> جدول : الجدول [ج] <sup>٣</sup> اذا اردت ذلك : ناقصة [ج] <sup>٤</sup> فما : ممّا [أ] ؟ <sup>١١</sup> اقسمت : قسمت [د]، اذا قسمت [ب،ه] <sup>١٤</sup> كان : فوق السطر [ه] <sup>١٥</sup> موضع : مقوم [ج]

On obtient alors le Soleil vrai, par rapport à l'orbe écliptique, à midi du jour pour lequel tu as calculé, à Damas.

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 minutes<sup>91</sup>, ou bien supérieur à huit signes, vingt-deux degrés et cinquante-trois minutes<sup>92</sup>; 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). 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.

## Section

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'Apogée est 29; 5, et au périégée 36; 55.

---

91. il faut lire seulement : trois signes, c'est-à-dire 90°.

92. il faut lire plutôt : neuf signes, c'est-à-dire 270°.

وطريق الحساب لقطرها في غير هذه المواضع، ان تقسم قطرها في بعدها  
الايوسط على بعدها من مركز العالم الذي هو مركز البروج. وقطرها في بعدها  
الايوسط عن ابرخس لب مه، وعند الهند لب لج، وعند المحدثين لب له،  
وعند بطلميوس في سائر الأبعاد لا ك، والذي تحرر عندي بالرصد لب لب.  
وفيه طريق بتقريب يسير، وهو ان تضرب بهت يوم الشمس في ثلاثة وثلاثين  
درجة، يخرج قطرها بالتقريب ؛ والاول مبرهن. و الله أعلم.

ظ ٢٩ د

٥

---

<sup>١</sup> هذه : هذا [ج] <sup>٢-٣</sup> على بعدها... وقطرها في بعدها الاوسط : على بعد من مركز العالم الذي  
هو مركز البروج وقطرها في بعدها الاوسط [د]، ناقصة [ه] <sup>٣</sup> عن : عند [ب،ج،د]، هو عند  
[ه] <sup>٥</sup> تضرب : يضرب [د،ب]، غير مقروء [ج،ه] <sup>٥</sup> ثلاثين : ثلثي [أ،ج] <sup>٦</sup> و الله أعلم :  
ناقصة [د،ب،ه]

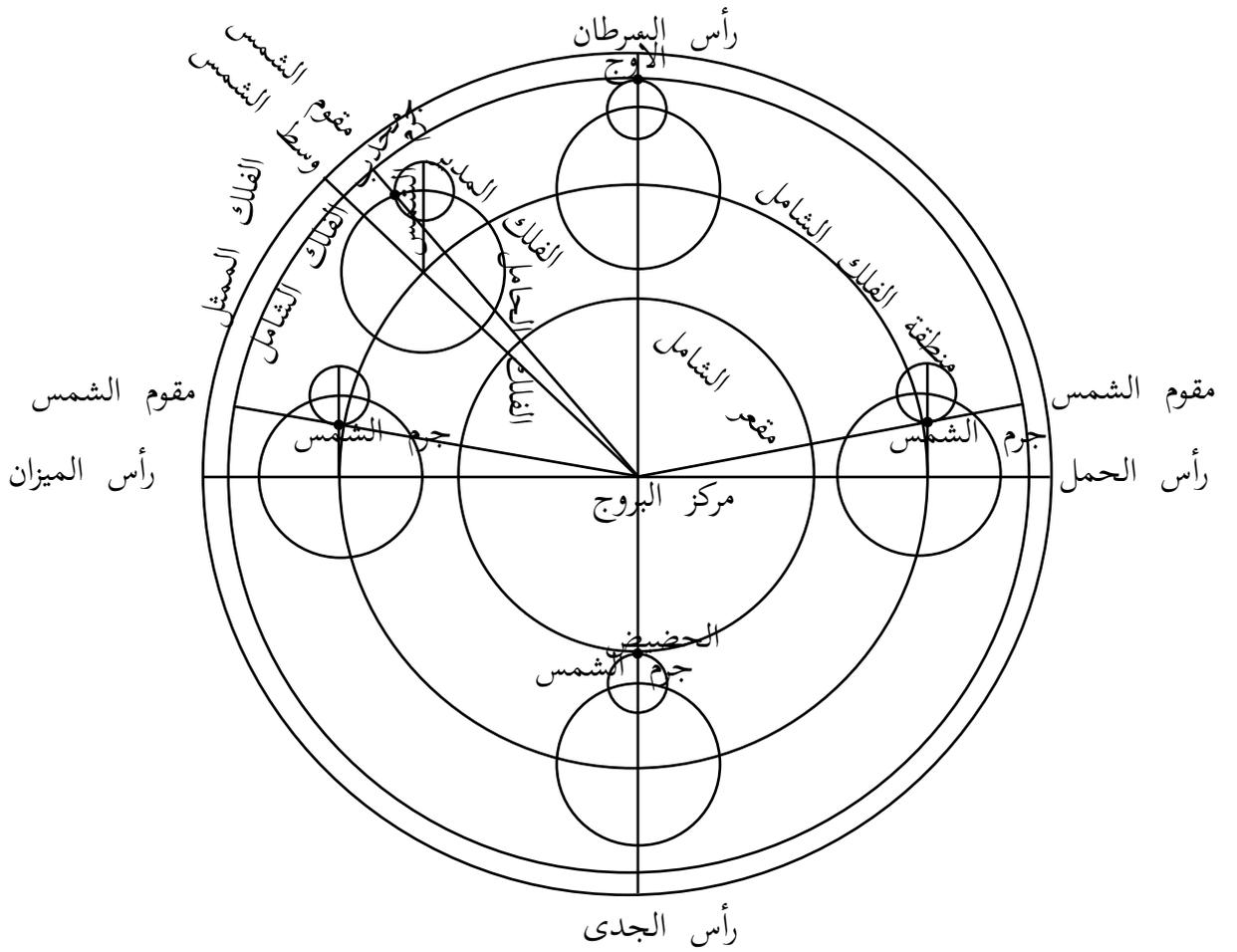
La méthode pour calculer son diamètre ailleurs qu'en ces lieux est que tu divises son diamètre à distance moyenne par sa distance au centre du monde qui est le centre de l'écliptique<sup>93</sup>. Son diamètre à distance moyenne est selon Hipparque 32; 45, chez les Indiens 32; 33, chez les modernes 32; 35, chez Ptolémée dans son chapitre<sup>94</sup> concernant les grandeurs 31; 20, et chez moi on a trouvé par l'observation 32; 32. Pour cela il y a une méthode approchée qui est que tu multiplies sa vitesse apparente<sup>95</sup> par trente-trois, il en sort son diamètre approché; mais la première méthode est exacte. Dieu est le plus savant.

---

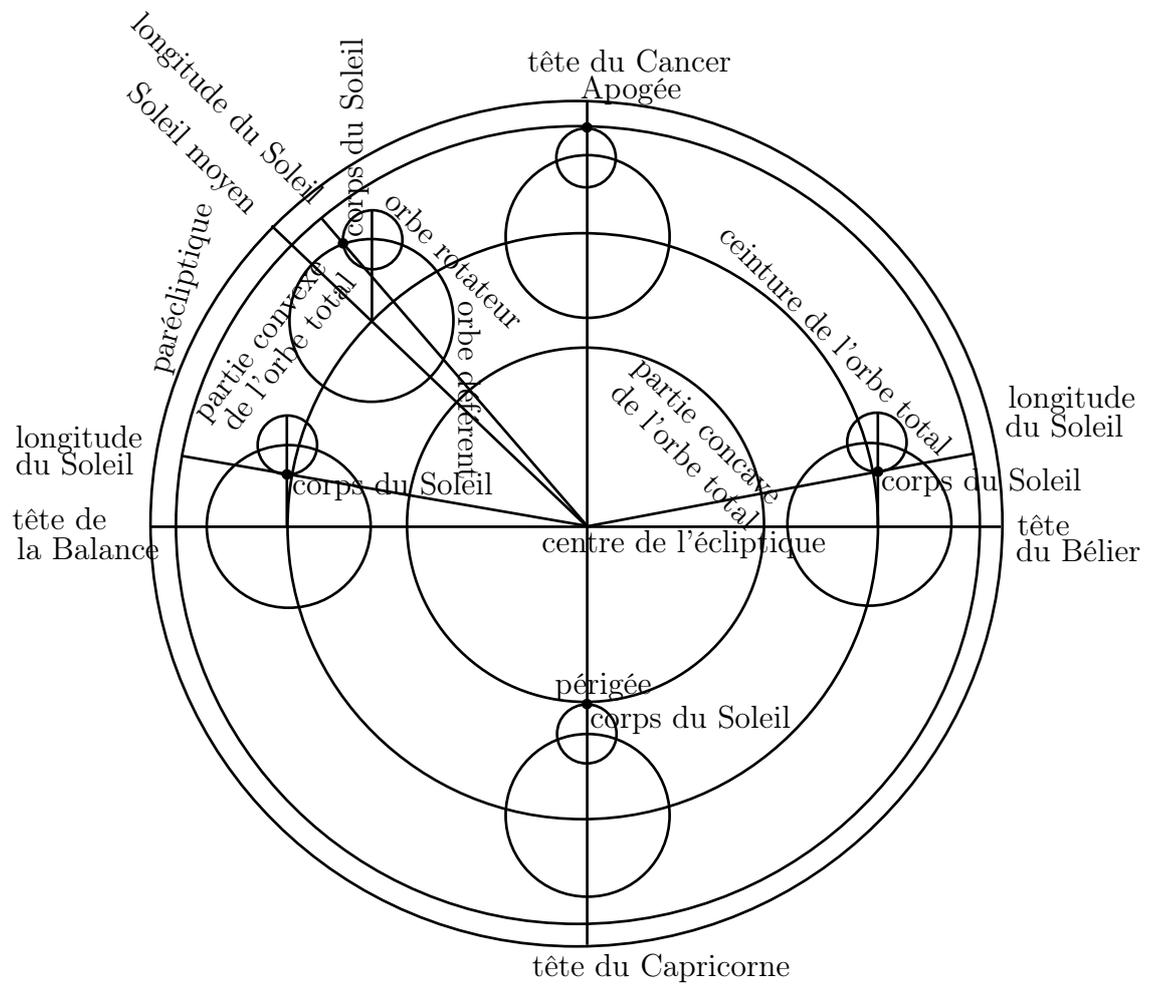
93. Notons  $\alpha$  le diamètre apparent du Soleil (c'est un angle), et OS sa distance au centre du monde. À distance moyenne, OS = 60 et  $\alpha = 0^{\circ}32'32''$  (probablement une donnée de l'observation), or  $\alpha \simeq \sin \alpha$  est inversement proportionnel à OS. On a donc, aux autres distances :  $\alpha = \frac{0^{\circ}32'32'' \times 60}{OS}$ .

94. *L'Almageste*, livre 5 chapitre 14.

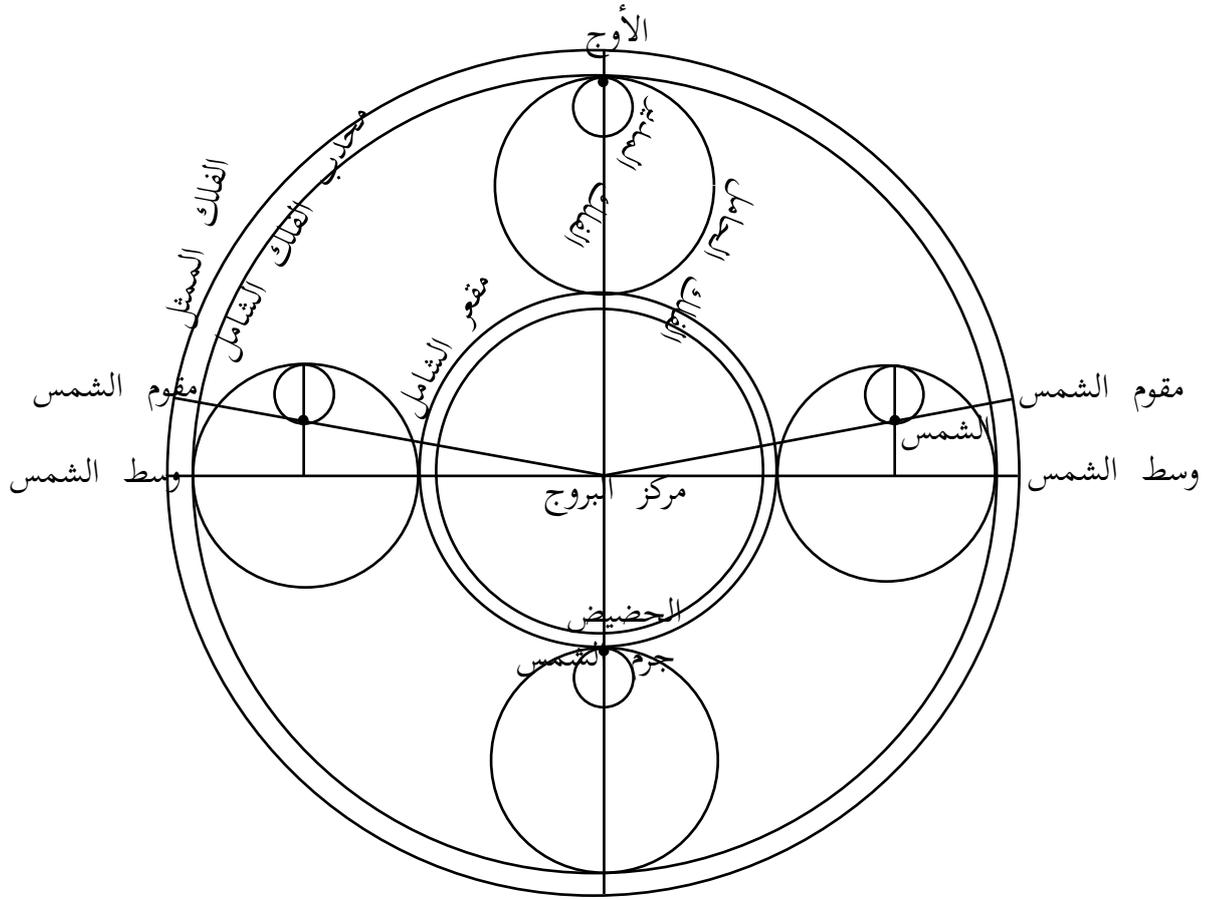
95. Le mot *buh*t que nous traduisons par "vitesse apparente" est utilisé pour chaque astre dans le même contexte et semble désigner la vitesse angulaire mesurée par rapport aux étoiles fixes, c'est-à-dire l'arc parcouru par l'astre le long d'un grand cercle du huitième orbe, par unité de temps. Il ne 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.



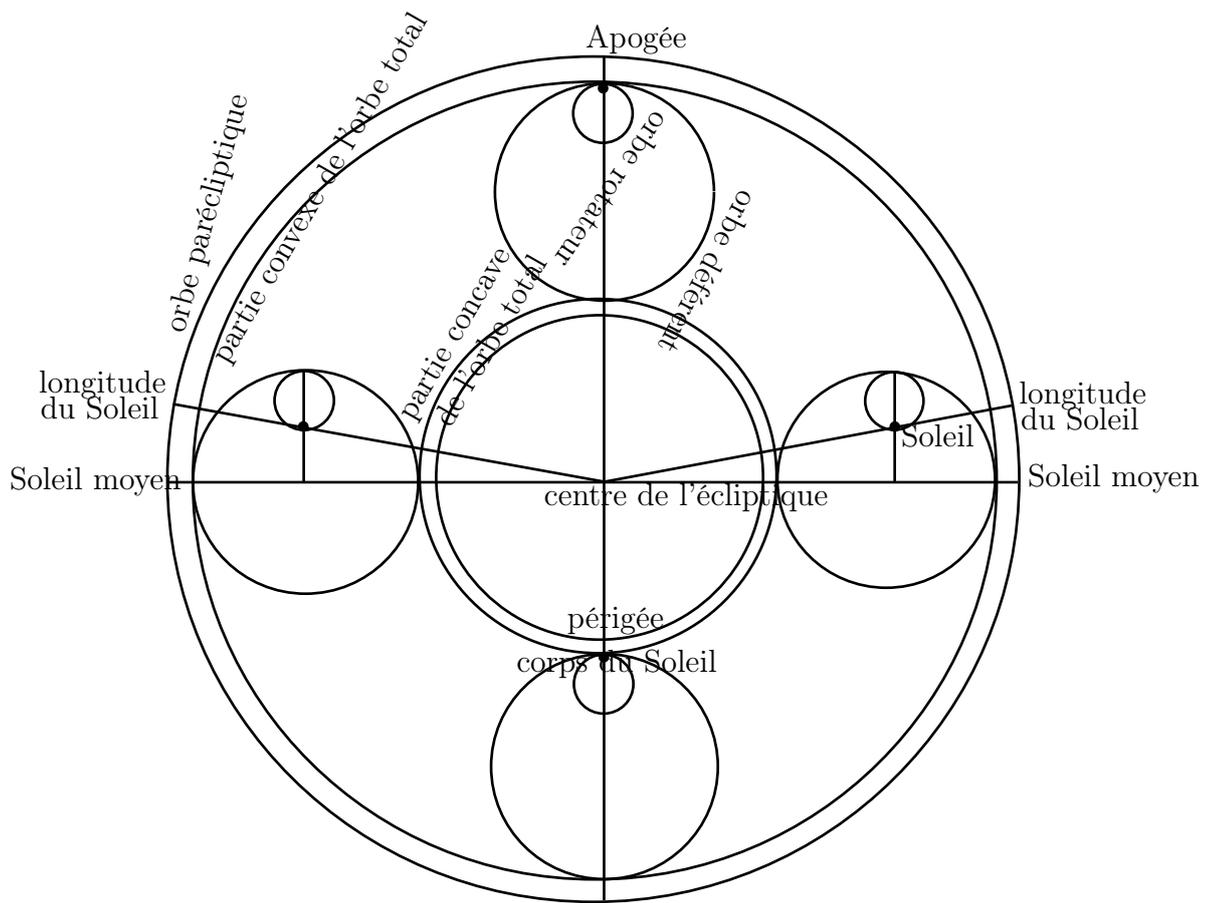
صورة أفلاك الشمس على أنها مدارات مراكز الاكر التامة على حسب ما يتصور على البسيط



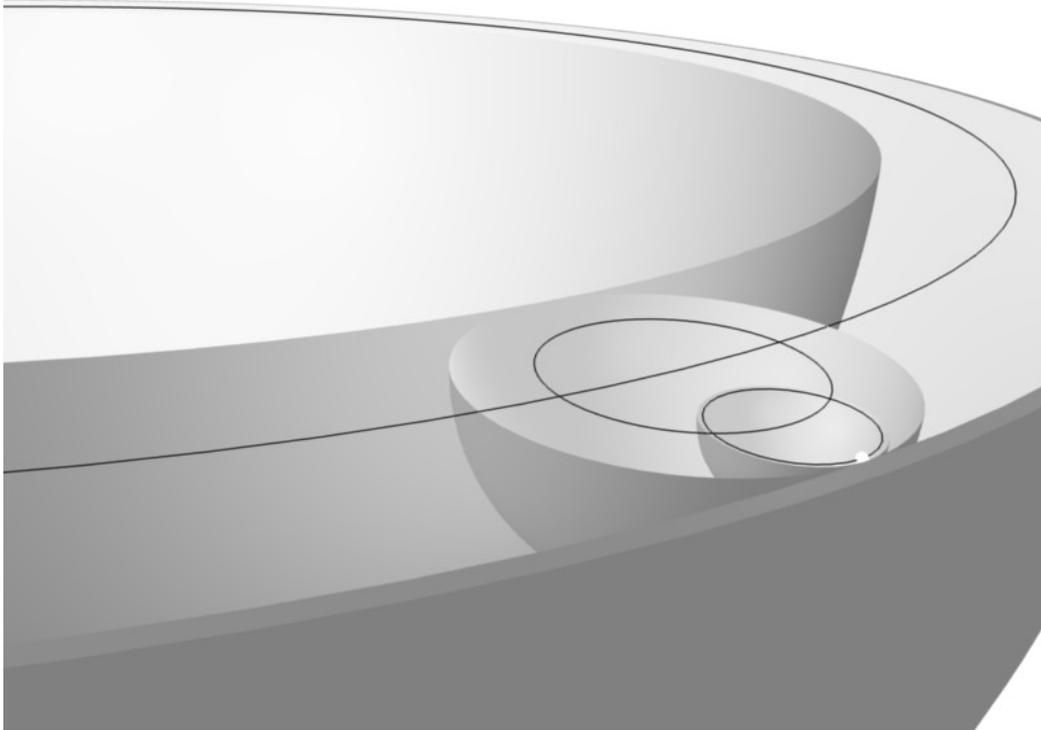
Les orbes du Soleil figurés par les trajectoires des centres des sphères



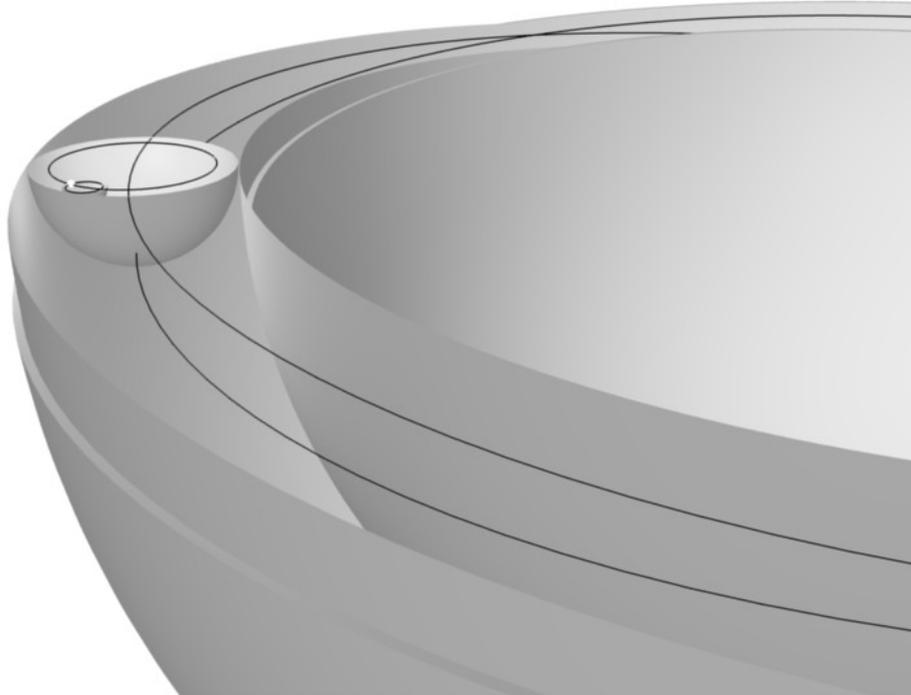
صورة أفلاك الشمس المجسمة وهي كرات مجسمة تامّة



Les orbes solides du Soleil



Une représentation moderne des orbes du Soleil, librement inspirée d'Ibn al-Šāṭir



Une représentation moderne des orbes de la Lune, librement inspirée d'Ibn al-Šāfir

## الباب الثامن في حساب تعديل الأيام بلياليها

وهو تفاوت ما بين الأيام بلياليها بالقياس الى اليوم المرصود وسطه ومقومه. وقد جعلنا اليوم الذي رصدنا له الوسط والمقوم الاعتدال الربيعي، وبه نقيس باقي و<sup>١٣</sup> الأيام بلياليها. وطريق حساب هذا التعديل ان 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 اضره في أربعة. يحصل دقائق تعديل الأيام بلياليها. فان كان الوسط مع الزيادة اكثر من مطالع مقوم الشمس، فنقص التعديل من التأريخ، وان كان اقل فزده على التأريخ. يحصل التأريخ المعدل بتعديل الأيام بلياليها. وعليه يستخرج الاوساط من الجدول.

تنبيه. اضرب بهت الكوكب في ساعة في دقائق تعديل الأيام بلياليها. فما حصل انظر، فان كان الوسط مع الزيادة اكثر من مطالع مقوم الشمس فنقص الحاصل من مقوم ذلك الكوكب، و ان كان اقل فزد الحاصل على مقوم ذلك الكوكب. يحصل مقوم الكوكب للوقت المطلوب. وقد حسبنا له جدولاً يوجد منه بوسط الشمس.

<sup>٦</sup> لليوم : للوقت [ب،ه] <sup>٦</sup> ثواني : ثوان [ه] <sup>٧</sup> مطالع : مطلع [ج،د] <sup>٩</sup> فنقص : فنقص [ب]،  
فنقص [ج]، ينقص [د] <sup>١١</sup> الجدول : الجداول [ج،د] <sup>١٢</sup> في : من [ج،ه] <sup>١٤</sup> و ان : فان [ه]

## Chapitre huit

### Calcul de l'équation des nychtémères

[Cette équation] est l'écart entre les nychtémères, rapporté au jour [où] la quantité observée est [à la fois] l'astre moyen est l'astre corrigé. Nous avons déjà posé que le jour où nous avons observé à la fois l'astre moyen et l'astre corrigé est l'équinoxe de printemps, et nous lui rapportons tous les autres nychtémères. La méthode pour calculer cette équation est la suivante. Tu calcules le Soleil moyen et le Soleil corrigé au jour souhaité. Ajoute au Soleil moyen deux degrés, une minute et sept secondes. Prends la différence entre cela et la coascension du Soleil corrigé (coascension 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 nychtémères. Si le Soleil moyen avec la quantité ajoutée est supérieur à la coascension du Soleil corrigé, alors retranche l'équation de la date, et s'il lui est inférieur, 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.

*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 la coascension du Soleil corrigé, alors retranche le résultat de cet astre corrigé, mais si elle leur est inférieure, alors ajoute le résultat à cet astre corrigé. On obtient l'astre corrigé à l'instant demandé. Nous avons déjà calculé une table pour l'y trouver en fonction du Soleil moyen.

## الباب التاسع

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

لما رصد القمر، فوجد متحرّكاً على مدار غير مدار الشمس مقاطع له في  
موضعين متقابلين منتقلين في مدار الشمس الى خلاف توالي البروج وذلك  
المدار مائل عن مدار الشمس، وغاية الميل في الجهتين بمقدار واحد ابداً  
وذلك خمسة أجزاء بحيث يكون في نصف مداره شمالياً عن منطقة البروج <sup>ظ ١٤ ج</sup>  
وفي النصف الآخر جنوبياً عنها. فاعلم ان له فلك ممثّل بفلك البروج وفلك  
مائل عنه متقاطعان على نقطتين متقابلتين، فينصف احدهما للآخر.  
ولما وجدت حركة القمر على الفلك المائل مختلفة بالبطئ والسرعة حول  
مركز العالم الذي هو مركز البروج، علم ان له فلك مركزه على منطقة المائل  
بحيث إذا كان القمر في أعلاه كان ابعد عن مركز العالم واذا كان في  
حضيضه كان اقرب اليه ؛ علم ذلك باختلاف مقدار جرمه في الخسوفات  
والكسوفات وغيرها. فسمّى ذلك الفلك بالتدوير قديماً.  
ثم وجد مقدار نصف قطر هذا الفلك في الاجتماعات و الاستقبالات لا  
يزيد على خمسة أجزاء وسدس ابداً عندنا، وعند بطلميوس وعند ابرخس خمسة  
وربع، ثم وجد مقداره اذا كان بعد القمر عن الشمس ربع دائرة من الجهتين،  
ثمانية أجزاء . فعلمنا ان على منطقة التدوير فلك آخر صغير، بحيث اذا كان  
القمر في الاجتماعات والاستقبالات يكون القمر في حضيض ذلك الفلك، واذا  
كان في التربييعين كان في ذروته ويكون بعده عن مركز التدوير ثمانية أجزاء ؛  
واذا كان في حضيضه، كان بعد القمر عن مركز التدوير خمسة أجزاء وسدس.  
وان حركته ضعف حركة حامل مركز التدوير بحيث اذا دار حامل التدوير ربع  
دائرة تحرك حامل جرم القمر نصف دائرة.  
فعلمنا ان له اربع أفلاكٍ و اربع حركات بسيطة.

و ٣٠ د

<sup>٢</sup> طولاً وعرضاً: في هامش [أ] فلك ممثّل: فلكاً ممثلاً [ب، د، ج] <sup>٨-٩</sup> فلك مائل: فلكاً مائلاً  
[د، ج]، فلكاً مائل [ب]، وكتب «فلكاً» في هامش [ه] ايضاً <sup>٩</sup> متقاطعان على نقطتين:  
متقاطعين على جهتين [د، ج] <sup>١١</sup> فلك: فلكاً [ب، د، ج] <sup>١٣</sup> علم: ناقصة [د، ج] <sup>١٣</sup> مقدار:  
فوق السطر [ج] <sup>١٤</sup> فسمّى: سمى [د، ج] <sup>١٥</sup> مقدار: بمقدار [د، ج] <sup>١٥</sup> نصف قطر: في هامش  
[أ]، نصف قدر [د، ج] <sup>١٥</sup> و الاستقبالات: في هامش [أ] <sup>١٦</sup> عند: فوق السطر [أ]، ناقصة  
[ج، ه] <sup>١٧</sup> مقداره: بمقداره [ب، د، ج] <sup>١٨</sup> منطقة: ناقصة [ج] <sup>١٩</sup> الاستقبالات: الاجتماعات [ه]  
<sup>٢٠</sup> ذروته: دورته [ب] <sup>٢١</sup> حضيضه: حضيض [أ] <sup>٢٤</sup> اربع أفلاكٍ و: في الهامش [ه]

## Chapitre neuf

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

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 du zodiaque, 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.

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 du zodiaque, 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.

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 côtés<sup>96</sup>, est de huit parts. Nous avons su ainsi qu'il y a un autre petit orbe sur la ceinture de l'épicycle, 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.

Ainsi savons-nous que la Lune a quatre orbes et quatre mouvements simples.

---

96. C'est-à-dire lors des quadratures.

الفلك الأول، فهو الممثل بفلك البروج، وقطباه محاذيان لقطبي فلك البروج، ومحدّبه مماسّ لمقعر أفلاك عطارد، ومقعره مماسّ لمحدّب الفلك الثاني من أفلاكه، و نصف قطره تسعة وستين جزءاً.

والفلك الثاني فلك مائل، سطحه مائل عن سطح الممثل ميلاً ثابتاً غاية خمسة أجزاء . ومركزه مركز العالم الذي هو مركز الممثل، ومحدّبه مماسّ لمقعر الممثل، ومقعره مماسّ لفلك النار على المشهور. نصف قطره بالفرض ستين جزءاً . ومنطقته التي على محدّبه تقطع منطقة الممثل التي في مقعره على نقطتين متقابلتين، يسميان بالعقدتين والجوزهرين. إحداهما، اذا جازها القمر، مال الى الشمال عن الممثل، تسما الرأس والجوزهر والمجاز الشمالي ؛ والآخر ١٥ ج المقابل له يسما الذنب والمجاز الجنوبي. وقطبا المائل ملازمان لنقطتين من مقعر الممثل ابداً. وبعدهما عن قطبي الممثل بمقدار غاية ميل المائل، الذي هو نهاية عرض القمر، وذلك خمسة أجزاء. ومقعر الفلك المائل، مركزه مركز العالم، ونصف قطره احد وخمسين جزءاً.

وأما الفلك الثالث، فنتوهم كرة نصف قطرها ثمانية أجزاء وستة عشر دقيقة وسبعة وعشرين ثانية من الأجزاء التي بها نصف قطر منطقة المائل ستين جزءاً. ونفرضها مغرقة في المائل تماسّ لمنطقته على نقطة. فنسميها بكرة التدوير.

وأما الفلك الرابع، فنتوهم كرة نصف قطرها جزءاً واحد واربعين دقيقة وسبع وعشرين ثانية من تلك الأجزاء. ونفرضها مغرقة في جسم التدوير، وتماس لمنطقته التي في سطح المائل على نقطة، وهي التي يماس عليها التدوير لمنطقة المائل. ويسمى هذا الفلك بالمدير. ونفرض جرم القمر مغرّقاً في جسم المدير. يماس نقطة محدّب القمر لمنطقة المدير التي هي في سطح المائل. وقطر كرة القمر وجد برصدنا اثنين وثلثين دقيقة وأربعة وخمسين ثانية من تلك الأجزاء.

١ فهو: و هو [ب،ه،د،ج] ٣ و: ناقصة [ه] ٤ فلك مائل: الفلك المائل و[ج] ٤ مائل: ناقصة [ه] ٥ إحداهما: أحدهما [ه] ٥ ٨ جازها: جاوزها [ه،ج] ٩ تسما: تسميا [ب،د،ج]، يسمى [ه] ١٠ يسما: تسميان [ب]، يسمى [ه،ج] ١٢ الفلك: فلك [ه] ١٤ وأما الفلك الثالث: في هامش [أ]، والفلك الثالث [ه]، الفلك الثالث [ج] ١٤ فنتوهم: فيتوهم [د،ج] ١٦ فنسميها: نسّميها [ه] ١٧ وأما الفلك الرابع: في هامش [أ]، الفلك الرابع [ج] ١٧ فنتوهم: فيتوهم [ه،د،ج] ١٧ نصف: فوق السطر [أ] ١٧ سبع: تسع [ه،ب] ١٨ نفرضها: تفرضها [د،ج] ١٨ تماس: يماس [ه] ٢٠ نفرض: يفرض [ب،ه،د،ج]

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.

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.

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*.

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*. 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 (des mêmes parts).

وأما الحركات، فالحركة الأولى، حركة الممثل : حركة بسيطة حول مركزه الذي هو مركز العالم وعلى قطبيه الى خلاف التوالي، بمقدار حركة الجوزهر، وهي . 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.

و ١٤ أ

والحركة الثانية حركة الفلك المائل حول مركزه الذي هو مركز الممثل ومركز العالم، وحول قطبيه الثابتين المتقدم ذكرهما، حركة بسيطة مستوية تفعل في الازمان المتساوية قسماً متساوية الى توالي البروج بـ ج م ل ط م. وهي بقدر مجموع وسط القمر وحركة الجوزهر، وتسمى حركة العرض قديماً. فينتقل مركز التدوير الى التوالي عن المنطقة المتوهم ثباتها من فلك البروج، بمقدار وسط القمر، وهو بـ ج ي له ا بـ ج نـ ج.

والحركة الثالثة حركة التدوير حول مركزه، وعلى قطبيه القائمين على سطح المائل، في اليوم بليته بـ ج نـ ج مـ ح، في أعلاه الى خلاف التوالي. وتعرف قديماً بحركة خاصة القمر. وابتداؤها من ذروة التدوير المرئي.

ظ ١٥ ج

والحركة الرابعة، حركة المدير، وهي حركة بسيطة حول مركزه، فيتحرك القمر بحركته على منطقتة التي في سطح منطقة المائل، في أعلاه الى التوالي. في اليوم بليته كـ د كـ ب نـ ج كـ ج. وهي بمقدار ضعف فضل وسط القمر على وسط الشمس. وابتداء هذه الحركة في الاجتماعات والاستقبالات الوسطي من حضيض المدير وتصير في التربعين من ذروته.

ظ ٣٠ د

ولنفرض لبيان ذلك ان الشمس والقمر مجتمعان بالوسط في نقطة ثابتة من فلك البروج؛ ونفرض مركز التدوير ومركز المدير على الخط المستقيم المار بمركز العالم وبتلك النقطة المتوهم ثباتها من فلك البروج؛ ونفرض القمر في حضيض المدير، في ذلك الوقت، على ذلك الخط، في اقرب قربه من مركز التدوير، وذلك خمسة أجزاء وسدس جزء.

١ فالحركة الأولى: فالأولى [ج] ٢ على قطبيه الى خلاف: الى قطبيه على خلاف [د،ج] ٣ ج ي لح كز: . ج ي لح كو لـ مـ ح كـ ط لو [ه] ٣ فينتقل: ينقل [د،ج] ١٠ المنطقة: النقطة [أ] ١١ بـ ج ي له ا بـ ج نـ ج: بـ ج ي له ا لـ ج نـ ج [ب،ه] ١٢ بـ ج نـ ج مـ ح: بـ ج نـ ج مـ ح [ه] ١٤ تعرف: يعرف [ب،د،ج]، يعرف [ه] ١٥ فيتحرك: يحرك [ب]، يتحرك [ه]، غير مقروء [د]، ويتحرك [ج] ١٦ ضعف: فوق السطر [ج] ١٩ تصير: يصير [ب،ه،د،ج] ١٩ ذروته: دورته [ب] ٢٠ مجتمعان: يجتمعان [ج]

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.

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.

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 propre* de la Lune. Ce mouvement commence à l'apogée de l'épicycle apparent.

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 périégée lors des conjonctions et des oppositions moyennes et il passe par l'apogée lors des quadratures.

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 périégée du rotateur, en cet instant, sur cette droite, à distance minimale du centre de l'épicycle (cinq parts et un sixième).

ثمّ يتحرّك كل فلك بما فرضنا له من الحركة البسيطة المرصودة.  
 - فيتحرّك الشمس في اليوم بليته . نط ح ك الى التوالي.  
 - ويتحرّك الممثل في اليوم بليته الى خلاف التوالي . ج ي لح كز  
 فينتقل المائل والتدوير والمدير بهذه الحركة الى خلاف التوالي.  
 - ثم يتحرك المائل الى التوالي في ذلك الزمان بج م ل ط م . فيصير  
 بعد مركز التدوير على محاده النقطة الثابتة من فلك البروج الذي كانا النيرين  
 اجتماعا فيها، في اليوم بليته، ب با كو ما ل؛ وذلك بمقدار فضل حركة  
 وسط القمر على وسط الشمس، ويسمى ذلك بعد ما بين النيرين بالوسط.  
 - ويتحرّك المدير حول مركزه، فينتقل القمر من حضيض المدير، الى خلاف  
 التوالي، في اليوم بليته، ضعف البعد، وهو كد كب نج كج.  
 فيبعد جرم القمر عن مركز التدوير ويسمى ذلك البعد نصف قطر التدوير  
 المرئي.

فاذا تحرك المائل بماله من الحركة ربع دائرة في سبع أيام وثمانية عشر ظ ١٤ أ  
 دقيقة واربعه عشر ثانية واثنين وخمسين ثالثة وخمسة عشر رابعة من يوم بليته،  
 تحرك المدير في ذلك الزمان نصف دائرة، لكون حركته ضعف حركة البعد،  
 فينتقل القمر من حضيض التدوير الى ذروته، ويصير بعد مركز جرم القمر من  
 مركز التدوير ثمانية أجزاء، وذلك نصف قطر التدوير المرئي في التريعين الاول  
 والثاني.

فاذا تحرك المائل بتلك الحركة، في ضعف تلك المدّة، نصف دائرة، صار  
 مركز التدوير في مقابلة تلك النقطة الثابتة على الخطّ المارّ بتلك النقطة الثابتة و ١٦ ج  
 وبمركز العالم من جهة مقابلة جزئ الاجتماع. فيكون في ذلك الوقت حقيقة  
 استقبال الشمس والقمر بالوسط. ويتحرك المدير ضعف ما تحرك المائل، وذلك  
 دائرة تامّة، فينقل القمر الى حضيض المدير.

٢ فيتحرّك: فنتحرك [د]، فتحرّك [ج] ٤ فينتقل المائل والتدوير والمدير بهذه الحركة الى خلاف  
 التوالي: في هامش [أ] ٥ ثم: و [ب،ه،د،ج] ٦ على محاده: عن محاره؟ [أ]، عن محاذاة  
 [د،ج]، على محاذاة [ه] ٧-٦ كانا النيرين اجتماعا: كان النيران اجتماعا [ه]، كانا اجتماعا  
 النيرين [ج] ٧ في: من [ب،ه،د،ج] ٨ يسمى: يسما؟ [ب] ٩ فينتقل: فينقل [د] ١٣ تحرك:  
 يتحرّك [ج] ١٥ تحرك: غير مقروء [د]، يتحرّك [ج] ١٦ فاذا: و اذا [ه] ٢٠ الثابتة: الثانية [ب]  
 ٢٠ الثابتة: الثانية [د] ٢١ بمركز: مركز [ب،ه] ٢١ حقيقة: عميقة [أ]؟ ٢٢ تحرك: يتحرّك [ج]  
 ٢٣ فينقل: فينتقل [ب،ه،ج]

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.

– Le parécliptique se meut, en un jour et une nuit, de 0; 3, 10, 38, 27 dans le sens inverse 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. Laisant 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*.

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.

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.

ويعبر القمر في اقرب قربه من مركز التدوير ويصير نصف قطر التدوير المرئي في ذلك الوقت خمسة أجزاء وسدس هـ  $\overline{هـ}$ ، مثل ما كان في الاجتماع. فلا يزال نصف قطر التدوير المرئي في كل اجتماع وكل استقبال هـ  $\overline{هـ}$ ، وفي كل تربيع ثمانية أجزاء، وكذلك وجد بالرصد في كل زمان.

ثم يتحرك التدوير بحركة الخاصة. فيدور مركز جرم القمر حول مركز التدوير في مدار نصف قطره هـ  $\overline{هـ}$ ، 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 من الجانبين. فاذا كان مركز التدوير في التربيعةين كان بعد مركز جرم القمر من مركز التدوير ثمانية أجزاء، وهو نصف قطر التدوير المرئي في كل التربيع. ويكون قوس ذلك اذا فرض جيباً سبع أجزاء وثلاثي جزء. وهو كما وجدنا بالرصد في التربيع، وذلك عند كون القمر على الخط المماس للتدوير المرئي من الجانبين في التربيعةين.

ولكون نسبة حركة خاصة القمر الى حركة وسطه اصغر من نسبة الخط الواصل بين مركز العالم وحضيض التدوير المرئي الى نصف قطر التدوير المرئي، لا يكون للقمر وقوف ولا رجوع، بل تصير حركته بطيئة في نصف الذروة و سريعة في نصف الحضيض، ولا يرى له رجوعه الى خلاف التوالي لصغر التدوير المرئي وقلة حركته بالنسبة الى حركة مائله.

وكون نصف قطر التدوير المرئي يختلف فيما بين خمسة وسدس الى ثمانية أجزاء، كأن اقدار البطء والسرعة غير متشابهه بل تختلف بحيث يعود البطء و السرعة أو غيرهما من الاختلاف تارة الى الاقل وتارة الى الاكثر. فهذه هي الأفلاك المتحركة للحركات البسيطة التي ينتج عنها الحركات المختلفة الموافقة للرصد في سائر الازمان.

وأما الاختلافات الطولية البسيطة التي يلزم بسبب هذه الحركات فهي أربعة وتعرف بالتعاديل.

<sup>٢٢</sup> في ذلك الوقت خمسة أجزاء وسدس هـ  $\overline{هـ}$ ، مثل ما كان في الاجتماع. فلا يزال نصف قطر التدوير المرئي: في الهامش [ج] <sup>٤</sup> كذلك: ذلك [ج] <sup>٥</sup> جرم: في هامش [أ]، ناقصة [ب،هـ،د،ج] <sup>٦</sup> كل: ناقصة [ج] <sup>٧</sup> هو غاية: هو في غاية [د،ج] <sup>١٠</sup> نصف: في الهامش [هـ] <sup>١١</sup> بالرصد في التربيع: في الرصد بالتربيع [ب،هـ] <sup>١٢</sup> التربيعةان: التربيعةات [أ] <sup>١٥</sup> لا: ناقصة [هـ] <sup>١٥</sup> تصير: يصير [أ] <sup>١٥</sup> الذروة: الدورة [ب] <sup>١٦</sup> و: في [هـ] فقط <sup>١٦</sup> رجوعه: رجوع [ب،هـ،ج] <sup>١٦</sup> لصغر: اصغر [د،ج] <sup>١٧</sup> بالنسبة: لنسبة [ب] <sup>١٧</sup> حركة مائله: حركة مائلة [ب] <sup>١٩</sup> غير متشابهه بل تختلف: ناقصة [ب،هـ،د،ج] <sup>٢١</sup> فهذه هي: و هذه هي [ج]، هذه في [ب،هـ]؟ <sup>٢١</sup> للحركات: الحركات [ب،هـ،د،ج] <sup>٢٢</sup> يلزم: يلزم [أ]، تلتزم [ب]، تلزم [د،ج]

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.

De plus, l'épicycle se meut de son mouvement 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. 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.

Comme le rapport entre le mouvement propre de la Lune 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.

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.

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*.

فالاختلاف الأول، هو ما يحصل له بسبب نصف قطر التدوير في الاجتماعات ظ ١٦ ج  
والاستقبالات. وهو زاوية يحدث عند مركز العالم من خروج حطّين منه، احدهما  
الى مركز التدوير والآخر الى مركز جرم القمر. ويكون غايته اذا كان الخطّ المارّ  
بالقمر يماسّ التدوير المرئي الى ايّ الجهتين كان ولا يقطعه. وغاية تلك الزاوية  
في الاجتماعات والاستقبالات د نو كد، على ان نصف قطر المائل ستون  
جزئاً. وينعدم في الذروة والحضيض، وذلك عند تطابق الحطّين المذكورين. وهذا  
الاختلاف ينقص من وسط القمر ما دام القمر هابطاً من الذروة الى الحضيض  
في النصف الايمن، لوقوع الخطّ المارّ بالقمر عن الخطّ المارّ بمركز التدوير،  
الى خلاف التوالي. ويزاد على وسطه ما دام القمر صاعداً من الحضيض الى  
الذروة في النصف الايسر لوقوع الخطّ عن الخطّ، الى التوالي. ويسمّى التعديل  
المفرد والاول ايضاً.  
والاختلاف الثاني، فهو الذي يكون بسبب زيادة الاختلاف الاول المذكور  
عند كون مركز التدوير في غير الاجتماعات والاستقبالات. وهو مختلط بالاول،  
لا يوجد بدونه. وغايته عند كون مركز التدوير في التريبعين، ايّ عند دائرة  
من الجزئ الذي يقع في الاجتماع والاستقبال بالوسط. و غايته ب مد، ومع  
الاول ز م. وهو مع الاول ابداً، في الزيادة والنقصان. ويسمّى بالتعديل الثاني  
وباختلاف البعد الاقرب قديماً.  
تنبه. قد قدمنا ان نصف قطر التدوير المرئي يكن في الاجتماعات  
والاستقبالات ه ح ابداً، وفي التريبعات ح . وفي ما بين ذلك يتدرّج بالزيادة  
من الاقل الى الاكثر. فيصير الاختلاف الاول، بسبب اختلاف نصف القطر،  
بقدر مجموع الاختلافين. وهذا مضاً دقيق فتأمله.  
والاختلاف الثالث، ويعرف بتعديل الخاصة، وهو زاوية عند مركز التدوير  
من خروج حطّين منه، يمرّ احدهما بمركز المدير والآخر بمركز القمر.

<sup>٢</sup> يحدث: تحدث [ب،ه،د،ج] <sup>٢</sup> منه: منهما [د]، منها [ج] <sup>٣</sup> يكون: تكون [د،ج] <sup>٤</sup> بالقمر:  
فوق السطر [د،ج] <sup>٨</sup> الخطّ: في [د] فقط وهو فوق السطر <sup>٨</sup> بمركز: بالمركز [ب،د،ج]  
<sup>١٠</sup> عن: على [ب،ه] <sup>١٢</sup> فهو: هو [ه،د،ج] <sup>١٤</sup> كون: فوق السطر [ج] <sup>١٤</sup> دائرة: الدائرة [ج]  
<sup>١٥</sup> في: فيه [ج] <sup>١٥</sup> و غايته: و هو اي غايته [ج] <sup>١٦</sup> ز م. وهو مع الاول: ناقصة [ه]  
<sup>١٨</sup> يكن: يكر [ب]، يكون [ه] <sup>١١</sup> مضاً: معنى [ب،ه،د،ج] <sup>١٣</sup> المدير: التدوير [د،ج]

La première variation<sup>97</sup> 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 périgée : 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 périgée 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 périgée 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*.

La deuxième variation 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).

*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.

La troisième variation<sup>98</sup> 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.

---

97. notée  $c_2$  dans notre commentaire, car elle sera désignée comme "deuxième variation" page 135 ci-dessous.

98. notée  $c_1$  dans notre commentaire.

فان كان الذي يمرّ بمركز القمر يماسّ المدير، فالتعديل في نهايته، وهو برصدنا  
 ب كو. وينعدم في كون القمر في الذروة والحضيض لمركز التدوير. ويزاد على ظ ١٥ أ  
 الخاصة اذا كان بعد مركز التدوير من وسط الشمس اقلّ من ربع دائرة أو  
 اكثر من نصف وربع دائرة، اي اكثر من تسع بروج أو اقلّ من ثلاث بروج. و ١٧ ج  
 وينقص اذا كان البعد اكثر من ربع دائرة واقلّ من نصف وربع دائرة، اي اقلّ  
 من تسع بروج.

الاختلاف الرابع، ويعرف بتعديل النقل. فانّ مقوم القمر يحصل من الفلك  
 المائل بغير هذا التعديل؛ والغرض موضعه من الممثل ليعرف موضعه من نطاق  
 البروج. وهذا التعديل هو التفاوت بين بعد موضعه من منطقتي الممثل والمائل  
 عن العقدة. ويعتبر ذلك اذا اريد تحويل احدهما الى الآخر. ويسمى هذا التعديل  
 نقل القمر في المائل الى البروج. وغايته في أنصاف أرباع المائل، وذلك قريب  
 ستّ دقائق. وينعدم في العقدتين وعند نهاية عرض القمر في الجهتين. وقلّ ان  
 استعمله المتأخرون.

وأما دقائق النسب، فهي عدد نسبته الى ستين كنسبة اللازم من اختلاف  
 البعد من الشمس، لانه وضع لتسهيل حساب مقوم القمر بالجدول.  
 تنييه. لو حسبنا من نصف قطر التدوير المرئي بطريق حساب التعديل الاول،  
 حصل جملة التعديل الاول والثاني اللازم في البعد المحسوب له. وهو معنى  
 لطيف فتنبه له.

الكلام في عرض القمر. وقد ابين فيما تقدّم انه متساوي الغاية في الشمال  
 والجنوب. وهو على ما وجد بالرصد خمسة أجزاء. ويكون شمالياً من الرأس الى  
 الذنب، وجنوبياً من الذنب الى الرأس. وصاعداً من غاية عرضه في الجنوب  
 الى غاية عرضه في الشمال، وهابطاً من غاية عرضه في الشمال الى غاية  
 عرضه في الجنوب.

<sup>٢</sup> لمركز التدوير: ان كان التدوير [ب،ج،د]، ناقصة [ه] <sup>٣</sup> دائرة: الدائرة [ج] <sup>٤</sup> اي اقلّ من  
 تسع بروج: في هامش [ج] فقط <sup>٥</sup> الاختلاف الرابع: و الاختلاف الرابع [ج] <sup>٦</sup> بغير هذا  
 التعديل: في هامش [د] فقط <sup>٧</sup> بعد: ناقصة [ج] <sup>٨</sup> في: من [ج] <sup>٩</sup> قريب: غير مقروء [أ]  
<sup>١٠</sup> استعمله: تستعمله [ب] <sup>١١</sup> دقائق: الدقائق [ه] <sup>١٢</sup> نسبته: غير مقروء [أ] <sup>١٣</sup> ستين: الستين  
 [ه] <sup>١٤</sup> كنسبة: غير مقروء [أ] <sup>١٥</sup> اللازم: اللازم [أ]، <sup>١٦</sup> الازم؟ الازم؟ [ب] <sup>١٧</sup> الاول: في  
 الهامش [ب،ه] <sup>١٨</sup> اللازم: غير مقروء [أ]، <sup>١٩</sup> الازم؟ الازم؟ [ب] <sup>٢٠</sup> فتنبه له: فتنبه اليه  
 [ب،ه،د]، فنسبته اليه [ج] <sup>٢١</sup> ابين: تبين [ب،ه،ج]، <sup>٢٢</sup> بين؟ [د] <sup>٢٣</sup> بالرصد: في الرصد [ه]

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 périgée 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.

La quatrième variation est appelée *équation du déplacement*. 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 du zodiaque. 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.

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 tables.<sup>99</sup>

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

Parlons de la latitude de la Lune. J'ai dit précédemment que ses dernières latitudes<sup>100</sup> 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.

---

99. Ce coefficient est noté  $\chi$  dans notre commentaire. Ceci est mieux expliqué au chapitre 11.

100. « ses dernières latitudes », c'est-à-dire les latitudes (Nord et Sud) maximales.

والمراد من الصعود قرب القمر من القطب الظاهر، ومن الهبوط بعده منه. واختلاف المنظر و اختلاف تشكيلاته النورية بحسب وضعه من الشمس يذكر في باب مفرد من بعد، ان شا الله تعالى.

وأما اختلاف أجزاء سطحه من قبول النور المسمي بالمحو فالاشبه ان بعضه قابل للنور دون بعضٍ أو لاختلاف وضعه من الشمس. وقيل من وجود أجرام مختلفة معه في تدويره غير قابلة للانارة على التساوي. وقيل ان سببه انعكاس الاشعة من البحر المحيط، لصقائه، الى القمر، وعدم انعكاسه في سطح الربع المعمور وغيره لحشونته اليه. فتكون المواضع المستنيرة من وجهه <sup>ظ ١٧ ج</sup> بالاشعة المستقيمة الواصلة اليه من الشمس المنعكسة من سطح البحر اضوا من المواضع المستنيرة بالاشعة المستقيمة من الشمس فقط. ١٠

### فصل

وأما بعد القمر من مركز الارض : على هذه الهيئة، فان بعد القمر، في كل <sup>١٦ ا</sup> الاجتماعات والاستقبالات، اوسطه ستين جزئاً، واكثره سه <sup>١٧</sup>، واقله ند <sup>١٨</sup>. وفي التربيعات، اكثره سح <sup>١٩</sup>. واقله نب <sup>٢٠</sup>. وابد بعد أفلاكه سط <sup>٢١</sup>، واقرب قربها نا <sup>٢٢</sup>. الجميع بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستين جزئاً. ١٥

واعلم ان مركز التدوير بعده من مركز الارض ستين جزئاً لا يزيد ولا ينقص. فاذا اردت بعد القمر بالأجزاء التي بها نصف قطر الارض او احد أو هذا هو المستعمل في الأبعاد والأجرام، فطريقه على رصدنا، ان تسقط من كل درجة دقيقتين يبقي المطلوب، وعلى مذهب بطلميوس تلقي من كل درجة دقيقة. ٢٠

لان بعد مركز التدوير من مركز العالم برصدنا ثمانية وخمسين مثلاً لنصف قطر الارض، وهو عند بطلميوس تسعة وخمسين مثلاً لنصف قطر الارض.

<sup>٢</sup> و اختلاف: في الهامش [ه] <sup>٢</sup> بحسب: بحسب [أ] <sup>٢</sup> يذكر: تذكر [د]، نذكر [ج] <sup>٧</sup> في: من [ب،ه،د،ج] <sup>٨</sup> لحشونته: لحشونته [ه،ج] <sup>٨</sup> فتكون: فيكون [ه] <sup>٨</sup> المستنيرة: المستنيرة (؟) [ب،ه]، المستديرة [د،ج] <sup>٩-١١</sup> المنعكسة من سطح البحر اضوا من المواضع المستنيرة بالاشعة المستقيمة من الشمس: في الهامش [د،ج] <sup>١٢</sup> كل: في [د] و [ج] فقط <sup>١٤</sup> ابعده: ابعده [د] <sup>١٧</sup> بها: ناقصة [د]، في الهامش [ب]، فوق السطر [أ،ه]، ولكن في [ب،ه] كتب «بها» بعد «نصف قطر الارض» <sup>١٧</sup> او احد أو هذا: واحد وهذا [ب،ه]، واحداً وهذا [د،ج] <sup>١٨</sup> تسقط: نسقط [ب]، سقط [ه،د] <sup>١٩</sup> تلقي: ناقصة [ج]

Le dessein de l'ascension est de rapprocher la Lune du pôle visible, et celui de la descente est de l'en éloigner. Sa parallaxe et ses phases selon sa position par rapport au Soleil seront traitées ultérieurement dans un chapitre particulier, si Dieu le veut.

Quant à la variation des parts de sa surface qui reçoivent la lumière et qu'on appelle « obscurcissement »<sup>101</sup>, 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 la mer environnante, à cause de son poli, et l'absence de leur réflexion par la surface du quart habité 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 venant seulement du Soleil.

## Section

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 ; 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.

---

101. les tâches dues au relief à la surface de la Lune, comme on le sait depuis Galilée.

- وتفسير اشيا تتعلق بالقمر.
- ٥ - **وسط الجوزهر** هو ما بين أول الحمل ونقطة الرأس من الممثل الى خلاف التوالي.
- ٥ - **وتقويم الجوزهر** هو ما بينهما منه على التوالي.
- ٥ - **وسط القمر** هو ما بين النقطة المحاذية لأول الحمل على انها ثابتة وبين طرف الخط الخارج من مركز العالم الى مركز التدوير. وان قلت بعد مركز التدوير من النقطة المذكورة على التوالي كان صواباً ايضاً.
- ١٠ - **وسط الشمس**، وضعف هذا البعد يسمى **البعد المضاعف**، وهو بمقدار حركة مدير القمر.
- ١٠ - **وخاصة القمر** ما بين ذروة التدوير الوسطى ومركز جرمه من منطقة التدوير على التوالي المفروض منه، وهو ان يكون في النصف الأعلى الى خلاف التوالي.
- ١٥ وهذه القسي لا تختلف مقاديرها. و ما يختلف مقاديرها بالزيادة والنقصان فمنها :
- ١٥ - **خاصته المعدلة** وهي ما بين مركز جرم القمر وذروته المرئية من منطقة و ٣٢ د تدويره وهي الخاصة الحقيقية بعد تعديلها بالتعديل الأول،
- ٢٠ - **وتقويم القمر** هو ما بين أول الحمل والنقطة التي يتقاطع عليها دائرة عرضه من الممثل على التوالي،
- ٢٠ - **وحصة عرضه** هي فضل مقوم القمر على مقوم الجوزهر.

١ اشيا : اشيا اشيا [د] ٢ الممثل : ممثل [أ] ٣ اسقطنا : اسقطناه [ب] ٤ النصف : نصف [ب،ه،د،ج] ٥ تختلف : يختلف [أ،ه،د] ٦ و ما يختلف مقاديرها : في الهامش [أ]، وما تختلف مقاديرها [د]، واما ما يختلف مقاديرها [ب،ه]، ولكن كتب «ما» فوق السطر في [ب] ٧ ذروته : دورته [ب] ٨ الحقيقة : الحقيقية [ب،ه]

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.

– Le *nœud vrai* 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).

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.

## الباب العاشر في تقييد حركات القمر لتأريخ مفروض

قد كتبنا في الجداول ان وسط القمر لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة احدى وسبعمائة ليزدجرد وسبعمائة ر ج له ن. وحركة وسط القمر في عشرين سنة فارسية<sup>ظ ٣٢</sup> ب ر م مط مح كا، وفي سنة واحدة د ط كج ب كط كه ا، وفي ثلاثين<sup>ظ ١٦</sup> يوماً ا ه ر ل لو نو بح ط، وفي يوم بليته . بج ي له ا بج نب لو بح نور، وفي ساعة متسوية . . لب نو كز لج د مال مه.

وكتبنا ان خاصة القمر للتأريخ المذكور د بح لب كر. وحركتها في عشرين سنة فارسية نا د كب ل، وفي سنة واحدة ب كح مج ر، وفي شهر<sup>١٠</sup> ا ا نو نح، وفي يوم . بج ج نج نو وفي ساعة . . لب لط مه.

واثبتنا وسط الجوزهر للتأريخ المذكور ط ه ر له. وحركتها الى خلاف التوالى في كل عشرين سنة . كو لد لر ك، وفي سنة واحدة . بط بظ مج نب، و<sup>١٧</sup> وفي شهر واحد . ا له بط بج بح ند نه، وفي يوم . . ج ي لح كو لر مح كط لو، وفي ساعة . . ر نو لو وله.

<sup>٢</sup> تقييد : تعيد [ج] ر ج له ن : ر ج له نه [ب]، كتب في هامش [ج] أيضًا « اعلم ان وسط القمر هو زيادة عشرين دقيقة التي منه المصنذ في الزيج على نقصها فهو ... فتنقص في مواضعها ورسد وعلم » ب ر م مط مح كا : ب ر م بط مح كا [ب] د ط كج ب كط كه ا : و ط كج ب كط كه ا [ب،د،ه]، د ط كج ب كط كه ج [ج] .<sup>٦</sup> بج ي له ا بج نب لو بح نور : . بج ي له ا بج ب لو بح نور [ب،ه] <sup>٧</sup> متسوية : مستوية [د،ه،ج] .<sup>٧</sup> . لب نو كز لج د مال مه : . لب نو كز بج ما لا [ب،ه]، . لب نو كز لج ما لا [أ،د] <sup>٨</sup> خاصة : خاصية [د] <sup>٩</sup> نا د كب ل : نا د لب ل [ب،ه] <sup>١١</sup> اثبتنا : أيضًا [ب،ه] <sup>١٢</sup> . كو لد لر ك : . كو لد لر كه [ب،ه] <sup>١٢</sup> في سنة واحدة . بط بظ مج نب : في شهر واحد . بط بظ مج نب [ب]

## Chapitre dix

### Détermination des mouvements de la Lune à une date donnée

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 Yazdgard 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, 21<sup>102</sup>, 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 égale 0; 32, 56, 27, 33, 41, 31 degrés.

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.

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.

Ceci étant admis, sache que l'année lunaire<sup>103</sup> est exactement 354; 22, 1, 35, 8, 50, 24, le mois lunaire moyen<sup>104</sup> 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-dire 365; 5, 49, 0, 36, 32.<sup>105</sup>

Supposons que le jour et la nuit comptent soixante parts, alors l'année solaire est 365; 14, 32, 31, 31, 20. L'excédent<sup>106</sup> par rapport au cercle est de 6; 15, 9, 8.

---

102. Le « cinq signes et 13; 7, 40, 49, 48, 21 degrés », c'est notre 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 ».

103. Une année lunaire compte exactement douze mois lunaires.

104. Avec les notations adoptées dans notre commentaire mathématique, le mois lunaire moyen est  $360^\circ / (\omega_m - \omega_m^\odot)$ . On trouve bien la valeur donnée ici, jusqu'au cinquième rang sexagésimal, à partir des paramètres  $\omega_m$  et  $\omega_m^\odot$  adoptés par Ibn al-Šāṭir.

105. 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).

106. Nous n'avons pas compris cette phrase. Est-ce une variation ?

واذ تقدّم ذلك، فاعلم ان السنة القمرية على الصحيح شند كب ا له ح ن كد،  
والشهر القمريّ الوسط كط لا ن ر نه مد ب، وسنة الشمس الصحيحة ثلاثمائة <sup>ظ ٣٣ د</sup>  
وخمسة وستون يوماً وخمس ساعاتٍ وتسع واربعون دقيقة وثلاثة اخماس ثلاثة  
وهي شسه ه مط . لو لب.

واذا فرضنا اليوم بليته ستين جزئاً، كانت السنة الشمسية ٣٦٥ ند لب لا لا ك  
ويكون فضل الدورة و نه ط ح.

واذ تقدّم ذلك، فاعلم ان قطر القمر في بعده الاوسط من الارض، و ذلك <sup>ظ ١٧ ا</sup>  
عند كون بعد القمر من الارض ستين جزاً من اجزاء نصف قطر حامل التدوير  
. لب ند لج. وقد كنت وقفت على ذلك من طريق آخر فوجدته لب كب،  
واعتمادي على الأول. وقطر القمر عند ابرخس لج نه، وعند بطلميوس لج ه،  
وعند اهل الهند لب .، وعند الجمهور لب ك، وعند الاثير وكوشيار والطوسي  
لب ج.

واذا اردنا قطر القمر في غير بعده الاوسط، قسمنا قطره في بعده الاوسط  
على بعده من مركز العالم، باجزاء قطر الممثل، يحصل قطر القمر في ذلك  
البعد.

وبهت ساعة القمر هو قطره ايضاً، وبالوجه الأول اصحّ فاعرفه.  
وامّا قطر الظلّ، فانه عند بطلميوس مثل قطر القمر مرتين وثلاثة اخماس  
مرّة. وقد وجدته بارصادٍ خسوفات كثيرة قديمة وحديثة، مرتين ونصف وخمس  
مرّة اذا عملنا على ان نهاية عرض القمر خمس درجاتٍ ؛ واذا عملنا على انه  
اربع درج وثلاثي وربع درجة، كان مثل قطر القمر مرتين وثلاثي مرّة. وذلك انا  
وجدنا مكث الخسوفات بالرصد اكثر ما يقتضيه الحساب على فرض ان قطر  
الظلّ مثل قطر القمر مرتين وثلاثة اخماس.

١ شند كب ا له ح ن كد : ناقصة [ب] ٢ كط لا ن ر نه مد ب :  
كط لا نه ر نه مد ب [ب،ه] ٣-٤ ثلاثمائة وخمسة وستون يوماً وخمس ساعاتٍ  
وتسع واربعون دقيقة وثلاثة اخماس ثلاثة وهي : ناقصة [ج] ٦ الدورة و نه ط ح : الدور  
نو نه ط ح [ب،ه]، الدور فو نه ط ح [د،ج] ٧-٨ و ذلك عند كون بعد القمر من  
الارض ستين جزاً من اجزاء نصف قطر حامل التدوير : . لب ند لج وذلك عند كون بعد  
القمر من الارض ٦٠ جزاً من اجزاء قطر حامل التدوير [ج] ٩ . لب ند لج : لب ند لج  
[ه]، ناقصة [ج] ١٦ بالوجه : الوجه [ج] ١٧ فانه : فهو [ج] ١٨-١٩ مرتين ونصف وخمس مرّة :  
ب ل ب [ج] ١٩ عملنا على : علمنا [د،ج]، علمنا على [ه] ١٩ عملنا على : علمنا على  
[د،ه]، علمنا [ج] ٢٠ اربع درج وثلاثي وربع درجة : د م نه [ج] ٢٠ مرتين وثلاثي مرّة : ب م  
[ج]

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 Athīr<sup>107</sup>, Kūšyār<sup>108</sup> et al-Ṭūsī 32; 3.

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 distance.<sup>109</sup>

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

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 Lune.<sup>110</sup>

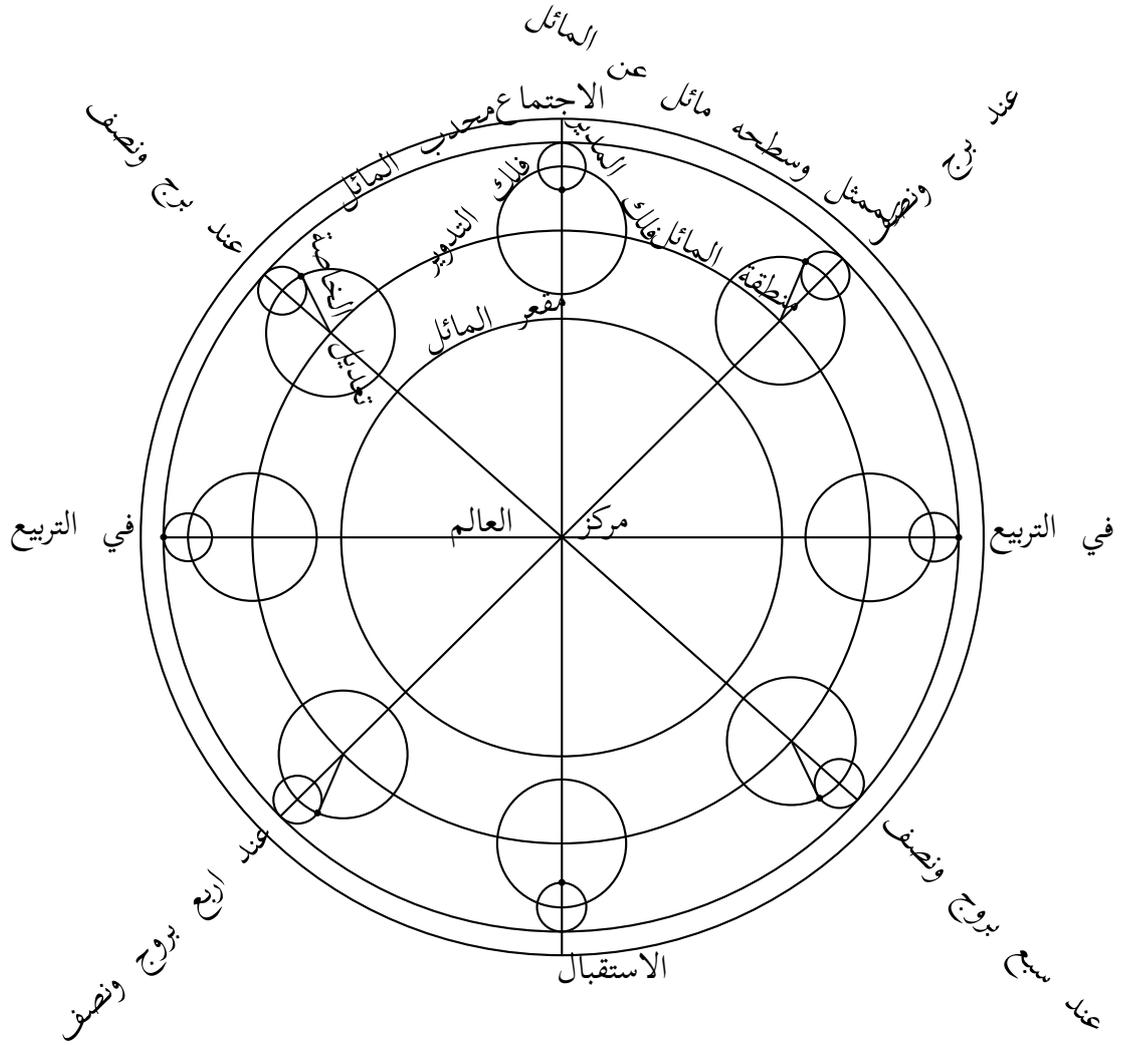
---

107. Athīr al-Dīn al-Abharī

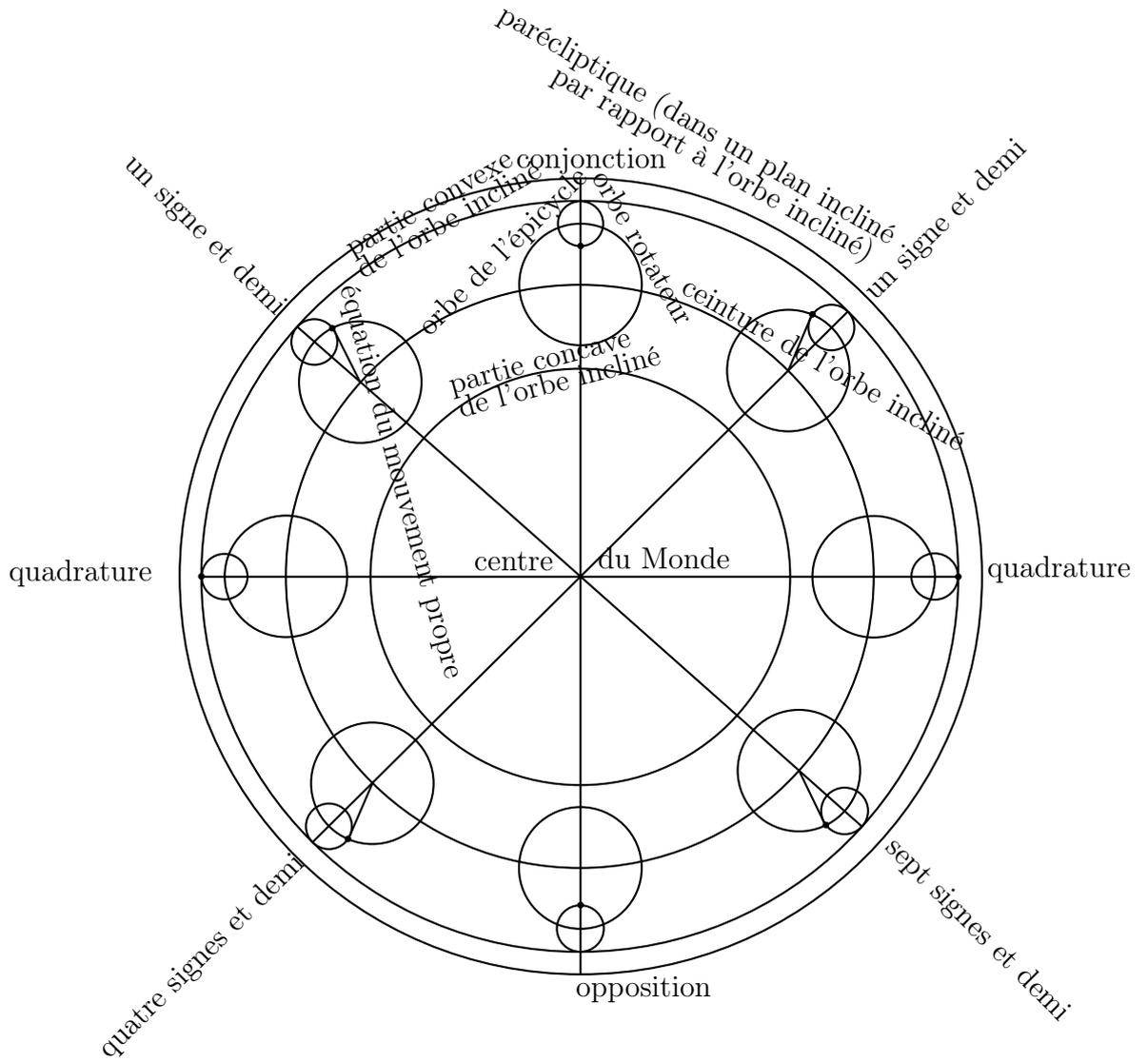
108. Kūšyār b. Labbān

109. C'est-à-dire que  $0; 32; 54; 33 \times 60 = \text{diamètre apparent} \times \text{distance Terre-Lune}$ , où le diamètre apparent est exprimé en degrés, et la distance Terre-Lune en soixantièmes du rayon de la trajectoire du centre de l'épicycle dans l'orbe incliné.

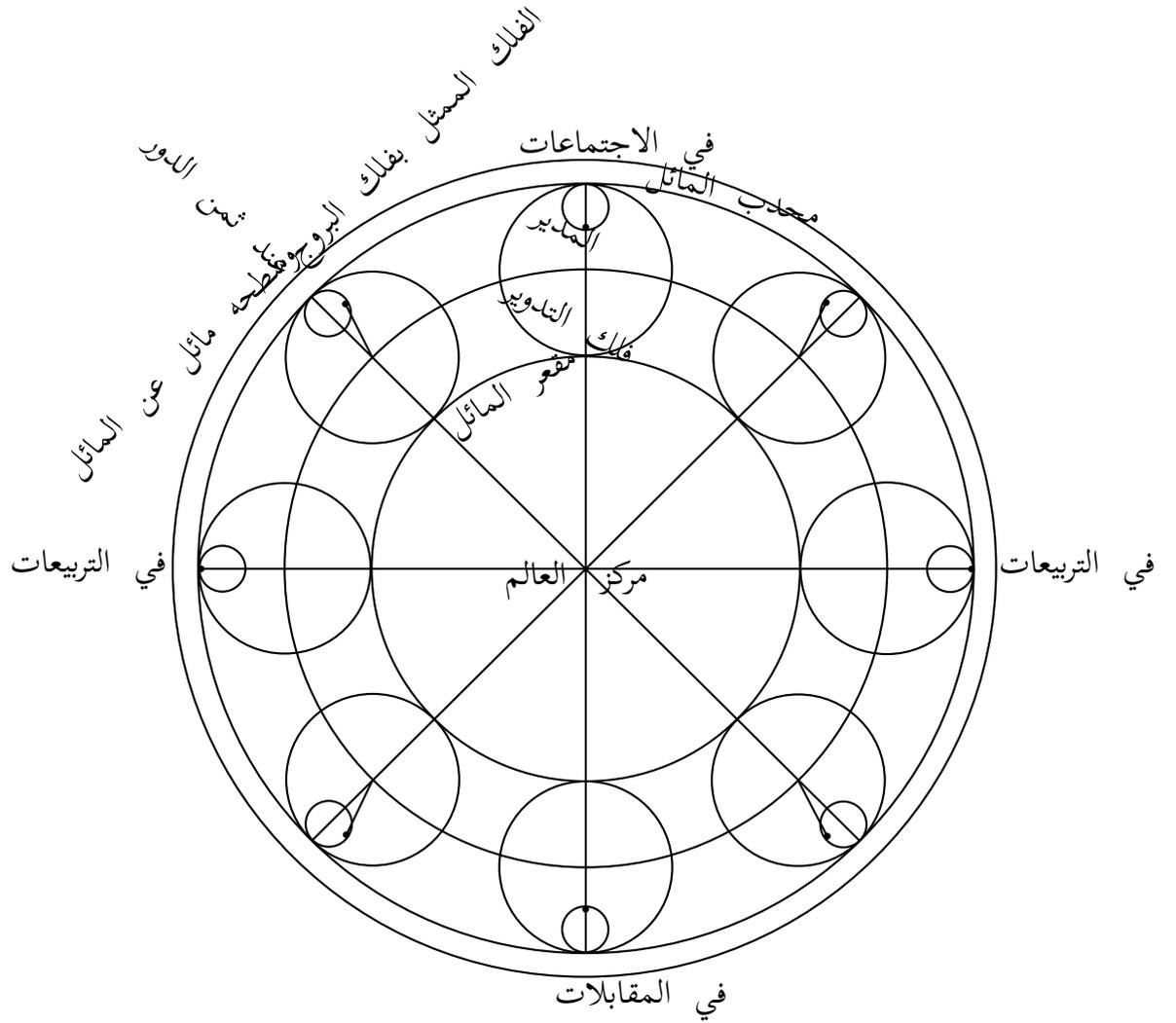
110. Al-Šāṭir donne donc trois valeurs du diamètre de l'ombre : 2; 36, 2; 42 et 2; 40. La première, attribuée à Ptolémé, est rejetée sur la base d'observations.



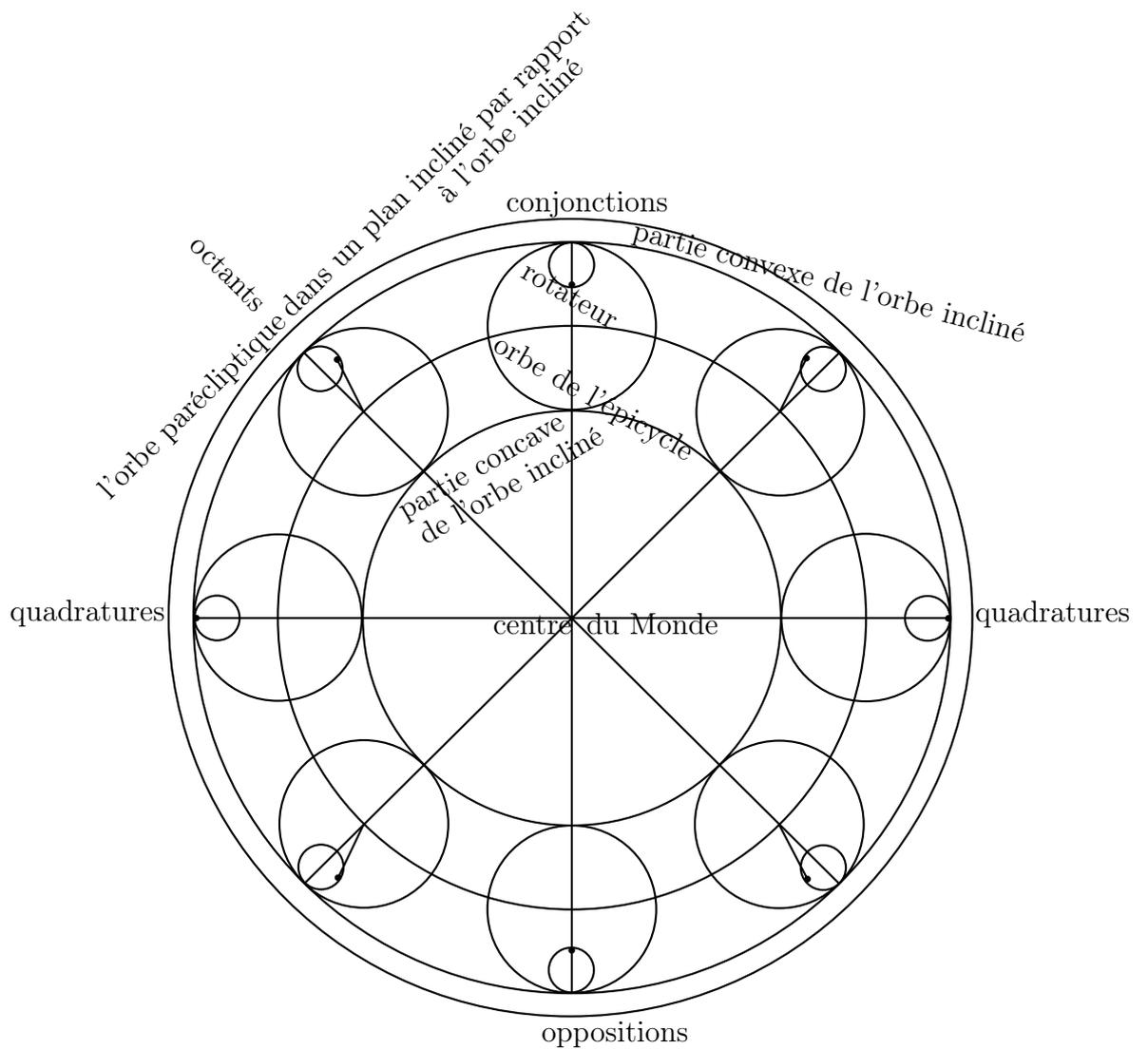
و هذه صورة افلاك القمر و هي مدارات مراكز الاكبر التامة على حسب ما يتصور على البسيط لاقامة البراهين و حساب التعاديل على انا صورنا فلك التدوير و المدير في ثمانية اماكن و تلك الاماكن هي الاجتماع و الاستقبال و التريبعين و في انصاف الارباع ليسهل تصور ذلك في كل مكان



Les orbes de la Lune figurés par les trajectoires des centres des sphères.  
 Nous y avons représenté l'orbe de l'epicycle et le rotateur en huit positions :  
 la conjonction, l'opposition, les quadratures et les octants.



و هذه صورة افلاك القمر المجسمة على أنّها كرات تامّة متحركات حركات بسيطة مستوية عند مراكزها حسب ما يتصور في البسيط الذي هو سطح المائل و قد تقدم ان سطح المائل مائل عن سطح البروج ايّ الممثل ميلا واحدا نهايته مثل عرض القمر



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.

## الباب الحادي عشر في تقويم القمر بالجدول والحساب

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 اضعفه فهو مركز القمر، وهو بعد مركز التدوير من البعد الأبعد. فادخل به إلى جدول تعاديل القمر، وخذ به تعديل الخاصّة. فإن كان المركز أقلّ من ستّ بروج، فرد التعديل على الخاصّة، وإن كان المركز أكثر من ستّ بروج، فنقصه من الخاصّة. تحصل الخاصّة المعدّلة. ثم ادخل بالخاصّة المعدّلة 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 المحكم. ثم انظر، إن كانت الخاصّة المعدّلة أقلّ من ستّ بروج، فنقص المحكم من وسط القمر، وإن كانت أكثر من ستّ بروج، فرد المحكم على وسط القمر. يحصل مقوم القمر من منطقة المائل. ثم انقص الجوزهر المقوم من القمر المقوم. يبقى ١٨ أ 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.

<sup>٦</sup> القمر: فوق السطر [ج] <sup>٨</sup> تحصل: يحصل [د،ه] <sup>٩</sup> تعاديل: ناقصة [ب] <sup>١٠</sup> فاضربه: و اضربه [ج] <sup>١١</sup> الثالث: ناقصة [ه] <sup>١١</sup> إن: ان [أ] <sup>١٢</sup> الخاصّة: الحاصلة [ب] <sup>١٤</sup> القمر المقوم: القمر بالمقوم [ب،ه]، القمر [د]، مقوم المائل [ج] <sup>١٤</sup> يبقى: تبقى [ب،ج]، يبقى [ه] <sup>١٥</sup> عرض القمر: العرض [ج] <sup>١٦</sup> عرض القمر: العرض [ج] <sup>١٧</sup> إن: إذا [ه]

## Chapitre onze

### La Lune vraie par les tables ou par le calcul

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 du centre de l'épicycle au point où la distance est maximale<sup>111</sup>. 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 signes<sup>112</sup>, 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 corrigée<sup>113</sup>. Puis entre avec la Lune propre corrigée dans la table des équations de la Lune, et prends-y la troisième<sup>114</sup> et la quatrième équation<sup>115</sup>. Puis entre, avec le centre, dans la table des équations de la Lune, prends-y la deuxième équation<sup>116</sup>, multiplie-la par la quatrième, et ajoute le tout à la troisième ; on obtient la troisième équation *principale*<sup>117</sup>. Puis regarde si la Lune propre corrigée est inférieure à six signes. Dans ce cas, retranche la principale de la Lune moyenne ; mais si elle est plus grande que six signes, alors ajoutes-la à la Lune moyenne. On obtient la Lune vraie par rapport à la ceinture de l'orbe incliné. Puis retranche le nœud vrai de la Lune vraie. Il reste l'argument de latitude de la Lune. Entre-le dans la table de l'équation du déplacement de la Lune<sup>118</sup>. 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-vingt et deux cent soixante-dix degrés, et ajoute-le sinon.

---

111. Le « centre de la Lune » est donc ce qu'il a appelé précédemment (chapitre 9) 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.

112. Six signes =  $180^\circ$ .

113. C'est donc la « troisième équation » du chapitre 9, notée  $c_1$  dans notre commentaire.

114. C'est  $c_2(\alpha, 0)$  dans notre commentaire, *i. e.* la « première équation » du chapitre 9.

115. C'est  $(c_2(\alpha, 180^\circ) - c_2(\alpha, 0))$  dans notre commentaire, *i. e.* la « deuxième équation » du chapitre 9.

116. C'est  $\chi$  dans notre commentaire, appelé « coefficient d'interpolation » au chapitre 9.

117. Nous traduisons *muhkm* par *principale*. Pour la Lune comme pour les autres astres, l'équation principale 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 orbites. Mais peut-être ce nom renvoie-t-il aussi au fait que cette équation est toujours calculée par interpolation – alors aurait-on pu aussi traduire par *équation interpolée*.

118. C'est la « quatrième équation » du chapitre 9.

يُحصل مقوم القمر من فلك البروج للوقت الذي حسبته له، لنصف نهار، دمشق. فان لم يكن التاريخ معدلاً بتعديل الأيام بلياليها، فيجب أن تعدل على نحو ما عرفتكم في الشمس.

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 الكلّي، يحصل ظلّ عرض القمر الجزئيّ. فقوّسه في جدول الظلّ المعكوس الستينيّ، تجد العرض. وقد تقدم علم جهته.

### فصل

#### في معرفة تعديل خاصّة القمر بالحساب

اعرف مركز القمر واضرب جيبه في نصف قطر حامل الجرم، وهو  $\overline{ا.ك.ه.}$  فما حصل فهو المقسوم. ثمّ اضرب جيب تمام المركز في  $\overline{ا.ك.ه.}$  فما حصل نقصه من نصف قطر التدوير، وهو  $\overline{و.ل.ه.}$ ، اذا كان المركز من درجة الى تسعين أو  $20^\circ$  من مائتين وسبعين إلى ثلاثمائة وستين. وان كان المركز خلاف ذلك، فزده على نصف قطر التدوير الذي هو  $\overline{و.ل.ه.}$  فما حصل، اجمع مربّعه ومربّع المقسوم. فما كان، خذ جذره، فهو نصف قطر التدوير المرئيّ. فاحفظه، فانّك تحتاج إليه في هذا العمل وغيره. ثمّ اقسّم على نصف قطر التدوير المرئيّ المقسوم، يخرج جيب تعديل الخاصّة؛ أثبتته بإزاء تلك الدرجة.

<sup>٢</sup> تعدل: يعدل [ج]، يعدل [ه] <sup>٧</sup> فقوّسه: تقوسه [أ] <sup>١٥</sup> الذي هو  $\overline{و.ل.ه.}$ : ناقصة [ج] <sup>١٨</sup> جيب: حسب [ب]

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 la correction des jours avec leurs nuits, alors il faut la corriger comme je l'ai enseigné pour le Soleil <sup>119</sup>.

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 sens <sup>120</sup>.

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 entière <sup>121</sup> 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.

## Section

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

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.

---

119. Voir chapitre 8.

120. son « sens », c'est-à-dire si elle est orientée vers le Nord ou bien vers le Sud.

121. 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.

## فصل في حساب تعديل القمر الثاني

- ٥ 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  $هـ$   $هـ$   $هـ$ . فما حصل من جيب التمام، فزده على ستين ابداً إن <sup>ظ ٣٣ د</sup> كانت الخاصّة المعدّلة في النصف الأعلى من التدوير ونقصه ان كانت الخاصّة في النصف الأسفل منه. فما حصل فزد مربّعه على مربّع المتحصّل من ضرب جيب الخاصّة في  $هـ$   $هـ$   $هـ$ ، وهو المقسوم. فما بلغ خذ جذره. فما كان اقسام عليه المقسوم. يحصل جيب التعديل الثاني للدرجة التي حسبت لها. تقوّسه في جدول الجيب : تجد تعديل ذلك الجزئ.
- ١٠ وطريق حساب التعديل الثالث أن تفرض نصف قطر التدوير المرثي ثمان درجات، وهو جيب سبعة وثلاثي، و اسلك ما عرفتك في التعديل الثاني. فما حصل لكلّ جزء، فانقص منه التعديل الثاني لذلك الجزئ. فما بقى فأثبتته بإزاء <sup>ظ ١٨ أ</sup> ذلك الجزئ.
- ١٥ تبييه. إذا استعملت نصف قطر التدوير المرثي لجزء مفروض عوض  $هـ$   $هـ$   $هـ$ ، وسلكت الطريق المذكور، خرج التعديل المحكّم، وهو جيب التعديل الثاني معدّلاً.

٤ وقت : في [ج] فقط ° ستين : ٩٠ [هـ] المعدّلة : فوق السطر [د، ج] ٦-٧ الأعلى من التدوير ونقصه ان كانت الخاصّة في النصف : في هامش [ج، د]، الأعلى من التدوير وبعضه ان كانت الخاصّة في النصف [ب]، الأعلى من التدوير ونقصه ان كانت في النصف [هـ] ٩ تقوّسه : فقوّسه [ج] ١١ تفرض : عوض ؟ (غير مقروء) [ب]، نفرض [د] ١١ نصف : ناقصة [هـ] ١٢ و اسلك : فاسلك [د، ج] ١٥ لجزء : بجزء [هـ] ١٦ جيب : في [ج] فقط، فوق السطر ١٦ الثاني : كتب « الثالث » في هامش [د]، الثالث [ج]

## Section

### Calcul de la deuxième équation<sup>122</sup> de la Lune.

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 de sinus du mouvement propre par 5;10 (ce dernier produit est ce qu'on appelle à présent le *dividende*). Prends la racine carré 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.

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.

*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 principale, c'est-à-dire la deuxième équation corrigée.

---

122. C'est  $c_2$  dans notre 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.

## فصل في حساب دقائق النسب للقمر

إذا أردت ذلك فقس نصف قطر التدوير المرئي 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. و ما بقى، اقسمه على ب مج كا، وهو فضل غاية الاختلاف في التريعين الذي هو ز لط مه يا على غاية الثاني. فما خرج بالقسمة، فهو دقائق النسب ؛ فأثبتته بإزاء تلك الدرجة.

تنبيه. اعلم أنه يمكن ان توضع جداول لتقويم القمر، على اوضاع آخر ظ ٢٠ ج  
غير المشهورة. وذلك بان تفرض تدوير القمر التدوير الحقيقي الذي نصف قطره و له. وتحسب له اختلاف ينقص منه في البعد الأبعد، واختلاف يزداد عليه في البعد الأقرب وهو ثمانية أجزاء. وتحسب له اختلاف ينقص منه بدقائق نسب، عكس المشهور. ويمكن ان يوضع جدول واحد لتقويم القمر بين لأن غاية الاختلاف في أجزاء الحامل معلومة وتعديل الخاصّة لازم في ذلك الجزئ.

<sup>٣</sup> ذلك : ناقصة [ه] ° د نو كد : د نو كه [ب،ه] ° و ما : فما [ب،ه] <sup>٦</sup> توضع : يوضع [ب] ،  
بوضع [ه] <sup>١٠</sup> المشهورة : المشهور [ه] <sup>١٠</sup> تفرض : نفرض [د] ، يفرض [ه] <sup>١١</sup> يزداد : يزيد [د]  
<sup>١٢</sup> تحسب : يحسب [ج،ه] <sup>١٣</sup> نسب : بسبب [ب،ه] <sup>١٣</sup> بين : ناقصة [ج]

## Section

### Calcul du coefficient d'interpolation pour la Lune

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 principale. 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 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.

*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. Par rapport à ce nombre, tu calcules une différence qui lui est retranchée à distance maximale, et une différence qui lui est ajoutée à distance minimale<sup>123</sup> quand il vaut huit parts. Par rapport à ce nombre-ci, tu calcules une autre différence qui en est retranchée avec un coefficient d'interpolation (à l'opposé de ce qu'on a vu ci-dessus<sup>124</sup>). Enfin, on peut aussi faire le calcul de la Lune vraie au moyen d'une table unique<sup>125</sup> qui montrerait à la fois la variation maximale à une position donnée dans l'orbe portant [l'épicycle]<sup>126</sup> et la correction du mouvement propre dépendant de cette position.

---

123. « 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.

124. Veut-il dire simplement que l'interpolation se fait ici par soustraction plutôt que par addition ?

125. 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 principale correspondant aux différentes valeurs de la Lune propre. Il conçoit donc une sorte de tableau à double entrée pour représenter l'équation principale 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°.

126. L'orbe portant l'épicycle, c'est-à-dire l'orbe incliné.

و مثال ذلك، إذا فرضنا مركز القمر، وهو البعد المضاعف، ثلاث بروج، كان تعديل الخاصّة يب كو. ونهاية الاختلاف، إذا كان المركز ثلاث بروج، ستّة أجزاء وسدس جزء ؛ وحسبنا التعديل الثاني على أنّ نهايته الستّة والسدس. وأثبتنا ذلك بإزاء يب كو. كان هذا الجدول متى دخلنا إليه بالخاصّة المطلقة، اعني الغير معدّلة، وجدنا التعديل المحكّم من غير تعديل زائد ؛ وإنّما نحتاج إلى جداول كثيرة.

## فصل

إذا أردت بعد القمر من مركز العالم، فاعرف جيب خاصّة القمر المعدّلة وجيب تمامها ؛ واضرب كلّ واحدٍ من الجيبين في نصف قطر فلك التدوير المرئي، وهو هـ س في الاجتماع والاستقبال، وفي غيرهما وهو ما أمرت بحفظه في الفصل الأوّل من هذا الباب. فما حصل من جيب الخاصّة، فهو المقسوم فاحفظه. وزد ما حصل من جيب التمام على ستين، إذا كانت الخاصّة المعدّلة أقلّ من ثلاث بروج أو أكثر من تسع بروج، وإن كانت غير ذلك فانقصه من ستين. فما بلغ أو بقي، فاجمع مربّعه ومربّع المقسوم. وخذ جذر ذلك، فما كان فهو بعد القمر من مركز العالم على أنّ نصف قطر الحامل ستين جزئاً.

تنبّيه. إذا قسمنا على هذا البعد قطر القمر في بعده الأوسط، وهو ١٩ أ . لب ند لـج، حصل قطره في ذلك البعد. وإذا ضربنا بهت يومه في دقيقتين ونصف، حصل قطر القمر، وبالطريق الأوّل أضبط. وقطر القمر أقلّه في الاجتماعات والاستقبالات . ل نح، وأكثره فيها لو . وأقلّه في الترييعين كط ب يه، وأكثره فيها لز نح ك. فاعرف ذلك.

تنبّيه ثانٍ. و لو قسمنا على هذا البعد المقسوم المحفوظ، خرج جيب ٣٤ د و ٢١ ج التعديل المحكّم للقمر. فافهم ذلك.

١ و مثال : مثاله [ج] ٣ الستّة : الستّ [ب،ه] ٤ إليه : عليه [د] ° اعني الغير معدّلة : ناقصة [ج] ° نحتاج : يحتاج [د،ج،ه] ١٥ جزئاً : أجزاء [ه] ١٧ . لب ند لـج : . لب ند نج [ه] ١٩ . ل نح : . ل نح اى [د،ج]، . ل نح ا [ه] ٢٠ كط ب يه : لط ب به [ه] ٢١ و : ناقصة [ب،د،ج] ٢٢ فافهم ذلك : ناقصة [ج]

Par exemple, si nous supposons que le centre de la Lune (c'est-à-dire l'élongation double) est de trois signes, alors la correction du mouvement 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 sous l'hypothèse que son maximum est de six parts et un sixième<sup>127</sup>. Nous avons écrit ceci en face de 12; 26. Quand nous entrons dans cette table le mouvement propre absolu (je veux dire, sans sa correction), nous trouvons ainsi l'équation principale sans équation additionnelle ; mais nous aurons alors besoin de nombreuses tables<sup>128</sup>.

## Section

*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 portant [l'épicycle]<sup>129</sup> soit soixante.

*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 demi<sup>130</sup>, 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.

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

---

127. Veut-il dire que, pour un centre de  $90^\circ$ , il ne calcule de manière exacte qu'une seule valeur de la deuxième équation (son maximum, dénoté  $\max |e(\cdot, 90^\circ)|$  dans notre commentaire mathématique), et calcule toutes les autres par interpolation en utilisant cette unique valeur ? En effet, il serait bien fastidieux de calculer de manière exacte chaque cellule du tableau à double entrée ; mais l'explication reste sujette à interprétation.

128. 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.

129. C'est-à-dire le rayon de l'orbe incliné.

130. Deux minutes et demi font un vingt-quatrième de degré.

## الباب الثاني عشر في هيئة أفلاك زحل على الوجه الصحيح

- نتوهم من أفلاك زحل :
- ٥ - **فلك ممثل** بفلك البروج في سطحه حول مركزه وعلى قطبيه،
  - ونتوهم فلك ثانٍ مائل عن الممثل ميل ثابت مقداره جزآن ونصف،
  - مقاطع له على نقطتين متقابلتين وتسمى إحداهما الرأس والأخرى الذنب،
  - ونتوهم فلك ثالث مركزه على محيط المائل ونصف قطره خمسة أجزاء
  - وثلث جزء (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستين جزءاً)؛ ويسمى **الحامل**،
  - ونتوهم فلك رابع مركزه على محيط الحامل ونصف قطره درجة واثنين
  - وأربعين دقيقة وثلثين ثانية؛ ويسمى **المدير**،
  - ١٠ - ونتوهم فلك خامس مركزه على محيط المدير ونصف قطره ستة أجزاء
  - ونصف (بتلك الأجزاء)؛ ويسمى **فلك التدوير**،
  - ومركز جرم زحل لازمٌ لنقطة على منطقة التدوير.
  - فأما الحركات فإن الممثل يتحرك حركة بسيطة حول مركزه إلى التوالي **حركة**
  - ١٥ **الأوجات** وهو في اليوم . . ط نب. فينتقل التقاطع وهو الرأس والذنب وتنتقل
  - غايتان الميل أيضاً.
  - ويتحرك الفلك المائل حركة بسيطة حول مركزه الذي هو مركز العالم إلى
  - التوالي أيضاً بمقدار **حركة مركز زحل** وهو فضل وسطه على حركة الأوج :
  - وهو في اليوم بليته . ب . كو ر.
  - ٢٠ ويتحرك الحامل إلى خلاف التوالي في أعلاه بقدر حركة مركز زحل الذي
  - هو في اليوم بليته . ب . كو ر.
  - ويتحرك المدير في أعلاه إلى التوالي، قدر ضعف حركة مركز زحل، وهو في
  - اليوم بليته . د . نب لد. فتكمل الدورة منه مع نصف دورة من الحامل.
  - وتتحرك فلك التدوير حركة بسيطة حول مركزه في أعلاه إلى التوالي بمقدار
  - ٢٥ فضل حركة خاصة زحل على حركة مركزه.

<sup>٣</sup> نتوهم : يتوهم [د] <sup>٦</sup> مقاطع : يقاطع [د،ج] <sup>٩</sup> ونتوهم : ويتوهم [د،ج] <sup>١١</sup> هو في : فوق السطر [أ]، ناقصة [د] <sup>٢٤</sup> وتتحرك : ويتحرك [ج]

## Chapitre douze

### Configuration des orbes de Saturne selon la vraie méthode

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 d’une inclinaison constante de deux parts et demi et 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.

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 Apogées* qui fait chaque jour 0; 0, 9, 52. Les intersections – la tête et la queue – se déplacent donc, et les deux inclinaisons extrêmes aussi.

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 le *mouvement du centre de Saturne* et c’est l’excédent du mouvement moyen sur le mouvement de l’Apogée : il fait, en un jour et une nuit, 0; 2, 0, 26, 17.

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.

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.

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 propre* de Saturne sur le mouvement de son centre.

وهذه الحركة بسيطة مركبة، لأننا إذا فرضنا التدوير ساكنًا وتحرك المائل ربع دائرة، وتحرك الحامل ربع دائرة، وتحرك المدير نصف دائرة، أعني انتقل القطر المارّ بالذروة والحضيض ربع دائرة، فيجب أن نفرض له حركة إلى خلاف التوالي بمقدار حركة الحامل التي هي حركة مركز زحل، فننتقل القطر المارّ بالذروة والحضيض إلى موضعه.

ثم وجدنا بالرصد أنّ التدوير يتحرك بقدر خاصة زحل وهي في اليوم بليلته . نر ر مج لد كب، فقد ظهر أنّه يتحرك إلى خلاف التوالي حركة بسيطة حول مركزه. وظهر أنّه يتحرك إلى التوالي حركة بسيطة حول مركزه، فينقص <sup>ظ ٢١ ج</sup> أقلّ الحركتين من الاكثر، وهي حركة المركز من حركة الخاصّة. فتبقى حركة فلك التدوير إلى التوالي بقدر فضل حركة خاصّة زحل على حركة مركزه : وهي في اليوم بليلته . نه ر ر ر ك ب. وهذه هي الحركة البسيطة الحقيقية، غير أنّ الذروة تتحرك إلى التوالي أبدًا بقدر حركة خاصّة زحل، وهي مجموع هذه الحركة وحركة مركزه. وهذا معنى لطيف يجب تصوره. وعلى ذلك باقى الكواكب، فلا حاجة إلى إعادة هذا الشرح. ولما احتجنا إلى بعد الكوكب من الذروة، احتجنا تجمّع حركة هذا التدوير وحركة مركز زحل : فحصل من ذلك مثل حركة خاصّة زحل، وهو بعد الكوكب من الذروة. فقد أوضحت لك هذا المعنى، وفيه دقة فتأمل.

فإذا فرضنا مراكز الحامل والمدير والتدوير على الخطّ المستقيم المارّ بمركز العالم والأوج، كان مركز التدوير في بعده الأبعد من الأرض، وذلك سج كه. فإذا تحرك المائل ربع دائرة، وتحرك في ذلك الزمان الحامل ربع دائرة أيضًا، وتحرك المدير في ذلك الزمان نصف دائرة، صار بعد مركز التدوير من مركز <sup>ظ ٣٤ د</sup> الحامل ستة أجزاء ونصف وثلاث.

<sup>٦</sup> في : فوق السطر [أ] <sup>٨</sup> إلى التوالي حركة بسيطة حول مركزه : حركة بسيطة حول مركزه إلى التوالي [ج] <sup>١٠</sup> فضل : في الهامش [أ] <sup>١١</sup> بليلته : ناقصة [أ] <sup>١٣</sup> وعلى : على [ج] <sup>١٤</sup> لَمَّا : لَمَّا [أ] <sup>١٥</sup> تجمّع : بجمع [ج] <sup>١٥</sup> فحصل : فحصل [د، ج] <sup>١٨</sup> الحامل والمدير والتدوير : التدوير والمدير والحامل [ج]

Ce mouvement est simple-composé. En effet, supposons que l'épicycle est immobile<sup>131</sup>. 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.

Nous avons trouvé par l'observation que le mouvement propre dont se meut l'épicycle 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 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 propre de Saturne 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 propre de Saturne, somme de ce mouvement simple et du mouvement de son centre. 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 explication.<sup>132</sup> 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 propre de Saturne, 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.

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'Apogée. 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.

---

131. Immobile, au sein du référentiel constitué par l'orbe rotateur.

132. Le mot « apogée », *dhirwa*, 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.

فإذا أخرجنا خطأً مستقيماً من مركز العالم إلى مركز التدوير، وأخرجنا خطأً آخر من مركز العالم إلى مركز الحامل، كانت الزاوية التي بين هذين الخطين هي زاوية تعديل زحل الأول وبهذا المقدار يكون تعديل الخاصّة.

ويتضح ذلك بالمثل. فإذا تحرك المائل نصف دائرة، وتحرك الحامل نصف دائرة أيضاً، وتحرك المدير في ذلك الزمان دائرة تامّة، صار مركز التدوير في بعده الأقرب من مركز العالم، وذلك نوله، وطابق الخط الخارج من مركز العالم إلى مركز التدوير للخط الخارج منه إلى مركز الحامل؛ فانعدم التعديل الأول الذي هو تعديل المركز وتعديل الخاصّة.

ولما وجدت الشمس تقارن زحل في وسط استقامته وتقابله في وسط رجوعه، علم أنّ حركة فلك التدوير بقدر فضل حركة وسط الشمس على وسط زحل. فمن هنا علمنا أنّا إذا أسقطنا وسط زحل من وسط الشمس بقى حركة خاصة ج ٢٢ و ٢٠  
زحل. وعلى ذلك المشتري والمريخ.

وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنّه يلزم عن هذه الأفلاك وهذه الحركات اختلافات وتسمّى التعاديل. فالتعديل الأول يسمّى تعديل المركز والخاصّة. وهو زاوية عند مركز العالم (الذي هو مركز المائل) بين خطين يخرجان منه، فيمرّ أحدهما بمركز الحامل ويمرّ الآخر بمركز التدوير. وهذه الزاوية مساوية للزاوية التي عند مركز التدوير بين خطين يخرجان منه، يمرّ أحدهما بمركز العالم، والآخر موازي للخط الخارج من مركز العالم المارّ بمركز الحامل. وما بين طرفي هذين الخطين من التدوير، هو ما بين الذروتين الحقيقيّة والمرئيّة. فتبين أنّ تعديل الخاصّة مساوٍ لتعديل المركز لتساوي الزاويتين. وهو يظهر من المثل واضحاً. وينعدم هذا التعديل في الأوج والحضيض. وهو يزداد على المركز وينقص من الخاصّة إذا كان المركز أكثر من ستّ بروج؛ وينقص من المركز ويزاد على الخاصّة إذا كان المركز أقلّ من ستّ بروج. ونهايته لزحل ستّة أجزاء وثلاث وخمس، وذلك عند كون بعد مركز الحامل من الأوج في الجهتين ثلاث بروج وأربع درج. والتعديل الثاني وهو الذي بسبب فلك التدوير. ٢٥

١ خطأً مستقيماً : خطأً مستقيم [أ] ١ خطأً : خطأ [أ] ٢ الزاوية : الزاوية [ج] ١٤ التعاديل : التعديل [د] ١٧ موازي : مواز [د، ج] ١٩ الذروتين الحقيقيّة : الزاويتين الحقيقيّة [د، ج] ٢٥ والتعديل : وأما التعديل [ج]

Traçons une droite du centre du Monde au centre de l'épicycle, et une autre droite du centre du Monde au centre du déférent. 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.

On explique ceci sur un exemple. Si l'orbe incliné se meut d'un demi-cercle, que le déférent 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 déférent ; ainsi la première équation (qui est aussi bien équation du centre qu'équation de l'astre propre) s'évanouit.

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 propre de Saturne. De même pour Jupiter et Mars.

Ceci étant admis, sache qu'à ces orbes et ces mouvements sont liées des anomalies qu'on appelle *équations*. 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 déférent, 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 déférent 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 apparent<sup>133</sup>. Il est démontré 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'Apogée 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 déférent et l'Apogée est, dans un sens ou dans l'autre, trois signes et quatre degrés.

La *deuxième équation* est causée par l'épicycle.

---

133. Cf. figure 26 p. 446 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.

وهو زاوية عند مركز العالم بين خطين يخرجان منه : يمرّ أحدهما بمركز التدوير والآخر بالكوكب. ونهايته عند مماسّة الخطّ للتدوير. وينعدم في الذروة والحضيض من التدوير المرئيتين. ونهايته في زحل ستة أجزاء وثلاث عشرة دقيقة. ويزاد على الوسط إذا كانت الخاصّة المعدّلة أقلّ من ستّ بروج، وينقص منه إذا كانت أكثره.

**والتعديل الثالث** هو اختلاف الثاني. فإنّ الثاني يختلف بحسب قرب مركز التدوير من مركز العالم وبعده منه. وهو لازم للثاني في الزيادة والنقصان. **ودقائق النسب** هو عدد نسبته إلى ستين كنسبة ما يلزم من الاختلاف الثالث إلى جملة ذلك الاختلاف. ويتّضح ذلك في حساب هذه التعاديل.

ظ ٢٢ ج

## فصل

وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنّ **أوج الكوكب** قوس من دائرة الفلك المائل بين خطين يخرجان من مركزه : يمرّ أحدهما بالاعتدال الربيعي، ويمرّ الآخر بمركز الحامل ومركز المدير ومركز التدوير إذا كان مركز التدوير في البعد الأبعد من مركز المائل. فإنّ هذه المراكز الثلاثة يجتمع على خطّ واحد في الأوج والحضيض؛ وأنا أسمى الأوج البعد الأبعد.

و ٣٥ د

**ومركز الكوكب** قوس من المائل بين خطين يخرجان من مركزه فيمرّ : **ظ ٢٠ أ** أحدهما بالأوج والآخر بمركز الحامل.

**ووسط الكوكب** هو مجموع الأوج والمركز وهو قوس من المائل بين خطين يخرجان من مركزه : فيمرّ أحدهما بأول الحمل، ويمرّ الآخر بمركز الحامل. **وخاصّة الكوكب** قوس من فلك التدوير بين الكوكب والذروة الحقيقيّة على التوالي.

**والمعدّلة** قوس منه بين الكوكب والذروة المرئية على التوالي. **والذروة المرئية** منه، هي النقطة التي يفصلها الخطّ المارّ بمركز التدوير ومركز المائل من أعلى التدوير (ويحاذيها الحضيض المرئي).

وإذا أخرجنا من مركز العالم (الذي هو مركز فلك البروج) ومن مركز المائل **خطّ مستقيم** يمرّ بالكوكب وينتهي إلى فلك البروج.

و ٢١ أ  
ظ ٣٥ د

٢ عند : ناقصة [أ] ° أكثره : أكثر [د، ج] ٦ الثاني : ثاني [ج] ٨ ودقائق : وأمّا دقائق [ج] ٨ هو : فهو [ج] ١١ أوج الكوكب : الأوج [ج] ١١ دائرة الفلك : ناقصة [أ، د] ١٤ يجتمع : تجتمع [د] ٢٠ وخاصّة الكوكب : والخاصّة [ج] ٢٤ أعلى : أعلا [د، ج] ٢٥ فلك : فوق السطر [أ]

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 périégée apparents de l'épicycle. Son maximum, pour Saturne, est six parts et treize 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.

La *troisième équation* est la variation de la deuxième<sup>134</sup>. 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.

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.

## Section

Ceci étant admis, sache que l'*Apogée 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<sup>135</sup>, 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'Apogée et au périégée ; et j'appelle Apogée la distance maximale.

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

L'*astre moyen* est la somme de l'Apogée 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.

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

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

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).

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.

134. Cf. chapitre 23, p. 211 *infra*.

135. 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).

وفرضنا دائرة من دوائر العروض مارَّ بطرف هذا الخطِّ، قطع فلك البروج على مقوم ذلك الكوكب؛ وبعد هذا التقاطع من أوَّل الحمل هو مقوم الكوكب. وبعد هذا التقاطع أيضًا من الكوكب من هذه الدائرة هو عرض الكوكب. وقد أفردنا عروض الكواكب في باب مفرد ليسهل تصوُّرها.

وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنَّ الوضع الأوَّل فهو مدارات مراكز الأكر المجسِّمة لزحل لأجل البراهين الهندسيَّة.

وأما تصوُّراتها على أنها كرات، فعلى هذه الصورة؛ نتوهم فلك محيط بجملته أفلاك زحل، في سطح فلك البروج وعلى قطبيه، وهو الممثل. ومحدبه مماسِّ لمقعر الفلك الثامن، ومقعر هذا الفلك مماسِّ لمحدب فلك زحل المائل. ومقعر فلك زحل المائل مماسِّ لمحدب فلك ممثِّل المشتري، وسمك الفلك المائل ستَّة وعشرون درجة وثلاثون دقيقة. وسطحه مائل عن سطح فلك البروج جزأين ونصف.

ويتوهم كرة صحيحة الاستدارة نصف قطرها ثلث عشرة درجة وثلث، وتسمى كرة الحامل.

ونتوهم كرة ثانية، نصف قطرها ثمانية أجزاء واثنًا عشر دقيقة ونصف دقيقة، غائصة في الفلك الحامل تماسِّه على نقطة. وتسمى فلك المدير.

ونتوهم كرة ثالثة، نصف قطرها ستَّة أجزاء ونصف، وهي غائصة في الفلك المدير مماسِّه له على نقطة قبالة النقطة التي يماسِّ عليها المدير للحامل. ويسمى فلك التدوير.

والكوكب مركز غائص في التدوير تماسِّه على النقطة التي تقابل المماسِّه <sup>ظ ٢٣ ج</sup> منه للمدير - حين يكون في الأوج.

ونفرض الحامل غائص في ثخن الفلك المائل يماسِّه على نقطة الأوج، وتتحرك كلُّ فلك بمقدار ما فرضنا له من الحركة والجهة. فيتحرَّك الممثل على قطبي البروج إلى التوالي، مثل حركة الأوجات. وتتحرك المائل إلى التوالي، حركة بسيطة حول مركزه، بمقدار حركة مركز زحل، وهي في اليوم . ب . كو بر.

١ مارَّ: ماوَّة [د،ج] ١ فلك: ذلك [ج] ٢ هو: وهو [د] ٣ وإذ تقدم ذلك: ناقصة [ج] ٤ الصورة: الصور [د،ج] ٥ نتوهم: يتوهم [د،ج] ٦ بجملته: تحمله [ج] ٧ الفلك: ناقصة [د،ج] ٨ المدير: التدوير [أ،د،ج] ٩ حين: حتى [د،ج]

Prenons un des cercles de latitude qui passe par l'extrémité de cette droite. Il coupe l'orbe de l'écliptique en un point qui est l'astre vrai<sup>136</sup> ; c'est-à-dire que l'élongation entre ce point et le commencement du Bélier est l'astre vrai.

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.

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.

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.

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 minutes<sup>137</sup>. Son plan est incliné par rapport au plan de l'orbe du zodiaque, de deux parts et demi.

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

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.

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.

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'Apogée.

Nous supposons que le déférent est plongé à l'intérieur de l'orbe incliné et le touche au point de l'Apogée, 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 Apogées. 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.

---

136. Nous traduisons *mqum al-kawkab* ainsi que *taqwīm al-kawkab* par « astre vrai ».

137. Cette valeur est certainement corrompue : l'épaisseur de l'orbe incliné ne peut être inférieure à 26; 40, diamètre de l'orbe déférent.

- وتتحرك الفلك الحامل إلى خلاف التوالي في أعلاه بقدر حركة مركز زحل. ويتحرك المدير في أعلاه إلى التوالي قدر ضعف حركة المركز لرحل. وتتحرك فلك التدوير حركة بسيطة حول مركزه في أعلاه إلى التوالي، بمقدار فضل حركة خاصة زحل على حركة مركزه - وهي الحركة البسيطة المركبة المقدم شرحها. فتختلف أوضاع الأفلاك، فيرى له حركة مختلفة مركبة من حركات بسيطة. <sup>٢١</sup> أ
- ويكون الكوكب في أبعد بعده من الأوج إذا كان في ذروة التدوير. ويكون في أقرب قربه إذا كان في الحضيض من التدوير والتدوير في الحضيض من الحامل. ويكون في بعده الأوسط فيما بين الأوج والحضيض. واعلم أن كوكب زحل لا ينتهي إلى أبعد بعد أفلاكه ولا إلى أقرب قربه. فإن أبعد بعد زحل تسعة وستون جزءاً وثلاثي جزء وربع جزء؛ وأقرب قربه خمسون جزءاً ونصف سدس جزء؛ لكن لأجل تمامات الأفلاك حتى تصوير <sup>٢٢</sup> أ كرات يحيط بعضها ببعض، يكون أبعد بعد مائل زحل بقدر نصف قطر المائل ونصف قطر الحامل، وذلك ثلاثة وسبعون جزءاً وثلاث جزء. يكون فوق ذلك سمك كرة الممثل؛ ويفرض ثلاثي جزء، يبلغ أربعة وسبعين جزءاً. ويكون أقرب <sup>١٥</sup> د قرب مقعر مائل زحل ستة وأربعين جزءاً وثلاثي جزء؛ ويحتاج إلى نصف قطر <sup>٢٦</sup> د الكوكب مع أخلاط الفلك فيكون ستة وأربعين جزءاً.
- فاعرف ذلك، وقس عليه غيره من الكواكب. وهذا من التوهّمات الصحيحة السالمة من الشكوك؛ فإنها كرات صحيحة، وحركاتها بسيطة كلّ منها مستوية عند مركز ذلك الفلك المتحرك يقطع في الأزمان المتساوية قسي متساوية. فالحمد لله الذي هدانا لهذا وعلمناه. <sup>٢٠</sup>

<sup>٢١</sup> شرحها: ذكرها [ج] <sup>٢٢</sup> ويكون في بعده: فيكون بعده [د، ج] <sup>٢٣</sup> تتمات: غير مقروء [أ]

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 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 propre de Saturne 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.

A l'Apogée, 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 Apogée et périégée, il est à distance intermédiaire.<sup>138</sup>

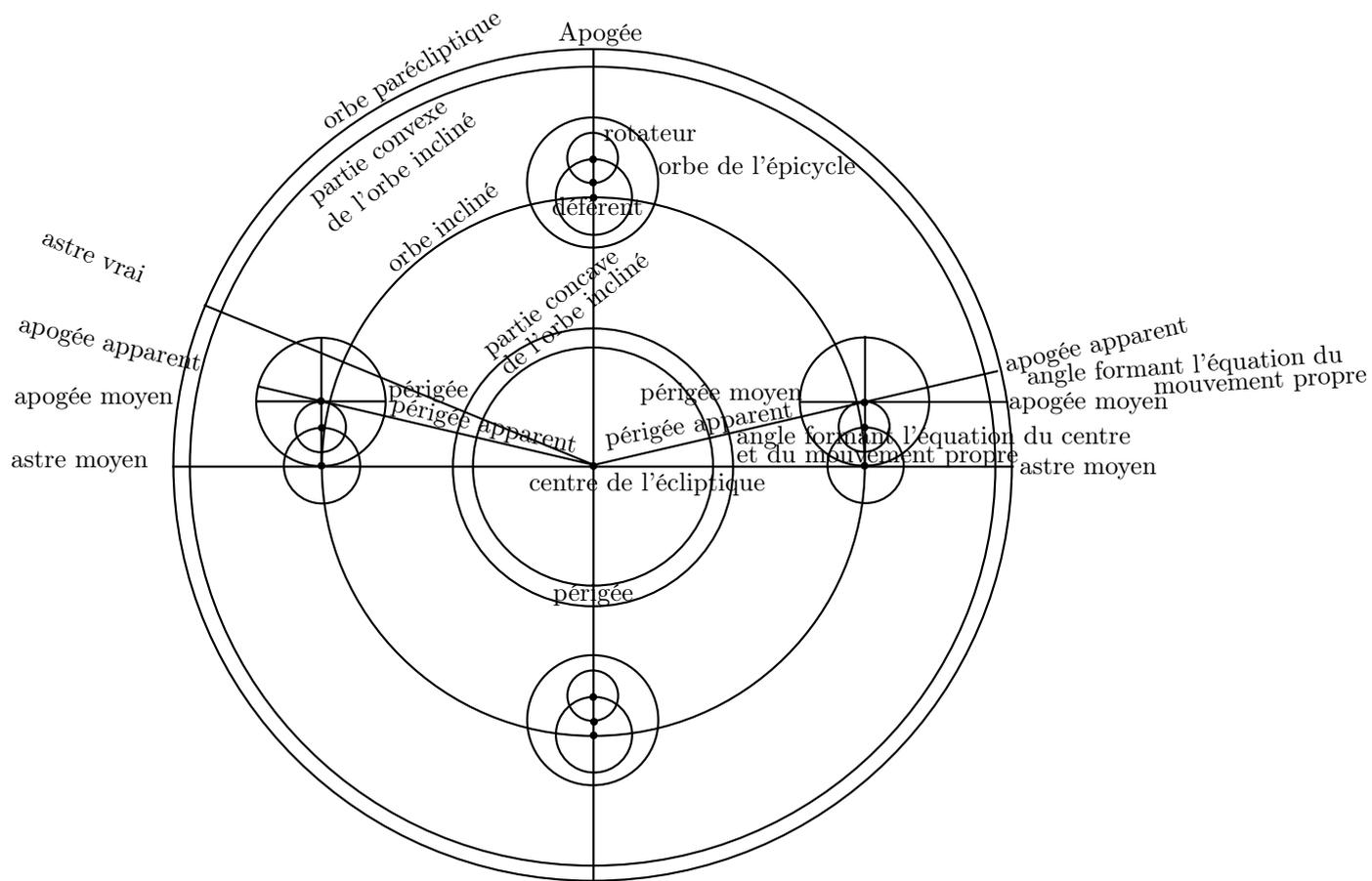
Sache que l'astre Saturne n'atteint ni le point de ses orbes le plus éloigné du centre du Monde, ni le point le plus proche. La distance maximale de Saturne est, en parts, soixante-neuf, deux tiers et un quart ; sa distance minimale est, en parts, cinquante et un demi-sixième ; mais pour compléter les orbes et en faire 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.

Sache cela, et fais de manière analogue pour les autres astres. Ce sont des modèles parfaits qui échappent aux doutes ; 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.

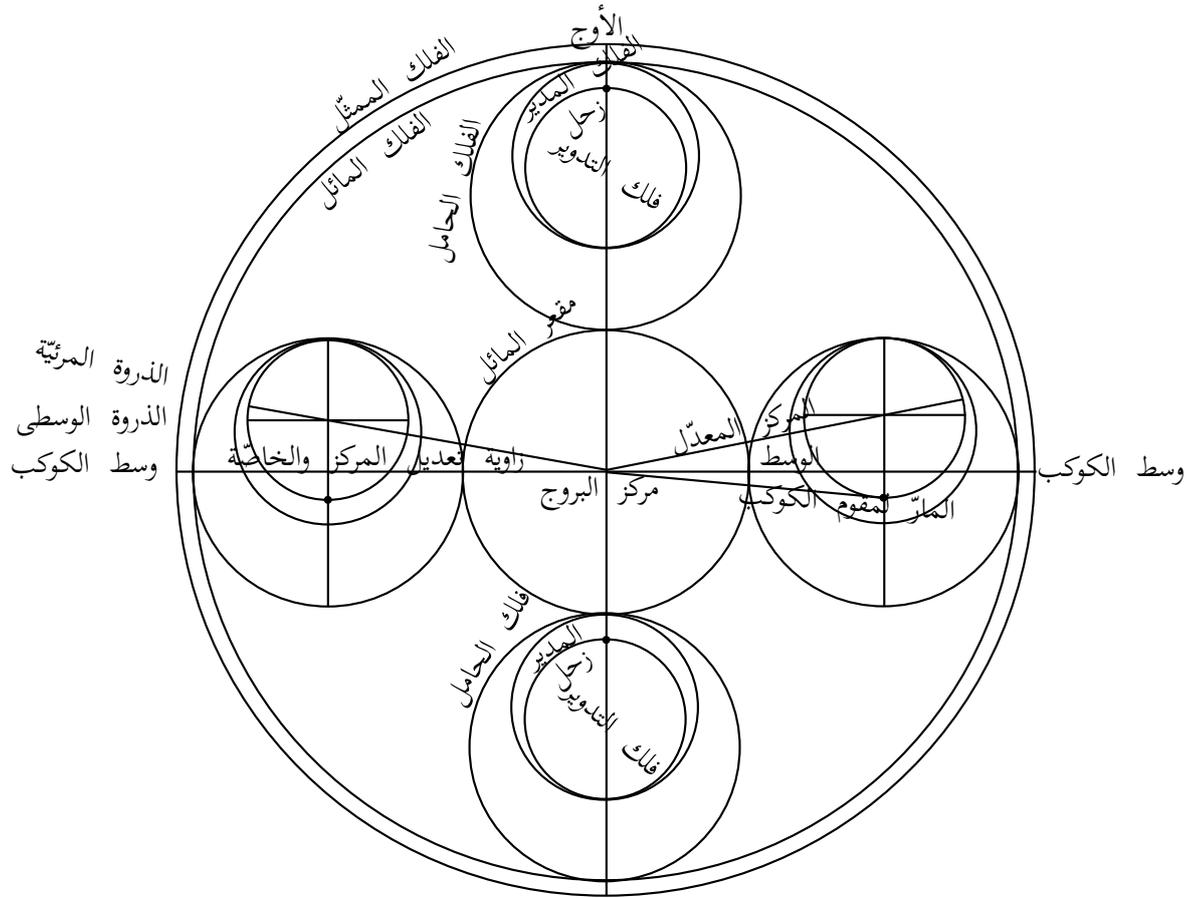
---

138. Quand il s'agit de l'orbe de l'épicycle, le mot *dirwa* désigne en général un point situé *dans la partie supérieure* de l'orbe, et non pas le point situé à l'apogée de l'orbe de l'épicycle *relativement au centre de l'orbe portant* cet orbe. On peut aussi penser qu'Ibn al-Šāṭir fait alors abstraction des orbes intermédiaires entre l'orbe déférent et l'orbe de l'épicycle, comme il semblera le faire quand il parlera parfois d'un "épicycle apparent". L'orbe qui porte le centre de l'épicycle apparent est bien l'orbe déférent. L'apogée de l'épicycle est alors le point situé dans la "partie supérieure" de l'orbe de l'épicycle : mais c'est le périégée de l'épicycle relativement au centre de l'orbe rotateur.

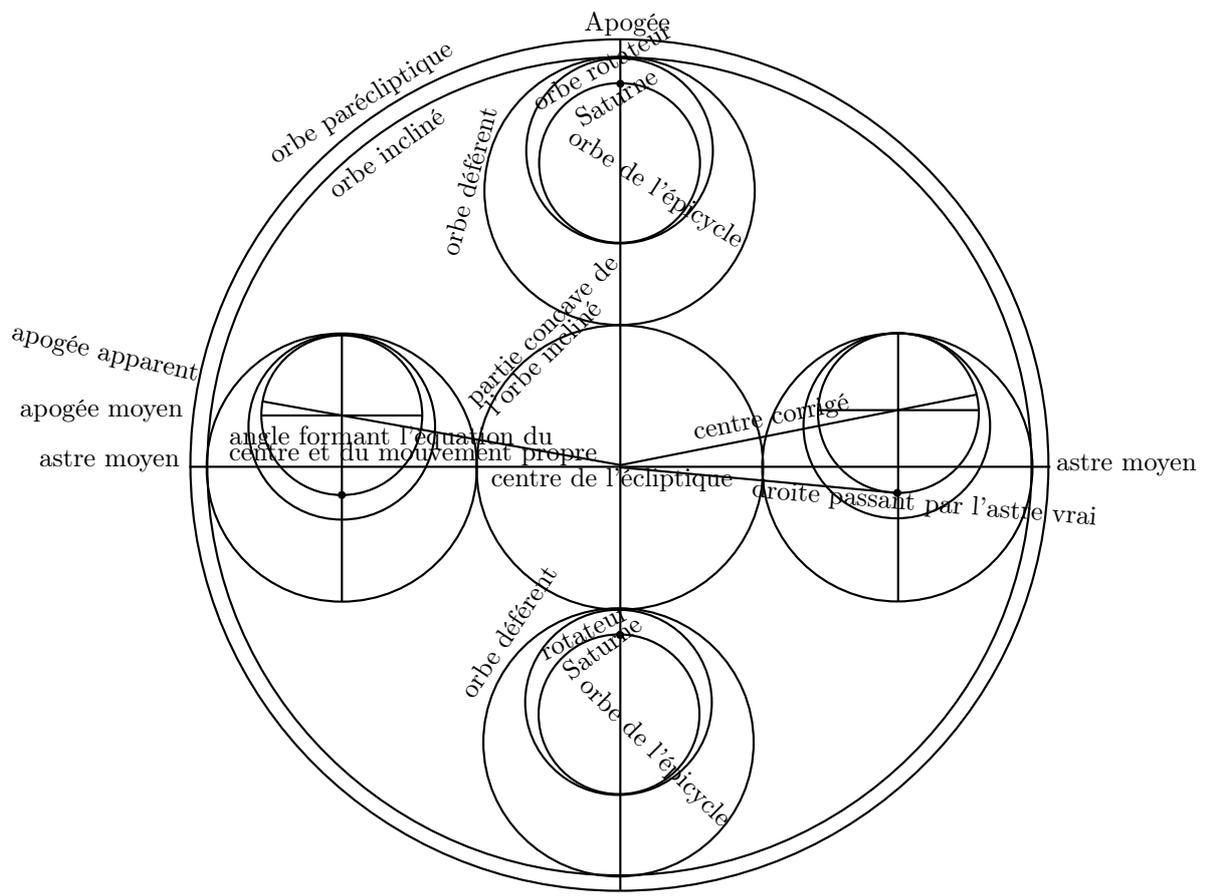




Les orbes de Saturne, représentées dans le plan par les ceintures trajectoires des centres des orbes solides ou par les surfaces de ces ceintures



صورة أفلاك زحل على أنها كرات تامّة على حسب ما يتصوّر على البسيط  
 في الأوج و الحضيض و في البعدين الأوسطين



Les orbes de Saturne : sphères entières représentées dans le plan à l'Apogée, au périégée et aux élongations intermédiaires

## الباب الثالث عشر في ضبط حركات زحل وتقييدها للتأريخ المتقدم

حررنا بالرصد أنّ وسط زحل، لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة إحدى وسبعمائة ليزدجرد، ه ر نـ ك، وأوجه في ذلك الوقت ح د ب. وحركة <sup>ظ ٢٤ ج</sup> الوسط في عشرين سنة فارسيّة ح د لـ ك؛ وحركته في سنة فارسيّة . ب بـ ج م، وفي ثلاثين يومًا . ا . ا . ح ط ه بـ ج ك، وحركة وسطه في يوم . . ب . لو ط نا مون نـ لـ ب، وفي ساعة . . . ه ا ل كـه. وحركة خاصّة كلّ كوكب هي فضل حركة وسط الشمس على حركة <sup>ظ ٢٦ د</sup> وسط ذلك الكوكب، وحركة مركزه هي فضل حركة وسطه على حركات الأوجات (ومقدارها في كلّ ستين سنة درجة)؛ فتكون حركة خاصّة في يوم . نـ زـ جـ لد كا نه ه، وحركة مركزه في يوم . ب . كو بر. والله أعلم.

<sup>٤</sup> ح د ب : ح د ب [د] . ا . ا . ح ط ه بـ ج ك : ا . ا . ح د لـ نـ ج [ج]  
<sup>٧</sup> . . ب . لو ط نا مون نـ لـ ب : . ب . لو ط نا مون [ج] <sup>٩</sup> وسط : ناقصة  
 [د، ج] <sup>١٠</sup> في : ناقصة [أ، د] <sup>١١</sup> . نـ زـ جـ لد كا نه ه : . نـ زـ جـ لـ ر كا نه ه [د]،  
 . نـ زـ جـ لد كا نه [ج]

## Chapitre treize

### La régulation des mouvements de Saturne et leurs conditions initiales à l'Époque

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 Apogée 8 signes et 14;52 degrés<sup>139</sup>. Le mouvement de Saturne moyen en vingt années persanes 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 (en degré).

Le mouvement propre de chaque astre 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 Apogées, dont la grandeur est d'un degré en soixante ans; donc le mouvement propre [de Saturne] est, par jour, 0;57,7,43,34,21,15,5, et le mouvement de son centre est, par jour, 0;2,0,26,17 (en degré). Dieu est le plus savant.

---

139. Pour Saturne et pour les autres planètes, Kennedy et Roberts ont retrouvé les valeurs des Apogées à cette date par un calcul de précession au moyen des valeurs indiquées dans le *Zīj* de Ibn al-Šāṭir pour une autre date; ceci confirme cette lecture (en particulier pour le chiffre 52) et explique aussi la coïncidence des rangs fractionnaires des Apogées des cinq planètes (voir [31] p. 232).

## الباب الرابع عشر في معرفة تقويم زحل

احسب وسطه وأوجه ووسط الشمس للتأريخ الذي تريد، ثم اسقط وسطه من وسط الشمس، تبقي خاصته، ثم اسقط الأوج من وسطه، يبقي مركزه. ثم ادخل بمركز زحل إلى جدول تعاديل زحل، وخذ به التعديل الأول. فإن كان مركز زحل أقل من ستّ بروج، فنقص التعديل من الوسط والمركز، وزده على الخاصة، وإن كان المركز أكثر من ستّ بروج فرد التعديل على الوسط والمركز ونقصه من الخاصة ويبقي الوسط المعدل والمركز المعدل والخاصة المعدلة. ثم ادخل بالمركز المعدل في جدول تعاديل زحل، وخذ به دقائق النسب، واعرف أهي زائدة أو ناقصة، واحفظها. ثم ادخل بالخاصة المعدلة إلى جدول تعديل زحل، وخذ بها التعديل الثالث والرابع إن كانت دقائق النسب زائدة - وإن كانت ناقصة فخذ الثاني والثالث. ثم 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. يبقي الثالث المحكم؛ فزده على الوسط المعدل إن كانت الخاصة المعدلة أكثر من ستّ بروج، وإن كانت الخاصة المعدلة أقل من ستّ بروج فنقصه من الوسط المعدل فما بلغ أو بقي فهو مقوم زحل من فلك البروج في التأريخ الذي حسبت له. فاعرف ذلك.

<sup>٣</sup> الذي تريد: المطلوب [ج]؛ الأوج: أوجه [ج] <sup>٧-٨</sup> وإن كان المركز أكثر... من الخاصة: ناقصة [أ، ج] <sup>٨</sup> ويبقي... المعدلة: ناقصة [أ] <sup>١٠</sup> أو: أم [ج] <sup>١٠-١٧</sup> وإن كانت... مقوم زحل: يحصل مقوم الكوكب [أ]، وإن كانت الخاصة المعدلة أقل من ستّ بروج فنقصه يحصل مقوم الكوكب [د]

## Chapitre quatorze

### Détermination de Saturne vrai

Calcule Saturne moyen, son Apogée, et le Soleil moyen à la date souhaitée, puis retranche Saturne moyen du Soleil moyen, il reste Saturne propre, puis retranche l'Apogée 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 au mouvement 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. 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 au mouvement 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] *principale* ; ajoute-la à l'astre moyen corrigé si le mouvement propre corrigé est supérieur à six signes, mais s'il est 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.<sup>140</sup>

---

140. Ibn al-Šāṭir explique ainsi comment calculer la « troisième équation principale », c'est-à-dire l'équation due au mouvement propre 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  $\lambda$ . Il dit de calculer  $C_3 + \lambda C_4$  ou bien  $C_3 - \lambda C_2$  suivant que  $\lambda$  est « additif » ou « soustractif ».

## الباب الخامس عشر في هيئة أفلاك المشتري المبتكرة

هيئة أفلاك المشتري على وضع هيئة أفلاك زحل المتقدمة، سوى وإنما تخالفها في مقادير الأفلاك والحركات.

نتوهم من أفلاك المشتري :

- ٥ - فلك في سطح فلك البروج وعلى قطبيه ومركزه، ويسمى الممثل،
  - ٥ - ونتوهم فلك ثانٍ، سطحه مائل عن سطح الممثل ميل ثابت، ومقدار ٢٥ ج هذا الميل جزء ونصف، وتقاطع الممثل على نقطتين متقابلتين تسمى إحداهما الرأس والأخرى الذنب،
  - ١٠ - ونتوهم فلك ثالث مركزه على محيط المائل ونصف قطره أربعة أجزاء وثمان جزء (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءاً)، ويسمى الحامل،
  - ١٠ - ونتوهم فلك رابع مركزه على محيط الحامل ونصف قطره جزءاً وإثنين وعشرين دقيقة ونصف دقيقة، ويسمى المدير،
  - ١٥ - ونتوهم فلك خامس مركزه على محيط المدير ونصف قطره أحد عشر جزءاً ونصف جزء (بتلك الأجزاء)، ويسمى فلك التدوير،
  - ١٥ - ونتوهم مركز جرم المشتري مركز على منطقة التدوير.
- ونفرض مراكز الحامل والمدير والتدوير والكوكب على الخط المستقيم الخارج من مركز الممثل إلى الأوج. ونفرض الممثل متحرك حركة بسيطة على قطبيه، إلى التوالي، مثل حركة الأوجات : وهي في اليوم بليلته . . . ط نب. وينتقل بهذه الحركة الرأس والذنب وغايتا الميل. ويتحرك الفلك المائل حركة بسيطة 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 أيضاً التي هي في اليوم بليلته . د نط و بد له. ويتحرك المدير، في أعلاه إلى التوالي، قدر ٢٣ ا ضعف حركة مركز المشتري : وهو في اليوم بليلته . ط نح ب كط ي.

٢ هيئة : اعلم ان هيئة [ج] ٣ وضع هيئة : هيئة وضع [ج] ٢ سوى : سوا [أ،د،ج] ٤ تخالفها في : يخالفها من [د،ج] ٥ نتوهم : يتوهم [د،ج] ١١ المائل : الممثل [ج] ١٢ ونصف دقيقة : ناقصة [ج] ١٤ أحد عشر : احدى عشر [أ] ١٦ ونتوهم : ويفرض [ج] ٢٢ اليوم : اليوم بليلته [ج]

## Chapitre quinze

### Configuration nouvelle des orbes de Jupiter

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.

Parmi les orbes de Jupiter, nous imaginons :

– un orbe dans le plan de l'écliptique, sur ses pôles et en son centre : on l'appelle *parécliptique*.

– 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*.

– un troisième orbe dont le centre soit sur le bord de l'orbe incliné et dont le rayon soit quatre parts et un huitième (en parts telles que le rayon de l'orbe incliné en compte soixante) ; on l'appelle *déférent*.

– un quatrième orbe dont le centre soit sur le bord du déférent et dont le rayon soit une part, vingt-deux minutes et demi. On l'appelle *rotateur*.

– un cinquième orbe dont le centre soit sur le bord du rotateur et dont le rayon soit onze parts et demi (en les mêmes parts). On l'appelle *orbe de l'épicycle*.

– le centre du corps de Jupiter est situé sur la ceinture de l'épicycle.

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'Apogée. Supposons que le parécliptique est mû d'un mouvement simple sur ses pôles, dans le sens des signes, comme le mouvement des Apogées : 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'Apogée : 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 de Jupiter : en un jour et une nuit, 0;9,58,12,29,10.

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

فإذا استمرت الأفلاك تتحرك بهذه الحركات إلى تلك الجهات، تؤكد للكوكب حركة مختلفة مركبة من بسائط.

و ٣٧ د

ظ ٢٥ ج

وأما الاصطلاحات والنتائج فعلى ما أوضحنا في هيئة أفلاك زحل.

ونصور هيئة أفلاك المشتري مقتصرين على الدوائر على حسب ما يقع على البسيط على ما صورنا بأفلاك زحل؛ ثم نصورها على أنها أكر مجسمة على ما توهمه في الفلك.

ونذكر مقاديرها وأبعادها. واعلم أن الخط الخارج من مركز العالم إلى مركز

الحامل يمر بوسط الكوكب. والخارج منه المار بمركز التدوير يمر من البروج

بمركز الكوكب المعدل، ويفصل من التدوير خاصة الكوكب المعدلة. والخط

الخارج من مركز العالم المار بالكوكب يمر من فلك البروج بمقوم الكوكب إن

لم يكن للكوكب عرض؛ فإن كان له عرض فالدوائر التي تمر بقطبي البروج

وأطراف الخطوط المذكورة تفصل من البروج الوسط والمركز والمقوم، على ما تقرّر.

وإذ تقدم ذلك، فاعلم أن أبعد بعد كوكب المشتري عن مركز العالم أربعة

وسبعين جزءاً وربع جزء، وأقرب قربه خمسة وأربعون جزءاً ونصف وربع جزء؛

وأبعد بعد مركز التدوير من مركز العالم سب مه، وأقرب قربه نر نه؛ إلا أن

المشتري لا يصل إلى أبعد بعد أفلاكه المجسمة، ولا أقرب قرّبها.

٤ الذي: التي [د،ج] ٦ تؤكد: تولد [د،ج] ١٠ على ما صورنا بأفلاك: على ما صورنا بالأفلاك [أ]، على صورنا أفلاك [د،ج] ١٣-١٤ يمر من البروج بمركز الكوكب المعدل: يمر من البروج المعدل [د]، يمر بمركز البروج [ج] ١٧ المذكورة: المركوزة [أ،د،ج]

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 propre de Jupiter sur le mouvement de son centre : en un jour et une nuit, 0; 49, 9, 57, 22, 24, 10. Ceci est le mouvement simple-composé, donc l'astre s'éloigne de l'apogée moyen, chaque jour, d'autant que le mouvement propre de Jupiter qui est 0; 54, 9, 3, 36, 59, 10 (comme nous l'avons expliqué à propos des orbes de Saturne).

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.

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.

Mentionnons à présent leurs grandeurs et distances. 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 est délimitée, dans l'épicycle, l'astre propre corrigé<sup>141</sup>. 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 établi.

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.

---

141. 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. Cf. fig. 26 p. 446.

على هذه، وأما أقدار هذه الأفلاك المجسّمة، فعلى ما أصف، نصف قطر  
كرة الحامل سبعة عشر جزءاً، ونصف قطر كرة المدير إثني عشر وإثنين وخمسين  
دقيقة ونصف دقيقة، ونصف قطر كرة التدوير إحدى عشر جزءاً ونصف جزء،  
ونصف قطر المائل سبعة وسبعين، ومحدبه يماسّ مقعر الممثل من أفلاكه،  
وسمك الممثل يمكن أن نفرض ما شئنا ونفرضه درجة. وأقرب قرب المائل ثلاثة  
وأربعون، وأقلّ من ذلك بمقدار نصف قطر كرة الكوكب مع اتّصال الفلك،  
كما قلنا، ونفرضه درجة.

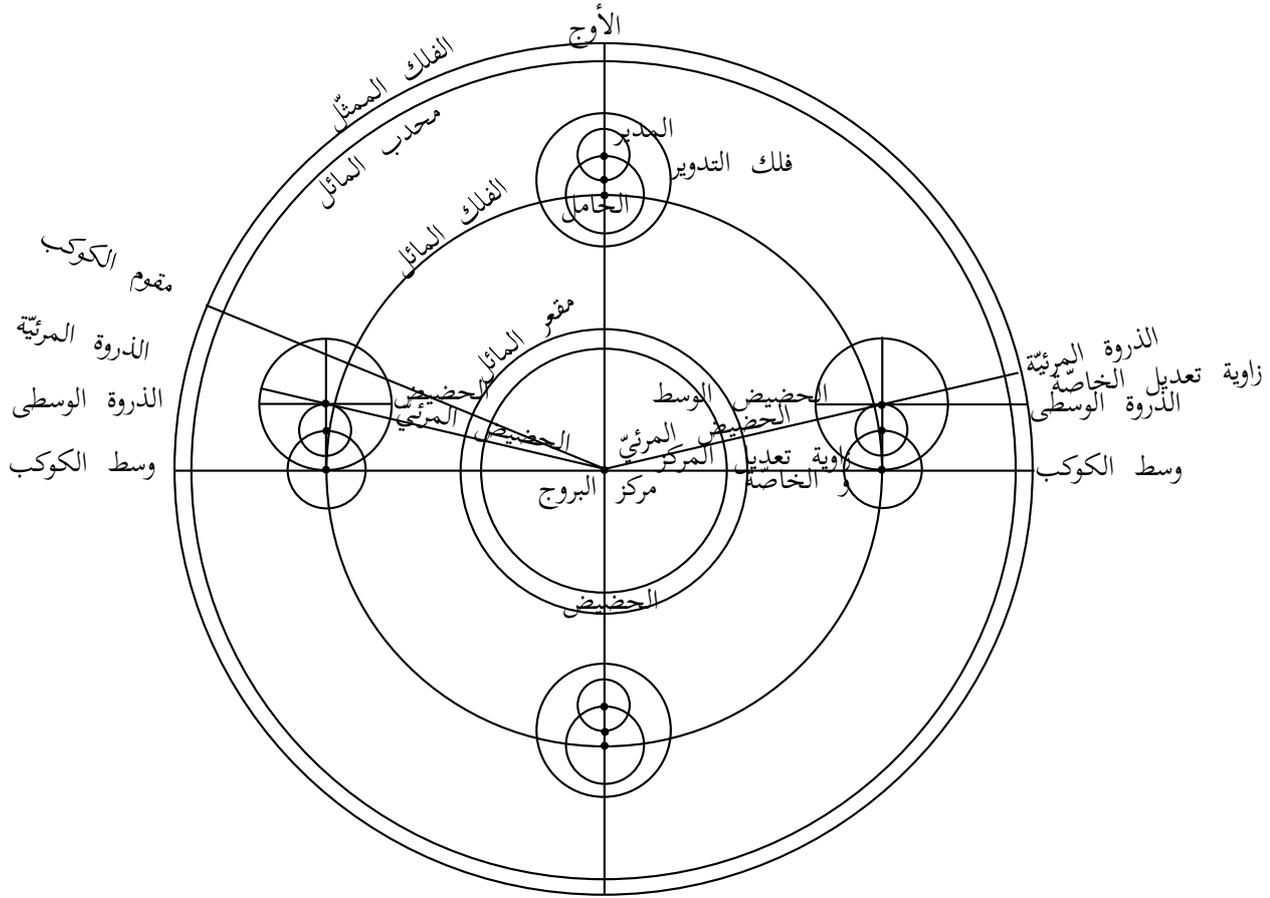
و ٣٨ د

٥

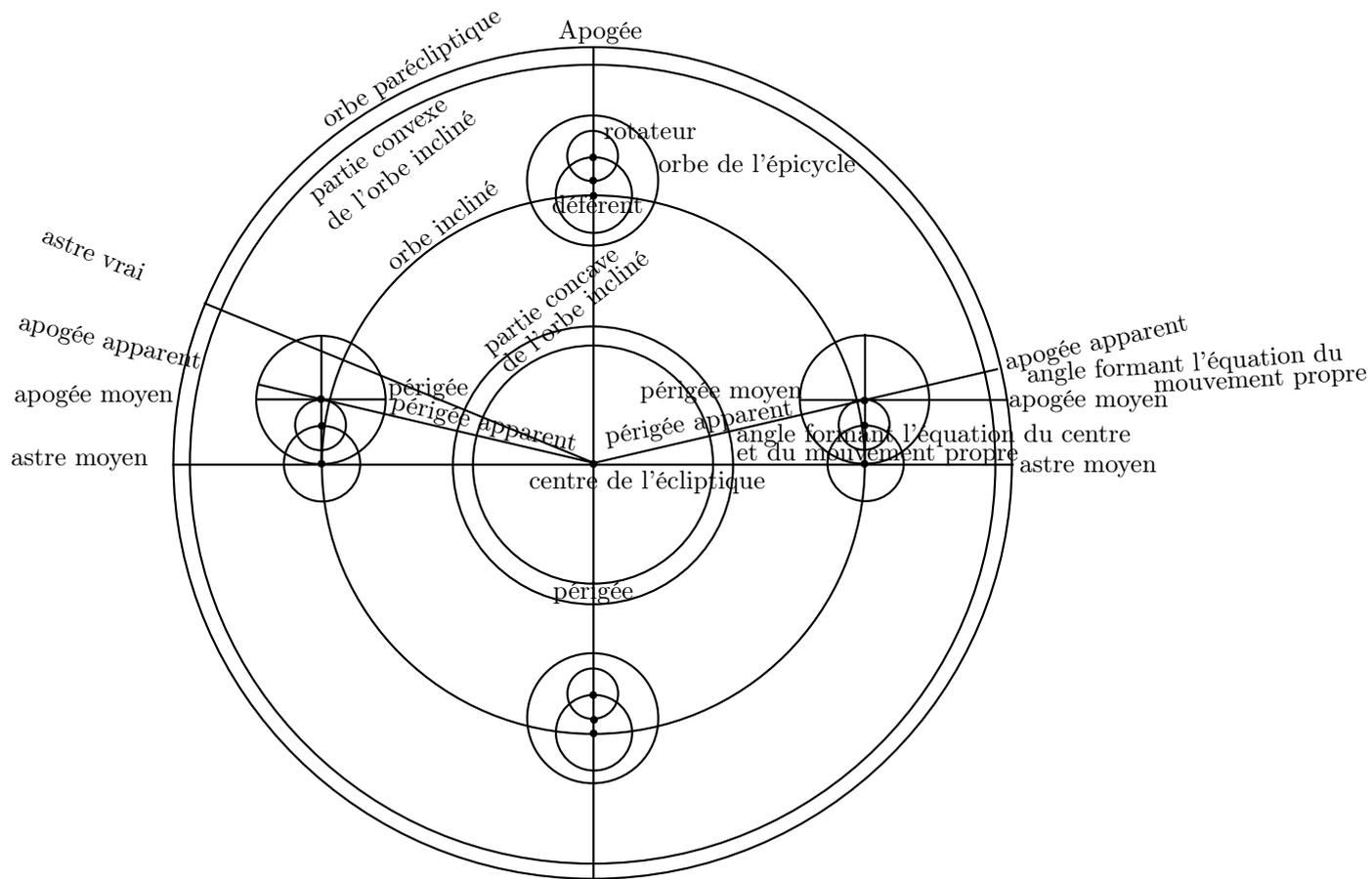
---

<sup>١</sup> نصف : فنصف [ج] <sup>٢</sup> إحدى عشر : اثنا عشر [د] <sup>٣</sup> درجة : درجة واحدة [ج]

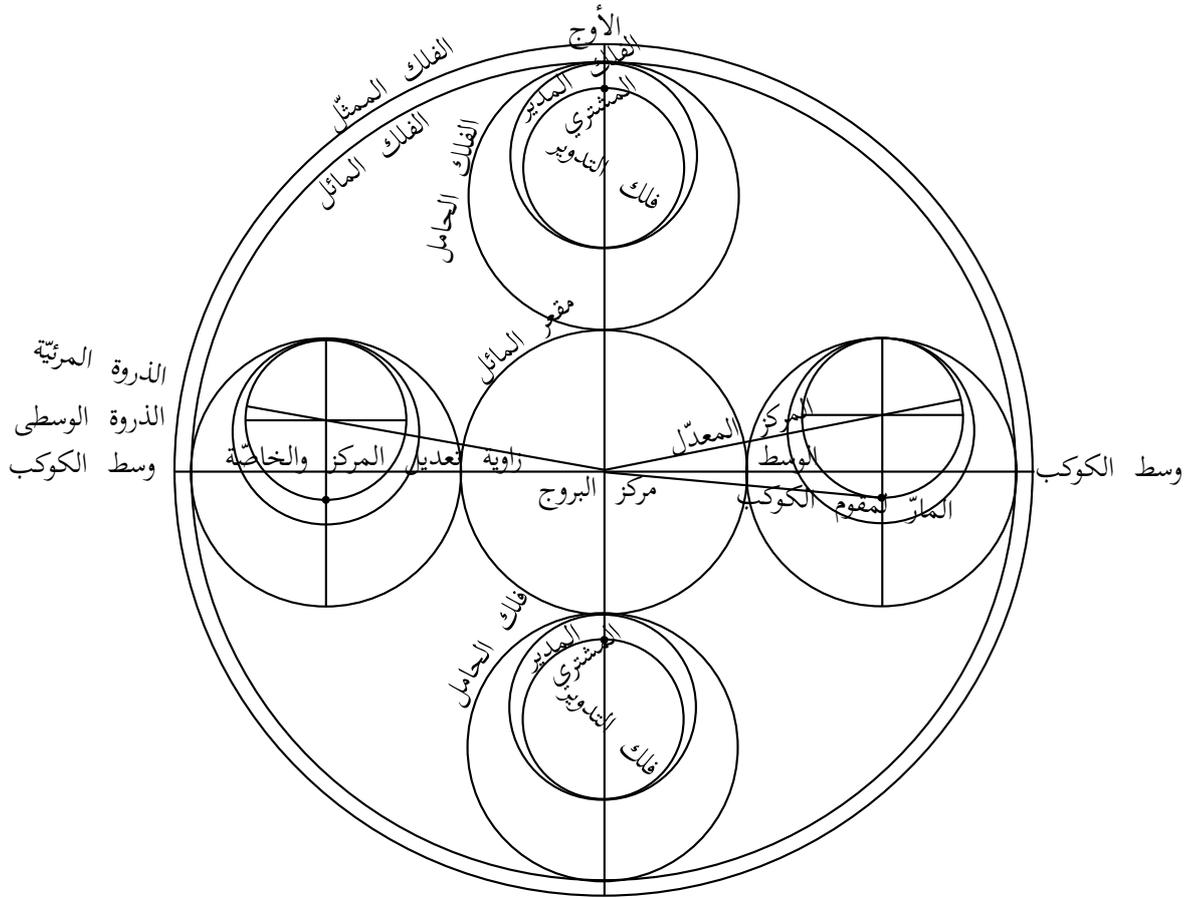
Quant aux grandeurs de ces orbes, je les décris comme suit. Le rayon de la sphère du déferent est dix-sept parts. Le rayon de la sphère du rotateur est douze parts et cinquante-deux minutes et demi. Le rayon de la sphère de l'épicycle est onze parts et demi. Le rayon de l'orbe incliné est soixante-dix-sept. 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.



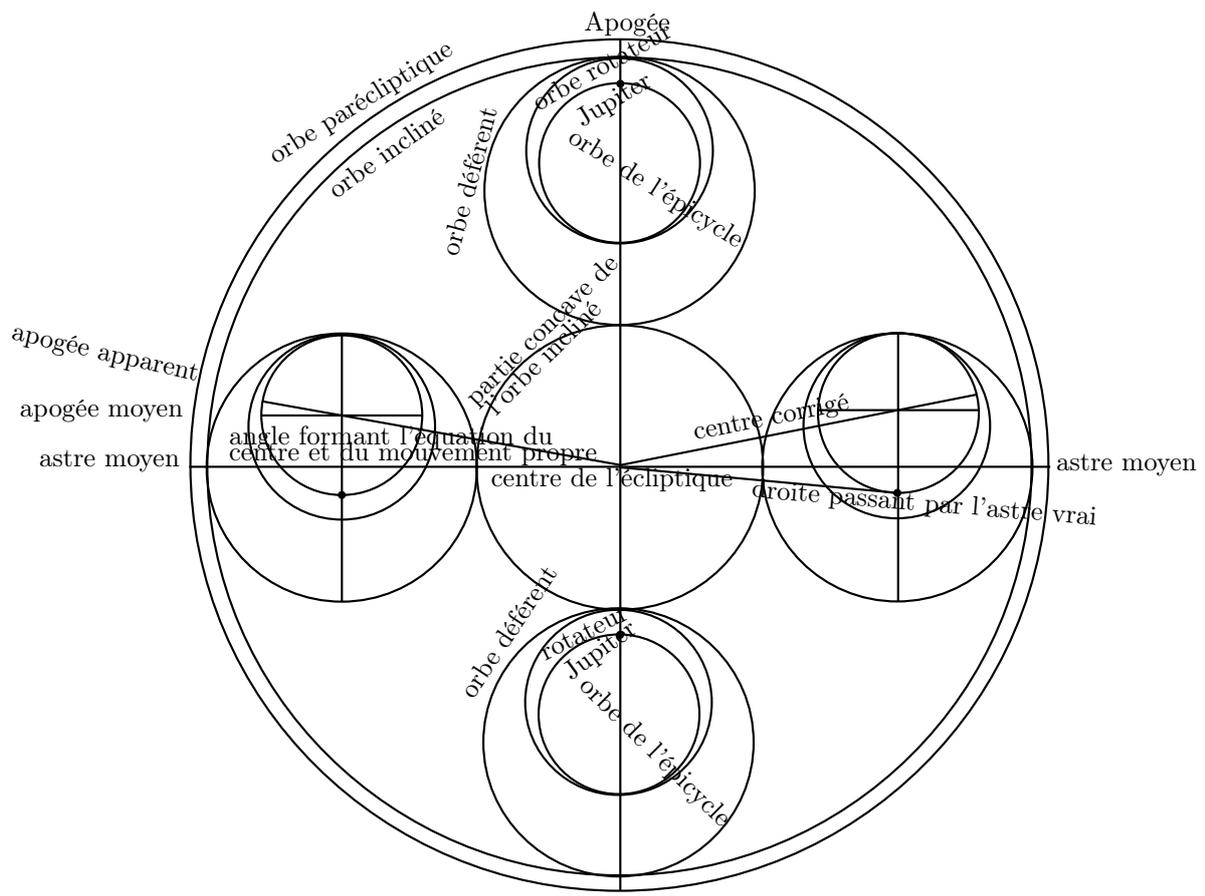
صورة أفلاك المشتري وهي مدارات مراكز الأكرّ المجسّمة على حسب ما يتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبعدين الأوسطين



Les orbes de Jupiter représentées par les trajectoires des centres des sphères solides à l'Apogée, au périgée, et aux elongations intermédiaires



هيئة أفلاك المشتري المجسّمة على أنّها كرات تامّة على حسب ما تشكل على البسيط في الأوج والحضيض والبعدين الأوسطين



Configurations des orbes solides de Jupiter à l'Apogée, au périégée et aux élongations intermédiaires

## الباب السادس عشر في ضبط حركات المشتري

وتقيدها، للتأريخ المذكور الذي هو نصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة أحد وسبعمائة ليزدجرد، أمّا وسطه ط ب و ي وأمّا أوجه و . نب. وحركة وسطه في عشرين سنة فارسيّة ح و نا .، وفي سنة ا . ك لج، وفي شهر فارسيّ . ب كط لح ج ر بو، وفي يوم . د نط بو و لد لب، وفي ساعة . . يب كح ي يو كو ك.

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. وتقويم المشتري على طريق تقويم زحل.

---

<sup>3</sup> نصف نهار يوم: نهار [ج] . .<sup>4</sup> يب كح ي يو كو ك: . . . ب لح ي بو لو ك  
[أ،د]، غير مقروء [ج]

## Chapitre seize

### Régulation des mouvements de Jupiter

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 Apogée. 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 Apogées est d'un degré en soixante ans.

Le mouvement du centre est l'excédent du mouvement de l'astre moyen sur [le mouvement des] Apogées. Le mouvement 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.

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

## الباب السابع عشر

في هيئة أفلاك المريخ على وصفنا ونبدأ بالدوائر التي هي مدارات  
مراكز الأكر المجسمة

- ٥ - فنتوهم فلکاً ممثلاً لفلک البروج على قطبيه وفي سطحه.  
- ونتوهم فلکاً ثانياً سطحه مائل عن سطح الممثل جزئاً واحداً مقاطع له  
على نقطتين متقابلتين تسمى إحداهما الرأس والأخرى الذنب.  
١٠ - ونتوهم فلکاً ثالثاً مركزه على محيط المائل ونصف قطره تسعة أجزاء <sup>ط</sup> ٢٤ أ  
(بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستين جزئاً)؛ ويسمى الحامل.  
- ونتوهم فلکاً رابعاً مركزه على محيط الحامل ونصف قطره ثلاثة أجزاء؛  
ويسمى المدير.  
١٠ - ونتوهم فلکاً خامساً مركزه على محيط المدير ونصف قطره تسعة وثلاثون <sup>ج</sup> و  
جزئاً ونصف جزء (بتلك الأجزاء)؛ ويسمى فلک التدوير.  
- ومركز الكوكب على محيط فلک التدوير.  
ونفرض مركز الحامل والمدير والتدوير في الأوج، أعني على الخط الخارج  
١٥ من مركز العالم إلى الأوج. ونفرض الممثل متحرك 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،  
٢٠ 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.

٢ وصفنا : وضعنا [د، ج] <sup>٨</sup> المائل : الممثل [ج] <sup>١٢</sup> يسمى : يسما [أ] <sup>١٣</sup> فلک : ناقصة [ج]  
<sup>١٧</sup> الفلك : الفلك الفلك [أ] <sup>٢٠</sup> ضعف : فضل ضعف [أ]

## Chapitre dix-sept

La configuration des orbes de Mars d'après notre description, avec une notice sur les cercles trajectoires des centres des sphères solides

Nous imaginons :

- un orbe parécliptique représentant l'écliptique, sur ses pôles et dans son plan.
- 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.
- un troisième orbe dont le centre est sur le bord 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 déférent.
- un quatrième orbe dont le centre est sur le bord du déférent et dont le rayon est trois parts ; on l'appelle rotateur.
- 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.

Supposons que les centres du déférent, du rotateur et de l'épicycle sont à l'Apogée, c'est-à-dire sur la droite issue du centre du Monde dans la direction de l'Apogée. 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 Apogées : 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 déférent 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 son mouvement propre.

فيظهر أنّ فلك التدوير متحرّكًا إلى التوالي في أعلاه بقدر حركة خاصّة المريخ، التي هي في اليوم . كز ما ن؛ لأنّه يدور بحركة المدير وبحركته، هو حول مركزه في اليوم بليته . ج مد م، فيبقى هذا المقدار ناقصًا من حركة مركزه في يوم (وهو . لا كو كط مه)؛ فيبقى . كز ما ن وهي حركة الكوكب المريّ بالتدوير، إلى التوالي، وهي مثل حركة خاصّة المريخ، أعني فضل حركة وسط الشمس على حركة وسطه. وهي الحركة البسيطة المركّبة المتقدّم ذكرها. ويظهر في المثال؛ فإذا فرضنا مراكز الحامل والمدير والتدوير على الخطّ الخارج من مركز البروج إلى الأوج، وتحرك كلّ فلك حركة بسيطة حول مركزه بمقدار ما فرضنا له من الحركة والجهة. تولد للكوكب حركة مختلفة، وجرت له رجوع إلى غير (ذلك من ما وجد له بالرصد). وهي المختلفة المركّبة من بسائط على ما أوضحنا في غير موضع.

وهذه صورة أفلاك المريخ، على أنّها مدارات مراكز الأكر المجسّمة على ما يتصوّر على البسيط ويسهل توهمها. وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنّ أبعد بعد مركز تدوير المريخ من مركز العالم ستّة وستون جزئًا، وأقرب قرب مركز التدوير من مركز العالم أربعة وخمسون جزئًا. وأبعد بعد كوكب المريخ من مركز العالم مائة جزء وخمسة أجزاء ونصف جزء، وأقرب قرينه أربعة عشر جزئًا ونصف جزء (الجميع بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزئًا).

<sup>٢</sup> اليوم: اليوم بليته [ج] <sup>٣</sup> مركزه: مركز العالم [ج] <sup>٦</sup> المتقدّم: المقدم [ج] <sup>٨</sup> إلى: ناقصة [ج] <sup>٩-١٠</sup> وجرت له: وحدث له [ج] <sup>١٠</sup> من ما: ممّا [د،ج] <sup>١١</sup> غير موضع: غير هذا الموضع [ج] <sup>١٢</sup> على: على حسب [ج] <sup>١٣</sup> ويسهل توهمها: في الحضيض والأوج والبعدين الأوسطين وقد تقدم انصاف اقطارها واوضاعها على ما تقدم في زحل وغيره مشروحًا فلا حاجة الى إعادة ذلك والله اعلم [ج] <sup>١٤</sup> مركز تدوير المريخ: المريخ اي مركز تدويره [ج]

Ainsi l'orbe de l'épicycle semble se mouvoir dans le sens des signes dans sa partie supérieure d'autant que le mouvement propre de Mars, 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 propre de Mars, c'est-à-dire l'excédent du mouvement du Soleil moyen sur le mouvement de l'astre moyen. C'est le mouvement simple-composé déjà mentionné.<sup>142</sup>

Voyons un exemple; supposons donc que les centres du déférent, du rotateur et de l'épicycle sont sur la droite issue du centre du Monde dans la direction de l'Apogée, 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 (l'observation en rend compte). C'est le mouvement irrégulier composé de mouvements simples comme on l'a expliqué ailleurs.

Voyez la figure des orbites de Mars où les trajectoires des centres des sphères solides sont projetées dans le plan pour qu'on se les représente facilement.

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).

---

142. Il y a une petite incohérence dans la valeur du mouvement propre, au niveau du troisième rang après la virgule : 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 Apogées est environ 0; 0, 0, 10).

وإن كوكب المريخ لا يصل إلى أبعد بعد أفلاكه، ولا إلى أقرب قربها؛ لأن نصف قطر كرة الحامل أحد وخمسون جزءاً ونصف، ونصف قطر كرة المدير إثنين وأربعون جزءاً ونصف، ونصف قطر كرة التدوير تسعة وثلاثون جزءاً ونصف جزءاً، فيكون أبعد بعد المائل (وهو نصف قطره) مائة وأحد عشر درجة ونصف، وسمك الممثل فوق ذلك، ونفرضه ثلاثين دقيقة، فيبقي أبعد البعد مائة جزءاً وإثنا عشر جزءاً، وأقرب قرب ثمانية أجزاء وثلاثون دقيقة، مع اتصال الفلك، ونفرضه ثلاثين دقيقة، فتبقي الثمانية. فيكون أقرب قرب أفلاك المريخ ثمانية، وأبعد بعدها مائة وإثنا عشر جزءاً. وعلى ذلك اعتمدنا.

وهذه صورة أفلاك المريخ المجسمة على ما يتوهم في الفلك؛ وهي كرات تامة وتقدم انصاف اقطارها وأوضاعها على ما تقدم مشروحاً في زحل وغيره، فلا حاجة إلى إعادة ذلك.

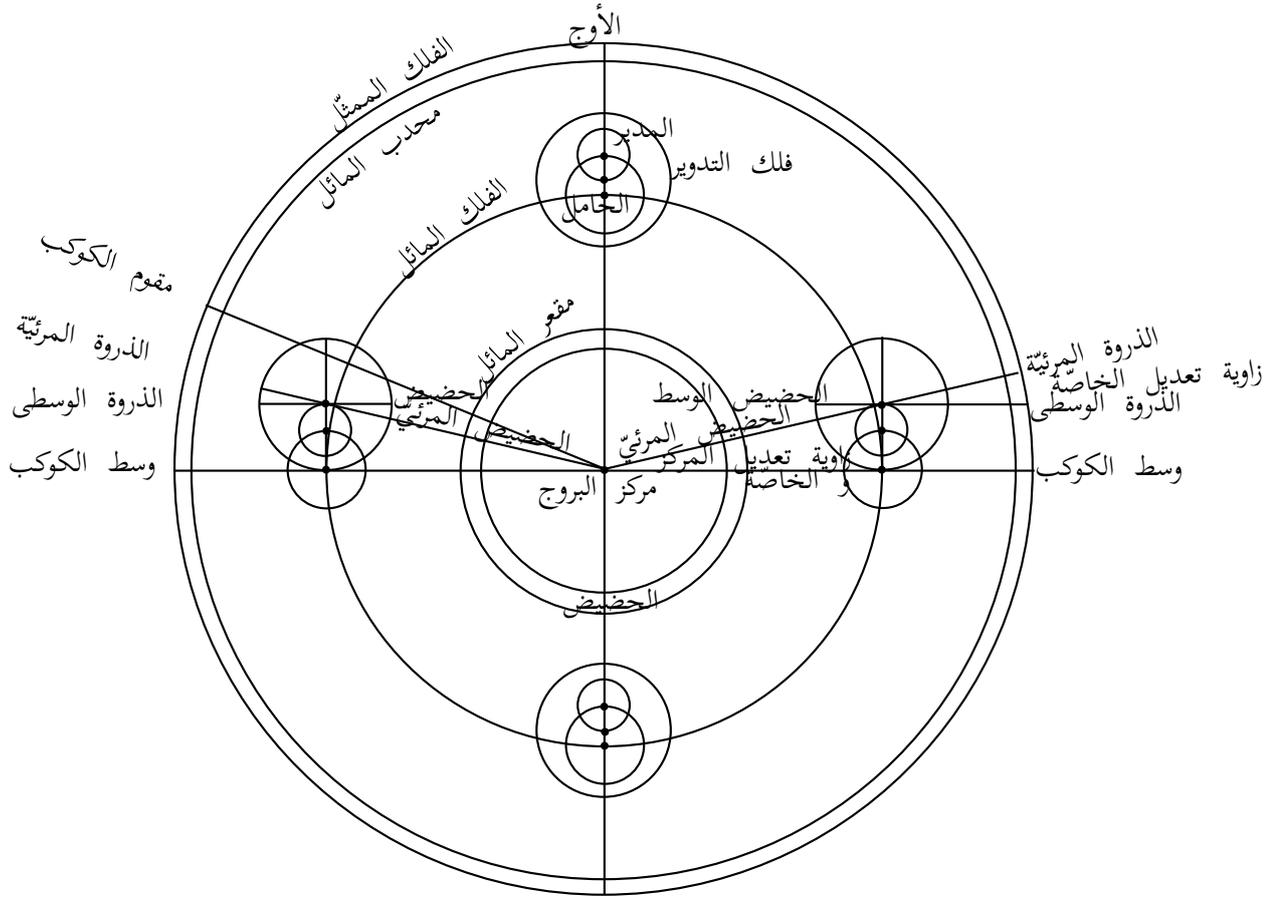
و ٢٦ أ  
و ٣٩ د

١٠

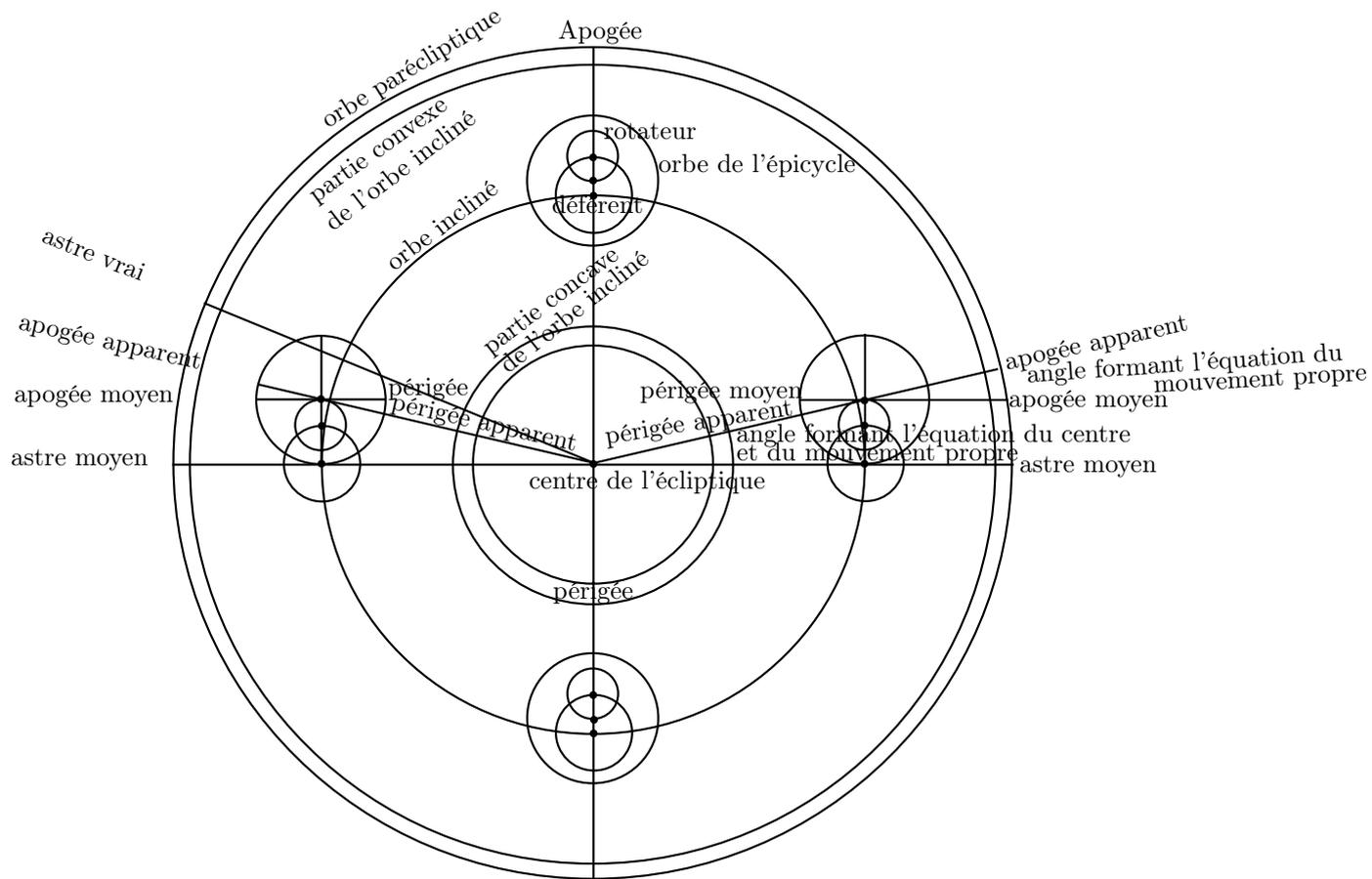
<sup>٢</sup> ونصف : ناقصة [د، ج]

Cependant l'astre Mars n'atteint pas la distance maximale de ses orbes, ni leur distance minimale; car le rayon du déferent 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.

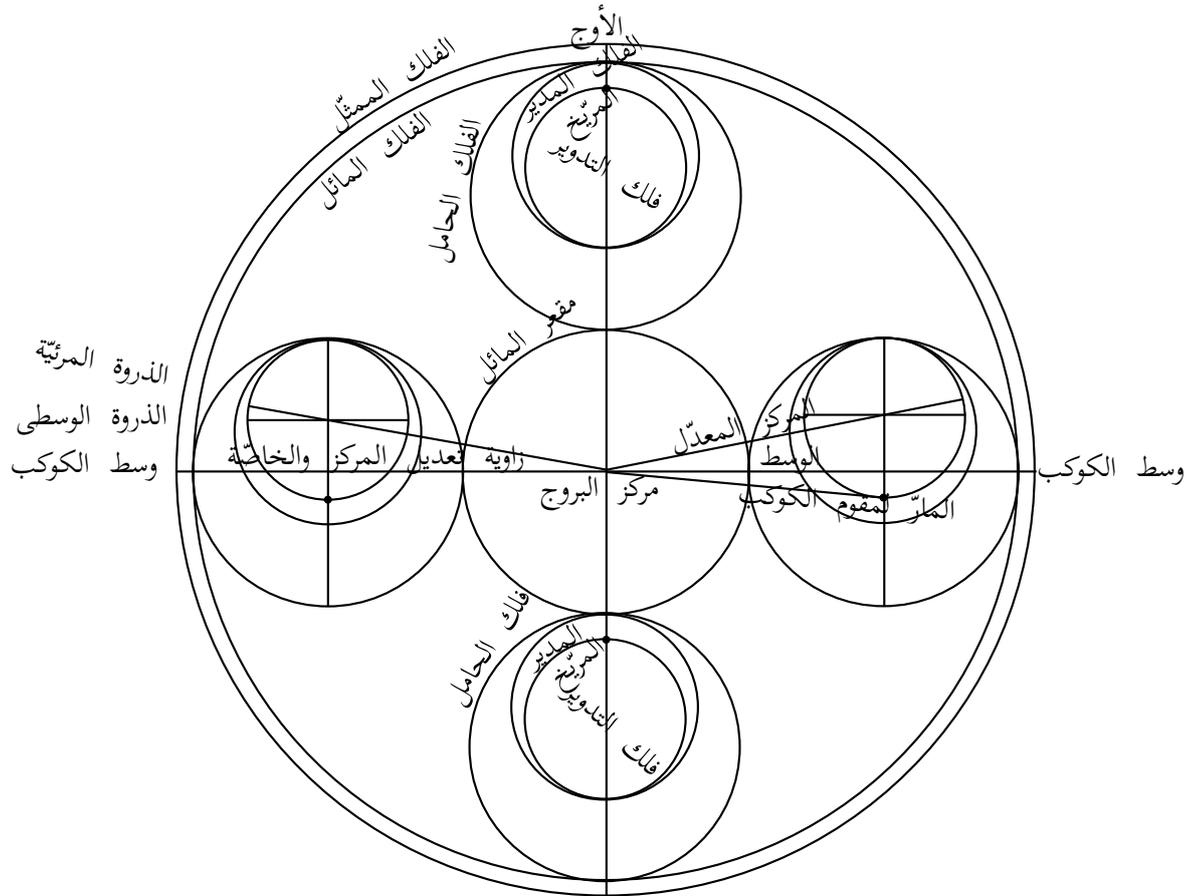
Voyez la figure des orbes solides de Mars tels qu'on les imagine dans les cieux; ce sont des sphères entières dont on a présenté les rayons et les positions comme on l'a fait en l'expliquant pour Saturne et les autres, donc il n'est pas besoin de répéter cela.



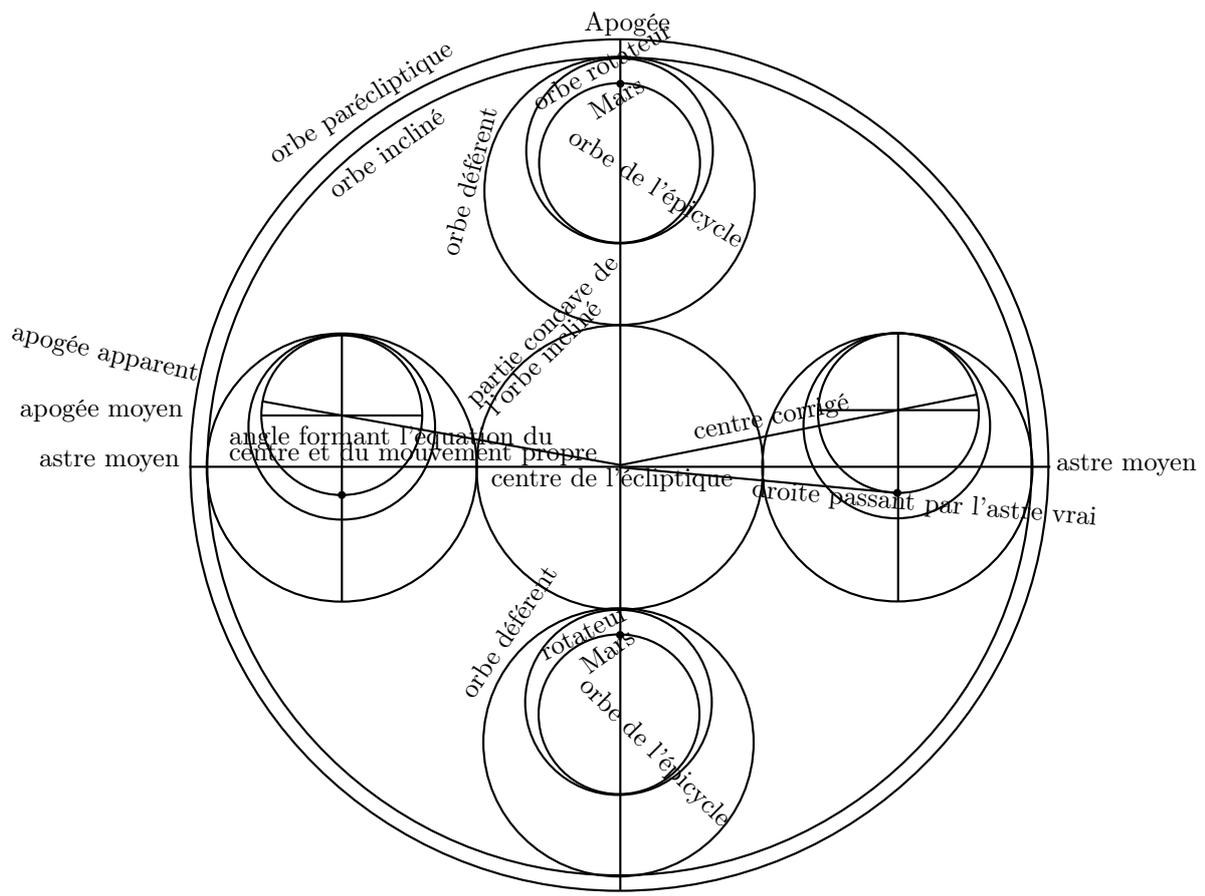
هيئة أفلاك المريخ وهي مدارات مراكز الأكر المجسمة على ما يتصور في البسيط في الأوج والحضيض والبعدين الأوسطين



Configuration des orbes de Mars représentées dans le plan par les trajectoires des centres des sphères solides à l'Apogée, au périgée et aux élongations intermédiaires



هيئة أفلاك المريخ المجسمة وهي كرات تامّة على ما يتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبعدين الأوسطين



Configuration des orbites de Mars : sphères entières représentées dans le plan à l'Apogée, au périgée et aux élongations intermédiaires

## الباب الثامن عشر في ضبط حركات المريخ

وتقييدها لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة إحدى وسبع مائة ليزدجرد لدمشق، أما  
وسط المريخ ط ك ب . . ، وأوجه د ر ب . . وحركة وسطه في عشرين  
سنة فارسيّة ر نه مج م؛ وفي سنة فارسيّة، و نا ر نا . .؛ وفي ثلاثين يوماً،  
. نه مج بط مج كط لط؛ وفي يوم بليته . . لا كو لط لو نط بح؛  
وفي ساعة . . ا ح لو لط. وحركة الأوجات في كلّ ستين سنة درجة،  
وهي في السنة دقيقة واحدة، وفي اليوم . . . ط نب. وحركة خاصّة المريخ  
بقدر فضل حركة وسط الشمس على وسطه، وهي في اليوم . . كر ما م ر.  
وتقويم المريخ على نحو تقويم زحل.

<sup>٣</sup> تقييدها : غير مقروء [أ]، بعدها [ج] <sup>٢</sup> يوم : ناقصة [ج] <sup>٣</sup> أول : ناقصة [د]  
<sup>٤</sup> وسط المريخ : وسطه [ج] <sup>٦</sup> . نه مج بط مج كط لط : . نه مج بط مج ط لط  
[د] <sup>٦</sup> . لا كو لط لو نط بح : . لا كو لط لو [ج] <sup>٩</sup> اليوم : اليوم بليته [ج]  
<sup>٩</sup> . . كر ما م ر : . . كر ما م ر [أ،د]

## Chapitre dix-huit

### La régulation des mouvements de Mars

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 Apogée 4 [signes] et 17;52,0 [degrés]. Le mouvement de Mars moyen en vingt années persanes est 8 [signes] et 15;43,20 [degrés]<sup>143</sup>; 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. 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 propre de Mars 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.

---

143. modulo 360°.

## الباب التاسع عشر

في هيئة أفلاك الزهرة على وضعنا ونبد بالدوائر التي هي مدارات الأكر المجسمة

فنتوهم :

- ٥ - فلکًا ممثلاً بفلک البروج، في سطحه وعلى قطبيه.
  - ونتوهم فلکًا ثانيًا، على مركز البروج، وسطحه مائل عن سطح الممثل سدس جزء ثابت الميل (على أصح القولين)، ومقاطع له على نقطتين متقابلتين تسمى إحداهما الرأس والأخرى الذنب.
  - ١٠ - ونتوهم فلکًا ثالثًا مركزه على محيط المائل، ونصف قطره جزءًا وإحدى وأربعين دقيقة (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءًا)؛ ويسمى الحامل.
  - ونتوهم فلکًا رابعًا مركزه على محيط الحامل ونصف قطره ستة وعشرون دقيقة؛ ويسمى المدير.
  - ونتوهم فلکًا خامسًا مركزه على محيط المدير ونصف قطره، على رصدنا، ثلاثة وأربعون جزءًا وثلاثة وثلاثون دقيقة (بالأجزاء المذكورة)؛ ويسمى فلك التدوير.
  - ١٥ - ومركز الكوكب، على محيط هذا الفلك، لازم لنقطة منه.
- ظ ٢٨ ج
- ونفرض مراكز الحامل والمدير والتدوير على الخط الخارج من مركز المائل إلى الأوج. ونفرض الممثل متحرك على قطبيه إلى التوالي مثل حركة الأوجات : وهي في اليوم بليته . . . ط نب. فينتقل بهذه الحركة الرأس والذنب وغايتا الميل. ويتحرك المائل إلى التوالي، مثل حركة مركز الزهرة التي هي مثل حركة ٢٦ أ
- مركز الشمس : وهو في اليوم بليته . نط ح ط. ويتحرك الحامل إلى خلاف التوالي، بمقدار حركة مركز الزهرة؛ ويتحرك المدير إلى التوالي، بمقدار ضعف حركة مركز الزهرة : وهو في اليوم بليته ا نح بو ح.

٢ ونبد: ونبدًا [د،د] ٧ ثابت الميل: وثابت الميل [د]، وثابت الممثل [ج] ٧ ومقاطع: ويقاطع [د،ج] ١٧ مراكز: مركز [د] ٢٢ بمقدار: بقدر [د،ج] ٢٢ حركة مركز... بمقدار: ناقصة [أ،د،ج]

## Chapitre dix-neuf

La configuration des orbes de Vénus selon notre méthode, avec  
une notice sur les cercles trajectoires des sphères solides

Nous imaginons :

- un orbe parécliptique représentant l'écliptique, dans son plan et sur ses pôles
- 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
- 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
- un quatrième orbe dont le centre est sur le bord du déférent et dont le rayon est vingt-six minutes ; on l'appelle rotateur
- 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, attaché en un de ses points

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'Apogée. Supposons le parécliptique mû sur ses pôles, dans le sens des signes, comme le mouvement des Apogées : 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 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.

ويتحرك فلك التدوير حركة بسيطة حول مركزه، في أعلاه إلى خلاف التوالي، بقدر فضل حركة مركز الزهرة على خاصتها : وهو في اليوم بليته . ك ب ح ما كه ل ج نج . فيظهر له تصير إلى التوالي بقدر حركة خاصة الزهرة التي هي في اليوم بليته . لو نط كح كو . لأننا، إذا فرضنا التدوير ثابت، وتحرك المائل والحامل والمدير : انتقلت الذروة إلى التوالي، بقدر حركة المركز. فيفرض له حركة أخرى، إلى خلاف التوالي، بقدر حركة المركز، فترد الذروة مكانها؛ ثم إنه وجد بالرصد متحرك، عن الذروة، إلى التوالي، بقدر حركة الخاصة. فقد تبين أننا، إذا فرضنا التدوير متحركاً خلاف التوالي، بقدر فضل حركة المركز على حركة الخاصة، بقيت الذروة مقصورة بقدر حركة الخاصة : <sup>د ٣٩</sup> وهذه هي الحركة البسيطة المركبة وقد تقدم بيانها.

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. وإذا تقدم ذلك، فاعلم أن أبعد بعد مركز تدوير الزهرة من مركز العالم أحد وستون جزءاً وربع جزء، وأقرب قربه ثمانية وخمسون جزءاً ونصف وربع جزء. وأبعد بعد الزهرة من مركز العالم مائة جزء وأربعة أجزاء وثمانية وأربعون دقيقة، وأقرب قربه خمسة عشر جزءاً وخمس جزء (والجميع بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءاً). إلا أن كوكب الزهرة لا يصل إلى أقرب قرب أفلاكها، ولا إلى أبعد بعد أفلاكها، لأن نصف قطر كرة الحامل خمسة وأربعون جزءاً وثلاثاً جزء (ونصف قطر المدير ثلاثة وأربعون جزءاً وتسعة وخمسون دقيقة)، فيكون أبعد بعد الفلك المائل، للزهرة، مائة جزء وخمسة أجزاء وثلاثاً جزء وفوقه <sup>ج ٢٩</sup> وسمك الممثل ونفرضه ثلث جزء، وأقرب قرب الممثل أربعة عشر جزءاً وثلاث جزء ويجب أن ينقص بقدر اتصال الفلك وليكن ذلك بالفرض ثلث جزء : فظهر أن أقرب قرب أفلاك الزهرة أربعة عشر جزءاً، وأبعد بعد أفلاكها مائة وستة <sup>و ٢٧</sup> أجزاء (ويمكن أن يكون أكثر من ذلك ولا يمكن أن يكون أقل).

<sup>٣</sup> . ك ب ح ما كه ل ج نج : كه ل ج نج في هامش [أ] <sup>٣</sup> له : ناقصة [د] <sup>٣</sup> تصير : تقصيرا [د،ج] <sup>٣</sup> حركة : في الهامش [أ] <sup>٤</sup> . لو نط كح كو . لأننا : لو نط ل ج نج د سو لأن [أ،د] <sup>١٤</sup> وإذ : وإذا [ج] <sup>١٥-١٦</sup> ثمانية وخمسون جزءاً ونصف وربع جزء : نج ل به [ج] <sup>١٧-١٦</sup> وثمانية وأربعون... خمسة عشر جزءاً : ناقصة [أ،د،ج] <sup>١٨</sup> كوكب : ناقصة [ج] <sup>١٨</sup> يصل : تصل [د،ج] <sup>١٨</sup> أقرب قرب : أقرب [أ]

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 son mouvement 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 propre de Vénus 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 déférent 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 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 propre, alors l'apogée reste en arrière d'autant que le mouvement propre : c'est le mouvement simple composé déjà démontré.

Ayant supposé les centres du déférent, du rotateur et de l'épicycle alignés sur la droite issue du centre de l'écliptique dans la direction de l'Apogée, si les orbes 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.

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. En fait, l'astre de Vénus n'atteint ni la distance minimale de ses orbes, ni leur distance maximale, car le rayon de la sphère du déférent 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 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).

## تنبيه

إذا كان المرصود أنصاف أقطار المدارات مراكز الأكر (وهي الدوائر المتوهمة على البسيط)، وأردت حساب أنصاف أقطار الأكر المجسمة 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 محدب المائل وفوقه سمك الممثل؛ وإذا نقصناه من ستين، ونقصنا مما يبقى اتصال الفلك، حصل نصف قطر المائل.

وهذه صفة أفلاك الزهرة على أنها مدارات مراكز الأكر وأفلاك الزهرة المجسمة على حسب ما يقع على البسيط وهي مناطق الكرات التامات.

---

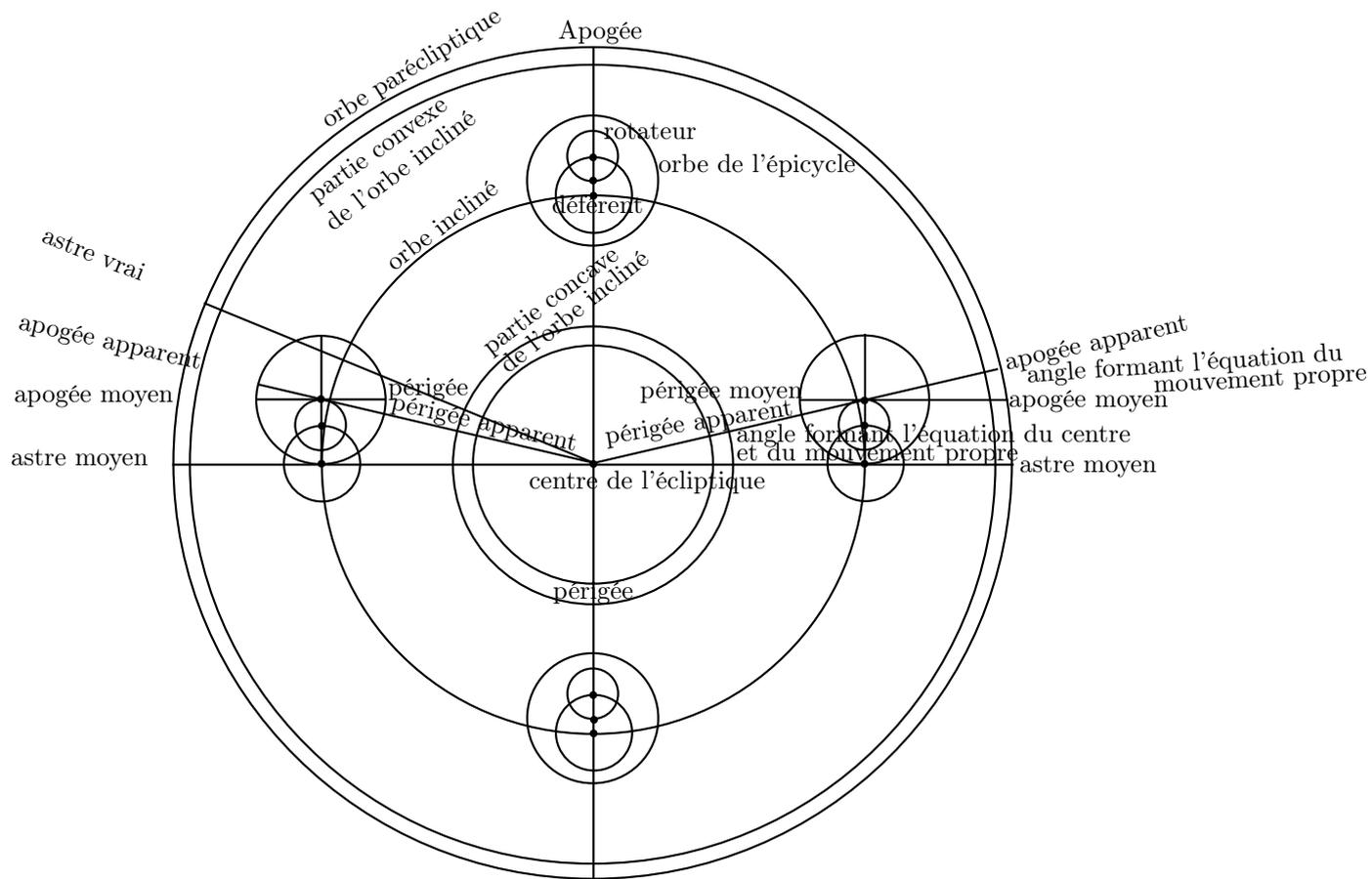
<sup>٢</sup> الأكر: الأكر التامة [ج] <sup>٣</sup> وأردت: وأردنا [ج] <sup>٤</sup> قطر: قطر فلك [ج] <sup>٥</sup> المدير، ونصف قطر... قطر كرة ناقصة [ج] <sup>٦</sup> المائل: الفلك المائل [ج] <sup>٧</sup> المائل: الفلك المائل فاعلم ذلك [ج] <sup>٨</sup> وهذه صفة... وأفلاك: وهذه أفلاك [ج]، أفلاك [د]

## Remarque

Etant 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.

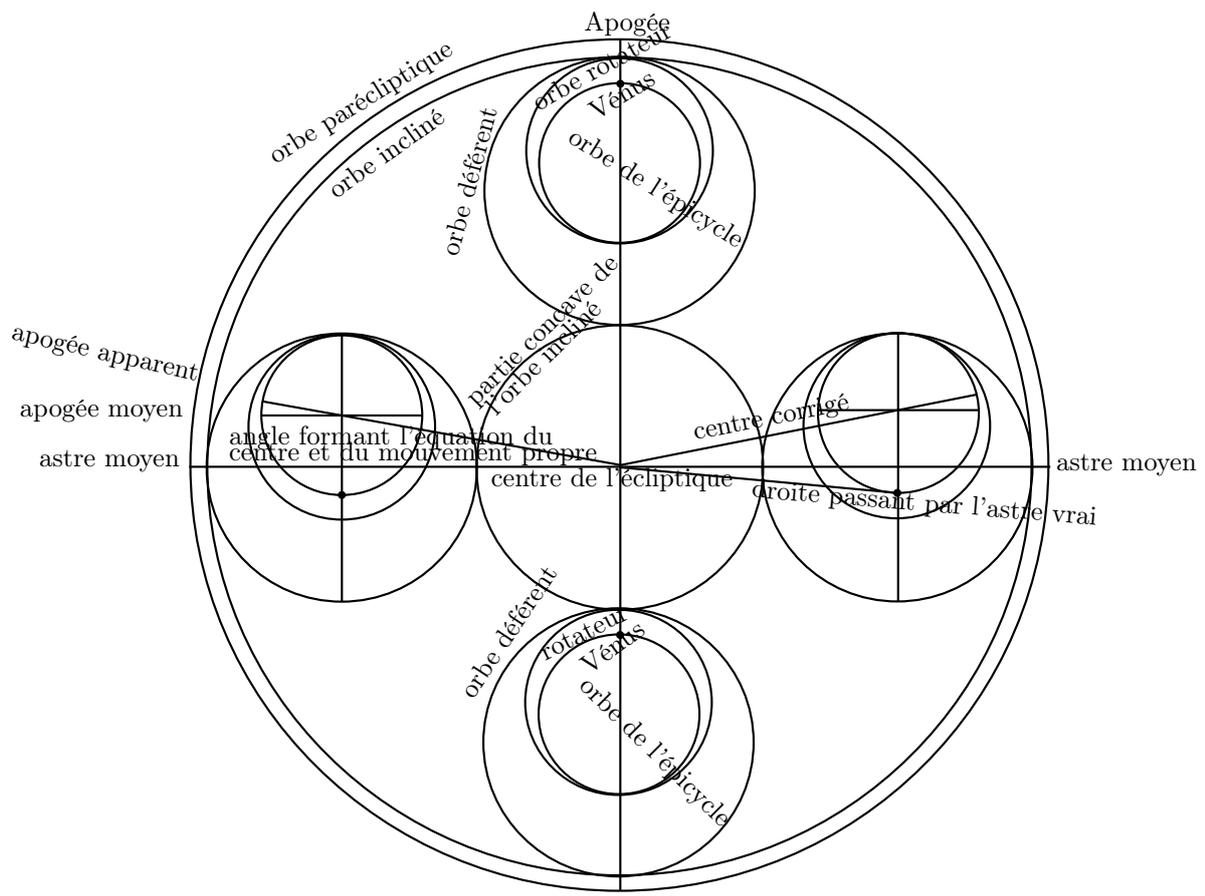
Voyez la description des orbes de Vénus représentés par les trajectoires des centres des sphères. [On obtient] la figure des orbes solides de Vénus en considérant [les cercles] projetés dans le plan comme étant les ceintures des sphères solides.





Configuration des orbes de Vénus représentées par les trajectoires des centres des orbes solides à l'Apogée, au péricée et aux élongations intermédiaires





Configuration des orbis solides de Vénus : sphères entières représentées dans le plan à l'Apogée, au périégée et aux élongations intermédiaires

## الباب العشرون في ضبط حركات الزهرة

و ٣٠ ج  
ظ ٤٠ د  
ظ ٢٧ أ

وتقييدها لنصف نهار يوم الثلاثاء أول سنة إحدى وسبعمائة ليزدجرد أما  
وسط الزهرة فمثل وسط الشمس، وهو للتأريخ المذكور ط ي ط ،  
والأوج للتأريخ المذكور ب بر نب . وحركة وسطها مثل حركة وسط  
الشمس، وهي في عشرين سنة فارسية ناكه بج ك، وفي سنة فارسية  
نا كط مه م ، وفي شهر فارسي . كط لد ط نا مون نر لب، وفي ٣٠ ج  
يوم . نط ح بط مج لج ما نه د و، وفي ساعة . ب كر ن ن . وحاصل  
خاصة الزهرة، للتأريخ المذكور، ي ك ن يط؛ وحركة الخاصة في عشرين  
سنة فارسية و . لو ، وفي سنة فارسية ر نه ا مح ما، وفي شهر ٢٨ أ  
نح كط مد نج ط، وفي يوم . لو نط كح كو بج د نو، وفي ساعة  
ل ب كح ما و. وتقويمها على طريق تقويم زحل وغيره من السيارة.

<sup>٣</sup> ليزدجرد: من تأريخ يزدجرد [ج] <sup>١٢</sup> طريق: ناقصة [ج]

## Chapitre vingt

### La régulation des mouvements de Vénus

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'Apogée. Le mouvement de Vénus moyen est comme le mouvement du Soleil moyen, soit en vingt ans 11 signes et 25;13,20 degrés, 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. 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.

## الباب الحادي والعشرون في هيئة أفلاك عطارد على مذهبنا الموافق للرصد

- ١٠ - نتوهم فلکاً في سطح فلك البروج وعلى قطبيه ومركزه، ويسمى الممثل. و١٤ د
- ١٠ - ونتوهم فلکاً ثانياً سطحه مائل عن سطح الممثل نصف وربع درجة عند الأوج إلى جهة الجنوب، وهذا الميل غير ثابت. وعلى قول أنه مائل سدس جزء وهو ثابت الميل : وهو الأصح. وسطح المائل يقاطع سطح الممثل على نقطتين متقابلتين تسمى إحداهما الرأس والأخرى الذنب.
- ١٠ - ونتوهم فلکاً ثالثاً مركزه على منطقة المائل، ونصف قطره أربعة أجزاء وخمس دقائق (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءاً)، وتسمى الحامل.
- ١٠ - ونتوهم فلکاً رابعاً مركزه على منطقة الحامل، ونصف قطره نصف وثلاث درجة، ويسمى المدير.
- ١٠ - ونتوهم فلکاً خامساً مركزه على منطقة المدير، ونصف قطره إثنان وعشرون جزءاً وست وأربعون دقيقة (من تلك الأجزاء)، وتسمى فلك التدوير.
- ١٥ - ونتوهم فلکاً سادساً مركزه على منطقة التدوير، ونصف قطره ثلاث وثلاثون دقيقة، ويسمى المحيط.
- ١٥ - ونتوهم فلکاً سابعاً مركزه على المحيط، ونصف قطره مثل نصف قطر المحيط (وهو ثلاث وثلاثون دقيقة)، ويسمى الحافظ.
- ٢٠ - ونتوهم فلکاً ثامناً مركزه على منطقة هذا الفلك.
- ٢٠ - وأما الحركات فإن الممثل يتحرك على قطبي البروج، إلى التوالي، في كل ستين سنة درجة، وذلك مثل حركة الأوجات.
- ٢٠ - وأما المائل فإنه يتحرك إلى التوالي، مثل حركة مركز عطارد، وهو مثل مركز الشمس : وهو في اليوم بليته . نظ ح ي.
- ٢٠ - وأما الحامل فإنه يتحرك في أعلاه إلى خلاف التوالي، مثل حركة مركز عطارد أيضاً.
- ٢٥ - وأما فلك التدوير فإنه يتحرك في أعلاه إلى التوالي بقدر فضل حركة خاصة عطارد على حركة مركزه : وهو في اليوم بليته . ب ر يو . ط نا لط نو لط.

٥ أنه : ناقصة [أ،د] ٥ سدس : تب [ج]، وكتب في هامش [ج] «سدس» ٨-٩ أربعة أجزاء وخمس دقائق : د-ه [ج] ٦١ . ب ر يو . ط نا لط نو لط : . ب ح ند ب [أ،د،ج]، وكتب في هامش [أ] «. ب ر يو . ط نا لط نو لط»

## Chapitre vingt-et-un

### La configuration des orbes de Mercure selon notre méthode confirmée par l'observation.

Nous imaginons :

– un orbe dans le plan de l'écliptique, sur ses pôles et en son centre, appelé le parécliptique.

– un deuxième orbe dans un plan incliné par rapport au plan du parécliptique d'un demi et un quart de degré à l'Apogée 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.

– 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*.

– un quatrième orbe dont le centre est sur la ceinture du déférent, de rayon un demi et un tiers de degré<sup>144</sup>, appelé le *rotateur*.

– 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.

– un sixième orbe dont le centre est sur la ceinture de l'épicycle, de rayon trente-trois minutes, appelé l'*englobant*.

– 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.

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 Apogées.

L'orbe incliné se meut dans le sens des signes, comme le mouvement du centre de Mercure, 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.

L'orbe de l'épicycle se meut dans le sens des signes dans sa partie supérieure, d'autant que l'excédent du mouvement propre de Mercure sur le mouvement de son centre : en un jour et une nuit, 2; 7, 16, 0, 9, 51, 39, 56, 39.

---

144. 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 une demi, un tiers et un demi-sixième de degré.

وهذه حركة بسيطة. وأمّا حركة خاصّة عطارد، فإنّها بسيطة مركّبة، لأنّها و ٣١ ج بقدر حركة هذا التدوير التي هي . ب ر يو . ط نا لط نو لط مع حركة مركز عطارد التي هي . نط ح ي؛ وذلك لكون الحركتين إلى جهة واحدة. فيحصل مفارقة الكوكب للذروة، بقدر مجموع الحركتين، هي ٢٨ أ . ج و ك د ي ا ل ح ل ر ك ح م ب؛ وهي حركة خاصّة عطارد المركّبة، وهي مستوية عند مركز التدوير.

ومما يزيد ذلك إيضاحًا : انه إذا تحرك المائل ربع دائرة، وتحرك الحامل ربع دائرة، وتحرك المدير نصف دائرة، انتقلت الذروة (التي هي مبتدأ حركة الخاصّة) ربع دائرة إلى التوالي. وإنّما وجد بالرصد أنّها منتقلة، إلى التوالي، مثل حركة خاصّة عطارد (التي هي . ج و ك د ي)، فيكون حركة التدوير حول مركزه، إلى التوالي، بعد فضل هذه الخاصّة على حركة المركز (لكونها إلى جهة واحدة). فقد اتّضح ذلك.

وأما الشامل فإنّه يتحرك في أعلاه إلى التوالي، مثل ضعف حركة مركز عطارد : وهو في اليوم ا ن ح يو ك . وأمّا الحافظة فإنّها تتحرك في أعلاه إلى خلاف التوالي، أربعة امثال حركة مركز عطارد : وهي في اليوم ج نو لو م .

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، ويسمّى هذا القرب نصف قطر التدوير المرئي وهو احد وعشرون جزئًا وثلثي جزء. وإذا كان المركز ثلاث بروج، كان عطارد في أبعد بعده من مركز التدوير، وهو ثلاث وعشرون درجة وإثنان وخمسون دقيقة.

فيكون أبعد بعد عطارد من مركز العالم ستّة وثمانون وثلثي. وأقرب قربه ثلاثة وثلثين وثلثًا. إلا أنّ عطارد لا يقرب إلى أقرب قرب أفلاكه المجسّمة، على ما أوضحنا قبل في غير موضع.

١ وهذه: وهو [د،ج] ٢ . ب ر يو . ط نا لط نو لط : ب ن ح ند ب [أ،د،ج] ٤ هي : وهي [د] ٨ مبتدأ: مبدا [ج] ٩ وجد: وجدت [د،ج] ١١ بعد: بقدر [د،ج] ١١ على: عند [ج] ١٤ ن ح يو ك : غير مقروء [أ]، ا ن ح . ن ح ك [د،ج] ١٥ وأمّا الحافظة فإنّها تتحرك: وأمّا الحافظ فإنّه يتحرك [د] ١٦ ج نو لو م : ج نو لو لط [أ،د،ج] ١٩ أو الحضيض: والحضيض [د،ج] ٢٠ ثلثي: ثلث [أ،د]، كا ك [ج] ٢٤ لا: الا [د] ٢٥ موضع: هذا الموضع [د،ج]

C'est un mouvement simple. Quant au mouvement propre de Mercure, 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 propre de Mercure, un mouvement composé mais uniforme par rapport au centre de l'épicycle.

Voici une explication complémentaire. 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 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 propre de Mercure (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 ce mouvement propre sur le mouvement du centre (car ils vont dans le même sens). J'ai déjà expliqué cela.

L'englobant<sup>145</sup> 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.

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.

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 elle ne quitte jamais cette droite<sup>146</sup>. Quand le centre de l'épicycle est à l'Apogée 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'Apogée], Mercure est à distance maximale du centre de l'épicycle, à vingt-trois degrés et cinquante-deux minutes.

La distance maximale de Mercure au centre du Monde est quatre-vingt-six et deux tiers. Sa distance minimale est trente-trois et un tiers<sup>147</sup>. Sauf que Mercure n'atteint pas la distance minimale de ses orbes solides, comme nous l'avons expliqué précédemment.

---

145. Cet orbe qu'Ibn al-Šāṭir avait appelé *muḥīṭ* est maintenant désigné du nom de *šāmil*. Nous avons traduit ces deux termes par « englobant ».

146. Ces deux orbes (englobant et protecteur) constituent un *couple de Tūsī*.

147. Il faut comprendre ces distances extrémales comme étant les distances extrémales de Mercure au centre du Monde *quand Mercure est à l'Apogée ou au périgée, i. e.* quand  $\bar{\kappa} = 0^\circ$  ou  $180^\circ$ . Le rayon de l'épicycle apparent est alors minimal.

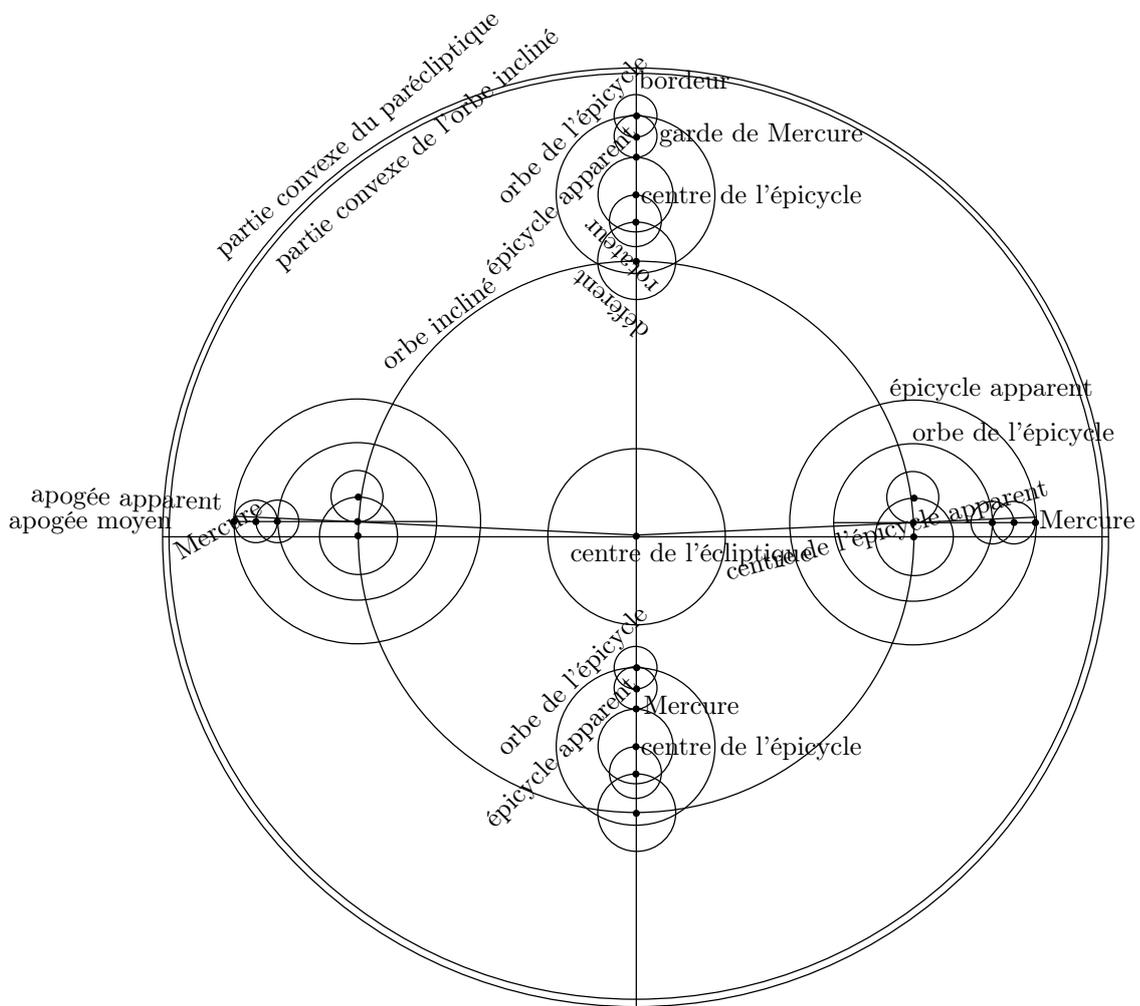
وأما اقدار الأفلاك المجسّمة : فإنّ نصف قطر كرة الحامل كح نب،  
ونصف قطر كرة المدير كد مر ونصف قطر كرة التدوير كج نب، ونصف قطر  
كرة الشامل آ و، ونصف قطر كرة الحافظ . لـج (الجميع بالأجزاء التي بها ظ ٤١ د  
نصف قطر الممثل ستون جزئاً).  
فيكون أبعد بعد الممثل ثمانية وثمانين وإثنتين وخمسين دقيقة، وفوق ذلك  
سمك الممثل ؛ ولنفرضه تتمه فط. وأقرب قرب أفلاكه لا ح، وأقلّ من ذلك  
بأتّصال الفلك ؛ فنفرضه لا . . والله أعلم.

<sup>١</sup> قطر كرة : قطره [د] <sup>٢</sup> ونصف قطر كرة المدير كد مر ونصف قطر كرة التدوير كج نب :  
ونصف قطر كرة التدوير كج نب ونصف قطر كرة المدير كد مر [ج] <sup>٦</sup> ولنفرضه تتمه فط :  
ولنفرض تتمه نط ل [د]، ولنفرضه نط ل [ج]

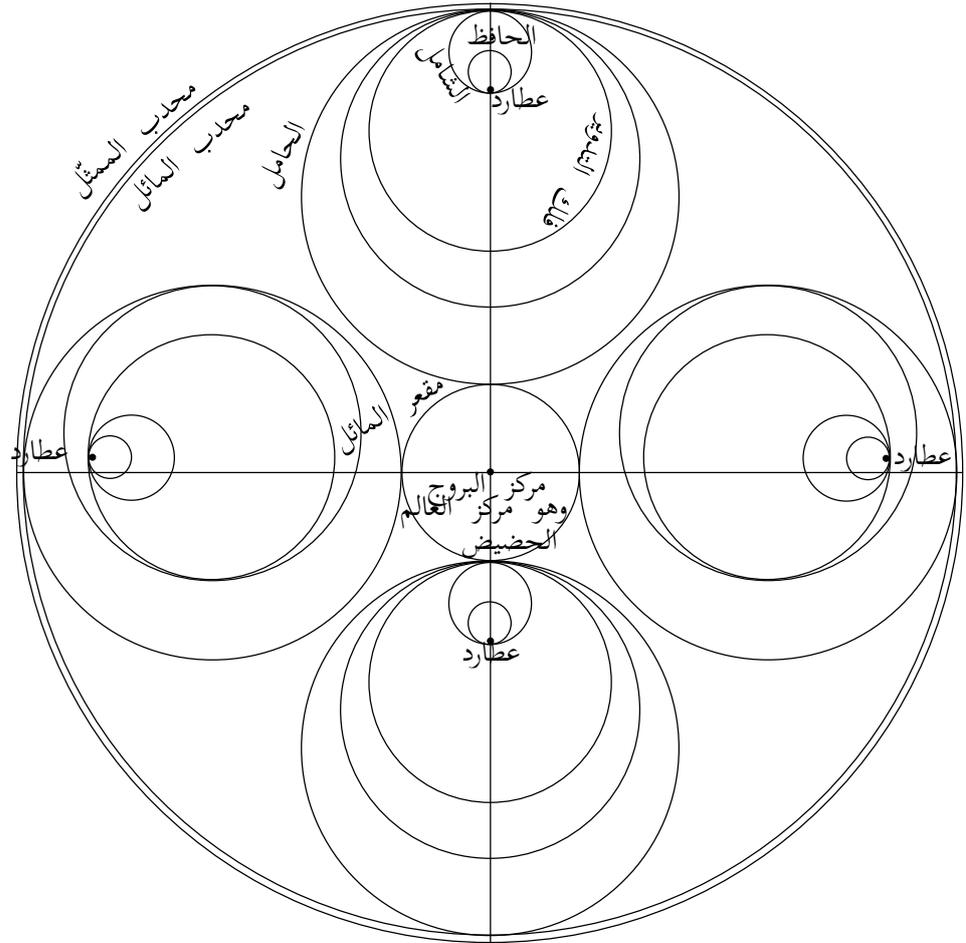
Quant aux dimensions des orbes solides : le rayon de la sphère du déferent est 28;52, le rayon de la sphère du rotateur est 24;47, le rayon de la sphère de l'épicycle est 23;52, le rayon de la sphère de l'englobant est 1;6, le rayon de la sphère du protecteur est 0;33 (tout cela en parts telles que le rayon du parécliptique en compte soixante).

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; admettons qu'elle atteint 89. 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.

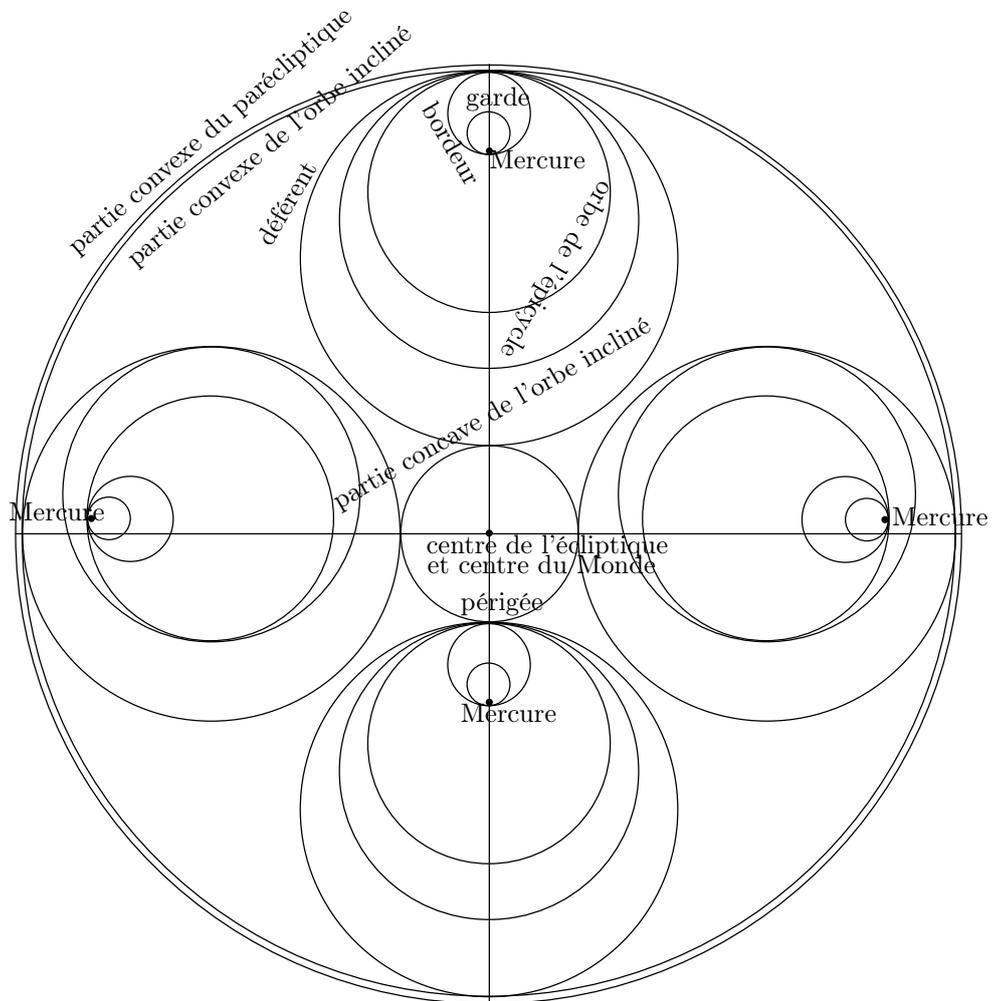




Configuration des orbes de Mercure représentées par les centres des sphères solides dans la plan



هيئة أفلاك عطارد المجسمة وهي كرات تامّة على حسب ما يتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبعدين الأوسطين



Configuration des orbes solides de Mercure, sphères entières représentées dans le plan à l'Apogée, au périgée et aux élongations intermédiaires

## الباب الثاني والعشرون في ضبط حركات عطارد

ظ ٣١ ج

و ٢٩ أ

وتقيدها لنصف نهار الثلثا أول سنة إحدى وسبع مائة ليزدجرد، أمّا الوسط فأصله  
ط ي ط . (وهو مثل أصل وسط الشمس والزهرة)، والأوج ر ب نب .  
وأصل الخاصّة للتأريخ المذكور ه د ب .

وحركة الوسط مثل حركة وسط الشمس (وهي في السنة يا كط مه م). وحركة  
خاصّة عطارد : في عشرين سنة فارسية يا كط . ك . وفي سنة ا كج نر ا، و ٣٢ ج  
وفي شهر ج ج ب ه ا، وفي يوم . ج و ك د ي ا ل ح ل ر كط، وفي  
ساعة . . ر مو . كه. وإذا اسقطنا حركة الأوج من حركة الوسط، حصل  
حركة المركز.  
وطريق تقويم هذا الكوكب كطريق تقويم زحل.

٩ . . ر مو . كه : . . ر مو ج كه [د] ١١ كطريق تقويم : مثل تقويم [ج]

## Chapitre vingt-deux

### La régulation des mouvements de Mercure

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 7 signes et 2; 52, 0 degrés pour l'Apogée. L'origine du mouvement propre à cette date est de 5 signes 4; 2, 0 degrés.

Le mouvement de Mercure moyen est comme le mouvement du Soleil moyen (par an, 11 signes 29; 45, 40 degrés). Le mouvement propre de Mercure est <sup>148</sup> : 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, 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'Apogée du mouvement moyen, on obtient le mouvement du centre.

La [longitude] vraie de cet astre [se calcule] de la même manière que Saturne vrai.

---

148. 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.

## الباب الثالث والعشرون في حساب تعديل الكواكب

- أما **التعديل الأول** لزحل والمشتري والمريخ والزهرة، فحسابه أن تأخذ جيب المركز وجيب تمامه، وتضرب كل واحد من الجيبين في نصف قطر الحامل لذلك الكوكب منحنياً. فما خرج من جيب المركز، فسمه الأصل؛ وما خرج من جيب تمامه، فسمه المقدار. ثم أضرب 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 ثلاث بروج، وإن كان المركز أكثر من ثلاث بروج فنقصه منه. فما بلغ أو بقي فهو المقسوم. وما حصل من جيب تمامه، نقصه من المقدار؛ فما بقي زده على ستين إن كان المركز أقل من ثلاث بروج، وأنقصه من ستين إن كان المركز أكثر من ثلاث بروج. فما بقي أضربه في نفسه، وما بلغ زد عليه مضروب المقسوم في نفسه. وخذ جذر الجملة: فهو بعد مركز التدوير من مركز العالم. فاقسم عليه المقسوم المحفوظ، يخرج جيب التعديل الأول. قوسه في جدول الجيب، يخرج التعديل الأول. فاثبتته <sup>١٠</sup> ظ ٤٢ د
- بإزاء الجزء الذي حسبت له، وهو تعديل المركز والخاصة.
- وحساب **التعديل الثاني**، أن تضرب جيب الخاصة المعدلة (وجيب تمامها) في نصف قطر فلك التدوير لذلك الكوكب. فما حصل من جيب تمامه، زده على بعد مركز التدوير من مركز العالم لذلك الكوكب (وهو لزحل سج كه، وللمشتري سب مه، وللمريخ سو، وللزهرة سا يه، ولعطارد سه) إن كانت الخاصة المعدلة في النصف الأعلى من فلك التدوير، وانقص إن كانت الخاصة المعدلة في النصف الأسفل منه. فما حصل، فزد مربعه على مربع المتحصّل من ضرب جيب الخاصة في نصف قطر التدوير (وهو المقسوم)؛ وخذ جذر المربعين، اقسام عليه المقسوم، يحصل جيب التعديل الثاني لذلك الكوكب. قوسه في جدول الجيب؛ وخذ قوسه واثبتته بحيال الخاصة المعدلة التي حسبت لها.

<sup>٧</sup> فزده: زده [ج] <sup>٩</sup> المقسوم: المقوم [د، ج]، وكتب «س» فوق السطر في [ج] <sup>١١</sup> بقي: بلغ [ج] <sup>١٢</sup> بلغ: بقي [ج] <sup>١٤</sup> فاثبتته: فاثبتته [ج] <sup>٢٠</sup> وانقص: وانقصه [ج] <sup>٢٠</sup> المعدلة: ناقصة [ج] <sup>٢١</sup> فزد: زد [د، ج] <sup>٢٤</sup> وخذ قوسه: ناقصة [أ]

## Chapitre vingt-trois

### Calcul de l'équation des astres

Pour calculer la *première équation*<sup>149</sup>, pour Saturne, Jupiter, Mars et Vénus, tu prends le sinus du centre et son cosinus, et tu multiplies chacun par le rayon du déferent. 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-le<sup>150</sup>. 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.

Pour calculer la *deuxième équation*<sup>151</sup>, 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 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.

---

149. notée  $c_1(\bar{\kappa})$  dans notre commentaire.

150. Ceci est erroné, il faut toujours ajouter quelque soit la valeur du centre (voir commentaire mathématique).

151. notée  $c_2(0^\circ, \alpha)$  dans notre commentaire.

تنبيهه. جذر المربعين هو بعد الكوكب في ذلك الوقت من مركز العالم، بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستين جزءاً، ونصف قطر التدوير، لرحل و ل، وللمشترى يا ل، وللمريخ لط ل، وللزهرة مج ل، ولعطارد كام (وهو و ٣٣ ج نصف قطر تدويره المرئي في البعد الأبعد والأقرب).

و حساب إختلاف البعد الأقرب، وهو التعديل الثالث، مثل حساب التعديل الثاني، سواء إلا أنك تفرض مركز التدوير في البعد الأقرب، وهو لرحل نو له، وللمشترى نزيه، وللمريخ ندي، وللزهرة نحمه، ولعطارد نه. وتحسب على طريق التعديل الثاني. فما حصل أنقص منه التعديل الثاني لذلك الجزء، فما بقي فائته بإزاء الجزء الذي حسبت له : وهو إختلاف البعد الأقرب، وهو يزداد على التعديل الثاني أبداً (كما في القمر، وقد نبهت على ذلك).<sup>١٠</sup> وطريق حساب دقائق النسب على ما عرفتك في حساب دقائق النسب للقمر. فإني رأيت التعاديل إن يزداد الإختلاف على التعديل الثاني (فإنه أسهل). وطريق حساب دقائق النسب أن تحسب بعد مركز التدوير من مركز العالم كما عرفتك، وتحسب نصف قطر التدوير المرئي. واقسمه على بعد مركز التدوير الذي حسبته. فما خرج قوسه في جدول الجيب : فما حصل فهو غاية التعديل المحكم في تلك الدرجة. فانقص منه غاية التعديل في البعد الأبعد لذلك الكوكب. فما بقي فاقسمه على فضل ما بين التعديل في البعد الأبعد والبعد الأقرب. فما خرج فهو دقائق النسب.

<sup>٣</sup> ل ط ل : لد ل [د،ج] <sup>٢</sup> كام : ط م [د،ج]، وكتب «كام» في هامش [د] <sup>٩</sup> فائته بإزاء الجزء : قابلته بالجزء [ج] <sup>١١</sup> وطريق : وأمّ طريق [ج] <sup>١٢</sup> رأيت : غير مقروء [أ] <sup>١٣</sup> حساب دقائق النسب : حسابها [ج] <sup>١٤</sup> نصف : ناقصة [د،ج] <sup>١٥</sup> الذي : وهو الذي [د،ج]

*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 minimale<sup>152</sup>).

La *troisième équation*<sup>153</sup> 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).

La méthode pour calculer le *coefficient d'interpolation*<sup>154</sup> 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 apparent<sup>155</sup>. 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 principale 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.

---

152. c'est-à-dire à l'Apogée ou au périégée, en lesquels le couple de  $\bar{\text{T}}\bar{\text{u}}\bar{\text{s}}\bar{\text{i}}$  rend l'épicycle apparent moindre que le vrai.

153. notée  $c_2(180^\circ, \alpha) - c_2(0^\circ, \alpha)$  dans notre commentaire.

154. noté  $\chi(\bar{\kappa})$  dans notre commentaire.

155. Pour toutes les planètes sauf Mercure, il s'agit simplement du rayon constant de l'épicycle.

ويحتاج إلى حسن التصرف إلى حسابه، فإنّ فيه دقّة. وإن اخترت حساب التعاديل على المشهور، فإنّه يحسب على كون التدوير في البعد الأوسط، ويزاد عليه اختلاف البعد الأقرب، وينقص منه اختلاف البعد الأبعد. وقد عرفتك في باب حساب تعاديل القمر أنّه يمكن أن يحسب جدول واحد يقوم منه القمر. وعلى تلك الجهة يمكن أن يعمل لكلّ كوكبٍ تعديل واحد يقوم به من غير تعديل مركز ولا خاصّة فتفهّمه من هناك.

---

<sup>١</sup> حسن : جنس [ج] <sup>٢</sup> التعاديل : التعديل [ج] <sup>٣</sup> فتفهّمه : غير مقروء [أ]

Il faut bien conduire ce calcul, c'est subtil. Si tu préfères calculer les équations de la manière la plus courante<sup>156</sup>, 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 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.

---

156. Cette manière "plus courante" conduirait aux tables auxquelles le chapitre 14 fait implicitement référence. C'est ainsi que faisait Ptolémée.

## الباب الرابع والعشرون في عروض الكواكب الثلاثة العلوية زحل والمشتري والمريخ

قد تقدّم في هيئة أفلاك كلّ واحد منهم أن غاية ميل الفلك المائل عن سطح الممثل : لزحل جزآن ونصف، وللمشتري جزء ونصف، وللمريخ جزء واحد. وأقول أنه وجد بالرصد أيضًا أن غاية ميل سطح التدوير عن المائل، وذلك إذا كان مركز التدوير في منتصف ما بين العقدتين، وذلك عند نهاية ميل <sup>ج</sup> ٣٣ المائل عن الممثل في الشمال : لزحل أربعة أجزاء ونصف، وللمشتري جزآن ونصف، وللمريخ جزآن وربع. ورصدت هناك فوجد القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه طرفه الأوجي بين المائل والممثل، وطرفه الحضيضي مائل إلى الجهة التي فيها ميل المائل، والقطر القائم على القطر المذكور موازيًا لسطح البروج. <sup>د</sup> ٤٣ و <sup>١٠</sup> ثمّ رصدت إذا كان مركز التدوير في العقدتين، فوجدت سطوح الدوائر الثلاثة في سطح الفلك الممثل، أعني سطح فلك البروج. فإنّها وجدت عديمة العرض <sup>١١</sup> و <sup>١٢</sup> إذا كان مركز التدوير في الرأس أو الذنب والكوكب في أيّ نقطة فرضت من فلك التدوير.

<sup>١٥</sup> فأجمع من ذلك أن الاقطار المارة بالذري لا تثبت في سطوح الأفلاك المائلة، ولا في سطوح الممثلة، إلا إذا كان مراكز تدويرها في إحدى العقدتين. وبعد ذلك تميل ذري العلوية أبدًا إلى جهة سطح البروج وحضيضها إلى خلافها. وتزداد ميولها، وتنتهي إلى غايتها في منتصف ما بين العقدتين، ثمّ يأخذ الميل في التراجع إلى أن ينعدم عند العقدة الثانية. ثمّ يبتدي ميل الذروة عن الممثل 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.

<sup>٨</sup> رصدت : غير مقروء [أ] <sup>٩</sup> وجد : وجدت [د، ج] <sup>١٠</sup> أو : و [د] <sup>١١</sup> أي : ناقصة [ج] <sup>١٢</sup> أجمع : اجتماع [ج] <sup>١٣</sup> تثبت : تثبت [ج؟] <sup>١٤</sup> مراكز تدويرها : « مراكزها »، وكتب « تدوير » في الهامش [ج، د] <sup>١٥</sup> تميل : يميل [ج] <sup>١٦</sup> تنتهي : ينتهي [ج] <sup>١٧</sup> عند : في [ج]

## Chapitre vingt-quatre

### Les latitudes des trois planètes supérieures : Saturne, Jupiter et Mars

Dans la configuration de chacune d'elles, on a vu que l'inclinaison maximale<sup>157</sup> 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.

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'Apogée 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.

Puis on a observé quand le centre de l'épicycle est situé aux nœuds : on a trouvé que les plans des trois cercles<sup>158</sup> 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.

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 à la tête] 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 à la tête ; et la chose recommence depuis le début.

---

157. Pour décrire la mesure de l'angle entre deux plans, on utilisait habituellement l'expression "inclinaison maximale" qui désigne en effet l'arc maximal d'un cercle orthogonal à l'un des deux plans, de centre situé sur la droite commune (le cercle est alors orthogonal aux deux plans). Mais Ibn al-Šāṭir oubliera souvent le mot "maximale" pour parler simplement d'"inclinaison".

158. Trois cercles : le déferent, du rotateur et de l'épicycle.

وكون الذروة بعد مفارقة العقدتين فيما بين المنطقتين أبداً، دون الحضيض. يقلّ عروض الذري، ويكثر عروض الحضيضات. وإذا اختلف بعد مركز التدوير من مركز البروج، اختلف ميل الذروة والحضيض عند مركز البروج : وإذا زاد بعد مركز التدوير، نقص ميل الذروة، وعكسه.

ورأس زحل في أول سنة تسع وسبعمئة فارسيّة في خمسة أجزاء من الأسد، ورأس المشتري في الجزء الحادي والعشرين من السرطان، ورأس المريخ في الجزء الثامن عشر من الثور، وذنّب كلّ واحد كوكب مقابلة رأسه. وبعد الرأس برقع دور يكون نهاية العرض الشمالي، وهو لزحل إن كان في الذروة من التدوير  $\overline{ب د}$  وإن كان في الحضيض منه  $\overline{ج ح}$ ، وللمشتري إذا كان في الذروة  $\overline{ا و}$  وفي الحضيض  $\overline{ب د}$ ، وللمريخ إذا كان في الذروة  $\overline{ر و}$  وإذا كان في الحضيض  $\overline{د ج}$  <sup>ج ٣٤</sup>  $\overline{د ك}$ . وبعد الذنب برقع دائرة يكون نهاية العرض الجنوبي؛ وهو لزحل إذا كان في ذروة التدوير  $\overline{ب ب}$  وإن كان في حضيضه  $\overline{ج ه}$ ، وهو للمشتري إذا كان في الذروة من التدوير  $\overline{ا ه}$  وإن كان في الحضيض  $\overline{ب ح}$ ، وهو للمريخ إذا كان في ذروة التدوير  $\overline{ج و}$  وإذا كان في الحضيض منه  $\overline{ر ر}$ ، والله أعلم.

## فصل

اعلم أنّ هذه الأصول التي ذكرتها في أمر عروض هذه الكواكب ضرورية وجدت بالرصد ودلّ على بعضها الحساب؛ فلا يجوز الخروج عن كليتها. ولم يمكن <sup>ظ ٣١ أ</sup> بطلميوس وإبرخس ولا غيرهم من المتقدمين والمتأخرين قاطبةً إلى يومنا هذا وضع هيئة على أصولٍ بسيطةٍ صحيحةٍ تفي بالحركات الطولية والعرضية. ولم يمكن بطلميوس توهم أصول تفي بالحركات العرضية. من غير تساهلٍ ومن تساهلٍ ومشى الحركات الطولية على الهيئة المشهورة، لم يمكن التساهل في الحركات العرضية.

<sup>٢</sup> يقلّ: تقلّ [ج] <sup>١</sup> يكثر: تكثر [د، ج] <sup>٢</sup> واحد: ناقصة [د، ج] <sup>٣</sup> إن: إذا [ج] <sup>٤</sup> للمشتري: المشتري [د، ج] <sup>٥</sup> وفي: وإذا كان في [ج] <sup>٦</sup> دائرة: دور [ج] <sup>٧</sup> إن: إذا [د، ه] <sup>٨</sup> ه: ناقصة [أ] <sup>٩</sup> منه  $\overline{ر ر}$ : في هامش [أ] <sup>١٠</sup> والله أعلم: ناقصة [أ] <sup>١١</sup> الحساب: بالحساب [ج] <sup>١٢</sup> بطلميوس وإبرخس: إبرخس وبتلميوس [ج]، إبرخس ولا بطلميوس [د] <sup>١٣</sup> غيرهما: غيرهما [د] <sup>١٤</sup> من غير تساهلٍ: غير مقروء [د] <sup>١٥-٢٠</sup> ومن تساهلٍ: ناقصة [ج]

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 de l'apogée et du périégée 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.

Le nœud ascendant de Saturne au premier jour 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 périégée<sup>159</sup> pour Jupiter 1;6 quand il est à l'apogée et 2;4 quand il est au périégée, et pour Mars 0;7 quand il est à l'apogée et 4;21 quand il est au périégée. 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 périégée, pour Jupiter 1;5 quand il est à l'apogée de l'épicycle et 2;8 quand il est au périégée, et pour Mars 0;3 quand il est à l'apogée de l'épicycle et 7;7 quand il est en son périégée.

## Section

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 pas d'indulgence pour la théorie classique des mouvements en longitude, on ne peut avoir aucune indulgence pour les mouvements en latitude. Le problème est le suivant.

---

159. Ces valeurs et les suivantes sont tirées des tables de latitudes de l'*Almageste* (chapitre XIII). Les données de l'observation rapportées par Ptolémée sont respectivement : 2°, 3°, 1°, 2°, -, 4;20°, 2°, 3°, 1°, 2°, -, 7° (*cf.* [41] p. 45-46).

فإنه إن فرض مركز التدوير في منتصف ما بين العقدتين وفرض سطح التدوير مائل عن سطح المائل (على ما قلته وهو الموجود بالرصد) ودار المائل إلى العقدة، فيلزم أن لا يزال سطح التدوير مائلاً عن المائل، وفي العقدة أيضاً. 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 العقدتين، وجد له ميل ليس بالقليل.

وتقارب منطقة التدوير من منطقة المائل من غير محرك لا يخلّ بالحركات الطولية على الهيئة المشهورة في **المجسطي والاقتصاص** في أمر الأجسام المحركة في العرض محال. وما تكلفه بطلميوس ومن بعده كابن الهيثم في رسالته، والنصير الطوسي في تذكروته، المؤيد العرضي في هيئته، والقطب الشيرازي في منتهى أدواره وما نقله من نقله من أقاويل من ذكرهم في كتابه <sup>ظ ٤٣ د</sup> (ولا ما أظن ما فيه وافتخر به من الأصل الابداعي) لا تفي بالمقصود في الطول والعرض، فإنه إن وافق في إحداهما، خلّ في الأخرى؛ على أنهم رحمهم <sup>ظ ٣٤ ج</sup> الله اعترفوا بالعجز عن ذلك.

فإن قطب الدين قال آخر ما قاله (ولعلّ الله أن يوفق الناظر في هذا الكتاب) أن يستنبط وجهًا تامًا يحدّ جميعها أو يزيل الخال النافي في ما ذكرناه (أنه يلهم الصواب والهادي إلى سواء الصراط)؛ وقد قال بطلميوس في غير مكان ما هذا يقرب من معناه؛ على أن المذكورين انتهى إليهم هذا العلم وإليهم ينسب.

واعلم أن سبب امتناع ازالة ما في الهيئة المشهورة من الشكوك، هو أن مبداها على غير وضع صحيح طبيعي، فلا بدّ من تغيير جملة تلك الأصول إلى وضع صحيح لا يدخل عليه شكّ ويحصل به المطلوب، ان امكن، كما فعلنا.

فإنّ لما توهمنا هيئة الأفلاك على الوجه الذي ذكرناه، وانتهينا إلى عروض هذه الكواكب، ونقلنا ما وجدنا بالرصد من عروضها وميل أفلاكها، وجدنا ذلك <sup>و ٣٢ أ</sup> موافقاً على ما توهمناه من الأفلاك والحركات. وذلك يتبين بما أوضحه هاهنا.

<sup>٢</sup> مائل: مائلاً [د، ج] <sup>٦</sup> وجد: ووجد [ج، د] <sup>٧</sup> يخلّ: يحل [أ] <sup>١٢</sup> لا: ناقصة [أ، ج، د] <sup>١٢</sup> تفي: يفي [ج، د] <sup>١٣</sup> إحداهما: إحداهما [د] <sup>١٤</sup> يستنبط: يستنبط [د] <sup>١٥</sup> يحدّ: يحد [ج، د]، يجد [د] <sup>١٦</sup> الخال النافي: الباقي [ج]، الخلل الباقي [د] <sup>١٧</sup> الصراط: الطريق [ج، د] <sup>١٨</sup> ما هذا يقرب: غير مقروء [أ] <sup>١٩</sup> تغيير: تغيير [ج] <sup>٢٠</sup> ذكرناه: ابتكرناه [ج] <sup>٢١</sup> هاهنا: هاهنا [د، ج]

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'orbe incliné (comme je l'ai dit et comme on l'a trouvé par l'observation) et que l'orbe incliné tourne en direction du nœud, alors il faut que l'épicycle ne cesse d'être incliné par rapport au plan de l'orbe 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.

Le rapprochement de la ceinture de l'épicycle et de la ceinture de l'orbe incliné, sans un mobile qui ne perturbe les mouvements en longitude, dans l'astronomie classique de l'*Almageste* et des *Hypothèses* concernant les corps mûs en latitude, est impossible. Ce dont se sont efforcés Ptolémée et ses successeurs comme Ibn al-Haytham dans son *Épître*, Naṣīr al-Ṭūsī dans sa *Tadhkira*, Mu'ayyad al-'Urḍī dans son *Astronomie*, Quṭb al-Shīrāzī dans sa *Muntaha 'adwār*, 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 principe *ibda'ī*), 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 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 les choses correctes) ; mais Ptolémée avait déjà dit des choses semblables ; la connaissance appartient à ceux qui la mentionne [en premier].

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 ce principe pour l'amener à une position sauve du doute et qui satisfasse au problème posé, si c'est possible, comme nous l'avons fait.

Dès lors que nous avons conçu la configuration des orbes de la manière sus-dite, 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 ici.

- فأقول نفرض، إذا كان مركز الحامل والمدير في منتصف ما بين العقدتين، وقطر الحامل مائل عن المائل إلى الجهة التي وجد ميل حضيض التدوير فيها، أما لزحل فثلاثة أجزاء ونصف؛ والمدير لزحل مائل عن سطح الحامل له جزء واحد. والفلك الحامل للمريخ مائل عن سطح المائل درجة ونصف وثمان، وتدوير المريخ مائل عن سطح الفلك الحامل نصف وثمان جزء. وقطر الفلك الحامل للمشتري مائل عن سطح الفلك المائل جزأين، وقطر تدوير المشتري مائل عن سطح الحامل للمشتري نصف جزء. ثم نتحرك الأفلاك بما لها من الحركات البسيطة حول مراكزها بالمقدار الذي فرض لها إلى الجهات التي فرضت. فإذا تحرك المائل ربع دور، وتحرك الحامل ربع دور أيضًا، وتحرك المدير نصف دور، إنقلب 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 ناقصًا عن ميل الحامل، فتبقي فضل ميل الحامل عن ميل التدوير، وذلك الفضل بقدر ميل المائل؛ ومركز الحامل وقد وصل إلى العقدة، فقد ماس سطح البروج و ٣٥ ج فيكون لذلك سطح التدوير في سطح البروج. وذلك ظاهر. ١٥
- فتأمله 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 أيضًا 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. ٢٠

٤٣ جزء واحد : جزءًا واحدًا [ج] ٤ تدوير : مدير؟ ٦ تدوير : مدير؟ ٧ نتحرك : تتحرك [د،ج] ٩ دور : دورة [د،ج] ١٣ فتبقي : فيبقي [د،ج] ١٨ تعلم : يعلم [د،ج]

Supposons que, quand le centre du déferent et du rotateur sont au milieu de l'arc compris entre les nœuds, le diamètre du déferent est incliné par rapport à l'orbe incliné du côté où se trouve l'inclinaison du périhélie 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 déferent d'une seule part. L'orbe déferent 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 déferent d'une demi-part et un huitième. Enfin, le diamètre de l'orbe déferent 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 déferent de Jupiter d'une demi-part. Faisons se mouvoir les orbes autour de leurs centres en donnant à chacune son mouvement simple de la grandeur supposée dans le sens supposé. Quand l'orbe incliné se meut d'un quart de cercle, le déferent 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 déferent et le plan de l'épicycle vient dans le plan de l'écliptique<sup>160</sup>. En effet on a posé l'inclinaison du déferent égale à la somme de l'inclinaison de l'orbe 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 déferent, il reste l'excédent de l'inclinaison de l'orbe déferent sur l'inclinaison de l'épicycle, et cet excédent est de la grandeur de l'inclinaison de l'orbe incliné ; le centre du déferent 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.

Prête attention et sache que la somme de l'inclinaison du déferent et de l'inclinaison de l'épicycle a été posée égale à l'inclinaison, observée, de l'épicycle par rapport au plan de l'orbe incliné, et que la différence entre l'inclinaison du déferent et l'inclinaison de l'épicycle a été posée de la grandeur de l'inclinaison de l'orbe 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'orbe 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.

---

160. En fait, bien qu'ils deviennent parallèles, les deux plans ne sont jamais confondus. Ils le seraient si le rayon de la ceinture du déferent était nul, *i. e.* si le centre du rotateur était confondu avec le centre du déferent. Comme le rayon du déferent 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.

ونخطّ لبيان ذلك خطّ  $\overline{ا ب}$  في سطح البروج، ونفرض  $\overline{ب}$  مركز البروج. ونخرج منه خطّ  $\overline{ب ه}$  مائل عن  $\overline{ا ب}$  بقدر ميل المائل عن سطح البروج. ونخرج خطّ  $\overline{ج ه د}$  ونفرضه قطر الفلك الحامل؛ ونخرج من نقطة  $ه$  خطّ  $\overline{ز ط}$  ونفرضه قطر التدوير لزاوية  $\overline{س ه ز}$  مجموع الميلين والميلان في جهة واحدة <sup>ظ ٣٢ أ</sup> (عند منتصف ما بين العقدتين). فإذا انتقل مركز الحامل الذي هو نقطة  $\overline{ب}$ ، كان قطر الحامل وهو خطّ  $\overline{ج د}$  باقٍ على ميله ويصير كأنه خطّ  $\overline{ق ص}$ . فإذا فرضنا بقي قطر التدوير على ميله، فيصير خطّ  $\overline{ز ط}$  كأنه خطّ  $\overline{ع ك}$ ؛ <sup>و ٤٤ د</sup> 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 تكرّر ذلك. ويجب أن يستعمل المركز المعدّل لا المطلق، وذلك حين وصول مركز التدوير إلى العقدتين؛ فافهم ذلك.

#### تنبيه

لو جعلنا ميل الحامل بقدر ميل التدوير، ومجموع الميلين بقدر ميل التدوير الموجود بالرصد، كان، إذا تحرك الحامل ربع دور والمدير نصف دور أيضًا، صار سطح التدوير في سطح المائل؛ وهذا ظاهر. وإنما شهد الرصد بأنه يصير في سطح البروج لا في سطح المائل. وغالب المتأخرين كالنصير الطوسي <sup>ظ ٣٥ ج</sup> والمؤيد العرضي والقطب الشيرازي توهموا أنه، إذا صار في سطح المائل، إنعدم العرض؛ وذلك محال لبقا ميل سطح التدوير عن سطح البروج. وهذا غاية الوضوح؛ على أنّ الرصاد ذكروا أنه يكون أمّا في سطح البروج أو قريب من ذلك، فإنه لم يتحقق لهم أنه في سطح البروج مطلقًا.

<sup>١</sup> ونخطّ: ويخطّ [د، ج] <sup>١</sup> ونخرج: ويخرج [د، ج] <sup>٢</sup>  $\overline{ب ه}$ :  $\overline{ا د}$  [أ، ج] <sup>٦</sup> وهو: هو [د] <sup>٧</sup> بقي: بقي [د، ج] <sup>٧</sup> فيصير: فنصف [أ، د، ج] <sup>٨</sup> ميل: مثل [د، ج] <sup>١١</sup> وفضل: وفضل ميل التدوير وفضل [أ، د، ج] <sup>١٧</sup> وهذا: وهو [ج]

Pour démontrer cela<sup>161</sup>, menons la droite AB dans le plan de l'écliptique et soit B le centre de l'écliptique. En soit issue la droite BE inclinée par rapport à AB comme l'inclinaison de l'orbe incliné par rapport au plan de l'écliptique. Traçons la droite CED supposée diamètre de l'orbe déferent ; du point E, menons aussi la droite GI supposée diamètre de l'épicycle et formant un angle SEG somme des deux inclinaisons quand elles sont du même côté (au milieu de l'arc entre les nœuds). Quand le centre du déferent se déplace vers le point B, le diamètre du déferent CD garde son inclinaison et devient la droite QŞ. Si le diamètre de l'épicycle gardait alors son inclinaison, la droite GI deviendrait la droite OK ; mais si le rotateur tourne d'un demi-cercle, alors l'inclinaison du diamètre OK par rapport au diamètre ŞQ passe de l'autre côté, l'angle QBK devient l'angle A'BQ et le diamètre de l'épicycle (la droite OK) coïncide 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 déferent sur l'inclinaison de l'épicycle est comme l'inclinaison de l'orbe incliné. On a déjà répété cela. Attention, quand on dit que le centre arrive aux nœuds, il faut comprendre : le centre corrigé.

### 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 – Naşir al-Ṭūsī, Mu'ayyad al-'Urđī, Quṭb al-Shīrāzī – 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 reste 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.

---

161. Pour transcrire les lettres  $\bar{a}$   $\bar{l}\bar{a}$   $b$   $j$   $d$   $h$   $w$   $z$   $ḥ$   $ṭ$   $\bar{i}$   $k$   $l$   $m$   $n$   $s$  '  $f$   $ṣ$   $q$   $r$   $ṣ$  utilisées dans la figure, on utilisera respectivement les lettres A A' B C D E F G H I J K L M N S O P Ş Q R Ş.

## تنبيه ثانٍ

لو كان وجد بالرصد أنّ ميل التدوير عن المائل بقدر الموجود بالرصد، فإذا تحركّ الحامل ربع دائرة، وتحركّ في ذلك الزمان المدير نصف دائرة، صار ميل التدوير في خلاف الجهة التي كان فيها الميل؛ فصار في سطح البروج؛ وإنّما وجد 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.

## تنبيه ثالث

لَمَّا كان الموجود بالرصد، أنّ نهاية ميل التدوير عن المائل عند منتصف ما بين العقدتين، وهناك وجد نهاية العرض الشمالي، وكان هذا الموضع في المريخ<sup>١</sup> و ٣٣ موضع أوجه، كانت قطري الحامل والتدوير مارّين بالأوج والحضيض هي مطابقة للخطّ الخارج من مركز البروج المارّ بموضع نهاية العرض الشمالي (أعني منتصف ما بين العقدتين) : وذلك لكون ذلك الموضع في موضع أوج المريخ. ولمّا كان موضع نهاية العرض الشمالي الذي هو منتصف ما بين العقدتين للمشتري بعد موضع أوجه عند بطلمیوس بعشرين جزء وبردنا بثمانية وعشرين جزءًا، ولزحل قبل موضع أوجه بخمسين جزءًا، كان القطر الذي عند نهاية العرض غير المارّ بأوج الحامل وأوج المدير. فإنّنا، إذا فرضنا الأفلاك في الأوج، وتحركت أمّا الحامل فبعشرين جزءًا وأمّا المدير فضعف ذلك، انتقل أوج الحامل إلى التوالي عشرين جزءًا فصار عند نقطة د، وصار قطر ه 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 لخطّ ه ط هو الذي عنده نهاية العرض.

و ٣٦ ج

<sup>١</sup> الحامل : المائل [ج] <sup>٢</sup> ميل : مثل [ج] <sup>٣</sup> قضيناه : قضيناه [أ] <sup>٤</sup> في : من [د، ج] <sup>٥</sup> كانت : كان [د، ج] <sup>٦</sup> هي : هو [د، ج] <sup>٧</sup> وإذا : فإذا [ج] <sup>٨</sup> و : و [أ، د، ج]

## Deuxième remarque

Si l'on avait trouvé par l'observation que l'inclinaison de l'épicycle *par rapport à l'orbe incliné*<sup>162</sup> était de la grandeur trouvée par l'observation, alors après rotation du déférent d'un quart de cercle et rotation, dans le même temps, du rotateur, d'un demi-cercle, l'inclinaison de l'épicycle s'inverserait ; mais il passe alors 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 déférents 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.

## 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'Apogée, alors les diamètres du déférent et de l'épicycle passant par l'Apogée et le périhélie 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'Apogée chez Mars.

Puisque le lieu de la dernière latitude Nord qui est milieu de l'arc entre les nœuds suit le lieu de l'Apogée chez Jupiter de vingt parts d'après Ptolémée et vingt-huit parts d'après nos observations, et qu'il précède le lieu de l'Apogée chez Saturne de cinquante parts, alors le diamètre dans les dernières latitudes n'est pas celui passant par l'Apogée du déférent et par l'Apogée du rotateur. Si nous supposons que les orbites sont à l'Apogée, puis qu'ils se meuvent, le déférent se mouvant de vingt parts, et le rotateur, du double, alors l'Apogée du déférent se déplace de vingt parts dans le sens des signes et devient le point D, et le diamètre EI devient celui où se situent les dernières latitudes ; le rotateur ayant tourné du double de cela, son Apogée devient le point F tel que l'arc DE soit comme l'arc EF, et le diamètre [du rotateur] coïncidant<sup>163</sup> avec la droite EI se situe aux dernières latitudes.

---

162. Nous avons mis en italique : Ibn al-Šāṭir envisage ici un modèle où l'épicycle serait incliné par rapport à l'orbe incliné et non par rapport au déférent (les plans du déférent, du rotateur et de l'orbe incliné seraient confondus).

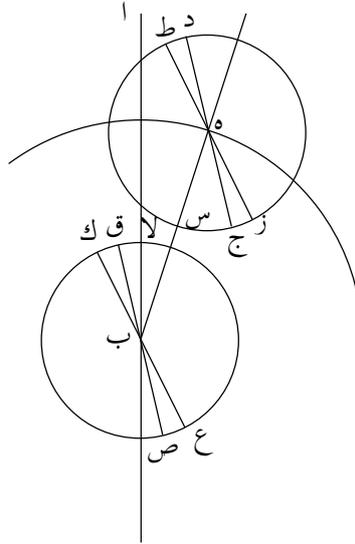
163. Il faudrait plutôt dire "parallèle à la droite EF".

وعلى ذلك اقمنا البرهان إذا توهمنا ذلك في زحل : وجعلنا الأفلاك يتحرك راجعةً إلى عند الموضع الذي قبل أوج زحل بخمسين جزء، الذي فيه نهاية عرضه كان ما يطابق الخط الخارج من مركز البروج إلى الموضع الذي فيه نهاية عرضه من اقطار الحامل ومن اقطار المدير، هما القطران العرضيان (أعني الذي عندهما نهاية العرض العرض).

### تنبيه

ظ ٤٤  
ظ ٣٣  
ظ ٣٦  
أ  
ج

لو فرضنا الحامل في سطح المائل وفرضنا المدير مائل عن سطح الحامل بقدر ما فرضنا ميل الحامل عن المائل، وفرضنا ميل التدوير عن المدير على حاله، كان الحاصل من الفرضين شئ واحد. فاعرف ذلك.

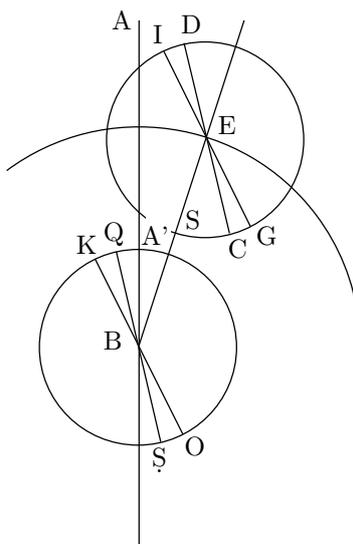


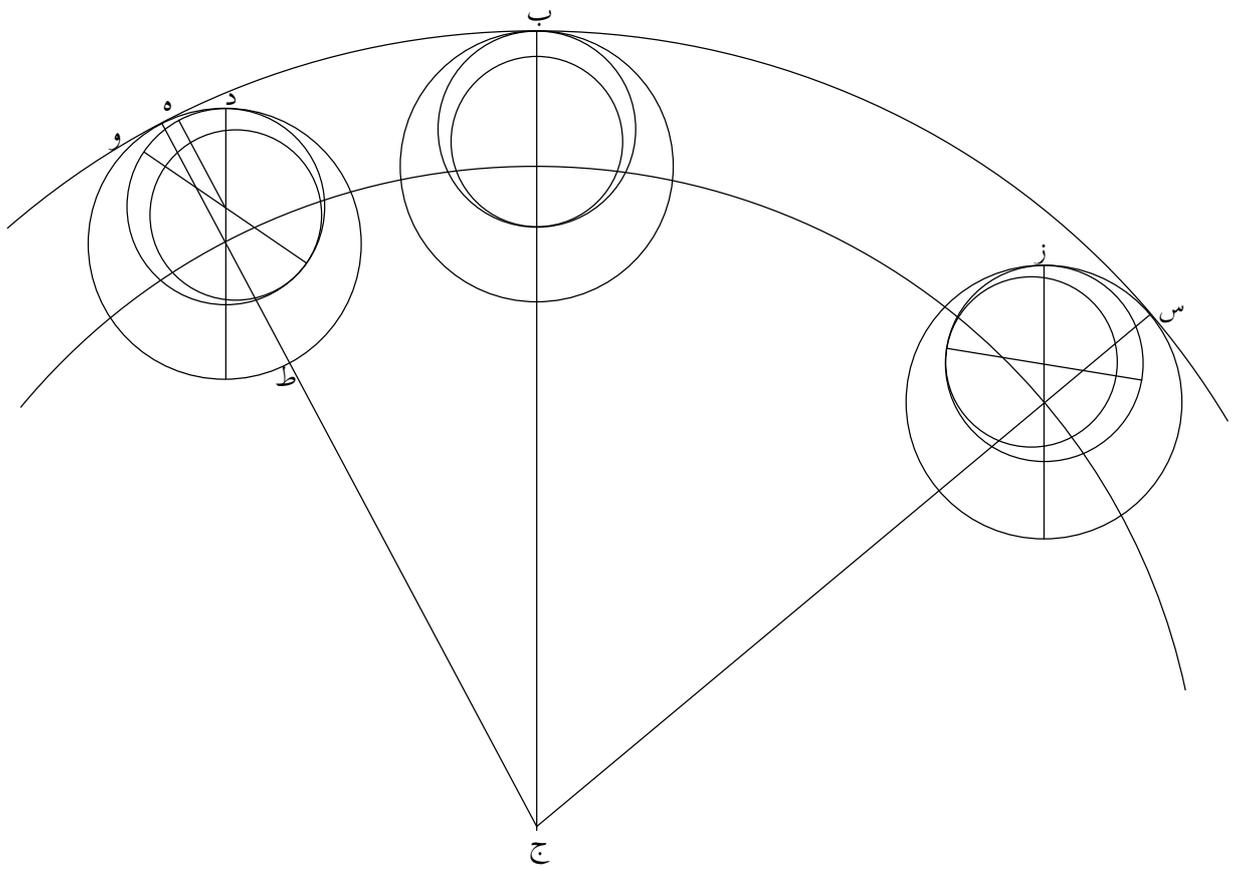
<sup>١</sup> اقمنا البرهان : ناقصة [د،ج] <sup>١</sup> يتحرك : تتحرك [د،ج] <sup>٢</sup> العرض العرض : العرض [د،ج] <sup>٣</sup> مائل : مائلاً [د،ج] <sup>٤</sup> عن المدير : في هامش [أ] <sup>٥</sup> الحاصل من الفرضين : الحامل من العرضين [د،ج]

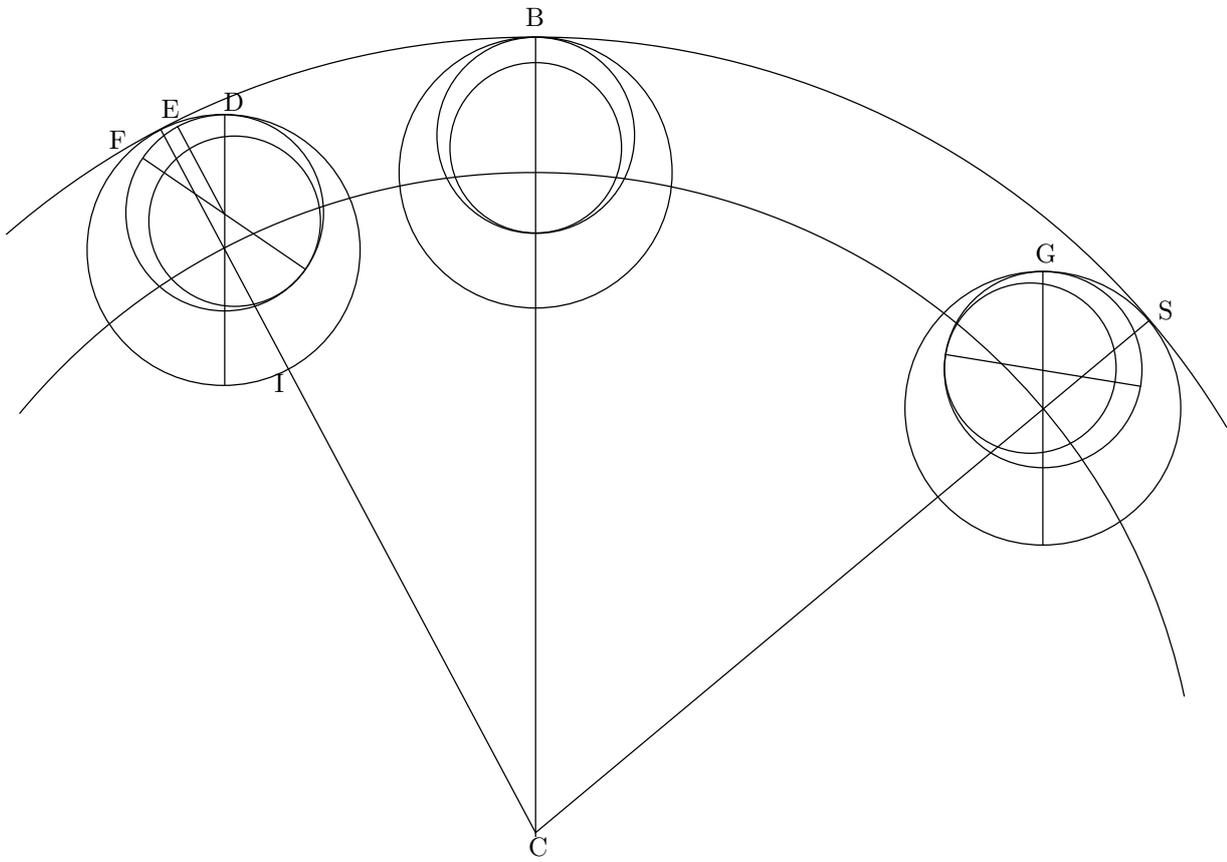
On fait de même pour Saturne : posons que les orbes se meuvent à l'envers et reviennent au lieu situé cinquante parts avant l'Apogée de Saturne, lieu de ses dernières latitudes. Parmi les diamètres du déferent et les diamètres du rotateur, ceux qui coïncident avec la droite issue du centre de l'écliptique dans la direction des dernières latitudes sont les deux *diamètres des latitudes* (j'entends par là, les diamètres en lesquels sont les dernières latitudes). Voir la figure.

### 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 est, alors le résultat de ces deux hypothèses serait le même. Sache cela.







## الباب الخامس والعشرون في حركات الزهرة وعطارد في العرض وفيه فصلان

### الفصل الأوّل في عروض الزهرة

وفي مذهبان لبطلميوس  
الأوّل ما ذكره في **المجسطي** حيث قال أنّ مائل الزهرة يقرب ويبعد عن سطح البروج. فلا يزال مركز تدوير الزهرة بين العقدين في سطح فلك البروج، وفي غير العقدين شماليّ عن سطح البروج بمقدار أكثره سدس جزء ويقابل ميل مائل الزهرة الشماليّ عند أوجها. وإذا كان مركز تدويرها في العقدين، أعني <sup>د ٤٥</sup> عند تريبع الأوج، كان القطر القائم على القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه <sup>١٠</sup> 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** <sup>١ ٣٤</sup> جزأين ونصف ويعرف **بميل التدوير**. وإذا كان مركز التدوير في الأوج، كان القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه في سطح المائل والقطر القائم عليه مائل عن سطح البروج بحيث يكون النصف الذي من الأوج إلى الحضيض من التدوير شماليّاً عن المائل والآخر جنوبيّاً عنه، ومقدار هذا الميل عن سطح البروج ثلاثة أجزاء ونصف جزء ويعرف **بميل الوراب**؛ هذا مذهبه في **المجسطي**. وقد صحّح بعض المتأخّرين بالرصد، فوجد ميل التدوير مثل ميل الوراب وعليه حساب جداول عرض الزهرة عند محققي هذا الفنّ. <sup>٢٠</sup>

**ومذهبه الثاني** ما ذكره في كتابه المعروف **بالاقتصاص**، وهو بعد الأوّل أنّ مائل الزهرة ثابت الميل في الجهتين، ونهاية ميله سدس جزءاً في الشمال ومثله في الجنوب، وميل التدوير فيه في الحالتين ثلاثة أجزاء ونصف جزء.

<sup>٢</sup> في حركات الزهرة وعطارد في العرض وفيه فصلان: في هامش [د]، في حركات الزهرة وعطارد وفيه فصلان [ج] <sup>٣</sup> الفصل: ناقصة [ج] <sup>٤</sup> عروض: حركات [ج] <sup>٥</sup> ميل: مثل [د، ج] <sup>٦</sup> شماليّاً: شماليّ [أ، ج] <sup>٧</sup> جنوبيّاً: جنوبيّ [أ، ج] <sup>٨</sup> جزء: ناقصة [أ، د]

## Chapitre vingt-cinq

### Mouvements de Vénus et Mercure en latitude, en deux parties

#### Première partie

#### Les latitudes de Vénus

Chez Ptolémée, il y a deux théories à ce sujet.

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 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'Apogée). Quand le centre de son épicycle est aux nœuds (c'est-à-dire aux quadratures de l'Apogée), 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'Apogée, 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'Apogée 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.

Sa *seconde théorie* est celle qu'il expose dans son livre connu sous le nom des *Hypothèses* 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.

ولم يمكن بطلميوس ولا غيره إلى وقتنا هذا وضع أصول تحرك التدوير والمائل بالصفة المذكورة لاختلاف ميل التدوير في الحالتين واختلاف القطرين و ٣٧ ج الذين يكون أحدهما مائلاً والآخر إما في سطح البروج أو في سطح المائل. وقد تيسر بحمد الله تعالى.

وهو أن يفرض نهاية ميل المائل في الشمال عند أوج الزهرة ونهايته سدس جزء، وهو ميل ثابت المقدار في الشمال ومثله في الجنوب، وهو يتحرك، فينتقل مع انتقال الأوج وينتقل بانتقاله العقدتين الرأس والذنب. ونفرض مركز التدوير والمدير على الخط المار بالأوج، ونفرض الحامل في سطح المائل، ونفرض ذروة المدير الوسطى مائلة إلى الجنوب عن سطح المائل زاوية مقدارها خمس دقائق والنصف من المدير الذي ابتداءه من الأوج وهو الأول شمالي ١٠ عن سطح المائل زاوية عن مركزه مقدارها ثلاثة أجزاء. ونفرض ذروة التدوير مائلة عن ذروة المدير إلى الشمال خمس دقائق، فيبقى قطر التدوير الأوج في سطح المائل. ونفرض نصف التدوير الأول، وهو الذي ابتداءه من الأوج، مائلاً عن نصف المدير المائل إلى الشمال نصف جزء إلى جهة الشمال أيضاً.

وإذا تقرّر ذلك ودارت الأفلاك، فدار المائل ربع دائرة ودار الحامل ربع 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 ٣٤ أ **المجسطي.**

وأما ما صحّحه المتأخرون من كون ميل التدوير في العقدتين وفي الأوج والحضيض ثلاثة أجزاء ونصف جزء، وتصور مذهب المذكور في الاقتصاص أن نفرض المائل على ما ذكر في المذهب الأول وفي سطحه الحامل.

١ أصول: أصولاً [د،ج] ٢ مائلاً: مائل [أ] ٣ ونفرض: ونفرض ونفرض [أ]، ويفرض [د،ج] ٤ ونفرض: ويفرض [ج] ٥ المدير: التدوير [ج،د،أ] ٦ الأوج: الأوجي [د] ٧ الذي: ناقصة [ج] ٨ مائلاً: مائل [أ،ج] ٩ الأوجي: الأوج [ج] ١٠ مائلاً: مائل [أ،ج] ١١ ذكر: ذكره [ج] ١٢ نفرض: يفرض [د،ج]

Ni Ptolémée ni aucun autre n'avait encore pu établir les principes 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.

À cet effet, on supposera que l'inclinaison maximale de l'orbe incliné vers le Nord est atteinte à l'Apogée 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'Apogée, 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'Apogée. Supposons le déférent 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'Apogée (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'Apogée reste donc dans le plan de l'orbe incliné. Supposons la première moitié de l'épicycle (celle qui commence à l'Apogée) inclinée d'un demi-degré vers le Nord par rapport à la moitié du rotateur inclinée vers le Nord.

Ceci étant admis, que les orbes 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*.

Quant à l'amendement fait par les Modernes (pour qui l'épicycle est incliné aux nœuds, à l'Apogée et au périégée de trois degrés et demi), et la théorie qu'expose Ptolémée dans les *Hypothèses*, nous supposerons l'orbe incliné comme on l'a indiqué dans la première théorie. Le déférent est dans le plan de l'orbe incliné.

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 صحَّحه المحققون.  
ونهاية ميل التدوير في الجنوب ح م وفي الشمال آ ج وأكثر ميل الوراب <sup>ج</sup> <sup>٢٧</sup> ظ  
ب ل. ونهاية العرض للمائل في الشمال أبداً سدس جزء. والرأس للزهرة قبل الأوج ربع دور والذنب بعد الأوج ربع دور. ونهاية العرض في الشمال والجنوب للمائل في الأوج والحضيض.

١٠ تنبيهه. جميع ما تكلفوه المتقدمون والمتأخرون في أمر عرض الزهرة من <sup>د</sup> <sup>٤٥</sup> ظ  
تقارب المنطقتين وإختلاف ميل فلك التدوير محال وليس يخفى على من له اطلاع على كتب محققى هذا الفن.

## الفصل الثاني في عروض عطارد

وفيها مذهبان لبطلميوس : الأول الذي ذكره في المجسطي، والثاني الذي ذكره في الاقتصاص. <sup>١٥</sup>

أمّا مذهبه الأول أن نفرض فلکاً مائلاً عن الممّثل نهاية ميله عند الأوج إلى الجنوب نصف وربع 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 يميل إلى الجهة الأخرى بذلك المقدار وكذلك الجزء المقابل له ؛ وهذا محال : لا يمكن أن يتصور على هيئة بطلميوس ولم يتعرّض هو ولا غيره لمحرّك هذه الحركة. <sup>٢٠</sup>

<sup>١</sup> على : عن [د،ج] <sup>٢١</sup> وذروة التدوير... خمس دقائق : في الهامش [د،ج] [أ ج : آ ح [د]  
<sup>٢</sup> والجنوب : في هامش [أ] <sup>١٠</sup> وليس : ليس [د،ج] <sup>١٠</sup> يخفى : مخفيّ [د] <sup>١٤</sup> والثاني : الثاني [ج]  
<sup>١٧</sup> ويصير : غير مقروء [أ] <sup>١٦</sup> يميل : تميل [د،ج] <sup>١١</sup> على : على على [أ]

À l'Apogée, 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 rotateur <sup>164</sup> commençant à l'Apogée est inclinée vers le Nord de trois degrés et demi. C'est la voie sur laquelle s'appuie l'amendement fait par les Modernes.

L'inclinaison maximale de l'épicycle est, vers le Sud, 8; 40, et vers le Nord, 1; 3, quand l'inclinaison maximale de biais <sup>165</sup> est 2; 30. La dernière latitude Nord est toujours, pour l'orbe incliné, un sixième de degré. La tête de Vénus précède l'Apogée 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'Apogée et au périégée.

*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

Chez Ptolémée, il y a deux théories, la première dans l'*Almageste* et la seconde dans les *Hypothèses*.

*Première théorie.* Nous supposons un orbe incliné par rapport au parécliptique, d'inclinaison maximale atteinte en l'Apogée, vers le Sud, un demi-degré et un quart. Cette situation à l'Apogée 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.

---

164. Ici, le manuscrit porte le mot « épicycle », *cf.* texte arabe. C'est pourtant le plan du rotateur qui doit subir l'inclinaison de 3°30' ; l'épicycle en hérite par composition.

165. Il est difficile de donner un sens précis à ces deux valeurs. Peut-être 1°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°30' par rapport au plan de l'écliptique, et on a

$$1^{\circ}3' \simeq 2^{\circ}30' \times \frac{43;33}{60 + 43;33}.$$

La valeur 8°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 ».

ثمّ فرض إذا كان مركز التدوير في منتصف ما بين العقدتين في الأوج عند نهاية العرض الجنوبي أنّ القطر المارّ بأوج التدوير وحضيضه في سطح المائل والقطر الآخر مائل بحيث يكون النصف الأوّل من التدوير جنوبيًا والنصف الآخر شماليًا وزاوية هذا الميل سبعة أجزاء، ويسمّى الـ **الوراب**. وإذا كان مركز التدوير في العقدتين، كان القطر القائم على الأوج في سطح البروج والقطر الأوجي مائل عن سطح البروج، أمّا حضيضه فإلى جهة الشمال وأوجه إلى جهة الجنوب؛ و ٣٥ أ وزاوية هذا الميل ستة أجزاء وربع جزء، ويعرف بميل التدوير؛ فلا يزال مركز التدوير إمّا جنوبي عن سطح البروج وإمّا فيه عند العقدتين. هذا مذهبه في **المجسطي**.

١٠ ومذهبه الثاني الذي ذكره في **الاقتصاص** أن مائل عطارد ثابت الميل في ٣٨ ج الجهة الجنوبية عن الأوج ومقداره سدس جزء والطرف الآخر مائل إلى الشمال عند الحضيض سدس جزء. وإذا كان مركز التدوير فيما بين العقدتين، كان القطر المارّ بالأوج مطابقًا للمائل والقطر الآخر مائل بالنصف الثاني من التدوير إلى الشمال، ومقدار زاوية الميل ستة أجزاء ونصف جزء، ويعرف بميل الـ **الوراب**. وإذا كان مركز التدوير بين العقدتين، كان القطر القائم على الأوجي في سطح البروج والقطر الأوجي مائل، حضيضه إلى الشمال وأوجه إلى الجنوب، وزاوية هذا الميل مثل ميل الـ **الوراب**؛ وذلك ستة أجزاء ونصف. هذا مذهبه الثاني، ولم يمكن بطليموس ولا غيره وضع أصول يمكن تصوّر هذه الميول فيها ولا تخلّ بالحركات الطولية.

٢٠ وقد أمكننا تصوّر هذين المذهبين ولله الحمد. أمّا المذهب المعتمد عليه وهو أن نفرض نهاية ميل المائل الجنوبي عند الأوج والشمالي عند الحضيض، ونهاية هذا الميل في **الاقتصاص** سدس جزء.

١ عند: ناقصة [د،ج] ٢ جنوبيًا: جنوبي [أ،د،ج] ٣ والنصف الآخر: والآخر [د،ج] ٤ شماليًا: شمالي [أ،د،ج] ٥ وأوجه إلى: وأمّا أوجهه فإلى [د]، وأمّا أوجهه إلى [ج] ٦ مطابقًا: مطابق [أ،د] ٧ الأوجي: الأوج [د،ج] ٨ أجزاء: ناقصة [أ،د] ٩ الطولية: الطولية [د] ١٠ أمكننا: أمكننا [ج] ١١ تصوّر: تصوّر [د،ج] ١٢ هذين: هذا [أ،د] ١٣ والشمالي: الشمالي [ج] ١٤ ونهاية: ونهايته [ج]

D'autre part, quand le centre de l'épicycle est au milieu de l'arc entre les nœuds, à l'Apogée, à la dernière latitude Sud, il faut supposer que le diamètre passant par l'Apogée 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*.

*Seconde théorie.* C'est la théorie des *Hypothèses*. Là, l'inclinaison de Mercure est constante, vers le Sud à l'Apogée, d'une grandeur de six degrés (et l'autre extrémité, au périégée, est donc inclinée vers le Nord de six degrés). Quand le centre de l'épicycle est entre les deux nœuds, le diamètre passant par l'Apogée 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 principes permettant de concevoir ces inclinaisons sans perturber les mouvements en longitude.

Nous avons pu concevoir ces deux théories ; gloire à Dieu.

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'Apogée et vers le Nord au périégée (cette inclinaison maximale est de six degrés dans les *Hypothèses*).

ونفرض ذروة المدير مائلة إلى الشمال خمس دقائق ونصف المدير الثاني مائل إلى الجنوب وزاوية الميل عن سطح المائل ستة أجزاء ونصف وثمان ذروة التدوير مائلة عن ذروة المدير إلى الجنوب خمس دقائق ونصفه الثاني مائل إلى الشمال عن سطح المائل سبعة أجزاء، فيكون مائلاً عن سطح المدير ربع وثمان جزء. فإذا تحركت الأفلاك أمّا المائل فربع دور وكذلك الحامل وأمّا التدوير

فنصف دائرة، فيصير ميل القطر ستة وربع فيصير القطر الأوجي مائلاً ستة وربع والقطر القائم عليه في سطح البروج. وهكذا كان في الرصد، وهذا الوجه هو المعتمد عليه ولا يلتفت إلى ما قاله بطليموس بأن مركز التدوير يكون جنوبياً

أبداً، فإنه رجع عن ذلك في **الاقتصاص**، فاعرف ذلك.

و ٤٦ د

وأما تصوّر المذهب الثاني أن نفرض المائل على الصفة المذكورة المتقدمة بحيث يقاطع الممثل على العقدتين ويكون نهاية الميل الجنوبي عند الأوج والشمالي 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 ستة أجزاء ونصف جزء، ويعرف 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 ستة أجزاء ونصف. وإذا تصوّرت ذلك، ثمّ تحركت الأفلاك إلى أن صار مركز التدوير في العقدة،

طابق القطر القائم على الأوجي لسطح البروج، وبقي القطر الأوجي مائلاً عن سطح البروج ستة أجزاء ونصف جزء ويكون النصف الذي فيه أوجه جنوبياً والآخر شماليّاً. هكذا يجب تصوّر حركات الكواكب في العرض بحيث لا تخلّ بالحركات الطولية.

ظ ٣٥ أ  
ظ ٣٨ ج

١ الثاني : الأول [د] <sup>٨</sup> يلتفت : تكثر [د]، تكثر [ج]، وكتب في هامش [ج] «يلتفت»  
أيضاً <sup>١٠</sup> نفرض : نفرض [ج] <sup>١١</sup> الممثل : للممثل [د،ج] <sup>١٣</sup> مائلاً : مائل [أ] <sup>١٤</sup> الثاني : الأول [د] <sup>١٤</sup> مائلاً : مائل [أ،ج] <sup>١٧</sup> مائلاً : مائل [أ] <sup>١٩</sup> مائلاً : مائل [أ] <sup>٢٠</sup> جنوبيّاً : جنوبي [أ،ج] <sup>٢١</sup> شماليّاً : شمالي [أ،ج] <sup>٢٢</sup> الطولية : الطولية [د]

Nous supposons que l'apogée du rotateur est incliné vers le Nord de cinq minutes d'arc, que la seconde 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*. Sache cela.

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'Apogée et vers le Nord au périégée. Nous supposons que le centre de l'épicycle est à l'Apogée 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'Apogée 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.

## 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 وثلاثي، كان أكثر ما يخلّ بإهمال النقل من المدار العرضي إلى منطقة البروج أكثره لكلّ درجة من العرض دقيقة وثلاث وهذا مقدار يسير. وإن شئت فانقل، وطريق ذلك أن تأخذ بعد 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 جزئاً 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 انصاف الارباع وينعدم في العقدتين وعند نهاية العرض في ٣٩ ج الجهتين - والله تعالى أعلم. ١٥

٢ يخلّ: تخلّ [ج] ٣ كثير: كبير [د] ٤ بمثل: ممثل بمثل [ج] ٥ مقوم: في هامش [أ]  
٦ المدار: المدار [د،ج] ٧ فخذ: خذ [د،ج] ٨ فاضربه: اضربه [ج] ٩ فاقسمه: اقسمه [ج]

## 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 déplacement<sup>166</sup> 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, l'omission de l'équation du déplacement des trajectoires selon les latitudes à 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.

Calcule le déplacement si tu le souhaites. En voici la méthode. Prends l'élongation entre l'astre vrai et la tête 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-vingt 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.

---

166. 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.

## الباب السادس والعشرون في سبب سرعة الكواكب وبطؤها ووقوفها ورجوعها

قد تقدّم أنّ مركز التدوير على محيط المائل، وحركة المائل إلى التوالي، وحركة التدوير في أعلاه إلى التوالي أيضًا. فإذا كان الكوكب في النصف الأعلى ورجوعه 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.

وإذا صورنا فلك تدوير، وأخرجنا إلى مركزه خطأً مستقيمًا من مركز فلك البروج على هذه الصورة، فلا تخلو أن تكون نسبة حركة التدوير إلى حركة المائل أمّا أصغر من نسبة الخطّ الواصل بين مركز المائل وبين حضيض التدوير إلى نصف قطر التدوير، وأمّا مساوية لها، وأمّا أكثر منها.

**فإن كانت أصغر** فلا يحدث للكوكب بسبب الحركتين إلا السرعة في القطعة البعيدة والبطؤ في القطعة القريبة، لأنّ الحركة في القطعة البعيدة مجموع الحركتين، وفي القريبة فضل حركة المائل على حركة التدوير. وإنّما لا يحدث للكوكب الوقوف والرجوع، لتوقف الوقوف على وجود نسبة في الخطوط المذكورة مساوية كنسبة الحركتين، والرجوع موقوف على وجود نسبة أصغر مع أن وجدان مثلها محال لأنها أصغر من أصغر تلك النسب فلا يوجد مثلها ولا أصغر منها.

**وإن كانت النسبة مساوية** حدث للكوكب في منتصف زمان البطؤ ووقوف، وهو عند كونه في البعد الأقرب على الخطّ المذكور.

<sup>٨</sup> واقف: واقفًا [د، ج] <sup>٩</sup> راجع: راجعًا [د، ج] <sup>١٠</sup> مستقيم: مستقيمًا [د، ج] <sup>١٢</sup> تخلو: تخلوا [أ] <sup>١٨</sup> الوقوف والرجوع: الرجوع والوقوف [ج] <sup>١٨</sup> الوقوف: الوقوف [ج] <sup>١٨</sup> نسبة: نسبته [د، ج]

## Chapitre vingt-six

### Cause de la vitesse, de la lenteur, des stations et des rétrogradations des astres.

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.

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 périégée de l'épicycle au rayon de l'épicycle.

*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. L'astre n'a alors ni station ni rétrogradation, car il y a station quand le rapport des droites mentionnées est égal au rapport des deux mouvements, et la rétrogradation est établie quand le rapport est inférieur (ce rapport est, [au périégée de l'épicycle], le plus petit de ces rapports, donc un [autre] rapport, égal ou inférieur, ne se peut trouver).

*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.

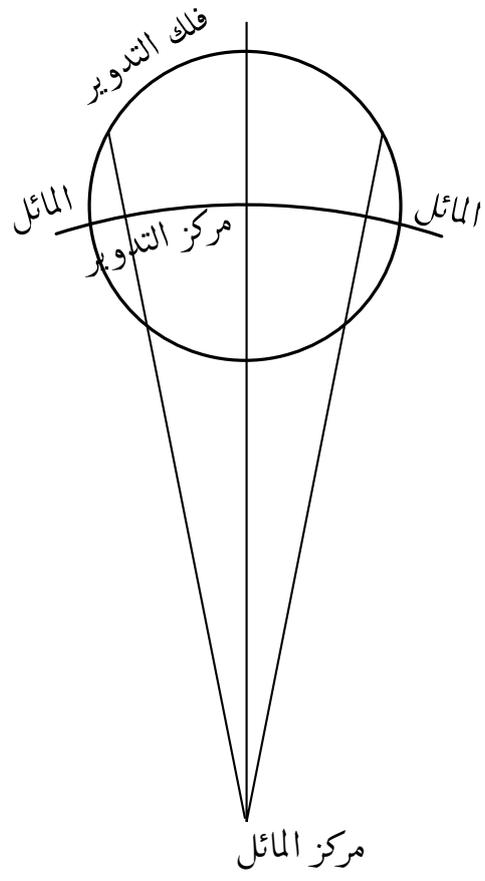
فلا يكون له رجوع، لتوقف الرجوع على وجود نسبة من الخطوط أصغر من <sup>ظ ٣٩ ج</sup> نسبة الحركتين، لكن هذه النسبة، لمساواتها لأصغر تلك النسب، تكون أصغر <sup>ظ ٣٦ أ</sup> منها ممتنع : لأن أصغر النسب في التدوير عند مرور الخط بمركزه. فلا يكون للكوكب رجوع.

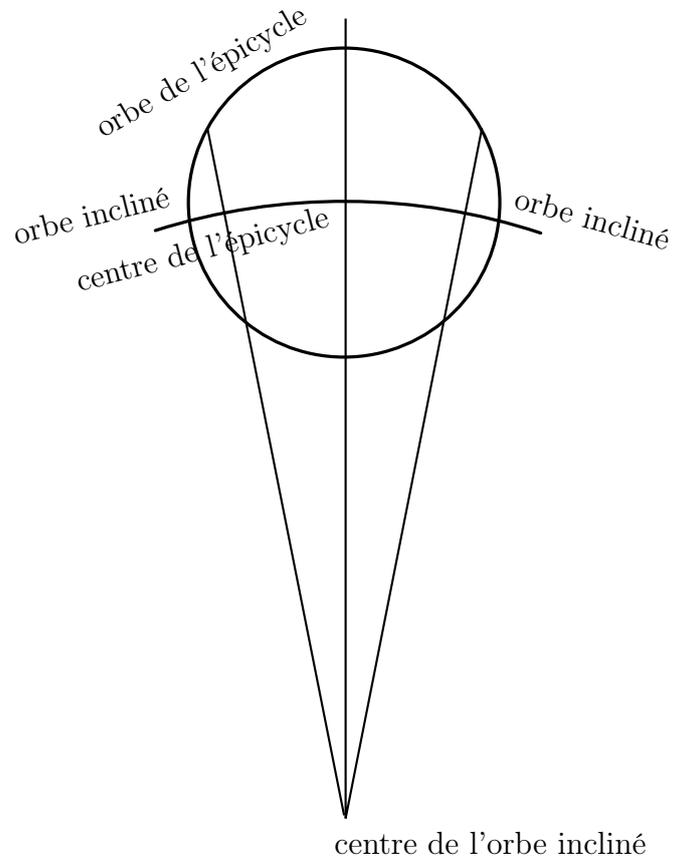
وإن كانت النسبة أكثر حدث للكوكب رجوع في القطعة القريبة، بين وقوفين. ويكون موضوع الوقوفين عند الخطين الخارجين من مركز البروج إلى جنبتي التدوير، بحيث يكون نسبة حركة التدوير إلى حركة المائل مساوية لنسبة ما وقع من كل واحد من تلك الخطين بين مركز المائل ومحيط التدوير من جهة الحضيض إلى نصف الوتر الواقع من تلك الخطين في التدوير. فيكون للكوكب، عند وصوله في القطعة القريبة إلى أول الخطين (ويقال له المقام الأول)، ويقال أن 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 أن 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 من التدوير. وأسرع الاستقامة عند الذروة المرئية في منتصف قوس الاستقامة. وأسرع الرجوع عند الحضيض المرئي، في منتصف قوس الرجوع.

<sup>١</sup> لتوقف : لتوقف [أ] <sup>١</sup> نسبة : نسبته [ج] <sup>٢</sup> لمساواتها : لمساواتها [د] <sup>٣</sup> بمركزه : مركزه [د،ج]  
<sup>٦</sup> موضوع : موضع [د] <sup>٨</sup> تلك : هذين [د،ج] <sup>١١</sup> متدرج : مندرج [ج] <sup>١٢</sup> متدرجاً : مندرجاً [د،ج]  
<sup>١٤</sup> واقفاً : واقف [د] <sup>١٦</sup> متدرجاً : مندرجاً [ج] <sup>١٩</sup> في : ناقصة [أ]

Il n'y aura pas rétrogradation, car la rétrogradation est établie quand le rapport des droites est inférieur au rapport des deux mouvements, mais ce rapport, étant égal au plus petit de tous les rapports, ne peut en avoir un qui le minore : 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.

*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 périhélie à la demi-corde de l'épicycle située sur cette droite. 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 périhélie 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 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 périhélie apparent, au milieu de l'arc rétrograde.





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 لإحدهن رجوع ولا وقوف، بل بطؤ وسرعة، على ما أوضحت لك. والضابط هي النسبة و٤٠ ج المتقدمة. واعلم أنّ الرجوع والاستقامة مركبة من الزوايا المنفعلة عن الحركات المستوية. فتسقط الأقلّ من الأكثر : فإن زاد ما إلى التوالي، فإنّ الكوكب مستقيم، وإن نقص، كان راجعاً. وإن تكفان الزائد بالناقص، رُئي الكوكب و٥٧ د واقفاً.

تنبيه. الثلاثة العلوية تقارن الشمس في ذري التداوير (وتسمّى حريقاً)، وتقابلها في حضيضات التداوير. والسفلية تقارن الشمس في ذري التداوير وحضائضها و٣٧ إ (وتسمّى حريقاً أيضاً). والله تعالى أعلم. ١٠

---

٢ أكثر: أصغر [أ،د،ج] ٣ أوضحت: أوضحنا [ج] ٦ تكفان: تكفا [د،ج]

Le rapport de la droite entre le centre de l'écliptique et le périhélie 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 soustrait 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.

*Remarque*<sup>167</sup>. Les trois planètes supérieures sont en conjonction avec le Soleil aux apogées de leurs épicycles (on appelle cela « foyer »), et en opposition avec le Soleil aux périhélies de leurs épicycles. Les planètes inférieures sont en conjonction avec le Soleil aux apogées et aux périhélies de leurs épicycles (on appelle ça aussi un « foyer »). Dieu est le plus savant.

---

167. 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.

## الباب السابع والعشرون ف ظهورات الكواكب الخمسة المتحيّرة واختفائها

أمّا الثلاثة العلويّة فإنّ، إذا كان انحطاط الشمس تحت الأفق عند الطلوع لزحل نا . وللمشتري بي . وللمريخ يال، كانت في حدود ظهورها. وظهر هذه الكواكب إذا كانت في مقابلة الشمس، فإنّ قوس الرئية يكون قدر النصف من القسي المذكورة.

وأما الزهرة وعطارد فقوس رئيتهما، لأوّل ظهورهما بالعشيّات (وآخر رئيتهما بالغدوات)، سبعة أجزاء للزهرة وإثنا عشر جزءاً لعطارد. وقوس رئية الزهرة وعطارد لظهورهما بغدوات (وآخر رئيتهما بالعشيّات) للزهرة خمسة أجزاء ولعطارد سبعة أجزاء. وأمّا سبب نقص القوسين، فلكون هذين الكوكبين حينئذٍ قريبين من حضيض التدوير الموجب عظم جرميهما.

وهذه الحدود إذا كان مركز التدوير في البعد الاوسط؛ ويختلف باختلاف ذلك واختلاف عروض الكواكب ومن اسباب آخر. أوضحنا ذلك مع تفرّعات هذا الكتاب في كتابي المسمى بتعليق الأرصاد.

<sup>٢</sup> فإنّ: فانه [د،ج] <sup>٤</sup> في: ناقصة [د،ج] <sup>٩</sup> بغدوات: بالغدوات [د،ج] <sup>١١</sup> جرميهما: جزء منهما [د،ج]، وكتب «جرمهما» في هامش [د]

## Chapitre vingt-sept

### Visibilité et invisibilité des cinq astres errants

Quand l'abaissement du Soleil sous l'horizon au lever<sup>168</sup> est, pour Saturne 11;0, pour Jupiter 10;0, pour Mars 11;30, *les trois planètes supérieures* sont à la limite de leur visibilité.

Quand elles sont en opposition avec le Soleil, l'arc de visibilité mesure la moitié des arcs ci-dessus.

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 périhélie de l'épicycle.

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, comme nous l'avons expliqué avec l'élaboration de ce livre dans notre livre *Commentaire des observations*.

---

168. 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.

## الباب الثامن والعشرون في سبب خسوف القمر وكسوف الشمس وفيه فصلان

### الفصل الأوّل في سبب خسوف القمر

٥. قد ثبت أنّ القمر جسم كرويّ كثيف مظلم، تحت نور الشمس. ولا ينقل شعاعها منه؛ وهو مع كثافته صقيل ينعكس عنه شعاع الشمس. وينسب الضوء إليه، وهو في الحقيق شعاع الشمس المنعكس من جرم القمر. فيكون الوجه المقابل للشمس نيرًا أبدًا والآخر مظلمًا أبدًا.
١٠. ففي إهلاله يكون المرئي منه مقدار ما انحرفه النصف المضى المقابل للشمس. وفي كلّ ليلة يزداد الانحراف إلى المقابلة؛ فيكون الوجه المقابل للشمس مرئيًا بأسره لتوسّط البصر بين النيرين. ثمّ يعود الأمر: فينقص المرئي من النير إلى اجتماع النيرين. ثمّ يعود الأمر من الأوّل.
- وأمّا سبب الخسوف في القمر فهو دخوله في مخروط ظلّ الأرض. ولا يكون ذلك إلا في مقابلة النيرين.
١٥. شرط 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 وثلاثة دقائق، لم يتخسّف ونفذ ضوء الشمس إلى سطحه فرئي على عادته نير.
٢٠. والضابط أنّ عرض القمر عند مقابلة الشمس: أمّا إن يكون أكثر من نصف قطري القمر وظلّ الأرض فلا تقع للقمر خسوف. وأمّا إن يكون مساويًا لنصف القطرين فيماس القمر محيط دائرة الظلّ، من خارج، من جهة عرض القمر، ولا ينخسف أيضًا. وأمّا إن يكون العرض أقلّ من نصف القطرين وحينئذٍ ينخسف.

٢ في سبب خسوف القمر وكسوف الشمس وفيه فصلان: في الهامش [أ] ٣ الفصل الأوّل: في الهامش [أ] ينقل: ينفذ [د،ج] ١١ مرئيًا: مرئيًا [ج] ١٣ ظلّ الأرض: الظلّ [ج] ١٥ شرط: بشرط [ج] ١٧-١٨ وانخسف منه مقدار ما يدخل منه في مخروط ظلّ الأرض: في الهامش [أ]، وانفسف منه مقدار ما يدخل في مخروط ظلّ الأرض [د،ج] ١٩ نير: نيرا [ج] ٢٢ فيماس: فيما بين [ج] ٢٣ أيضًا: أبدًا [ج]

## Chapitre vingt-huit

### Cause des éclipses de Lune et de Soleil, en deux sections

#### Première section

##### La cause des éclipses de Lune

On a établi que la Lune est un corps sphérique opaque obscur, sous la lumière du Soleil. Ses rayons ne sont pas transmis par elle ; malgré son obscurité 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 réfléchis par le corps de la Lune. La face devant le Soleil est toujours lumineuse et l'autre face est toujours obscure.

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'observateur 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.

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 se propage jusqu'à sa surface, et elle apparaît comme lumière en étant réfléchie.

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.

لكن إن كان العرض أكثر من نصف قطر الظلّ، انخسف منه أقلّ من نصفه؛ وإن كان مساوياً له، مرّت دائرة الظلّ بمركز صفحة القمر وانخسف نصفه؛ وإن 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 من 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.

ويكون بدؤ الظلام والانجلاء من ناحية المشرق والجنوب إن كان عرض القمر شمالياً، ومن ناحية المشرق والشمال إن كان العرض جنوبيّاً، وإن لم يكن له عرض فحاذي درجة الطالع.

و ٤١ ج

والمظلم من القمر أبداً ذو حدبتين احدهما (وهي التي في خلاف جهة العرض) من القمر، والحدبة الأخرى من دائرة الظلّ. والمستنير منه أبداً هلاله الشكل محدبه من القمر ومقره من دائرة الظلّ.

## الفصل الثاني في سبب كسوف الشمس

وهو عدم إضاءة الشمس على العناصر ممّا يلينا، في الوقت الذي في شأنه تضى فيه.

وسببه توسّط القمر بيننا اي بين البصر والشمس : فيحجب نور الشمس عن البصر لكثافته. فإذا قطع المسافة التي بين البصر والشمس بحركته، زال الكسوف. ويقع ذلك في الإجتماعات النهارية التي يكون القمر فيها على محاذة الشمس والبصر. وإذا لم يدخل في محاذة البصر للشمس، لم ينكسف الشمس في ذلك الإجتماع.

١ أكثر: أقلّ [أ،د،ج]، وكتب «أكثر» في هامش [ج] ٢ وإن كان مساوياً... وانخسف نصفه : ناقصة [د،ج]، وكتب في هامش [ج] «وإن كان العرض مساوياً لنصف قطر الظلّ انخسف نصف جرم القمر» ٣ يمكن: يكن [ج] ٤ في: من [د،ج] ٥ بيننا اي: ناقصة [أ] ٦ ويقع: وهو يقع [د]

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 ; 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 proportionnelle au 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.

Le commencement de l'assombrissement suivi 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 [cela dépend de son sens de variation].

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

[Le Soleil est éclipsé] quand il cesse d'éclairer les éléments proches de nous, à un instant où d'habitude il les éclaire.

[Ces éclipses] sont causées par l'interposition de la Lune entre l'observateur et le Soleil : elle dérobe alors la lumière du Soleil aux regards de l'observateur à cause de son opacité. Dès qu'elle traverse l'intervalle entre l'observateur 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'observateur. Si elle n'entre pas dans l'alignement avec l'observateur par rapport au Soleil, celui-ci ne s'éclipsera pas pendant cette conjonction.

والمعتبر هو الإجماع المرئي المعدل باختلاف المنظر : فمن هنا يعلم أنه <sup>١</sup> ٣٨  
يمكن أن يقع كسوف بالقياس إلى قوم دون آخرين مع كون الشمس فوق  
أفق كلٍّ منهما، وذلك لإختلاف وضع القمر من الأبصار باختلاف المساكن.  
ويختلف باختلاف البلاد : امكن أن ينكسف في بلدٍ ولا ينكسف في الآخر،  
أو تنكسف في الآخر لكن يختلفان قدرًا أو جهة أو زمانًا.  
واعلم أن قطري النيرين أمّا أن يتساويا في المنظر، أو يختلفا. فإن تساويا،  
فالعرض المرئي الذي هو أقلّ من نصف قطري النيرين يكون مساويًا لنصف  
قطر الشمس، فينكسف نصفها؛ أو أكثر منه، فينكسف أقلّ من النصف؛ أو  
أقلّ، فينكسف أكثر من النصف؛ وإن لم يبق العرض المرئي، انكسف كلّها  
ولا يكون لها مكث. وإن اختلف قطري النيرين بالنظر؟ وكان قطر الشمس  
أعظم في الرئية من قطر القمر بالرئية؛ فالعرض المرئي المذكور إن كان أكثر  
من نصف قطر الشمس، انكسف منها أقلّ من النصف؛ وكذا إن كان مساويًا  
له، انكسف منه أقلّ من نصفها، نقدر 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 مرئي ألبتة، في وسط زمان الكسوف <sup>٤</sup> ٤١ ج  
صارت الحلقة مستديرة، حول جرم القمر، إستدارة متساوية؛ وإن كان بين  
هاتين الحالتين؛ صارت مختلفة النحت. ويكون غلظ النور فيها وفي الهلالية  
إلى خلاف جهة العرض المرئي. وإن كان قطر القمر في الرئية أعظم من قطر  
الشمس، فالمرئي المذكور إن كان مساويًا لنصف قطر القمر، انكسف منها  
نصفها لمرور 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، انكسف كلّها ولم يكن لها مكث؛ وإن كان أقلّ  
من الفضل أيضًا، مكثت بحسب ذلك؛ وغايته إن لا يبقى للقمر في وسط  
زمان الكسوف عرض مرئي ألبتة، وهو يقدر ما يقطع القمر بسبقه فضل قطره  
على قطر الشمس. والله أعلم بذلك.

<sup>٢</sup> يمكن أن : ناقصة [ج] <sup>٣</sup> وضع : موضع [د،ج] <sup>٣</sup> من الأبصار : في الامصار [ج] <sup>٤</sup> امكن :  
ناقصة [د،ج] <sup>٥</sup> قدرًا أو جهة أو زمانًا : قدرًا وجهةً وزمانًا [د،ج] <sup>١١</sup> بالرئية : ناقصة [د،ج]  
<sup>١٢</sup> انكسف منه : ناقصة [ج] <sup>١٤</sup> نصف : ناقصة [د،ج] <sup>١٥</sup> ماسّ : ما بين [ج] <sup>١٨</sup> النحت : الشكل  
لا هلالية ولا مستديرة تامة [د،ج] <sup>٢٢</sup> وكان : كان [د] <sup>٢٣</sup> انكسف : انكسفت [د،ج]

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 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 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.

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. Et si les rayons des deux luminaires étaient différents en apparence ? Que le rayon du Soleil soit plus grand en apparence que 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. 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.

## الباب التاسع والعشرون

في أزمان ما بين الخسوفين والكسوفين وفيه فصلان

### الفصل الأوّل

في أزمان ما بين الخسوفين

و ٤٨ د

٥ اعلم أن حدود الخسوفات إن يكون عند إستقبال النيرين عرض القمر أقلّ من درجة وأربع دقائق. وبوجب هذا العرض أن يكون البعد من العقدة (أي عقدة كانت سواء ان كان البعد على التوالي أو إلى خلافه) إثني عشر درجة. لأنّ عرضه إذا زاد على ذلك، زاد على نصفي قطري القمر وظلّ الأرض.

وإذا عرفت ذلك، فاعلم أنّه لا يمكن أن يكون خسوفان بينهما شهر واحد، لأنّ غاية حدّ الخسوف، من الطرفين، لا يبلغ خمسة وعشرين جزئاً، والشمس في مدّة شهر قمرى تقطع أكثر من هذا المقدار فيخرج عن حدود الخسوف.

ولا يمكن أن يكون بين خسوفين سبعة أشهر بأن يكون الإستقبال الخسوفي قبل الوصول إلى العقدة الأولى، على حدّ طرف الحدّ، والإستقبال الآخر بعد التجاوز عن العقدة الثانية، بعد سبعة أشهر، لأنّ الإستقبال الثاني لا يقع في حدّ الخسوف لتجاوزه العقدة، إلى خلاف التوالي، عن المقدار المحدود للخسوف. و ٤٢ ج

لأنّ الشمس تتحرّك في سبعة أشهر قمرية قريباً من مائتين وخمس درجات ولما كانت في الإستقبال الأوّل على حدّ الخسوف (كما هو المفروض)، كانت في الثاني مجاوزة حدّ الخسوف من العقدة الثانية بدرجة : لأنّها بعد قطع إثنا عشر 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، لكنها متحرّكة في هذا المدّة إحدى عشر درجة إلى خلاف التوالي، فيصير البعد بين الشمس وحدّ الخسوف إثني عشر درجة، فمن هذا امتنع وقوع خسوفين بينهما سبعة أشهر.

وأما أكثر الوقوع، فإن يكون بين الخسوفين ستّة أشهر، لإنتقال الشمس في هذه المدّة من قريب إحدى العقدتين إلى قريب الأخرى. ٢٥

٦ وبوجب: وموجب [د،ج] ٧ سواء ان كان البعد: ناقصة [ج]، سواء كان البعد [د] <sup>٨</sup> وظلّ الأرض: وقطر الظلّ [ج] ١٢ الخسوفي: للخسوفين [د،ج] ١٣ على حدّ: على خلاف [د،ج] ١٥ لتجاوزه: لتجاوز [د،ج] ١٧ على: عن [د،ج] ٢١ هذا: هذه [د،ج] ٢٢ الخسوف: الكسوف [د،ج]

## 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

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.

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.

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 entre les limites d'une éclipse et elle dépasse la grandeur limite pour une éclipse, en sens contraire des signes, au delà du second nœud. En effet, le Soleil se meut en sept mois lunaires d'environ deux cent cinq degrés. Si 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-vingt 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.

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.

ويمكن أن يقع بين خسوفين خمسة أشهر، ولكن أقلّ من الأوّل وقوعاً. وذلك إذا وقع إستقبال خسوفي بعد تجاوز العقدة على طرف الحدّ، ثمّ إستقبال آخر بعد خمسة أشهر قبل الإنتها إلى العقدة الأخرى. فإنّه يمكن أن يقع في حدّ الخسوف، وذلك لحركة العقدة إلى خلاف التوالي وإستقبالها لموضع الخسوف في المدّة ثمانية أجزاء، لكن لا يكون أحد الخسوفين تامّاً (بخلاف<sup>١٥</sup> و<sup>١٦</sup> الذي بينهما ستّة أشهر لجواز أن يكون تامّين وناقصين وأن يكون أحدهما تامّاً والآخر ناقصاً).

## الفصل الثاني

### في أزمان ما بين الكسوفين

١٠. ويعلم ذلك من حدود الكسوفات لكنها ليست متساوية من الجهتين لما في حدود الخسوفات، لأنّ المعبر العرض المرئي (وفي الخسوفات العرض الحقيقي)، لأنّ إختلاف المنظر في العرض يجب أن يزداد تارةً على عرض القمر، وينقص منه أخرى، ليصير مرثياً، فلزم أن يكون الحدّ من العقدة في الجانبين مختلف بحسب إختلاف المنظر في البقاع.
١٥. ففي وسط المسكون، جيب العرض ستّة وثلاثين جزءاً، يكون امكان الكسوف على بعد غايته بعد عقدة الرأس أو قبل عقدة الذنب إلى ثماني عشرة درجة، أو على حدّ غايته قبل عقدة الرأس أو بعد عقدة الذنب تسع درجات. لأنّ<sup>١٧</sup> غاية إختلاف المنظر في العرض أربعة وستّين دقيقة؛ ونصف قطري النيرين أكثره أربعة وثلاثون دقيقة؛ فإذا كان العرض شمال ثمانية وتسعين دقيقة، ونقص منه إختلاف المنظر، بقى العرض المرئي أربعة وثلاثين دقيقة، مساوياً لنصف<sup>١٨</sup> القطرين، فيجب أن يكون الأوّل حدّ الكسوف في الشمالية (حيث عرض القمر ثمانية وتسعون دقيقة وهو بعد عقدة الرأس وقبل عقدة الذنب بثمانية عشرة درجة بتقريب). وأمّا في عرض القمر الجنوبي، فغاياته أربعة وثلاثون دقيقة، وذلك إن يكون بعد عقدة الذنب وقبل الرأس بستّ درجات ونصف.

<sup>٢</sup> خسوفي: خسوفين [د،ج] <sup>٣</sup> بعد: بعده اي بعد [ج]، بعده [د]، وكتب «اي بعد» في هامش [د] ايضاً <sup>٦</sup> تامّين وناقصين: غير مقروع [أ] <sup>١١</sup> الخسوفات: الكسوفات [د،ج] <sup>١٢</sup> عرض القمر: العرض [ج] <sup>١٥</sup> جيب: حيث [د]، حسب [ج] <sup>١٥</sup> يكون: ليكون [د،ج] <sup>١٧</sup> تسع: بسبع [د،ج] <sup>١٩</sup> فإذا: وإذا [د،ج] <sup>١٦</sup> شمال: شمالي [د،ج] <sup>١٣</sup> بتقريب: بالتقريب [د،ج]

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 à 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

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 du lieu.

Au centre du monde habité, le sinus de la latitude est de trente-six parts, et le lieu des éclipses s'étend jusqu'à dix-huit degrés après le nœud ascendant ou avant le nœud descendant, mais seulement jusqu'à neuf degrés avant le nœud ascendant ou après le nœud descendant. En effet, la parallaxe maximale à cette latitude est de soixante-quatre minutes ; 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 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.

وإذ تقدّم ذلك، فاعلم أن:

- لا يمكن أن يكون كسوفان بينهما شهر واحد في بقعة واحدة،
- ويمكن في بقعتين مختلفتين في جهة عرض البلد.

أما الأوّل فلأنّ غاية الحدّ الذي يمكن فيه الكسوف، من قبل العقدة وبعدها، خمس وعشرون درجة، والشمس في مدّة شهر قمري تتحرّك قريب برج، وهو ثلاثون درجة، فيخرج عن حدّ الكسوف فإمتنع ذلك. وأمّا الثاني، فإنّ حكم العرض الجنوبي في البلاد الجنوبية العرض كحكم العرض الشمالي في البلاد الشمالية العرض، فيكون بين حدّي الكسوفين ستّة وثلاثون درجة، والشمس تقطع في الشهر ثلاثون درجة، فتقع في حدّ الكسوف.

وفي بقعة واحدة وقوع كسوفان بينهما خمسة أشهر، إحداهما بعد الرأس، <sup>ظ ٣٩ أ</sup> والآخر قبل الذنب؛ أو على سبعة أشهر، إحداهما قبل الذنب، والآخر بعد الرأس. والأوّل أكثر وقوعاً. وأمّا وقوع بين كسوفان ستّة أشهر فلا إشتباه فيه: وهو أكثر. ويمكن وقوع خسوف وكسوف بينهما نصف شهر.

وحدود الخسوف من الدائرة المارة بمركز الظلّ، القائمة على المائل؛ وحدّ الكسوف يكون من القوس المارة بمركز القمر، القائمة على البروج. والله أعلم.

<sup>١</sup> أن: أنه [د، ج] <sup>١٢</sup> ستّة: في هامش [أ] <sup>١٤</sup> المارة: في هامش [د]، ناقصة [ج]

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.

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 les limites de l'éclipses.

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 avant 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.

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.

## الباب الموفي ثلاثون في معرفة شكل الأرض ومساحتها

قد ثبت في علم الهيئة بعد أدلة أن جملة الأرض مع الماء كرية، وأنها في وسط الأفلاك، ومركز ثقلها مطابق لمركز العالم، ثابتة في الوسط. ليس لها ميل إلى جانب من الجوانب سوى ما يقتضيه الإختلاف بين مركز ثقلها ومركز حجمها. فيكون إستدارة سطح الأرض مع الماء موازيًا لإستدارة الأفلاك؛ وإن<sup>٥</sup> و<sup>٣</sup> ج تضاريسها التي يلزمها من جهة الجبال والأغوار لا تخرجها عن حد الإستدارة، 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 بخمس سبع عرض شعيرة عند كرة قطرها ذراع؛ وهذا المقدار يسير في هذه الكرة.

واعلم أن الدوائر العظام التي في سطح الأرض موازية للدوائر العظام الفلكية. التي هي في سطحها وتنقسم كأنقسامها على ثلاثمائة وستين جزئًا، ويسامت كل جزء من الدائرة الأرضية لنظيره من الفلكية. فإذا سار سائر على خط نصف النهار في أرض مستوية على استقامه حتى يرتفع له القطب أو ينخفض درجة واحدة، فالقدر الذي ساره من تلك الدائرة درجة منها، ويكون جملة محيطها ثلاثمائة وستين مثل ذلك القدر الذي ساره.

١ الموفي ثلاثون : الثلاثون [د،ه] <sup>٨</sup> يسير : يسير جدًا [ج] <sup>٨-٩</sup> قد تبين أن جبلًا يرتفع : قد بين أن جبلًا يرتفع [ج،د] <sup>١٠</sup> بخمس سبع : بخمس تسع [ج]، غير مقروء [أ] <sup>١٤</sup> الدائرة : الداوير [ج]

## Trentième et dernier chapitre

### Science de la forme de la Terre et de sa surface

En astronomie, on a déjà établi des preuves 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 et de l'eau est parallèle à la sphéricité des cieux ; les reliefs qui proviennent des montagnes et des terrains encaissés ne la font pas sortir des limites de la sphéricité, car ils sont insensibles par comparaison avec la grandeur de la Terre. En effet, soit une montagne haute d'une demi-parasange<sup>169</sup>, c'est-à-dire six mille coudées. Par rapport à l'ensemble de la Terre, elle est moindre qu'un cinquième d'un septième de la largeur d'un grain d'orge<sup>170</sup> par rapport à une sphère d'une coudée de diamètre ; c'est bien insensible par comparaison avec une telle sphère.

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 nommée comme son homologue du cercle céleste.

Si un voyageur se déplace le long du méridien, tout droit, sur une terre uniforme, jusqu'à ce que le pôle s'élève ou bien s'abaisse d'un degré exactement, 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.

---

169. La parasange est une unité de longueur. On va voir que :

- 1 parasange = 3 milles
- 1 mille = 4000 coudées modernes
- 1 coudée moderne = 24 doigts (1 coudée ancienne = 32 doigts)
- 1 doigt = 6 grains d'orge

Dans ce paragraphe, Ibn al-Šāṭir compte en coudées modernes.

170. Si la circonférence terrestre est de 8000 parasanges, et que la coudée (moderne) mesure 144 grains d'orge, alors on a bien :

$$\frac{\frac{1}{2} \times 144}{8000 \times \frac{7}{22}} = \frac{198}{1000} \times \frac{1}{7} < \frac{1}{5} \times \frac{1}{7}.$$

وقد رصد ذلك إبرخس وبطلميوس صاحب **المجسطي** فوجدوا حصّة درجة واحدة من الدائرة العظيمة المتوهّمة على الأرض ستّة وستين ميلاً وثلثي ميل، بالميل الذي هو ثلاثة آلاف ذراع، بالذراع الذي هو إثنان وثلثون اصبع بالأصابع التي هي ستّ شعيرات معتدلات مضموم طول بعضها لبعض. ثمّ و٤٩ د قام برصد ذلك طائفة من الحكماء في زمن المأمون وبامره في بركة سنجار. و٥٠ أ فوجدوا حصّة الدرجة الواحدة ستّة وخمسين ميلاً وثلثي ميل، بالميل الذي هو أربعة آلاف ذراع، بالذراع الذي هو أربعة وعشرون اصبعًا، بالأصبع التي هي ستّ شعيرات معتدلات. وقد علمت أن بين القدماء إختلافًا في الإصطلاح على الذراع والميل والفرسخ (وليس بينهم إختلاف في الأصبع) : وإنّ ذراع الاقدمين ذراع وثلث من ذراع المحدثين، والميل عند الطائفتين ستّة وتسعون ألف أصبع، وإنّما هو بذراع الأقدمين ثلاثة آلاف ذراع، وبذراع المحدثين أربعة آلاف ذراع. والإختلاف في الذراع حقيقي، وفي الميل لفظي؛ وأمّا الفرسخ فلا خلاف فيه لانه عند القدماء والمحدثين ثلاثة اميال، فالفرسخ عند المحدثين إثنا عشر ألف ذراع؛ وقد علمت أن بين الاقدمين والمحدثين إختلافًا في حقيقة قياس الدرجة وأن ذلك من تفاوت العمل. ومقدار الإختلاف عشرة أميال. وإذ تقدم ذلك، فاعلم أنّ فراسخ درجة واحدة عند الاقدمين إثنان وعشرون فرسخًا وتُسعا فرسخ، وفراسخ درجة واحدة عند المحدثين ثمانية عشر فرسخًا وثمانية اتساع فرسخ. والعمل على مذهب القدماء موافق للجمهور.

فإذا ضربنا حصّة الدرجة في ثلاثمائة وستين (وهي أجزاء دور الأرض)، حصل مقدار دور الأرض : على مذهب الأقدمين ثمانية آلاف فرسخ، وعلى مذهب المحدثين ستّة آلاف وثمانمائة فرسخ (وهو ينقص عمّا هو عند الأقدمين ألفًا ومائتين فرسخ).

٢ الدائرة : الدوائر [ج] ٣-٤ اصبع بالأصابع : اصبعًا بالأصبع [د، ج] ٤ طول بعضها لبعض : بطون بعضها لبعض [د]، بطون بعضها لظهور بعض [ج] ٥ برصد : يرصد [ج] ٥ وبامره في بركة سنجار : غير مقروء [أ] ١٠ وتسعون : وسبعون [د] ١٣ لانه : لأن الفرسخ [د، ج] ١٤ والمحدثين : ناقصة [ج] ١٥ من تفاوت العمل : غير مقروء [أ] ١٨ اتساع : اسباع [ج] ١٨ على مذهب : بمذهب [ج]

Hipparque et Ptolémée (auteur de l'*Almageste*) ont déjà montré 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 coudées<sup>171</sup>, la coudée<sup>172</sup> mesure trente-deux doigts, et le doigt six grains d'orge alignés dans le sens de la longueur. Une école de savants s'est mise à observer cela au temps d'al-Ma'mūn et sous ses ordres... 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. J'ai certes enseigné qu'il y a eu parmi nos prédécesseurs des conventions différentes quant à la coudée, au mille et à la parasange (pas de différence quant au doigt) : l'ancienne coudée mesure une coudée moderne et un tiers, et le mille vaut quatre-vingt-seize mille doigts pour les deux écoles, c'est-à-dire trois mille coudées anciennes, mais quatre mille coudées 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 de différence puisqu'elle vaut trois milles chez les anciens comme chez les modernes, et une parasange fait douze mille coudées chez les modernes ; ainsi la différence dont j'ai parlé, dans la détermination du degré, entre les anciens et les modernes, est bien une différence réelle et 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.

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).

---

171. Coudées anciennes

172. Coudée ancienne

وإذا قسم المحيط على ثلاثة وسبع، حصل قطر جملة كرة الأرض (مع الماء) : وهو على مذهب القدماء ألفان وخمسمائة وخمسة وأربعون فرسخًا وخمسة أجزاء من إحدى عشر جزئًا من فرسخ، وقطر الأرض على مذهب المحدثين ألفان ومائة وثلاثة وستون فرسخًا وسبعة أجزاء من إحدى عشر جزئًا من فرسخ.

وإذا ضربت جملة القطر في جملة الدور، حصل مساحة كرة الأرض (مع الماء) : وهو على مذهب الأقدمين ٢٠٣٦٣٦٣٦ فرسخًا وأربعة أجزاء من إحدى عشر جزئًا من فرسخ، وعلى مذهب المحدثين ١٤٧١٢٧٢٧ فرسخًا وثلاثة أجزاء من إحدى عشر جزئًا من فرسخ.

وقد اشتهر أنّ المسكون ربع كرة الأرض، وطول الربع نصف المحيط، وعرضه ٤٠. أ ربع المحيط. ١٠

ومساحة جرم جملة كرة الأرض مع الماء، بمكعب الفرسخ الواحد، على رؤية الأقدمين، ٨٦٣٠١١٦٣٤٥ وإحدى وعشرين جزئًا وثلثي جزء من مائة وأحد وعشرين جزئًا من مكعب الفرسخ (وهو سدس تقريبًا)؛ وعلى مذهب المحدثين بمكعب الفرسخ أيضًا، وهو ٥٠٣٣٨٥٦٤٩٨ فرسخًا وإثنان وأربعون جزئًا من مائة وأحد وعشرون جزئًا من مكعب الفرسخ. ١٥

فإن اردت علم ذلك بالذراع، فأضرب مكعب اذرع الفرسخ في عدد فراسخ مساحة الجرم. وإن اردت مساحة بسيط الأرض بالذراع، فاضرب مربع عدد فراسخ اذرع الفرسخ في عدد فراسخ مساحة بسيط الأرض؛ على أي مذهب اردت، فما حصل فهو مساحة بسيط الأرض بمربع ذراع واحد على المذهب الذي حسبت عليه. وذلك ما اردنا ان نبين. ٢٠

١ كرة : ناقصة [د،ج] ٦ ٢٠٣٦٣٦٣٦ : [أ،د،ج] ٧ ١٤٧١٢٧٢٧ : ١٥٣٩٢٧٧٢٧  
[أ،د،ج] ١١ جرم : جزء من [د،ج] ١١ الواحد : ناقصة [د،ج] ١٢ رؤية : مذهب [د،ج] ١٣ بمربع :  
لمربع [د،ج]

Si l'on divise le périmètre par trois et un septième<sup>173</sup>, 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.

Si l'on multiplie le diamètre par la circonférence, on obtient la surface du globe terrestre (avec l'eau) : 20363636 parasanges et quatre onzièmes de parasange selon les anciens, 14712727 parasanges et trois onzièmes de parasange selon les modernes.

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.

La volume du globe terrestre entier avec l'eau est, selon les anciens, 8630116345 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 5033856498 parasanges cubes et quarante-deux cent-vingt-et-unièmes de parasange cube<sup>174</sup>.

Si tu veux connaître cela en coudées, alors multiplie le nombre de coudées cubes d'une parasange par le nombre de parasanges du volume. Si tu veux connaître la surface de la Terre en coudées, alors multiplie 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.

---

173. Ici, Ibn al-Šāṭir prend donc  $\pi \simeq 3 + \frac{1}{7}$ .

174. 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 8000 parasanges, on devrait avoir :

$$\text{volume de la Terre} = \frac{\text{surface} \times \text{diamètre}}{6} = 8639118457 + \frac{36 + \frac{1}{3}}{121} \text{ parasanges cubes}$$

Si la longueur du méridien est 6800 parasanges, on devrait avoir un volume de  $5305498622 + \frac{71 + \frac{1}{3}}{121}$  parasanges cubes.

## الخاتمة في الأبعاد والأجرام وفيه فصول أربعة

ظ ٤٩ د

### الفصل الأوّل في تصحيح أبعاد النيرين من مركز الأرض

٥ قد ذكر بطلميوس في المجسطي أنّ نصف قطر الفلك المائل للقمر مثل نصف قطر الأرض تسعة وخمسون مرّة، وهو أبعد بعد مركز التدوير. وعمل على ذلك ثمّ أنّ محقّقي هذا الفنّ صحّحوا ذلك في المدد المتطاولة بطرق أضبط من طريق بطلميوس : وذلك أنّهم وجدوا اختلاف المنظر المستعمل في الكسوفات على طريق بطلميوس وفيه نقص، فحذروا ذلك النقص، وفرضوا نصف قطر الممثل ثمانية وخمسين مرّة مثل نصف قطر الأرض. وعملوا على ذلك فوجدوا اختلاف المنظر موافقاً للرصد. وتكرّر ذلك : فصحّ عندهم، وعليه اعتمدنا. وقد بيننا أنّ نصف قطر التدوير المرئي في الاجتماعات والاستقبالات خمسة أجزاء وسدس 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 بعد القمر في الاجتماعات والاستقبالات من مركز الأرض. وقد تحرّر أنّ قطر القمر في هذا البعد وهو ثلاثة وستون جزءاً مثل نصف قطر الأرض (وهو البعد الأبعد في الاجتماعات والاستقبالات) . ل بح.

و ٤١ أ

٢٠ وقد تحرّر بأرصادٍ كثيرة أنّ قطر الشمس في بعدها الأبعد كط ه، وفي بعدها الأوسط لب لب، وفي بعدها الأقرب لو ند ما. وقد ذكرنا في هيئة أفلاك الشمس أن بعدها الأقرب نب نج، وبعدها الأوسط س، وبعدها الأبعد سزر. وإذا قسمنا قطرها في بعدها الأوسط على بعد الشمس حصل قطر الشمس في ذلك البعد. وإذا قسمنا قطر الشمس في بعدها الأوسط على قطرها في وقت مفروض، حصل بعد الشمس.

ظ ٤٤ ج

<sup>٩</sup> وفيه : فيه [أ، د، ج]

## Conclusion

Distances et [grandeurs] des corps, en quatre sections

### Première section

Correction des distances des deux lumineux au centre de la Terre

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 pendant les longs intervalles de temps les séparant de Ptolémée, 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, or ils ont évité fortement ce défaut en supposant 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. Ils ont répété cela : ils ont eu raison, et nous nous sommes [ensuite] appuyés [sur ce résultat]. 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 est déjà démontré 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.

De nombreuses observations ont révélé 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 <sup>175</sup>.

---

175. Autrement dit, la distance du Soleil et son diamètre apparent sont inversement proportionnels :  $\frac{\text{diamètre apparent du Soleil}}{60} = \frac{0;32,32}{\text{distance du Soleil}}$ .

وقد تحقّق ممّا قلنا انا، إذا قسمنا قطر الشمس في بعدها الأوسط، وهو لب لب، على قطر القمر في بعده الأبعد وهو ل بح، خرج سب ل، وهو بعد الشمس من مركز فلك البروج في الوقت الذي يكون قطره مثل قطر القمر في البعد الأبعد في الاجتماعات والاستقبالات.

وإذ تقدّم ذلك فضع الشكل الصنوبري. ولتكن الشمس دائرة أ ب، ومركزها ج، وكرة الأرض دائرة د ه، ومركزها ر. ولتكن المخروط المحيط بها أ ن ب وسهمه ر ج. ولتكن القمر دائرة ط ي ح، ومركزها و. ولتكن المخروط المحيط بالقمر والشمس أ ر ب. ونفصل ر ل مثل ر و، ونخرج اعمدة ج ب ط ي ر ه ل م على سهم المخروط أعني خطّ ن ج. وينفذ إلى الجهة الاخرى، فيكون إقطار تلك الكرات. واعلم أنّ الخطوط المارة بموضع المماسّة من كلّ واحدة من هذه الدوائر ليس هي إقطارها، بل لا فرق بينها لبعد المسافة. وزاوية أ ر ب هي المحيطة بالشمس والقمر وقت كون بعده من الأرض ثلاثة وستين. وقد قلنا أن قطر القمر في هذا الموضع ل بح، فنصفه ي ط وهو زاوية ي ر ط؛ ونسبة ر و (وهو ثلاثة وستون) إلى ي ط كنسبة جيب زاوية ط ي ر إلى جيب زاوية ي ر ط؛ فيصير ي ط معلومًا. وحسابه، أن تأخذ جيب زاوية ي ر ط، وهو نصف قطر القمر، فكان به نا ند. فضربناه في ر و وهو ثلاثة وستون منحطًا. فحصل بو ل ط ك ط م ب، وهو خطّ ي ط، أعني نصف قطر القمر بما به نصف قطر الأرض واحدًا. فضربناه في نسبة الظلّ، وهو على ما تحققت بأرصاڊ كثيرة مرّتين وثلاثة وأربعين دقيقة في هذا البعد. يحصل نصف قطر الظلّ.

وأيضًا خطّ ل ر مثل خطّ ر و، وخطوط ل م ر ه ي ك أعمدة على خطّ ن ج فهي متوازية؛ فخطّ ل م ي ك ضعف ر ه الذي هو نصف قطر الأرض وضعفه مائة وعشرون دقيقة؛ فإذا نقصنا منه نصف قطر الظلّ والقمر وذلك سب ط مط كج وتمامه إلى المائة وعشرون دقيقة هو خطّ ط ك وهو ن ر ن ي لر.

<sup>٢</sup> الشمس: القمر [أ، د، ج] <sup>٣</sup> القمر: الشمس [أ، د، ج] <sup>٤</sup> البعد الأبعد: هذه البعد [ج] <sup>٦</sup> ولتكن: وليكون [ج] <sup>٦</sup> أ ن ب: أ ر ب [أ، د، ج] <sup>٩</sup> وينفذ: ونبعدها [د، ج] <sup>١٤</sup> ي ط: به ط [د، ج] <sup>١٩</sup> تحققت: تحقّق [ج] <sup>٢٣-٢٤</sup> والقمر وذلك: وذلك [د، ج] <sup>٢٤</sup> وتمامه: وبما به [أ] <sup>٢٤</sup> هو: وهو [د، ج] <sup>٢٥</sup> ن ر ن ي لر: ن ر ن ي لر [د]، غير مقروء [أ]

D'après ce que nous avons dit, on peut vérifier 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 Soleil <sup>176</sup> 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.

Ceci étant admis, voyons le tracé de la figure en forme de sapin. Soit AB le cercle représentant le Soleil, et C son centre. Soit DE le cercle représentant la Terre, et R son centre. Soit ANB le cône qui la contient, et RC sa hauteur. Soit JIH le cercle représentant la Lune, et I son centre. Soit ARB le cône contenant la Lune et le Soleil. Reportons la longueur RI en RL, et traçons les perpendiculaires CB, JI, RE et LM à la hauteur de ce cône c'est-à-dire la droite NC. Si on les prolonge de l'autre côté [de NC], on obtient les diamètres de ces sphères. 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 longue. L'angle ARB 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 pour sa moitié IJ c'est l'angle IRJ; or le rapport de RI (soixante-trois) à IJ est comme le rapport du sinus de l'angle JIR au sinus de l'angle IRJ; donc IJ est connu.

Voici le calcul. Prenons le sinus de l'angle IRJ, c'est-à-dire du rayon de la Lune, c'est 0; 0, 15, 51, 54. Multiplions-le par RI, c'est-à-dire soixante-trois. On obtient 0; 16, 39, 29, 42, longueur de la droite IJ, et c'est le rayon de la Lune si le rayon terrestre est l'unité. 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'ombre <sup>177</sup>.

La droite LR est comme la droite RI, et les droites LM, RE, IK sont perpendiculaires à la droite NC donc elles sont parallèles entre elles; ainsi la somme des deux droites LM et IK fait le double de RE; mais RE est le rayon de la Terre et son double fait cent vingt minutes; 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 JK qui fait 0; 57, 50, 10, 37. <sup>178</sup>

---

176. 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.

177. 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.

178. Deuxième erreur : en refaisant les calculs à partir de la valeur de rayon de l'ombre mentionnée dans la note précédente, on a trouvé 0; 58, 5, 12, 36, 54.

وخطّ ر ه موازٍ لخطّ ط ك فيكون نسبة ر ه إلى ط ك كنسبة ب ر إلى ب ك وكنسبة ر ج إلى ج ي؛ فإذا جعلنا ر ج ستين دقيقة، صار خطّ ج ي (أعني بعد ما بين مركزي النيرين) نزن ي لر؛ وبقي خطّ ي ر (الذي هو بعد ما بين مركز الأرض والقمر) . ب ط مط كج ونسبته إلى ر ج الستين دقيقة كنسبة ر ي (أعني بعد القمر من مركز الأرض)، وهو ثلاثة وستون، إلى ر ج أعني بعد الشمس؛ فيصير بعدها معلومًا.

وحسابه : قسمنا بعد القمر، وهو ثلاثة وستون، على . ب ط مط كج منحطًا خرج كط ر. فضربناها في ستين، فحصل ١٧٤٧، وهو بعد الشمس من مركز الأرض وقت كون قطرها مثل قطر القمر؛ وذلك إثنان وستون ونصف؛ فيكون، إذا ضربنا بعد الشمس المذكور في ستين وقسمنا الحاصل على الإثنتين و٤٢، أ والستين والنصف، حصل ١٦٧٧ وسبع دقائق وخمس دقيقة، وهو بعد الشمس الأوسط على إن نصف قطر الأرض واحد.

فإذا قسمناه على ستين، خرج بالقسمة كرنر ريب، وذلك حصّة درجة من نصف قطر الممثل، أعني كلّ درجة منه هذا المقدار. فقد تبين أن أبعد بعد الشمس زائد على بعدها الأوسط ر ر، فإذا ضربنا حصّة الدرجة في ر ر (حصل ١٩٨ نه ل بد كد) فإذا زدناه على بعد الشمس الأوسط، حصل ١٨٧٦ ب م ب وهو بعد الشمس الأبعد، وإذا نقصنا ذلك من بعدها الأوسط، بقي ١٤٧٨ وخمس وهو بعد الشمس الأقرب.

وأيضًا فإن نسبة ط ي إلى ي ر كنسبة ج ب إلى ر ج فيصير ج ب معلومًا. وحسابه : ضربنا كط ر في نصف قطر القمر وهو بولط كط م ب <sup>٤٥</sup> ج وقسمنا ما حصل على بعد القمر وهو ثلاثة وستون، خرج ر م ب نج وهو نصف قطر الشمس بما به نصف قطر الأرض واحد.

<sup>١</sup> ب ر : ب د [أ]، ن د [د، ج] <sup>٢</sup> ب ك : ي ط [أ، د، ج] <sup>٣</sup> ر ج : ر ي [أ، ج] <sup>٤</sup> كط ر : ي ط ر [د، ج] <sup>٥</sup> إن : في هامش [أ] <sup>٦</sup> واحد : واحدًا [ج] <sup>٧</sup> نسبة ط ي إلى ي ر : نسبة ج ب إلى ج ي [أ، د، ج] <sup>٨</sup> واحد : واحدًا [ج]

La droite RE est parallèle à la droite JK donc le rapport de RE à JK est comme le rapport de BR à BJ et comme le rapport de RC à CI ; alors si RC valait soixante minutes, CI (distance entre les centres des deux luminaires) vaudrait 57; 50, 10, 37 ; reste RI (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 RC est comme le rapport de RI (distance du centre de la Terre à la Lune), soixante-trois, à RC qui est la distance du Soleil ; donc la distance du Soleil est connue.

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 1747, 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 1677, sept minutes et un cinquième de minute, et c'est la distance moyenne du Soleil si le rayon terrestre est l'unité.<sup>179</sup>

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 1876 2; 42 ; et si l'on retranche cela de la distance moyenne, il reste la distance minimale du Soleil qui est 1478 et un cinquième.

Le rapport de JI à IR est comme le rapport de CB à RC donc CB 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'unité<sup>180</sup>.

---

179. 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 1840 rayons terrestres. Mais il est peu sensé de "corriger" ainsi les erreurs de calcul de l'auteur, car ce procédé pour calculer la distance Terre-Soleil est très 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 RI 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!

180. Il y a une erreur de calcul ou de copie : on trouve 7; 41, 56 et non 7; 42, 53.

فقد بين أن قطر الشمس مثل قطر الأرض سبع مرّات وثلاثي مرّة ونصف عشر مرّة؛ ومكعب ذلك ٤٥٩ ح و مر مو كه بر؛ وقد تبين أن نسبة الكرة إلى الكرة كنسبة مكعب القطر إلى مكعب القطر؛ فمساحة جرم الشمس بقدر مساحة جرم كرة الأرض أربعمئة مرّة وتسعة وخمسين مرّة وثلاثي خمس مرّة بالتقريب.

وحساب بعد رأس مخروط ظلّ، الأرض أن نخرج ل س موازيًا لخطّ ن ه؛ فمثلث ر ن ه تشبيهه بمثلث ل ر س فنسبة ن ر إلى ل ر كنسبة ه ر إلى ر س، فيصير ر ن معلومًا. وحسابه : أن خطّ ل م مثل خطّ ه س، وخطّ ه ر الذي هو نصف قطر الأرض ستون دقيقة؛ فإذا نقصنا منه . مه ل بط ما، بقي . بد كط م بط وهو خطّ س ر. فقسّمنا عليه منحطًا بعد القمر الذي هو ثلاثة وستون، خرج ٢٦٠ مرّح وهو بعد رأس مخروط ظلّ الأرض من مركز الأرض والشمس في البعد المذكور. وهذا يزداد ببعد الشمس من مركز الأرض، وينقص بقربها.

١ بين : تبين [د،ج] ٢ ر ن ه : ر ر ه [د،ج] ٣ تشبيهه : شبيهه [د،ج] ٤ ن ر إلى ل ر : ب ر إلى ر ب [د،ج] ٥ ر ن : ر ب [د،ج]

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 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.

Pour calculer la distance du sommet du cône d'ombre de la Terre, traçons la droite LS parallèle à NE ; alors le triangle RNE est semblable au triangle LRS donc le rapport de NR à LR est comme le rapport de ER à RS, donc RN est connu. Voici le calcul. La droite LM est comme la droite ES, et la droite ER 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 SR. 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.

## فصل

إذا اضعفنا نصف قطر القمر (وهو . بو لط كط مب) حصل لج بح نط كد ظ ٤٢ أ وهو مجبور لج بظ. فإذا قسمنا عليه قطر الأرض (وهو مائة وعشرون دقيقة)، حصل ج لو و، فيكون قطر كرة الأرض مثل قطر القمر ثلاث مرّات وثلاثة اخماس مرّة (وكسر يسير جدًّا). وإذا قسمنا قطر الشمس على قطر القمر، خرج سبعة وعشرون وأربعة اخماس؛ فقطر الشمس مثل قطر القمر سبعة وعشرين مرّة وأربعة اخماس مرّة. وإذا فرضنا قطر القمر واحدًا، كان مكعبه واحدًا، والمكعب الكائن من قطر الأرض (وهو ثلاثة وثلاثة اخماس) هو ستة وأربعون وثلثان، والمكعب الكائن من سبعة وعشرين وأربعة اخماس أحد وعشرين ألفًا وأربعمائة وأحد وثمانين وربعمًا بالتقريب. ١٠

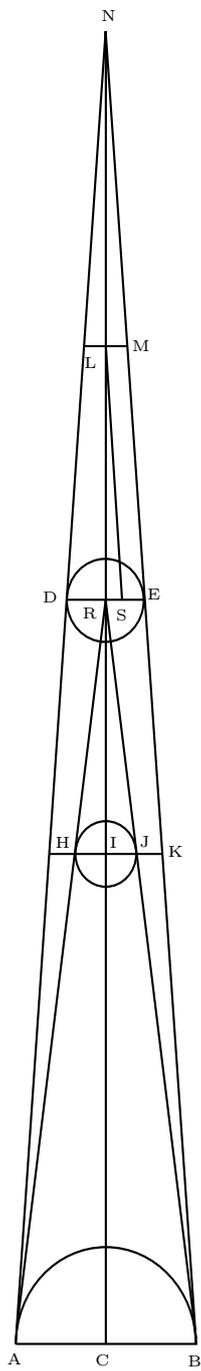
فيجب من ذلك أنه، متى كان مجسم القمر واحدًا، فإن مجسم الأرض يكون ستة وأربعين وثلثين، ومجسم الشمس يكون أحد وعشرين ألفًا وأربعمائة وأحد وثمانين وربعمًا. ومجسم الشمس مثل مجسم الأرض أربعمائة وتسعًا وخمسين مرّة وثلثي خمس مرّة بالتقريب. وهذه المقادير لا يمكن أن يكون أقلّ ممّا قلنا ولا الأبعد، بل يمكن أن يكون أكثر من ذلك. ١٥

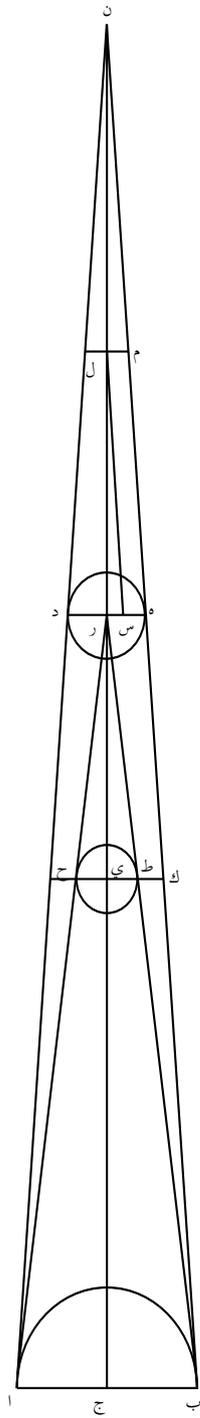
° وكسر: وشيء [ج] ١٥ الأبعد: الأبعاد [د، ج]

## Section

Si nous doublons le rayon de la Lune (0; 16, 39, 29, 42) 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.

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.





## فصل

وعند بطلميوس إنّه، إذا كان قطر القمر واحدًا كان قطر الأرض ثلاثة أجزاء وخمسي جزء، وقطر الشمس مثل قطر القمر ثمانية عشرة مرّة وأربعة اخماس مرّة؛ وإنّ قطر الشمس مثل قطر الأرض خمس مرّات ونصف، وجرمها مثل جرم الأرض مائة وسبعين مرّة. وإنّ أبعد بعد القمر أربعة وستون سدس، وبعد الشمس الأوسط ألفًا ومائتان وعشرون.

### تنبيه

سبب هذا الاختلاف في هذه المقادير هو أنّا خالفناه في شيء يسير في قطر القمر وقطر الظلّ وقطر الشمس. فإنّ قطر القمر عنده في بعده الأبعد لا ك، وهو عندنا ل بح. فقد خالفناه في قطره بدقيقة وثانيتين. وقطر الشمس عنده في سائر أبعادها مثل قطر القمر، ونسبة قطر ظلّ الأرض إلى قطر القمر عنده مرّتان وثلاثة اخماس مرّة، وعندنا مرّتان وثلاثة وأربعون دقيقة. وتكرّر امتحان ما و٣؛ ا خالفناه فيه بمحققي هذا الفنّ، ولنا أيضًا؛ ولو اعتمدنا على نسبة الظلّ عنده كان الخلاف أكثر، وإنّما وقع الخلاف بسبب قطري الشمس والقمر. فاعرف ذلك.

### تنبيه

إذا اسقطنا من أقرب قرب الشمس نصف قطر الشمس (على أنّ نصف قطر الأرض واحدًا) وذلك ر مج، بقي ١٤٧٠ كط وهو أقرب قرب أفلاك الشمس. وإذا زدنا ذلك على أبعد بعدها وهو ١٨٨٣ مو، حصل أبعد بعد أفلاكها؛ وفوقه سمك الممثل، وتحتّه اتّصال الفلك.

### تنبيه

قد ذكرنا في هيئة أفلاك القمر أن أبعد بعده في الاجتماع والاستقبال يكون سه ي، وأقرب قربه فيهما ند ن، وأبعد بعده في الترييعين سح ٠، وأقرب قربه فيهما نب ٠، هذا على أنّ البعد الأوسط ستون.

<sup>١٣</sup> بمحققي: لمحققي [د،ج]

## Section

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.

## Remarque

La cause de ces différences 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 grandeurs<sup>181</sup>, 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. Des chercheurs en cet art ont mis à l'épreuve de manière répétée ce en quoi nous différons de lui, et nous aussi ; et si nous utilisions sa valeur du rapport de l'ombre, la différence serait encore plus grande, donc la différence provient des diamètres du Soleil et de la Lune. Sache cela.

## Remarque

Si nous retranchons de la distance minimale du Soleil le rayon du Soleil 7; 43 (avec pour unité le rayon terrestre), il reste 1470; 29 et c'est la distance minimale atteinte au sein des orbes du Soleil. Si nous ajoutons cela à sa distance maximale, 1883; 46, on obtient la distance maximale au sein de ses orbes ; en sus, il y a l'épaisseur du parécliptique, et en deça, [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus.

## 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.

---

181. *L'Almageste*, livre 5, chapitre 14.

فإذا حوّلنا ذلك إلى الأجزاء التي بها نصف قطر الأرض واحداً، حصل أقرب و ٥١ د  
قربه في الاجتماع والاستقبال نج ٠، وأبعد بعده فيهما سج ٠، وأقرب قربه  
في التربيعة ن بو، وأبعد بعده فيهما سه مد. ويجب أن يزداد على ذلك  
نصف قطر القمر، وهو ٠ يو لط ل، يبلغ سو ٠ لط ل؛ وفوق ذلك سمك  
الممّثل. وأقرب قربه إذا اسقطنا منه نصف قطر القمر، بقي مط نط كا؛ وأقلّ ج  
من ذلك باتّصال الفلك.

### الفصل الثاني

في معرفة أبعاد عطارد والزهرة من مركز الأرض (بالأجزاء التي بها نصف قطر  
الأرض واحداً)

١٠. قد بينا في هيئة أفلاك عطارد أن نسبة أقرب أفلاكه إلى أبعد بعدها كنسبة  
أحد وثلاثين إلى تسعة وثمانين ونصف، وأن نسبة أقرب قرب أفلاك الزهرة إلى  
أبعد بعدها كنسبة أربع عشرة إلى مائة وستة. وقد بينا أن أبعد أفلاك القمر  
الفلك المائل، وهو ستة وستين مثلاً لنصف قطر الأرض وفوقه سمك الممّثل  
ونفرضه درجة؛ فيكون أبعد بعد أفلاك القمر سبعة وستين، وهو أقرب قرب أفلاك  
١٥. عطارد وإذا ضربنا ذلك في نسبة عطارد، وهو تسعة وثمانون ونصف، وقسمنا  
الحاصل على الأحد والثلاثين، خرج مائة وثلاثة وتسعون وثلث وعشر بالتقريب :  
وهو أبعد بعد أفلاك عطارد. فإذا ضربنا ذلك في أكثر نسبة الزهرة، وذلك  
مائة وستة، وقسمنا الحاصل على أربعة عشر، خرج ألف وأربعمائة وأربعة وستون  
٢٠. وأربعة اسباع : وهو أبعد بعد أفلاك الزهرة. وهو ينقص عن أقرب قرب أفلاك  
الشمس خمسة أجزاء وثلثي جزء وربع جزء : وذلك اتّصال أفلاك الشمس.  
فتبيّن امكان الزهرة وعطارد تحت الشمس، خلافاً للمؤيّد العرضي ولاين افلح.

<sup>١٦</sup> وعشر : عشر [أ،د،ج] <sup>٢١</sup> فتبيّن : غير مقروء [أ]

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 deça, il y a le [ce qu'il faut] pour que les orbes soient contigus.

## Deuxième section

Les distances de Mercure et Vénus au centre de la Terre (en rayons terrestres)

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 <sup>182</sup>, 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. 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-'Urḏī et de Ibn Aflah.

---

182. Cf. cependant p. 201, où le rapport est  $\frac{31}{89}$ .

### الفصل الثالث

في معرفة ابعاد الثلاثة العلوية من مركز الأرض (بامثال نصف قطرها)

قد بينا في هيئة أفلاك الثلاثة أن نسبة اقرب قرب أفلاك المريخ إلى ابعدها كنسبة ثمانية إلى مائة وإثنى عشر، ونسبة أقرب قرب أفلاك المشتري إلى أبعد بعدها كنسبة إثنين وأربعين إلى ثمانية وسبعين، ونسبة أقرب قرب أفلاك زحل إلى أبعد بعدها كنسبة ستة وأربعين إلى أربعة وسبعين. وقد تقدم أن إن أبعد بعد حامل الشمس ألف وثمانمائة وثلاثة وثلاثون مثلاً وثلثان وعشر مثل، وفوق ذلك سمك الممثل ونفرضه  $\overline{و\text{د}}$ ، فيبلغ ألف وثمانمائة وتسعين : وهو أقرب قرب أفلاك المريخ فإذا ضربناه في أكثر نسبة المريخ، وقسمنا ما بلغ على أقلها، حصل ستة وعشرون ألفاً وأربعمائة وستون : وهو أبعد بعد أفلاك المريخ. وإذا ضربنا ذلك في أكثر نسبة المشتري، وقسمنا ما بلغ على أقلها، حصل تسعة وأربعون ألفاً ومائة وأربعون بالتقريب : وهو أبعد بعد أفلاك المشتري. وإذا ضربنا ذلك في أكثر نسبة زحل، وقسمنا ما حصل على أقلها، حصل تسعة وسبعون ألفاً وأحد وخمسون وسدس مرة وثمان : وهو أبعد بعد أفلاك زحل، وهو أقرب قرب الكواكب الثابتة. هذا أقل ما يمكن ؛ ويمكن أن يكون أكثر من ذلك. والله أعلم.

<sup>٣</sup> الثلاثة : الثلاثة العلوية [ج] <sup>٧</sup> مثلاً : ميلاً [ج] <sup>٨</sup> مثل : ميل [ج]

### Troisième section

Les distances des trois planètes supérieures au centre de la Terre (en rayons terrestres)

Nous avons montré dans la configuration des orbites des trois planètes [supérieures] que le rapport de la distance minimale des orbites de Mars à leur distance maximale est comme le rapport de huit à cent douze, que le rapport de la distance minimale des orbites 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 orbites de Saturne à leur distance maximale est comme le rapport de quarante-six à soixante-quatorze. On vient de voir que la distance maximale des orbites 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 des orbites 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 orbites 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 orbites 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 huitième<sup>183</sup> : c'est la distance maximale des orbites 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.

---

183.  $49140 \times \frac{74}{46} = 79051 + \frac{7}{23} \simeq 79051 + \frac{7}{24} = 79051 + \frac{1}{6} + \frac{1}{8}$ .

## الفصل الرابع

### في مقادير أجرام الكواكب الخمسة المتحيّرة

قد رصد إبرخس وبطلميوس اقطار 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 الابعاد كان رصدها. واختار بطلميوس كونها في بعدها الأوسط، واختار المتأخرون من محققى هذا الفن كونها في بعدها الأقرب، إلا عطارد دونهم اختاروا كونه في بعده الأوسط.

و ٤٤ أ

وإذا قد تقدّم ذلك، فإنّا إذا قسمنا بعد الشمس الأوسط على قطرها، خرج ١٠٠ مائة وثمانية أجزاء ونصف وخمس؛ فتحفظ هذا العدد؛ ثمّ تقسم بعد عطارد الأوسط وهو ١٣٠ وثلاثة عشر دقيقة على نسبة قطره من الشمس وذلك خمسة عشر، تخرج ثمانية أجزاء وأربعون دقيقة تقسم على العدد المحفوظ، يخرج أربع دقائق وأربعة أخماس دقيقة: وهو قطر عطارد على أنّ قطر الأرض واحدًا. وإذا اخذنا من بعد الزهرة الأوسط (الذي هو ثمانمائة وتسعة وعشرون) عشرة، وقسمنا ذلك على العدد المحفوظ، خرج ثلثي جزء وعشر جزء: وهو قطر الزهرة على أنّ قطر الأرض واحدًا.

وأما المريخ، فإنّا، إن جعلنا النسبة له في بعده الأوسط، رئي في بعده الأقرب أكثر من الزهرة؛ ولم يوجد كذلك، وإنّا اخذنا هذه النسبة له إذا كان فيما بين بعده الأوسط والأقرب، وذلك عند كون بعده من الأرض ثمانية آلاف وإثنين وثلاثين مرّة مثل نصف قطر الأرض. فإذا أخذنا من هذا العدد نصف عشره، وقسمناه على المائة والثمانية والنصف والخمس، خرج ثلاثة أجزاء وثلثا جزء بالتقريب: وهو قطر المريخ على أنّ قطر الأرض واحدًا.

ظ ٤٧ ج

وأما المشتري، فإنّا إن جعلنا له هذه النسبة وهو في بعده الأوسط، فإنّا إذا قسمنا بعده الأوسط (الذي هو سبعة وثلاثون ألفًا وثمانمائة) على إثني عشر، خرج ثلاثة آلاف ومائة وخمسون؛ فتقسمها على المائة والثمانية والنصف والخمس، فيخرج تسع وعشرون بالتقريب: فقطر المشتري مثل قطر الأرض تسع وعشرون مرّة.

<sup>٣</sup> وبطلميوس: ثمّ بطلميوس [د،ج] <sup>٧</sup> دونهم: فإنّهم [د]، ناقصة [ج] <sup>١٤</sup> وإذا: والا [ج] <sup>١٦</sup> عند: ناقصة [د،ج]

## Quatrième section

### Mesures des corps des cinq astres errants

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 adoptées dans les distances moyennes, mais parmi les chercheurs en cet art, les Modernes les ont adoptées dans les distances minimales, sauf pour Mercure où ils l'ont adoptée dans les distances moyennes.

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 rayon 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 minute : c'est le diamètre de Mercure si le diamètre de la Terre est l'unité.

Si nous prenons de même le dixième de la distance moyenne 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 part : c'est le diamètre de Vénus si le diamètre de la Terre est l'unité.

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 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 Terre<sup>184</sup>. 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 environ : c'est le diamètre de Mars si le diamètre de la Terre est l'unité.

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 Terre.

---

184. 8032 est la moyenne entre la distance minimale du système d'orbites de Mars (1890) et sa distance moyenne à la Terre  $\frac{1890 + 26460}{2} = 14175$  rayons terrestres.

وإن جعلنا له هذه النسبة وهو في بعده الأقرب، الذي هو ثمانية وعشرون ألفاً وثمانمائة وإحدى عشر بالتقريب (لأن كوكب المشتري لا يصل إلى أقرب قرب أفلاكه التي هي أبعد بعد المريخ)، فإن قطر المشتري يخرج مثل قطر الأرض ثلاثة وعشرين مرة. ويكون مكعب إثني عشر ألفاً ومائة وسبعة وستين، وهي نسبة جرمه إلى جرم الأرض : فجرمه قدر جرم الأرض إثني عشر ألف مرة ومائة وسبعة وستين مرة بالتقريب.

وأما زحل، فإننا جعلنا له النسبة المذكورة في أقرب قربه، وهو مثل أبعد بعد المشتري مع زيادة حامل زحل : وذلك البعد تسعة وأربعون ألفاً وتسعمائة 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 وخمس بالتقريب : وهو قطر زحل على أن قطر الأرض واحداً.

وأما الكواكب الثابتة، فإن ما كان منها في القدر الأول فقطره جزء من عشرين من قطر الشمس، والذي في القدر الثاني قطره جزء من إثني عشر وعشرين، وما كان منها في القدر الثالث فقطره جزء من أربعة وعشرين، وما كان منها في القدر الرابع فقطره جزء من ست 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 بعدها الأوسط. فاعرف هذه الأعداد، ثم اقسام أبعد بعد أفلاك زحل (وهو تسعة وسبعون ألفاً وأحد وخمسون) على المائة والثمانية والنصف والخمس (المحفوظ)، يخرج سبعمائة وسبعة وعشرون وربع : ونسمه الأصل. فإذا قسمنا هذا العدد على عشرين، خرج قطر الكواكب التي في القدر الأول ؛ وإذا قسمناه على إثني عشر 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.

<sup>١٦</sup> القدر : ناقصة [ج] <sup>١١</sup> فإذا : فإن [د، ج]

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 orbes 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.

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'orbe déférent de Saturne : cette distance est quarante-neuf mille neuf cent soixante-huit <sup>185</sup>. 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 environ : c'est le diamètre de Saturne si le diamètre de la Terre est l'unité.

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 moyenne. 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 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.

---

185. *Erreur* : à la fin du chapitre 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 :  $\frac{49140 + 79051 + \frac{1}{6} + \frac{1}{8}}{2} \times 0;50,5 \simeq 53502$ , et non 49968.

فقسمننا على الأعداد المذكورة؛ فخرج قطر الذي في القدر الأول ستة وثلاثون مرة وخمس وسدس مرة، وخرج قطر التي في القدر الثاني ثلاثة وثلاثون مرة ونصف سبع مرة بالتقريب، وخرج قطر التي في القدر الثالث ثلاثون مرة وخمس وسدس مرة، وخرج قطر التي في القدر الرابع ثمانية وعشرون مرة بالتقريب، وخرج قطر التي في القدر الخامس ستة وعشرون مرة بالتقريب، وخرج قطر التي في القدر السادس أربعة وعشرون مرة وخمس وسدس مرة.

فإذا كعبنا اقطار الكواكب المتحيرة والثابتة، كان ذلك نسبتها إلى الواحد الذي هو مكعب قطر الأرض. أما القمر والشمس فقد تقدم ذلك. وأما عطارد، قطره أربع دقائق وأربع احماس دقيقة، ومكعب ذلك ثمانية وستة وأربعون ثلاثة و٤٥؛<sup>١</sup> وخمسة وأربعون رابعة وسبع خوامس؛ فنسبة جرمه إلى جرم الأرض كنسبة الواحد إلى ألفين وخمسة وعشرين بالتقريب.

وقطر الزهرة ستة وأربعون دقيقة؛ ومكعب ذلك سبعة وعشرون دقيقة، فهي خمسي كرة الأرض ونصف عشرها.

وأما قطر المريخ فقد بينا أنه ثلاثة أجزاء وثلاثا جزء على أن قطر الأرض واحداً؛ فيكون مكعبه تسعة وأربعون وسدس وثمان؛ فجرم المريخ قدر الأرض تسعة وأربعين مرة وسدس وثمان مرة بالتقريب.

وقطر المشتري مثل قطر الأرض تسعة وعشرين مرة؛ ومكعب قطره أربعة وعشرون ألفاً وثلاثمائة وتسعة وثمانون، وجرمه قدر جرم الأرض أربعة وعشرون ألف مرة وثلاثمائة وتسعة وثمانين هذا، إن كانت النسبة لقطره من قطر الشمس في بعده الأوسط (وإن كانت في بعده الأقرب فعلى ما تقدم قبل ذلك). فاعرفه.

وأما قطر زحل، فمثل قطر الأرض خمسة وعشرين مرة وثلاث وربع مرة؛ ومكعبه ستة عشر ألفاً ومائتين وأربعة وتسعين وثمان بالتقريب؛ فجرم <sup>٤٨</sup> ظ ج زحل قدر جرم كرة الأرض ستة عشر ألف مرة ومائتين وأربعة وتسعين مرة.

<sup>١</sup> فقسمننا: فإذا قسمننا [ج] <sup>١</sup> فخرج: خرج [ج] <sup>٢</sup> التي: التي [د، ج] <sup>٤</sup> التي: التي [د، ج]

<sup>١٧</sup> وقطر: وأما قطر [ج]

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 diamètre de la Terre], 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.

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.

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.

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.

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.

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 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.

وأما الكواكب الثابتة، فاعظمها، وهو الذي في القدر الأوّل فقطره مثل قطر الأرض ستّة وثلاثين مرّة وخمس مرّة وسدس مرّة بالتقريب؛ ومكعب ذلك سبعة وأربعون ألفاً وستّمائة وأربعة وخمسون مجبوراً؛ وجرمها من جرم الأرض كذلك، أعني مثل الأرض سبعة وأربعين ألف مرّة وستّمائة وأربعة وخمسين مرّة بالتقريب. وأما أصغر الثوابت، التي في القدر السادس، فقطر أحدها مثل قطر الأرض أربعة وعشرين مرّة وخمس وسدس مرّة؛ ومكعب ذلك أربعة عشر ألفاً وأربعمائة وثلاثة وستون بالتقريب؛ فجرمها مثل جرم الأرض أربعة عشر ألف مرّة وأربعمائة وثلاثة وستين مرّة.

هذه المقادير، على موجب الاصول الصحيحة، لا يمكن أن يكون أصغر من ذلك؛ ويمكن أن يكون أكبر، ولا يستعظم ذلك. فعظمة الله تعالى اعظم، وقدرته اوسع، وهو على كلّ شيء قدير. وجميع المتقدمين مجمعين على العمل بموجب الارصاد التي أدت إلى هذه الاشياء. وقد تكرّر من بطلميوس ان قال <sup>ظ ٤٥ أ</sup> أما الابعاد فلا يمكن ان يكون أقلّ ممّا ذكرنا؛ وأما الاجرام فهي تبع للابعاد، فإن كانت الابعاد اكثر كانت الاجرام اكثر ولا ينعكس؛ وليس هذا بمستقصى <sup>ظ ٥٢ د</sup> في هذا النوع؛ وقد ناقض نفسه في كتابه الذي سماه **بالاقتصاص**، في الهيئة وفي الاجرام. وتساءل لله تعالى التوفيق والهداية وهو حسبنا ونعم الوكيل.

#### تنبيه

كلّ كرة قطرها معلوم، فدورها معلوم، وأجزاء الدور معلومة، ومساحة بسيطها معلومة، ومساحة جرمها معلومة. وكلّ مقدار معلوم بمقدار، فهو معلوم بكلّ ما يعلم به ذلك المقدار. مثاله: ابعاد الافلاك واجرام الكواكب معلومة بمقدار نصف قطر الأرض، ونصف قطر الأرض معلوم بالفراسخ والاميال والاذرع والاصابع والشعيرات؛ فكذلك الابعاد والاجرام معلومة بهذه المقادير.

<sup>١١</sup> مجمعين: مجمعون [د]، اجمعوا [ج] <sup>١٩</sup> بمقدار: فوق السطر [أ] <sup>١٩</sup> بكلّ: كلّ [أ]  
<sup>٢١</sup> بالفراسخ: بالفراسخ [ج]

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 est vingt-sept mille six cent cinquante-quatre arrondi ; 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.

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.

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 ; cela n'est pas exhaustif dans cette espèce ; et il se contredit à propos de la configuration et des volumes des astres dans son livre intitulé *Les Hypothèses planétaires*. Nous demandons le succès à Dieu le Très Haut.

#### 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.

واعلم أنا إذا زدنا على ابعده بعد افلاك زحل اقطار الكواكب الثابتة، كان ذلك ابعده بعد الكواكب الثابتة؛ وجائز أن يكون أكثر من ذلك بما شا الله تعالي، وغير جائز أن يكون أقل من ذلك، كما علمت. فيكون ابعده بعد <sup>ج</sup> و <sup>٤٩</sup> ج الثامن أو اقرب قرب التاسع لا ينقص عن تسعة وسبعين ألفاً وثمانية وثمانين مثلاً لمقدار نصف قطر الأرض؛ فهذا هو نصف قطره، فإذا اضعفته وضربت ذلك في ثلاثة وسبع، حصل دور مقعر التاسع؛ فإذا قسم الدور على ثلاثمائة وستين، حصل حصّة درجة واحد من محيط مقعر التاسع؛ وإذا قسم الدرجة على ستين، حصل حصّة دقيقة واحدة منه. وقد ضربنا نصف قطر محدب كرة الكواكب الثابتة (وهو تسعة وسبعون ألفاً وثمانية وثمانين) في ثلاثة وسبع، واضعفنا ما بلغ، فحصل محيط اعظم دائرة يقع على سطح الثامن (وهو مساو لمقعر التاسع) : وذلك ٤٩٧١٢٤ وأربعة اسباع. ثم قسمنا ذلك على ثلاثمائة وستين، فحصل ١٣٨٠ وثلثان وربع : وهو حصّة درجة واحدة من دور مقعر التاسع. فقسمنا ذلك على ستين، فحصل ثلاثة وعشرون وكسر (لمثل نصف قطر الأرض) : وهو دقيقة واحدة. وهو بمقدار ما يعد انسان ستة مسرعاً؛ فيكون بمقدار ما يقول انسان واحد، يتحرك الفلك مثل قطر الأرض مرتين بالتقريب. فقد تبين أن الفلك التاسع إذا تحرك درجة، وهو ثلث خمس ساعة، تحرك بقدر نصف قطر الأرض ألف وثلثمائة وثمانين وثلثين وربع. وإذا تحرك <sup>ج</sup> و <sup>٤٦</sup> أ دقيقة، تحرك بمقدار نصف قطر الأرض ثلاثة وعشرين مرة. هذا على فرض مقعّره؛ وأمّا سمكه فما يعلمه إلا الله تعالي عزّ وجلّ؛ فيكون مسافة الدرجة في محدب اعظم من المسافة في مقعّره بما لا يعلمه إلا الله تعالي عزّ وجلّ تسحانه وتعاللي.

<sup>٤</sup> تسعة وسبعين ألفاً وثمانية وثمانين : تسعة وتسعين ألفاً وثمانية وثمانين [د]، ٩٩٠٨٨ [ج] واحد : واحدة [د] <sup>٧</sup> محيط : فوق السطر [أ] <sup>٧</sup> قسم : قسمت [ج] <sup>٩</sup> تسعة وسبعون ألفاً وثمانية وثمانين : تسعة وتسعون ألفاً وثمانية وثمانون [د]، ٩٩٠٨٨ [ج] <sup>١١</sup> وأربعة اسباع : وأربعة اتساع [د]، <sup>٤</sup>/<sub>٩</sub> [ج] <sup>١٤</sup> يعد انسان ستة مسرعاً : يعدوا انسان ستة مسرعاً [د]، يعدوا انسان ستة مسرع [ج] <sup>١٥</sup> قطر : ناقصة [د] <sup>١٥</sup> مرتين : في هامش [أ] <sup>١٩</sup> فما : فلا [ج] <sup>١٩</sup> تعالي : ناقصة [أ، د] <sup>١٩</sup> عزّ وجلّ : ناقصة [ج] <sup>٢٠</sup> في : من [ج] <sup>٢٠</sup> في : من [ج] <sup>٢٠</sup> تعالي : ناقصة [أ، د، ج] <sup>٢١</sup> تسحانه وتعاللي : ناقصة [د، ج]

Sache que si nous ajoutons à la distance maximale des orbes de Saturne les diamètres des étoiles fixes, cela fait la distance maximale 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. 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) : 497124 et quatre septièmes. Nous avons divisé cela par trois cent soixante, on obtient 1380, 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-vingt fois, deux tiers de fois et un quart de fois le rayon de la Terre. S'il se meut d'une minute, alors 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.

## تنبيه

اعلم أنّ الزهرة والمريخ لا يرى قطرهما على مقتضى ابعادهما. لأنّ ابعد بعد كلّ واحد منهما اضعاف لا قرب قربه؛ فكان يجب أن يكون الاقطار تبع الابعاد، اعني أن يرى الكوكب، في اقرب قربه، اضعاف قطره في ابعد بعده؛ ولم ير ذلك.

أمّا بطلميوس فقال: «السبب الذي من اجله صار ما يظهر للبصر وتخيّل إليه من عظم الجرم ليس على مثل نسب ابعادهما، فينبغي لنا أن نعلم انه الغلط الذي يدخل على البصر من قبل اختلاف المنظر. ويتبيّن ذلك في جميع <sup>ظ ٤٩ ج</sup> ما يظهر للعين (ولا تفاضل ما بين الاشياء المختلفة الاقدار، بعلم لنقصانها الدائم). لذلك يرى كلّ واحد من الكواكب قريباً ممّا اكثر من حال حقيقته، لانحطاط البصر إلى الابعاد التي قد اعتادها والفها. فيما بينا لذلك الحال في <sup>و ٥٣ د</sup> الزيادات والنقصانات التي تعرض للعظم بحسب زيادة الابعاد ونقصانها، فإنّها تكون أقلّ من النسبة التي هي لها، لعجز البصر، كما قلنا عن تمييز وإدراك كمّيّة تفاضل كلّ نوع ممّا ذكرنا.» هذا جواب بطلميوس عن ذلك، والذي عندي في ذلك:

١٥ - أنّ الكرات إذا قربت من البصر، كان ما يظهر منها أقلّ ممّا كان يظهر مع البعد.

- وأنّ الاجسام النيرة لا يدرك البصر حقيقة اقطارها لاستقبال البصر بشعاع النور.

٢٠ - وأنّ البصر مع البعد لا يرى الاشياء على ما هي عليه. وممّا يوضح ذلك أنّه، إذا فرض جسمان كرتيّان، قطر أحدهما ضعف قطر الآخر، ونظر إليهما من بعد لم يمكن البصر ادراك حقيقة مقدار القطرين، ولا يعين ان قطر أحدهما ضعف الآخر، ولا يمكن تحقيق ذلك بآلة من الآلات، مع العلم بان قطر احدهما ضعف قطر الآخر.

<sup>٦</sup> اجله: اصله [د] <sup>٩</sup> ولا تفاضل: وتفاضل [د] <sup>١١</sup> قد: ناقصة [د،ج] <sup>١١</sup> بينا: غير مقروء [أ،ج]،  
بيننا [د] <sup>١١</sup> لذلك: كذلك [د] <sup>١٦</sup> الكرات: الكواكب [د] <sup>١٨</sup> لاستقبال: لاشتغال [د،ج] <sup>١٣</sup> قطر  
أحدهما ضعف الآخر: أحدهما قطره ضعف قطر الآخر [ج]

### 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 le double 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, un diamètre double de son diamètre à distance maximale ; mais ce n'est pas ce qu'on voit.

Ptolémée a dit : « La raison pour laquelle la vision voit et croit que les grandeurs des corps ne sont pas dans le même rapport que leurs distances, c'est l'erreur qui entre dans l'observateur à cause de la parallaxe. On s'en aperçoit en toute chose vue par l'œil (il n'y a pas de différence entre choses de grandeurs différentes, avec la connaissance de leur diminution continue). On voit toute planète beaucoup plus proche de nous que son état en vérité, à cause du fait que la vision se réduit aux distances auxquelles elle s'est accoutumée et habituée. Nous avons montré que l'augmentation et la diminution subie par la grandeur est en raison de l'augmentation et de la diminution des distances, mais ce rapport est inférieur au rapport réel, à cause de la faiblesse de la vision, d'après ce que nous avons dit à propos de la distinction de la quantité de la différence pour chaque espèce de ce que nous avons mentionné. » Ceci est la réponse de Ptolémée. Nous pensons pouvoir analyser cela ainsi :

– Quand une sphère se rapproche de l'observateur, ce qui en est visible est moindre que ce qui en est visible à distance.

– L'observateur 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, l'observateur ne voit pas les choses comme elles sont.

Expliquons cela. Prenons deux corps sphériques, le diamètre de l'un étant double du diamètre de l'autre, et regardons-les de loin. L'œil ne pourra percevoir la grandeur réelle de leurs diamètres, ni ne pourra voir 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 s'il sait que le diamètre de l'un est double du diamètre de l'autre.

وان حرّز البصر تقريب مقدار أحد القطرين من الآخر؛ ثمّ فرضنا بقاء أحدهما في مكانه وتحرك الآخر ضعف ذلك البعد؛ لم يحتمل للبصر اختلاف ما كان حرّزه مع العلم بخلاف الأول. ونوع آخر، لو وقع البصر على ضوء مصباح من بعد مفروض، وتوهم البصر له مقداراً ما، ثمّ قرب منه نصف ذلك البعد <sup>٤٦</sup> أ أو بعد عنه بذلك المقدار، لم يخيّل للبصر تغير ذلك المقدار. فمن هذا ومما تقدّم، يتركّب الجواب عن المسألة وعلم حقيقته، مع البعد عجز البصر عن تحقيق مقادير الأشياء. عمّا هي عليه، فانا نجزم بأنّ البصر، لا يمكنه إذا وقع على زيد وعمر ومع البعد تحقيق أيّهما اطول من الآخر، ولا بأيّ مقدار أحدهما اطول من الآخر؛ هذا مع البعد الذي هو بالنسبة إلى غيره لا شيئاً <sup>٥٠</sup> ج قد اتّضح ان ابعده بعد المريخ ستّة وعشرون ألفاً وأربعمائة وستّون بمقدار نصف قطر الأرض. فيسقط حكم البصر على المقادير مع أقلّ من هذا البعد بكثير؛ فهو، مع هذا، اكثر نفوراً عن تحقيق المقادير مع انا ندرك اختلاف اقطار الكواكب في سائر ابعادها ونخس به (إلاّ أنّه على غير ما يقتضيه نسب الابعاد كما اوضحنا). ومن هنا، يفهم أنّ الكواكب اجسام نيّرة نورها من ذاتها، لا كالقمر فانه جسم كثيف ونوره عرضي من انعكاس شعاع الشمس على سطحه. <sup>١٥</sup> وبهذا السبب أمكن تحرير قطره في سائر ابعاده من الأرض، خلاف غيره من الكواكب.

<sup>١</sup> حرّز: جوز [ج] <sup>١</sup> فرضنا: فرضا [أ] <sup>٢</sup> حرّزه: جوزة [ج] <sup>٤</sup> مقداراً: مقدار [د] <sup>٥</sup> للبصر: البصر [د،ج] <sup>٥</sup> تغير: نغير [أ] <sup>٧</sup> تحقيق: حقيقة [د،ج] <sup>٨</sup> بأيّ: بأيّه [أ]، <sup>٩</sup> باثر [د] <sup>١١</sup> فيسقط: فسقط [أ] <sup>١٣</sup> يقتضيه: تقتضيه [ج،د]

Que l'observateur 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 ; l'observateur ne pourra plus admettre la différence qu'il avait estimée. D'autre part, si le regard se porte sur la lumière d'une lampe à distance donnée et que le regard 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 indépendamment de l'incapacité de la vision à saisir la grandeur des choses dans leur état. Nous affirmons que si l'œil se porte sur Paul et Pierre, il ne peut déterminer lequel des deux est plus grand (même par la distance), ni ne peut dire de quelle grandeur l'un est plus grand que l'autre ; ceci, même s'il n'y a aucune distance entre eux deux. Il est donc clair que la distance maximale de Mars est vingt-six mille quatre cent soixante comparée à la grandeur du rayon de la Terre. La science 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 que nous le sentons (sauf que cela ne dépend pas du 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 vient du reflet des rayons du Soleil à sa surface. Pour cette raison, l'estimation du diamètre [de la Lune] aux autres distances de la Terre est possible, mais non celle des diamètres des autres astres.

فهذا آخر ما قصدنا إيرادَه في هذه المقالة. ويتلو هذه المقالة مقالة ثانية في هيئة الأرض وما يلزمها. ونتبع ذلك بحساب جداول تعاديل الكواكب على مقتضى هذه الاصول في مقالة ثالثة إن شاء الله تعالى. والمرجوّ من متصفح هذا الكتاب ان لا ينكر ما لا يحيط به علمه، ويسلك مسلك الحقّ والانصاف، ويتجنب طريق العناد. فانه من قابل بين هذه الاصول وبين ما تكلفه المتقدّمون والمتأخرون في ذلك وسلك في ذلك طريق الحقّ، ظهر له صحّة ما اوردها ووضح الطريق الذي سلكناه.

والله المشكور المحمود وبه نعتصم وعليه نتوكل وهو حسنا ونعم الوكيل.

---

<sup>٢١</sup> ويتلو هذه المقالة مقالة ثانية في هيئة الأرض وما يلزمها: في هامش [أ] <sup>٦</sup> في ذلك: ناقصة [ج] <sup>٦</sup> ظهر: ظهرت [ج] <sup>٧</sup> سلكناه: قد سلكناه [ج] <sup>٨</sup> المشكور: المتكور [أ]، المسؤول [د] <sup>٨</sup> وبه: به [د] <sup>٨</sup> وهو: فإنّه [ج]

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 qui n'est pas parfaitement connu, qu'il empruntera le chemin de la vérité et de la raison, et qu'il échappera à la voie de l'entêtement. Le bien-fondé de ce que nous avons produit et la clarté de la voie que nous avons empruntée paraîtra à qui suivra la voie de la vérité et confrontera ces fondements avec les Anciens et les Modernes.

Merci à Dieu, qu'Il soit notre refuge, nous nous en remettons à Lui.

بسم لله الرحمن الرحيم وبه أستعين.  
المقالة الثانية من نهاية السؤل.  
في هيئة الأرض وما يلزمها بحسب إختلاف أوضاع العلويات  
وقبها عشر فصول.

### الفصل الأوّل

في جملة هيئة الأرض وأحوالها.

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 محدب الأرض موازٍ لمقعر الفلك المحيط. والسائر  
على الأرض يجب أن يصير سمت رأسه في كلّ وقت جزءاً آخر من الفلك.  
وإذا تفرق ثلاثة أشخاص من موضع وسار أحدهم نحو المغرب والآخر نحو  
المشرق وأقام الثالث إلى أن دار السائرين ووصلوا إليه يوجد 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 للمغربي أعظم من قوس النهار للمقيم بقدر  
حركته وهي للمقيم أعظم منها للمشرقي بقدر حركته. وقدر الزائد والناقص يوم  
فإذا قيل لكلّ واحد من الثلاثي ما يومك هذا من الأسبوع قال المقيم يوم  
الجمعة وقال المغربي يوم الخميس وقال المشرقي يوم السبت.  
وإذا توهم سطح معدّل النهار قاطعاً للعالم قطع الأرض نصفين شمالي  
وجنوبي ويسمى ذلك المقطع منها خطّ الإستواء. فإذا توهمت عظيمة أخرى  
من دوائر الأفق مارةً بقطبي المعدّل قاطعةً الأرض نصفين فوق وأسفل. إنقسمت  
الأرض بهما أرباعاً ربعان شماليان وربعان جنوبيان. أحد الشماليان الفوقاني هو  
الربع المسكون والباقيّة إمّا غامرة في البحار أو غير معلومة.

ظ ٤٧ أ  
ظ ٥٠ ج  
ظ ٥٣ د

Au nom de Dieu clément et 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.

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. 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 est immobile répond vendredi, alors celui qui va vers l'Ouest dira jeudi, et celui qui va vers l'Est dira samedi.

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 coupure 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 habité. Le reste est soit en grande partie sous les mers, soit inconnu.

- الأحوال والعلم بجملة التحضيض مختص بالحكيم الفاعل المختار وقد قال بعض أهل هذا العلم أنّ الناحية الجنوبيّة، لقربها من حضيض الشمس، أشدّ و ٥١ ج حرارةً. وشدة الحرارة تُنافي العمارة. ولو كان السبب ذلك، لكان ما جاوز عرضه من الجنوب غاية الميل معموراً، ولما اختص بعض نواحي الشمال بالعمارة، دون البعض، مع مساواة العرض والطول. و قال بعضهم لا شك أنّ مدة كون و ٤٨ أ الحضيض في البروج الجنوبية بتلك النواحي اشد حرارة يدل عليها لون من قرب منها.
- والحرارة تجذب الرطوبة بدليل جذب شعلة السراج الزيت فانجذبت البحار الى النصف الجنوبي وانكشف النصف الشمالي من الارض ووجد البحار في الشمال ينافي هذا الحكم. ١٠
- و قال بعضهم ما ليس بمسكون من تلك الناحية ما يقع بين هبوطى النيرين ويسمى بالطريقة المحترقة وهذا من خرافات الاحكاميين.
- وقول صاحب التذكرة لو كان السبب غير العناية الإلهية، لما اختص احد الربع الشمالى بالعمارة انما يتاتي ان لوحصل العلم بذلك الاختصاص وانما حكم بان المعمور ربع الارض الذي هو الفوقاني من النصف الشمال، اما ١٥ طولاً، فلانه لم يجد في طرفي العمارة فيه غاية تقدم الخسوف وتأخره زائدة على ١٢ ساعة، و اما عرضاً، فلانه لم يوجد اظلال المقاييس في نواحي العمارة كلها عند انتصاف نهار الاعتدالين الى طرف الجنوب، الا في قليل من مساكن على اطراف الزنج والحبشة وغيرهما. و ٥٤ د
- و أوّل عرض المعمور من الجنوب حيث ارتفاع القطب الجنوبي نو كه، و ٢٠ هي المساكن المذكورة انفاً. وآخره في الشمال حيث إرتفاع القطب الشمالي سو وما بعده لا يمكن ان يسكن فيه لشدة البرد اللازم من بعد الشمس عن سمت الرأس هناك. فعرض المعمور فب كه وطولها ١٧٧ ته. البحر محيط بأكثر جوانب القدر المسكون اما من جانب المغرب والشمال وأكثر الجنوب لا سيّما الشرقي منه فمعلوم واما جنوب المغرب فغير معلوم. وقد ذكر ان ٢٥ السائرين على سمت متابع نيل مصر انتهوا الى مواضع زاد عرضها الجنوبي على بضع عشر درجة وشاهدوا الجبال البيض من الثلج المنسوبة الى القمر ظ ٥١ ج التي منها ينابيع النيل في جنوبهم في بعيد و لم يصلوا الى بحر. وايضاً ليس لنا وقوف يقينى على بحر في شمال الشرق.
- و في القدر المكشوف العمارة بحار كثيرة. ٣٠

٦ لون : كون [ج] ٧ قرب : يقرب [أ] ٩ الى النصف : للنصف [ج] ١١ بين : من [ج،د] ١٣ الإلهية : الالهية [أ] ٢٩ الشرق : السرفي [د]

La science ... est propre à ... Certains spécialistes de cette science disent que les contrées du Sud, parce qu'elles sont proches du périégée solaire, sont très chaudes ; leur grande chaleur empêche toute culture. Si c'en était la cause, les contrées du Sud dont la latitude dépasse l'inclinaison maximale ne seraient pas incultes, et certaines contrées du Nord seraient inappropriées à la culture, bien que d'autres ne le sont pas, à latitude et longitude égale. Mais selon certains de ces spécialistes, la couleur de ceux qui en sont proches montre la durée pendant laquelle le périégée est au Sud de l'écliptique, pour ces contrées très chaudes.

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.

Selon certains, celles de ces contrées qui ne sont pas habitées sont celles où vont se coucher les luminaires, et on les appelle "routes brûlantes" ; mais c'est un conte invraisemblable.

L'auteur de la *Tadkira* a dit : si la raison n'en était la Providence, pas un des deux quarts Nord ne serait approprié à la culture. Mais pour atteindre la science de ce qui rend ce quart approprié à la culture, on sait que la partie habitée est le quart le plus élevé, dans la moitié Nord, parce qu'en longitude, il n'existe pas, aux deux extrémités de la partie habitée, de lieux où la limite de l'avancée des éclipses et de leur retard dépasse douze heures, et parce qu'en latitude, il n'existe nulle part, dans toutes les contrées habitées, 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'Ethiopie, etc.

Les premières latitudes habitées 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 habitées mesurent 82;25 degrés ; les longitudes, 177;15 degrés. La mer entoure de presque tout côté la part habitable. Le côté Ouest, le côté Nord, et presque tout le Sud, notamment le Sud-Est, sont connus. Le Sud-Ouest n'est pas connu. Il est dit que des voyageurs, en haut du cours du Nil en Egypte, sont arrivés en des lieux dont la latitude Sud dépasse quelques dix degrés, et qu'ils ont vu les montagnes blanches, comparables à la Lune, où sont les sources du Nil ; même plus loin au Sud, ils n'ont pas atteint de mer. Nous n'avons pas non plus de témoignage au sujet d'une mer au Nord-Est.

Dans la partie découverte et habitée, il y a de nombreuses mers.

- بعضها متصل بالمحيط كالذي من المغرب والاندلس والذي بين اندلس والشام وكالبحر الجنوبي المتصل بالجانب الشرقي الذي خرج منه أربع خليجات الى وسط العمارة، الخليج البربري، وهو اقربها الى المغرب، والخليج الاحمر، وخليج فارس، والخليج الاخضر، ولكل واحد منها طول و عرض صالحان، وكبحر ورنك من جانب الشمال. وبعضها غير متصل بالمحيط كبحر طبرستان وُبَحيرة خوارزم وغيرهما من البطائح والمغائص.
- وغير البحار من موانع العمارة كالبراري والجبال والرمال والقلال والآجام وغيرها كثير يعرفها اهل العلم بالمسالك والسيّاح وغيرهم، والعلم بتفاصيل ذلك فمن مفرد مذكور في الكتب المصنفة فيه. معظم العمارة في طرف الشمال يقع بين ما يجاوز عشر درجات في العرض الى حدود خمسين درجة.
- قسمها اهل الصناعة الى سبعة اقاليم طولاً، فيكن كل اقليم تحت مدار ممثلة بين الخافقين، وتتشابه احوال البقاع التي فيه. وعرضه ما يوجب تفاضل نصف ساعة في مقادير النهار الاطول في اواسط الاقاليم. وما بين الاقليم السابع الى عرض سَو جزئاً، عمارات يسيرة وسكانها شبيه بالوحوش. و على عرض سَح جزئاً جزيرة تولى واهلها يسكنون الحمامات لشدة البرد ونهارها الاطول ٢٠ ساعة. وقال بطليموس بالموضع الذي عرضه سَد جزئاً قوم من الصقالية لا يعرفون. والجمهور جعلوا الطول من جانب المغرب ليكون ازدياد عدد الطول في جهة توالى البروج، ومبدأ العرض من خط الاستواء لتعيينه بالطبع، و بداية العمارة من جزائر الخالدات، و هي الان مغمورة بالماء. وقوم جعلوها ساحل البحر المغربى. وبينهما عشر درجات. ونهاية العمارة كنكر، وهو مستقر الشياطين عند بعض العلماء، ومداوها عند من جعله من جانب المشرق. وسموا و ٥٢ ج ما بين النهايتين على خط الاستواء قبة الارض.

١ الاندلس : اندلس [د] ٤ وخليج : خليج [ج] ١٠ درجة : ناقصة [أ] ٢١ مداوها : مبادهما [أ]  
٢١ المشرق : الشرق [ج]

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 habitées : le golfe de Berbera<sup>186</sup>, celui qui est le plus proche du Maghreb, le golfe Rouge<sup>187</sup>, le golfe Persique et le golfe Vert<sup>188</sup>. Chacun d'eux a une longitude et une latitude avantageuses. [Parmi les mers qui touchent l'Océan], il y a aussi la mer des Warank<sup>189</sup> du côté Nord. Certaines mers ne touchent pas l'Océan, comme la mer du Tabaristan<sup>190</sup>, le lac du Khwarizm<sup>191</sup>, et d'autres qui sont des marais et des pêcheries.

Outre les mers, parmi les choses empêchant l'habitation, il y a les plaines, les montagnes, les sables, les collines, les maquis, et beaucoup d'autres que savent les spécialistes des routes, le voyageur, *etc.* ; la connaissance détaillée de cela est seulement dans les livres variés de cette catégorie. La grandeur de la partie habitée, du côté Nord, tombe entre un peu plus de dix degrés de latitude jusqu'à la limite des cinquante degrés.

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 ; son [étendue] en latitude se calcule par des incréments d'une demi-heure par rapport à la durée du jour le plus long dans le climat moyen. Du septième climat jusqu'à une latitude de 66 parts, on trouve peu de constructions, et leurs habitants ressemblent à des sauvages. Au delà de 63 parts de latitude, il y a l'île de Thulé<sup>192</sup> 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 qui ne savent pas. 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 habités aux îles Canaries qui sont 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 habitée est comme nous avons rapporté – selon certains, c'est la demeure des Démons – et c'est le début de la partie habitée 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.

---

186. *i. e.* le golfe d'Aden où se trouve la ville de Berbera.

187. *i. e.* la mer Rouge.

188. *i. e.* le golfe d'Oman.

189. *i. e.* la mer Baltique.

190. *i. e.* mer Caspienne.

191. *i. e.* mer d'Aral.

192. les Hébrides, l'Islande ou la Norvège peut-être.

- وهي على بعد ربع الدور من المبداء الغربي، فيلزمها الاختلاف من جهة تعيينها بسبب الاختلاف فيه.
٥. **اما الاقليم الأول** فمبداه حيث النهار الاطول اثنا عشر ساعة ونصف وربع، وعرضه اثنا عشر درجة وثلاثا درجة، ووسطه حيث النهار ثلاثة عشر ساعة وعرضه ستة عشر درجة ونصف وثمان.
١٠. **واما الاقليم الثاني** فمبداوه حيث النهار ثلاثة عشر ساعة وربع، والعرض عشرون درجة وربع وخمس، ووسطه حيث النهار ثلاثة عشر ساعة ونصف، و٤٩ أ والعرض اربعة وعشرين درجة ونصف وسدس.
١٥. **واما الاقليم الثالث** فمبداوه حيث النهار ثلاثة عشر ساعة ونصف وربع، والعرض سبع وعشرون درجة ونصف، ووسطه حيث النهار اربعة عشر ساعة، والعرض ثلاثون درجة وثلاثان درجة.
٢٠. **واما الاقليم الرابع** فمبداوه حيث النهار اربعة عشر ساعة وربع، والعرض ثلاث وثلاثون درجة ونصف وثمان، ووسطه حيث النهار اربعة عشر ساعة ونصف، والعرض ست وثلاثون درجة وخمس وسدس.
٢٥. **واما الاقليم الخامس** فمبداوه حيث النهار اربع عشرة ساعة ونصف وربع، والعرض تسع وثلاثون درجة الا عشرها، ووسطه حيث النهار خمس عشرة ساعة، والعرض احدا واربعون درجة وربع درجة.
٣٠. **واما الاقليم السادس** فمبداوه حيث النهار خمس عشرة ساعة وربع، والعرض ثلاثة واربعون درجة وربع وثمان، ووسطه حيث النهار خمس عشرة ساعة ونصف، والعرض خمس واربعون درجة وربع وعشر.
٣٥. **واما الاقليم السابع** فمبداوه حيث النهار الاطول خمس عشرة ساعة ونصف وربع، والعرض سبع واربعون درجة وخمس، ووسطه حيث النهار ستة عشر ساعة وربع، والعرض خمسون درجة وثلث.
٤٠. **وأخر كل اقليم أول ما يليه بعده.** وقوم آخر جعلوا مبدا الاقليم الأول خط ظ ٥٢ ج الاستواء، وآخر السابع منتهى العمارة لا منتهى معظمها.

١ على : ناقصة [ج] <sup>٨</sup> والعرض : وعرضه [ج] <sup>١١</sup> درجة : ناقصة [د، ا] <sup>١٢</sup> وربع : ناقصة [ج، د]،  
 ١٦ عشرها : وعشر درجة [د] <sup>١٧</sup> درجة : ناقصة [د، ا] <sup>١٨</sup> وربع : فوق السطح [ج] <sup>٢١</sup> الاطول :  
 ناقصة [د، ا]

C'est situé à un quart de circonférence du commencement Ouest ; il y a donc des variantes concernant ce nom, en raison des variantes concernant le commencement Ouest.

*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.<sup>193</sup>

*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.<sup>194</sup>

*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.<sup>195</sup>

*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.<sup>196</sup>

*Le cinquième climat* commence là où le jour dure quatorze heures trois quarts et où la latitude est trente-neuf degré 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.<sup>197</sup>

*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.<sup>198</sup>

*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 et un tiers de degré.<sup>199</sup>

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 habitée, non là où s'en achève la majeure partie.

---

193. Début 12; 20 ou 12; 40. Milieu 16; 37, 30.

194. Début 20; 27. Milieu 24; 40.

195. Début 27; 30. Milieu 30; 40.

196. Début 33; 37, 30. Milieu 36; 22.

197. Début 38; 54. Milieu 41; 15.

198. Début 43; 22, 30. Milieu 45; 21.

199. Début 47; 12. Milieu 50; 20.

[وهذه صورة الاقليم السبعة وفيها جبال وانهار عظيمة]

- ففي الاقليم الأول عشرون جبلا وثلاثون نهراً واكثر اهله السودان. وفي  
الاقليم الثاني سبعة وعشرون من كل منهما واللوان اهله السواد والسمره. وفي  
الاقليم الثالث ثلاثة وثلاثون جبلا واثنان وعشرون نهرا واكثر اهله السمره. وفي ٥٣ ج  
الاقليم الرابع خمس وعشرون جبلا واثنان وعشرون نهرا ولون اكثر اهله بين  
السمره والبياض وهم اعدل الناس خلقا وخلقا ولهذا كان معدن الابنبا والاوليا  
والحكما ثم اهل الثالث والخامس واهل ساير الاقليم ناقصون خلقا وخلقا.  
وفي الاقليم الخامس ثلاثون جبلا وخمسة عشر نهرا واكثر اهله البيض. وفي  
الاقليم السادس احد عشر جبلا واربعون نهرا والغالب على لون اهله الشقرة. ٤٩ أ  
وفي الاقليم السابع مثله نهرا وجبلا ولون اهله بين الشقرة والبياض، واكثره  
خراب لشدة البرد وكثرة الثلوج والاندا، واهل بعض مساكنه يسكنون الحمامات  
مدة ستة اشهر. وفيما بين آخره ومنتهى العمارة مساكن اقل كثيرا مما قبله،  
واهلها اشبه بالوحوش.  
والنهار الاطول يبلغ ١٧ ساعة حيث العرض نَد وكسر ويبلغ ١٨ ساعة حيث  
العرض نَح ويبلغ ١٩ ساعة حيث العرض ٦١ درجة ويبلغ ٢٠ ساعة حيث  
العرض سَج ويبلغ ٢١ ساعة حيث العرض سَد ونصف ويبلغ ٢٢ ساعة حيث  
العرض سَه وكسر ويبلغ ٢٣ حيث العرض سَو ويبلغ ٢٤ ساعة حيث العرض  
تمام الميل الكلي ويبلغ شهراً حيث العرض سَز ويبلغ شهرين حيث العرض ٥٥ د  
سط مه ويبلغ ثلاثة اشهر حيث العرض عَج ونصف ويبلغ اربعة اشهر حيث  
العرض عَح ونصف ويبلغ خمسة اشهر حيث العرض فَد ويبلغ نصف السنة  
حيث العرض ربع الدور.  
واما ما في كل اقليم من البلاد المشهورة عند القدماء، فمبدا النهاية شرقا  
الى النهاية غرباً، اما الاقليم الأول فانه يبتدي من المشرق من اقاصي بلاد  
الصين ويمر على بلاد الصين مما يلي الجنوب وفيه مدينة ملك الصين ثم  
على جنوب بلاد الهند و بلاد السند وعلى جزيرة الكرك والبهائر قبل ملك  
اليمن، ثم خليج فارس، وجزيرة العرب، وهي قريب من خمسمائة فرسخ وفيه ٥٣ ج  
جملة ولاية العرب واحيائهم وقبائلهم نحو الحجاز والطائف واليمن والبحرين ونجد  
وتهامه ومكة والمدينة وهي يثرب، ولكن ليس كلها في الاقليم الأول. بل ما  
منها قيه من المدائن المغروفة، مدينة ظفار وعمان وحَضرموت وعدن وتعز وصنعا  
اليمن ومارا وزبيد وقلهات وشحر وحرس ومهرة وسبا. ٣٠

١٥-١٤ نَد وكسر ويبلغ ١٨ ساعة حيث العرض: ناقصة [ج، د] ١٦ ونصف: ناقصة [ج] ٢٠ نصف  
السنة: ستة اشهر [ج] ٢٢ كل اقليم: الاقليم [ج] ٢٥ والبهائر: واليهما من [أ] ٢٨ وهي يثرب:  
ويثرب [أ] ٢٨ ولكن: فوق السطر [ج] ٢٩ قيه: ناقصة [د، ج] ٢٩ وتعز: والعين [أ] ٣٠ وشحر:  
شهر [د، أ]

[figure des sept climats contenant les montagnes et les grandes rivières]

*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 khlgan w khlgan, et c'est pourquoi [ce climat] a été une mine de peuples, de saints et de savants ; d'ailleurs les peuples du troisième, du cinquième et des autres climats manquent khlgan w khlgan. *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 jaune. *Dans le septième climat*, il y a autant de rivières et de montagnes, et la couleur de ses peuples est entre jaune 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 habitée, il y a beaucoup moins d'habitations qu'en amont ; là, le peuple ressemble à des bêtes.

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.

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 cité impériale, puis par le Sud de l'Inde et du Sind, l'île Krk Baha'ir, le royaume du Yemen puis le golfe Persique et la péninsule arabe qui fait à peu près cinq cents stades et où se trouve tout l'état arabe, ses tribus et ses peuplades près du 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, Ta'izz, Sanaa du Yemen, Mārā, Zabid, Qalhât, Shihir, Huras, Mahra, et Saba.

ثم يمر على بلاد الحبشة، ويقطع نيل مصر والسودان والنوبة مثل حرى و ١٥٠  
دار ملك الحبشة، ودهلمة مدينة النوبة، وغانه معدن الذهب من بلاد السودان  
المغرب، ثم على جنوب بلاد بربر، الى المحيط الغربي.

و اما الاقليم الثاني فيبتدي من المشرق من بلاد الصين ثم يمر بمعظم  
بلاد الهند ثم ببلاد السند كالمدينة المنصوره والنيور والدنبك ويصل الى عمان  
والبصرة ويقطع جزيرة العرب من ارض نجد وتهامة وفيه من المدن هناك اليمامة  
والبحرين وهجر ويثرب والحار ومكة والطائف وجده ويقطع بحر قلزم ويمر بصعيد  
مصر، ثم يقطع النيل وفيه من المدن هناك قوص واخميم والساير والصا واسوان،  
ثم ياخذ في ارض المغرب ويمر ناوساط بلاد افريقية، ثم ببلاد البربر وينتهي  
الى المحيط. ١٠

و اما الاقليم الثالث فيبتدي من المشرق ويمر على بلاد الصين وعلى مملكة  
الهند وقندهار الذي هي من عظيم بلاد الهند وموليان من ارض السند وزايل  
وبست وسيستمان وكرمان وسرحان وفارس واصفهان واهواز وعسكر والكوفة والبصرة  
وواسط وبغداد والانبار وهيت، ثم يمر على بلاد الشام، وهناك من المدن  
الحيار وسلمية وحمص وحماة وبعلبك والمعرة النعمان ودمشق وصور وعكا وطبرية ١٥  
وقيسارية وبيت المقدس وعسقلان ومدين وارسوف والرملة وغزه، ثم يقطع اسفل  
ارض مصر وهناك من المدن الفرما وتينيس ودمياط، ومصر وتسمى فسطاط،  
والاسكندرية، ثم يمر ببلاد افريقية و فيه مدينة القيروان والسوس ثم يمر بقبائل و ١٤٥ ج  
البربر وبلاد طنجه وينتهي الى المحيط.

٥ النيرور : البرور [د،ج] ٧ ويثرب والحار ومكة : ومكة ويثرب والحار [د،ج] ٨ ثم يقطع : ويقطع  
[ج] ٨ الصا : الصبا [أ] ٩ في : من [د،ج] ١٠ وزايل : وزابك [ج] ١١ وسيستمان : وسلستان  
[د،ج] ١٢ اصفهان : اصبهان [ج]

Puis [le premier climat] passe par l’Ethiopie et coupe le Nil d’Egypte, le Soudan et la Nubie, comme Harrā, palais du roi d’Ethiopie, et Dahlamat 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.

*Le deuxième climat* commence à l’Est de la Chine, puis il traverse la majeure partie de l’Inde, le Sind, comme la ville de Mansura, Narwar, et Danbek, 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 Qulzum<sup>200</sup> et passe par la Haute-Egypte, puis il coupe le Nil ; il compte, parmi les villes de là-bas, Qûs, Akhmîm, Sābir, Sā, et Assouan, puis il prend sur les terres du Maghreb et passe au cœur de l’Afrique, puis par la Berbérie, pour finir à l’Océan.

*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, Sīstatmān<sup>201</sup>, Kerman, Sirjan, Fars, Ispahan, Ahvaz, Askar, Koufa, Bassorah, Wasit, Baghdad, Al-Anbâr, Hit ; puis il passe par la Syrie, où sont les villes de Hiyār, Salamiya, Ḥomṣ, Hama, Baalbek, Maarret en Nouman, Damas, Tyr, Acre, Tibériade, Qaysāriya<sup>202</sup>, Jérusalem, Ascalon, Madiyan, ’Arsūf<sup>203</sup>, Ramla, Gaza, puis il passe par la Basse-Egypte où sont les villes de Farama<sup>204</sup>, Tunis, 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.

---

200. *i. e.* la mer Rouge.

201. Sistan ?

202. aujourd’hui Baniyas.

203. Apollonie.

204. Péluse.

٥. واما الاقليم الرابع فيبتدي من شمال بلاد الصين ويمر ببلاد بتت وخرخيز وخطا وختن وجبال كسمير وبلور وبدخشان وكابل وبلخ وهراة وفرغانة وسمرقند وبنخارا وامويه ومرو وسرخس وطوس ونيسابور وجرجان واسفرانين وقهستان وقومز والديلم وطبرستان وقم وهمدان ونهاوند واذربيجان وقزوين ودينور وحلون وشهرزور ٥٥. ظ أ والموصل وسامرة ونصيبين وامد وماردين ورأس العين وشميساط وملطية وحلب وقنسرين وانطاكية وطرابلس وطرسوس وعموريه والادقيه، ثم يمر على جزيرة قبرص ٥٥. د ورودس وبارض المغرب على بلاد افرنجه وطنجه وينتهي الى المحيط على الرفاق بين الاندلس وبلاد المغرب.

١٠. واما الاقليم الخامس فيبتدي من المشرق من اقصى بلاد الترك وياجوح وماجوح ويمر على اجناس الترك المعروفين بقبايلهم الى حد كاسغر وطراز واسبحاب وحاح واشروسه وفرغانة وسمرقند وسعد وبحارا وخوارزم والشمس وديار ارمينية وبردعه وميفارقين ودروب الروم وارزن وخلاط، ويمر في بلاد الروم على حرشفه وقره وروميه الكبيرة، ثم سواحل بحر الشام وبلاد الروم وبلاد الاندلس حتى ينتهي الى المحيط.

١٥. واما الاقليم السادس فيمر من المشرق على مساكن اترك المشرق وقبايلهم، ويقطع وسط بحر جرجان ويمر على حزر وموتان وعلى الصقالبه والارويان وباب الابواب، والروس، ثم ببلاد الروم مثل قسطنطينية، وشمال الاندلس، وينتهي الى المحيط.

٤ وشهرزور : شهرور [ج] ٥ ونصيبين وامد : وامد ونصيبين [ج] ٦ والادقيه : والادقية [د،ج] ٧ وبارض : وارضى [ج] ٨ وبلاد المغرب : وبلاد الغرب [أ] ٩ كاسغر : كاشغرد [د،ج] ١٠ وارزن وخلاط : وارزون واخلاط [ج] ١١ وموتان : وموريان [د،ج] ١٢ والارويان : والار [أ]

*Le quatrième climat* commence au Nord de la Chine, il passe par Batout, Khoulkhiz, Cathay, Khotan, les montagnes du Cachemire, Bulūr, Badakhshān, Kaboul, Balkh, Hérât, Ferghāna, Samarcande, Boukhara, Āmul<sup>205</sup>, Merv, Sarakhs, Tus, Nishapur, Gorgan, Esfarayen, Qūhistān, Qūnz, Daylam, Tabaristan, Qom, Hamadan, Azerbaïdjan, Qazvin, Dinavar, Hulwân, Shahrazūr, Mossoul, Sāmarrā, Nusaybin, Āmid<sup>206</sup>, Mardin, Ra's al-'Ayn, Samosate, Malatya, Alep, Qinnasrîn, Antioche, Tripoli<sup>207</sup>, Tarse, Ammuriye<sup>208</sup>, 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.

*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 Kachgar<sup>209</sup>, Taraz, 'Isfijāb<sup>210</sup>, Hah, Usrushana<sup>211</sup>, Ferghana, Samarcande, Soghd, Boukhara, Khwarezm, Shams, la contrée d'Arménie, Barda, Mayyāfāriqīn<sup>212</sup>, la Séleucie, Erzurum, Ahlat<sup>213</sup>, et il passe dans l'Empire Romain par Harshafat, Qrt, et Rome, puis par les côtes de la mer de Syrie<sup>214</sup>, l'Italie et Al-Andalous, jusqu'à l'Océan.

*Le sixième climat* commence à l'Est par les terres des Turcs orientaux et leurs peuplades, il traverse la mer de Gorgan<sup>215</sup>, il passe par les Khazars et les Mūtāni?, par les Slaves<sup>216</sup>, les Aryens?, Bāb al-Abwāb<sup>217</sup>, la Russie, puis l'Empire Romain dont Constantinople, et le Nord d'Al-Andalous, pour finir à l'Océan.

---

205. aujourd'hui Türkmenabat au Turkmenistan.

206. aujourd'hui Diyarbakır en Turquie.

207. Tripoli du Liban.

208. la ville antique d'Amorium, aujourd'hui Hisarköy en Turquie.

209. dans le Xinjiang.

210. aujourd'hui Sayram, au Kazakhstan.

211. aujourd'hui Istaravchan au Tadjikistan.

212. Silvan, en Turquie.

213. au bord du lac de Van.

214. *i. e.* la mer Méditerranée.

215. la mer Caspienne.

216. D'après Kazimirski, nom générique donné aux peuples du Nord-Est de l'Europe.

217. aujourd'hui Derbent en Russie.

واما الاقليم السابع فيبتدي من المشرق ويمر بنهايات اتراكه وقبايلهم،  
وشمال ياجوح وماجوح، ثم على غياض وجبال ياوى اليها اترك كالوحوش، ثم  
على بلغار والروس والصقاليه ويقطع بحر الشام والصقالبه وينتهي الى المحيط.  
وقد اوضحت تلك البلاد في الاقليم مفصلة الطول والعرض في جداول <sup>ج</sup> <sup>هـ</sup> <sup>ج</sup>  
المقالة الثالثة مع بقية الجداول المذكورة فيها. ولله الموفق للصواب.

---

<sup>١</sup> بنهايات : بنهات [د،ج] <sup>٢</sup> بلغار : بلغاد [ج]

*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 Ghiyāḍ où des montagnes recèlent des turques vivant comme des bêtes. Puis il passe par Bolghar, la Russie et les Slaves, et il traverse la Mer Méditerranée et les pays slaves pour finir à l'Océan.

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.

## الفصل الثاني في خواص خط الاستواء

- يمر المعدل بسمت رؤس البقاع التي عليه، فيقطع افاقهم على قوايم، ودواير افاقهم تنصف جميع المدارات اليومية لكونها مارة بقطبي معدل النهار. فلذلك نهار تلك البقاع وليلها في جميع السنة متساويين دائماً. يكون أول سموتهم المعدل، وقطباه على نقطتي الشمال والجنوب من دائرة الافق. فلجميع الكواكب طلوع وغروب، الا على القطبين، لظهور نصف منه لابعينه وخفاء النصف الآخر. ويكون زمان ظهور كل نقطة على الفلك مساوياً لزمان خفائه. وان كان ثم تفاوت بسبب اختلاف السير بالحركة الثانية في النصفين، وذلك و<sup>١</sup> التفاوت غير محسوس.
- ١٠ وتمر الشمس في السنة مرتين بسمت رؤسهم، وذلك عند كونها في نقطتي الاعتدالين، واذن لا يكون لها ظل منبسط على الافق وقت انتصاف النهار. ولا تبعد عن سمت روسهم الا بقدر غاية الميل الكلي، فلا تنقص غاية ارتفاعها عن تمامها. وتكون في كل جهة نصف سنة، وظل نصف النهار الى خلاف تلك الجهة. وظلال أول الصيف والشتا متساويين. وقطب البروج على الافق عند كون احدي نقطتي الاعتدالين على السمات، وهناك يكون قطع منطقة البروج الافق على قوايم. وحينئذ ينصف 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 الميا الكلي.
- ٢٠ ويكون لهم في كل سنة ثمانية فصول، ربيعان وصيفان وخريفان وستان. ومبدا الربيع الأول كون الشمس في منتصف الدلو والثاني كونها في منتصف الاسد، ومبدا الصيف الأول كونها في أول الحمل والثاني كونها في أول الميزان، و<sup>٥٥</sup> ج وأول الخريف الأول كونها في منتصف الثور والثاني كونها في منتصف العقرب، و<sup>٥٦</sup> د وأول الشتاء الأول كونها في أول السرطان والثاني كونها في أول الجدي، على ما بين في هذا الشكل، ولله اعلم.

<sup>٣</sup> افاقهم : الاقليم [د،ج] <sup>٩</sup> ثم : تمر [ج] <sup>٦٦</sup> بين : بين [ج]

## Deuxième section

### Particularités de l'équateur terrestre

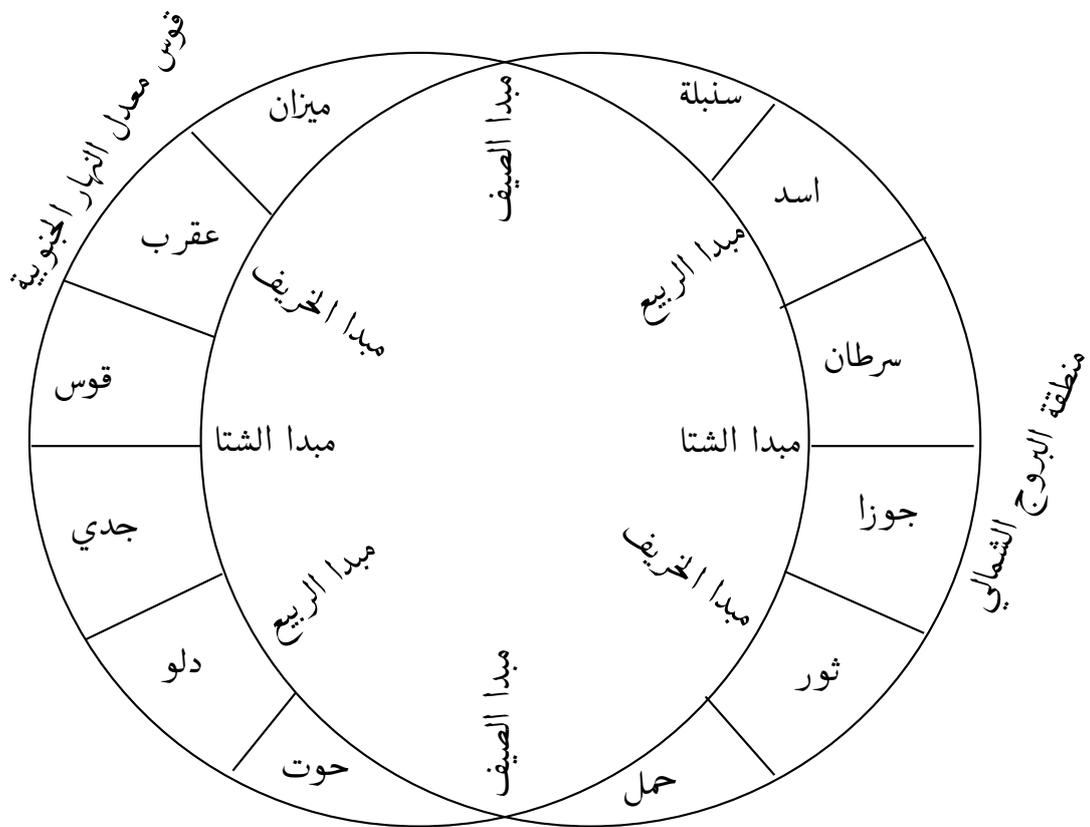
L'équateur passe par les zéniths des lieux qui se trouvent sur l'équateur terrestre, et il coupe leurs horizons orthogonalement, et leurs cercles horizontaux bissectent chaque trajectoire diurne puisqu'ils passent par les pôles de l'équateur. C'est pourquoi en ces lieux, le jour et la nuit sont toujours 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 mouvement <sup>218</sup>, mais cet écart est insensible.

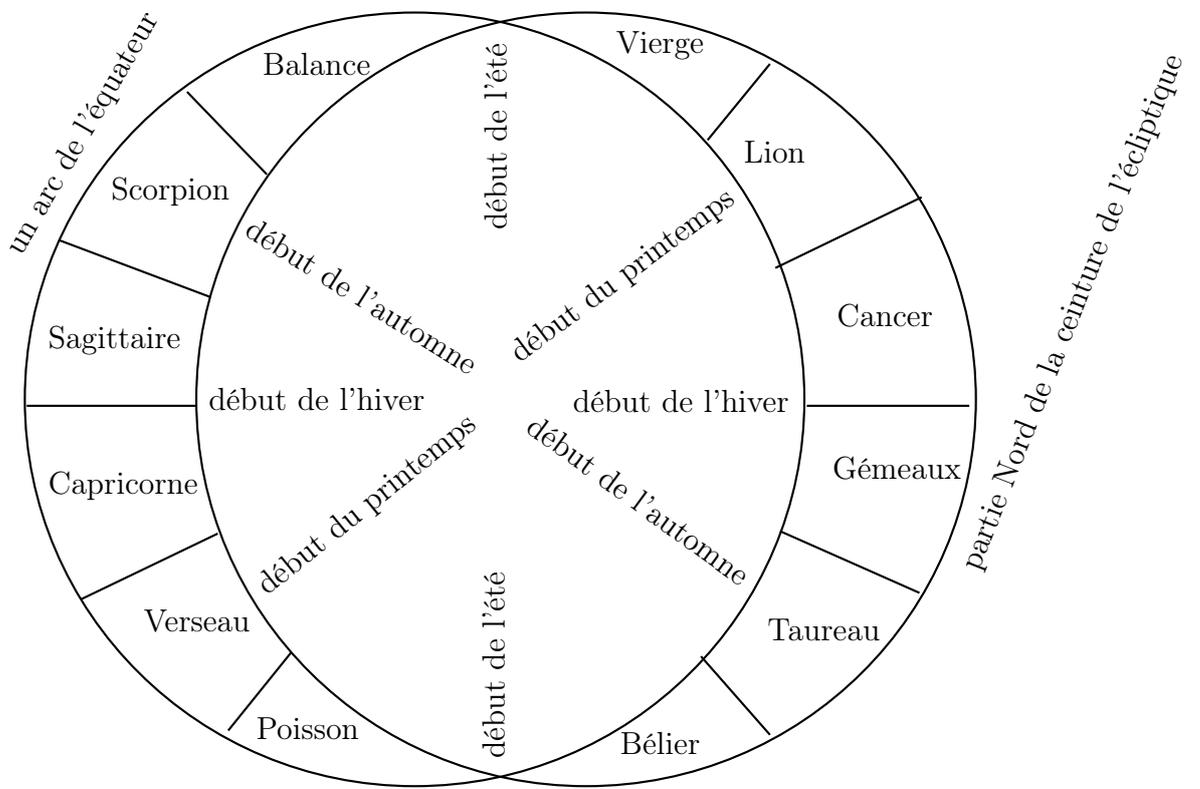
Le Soleil passe deux fois l'an au zénith, et c'est quand il est aux points des équinoxes ; il n'y alors, à midi, pas d'ombre projetée horizontale. Il ne s'éloigne pas du zénith d'un angle supérieur à l'inclinaison [de l'écliptique], et sa hauteur n'est jamais inférieure au complément de l'inclinaison ; 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].

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.

---

218. Le second mouvement est le mouvement du huitième orbe, c'est-à-dire le mouvement de précession des fixes.





ودور الفلك هناك دولابي، لتقاطع الافق وجميع المدارات اليومية على قوائم. <sup>٥١</sup> ظ أ  
ولذلك سميت افقهم بافاق الفلك المستقيم والكرة المنتصبة. ولكون افقهم  
احدى دوائر الميول، لمرورها بالقطبين، كان سعة مشرق كل نقطة، وهي قوس  
من الافق بين مطلعها ومطلع الاعتدال، بقدر ميلها. وكذلك سعة مغربها.  
واتفقوا على ان احرّ البقاع صيفا هي التي تحت مدار المنقلين، ان لم  
يُنقص من حرارتها سبب ارضى او سماوى، لأن الشمس تسامتها وتلبث في <sup>٥٥</sup> ظ ج  
قرب مسامتتها قريبا من شهرين، لتناقص تفاضل الميل، ولهذا لا يظهر لها  
حركة في الميل اياماً حينئذ. ولا نهارها الصيفي يطول والليل يقصر، ولا يوتر  
في شدة الحرارة طول النهار مع قرب الشمس من السمّت لتكاثف الاشعة  
حينئذ لانعكاسها على زوايا حادة. <sup>١٠</sup>

وذهب الشيخ الرئيس الى ان اعدل البقاع خط الاستواء محتجاً على ذلك  
بأنّ الشمس لا تلبث على سمته كثيراً، لان حركتها في الميل عن جهة أخرى  
اسرع ما يكون. والمسامتة، وان كانت مقتضية للتسخين، لكن المكث ابغ  
في ذلك. ولذلك يكون الصيف احمر من الربيع، وبعد الزوال احمر مما قبله.  
ولتساوي زماني نهارهم وليلهم ينكسر سؤرة كل واحدٍ من الكيفيتين بالأخرى <sup>١٥</sup>  
سريعاً، فيعتدل الزمان.

ورد عليه الامام بان تسخين الشمس في شتا خط الاستواء كتسخينها في  
صيف بلد عرضه ضعف غاية الميل، وهو شديد جدا. فما ظنك بحرّ صيف  
خط الاستواء، والشمس طول السنة في حكم المسامتة.  
ورد على الامام بمنع كون حر شتا خط الاستواء كحر صيف ذلك البلد، <sup>٢٠</sup>  
فانّ حر صيف البلد اشد لطول نهاره وقصر ليله، بخلاف خط الاستواء، ولان  
المالوف لا يوتر كغير المالوف.

<sup>٦</sup> من : ناقصة [ج] <sup>٧</sup> قرب مسامتتها : قوس مسامتتها [ج] <sup>٨</sup> ولا : لا [د] <sup>٩</sup> الحرارة : الحر [د، ج]  
<sup>١١</sup> الى : ناقصة [أ] <sup>١٢</sup> عن : على [ج] <sup>١٥</sup> ينكسر : تنكسر [د، ج] <sup>٢٢</sup> كغير : لغير [د، ج]

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 Est* de tout point <sup>219</sup>, 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 Ouest.

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 au zénith et y prolonge son séjour pendant à peu près deux mois, à cause de l'amointrissement de l'écart 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 forment un angle aigu.

Le Grand Maître <sup>220</sup> conteste cela et pense que les contrées les plus tempérées sont à l'équateur terrestre, parce que le Soleil n'y reste pas longtemps au zénith, parce que son mouvement en déclinaison est y est le plus rapide. Bien que le passage au zénith cause l'échauffement, c'est la durée du passage au zénith qui y conduit. 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 les deux seront tempérés.

L'Imam <sup>221</sup> 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 !

On réfute l'Imam en contredisant le fait que la chaleur hivernale à l'équateur est comme la chaleur estivale dans ce pays : la chaleur estivale de ce pays serait plus intense, à cause de la longueur du jour et de la courte durée de ses nuits, 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.

---

219. L'*amplitude Est* 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 Ouest* est relative aux couchers. Ragep : *ortive amplitude, occasive amplitude*.

220. Avicenne

221. Al-Rāzī

فجاز، لالف مزاج اهل خط الاستواء بالحرارة وعدم الفهم بالبرودة، ولا يستحرون الهواء والشمس في سمت روسهم ويستبردونه وهي في المنقلب، بخلاف اهل البلد في الوقتين.

وحكم الامام بان الاعدل الاقليم الرابع مستدلاً بانّ وسط ما توفرت فيه العمارات، من الاقليم السبعة، يكون لا محالة اقرب الى الاعتدال مما على اطرافها. ولذلك الاحتراق والفجاجة اللازمان من كيفتي الحرارة والبرودة ظهران في الطرفين.

والحق في ذلك انه، ان اعني بالاعتدال تشابة الاحوال، فلا شك انه ظ ٥٦ د  
في خط الاستواء ابلغ، وان اعني به تكافؤ الكيفيتين، فلا شك انه في الاقليم ظ ٥٢ أ  
الرابع ابلغ. يدل عليه شدة سواد لون سكان خط الاستواء من الزنج والحبشة و ٥٦ ج  
وشدة جعودة شعورهم مما يقتضى حرارة الهواء واضداد ذلك مما يقتضيه اعتدال  
الهوا في الاقليم الرابع.

٤ الاعدل : الاعتدال في [د،ج] ٦ الاحتراق : الافتراق [د،ج] ١١ جعودة : جعود [ج]

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 quand le Soleil est au zénith, ni sa froideur quand il est aux solstices, contrairement au peuple de cet [autre] pays aux mêmes moments.

L'Imam juge que le climat le plus tempéré est le quatrième. Il le déduit du fait qu'un lieu où prospèrent les habitations se trouve sans aucun doute plus proche du milieu des sept climats que de leurs extrémités. Ainsi, le fait de griller, ou celui de rester immature, causés par les conditions de chaleur ou de froid, sont clairement visibles aux extrémités [des sept climats].

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 l'équilibre entre les deux conditions, 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. Le contraire a lieu dans le quatrième climat ; car l'air y est tempéré.

## الفصل الثالث في خواص المواضع التي لها عروض

- و تسمى **بالافاق المائلة**، وهي التي بين خط الاستواء واحد قطبي المعدل. ودور الفلك هناك مما يلي المعدل عن هذه الافاق في جهة القطب الخفي. وميل الافق من تلك الافاق عنه في جهة القطب الظاهر، ولهذا سميت بالافاق المائلة. ويكون ارتفاع القطب في جهة الموضع بقدر عرض البلد.
- وبعد المدارات الابدية الظهور او الخفية عن معدل النهار اكثر من تمام عرض البلد او مساوياً له، واعظمها هو المساوي الذي يماس الافق، ولا يخفى او لا يظهر. والمدارات تنقسم بالافق الى مجتلفتين، اعظمها الظاهر فيما هو الى القطب الظاهر اقرب وفي جهته، والخفي فيما هو الى القطب الخفي اقرب وفي جهته. ويتساوي القسمان على التبادل في كل مدارين متساويتي البعد عن معدل النهار في جنبيه.
- وكلما بعدت الشمس عن المعدل في جهة القطب الظاهر كانت زيادة النهار على الليل اكثر، وبالعكس في جهة القطب الخفي. وبازدياد عرض البلد يزداد التفاوت بين القسمي الظاهرة والخفية، ويتزايد النهار الى راس المنقلب الذي يلي القطب الظاهر، ويتناقص الى راس المنقلب الآخر. ونهار كل جزء كليل نظيره وبالعكس. ولا يتساوي الملوان الا عند كون الشمس في الاعتدال عند طلوعها او غروبها. فانها اذا طلعت وهي على الاعتدال، فليلة ذلك الطلوع مساوية لنهاره، وان غربت وهي على الاعتدال، كان يوم الغروب مساوياً لليلة طلوعه. ومنه يظهر استحالة تساويهما في جميع البقاع في وقت واحد، لاستحالة كونها في افق الجميع.
- وإذا فرضت دائرتا ميل احديهما من جهة الشرق والأخرى من جهة الغرب، بحيث يمر كل منهما بنقطتي تقاطع الافق ومدار الشمس او كوكب او جزء. وجدت مثلثات، احدهما شرقي والآخر غربي، تحت الافق في جهة القطب
- الظاهر، وفوقه في جهة القطب الخفي.

ظ ٥٦ ج

٣ احد: احدى [د،ج] ٤ مما يلي: حمائلي [ج] ٥ مجتلفتين: المختلفين [د،ج] ٦ متساويتي: متساويين [د،ج] ٧ جنبيه: جنبيه [د،ج] ٨ الملوان: الميلوان [أ]، المتلوان [ج،د] ٩ فليلة: فليكن [د،ج] ١٠ مساوية: مساويا [د،ج] ١١ ومنه: ومنها [د،ج]

## Troisième section

### Particularités des lieux qui ont une latitude [non nulle]

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 [sous un angle égal à l'éloignement] de l'équateur par rapport à ces horizons, du côté du pôle caché. Chacun de ces horizons est incliné par rapport à [l'équateur] 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 du pays.

La distance des trajectoires diurnes toujours visibles ou toujours cachées, par rapport à l'équateur, est supérieure ou égale au complément de la latitude du pays. 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 égaux<sup>222</sup>.

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 on augmente la latitude du pays, 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 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.

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.

---

222. L'absence du duel en français rend cette phrase un peu obscure. L'arc visible de l'une des deux trajectoire est égal à l'arc caché de l'autre, et inversement.

احد اضلاع كل من المثلثين قوس من دائرة الميل، وهي بمقدار ميل <sup>٥٢</sup> ا  
الشمس او الكوكب او الجزء. والضلع الثاني قوس من دائرة الافق، وهي سعة  
مشرق ما في جهته، وسعة مغرب ما في جهته، اذ سعة المشرق قوس من  
دائرة الافق بين مدار الكوكب او الجزء وبين مطلع الاعتدالين، وسعة المغرب  
قوس منه بين المدار المذكور انفاً وبين مغيب الاعتدال. والضلع الثالث قوس  
من المعدل بين مطلع ومغيبه وبين دائرة الميل المارة بتقاطع المدار والافق :  
وهي تعديل نهار الشمس او الكوكب. ويزداد قوس نهار الكوكب او الجزء على  
قوس نهار خط الاستواء بضعف تعديل النهار، ان كان الكوكب او الجزء في  
جهة القطب الظاهر. وينقص منها بضعفه ان كان في جهة القطب الخفي.  
والمشهور ان التعديل يزداد على ربع الدور وينقص منه، ليحصل نصف قوس  
النهار في جهة القطب الظاهر او الخفي. ولا يخفى معرفة قوسي النهار والليل  
بعد معرفة نصفهما، ويسمى الفضل بتعديل النهار مجازاً، لانه تعديل لنصفه  
حقيقة.

ومنهم من يفرض دائرة ميل واحدة تمر بمطلع الاعتدال ومغيبه. فيحدث  
منها ومن الافق ومن كل مدار مثلثان شرقي وغربي، الا انهما فوق الافق في  
جهة القطب الظاهر، وتحتة في جهة القطب الخفي. وتعديل النهار قوس من  
مدار الكوكب او الجزء بين دائرة الافق ودائرة الميل المارة بمطلع الاعتدال  
ومغيبه، وهذه القوس من المدار شبيهة بتلك من المعدل.

وكل مدار، يُساوي بعده عن معدل النهار عرض البلد، يماس دائرة أول  
السموت على سمت الراس ان كان في جهة القطب الظاهر، وعلى سمت  
الرجل ان كان في جهة القطب الخفي. وان كان اكثر من عرض البلد، فلا  
يلاقيها بل يمر بسمت الراس في جهة القطب الظاهر وعن سمت الرجل في  
جهة الخفي. وان كان اقل منه، قطعها على نقطتين احدهما شرقية والأخرى  
غربية. وما دام الكوكب في قوس مدارة التي بين أول السموت والمعدل، يكون  
في جهة القطب الخفي عن أول السموت ان كان المدار في جهة القطب  
الظاهر، وبالعكس.

<sup>٣</sup> وسعة : او سعة [د] <sup>٤</sup> دائرة : ناقصة [أ] <sup>٥</sup> انفاً : ناقصة [ج] <sup>٦</sup> الاعتدال : الاعتدالين [د،ج] :  
<sup>٩</sup> منها : عنها [د،ج] <sup>١٠</sup> يزداد : يزداد [ج] <sup>١١</sup> قوسي : قوس [ج] <sup>١٨</sup> المدار : مدار [د،ج] <sup>٢٣</sup> احدهما :  
احديهما [ج]، احدهما [د] <sup>٢٤</sup> بين : من [د،ج]

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 Est quand on est du côté [Est], ou bien l'amplitude Ouest quand on est du côté [Ouest]; en effet l'amplitude Est est un arc du cercle de l'horizon entre la trajectoire de l'astre (ou du point quelconque) et le lever des équinoxes<sup>223</sup>, et l'amplitude Ouest est l'arc entre la trajectoire mentionnée et le coucher des équinoxes<sup>224</sup>. 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. 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].

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.

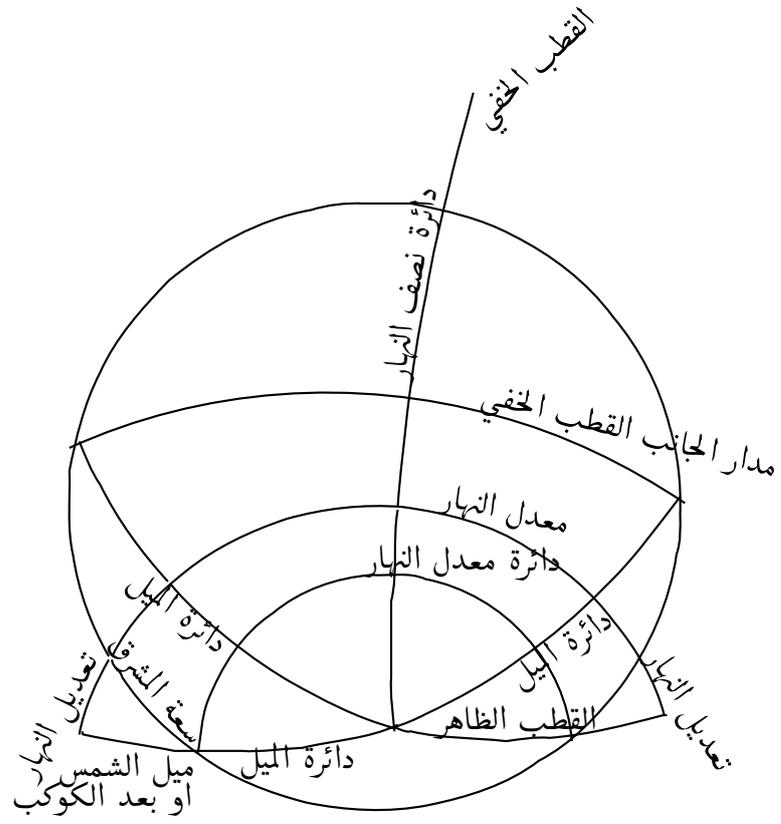
Toute trajectoire diurne dont la distance à l'équateur est égale à la latitude du pays touche le cercle origine des azimuts, au zénith si elle est du côté du pôle visible, et au nadir si elle est du côté du pôle caché. Si la distance est supérieure à la latitude du pays, alors [la trajectoire diurne] ne rencontrera pas le cercle origine des azimuts; si elle est du côté du pôle visible, alors elle passera près du zénith mais loin du nadir du côté caché. Si en revanche la distance est inférieure [à la latitude du pays], 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 s'éloigne du cercle origine des azimuts quand il est du côté caché si cette trajectoire diurne est située du côté du pôle visible, et inversement.

---

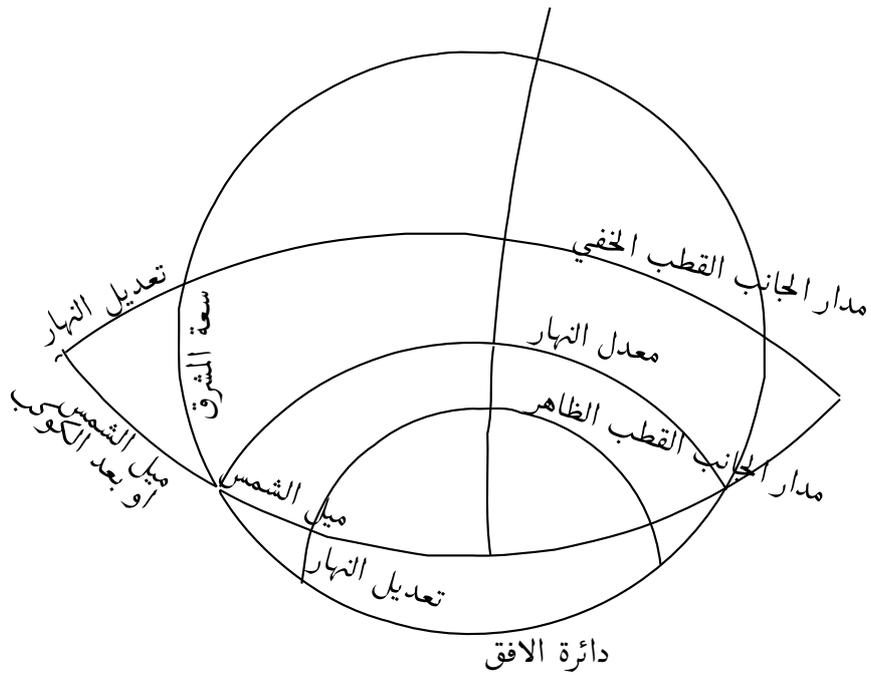
223. *i. e.* le point Est, à l'horizon.

224. *i. e.* le point Ouest, à l'horizon.





هذه صورة المثلثين على فرض دائرتي الميل



وهذه صورة المثلثين على فرض دائرة واحدة للميل



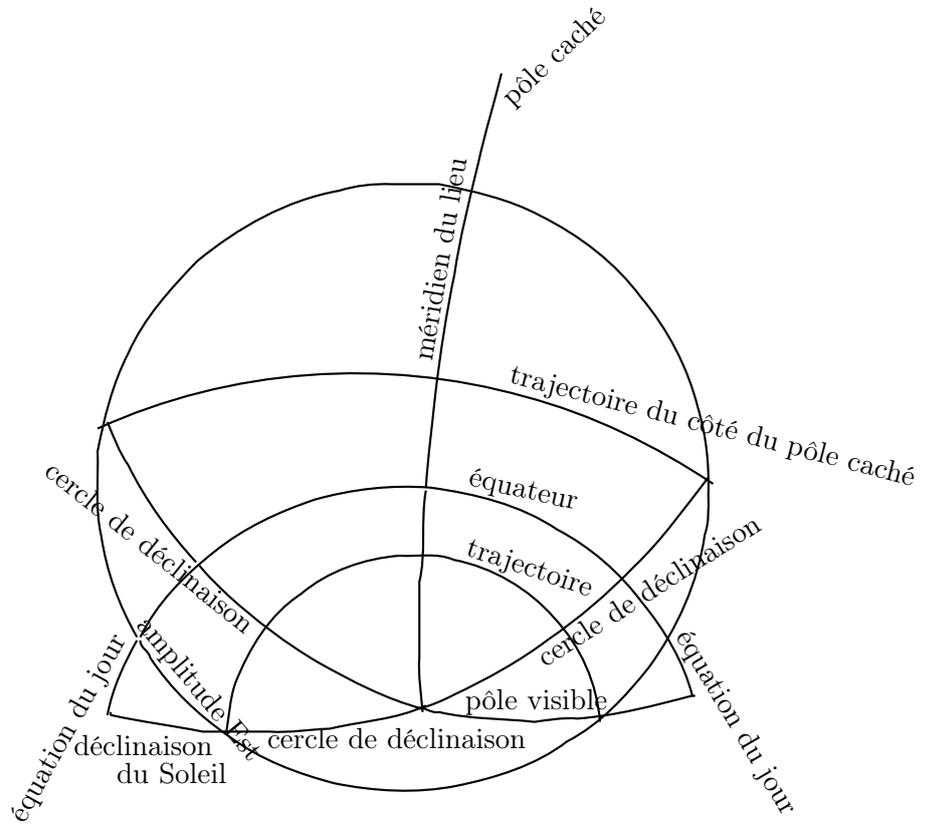


Figure des deux triangles quand on pose deux cercles de déclinaison

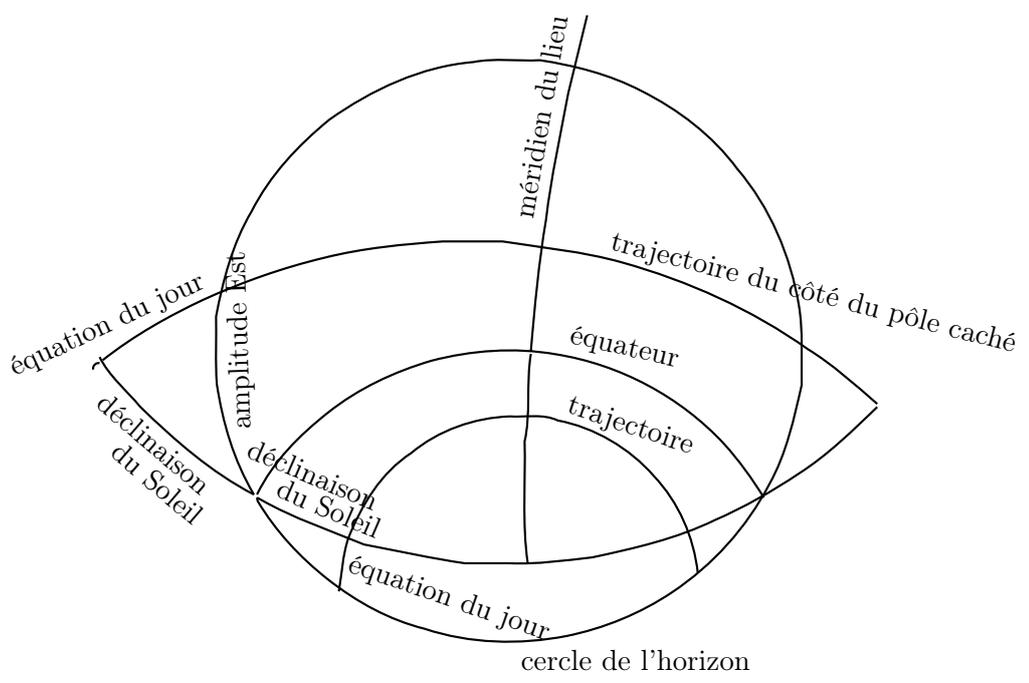


Figure des deux triangles quand on pose un seul cercle de déclinaison

## الفصل الرابع

في خواص المواضع التي عرضها عن المعدل لا يتجاوز تمام الميل الكلي

وتلك المواضع تنقسم الى اربعة اقسام.

٥. **القسم الأول:** ما يكون عرضه اقل من الميل الكلي. وتمر الشمس في ذلك الموضع بسمت الراس في نقطتين ميلهما عن المعدل يساوي عرض البلد <sup>ظ ٥٣ أ</sup> في جهة القطب الظاهر؛ وحينئذ تقوم منطقة البروج على الافق على قوائم، فيكون قطباها على الافق، ولا يكون للاشخاص في انصاف النهار ظل. مادامت الشمس في القوس التي بين النقطتين في جهة القطب الظاهر، ويقع الظل الى جهة القطب الخفي، ويكون الظاهر من قطبي البروج ما يلي القطب الخفي من المعدل، والخفي منها ما يلي القطب الظاهر منه. وما دامت الشمس في القوس الأخرى بين النقطتين في جهة القطب الخفي منه، يقع الظل الى جهة القطب الظاهر من المعدل، ويكون الظاهر من قطبي البروج هو الذي يلي الظاهر من المعدل، والخفي منهما هو الذي يلي الخفي منه. وبازدياد عرض البلد تقرب احدى النقطتين من الأخرى. ويصير للقوس التي بينهما ولقطبي البروج طلوع <sup>١٥</sup> وغروب. ولا تتساوي فصول السنة، ثم يكون صيفهم اطول. ولوصول الشمس الى سمت روسهم في السنة مرتين، لا تكون فصول السنة متساوية، وان زادت على الاربعة، لاختلاف غايته بعدها عن سمت قبي الجهتين بخلاف خط الاستواء.

٢٠. **القسم الثاني:** ما يكون عرضه عن المعدل مساويا للميل الكلي. وفي ذلك <sup>ظ ٥٨ ج</sup> الموضع تمر الشمس في السنة مرة واحدة بسمت الراس، واحد قطبي البروج ابدى الظهور، والآخر ابدى الخفا، ولا يماسان الافق في دورانهما الا عند انتها نقطة الانقلاب التي في جهة القطب الظاهر الى سمت الراس، وحينئذ تقطع منطقة البروج الافق على قوائم. والاضلال في جميع السنة الى جهة القطب الظاهر، الا حال كون الشمس على سمت فانها معدومة حينئذ. ويتزايد ارتفاع <sup>٢٥</sup> الشمس من احدى نقطتي الانقلابين الى الأخرى، ثم يرجع ويتناقص الى ان يعود الى الاولى. وفصول السنة اربعة لا غير، وهي للمساكن الشمالية والجنوبية كما وكيفا على التبادل، لكن ما يساوي عرضه غاية الميل الكلي في الجنوب احراً مما يساوي عرضه غايته في الشمال بسبب كون اوج الشمس في الشمال والحضيض في الجنوب. <sup>٣٠</sup>

٤ الى: ناقصة [أ،د] ٧ على الافق: ناقصة [ج] ٢٤ والاضلال: والظلال [ج]

## Quatrième section

Particularités des lieux dont la latitude ne dépasse pas le complément de l'inclinaison [de l'écliptique]

Ces lieux se répartissent en quatre catégories.

*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 du lieu 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, suivant qu'il est d'un côté ou de l'autre de l'équateur.

*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'Apogée du Soleil est au Nord, et que son périhélie est au Sud.

**القسم الثالث:** ما يكون عرضه عن المعدل زائداً عن الميل الكلي ناقصاً عن تمامه. وهناك لا تنتهي الشمس الى سمت الراس، ولها ارتفاعان، احدهما اعلي وهو بقدر مجموع الميل الكلي وتمام عرض البلد، والآخر اسفل وهو بقدر <sup>د ٥٨</sup> فضل تمام العرض على الميل الكلي. وكذا للابدي الظهور من قطبي البروج، <sup>ظ ٥٤ أ</sup> لانه لا يصل الى الافق، اعلاهما عند وصول المنقلب الخفي الى نصف النهار، واسفلهما عند وصول المنقلب الآخر اليه. وللابدي الخفا انحطاطان على هذا القياس. وسائر الاحوال من وقوع الاظلال الى جهة القطب الظاهر وطول الملون وقصرهما كما تبين انفا. ومن السيارة، ما زاد عرضه على فضل عرض البلد على الميل الكلي مر بسمت الراس مرتين، وما ساوى عرضه الفضل مر به مرة، وما نقص عرضه، من السيارة، عن الفضل، لا يمر بالسمت. ويزداد تعديل النهار وسعة المشرق والمغرب بازيد العرض.

**القسم الرابع:** ما يكون عرضه عن المعدل مساوياً لتمام الميل الكلي. وهناك يصير مدار المنقلب الذي يكون في جهة القطب الظاهر ابدى الظهور، ومدار المنقلب الآخر ابدى الخفى. ويمر مدار قطب فلك البروج الظاهر بسمت <sup>ج ٥٩</sup> الراس، ومدار القطب الآخر بمقابلته. فاذا وافا المنقلب الظاهر الافق ماسه على نقطة هي قطب دائرة أول السموت التي في جهة القطب الظاهر، وماس المنقلب الخفي القطب الآخر من أول السموت، وصار القطبان على سمت الراس ومقابلة، وانطبقت منطقة البروج على دائرة الافق، ورأس الحمل على نقطة المشرق، وأول الميزان على نقطة المغرب، ورأس السرطان على نقطة الشمال والجدى على الجنوب، والنقطة المقابلة لرأس الجدى من المعدل عن نصف النهار في الجنوب فوق الارض، والمقابلة لرأس السرطان منه عليه في الشمال تحتها، ان كان القطب الظاهر شمالياً. ومنه علم وضع المنطقتين من الافق ان كان جنوبياً.

<sup>٣</sup> اعلي : اعلا [ج] <sup>٢</sup> مجموع : ناقصة [أ] <sup>٧</sup> الاظلال : الظلال [ج] <sup>٨</sup> الملونين : المتلونين [د]  
<sup>٩</sup> ساوى : ساوا [ج] <sup>١٤</sup> الخفى : الخفا [د، ج] <sup>١٥</sup> بمقابلته : بمقابلة [أ]

*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 du lieu, 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 du solstice visible au méridien du lieu. Quant au pôle caché, d'après le même raisonnement, il atteint deux hauteurs négatives<sup>225</sup>. 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 du lieu 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 Est et Ouest augmentent.

*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 un point qui est le pôle du cercle origine des azimuts du côté du pôle 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 Terre<sup>226</sup>, 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 Terre<sup>227</sup>, 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.

---

225. hauteur négative, *inḥiṭāt* que nous avons ailleurs traduit par « abaissement », désigne une hauteur mesurée le long d'un grand cercle perpendiculaire à l'horizon mais *sous* l'horizon.

226. c'est-à-dire au dessus de l'horizon.

227. c'est-à-dire sous l'horizon.

فاذا مال القطب عن السميت نحو المغرب على التوالي ارتفع المنقلب  
 الظاهر و النصف الشرقي من المنطقة وهو ما يتوسط الاعتدال الربيعي، ان كان  
 القطب الظاهر شمالياً، وانخفض النصف الغربي دُفعةً ايضاً. وتقاطعت الدائرتان  
 على نقطتين متقابلتين قريبتين من المنقلين ومن نقطتي الشمال والجنوب، لان  
 المماس كانت بين هذه النقط الاربع، والتقاطع يكون على غيرها بالضرورة،  
 فيكون الجء الثاني للمنقلب الخفي على قطب أول السموت يريد الغروب،  
 والجزء التالي للمنقلب الظاهر على القطب الآخر لأول السموت يريد الطلوع،<sup>٥٤</sup> ظ أ  
 ثم يطلع النصف الخفي جزئاً بعد جزء في جميع اجزاء نصف الافق الشرقي،  
 ويغيب النصف الظاهر جزئاً بعد جزء في جميع اجزاء نصفه الغربي في مدة  
 اليوم بليته، الى ان يعود وضع الفلك الى الحالة الاولى.<sup>١٠</sup>  
 ويكون هناك كل واحدة من سعة المشرق وتعديل النهار ربعاً من الدور.  
 وزيادة النهار الى ان يصير مقدار يوم بليته نهاراً كله، وذلك عند وصول  
 الشمس الى المنقاب الظاهر، لما ذكرنا من ان مداره هناك ابدى الظهور،<sup>٥٩</sup> ظ ج  
 ثم يحدث الليل ويزيد الى ان يصير المقدار ليلة كله، حين ما وصلت الى  
 المنقلب الخفي؛ هذا ان اعتبر ابتداء الليل والنهار من وصول مركز الشمس<sup>٥٨</sup> ظ د  
 الى الافق. وان اعتبر ابتداء النهار من ظهور الضوء واختفاء الثوابت وابتداء الليل  
 من اختفائه و ظهورها كان مقدار كل منهما شهراً على ما بينه تاودوسوس  
 في مساكنه. ويتزايد ارتفاع الشمس الى ضعف الميل الكلي، ثم يتناقص الى  
 ان يفنى عند مماستها الافق. ترتفع في جهة المشرق بعد طلوعها على قطب  
 أول السموت، ويتجاوز عن محاذاة خط المشرق والمغرب، ويبلغ غاية ارتفاعها<sup>٢٠</sup>  
 عند وصولها الى نصف النهار في الجنوب وهي بقدر ضعف الميل الاعظم؛  
 ثم يتناقص ارتفاعها الى ان يماس الافق لقطب أول السموت. ولدوران الشمس  
 حول المقياس وكون الظل دائماً في الجهة المقابلة، يدور الظل حوله. وقد تبين  
 ان هناك ايضاً طلوع نصف من فلك البروج مع دور من المعدل وان طلوع  
 النصف الآخر لا في زمان. وتنتهي العمارة في جهة الشمال الى هذا الافق<sup>٢٥</sup>  
 كما عرف.

<sup>٥٤</sup> ظ أ [ج] يريد: يتريد [أ] <sup>١٣</sup> ذكرنا: ذكر [أ] <sup>١٩</sup> الافق: له الافق [د،ج]

Quand le pôle s'incline vers l'Ouest par rapport au zénith dans le sens direct <sup>228</sup>, 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 cercles <sup>229</sup> 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.

L'amplitude Est 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*. 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 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. 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 habitée s'arrête, du côté Nord, aux environs de cet horizon, comme on sait.

---

228. 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".

229. Ceinture de l'écliptique et horizon.

## الفصل الخامس

في خواص ما يتجاوز عرضه تمام الميل الكلي ولا يبلغ ربع الدور

- في تلك المواضع مدار قطب البروج مائل عن سمت الراس الى جهة القطب الخفي. واعظم المدارات الابدية الظهور اعظم من مدار المنقلب، فيقطع منطقة البروج على نقطتين يتساوي ميلها في جهة القطب الظاهر. ويقطعها اعظم المدارات الابدية الخفا على نقطتين متقابلتين لهما في جهة القطب الخفي. وتنقسم منطقة البروج الى اربع قسي. احداها ابدية الظهور، وهي التي يتوسطها المنقلب الذي في جهة القطب الظاهر، وزمان كون الشمس فيها يوم من صيفهم. والثانية ابدية الخفاء، وهي التي يتوسطها المنقلب الذي في جهة القطب الخفي، وزمان كون الشمس فيها ليلة من شتائهم. وطرفا القوس و ٥٥ ا
- الاولى يماسان الافق على احد قطبي أول السموت من جهة القطب الظاهر و ٦٠ ج
- ولا يغيبان بالحركة الاولى، وطرفا القوس الثانية يماسانه على القطب الآخر لأول السموت، ولا يطلعان. والثالثة هي التي يتوسطها أول الحمل، وتطلع معكوسة، اي يطلع آخرها قبل أولها، وتغرب مستوية، اي يغرب أولها قبل آخرها، ان كان القطب الظاهر شماليا، وتطلع مستوية وتغرب معكوسة ان كان القطب الظاهر جنوبيا. والرابعة هي التي يتوسطها أول الميزان وحكمها في الطلوع والغروب بضد الثلاثة.
- وللمنقلب الظاهر ارتفاعان، ارتفاع اعلا وها بقدر مجموع الميل الكلي وتمام عرض البلد على دائرة نصف النهار في جهة القطب الخفي، واسفل وهو بقدر فضل عرض البلد على تمام الميل الكلي على دائرة نصف النهار في جهة القطب الظاهر. وللقطب الظاهر من فلك البروج ايضا ارتفاعان، ارتفاع اعلا وهو بقدر مجموع تمام عرض البلد وتمام الميل الكلي واسفل وهو بقدر فضل عرض البلد على الميل الكلي. ويكون القطب مع المنقلب على نصف النهار معاً في الجهتين المتقابلتين عن سمت الراس وعلى الارتفاعين المتبادلين. ويقاس و ٥٩ د
- عليه حال المنقلب والقطب الخفيين. وفي هذه الافاق يطول الصبح والشفق، ويقع الظل في جميع الجوانب والى جانب القطب الخفي اطول. و ٢٥

٢ ربع : ناقصة [أ] ٤ مدار : مدارات [ج] ١٦ جنوبيا : جنوبية [ج] ٢٢ تمام : ناقصة [ج]

## Cinquième section

Particularités des lieux dont la latitude dépasse le complément de l'inclinaison [de l'écliptique] sans atteindre un quart de cercle

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. 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.

Le solstice visible a deux hauteurs. Sa hauteur maximale est la somme de l'inclinaison de l'écliptique et du complémentaire de la latitude du lieu, et [elle est atteinte] sur le méridien du lieu, du côté du pôle caché. Sa hauteur minimale est l'excédent de la latitude du lieu 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 du lieu et du complémentaire de l'inclinaison de l'écliptique. Sa hauteur minimale est l'excédent de la latitude du lieu 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.

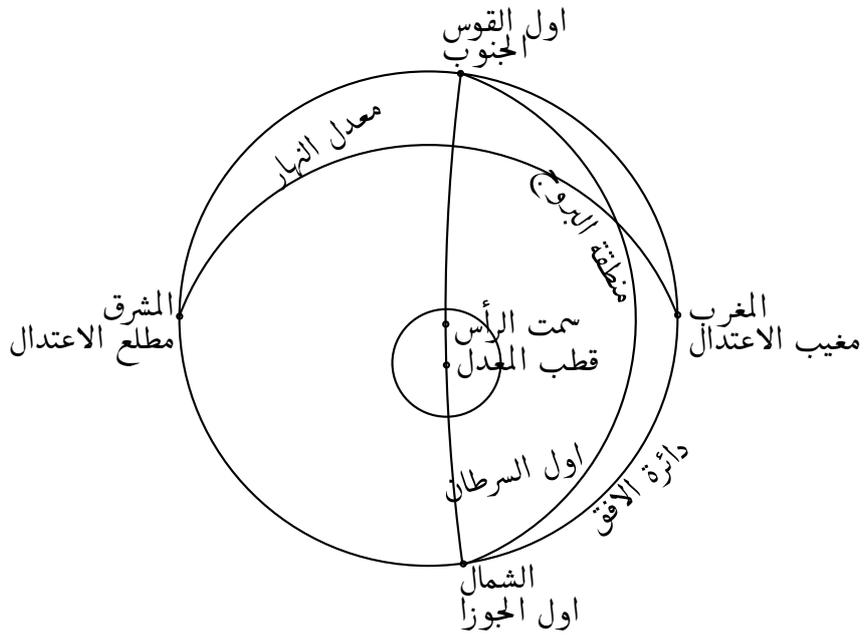
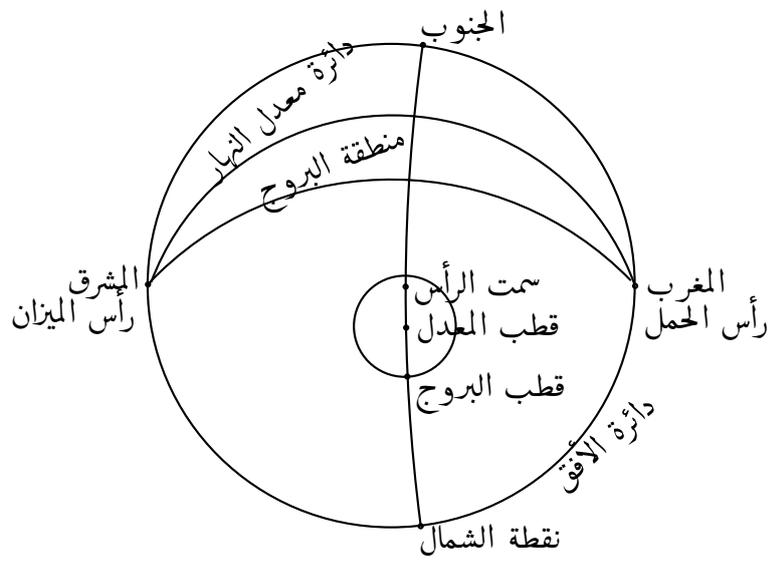
- ولنفرض، لتسهيل تصور الاوضاع، العرض ع في الشمال، والقوس الابدية  
الظهور الجوزاء والسرطان والابدية الخفا القوس والجدي، والقوس التي تطلع  
معكوسةً وتغرب مستوية من أول الدلو الى آخر الثور والتي تطلع مستوية وتغرب  
معكوسة من أول الاسد الى آخر العقرب. فاذا كان راس السرطان في الجنوب  
في ارتفاعه الاعلى وهو مج له، كان القطب الظاهر في الشمال على نصف  
النهار في ارتفاعه الادنى وهو مو كه، وعلى مطلع الاعتدال أول الميزان يريد  
الطلوع، وعلى مغيبه أول الحمل يريد الغروب، ونصف فلك البروج الظاهر من  
المغرب الى المشرق في الجنوب، على هذه الصورة. ظ ٦٠ ج  
ظ ٥٥ أ
- ثم يتحرك الفلك بالحركة الاولى، فينحط أول السرطان نحو المغرب، ويرتفع  
قطب البروج نحو المشرق، ويغرب أول الربيعي، ويطلع أول الخريفي، وكذلك  
القوسان المتصلتان بهما، ويتزائد بعد مطلع كل جزء ومغيب نظيره من مطلع  
الاعتدال ومغيبه الى ان تنتهي النوبة الى الجزئين اللذين يماس احدهما الافق  
ولا يغرب عنه ويماسه الآخر ولا يطاع. فيكون قد طلع الميزان و العقرب و ج ٦١ ج  
مستويين مستغرقا سعة مشرقهما الربع الشرقي الجنوبي، ويغرب الحمل والثور  
مستويين مستغرقا سعة مغربهما الربع الغربي الشمالي، وأول القوس على نقطة ظ ٥٩ د  
الجنوب مماساً للافق، وأول الجوزاء مماساً على الشمال، وقطب البروج الظاهر  
في جهة المشرق بين ارتفاعيه الاعلا والاسفل على أول السموت، ونظيره في  
مقابلته، ويصير النصف الظاهر من منطقة البروج في الجانب الغربي من الجنوب  
الى الشمال، والخفي منها في مقابلته، فيكون تقاطع منطقة البروج والافق على  
نقطتي الشمال والجنوب، على هذه الصورة. ٢٠
- وليتحرك الفلك، فياخذ أول الجوزاء في الارتفاع نحو المشرق ويطلع آخر  
الثور المتصل به شيا بعد شي، بحيث يكون مطلع كل جزء اقرب الى مطلع  
الاعتدال من مطلع الجزء المقدم عليه في الطلوع، الى ان يطلع الثور ثم  
يطلع آخر الحمل، الى أوله، ويستغرق الربع الشمالي الشرقي في سعة مشرق  
هذين البرجين. وينتهي أول الحمل الى مطلععه. وياخذ بازاء ذلك أول القوس  
في الانحطاط تحت الافق، ويغرب آخر العقرب المتصل به، شياً بعد شي الى  
ان يغيب، ثم يغرب آخر الميزان الى أوله، ويستغرق الربع الجنوبي الغربي سعة  
مغربهما، وينتهي أول الميزان الى مغيبه. ٢٥

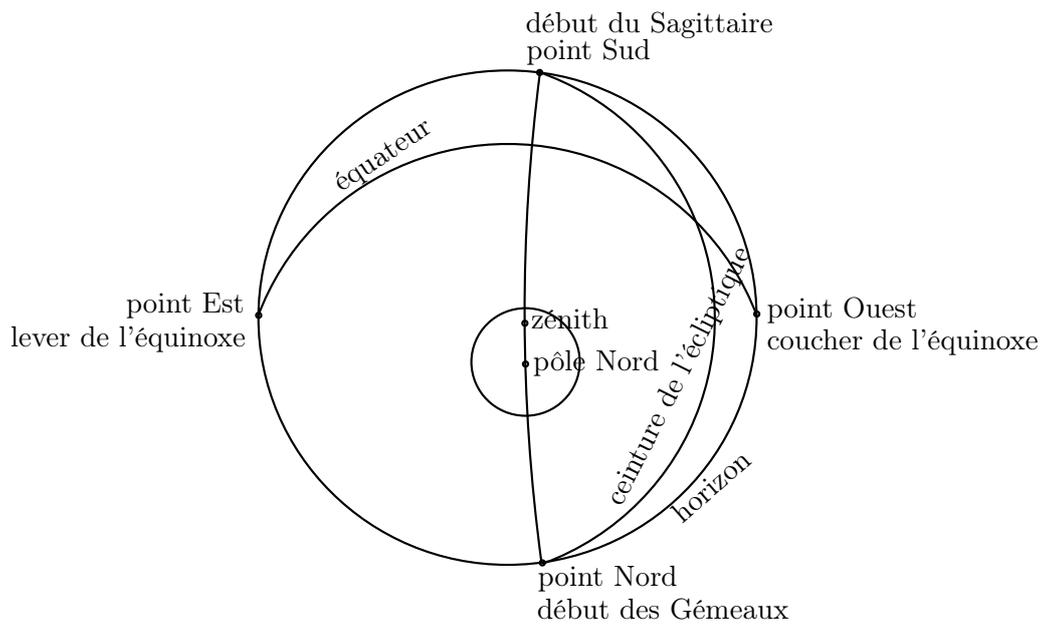
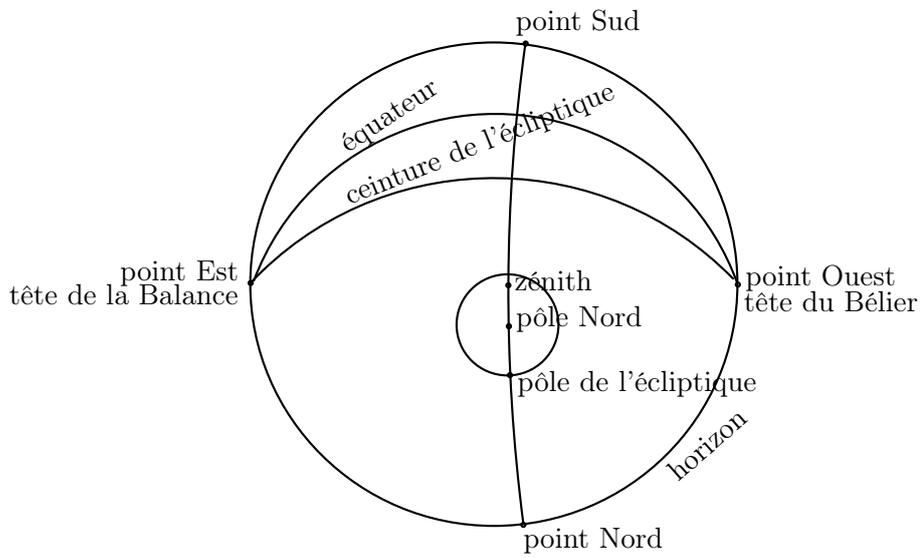
٩ الاولى : [أ،د] ١٠ أول : ناقصة [أ،د] ١٢ عنه : ناقصة [أ،د] ٢٣ يطلع الثور ثم : ناقصة  
[د،ج] ٢٥ وينتهي : ناقصة [د،ج]

Pour se représenter facilement les positions, supposons que la latitude du lieu 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.

Que les orbes soient mûs 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 Est ont occupé tout le quart Sud-Est. Le Bélier et le Taureau se sont couchés à l'endroit, et leurs amplitudes Ouest 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.

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 Est 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 Ouest occupent tout le quart Sud-Ouest. Le début de la Balance atteint son coucher.





- وينتهي أول السرطان الى دائرة نصف النهار في جانب الشمال ويكون في ارتفاعه الاسفل وهو ج له، و قطب فلك البروج الى ارتفاعه الاعلا في جانب و ٦٠ د الجنوب وهن فو كه، ويكون النصف من فلك البروج الظاهر في جانب الشمال بين مطلع الاعتدالين ومغيبه على التوالي مخالف المعهود، ونصفه الخفي مقابله، وتتقاطع منطقة البروج والافق على نقطتي المشرق والمغرب، على هذه الصورة. ظ ٥٦ أ
- ثم ليتحرك الفلك فيطلع آخر الحوت الى أوله، ثم آخر الدلو الى أوله، و ٦٢ ج بحيث يستغرق الربع الشرقي الجنوبي سعة مشرقهما، ويغيب بازائهما آخر السنبله الى أولها ثم آخر الاسد الى أوله مستغرعا الربع الغربي الشمالي سعة مغربهما، ويصير أول الدلو على نقطة الجنوب مماساً للافق، والنصف الظاهر من دائرة البروج فيما بينهما من جهة المشرق، وأول السرطان قد ارتفع في المشرق، والقطب قد اخذ في الانحطاط مغرباً، على هذه الصورة.
- ثم ليتحرك الفلك وارتفع أول الاسد عن الافق اخذاً نحو النصف الشرقي، و ٥٧ أ فتطلع اجزائه على التوالي الى آخره، ثم آخر السنبله كذلك، مستغرعا سعة ظ ٦٢ ج مشرقهما الربع الشمالي الشرقي. وبازاء ذلك ينحط أول الدلو عن الافق تحت الارض، فيغرب الدلو ثم الحوت على التوالي، مستغرعا سعة مغربهما الربع الجنوبي الغربي، منتهيا الطلوع الى أول الميزان والغروب الى أول الحمل، لازدياد قرب مطالع الأجزاء ومغيبها من مطلع الاعتدال ومغيبه. وصار حينئذ أول السرطان الى ارتفاعه الاعلا من منتصف النهار، والقطب الظاهر من فلك البروج الى ارتفاعه الاسفل من نصف النهار. والنصف الظاهر من فلك البروج في جانب الجنوب. ويتم الدور ويعود الوضع الى ما فرض مبداءً.
- وفي هذه الافاق، اذا قرب عرض البلد من النهاية وصار ارتفاع معدل النهار من الافق قليلاً، فربما ينتقل كوكب بقرب مداره من الافق جداً الى مدار آخر بحركته الثانية، فيغيب بعد ما كان ظاهراً وهو في النصف الشرقي، او يظهر بعد ما كان خفياً وهو في النصف الغربي. فيكون قد غرب في المشرق او طلع من المغرب. وهذا من الاسئلة المستغرية. ٢٥

<sup>٨</sup> الغربي : الجنوبي [د،أ] <sup>٨</sup> مغربهما : مشرقهما [ج] <sup>٢٠</sup> الوضع : الموضع [أ] <sup>٢٤</sup> وهو : وهي [أ]

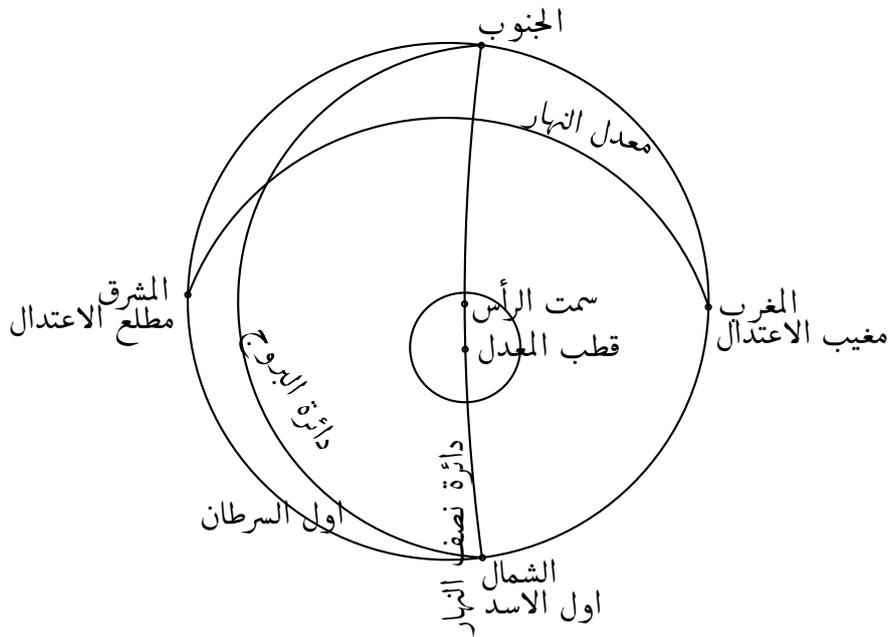
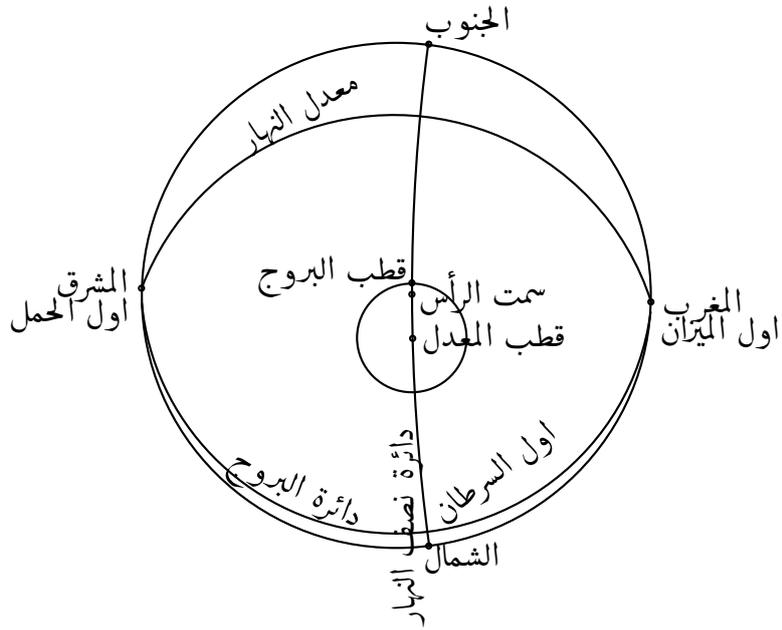
<sup>٢٥</sup> الاسئلة : الاسئلة [ج]

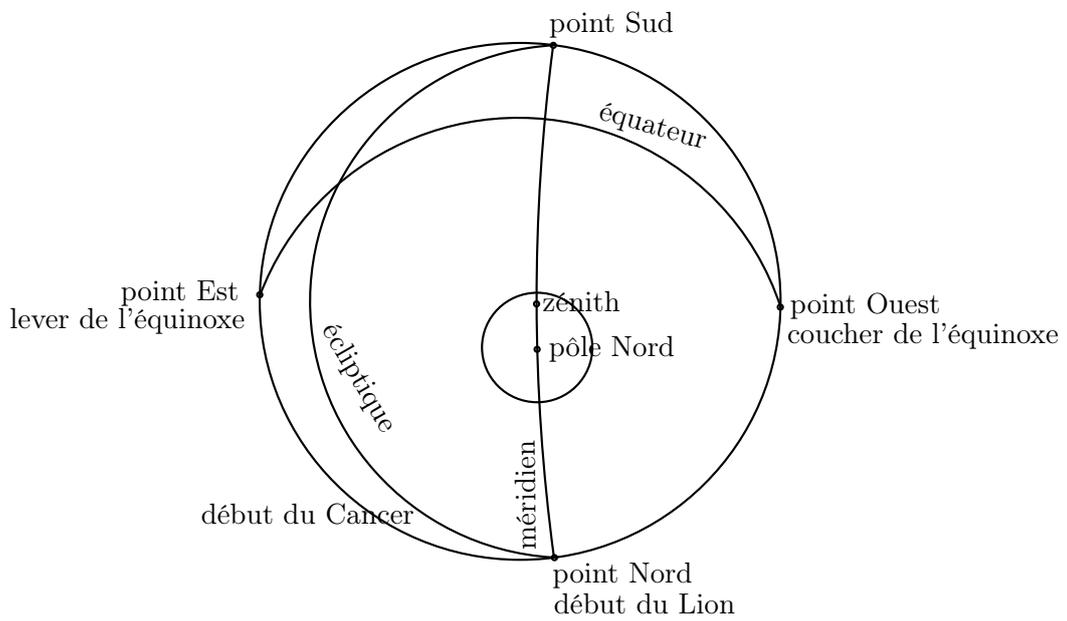
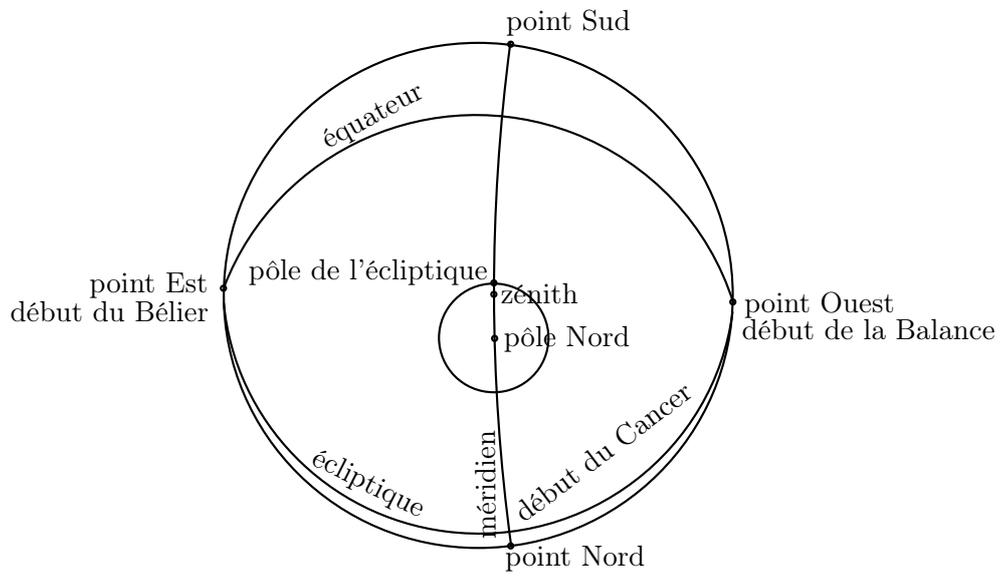
Le début du Cancer atteint le méridien du côté Nord où il est à sa hauteur minimale 3; 35 et où le pôle de l'écliptique est à sa hauteur maximale du côté Sud, 86; 25. La moitié visible de l'orbe de l'écliptique est du côté Nord entre le lever des équinoxes et leur coucher, mais dans un ordre différent 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.

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 Est 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 Ouest occupant 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.

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 Est occupent tout le quart Nord-Est. 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 Ouest 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.

En ces horizons, si la latitude du pays 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 singulières.





## الفصل السادس

في خواص الافاق التي عرضها من المعدل ربع الدور سواء

وهناك يكون احد قطبي المعدل على سمت الراس والمعدل منطبق على الافق. ودور الفلك بالحركة الاولى رحوية. والمشرق غير متميز من المغرب لامكان الطلوع والغروب في جميع الجهات. وغاية الارتفاع بقدر الميل الكلي، وكذلك غاية الانحطاط. ونصف فلك المعدل في جهة القطب الظاهر ابدى الظهور، والنصف الآخر ابدى الخفاء. وكذلك فلك البروج، فما دامت الشمس في النصف الظاهر منه يكون نهاراً، وما دامت في النصف الآخر منه يكون ليلاً.

- وتكون سنتها يوماً وليلة. وانما يتفاضلان بسبب سرعة حركتها وبطؤها. فيكون النهار في هذا التاريخ تحت القطب الشمالي اكثر من الليل بسبعة ايام بلياليها من ايامنا لكون اوج الشمس في أواخر الجوزاء وحضيضها في أواخر القوس. هذا و ٦٣ ج
- اذا اعتبر النهار من طلوعها الى غروبها والليل من غروبها الى طلوعها. اما اذا اعتبر النهار من ظهور الضوء المخفي للثوابت الى الخفا والليل بالعكس، فنهاره ١٥ ظ ٥٧ أ
- اكثر من سبعة اشهر، وليلة قريب من خمسة اشهر على ما حققه تاودوسيوس في المساكن. وان اعتبر النهار من طلوع الصبح الى غروب الشفق كان نهاره تسعة اشهر وسبعة عشر يوماً من ايامنا تقريباً، اذ مدة كل واحد من طلوع الصبح وغروب الشفق خمسون يوماً من ايامنا على ما بين وصفهما فيما بعد.
- وهناك طلوع الكواكب وغروبها، انما هو بالحركة الثانية، لا في موضع معين من الافق. وما لا عرض له من الثوابت يكون اثني عشر الف سنة فوق الارض ومثلها تحتها. وكل ما كان عرضه اقل من الميل الكلي كان له طلوع وغروب واختلف مدتا ظهوره وخفائه بحسب بعد مداره عن منطقة البروج وقربه منها.

١٦ الشفق : الشمس [أ] ١٧ تسعة : ٧ [د،ج] ١٨ تقريباً : ناقصة [د،ج] ١٩ مدتا : مدة [ج]

## Sixième section

Particularités des horizons dont la latitude est égale à un quart de cercle

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 ciels 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<sup>230</sup>. 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.

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 nychtémères de plus que la nuit, parce que l'Apogée du Soleil est vers la fin des Gémeaux et que son périégée 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 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.

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'écliptique<sup>231</sup>.

---

230. *i. e.* la hauteur minimale comptée négativement sous l'horizon.

231. 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.

وكل ما يكون عرضه مساوياً له يماس الافق في دورة واحدة بالحركة الثانية  
ولا يكون له ولا لما زاد عرضه على الميل الكلي طلوع وغروب بل يكون  
ابداً ظاهراً او خفياً. فلتذكر ما ذكر في اوضع الفلك بسبب الحركتين الاولتين  
ويحكم هاهنا بحسب ذلك.  
وهذا آخر بيان خواص البقاع المسامطة للمدارات اليومية وما يجري مجراها.

[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.

Ici s'achève le compte-rendu des caractéristiques des contrées [quant aux] trajectoires diurnes *etc.*

## الفصل السابع في مطالع البروج

المطالع أجزاء قوس من المعدل تطلع مع أجزاء قوس تطلع من فلك البروج. ويقال لتلك القوس التي من فلك البروج درج السواء. والمطالع تختلف بحسب الافاق. ومبداها من الاعتدال الربيعي عند الجمهور ومن الانقلاب الشتوي، عند البعض بفرض يظهر في العمل.

- ففي خط الاستواء كل ربع يتحدد بنقطتين من النقط الاربع التي هي الاعتدالان و الانقلابان يطلع مع ربع؛ لان نقطة الاعتدال التي هي احدى حدى الربعين من منطقتي المعدل والبروج اذا انتهت الى سمت الراس انتهى <sup>ظ ٦٠ د</sup> الانقلابان الى الافق، ولانطباق المارة بالاقطاب الاربعه عليه، لقطعه منطقتي البروج والمعدل على قوائم. ويقاس عليه سائر الارباع. ولا يطلع مع برج يلي <sup>ظ ٦٣ ج</sup> احدى النقط الاربع مثله من المعدل وهو ثلاثون جزوا. اما ما يلي نقطة الاعتدال فانه اعظم من مطالعه، لان القوس التي هي عباره عن البروج اعظم مما في مقابلة من المعدل، لكونها في المثلث الحادث منهما و من الافق وتر قائمه يحيط بها المعدل والافق، وكون مطالع البروج وتر حادة يحيط بها <sup>١٥</sup> قوسان البرج والافق في ذلك المثلث، ووتر القائمة اعظم من وتر الحادة. وهذا <sup>٥٨ ا</sup> القول يتاتي ايضاً في برجين يليان تلك النقطة وفي مطالعهما. واما ما يلي نقطة الانقلاب من البرج التي هو تمام الربع، فان مطالعه اعظم منه، لما تبين من ان ما بقي من المعدل الى تمام الربع اكثر مما بقي من نقطة البروج الى تمام الربع، ومقدار زيادة ذلك كمنقصان هذا. ويظهر من زيادة المطالع ونقصانها <sup>٢٠</sup> وتساوي مقدار الزيادة والنقصان، ان كل قوسين متساويين متساويتى البعد عن احد النقط الاربع، فمطالعهما في خط الاستواء متساوية.

٤ التي : ناقصة [ج] ١٠ لقطعه : ولقطعة [أ،ج] ١١ نقطة : نقطته [ج] ١٢ عباره عن البروج : عبارة عن البرج [د،ج] ١٦ البرج : البروج [ج] ٢٠ المطالع : المطلع [أ] ٢١ متساويين : ناقصة [د]

## Septième section

### Les coascensions de l'écliptique

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.

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 points des équinoxes est plus grand 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 signes<sup>232</sup> 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.

---

232. *i. e.* un arc de  $60^\circ$  adjacent à l'équinoxe le long de l'écliptique.

وإذا عُلم مطالع ربع علم مطالع الأرباع الباقية. وعلى هذا يعلم من مطالع برج ما يليه إلى أن يعلم الجميع. وتنقسم منطقة البروج إلى أربع قطع ويكون مباديها أواسط الأرباع. وكل قطعة يقع في وسطها أحد الاعتدالين تكون أعظم من مطالعها، وكل قطعة يقع في وسطها أحد الانقلابين تكون أصغر من مطالعها.

ومرور منطقة البروج والمعدل على دوائر انصاف النهار ودوائر الميول في جملة البقاع كطلوعها في خط الاستواء، لأن كلا منها أفق من أفاقه. ولما كان المغارب ما يغرب من المعدل مع المطالع كان مغارب كل برج كمطالعه. لا يقال لما مرّ الأفق بقطبي المعدل والبروج عندما تكون نقطة الاعتدال على السميت لزوم تقاطعهما الأفق على قوائم بحكم المصادرة، وأن تكون كل واحدة من قوسى المعدل والبروج وتر قائمة، وأن يكون في المثلث قائمتان، وأن سلم عدم لزوم قائمتان فيه لزم أن يكون ربع منطقة البروج حينئذ أعظم من ربع المعدل، والفرض المساواة؛ لأن ذلك الامتناع إنما يكون في مثلث في سطح مستو.

وأما ما في الأفق المائلة، فيقطع نصفاً مع نصف إذا تحدد بالاعتدالين لا ربعاً مع ربع، لأن المعدل غير قائم على الأفق. ليلزم ما لزم في خط <sup>٦٤ ج</sup> الاستواء. بل إذا طلع ربع يلي الاعتدال ويكون من المعدل في جهة القطب الظاهر، كان أعظم من مطالعه بما تفضل المنفرجة على القائمة، لكونه في المثلث المذكور وتر منفرجة ومطالعه وتر حادة. وأن كان في جهة القطب الخفي كان مطالعها أعظم منها، إذ الحكم يصير بضد ما كان. وتبين من ذلك أن مطالع القسي المتساوية التي تتساوا أبعادها عن إحدى نقطتي الاعتدال متساوية. وأن فلك البروج ينقسم إلى نصفين يتوسط كل واحد منهما إحدى <sup>٥٨ أ</sup> نقطتي الاعتدالين، فالذي يتوسط المجاز إلى جهة القطب الظاهر أعظم من مطالعه، والآخر بالعكس.

<sup>٦٣</sup> وكل... الاعتدالين تكون أعظم من مطالعها: ناقصة [د]، في هامش فقط [ج] <sup>٦٤</sup> المغارب: الغارب [ج] <sup>٦٥</sup> يغرب: يقرب [ج] <sup>٦٦</sup> المطالع: الطالع [ج] <sup>٦٧</sup> المصادرة: المضادده [د، ج]، ولكن كتب في هامش نسخ [ج] <sup>٦٨</sup> المصادرة: قائمتان: قائمتين [د، ج]

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.

Il en est des transits 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 le co-coucher est [l'arc] de l'équateur qui se couche en même temps que se lève [l'arc mesurant] la coascension, alors le co-coucher de chaque signe est égal à sa coascension.

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 [ou au nadir], le fait que l'horizon coupe perpendiculairement ces deux cercles se démontre par la contraposée, comme suit. Chacun des deux arcs (celui de l'équateur et celui de l'écliptique) est un côté opposé à un [des deux angles] angles droits. Il y a deux angles droits dans le triangle, car 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. Certes l'impossibilité [de deux angles droits dans un triangle] n'a lieu que dans les triangles plans.

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. En effet l'équateur n'est pas perpendiculaire à l'horizon. Si un quart adjacent à une 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 de deux portions égales situées à des distances égales d'une 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 son lever, et inversement.

ومطالع القسي الشمالية في الافاق الشمالية كمطالع نظائرها من الجنوبية في الافاق الجنوبية، وفي الجنوبية كذلك. ومغرب كل قوس في كل افق كمطالع نظير تلك القوس.

وقد تبين فيما سبق ان، في موضع يساوي عرضه تمام الميل الكلي، يطلع نصف البروج مع جميع المعدل، والنصف الآخر لا في زمان؛ وقد يتبادل النصفان في الغروب.

وفيما بجواز عرضه التمام ولم يبلغ الربع، حيث يكون قسي من فلك البروج ابدية الظهور، وما يقابلها منه ابدية الخفا. ينقسم المعدل الى ما يطلع مع ما <sup>ظ ٦١ د</sup> يطلع من البروج معكوسة والى ما يطلع مع ما يطلع منها مستويه: كما في عرض ع، فان الجوزا والسرطان فيه ابدية الظهور، والقوس والجدي ابدية الخفا، فاذا طلعت نقطة الاعتدال الربيعي، طلع بعدها الحوت معكوساً من الآخر الى الأول، ثم الدلو معكوساً كذلك، ثم يتدي طلوع الاسد من أوله مستويًا، ثم السنبله، ثم الميزان، ثم العقرب كذلك؛ فاذا انتهى الى أول القوس، ابتدا آخر الثور بالطلوع المعكوس، و يطلع الثور والحمل معكوسين، فتعود نقطة الاعتدال الربيعي الى الافق. وقس عليه سائر الافاق، والغروب على الطلوع. وما لا يطلع ولا يغرب من البروج او المعدل، فلا خط له من المطالع والمغرب. ولهذا لا يكون للبروج في عرض ص مطالع ولا مغرب.

ظ ٦٤ ج

**وتعديل مطالع البلد هو ما يزداد او ينقص من مطالع الفلك المستقيم، وهو تعديل النهار، ومغرب القوس كمطالعها. والطاق هو الجزء الموفى للافق من فلك البروج مما يلي الشرق، والغارب ما يقابله على افق المغرب.**

<sup>٢١</sup> كمطالع نظائرها من الجنوبية في الافاق الجنوبية: تاقتصة [ج]، الجنوبية [د] <sup>١٤</sup> المعكوس: المعكوس [د، ج] <sup>١٦</sup> ولهذا: وهذا [د، ج] <sup>١٩</sup> الموفى: الموفى [ج]

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, le co-coucher d'un arc est toujours égal à la coascension de l'arc opposé.

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 aux couchers, il faut échanger les deux moitiés.

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 les couchers. Les portions de l'écliptique ou de l'équateur qui ne se lèvent ni ne se couchent n'ont ni coascension ni co-coucher. C'est pourquoi il n'y a ni coascension ni co-coucher à la latitude de 90 degrés.

*L'équation de la coascension* d'un pays est ce qu'on ajoute ou retranche à la coascension de la sphère droite<sup>233</sup>. C'est l'équation du jour, et le co-coucher de l'arc est comme sa coascension<sup>234</sup>. La partie *ascendante* de l'orbe de l'écliptique est celle qui vient à l'horizon vers l'Est, et sa partie *descendante* est la partie opposée, à l'horizon Ouest.

---

233. *i. e.* aux coascensions calculées à l'équateur terrestre.

234. En effet, quand le Soleil a un lever et un coucher par nychtémère, la durée du jour est la coascension d'une moitié de l'écliptique.

## الفصل الثامن في بيان معرفة مقادير الايام بليالها وتعديليهما

يطلق اليوم على اليوم بليته وهو حقيقي ووسطي. فاما الحقيقي زمان واقع بين طلوع الشمس او غروبها او كونها في نصف النهار وبين عودها الى ما جعل مبدا من الامور الثلاثة بالحركة الاولى. ومقداره دورة من معدل النهار مع ما يطلع منه مع القوس التي يقطعها الشمس بحركتها الخاصة فيما بين المبدأ والمنتهى.

وتلك القوس، في النصف الابعد اصغر، وفي النصف الاقرب اكبر. وما يطلع من المعدل مع ما يطلع من فلك البروج تارة يكون اصغر وتارة يكون اكبر. وبسبب هذين الاختلافين تختلف مقادير الايام بليالها. ولقلة التفاوت، لا يحس ذلك الاختلاف في ايام قليلة كيوم او يومين ويحس في ايام كثيرة. و اهل الحساب لاضطرارهم الى استعمال الايام بليالها متساوية المقدار لمعرفة حركات الاوساط وغيرها مما هم محتاجون، جعلوا تلك الزيادة مقدار حركة الشمس الوسطي في يوم بليته، وسموا تلك الايام الوسطي. وكل يوم منها مقدار دور من المعدل مع وسط الشمس وهو اليوم الوسطي.

ويسمى بالوسطى لاعتبار سيرها الوسط فيه، كما سمي الأوّل بالحقيقي لاعتبار سيرها الحقيقي فيه وهو الحركة التقويمية. وهما قد يتساويان وقد يختلفان لان مطالع حركتها التقويمية اما زائدة عليها واما ناقصة منها، وعلى التقديرين فالتقويمية اما مساوية للحركة الوسطية كما في موضع الحركة الوسطي، او زائدة عليها كما في النصف الحضيضي، او ناقصة منها كما في الاوجي. فالاقسام ستة.

<sup>٢</sup> وتعديليهما: وتعديليها [ج] <sup>٢</sup> اليوم على: ناقصة [د،ج] <sup>٣</sup> فاما: ف [د،أ] <sup>٤</sup> المبدأ: المبتدا [ج] <sup>١٣</sup> مما هم محتاجون: فيما هم محتاجون اليه [د،ج]

## Huitième section

Comment déterminer la durée des jours avec leurs nuits, et leurs équations

Le *jour* désignera le nychtémère<sup>235</sup>. 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 transit 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].

Cet arc [de l'écliptique] est plus petit [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 plus petite, tantôt plus grande. En raison de ces deux variations, la grandeur d'un nychtémère 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.

Les astronomes sont contraints d'utiliser des nychtémères de grandeurs égales pour déterminer les mouvements moyens et d'autres choses dont ils ont besoin ; aussi ont-ils posé que l'excès<sup>236</sup> est égal au mouvement moyen du Soleil pendant un nychtémère, et ils ont appelé ces jours "jours moyens". Chacun est égal à une rotation de l'équateur, plus le Soleil moyen.

Ils l'ont appelé "moyen" car il implique le parcours moyen [du Soleil], de même qu'ils ont appelé le premier "jour vrai" car il implique 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 une position où son mouvement est moyen), tantôt supérieur (quand [le Soleil] est dans la moitié [de sa trajectoire passant par] le périhélie), tantôt inférieur (quand [le Soleil] est dans la moitié [de sa trajectoire passant par] l'Apogée). On aura donc six divisions.

---

235. littéralement, le « jour avec sa nuit ».

236. *i. e.* la différence entre la durée du jour et la période du mouvement de l'équateur.

وهما يتساويان فيما يتساوي فيه المطالع والوسط وذلك عند تساوى زيادتهما و ٦٥ ج  
على التقويم او نقصانها منه. وهذا التفاوت يسمى تعديل الايام بليالها. وانما  
يحس به في ايام كثيرة دون يوم او يومين. وتحقيق كمية محوج الى معرفة  
غاية كل من الاختلافين.

٥. اما التفاوت الذي بسبب سير الشمس، فباربعة امثال غاية اختلافها، وهي  
درجتان بالتقريب، لكون الحركة التقويمية في النصف الاوجي ناقصة عن الحركة  
الوسطية بضعف الغاية زائدة عليها، وفي النصف الحضيضي بمثل ذلك ايضا.  
ولا منافاة بين ان يكون القوس التقويمية زائدة على القوس الوسطية كما مر في  
افلاك الشمس وبين ان تكون الحركة التقويمية ناقصة من الحركة الوسطية كما  
١٠. ذكر هنا.

واما التفاوت الذي يكون بسبب المطالع، فمختلف باختلاف الافاق، ولم  
يكن في جميع البقاع شيا واحداً. ان جعل مبادئ الايام انتها الشمس الى  
الافق حتى ان جعل المبدأ انتهاها الى الافق الشرقي كان بحسب التفاوت  
بين درج السواء ومطالعها في ذلك الموضع. وان جعل المبدأ انتهاها الى ٦٢ د  
الافق الغربي كان بحسب التفاوت بين درج السواء ومطالع نظيرها في ذلك ٥٩ أ  
الموضع. وان جعل المبدأ انتهاها الى نصف النهار اتفق التفاوت في جميع  
الافاق، وتساوت الايام فيها فدرأً : ويكون ذلك بحسب السير والمطالع بخط  
الاستواء. فلهذا اختاروا المبدأ من نصف النهار.

وقد سبق ان فلك البروج ينفصل على اربع، يقطع قطعتان منها تتوسط كل  
واحدة منهما احد الاعتدالين ويزيد على مطالعها، احدهما من اواسط الدلو ٢٠  
الى اواسط الثور والاخرى من اواسط الاسد الى اواسط العقرب، ومقدار زيادة  
كل واحد منهما على مطالعها بخط الاستواء خمس درجات. وكل واحد من  
القطعتين الآخريتين يتوسطها احد الانقلابين وينقص عن مطالعها، احدهما من  
اواسط الثور الى اواسط الاسد والاخرى من اواسط العقرب الى اواسط الدلو.  
٢٥ ومقدار نقصان كل واحدة منهما عن مطالعها بخط الاستواء خمس درجات ٦٥ ج  
ايضاً.

٣ كمية محوج: كميته تحوج [د،ج] ° اختلافها: اختلافهما [ج] ° وهي: وهو [د،ج] ١٢ شيا:  
سببا [ج] ١٤ ومطالعها: ومطالع نظيرها [ج] ١٤ جعل: كان [أ] ١٨ المبدأ: المبدأ فيها [ج،د]  
١٣ الآخريتين: الآخريتين [ج] ١٣ مطالعها: مطالع [د،ج] ٢٤ الاسد: الاوسط [أ] ٢٥ عن: من [أ]

Les deux [durées] sont égales quand coascension et [Soleil] moyen sont égaux, c'est-à-dire quand sont égaux les deux excédents ou défauts par rapport au mouvement en longitude. L'écart [entre les deux durées] 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.

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'Apogée est égal au mouvement moyen moins deux fois le maximum 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.

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.

Ci-dessus<sup>237</sup>, 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.

---

237. cf. section précédente.

وإذا تركب التفاوتان بالزيادة أو النقصان والاختلاف جعل مقدار التفاوت بين الأيام الوسطى والأيام الحقيقية جملة. في السنة، ولا بد من فرض يوم مبدا ليقاس عليه سائر الأيام، بحيث يكون نصف نهار ذلك اليوم مبدا الأيام الوسطى والحقيقية جميعاً. وأي يوم من السنة يفرض مبدا لزمان يكون التفاوت بين الأيام الوسطى والحقيقية الماضيين من ذلك اليوم زائداً تارة وناقصاً أخرى؛ إلا إذا جعل المبدأ أو آخر الدلو فإن الأيام الحقيقية دائماً ناقصة من الوسطى؛ إلا إذا جعل أوائل العقرب فإن الأيام الحقيقية زائدة على الوسطى حينئذ. واتفق أهل الصناعة على جعله أو آخر الدلو.

و ٦٠ أ  
ظ ٦٢ د

وهذه صورة القطع على أن الأوج في آخر الجوزاء. ويتغير تفاوت اختلاف الشمس بسبب حركة الأوج، لكن في مدة طويلة. فهذا بيان التفاوت في مقادير الأيام. وبيان المقادير في كل وقت اليق بكتب العمل، ويسمى هذا التفاوت تعديل الأيام بلياليها. وإذا تم الدور تساوت الأيام الحقيقية والوسطى، وسقط هذا الاعتبار.

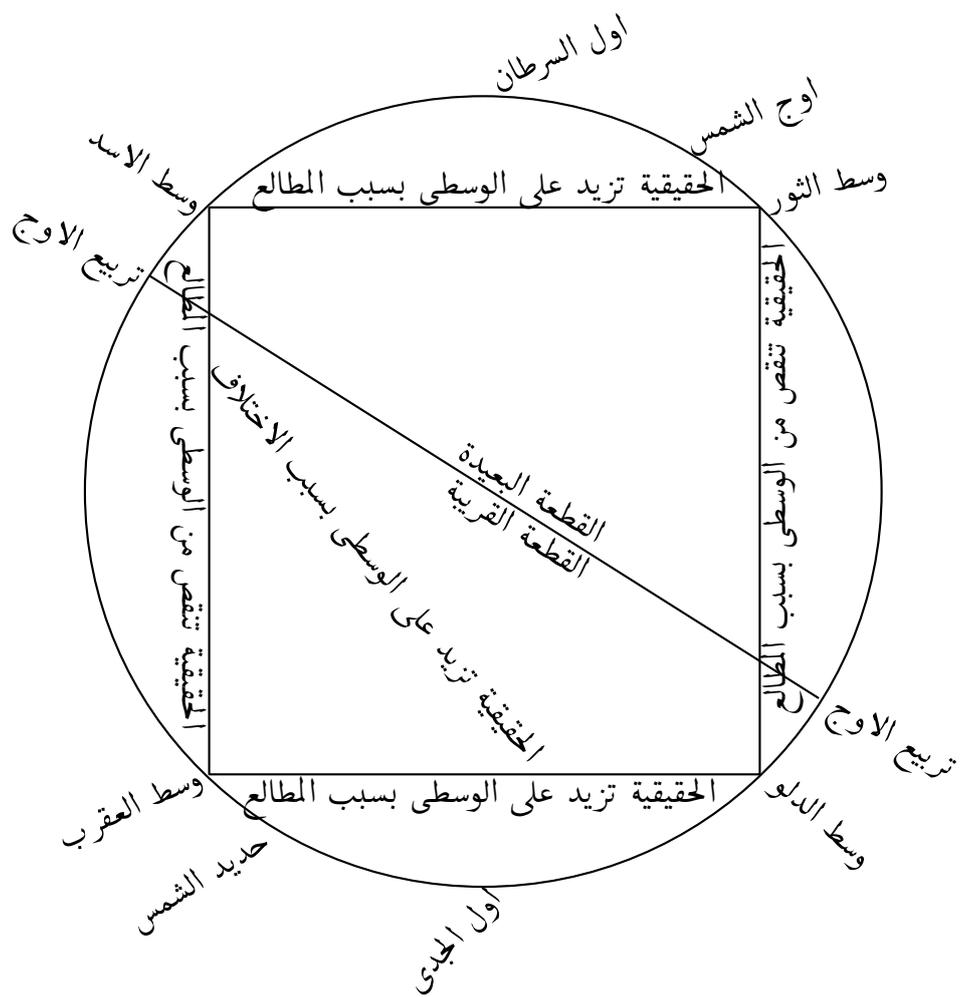
١ أو النقصان: والنقصان [د،ج] ١ بين: من [د،ج] ° زائداً... وناقصاً: زائدة تارة وناقصة [د،ج]

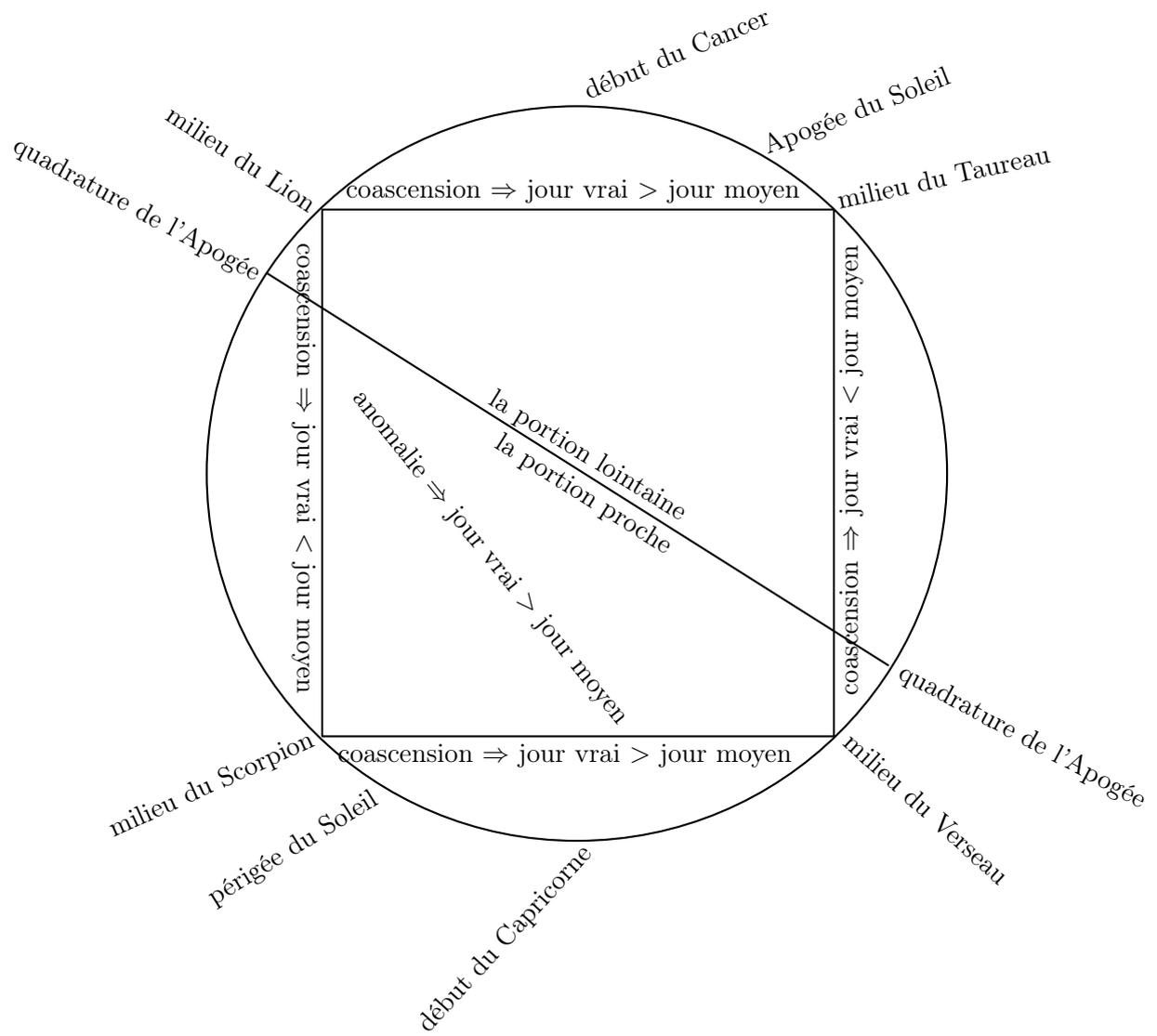
En combinant les deux écarts par excès et par défaut, cette variation fera la grandeur totale de l'écart entre les jours moyens et les jours vrais. On ne peut faire autrement que choisir un jour de l'année comme origine. Les autres jours lui seront rapportés, de sorte que midi de ce jour soit l'origine 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 vrais seront toujours supérieurs aux jours moyens. Les hommes de métier se sont accordés à choisir [l'origine] vers la fin du Verseau.

Voici la figure des six divisions, sous l'hypothèse que l'Apogée est à la fin des Gémeaux.

L'écart dû à l'anomalie solaire change à cause du mouvement de l'Apogée, mais seulement sur de longues durées.

Ainsi s'achève l'explication de l'écart dans la grandeur des jours. L'explication de [leur] grandeur à un instant donné [figure] dans les livres pratiques. Cet écart s'appelle équation des nyctémères. 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.





## الفصل التاسع في الصبح والشفق

- الصبح استنارة الافق الشرقي لاقبال الشمس عليه، والشفق استنارة الافق الغربي بعد ادبار الشمس عنه. وسبب الصبح، ان الشمس اذا قربت بالليل من تحت الارض الى الافق الشرقي، مال مخروط ظل الارض الذي هو عبارة عن الليل نحو المغرب؛ وكلما زاد ميله زاد قرب الشعاع المحيط به الى البصر من جهة المشرق الى ان يرى قليلا قليلا.
- ولنتوهم لتصوره مثلث حاد الزوايا، قاعدته على الافق وضلعاه على سطح المخروط من توهم مرور سطح يمر بمركزي الشمس والارض ويسهم المخروط،<sup>٦٠</sup> ط أ
- ومثلث آخر، احدى زواياه قائمة، قاعدته بين الافق وأول نقطة تُرى من الصبح، اعني نقطة من ضلع المثلث الأول، وضلعاه الآخران خارجان من النظر، احدهما الى احد طرفي قاعدته والآخر الى الآخر، احدهما النقطة المذكورة والآخر نقطة من الافق. ولكون الضلع الخارج من النظر الى النقطة عموداً، كان الجارج منه الافق لكونه وتر قائمة اطول منه. وكذلك ما يرى من الصبح كخط مستقيم فوق الافق حين ما يقرب من الافق مظلماً. ويسمى ذلك **المرى منه بالصبح الأول** لظهوره أولاً بالصبح، الكاذب لتكذيبه ظلمة ما هو اقرب منه الى الشمس، وبذنب السرحان لانتشار أوله ودقة اخره.
- ثم اذا قربت الشمس من الافق جداً، انبسط النور على الافق كنصف دائرة، وحينئذ يصير الصبح **صادقاً**. فيمتلى افق المشرق ضياءً، ويبلغ وسط السماء، ولا يزال يزداد ذلك الضوء، الى احمرار الافق وطلوع الشمس وغروب مخروط الظل. وكلما ترتفع الشمس، ينحط المخروط الى انتهائها نصف النهار؛ فتأخذ الشمس نحو المغرب والظل بحدايها نحو المشرق، الى ان تصل الشمس افق المغرب، وتحمره، ويصل المخروط الى افق المشرق.

<sup>٦٠</sup> مثلث : مثلثا [د،ج] <sup>١٠</sup> احدى : احدا [د،ج] <sup>١٢</sup> النظر : القطر [أ،د،ج] <sup>١٣</sup> النقطة : النقط [د،ج]  
<sup>١٤</sup> الافق لكونه : ناقصة [د،ج] <sup>١٤</sup> وكذلك : ولذلك [أ]

## Neuvième section

### L'aurore et le crépuscule.

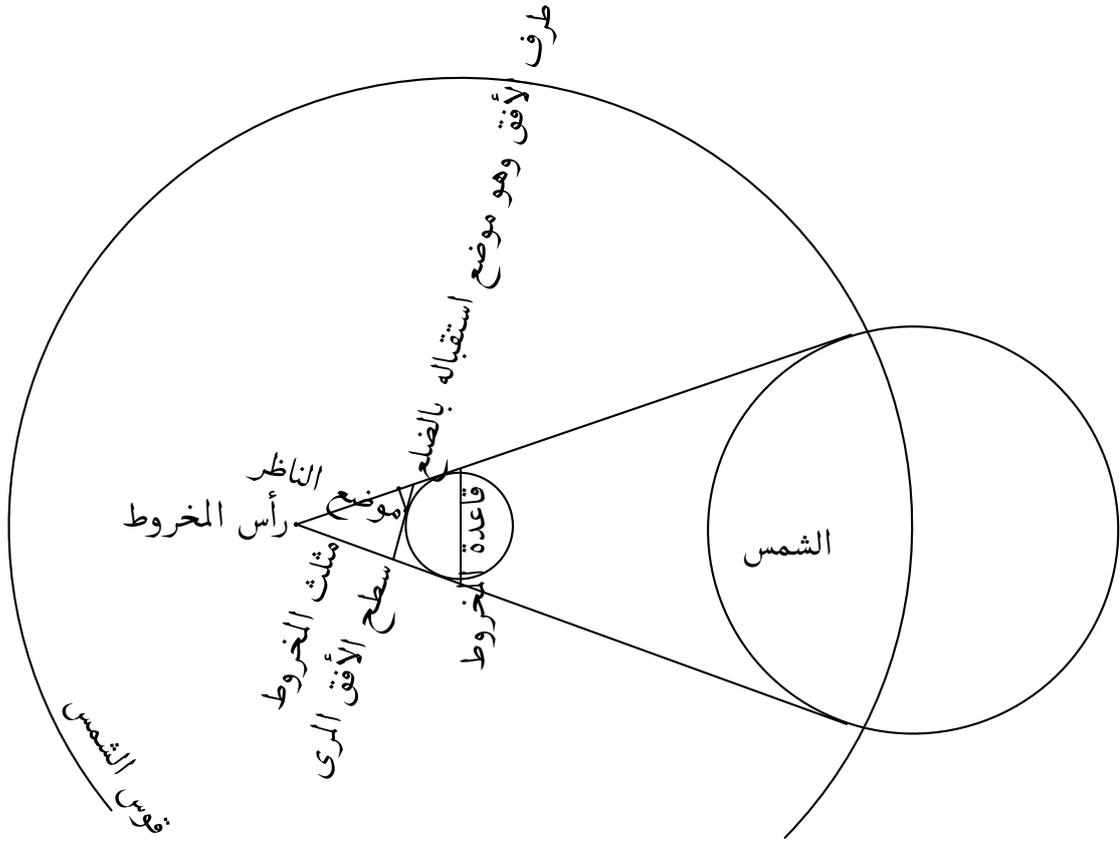
L'aurore est l'illumination de l'horizon Est à l'approche du Soleil, et le crépuscule est l'illumination de l'horizon Ouest après que le Soleil s'y soit retiré. La cause de l'aurore est la suivante : pendant la nuit, de dessous la Terre, quand le Soleil approche l'horizon Est, le cône d'ombre de la Terre (en quoi consiste la nuit) penche vers l'Ouest. Plus il penche, plus le rayon de lumière à son bord s'approche du regard, du côté de l'Est, jusqu'à être vu, petit à petit.

Pour se le représenter, imaginons un triangle à angles aigus dont la base soit l'horizon et dont les côtés soient à la surface du cône dans un plan 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'œil, 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'œil et passant par le point [mentionné] est perpendiculaire [en ce point], alors [l'autre] côté [issu de l'œil] vers l'horizon est plus long car c'est l'hypoténuse<sup>238</sup>. 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 cela *ce qui en est vu de l'aurore en premier* 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.

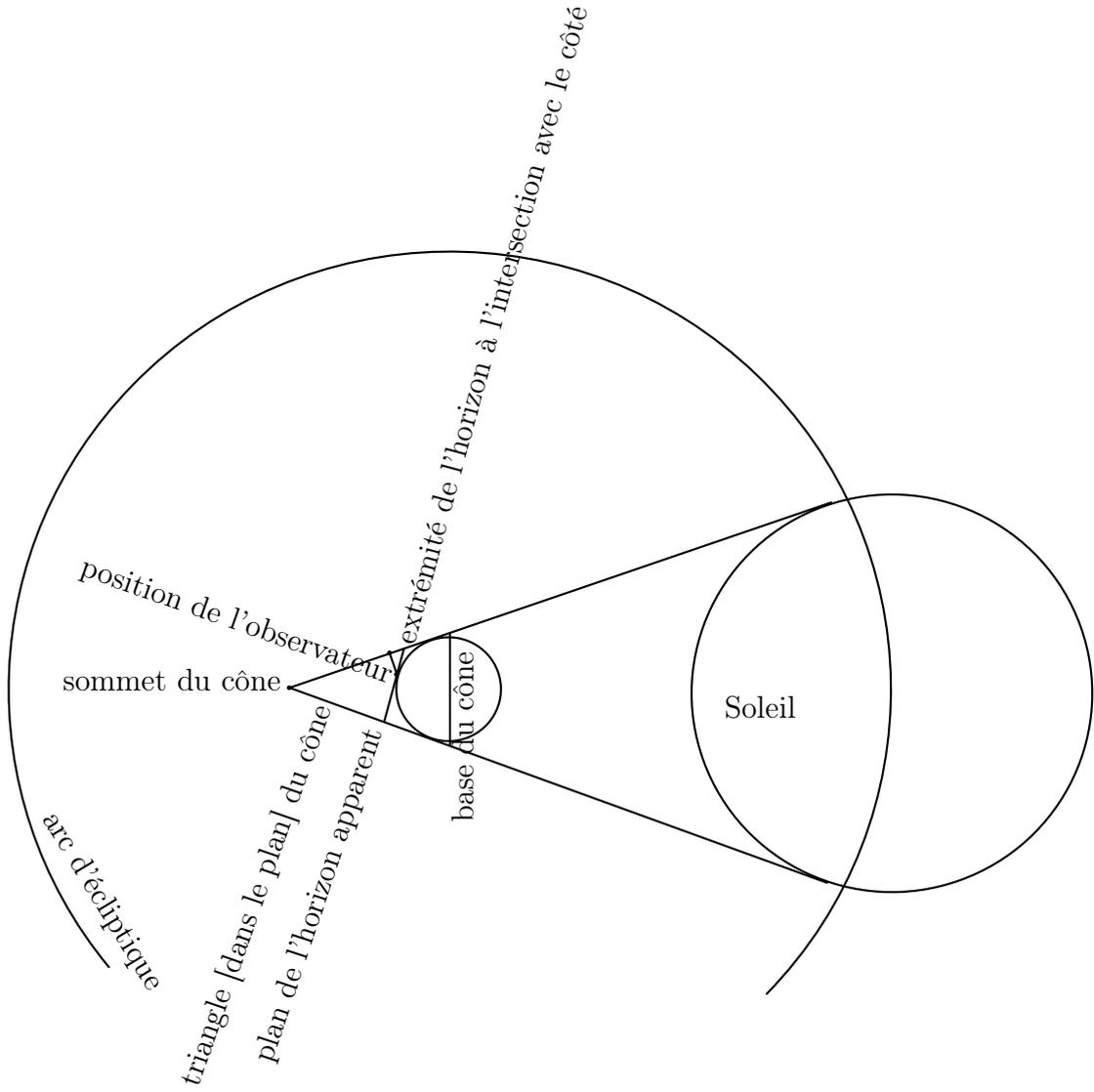
Ensuite, si le Soleil s'approche beaucoup de l'horizon, la lumière se développe à l'horizon comme une demi-disque, et l'aurore devient alors *franche*. L'horizon Est s'emplit de clarté, la moitié du ciel est atteinte, et cette clarté ne cesse plus de croître jusqu'à ce que rougeoie l'horizon, que le 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 et ses limites vont 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.

---

238. Parmi les directions situées dans le même cercle de hauteur que le Soleil, celle 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 Ṭūsī [2] p. 294-297.



و هذه صورة الأفق والمثلث والعمود والشمس والأرض



La figure avec l'horizon, le triangle, la perpendiculaire, le Soleil et la Terre

- فاذا غربت الشمس وطلع المخروط، اخذت الحمرة المسماة بالشفق في التناقص، وتبعها في الزيادة البياض، الى ان يتكامل البياض وتزول الحمرة، ثم <sup>ج ٦٦</sup> ظ ٦٦ ج فيأخذ البياض في التناقص، الى ان يبقى منه ضوء مستطيل كالصبح الكاذب. ثم يبتدي سواد الليل.
- وتميل الناس الى الدعة والنوم عند امر الشفق، وميلهم الى انتشارهم في قضاء الحاجات عند الصبح. اشتغلوا عن تدقيق امر الشفق واشتغلوا بدقيق احوال الصبح.
- وقد عرف بالتجربة ان انحطاط الشمس عن الافق عند أول طلوع الصبح <sup>ج ٦٧</sup> و <sup>أ ٦١</sup> و <sup>د ٦٣</sup> وآخر غروب الشفق يكون ثمانية عشر جزءا من دائرة الارتفاع المارة بمركز الشمس؛ ولكن لاختلاف مطالع قوس الانحطاط، تختلف الساعات التي بين طلوعي الصبح والشمس والتي بين غروبي الشمس والشفق. ومقدار ثمانية عشر درجة بالزمان ساعة وخمس ساعة في خط الاستوا عند كون الشمس في احدى نقطتي الاعتدالين. ولا يكون في موضع من سطح الارض زمان الصبح والشفق اقل من هذا اذا كانت الشمس في احد الاعتدالين. وكل جزءين يتساوي بعدهما عند احد الاعتدالين، يتساوى مدة صبحهما وشفقهما في خط الاستوا. ومدة الصبح والشفق في الاقليم الرابع والشمس في اوائل السرطان ساعتان، و في اوائل الجدى ساعة وثلاث تقريبا.
- وفي المواضع التي يكون عرضها مح ل، اذا كانت الشمس في المنقلب الصيفي، يتصل الصبح بالشفق؛ وفيما تجاوزت العروض تلك المواضع، يكون اتصالهما بحسب تناقص انحطاطهما عن الافق عن ذلك المقدار، ويكون طلوع الصبح قبل غروب الشفق.
- وحيث ساوى عرضه تمام الميل الكلي، اذ اسامتت الشمس الافق في المنقلب الذي في خلاف جهة العرض، ولا تطلع، وتكون ساعات كل منهما خمسا وثلاثا. والبقى الى تمام اربعة وعشرين ساعة، وهو ثلاث عشرة وثلاث، تكون ساعات الظلمة. وفي جهة العرض، تماس الافق، وحينئذ ولا يخفي فلا يكون فيها صبح ولا شفق في ذلك الوقت.

<sup>٢</sup> وتبعها: ويتبعها [ج] <sup>٢</sup> ثم: ناقصة [ج] <sup>٣</sup> يبقى: يبق [ج] <sup>٦</sup> عن: عند [أ] <sup>٦</sup> بدقيق: بتدقيق [د] <sup>٨</sup> أول: ناقصة [ج] <sup>١١</sup> ومقدار: وبمقدار [د، ج] <sup>١٢</sup> الاعتدالين: الاعتدال [د، أ] <sup>١٣</sup> في: من [د، ج] <sup>١٣</sup> وتكون: يكون [أ] <sup>٢٥-٢٦</sup> ولا يخفي فلا يكون: فلا يخفي ولا يكون [ج]

Si le Soleil se couche et que se lève le cône d'ombre, alors le rougeoiment 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 prolongée, comme l'aurore trompeuse. Puis commence la nuit.

Les gens sont rendus favorables au dîner et au sommeil à l'injonction du crépuscule, et au déploiement dans l'accomplissement des besoins à l'aurore. Injonction du crépuscule : qu'ils se distraient des [travaux] pointilleux. Conditions de l'aurore : qu'ils s'occupent de [travaux] pointilleux.

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.

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.

Aux lieux dont la latitude vaut 48; 30, quand le Soleil est au solstice d'été, l'aurore est contigüe au crépuscule. Là où la latitude est encore supérieure, leur contigüité [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 crépuscule<sup>239</sup>.

Lorsque la latitude [du lieu] est égale au complément de l'inclinaison [de l'écliptique], au solstice situé du côté opposé à la latitude, le Soleil culmine quand il est à l'horizon ; il ne se lève pas, et la durée [de l'aurore et 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.

---

239. Pendant la période de l'année où l'abaissement maximal du Soleil sous l'horizon est inférieur à 18°, aurore et crépuscule seront contigus.

وحيث العرض ص، وهو الافق الرحوي، يكون زمان كل منهما ن يوماً من  
ايامنا. وبيان ما ذكر من المقادير وما لم يذكر يتعلق بكتب العمل.

Lorsque la latitude [du lieu] est 90 (à l'horizon où c'est comme une meule), la durée de chacun est de 50 jours – de nos jours à nous.

L'explication des grandeurs que nous avons mentionnées et de celles que nous n'avons pas mentionnées figure dans les livres pratiques.

## الفصل العاشر

في معرفة اجزاء الايام وهي الساعات، وما يتركب من الايام وهي الشهور والسنون

- المشهور ان قوس النهار هي نصف الدور من المعدل حيث لا تعديل ظ ٦٧ ج
- فيه، او هو مع ضعفه او بدونه حيث وجد فيه. وبالحقيقة هي ما يدور من المعدل من وقت طلوع نصف جرم الشمس من الافق الى وقت غروب نصفه فيه، وهي بهذا التفسير ازيد من الاولى 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 المعدل. ظ ٦١ أ
- وتقسم كل واحدة من قوسي النهار والليل تارة على خمسة عشر قسما وتسمى تلك الاقسام ساعات مستوية لاستوا اجزائها دائماً، وتارة على اثني عشر قسماً وتسمى تلك الاقسام ساعات معوجة لاختلاف اجزائها بحسب اختلاف الملونين طولاً وقصراً. وكلما تساوى الملوان، كان كل منهما اثني عشر ساعة مستوية ومعوجة. وكلما اختلف الملوان زاد عدد الساعات المستوية واجزاء المعوجة، لاحدهما على الآخر. ١٥
- ومبدا النهار في عرف المنجمين والقوس والوضع الطبيعي من طلوع الشمس، وفي عرف المتشرعة من طلوع الصبح الصادق، وهو زائد على الأول بما بين الطلوعين. ومبدا الليل من غروبها. وأول اليوم عند بعض الحساب من نصف النهار، وعند بعضهم من نصف الليل، وعند غيرهم من اهل الشرع من أول الليل، وعند غيرهم من أول النهار الى مثله. ٢٠
- ولما كان الشهر ماخوذاً من تشكيلات القمر بحسب اوضاعه من الشمس، وصار فضل حركة القمر على حركة الشمس الحقيقيين دوراً، اختلاف مع تعدد وجدانه لاختلاف حركتهما.

٤ هي: هو [ج] هي: هو [د،ج] ٧ التفسير: التقدير [د،ج] ٨ الاولى: الأول [د،ج] ٩ الملونين: الميلون [أ]، المتلونين [د،ج] ١٠ الملوان: الميلوان ان [أ]، المتلون [د،ج] ١١ الملوان: الميلوان [أ]، المتلون [ج] ١٢ وعند غيرهم من اهل الشرع من أول الليل: ناقصة [د]، في الهامش [ج]

## Dixième section

Détermination des parties du jour, les heures, et des multiples des heures,  
les mois et les années

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 exigée est la moitié de l'excédent de l'arc diurne sur une demi-circonférence de l'équateur.

Tantôt, on divise chacun des deux arcs en quinze portions, et on appelle ces portions *heures égales* à cause du fait que leurs parts sont toujours [en nombre] égal. Tantôt, [on les divise] en douze portions, et on appelle ces portions *heures courbes* à cause du fait que leurs parts sont [en nombre] variable et dépendent de la variation des deux temps<sup>240</sup> suivant qu'ils sont courts ou longs. Si les deux temps sont égaux, chacun sera douze heures, égales et courbes. Si les deux temps diffèrent, alors le nombre d'heures égales augmente et [le nombre] de parts de chaque heure courbe augmente, car l'une est plus que l'autre.

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 des légistes, c'est au lever de l'aurore franche ; alors [l'arc diurne] dépasse l'autre, de la différence entre les deux levers. Le début de la nuit est au coucher du Soleil. Chez certains astronomes le début du nychtémère 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.

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 son nombre [de jours] est variable, à cause de l'irrégularité des deux mouvements.

---

240. Les deux « temps » sont le jour et la nuit.

فقال اهل الظاهر الدور من يوم الاجتماع الى يومه، او من ليلة روية الهلال الى ليلتها، او من تشكل آخر الى مثله، بحسب ما يصطلحون عليه. وقال اهل الحساب من الفضل ما بين الحركتين **الوسطيتين**، بمعنى انهم اسقطوا وسط الشمس من وسط القمر فوجدوا ما بين الاجتماعين تسعة وعشرين يوماً ونصفاً وكسراً. ثم لما كان مجموع كل شهرين متواليين تسعة وخمسون يوماً، جعلوا <sup>ج ٦٨</sup> شهراً من السنة ثلاثين شهراً تسعة وعشرين. وزادوا الكسور المجتمعة التي تزيد على نصف يوم في كل ثلاثين سنة احدى عشر يوماً. فتصير احدى عشر شهراً، مما يجب ان يكون تسعة وعشرين يوماً في مدة ثلاثين سنة، احد عشر ثلاثين. وتسمى تلك الايام **كبايس**: والكبيسة يوم مجتمع من الكسور الزائدة على الايام التامة لسنة، ويزيدون الكبايس في الشهور.

على وجه آخر، وهو ان يجعلوا الشهر الأول من السنة وهو المحرم ثلاثين يوماً، والثاني تسعة وعشرين يوماً، على هذا الترتيب الى آخر السنة، فصار ذو الحجة تسعة وعشرين يوماً وخمس وسدس يوم، اعني اثني وعشرين دقيقة من يوم، وهي الحاصلة من ضرب دقيقه وخمسين ثانية الزائد على نصف يوم <sup>٦٢</sup> و <sup>١</sup> في اثني عشر. فيصير ثلاثين في سنة الكبيسة، وهي ما فيها يوم الكبيسة وهو الثلثون من ذي الحجة المجتمع من الكسر. وهذه الشهور **قمرية**، فمنها حقيقية، ومنها وسطية.

والسنة عودة الشمس الى موضعها من فلك البروج، وهذا العود يقتضي عود حال السنة بحسب الفصول. ويحصل ذلك في ثلاثماية وخمسة وستون يوماً وربع يوم الا كسر. ويتم باثني عشر شهراً من الشهور القمرية وحدى عشر يوماً غير شئ من الكسور. وربما تعتبر السنة من يوم تحل الشمس فيه نقطة الاعتدال الربيعي الى تلك النقطة. وياخذون شهورها من الايام التي تحل فيها امثال تلك النقطة من البروج؛ او يعدون الشهور ثلاثين ثلاثين، ويزيدون في آخرها خمسة ايام او ستة. وتسمى تلك الخمسة **المُستَرَقَّة** **ولواحق** والسادس **كبيسة** على القول بالسنة. وسنو هاوولا **شمسية حقيقية**، وشهورهم شمسية حقيقية او اصطلاحية، وقد يعتبرونها من اي يوم يتفق من غير ملاحظة موضع الشمس. ويصطلحون على شهور تدور حول الثلاثين لكون الشهور القمرية قربية <sup>ج ٦٨</sup> منه.

٥ وخمسون: وخمسين [ج،د] <sup>٦</sup> شهراً... وشهراً: الشهر... [أ،د] <sup>٨</sup> ثلاثين: احد عشر [د]، وذلك في هامش [ج] ايضاً <sup>٨-٩</sup> احد عشر ثلاثين: ثلاثين ثلاثين [أ،ج،د] <sup>١٠</sup> ويزيدون: ويزيدون [د] <sup>١٥</sup> في: ناقصة [ج] <sup>١٦</sup> الثلثون: الثلثون [ج] <sup>١٨</sup> عودة: عود [ج] <sup>١٩</sup> ويحصل: ويحصل [ج]، وكتب ايضاً « يحصل » في هامش [ج] <sup>٢٠</sup> كسر: كسراً ما [أ،د] <sup>٢٣</sup> الشهور: الشهر [ج] <sup>٢٤</sup> ايام: ناقصة [أ] <sup>٢٤</sup> تلك: الخمسة [أ] <sup>٢٥</sup> وسنو هاوولا: وسنو هاوولا [د،ج] <sup>٢٥</sup> شمسية: سميت [ج] <sup>٢٦</sup> اي: أول [د،ج] <sup>٢٧</sup> لكون: تكون [ج]

Les observateurs disent que la période va d'un jour de conjonction au [suivant], ou bien d'une nuit de visibilité du croissant à la [suivante], ou bien de la dernière phase [de la Lune] à la [dernière phase] suivante, 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 [petite] 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. Les fractions accumulées en sus de [chaque période de vingt-neuf jours et] demi ajoutent, 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 ajouté à une année et constitué des fractions en sus des jours entiers, et ils ajoutent les jours intercalaires à [certains] mois.

Autrement dit, ils posent que le premier mois de l'année (*muḥarram*) fait trente jours, que le deuxième fait vingt-neuf jours, et ainsi de suite jusqu'à la fin de l'année, mais *dū al-ḥijja* 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 intercalaire* qui est l'année comptant le jour intercalaire, trentième jour de *dū al-ḥijja*, constitué des fractions [accumulées]. C'est ainsi que sont les mois lunaires ; on en tire les mois vrais et les mois moyens.

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 en douze mois parmi les mois lunaires, et onze jours, sans compter les fractions. On considère souvent que l'année va du jour où le Soleil arrive à l'équinoxe de printemps jusqu'au [jour où il revient au] même point. Ses mois commencent aux jours où il arrive aux points semblables de l'écliptique ; ou bien les mois comptent trente jours, trente jours, etc. 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 de l'année). L'année [ainsi conçue] est l'année *solaires vraie*, et ces mois sont des mois solaires vrais, ou bien des mois conventionnels qu'on peut faire commencer à n'importe quel jour ne coïncidant peut-être avec aucune observation de la position du Soleil. On choisit des mois aux alentours de trente jours parce que les mois lunaires sont proches de cela.

وربما يأخذون الكسر الزائد على ثلثماية وخمسة وستين ربعاً تاماً، ويكسبون في كل اربع سنين بيوم. وربما يحذفونه مطلقاً، وهذه السنون شمسية اصطلاحية. وإذا اعتبروا الشهور القمرية، جعلوا السنة شمسية وزادوا في كل ثلاث سنين او في كل سنتين شهرا في السنة لاجتماع الاحدى عشر يوماً غير الكسر المذكور على حسب اصطلاحهم عليه.

وجعل قوم كل اثنى عشر من الشهور القمرية سنة، وسموها سنين قمرية. ولكل قوم مبدا ينسبون سني تاريخهم اليه. ومعرفة تفاصيل ذلك متعلقة بكتب العمل.

---

<sup>١</sup> ربعاً: ويجعلونه ربعاً [د] <sup>٤</sup> في السنة: ناقصة [د،ج]

Il arrive souvent qu'on prenne la fraction en sus des trois cent soixante-cinq jours égale à un quart exactement : on intercale un jour tous les quatre ans. Il arrive souvent qu'on l'élimine complètement, et ces années sont les années solaires conventionnelles. Ceux qui prennent en considération les mois lunaires posent que l'année est solaire, et, tous les trois ans ou tous les deux ans, ils ajoutent un mois à l'année pour rassembler les [intervalles] de onze jours – sans les fractions – suivant leur convention.

Certains peuples posent 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.

## الفصل الحادي عشر في درجات ممر الكواكب بنصف النهار وطلوعها وغروبها

درجة ممر الكوكب، هي ما يمر من دائرة فلك البروج بنصف النهار مع مرور الكوكب به، ويحدها دائرة الميل. وقد تبين أنّ درجة الطول يحدها دائرة العرض، فإن اتحدت الدائرتان، كما اذا كان الكوكب على الدائرة المارة بالاقطاب الاربعة، او كان عديم العرض، اتحدت الدرجتان. وفي غير هذين الموضوعين يختلف الدرجتان.

- وفيما بين الدرجتين يقال له **اختلاف الممر**، والقوس من المعدل التي بين ظ ٦٢ أ تقاطعه مع دائرة عرض الكوكب وبين تقاطعه مع دائرة ميله يقال لها **تعديل** و ٦٤ د
- ١٠ **درجة الممر**. واكثر الاختلاف بين الدرجتين انما يكون فيما يقرب من أول الحمل والميزان، واقله فيما يقرب من أول السرطان والجدي.
- فاذا كان قطب فلك البروج على دائرة نصف النهار، وذلك يكون عند كون نقطتي الانقلابين ايضا ونقطتي الاعتدالين على الافق، فمرور الكوكب حينئذ يكون مع درجاتها الطولية لان دائرة نصف النهار تكون دائرة عرضها.
- ١٥ واذا كان القطب الظاهر من قطبيه شرقيا عن نصف النهار - وذلك يكون عند مرور النصف من فلك البروج الذي يتوسطه الاعتدال الخريفي وطلوع النصف الجنوبي منه ان كان القطب الظاهر شماليا، او عند مرور النصف الذي و ٦٩ ج يتوسطه الاعتدال الربيعي وطلوع النصف الشمالي ان كان القطب الظاهر جنوبيا - فالكواكب التي تكون عروضها في جهة القطب الظاهر تمر على دوائر نصف النهار بعد درجاتها، لان دوائر عروضها الخارجة من القطب الاقرب تلاقي ٢٠ الكواكب في نصف النهار أولا، ثم تلاقي درجاتها وقد مرت وصارت غربية عن نصف النهار؛ واذا وافى درجاتها نصف النهار كانت الكواكب شرقية البعد عنه. والكواكب التي تكون عروضها في خلاف جهة القطب الظاهر تمر على نصف النهار قبل درجاتها، لان دوائر العروض المذكورة تلاقي درجة الكواكب ٢٥ الكاينة على نصف النهار أولا ثم تلاقي الكواكب وقد مرت وصارت غربية قبل ذلك.

٢ هي : هو [د،ج] ٢ فلك : ناعصة [أ] ١٢ قطب : قطبا [أ] ١٣ الكوكب : الكواكب [د،ج] ١٥ قطبيه : قطبه [أ] ١٩ عروضها : عرضها [أ] ٢٤ نصف النهار : كتبوا نساخ [د،ج] «دوائر» قبله في هامش ٢٥ أولا : ناقصة [ج] ٢٥ وصارت : ناقصة [د]

## Onzième section

Les degrés de transit des astres au méridien, leurs levers, et leurs couchers

Le *degré de transit* 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 transit et le degré de longitude] coïncident. Ailleurs qu'en ces deux positions, ils diffèrent.

La différence s'appelle *anomalie du transit*, et l'arc de l'équateur situé entre son intersection avec le cercle de latitude de l'astre et son intersection avec son cercle de déclinaison s'appelle *équation du degré de transit*. L'anomalie est maximale aux [positions] proches des commencements du Bélier et de la Balance, et elle est minimale aux [positions] proches des commencements du Cancer et du Capricorne.

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.

Si celui de 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 degré de transit. En effet, son cercle de latitude issu du pôle le plus proche rencontre au méridien l'astre en premier, puis il rencontre son degré de transit seulement après avoir traversé le méridien et être passé à l'Ouest ; [inversement], si son degré de transit 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 de transit. En effet, le cercle de latitude en question rencontre au méridien le degré [de transit] de l'astre en premier, puis il rencontre l'astre seulement après avoir traversé le méridien et être passé à l'Ouest.

وإذا كان القطب الظاهر غربياً - ويكون ذلك عند مرور النصف من فلك البروج الذي يتوسطه الاعتدال الربيعي وطلوع النصف الشمالي ان كان القطب الظاهر شمالياً، او عند مرور نصفه الذي يتوسطه الاعتدال الخريفي وطلوع النصف الجنوبي ان كان القطب الظاهر جنوبياً - فالكواكب التي تكون عروضها في جهة القطب الظاهر تمر قبل درجاتها والتي تكون عروضها في خلاف تلك الجهة تمر بعد درجاتها لما ذكر بعينه.

و درجات طلوع الكواكب وغروبها وهي ما تطلع وتغرب من دائرة البروج مع الكواكب. فان كانت الكواكب عديمة العرض، كانت درجة طولها هي درجة الطلوع والغروب. وكذا اذا كانت الكواكب توافي الافق مع قطب البروج لكون <sup>٦٣</sup> ا الافق دائرة عرضها حينئذ لمرورها بالكواكب وقطب البروج.

١٠ فان لم يكن للافق عرض كما في خط الاستواء فطلوع الكواكب وغروبها فيه كمرورها على دائرة نصف النهار في سائر الافاق. فما يوافي الافق منها مع القطب والانقلاب يطلع ويغرب مع درجته كما عرف. وما يكون منها في <sup>٦٩</sup> ج 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 الى الكوكب الذي في جهته على الافق قبل درجته والى الدرجة على الافق 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 <sup>٦٤</sup> د نصف النهار.

وفي الافاق المائلة حكم طلوع الكواكب وغروبها كما وصفناه في خط الاستواء. واما مرور الانصاف من فلك البروج فان ذلك يختلف. اذ ربما يكون احد القطبين منه ظاهراً، وتكون المارة والطارعة قوساً اصغر من النصف او اكبر. <sup>٦٥</sup> ويطرد حكمها المذكور فيما يزيد عرضه على الميل الكلي، من غير اختلاف، لان احد قطبي البروج فيه ابدى الظهور.

° قبل : بعد [د،ج] <sup>٦</sup> بعد : قبل [د،ج] <sup>٧</sup> ودرجات : ودرجة [أ،د] <sup>٧</sup> وهي ما : هي التي [ج]،  
هي [د] <sup>٨</sup> طولها : اطوالها [ج،د] <sup>١٢</sup> دائرة : ناقصة [أ] <sup>٢٥</sup> الميل : «تمام الميل» في هامش  
[د،ج]

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 de transit, et [tout astre] dont la latitude est du côté opposé passe [au méridien] *après* son degré de transit, pour les mêmes raisons que dans le paragraphe précédent.

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 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.

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 transits 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 [de longitude], comme on vient de le dire. [Tout astre] situé du côté du pôle visible de l'écliptique se lève avant son degré [de longitude] et se couche après. [Tout astre] situé du côté du pôle caché se lève après son degré [de longitude] 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.

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 [au méridien] 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 transite ou qui se lève soit un arc inférieur à une moitié, ou bien supérieur. La règle ci-dessus suit son cours quand la latitude du lieu 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.

وكذلك الحكم فيما لا يزيد عرضه عليه لان الشمالي من قطبي البروج ان كان ظاهراً فالحكم كما مر وان كان خفياً كان الحكم بالعكس، لان الكواكب تطلع بعد درجاتها وتغرب قبل درجاتها ان كانت شمالية العرض وبالعكس ان كانت جنوبية العرض.

ولا يخفي عليك بعد التأمل، ان درجة طلوع الكوكب ان كانت بين الشمس ونظيرها، طلع نهاراً، وان كانت بين نظيرها والشمس، طلع ليلاً؛ وان درجة غروبه، ان كانت فيما بين الاوليين، غربت ليلاً، وان كانت بين الاخيرين غربت نهاراً. وان اقرب الكواكب التي على دائرة عظيمة قاطعة لاعظم الابدية الظهور من القطب الظاهر تطلع قبل ابعدها وتغرب بعد ابعدها. ولهذا يكون التفاوت بين درجتي الطول والطلوع للاقرب من القطب اكثر مما بين درجتي الابعد منه.

ظ ٦٣ أ  
و ٧٠ ج

<sup>٦</sup> نهاراً : نهارها [أ]

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 après son degré [de longitude] et il se couche avant son degré [de longitude] si sa latitude est au Nord, et inversement si sa latitude est au Sud.

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<sup>241</sup> 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].

---

241. sous-entendu, un cercle de latitude.

## الفصل الثاني عشر في معرفة خط نصف النهار وسمت القبلة

يعرف **خط نصف النهار** بان يؤخذ ارتفاعان متساويان للشمس في يوم واحد عن جنوبي غاية ارتفاعها، وتخط على ارض مستوية سمتا ظليهما عن مقياس واحد، ثم ينصف الزاوية الحادثة بينهما، بان يجعل نقطة الزاوية مركزاً ويرسم قوس يقطع الظلين، ويوصل بين منتصفهما والمركز بخط يكون في سطح دائرة نصف النهار، ويسمى خط نصف النهار. والخط المار بالمركز العمود على هذا الخط يكون في سطح دائرة أول السموت، ويسمى خط المشرق والمغرب والاعتدال.

ويعرف بوجه آخر، وهو ان ينصب مقياس على سطح ارض مستوية غاية <sup>ج ٧٠</sup> <sup>ظ</sup> الاستواء، ويرسم عليها دائرة نصف قطرها بقدر ضعف المقياس، ويرصد دخول ظل المقياس الدائرة قبل نصف النهار وخروجه عنها بعده، ويعلم على المدخل والمخرج، ويوصل من منتصف القوس التي بين طرفي الظلين وبين المركز بخط مستقيم، وهو خط نصف النهار. والخط العمود عليه المار بمركز الدائرة، هو خط المشرق والمغرب. وهذان الخطان يربعان الدائرة، ويقسم كل ربع <sup>ص</sup> قسماً متساوية ليعرف منها مقادير السموت من خط الظل الواقعة على المحيط : <sup>١٥</sup> اذ ما بين تقطة المشرق والمغرب وخط الظل من تلك الاقسام سمت. وهذه الدائرة تعرف **بالهندية**.

وسمت **القبلة**، نقطة تقاطع افق البلد والدائرة السموية المارة بسمت راسي <sup>ج ٧١</sup> <sup>و</sup> <sup>أ ٦٤</sup> <sup>و</sup> <sup>د ٦٥</sup> <sup>و</sup> البلد ومكة. والخط الواصل بينهما وبين مركز الافق خط سمت القبلة، وهو سهم القوس التي بين اساس المحراب عليها. فالمصلي، اذا جعل ذلك السهم بين رجليه ساجداً عليه، يكون قد صلي على محيط دائرة على بسيط الارض بموضع سجوده. وما بين قدميه ووسط البيت اذاً يكون قد استقبل الخط الواصل بين البيت والنقطة التي تسامته من فوق المسماة بسمت راس مكة. لانه قد استقبل البيت، لان افق مكة يكون تحت افق المصلي، فلا يسامت نظره <sup>٢٥</sup> البيت حينئذ.

° نقطة : تلك [ج] ١٣ التي : الذي [ج] ١٩ راسي : راس [ج] ٢٠ خط : هو [ج] ٢١ التي : الذي [د،ج] ٢٢ المحراب : المحراب المصلا [ج]، المحراب المصلي [د] ٢٣ بموضع : لموضع [د،ج] ٢٤ اذاً : اذن [د،أ]

## Douzième section

### Détermination du méridien du lieu et de l'azimut de la *qibla*

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 le milieu [des extrémités] de cet arc 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.

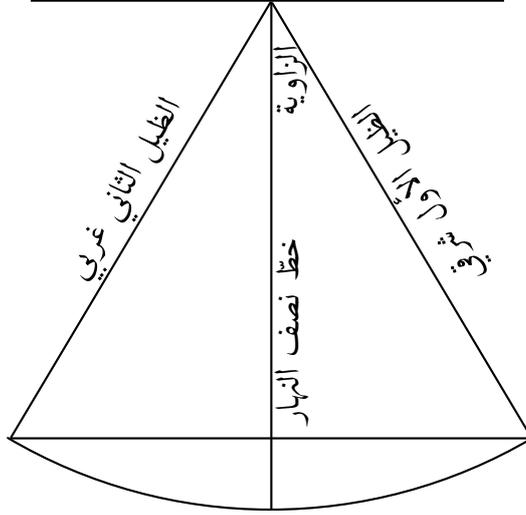
Voici une autre méthode pour déterminer [la ligne méridienne]. On installe un gnomon sur un terrain extrêmement plan ; on y trace un cercle de rayon deux fois plus long que le gnomon ; on observe l'entrée de l'ombre du gnomon dans le cercle avant midi, puis sa sortie [du cercle] après [midi] ; une fois connues l'entrée et 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*.

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 tangente à l'arc [d'un grand cercle] sur lequel est la base du *mih̄rāb*. Si l'orant en prière met cette tangente entre ses deux jambes en s'asseyant dessus, alors il peut prier du lieu où il s'agenouille sur la circonférence d'un cercle à la surface de la Terre. Ce qui est entre ses deux pieds et le centre de la Maison<sup>242</sup> va à la rencontre de la droite menée entre la Maison et le point qui culmine au dessus d'elle au zénith de la Mecque. [La tangente] peut certes aller à la rencontre de la Maison, mais puisque l'horizon de la Mecque est au dessous de l'horizon de l'orant, la vision [de l'orant] ne peut pas viser la Maison.

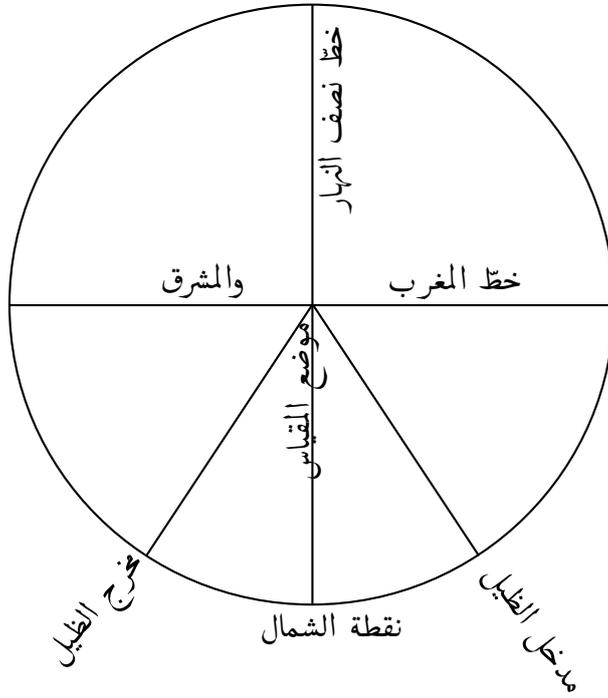
---

242. la maison sacrée, c'est-à-dire la *Ka'ba*.

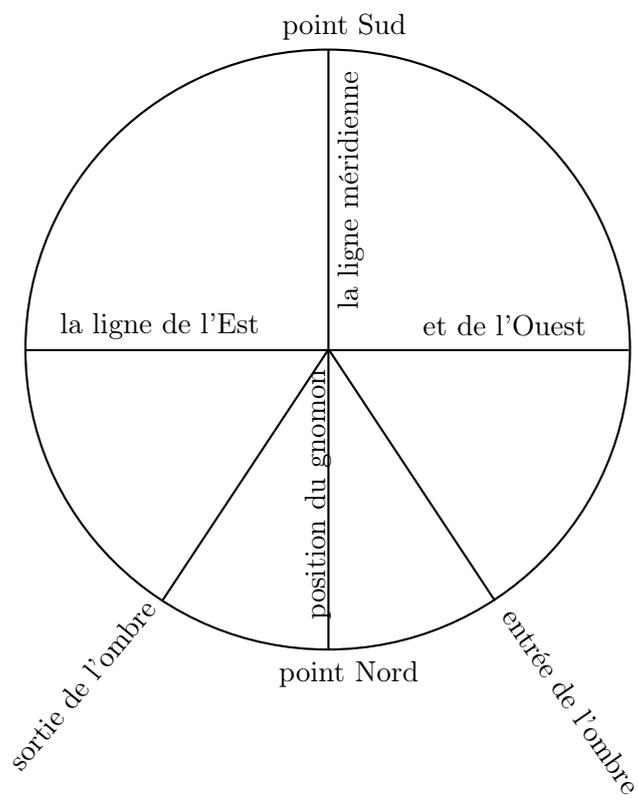
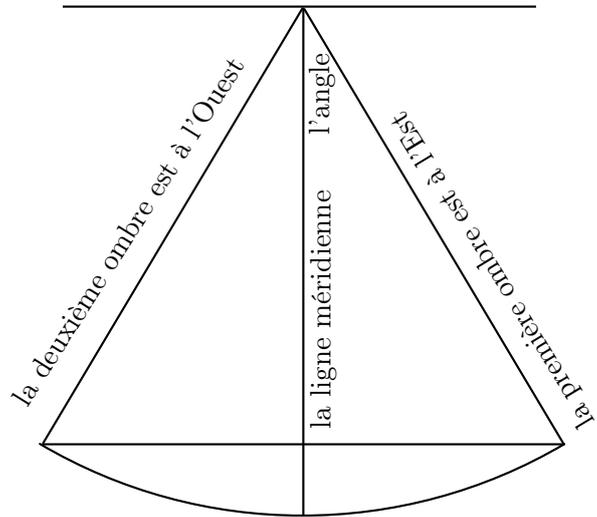
العمود الذي في سمت دائرة أول السموت



نقطة الجنوب



la perpendiculaire, dans la direction du cercle origine des azimuts



وقوس انحراف القبلة، قوس من الافق بين نقطتي تقاطعه مع الدائرة السميتية ونصف النهار، وهذا هو قدر ما يجب ان ينحرف المصلي عن مواجهة احدى تلك النقط - اعني نقطة الشمال والجنوب والمشرق والمغرب - ليواجه البيت. ولا بد لمعرفة السميتين من معرفة طول كل واحد من مكة والبلد المفروض وعرضه. وطول مكة من جزائر الخالدات سبع وسبعون جزءا وسدس جزء، ومن ساحل البحر سبع وستون جزءا وسدس جزء، وعرضها احد وعشرون جزء وثلاثا جزء. فكل بلد يكون طوله اقل من طول مكة فمكة شرقية عنه، وكل بلد يكون طوله اكثر من طول مكة فمكة غربية عنه. وان تساوي طولاهما فمكة على نصف نهاره، جنوبية عنه ان كان عرضها اقل من عرضه، وشمالية ان كان عرضها اكثر. وان تساوي عرضاهما كان البلد مع مكة تحت مدار واحد يومي، فان كان طوله اقل من طول مكة فمكة عن يسار مشرق اعتدال ذلك <sup>ظ ٦٥ د</sup> البلد، وان كان طوله اكثر من طولها فمكة عن يمين مغرب اعتداله؛ لا على نقطة المشرق على التقدير الأول، ولا على نقطة المغرب على التقدير الثاني، ولا على خط المشرق والمغرب على التقدير كما ظن.

اذ لاختلاف طوليهما، يماس أول السموت لاحدهما المدار المذكور على <sup>ظ ٧١ ج</sup> نقطة غير النقطة التي يماسها أول السموت للآخر؛ فيتقاطعان على غير نقطتي المشرق والمغرب، فلا يكون خط مشرقهما ومغربهما واحدا. نعم ما ظن انما يصح في مساكن خط الاستواء، وان اختلفت في الطول؛ لان سمت روس <sup>ظ ٦٤ أ</sup> الجميع هناك على المعدل اذ هو أول سموتهم.

<sup>٢</sup> النقط: النقطة [د،ج] <sup>٣</sup> ليواجه: فيواجه [أ،د] ° وطول: فطول [ج] <sup>٦٥</sup> ومن ساحل البحر سبع وستون جزءا وسدس جزء: ناقصة [د]، من يد آخر في هامش [ج] <sup>٧١</sup> وكل بلد يكون طوله اكثر... فمكة: والافهي [د،ج]

*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.

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 moindre que 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 [du pays], et vers le Nord si sa latitude est supérieure à la latitude [du pays]. Si leurs deux latitudes sont égales, alors le pays et la Mecque sont ensemble sous la même trajectoire diurne ; si la longitude [du pays] 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 [du pays] 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, ni sur la ligne de l'Est et de l'Ouest comme on peut croire.

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 où le cercle origine des azimuts de l'autre [pays] lui est tangent ; 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. Ce qu'on a cru est vrai seulement dans les contrées de l'équateur terrestre, quelque 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].

ومن اسهل طرق معرفة سمت القبلة عند اختلاف الطول او عند اختلاف الطول والعرض معا، ان يرصد زمان مرور الشمس بسمت روس اهل مكة - وذلك عند كونها في الدرجة الثامنة والسابعة من الجوزا او الدرجة الثالثة والعشرين من السرطان وقت انصاف النهار هناك - وتؤخذ التفاوت بين الطولين، وتجعل كل خمسة عشر جزء من التفاوت ساعة وكل جزء اربع دقائق، فما اجتمع يكون ساعات البعد من نصف النهار، ثم يرصد في ذلك اليوم ذلك الوقت قبل نصف النهار ان كانت مكة شرقية وبعده ان كانت غربية، فسمت ظل المقياس في ساعتك سمت القبلة.

ويحتاج فيه الى استخراج قوس الانحراف سواء ان كان الاختلاف بينهما في الطول فقط او في الطول والعرض. وعند اختلافهما في العرض فقط يكون سمتهما على خط نصف النهار فيواجه المصلى نقطة الجنوب ان كان عرض مكة اقل ونقطة الشمال ان كان عرضها اكثر ولله اعلم.

وبتمام هذا الفصل كملت المقالة الثانية من كتاب نهاية السؤل في تصحيح الاصول. ولله تعالى الموفق للصواب وهو حسبنا ونعم الوكيل.

---

<sup>٢</sup> معا : ناقصة [أ] <sup>٣</sup> والسابعة : ناقصة [أ] <sup>٣</sup> او الدرجة : و [أ،د] <sup>٤</sup> انصاف : انتصاف [ج] <sup>٥</sup> جزء : ناقصة [د،ج] <sup>١٠</sup> وعند اختلافهما في العرض فقط : وعند اختلافهما في الطول فقط يكون سمتهما على خط المشرق والمغرب فيواجه المصلى نقطة المشرق ان كانت مكة اطول ونقطة المغرب ان كانت مكة اقل وعند اختلافهما في العرض فقط [د،ج]

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 transit 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. 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*.

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 leurs azimuts sont sur la ligne méridienne, et l'orant fait donc face à 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.

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 combé de bienfaits celui qui s'en remet à lui.

# Commentaire mathématique

**Théorème d'Apollonius, lemme de 'Urđī et couple de 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 :

$$\overrightarrow{P_4 R_{P_2, \alpha}(P_4)} = R_\alpha(\overrightarrow{P_2P_4}) - \overrightarrow{P_2P_4},$$

où  $R_\alpha$  désigne la rotation *vectorielle* d'angle  $\alpha$ . De même  $R_{P_1, \alpha} R_{P_3, -\alpha}$  est une translation de vecteur :

$$\overrightarrow{P_3 R_{P_1, \alpha}(P_3)} = R_\alpha(\overrightarrow{P_1P_3}) - \overrightarrow{P_1P_3},$$

mais  $\overrightarrow{P_1P_3} = \overrightarrow{P_2P_4}$ , donc  $R_{P_1, \alpha} R_{P_3, -\alpha} = R_{P_2, \alpha} R_{P_4, -\alpha}$ , *q. e. d.*

**Remarque** Si  $P_2$  est situé entre  $P_1$  et  $P_3$ , une conséquence de cette proposition était bien connue de Ptolémée qui l'attribuait à Apollonius. 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  $P_3$ .

**Proposition 2** Soient  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  cinq points alignés, et  $\alpha \in [0, 2\pi]$ . Si  $\overrightarrow{P_3P_4} = -\overrightarrow{P_1P_2}$  et  $\overrightarrow{P_3P_5} = \overrightarrow{P_1P_2}$ , 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  $\overrightarrow{P_2P_5} = \overrightarrow{P_1P_3}$ , 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**  $R_{P_3, -\alpha} R_{P_3, 2\alpha} R_{P_4, -\alpha}$  est une translation parallèlement à la droite  $(P_1 P_2)$ . En effet :

$$(R_{P_3, -\alpha} R_{P_3, \alpha})(R_{P_3, \alpha} R_{P_4, -\alpha}) = t_{\overrightarrow{P_3 R_{P_3, -\alpha}(P_3)}} \circ t_{\overrightarrow{P_4 R_{P_3, \alpha}(P_4)}},$$

mais

$$\overrightarrow{P_3 R_{P_3, -\alpha}(P_3)} + \overrightarrow{P_4 R_{P_3, \alpha}(P_4)} = R_{-\alpha}(\overrightarrow{P_3 P_4}) + R_{\alpha}(\overrightarrow{P_3 P_4}) - 2\overrightarrow{P_3 P_4},$$

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 de 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 de 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.

**Préliminaires** Nous n’analyserons 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 uniforme.

Ce cadre conceptuel donne lieu à trois combinaisons possibles, toutes présentes dans le texte d'Ibn al-Šāṭir. Nous les décrivons au moyen des trois figures (i), (ii) et (iii) page 403. 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 (i) et (ii), le point  $P$  de l'orbe portant est choisi par commodité au centre de l'orbe porté. Au contraire, dans la figure (iii), 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 (i), mais perpendiculaire au plan de l'orbe de  $Q$  dans les figures (ii) et (iii). La figure (i) 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 (i) 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 (ii) 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 davantage d'orbés sans toutefois introduire de combinaison nouvelle.

Pour chaque planète, la figure (iii) représente la relation entre l'orbe parécliptique (orbe de  $P$ ) et l'orbe incliné (orbe de  $Q$ ) : le point  $P$  est alors l'un des nœuds. Mais cette figure représente aussi la relation entre le neuvième orbe (orbe de  $P$ ) et le huitième, dit de l'écliptique (orbe de  $Q$ ) : le point  $P$  est alors le point vernal.

**Précession des équinoxes** Observons à nouveau la figure (iii). Chez Ptolémée, les étoiles fixes sont attachées au dernier orbe et le mouvement relatif de cet orbe par rapport aux orbés inférieurs rend compte du mouvement de précession des équinoxes. Pour les astronomes arabes, depuis le *Traité sur l'année solaire* certainement dû aux Banu Musa (IXème siècle)<sup>243</sup>, il existe un neuvième orbe au delà des étoiles fixes situées sur le huitième orbe, et c'est le mouvement relatif du huitième orbe par rapport au neuvième qui rend alors compte de la précession. Tous les orbés 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 exempt<sup>244</sup>).

Chez Ibn al-Šāṭir, l'orbe parécliptique de chaque planète est un orbe dont le centre coïncide avec le centre du Monde, comme l'écliptique. L'orbe parécliptique reproduit, en plus petit, l'orbe de l'écliptique et 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'orbe 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 orbe. Le mouvement de l'orbe de l'écliptique par rapport au neuvième est d'un degré toutes les soixante-dix années persanes. Le mouvement de l'orbe parécliptique par rapport au neuvième orbe est un peu plus rapide, comme l'avait vérifié al-Zarqalluh (XIème siècle) : il est d'un degré toutes les soixante années persanes, c'est-à-dire  $0^{\circ}1'$  par année persane<sup>245</sup>.

**Unité de temps** Le temps absolu est mesuré par le mouvement du neuvième orbe, seul orbe dont le mouvement propre est absolu (les mouvements

---

243. cf. [25] p. *xlvi-lxxv* et 27-67.

244. cf. [21] p. 147.

245. Al-Zarqalluh (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 (cf. [27] p. 285-287). Or  $\frac{1}{70} + \frac{1}{279} \simeq \frac{1}{60}$ .

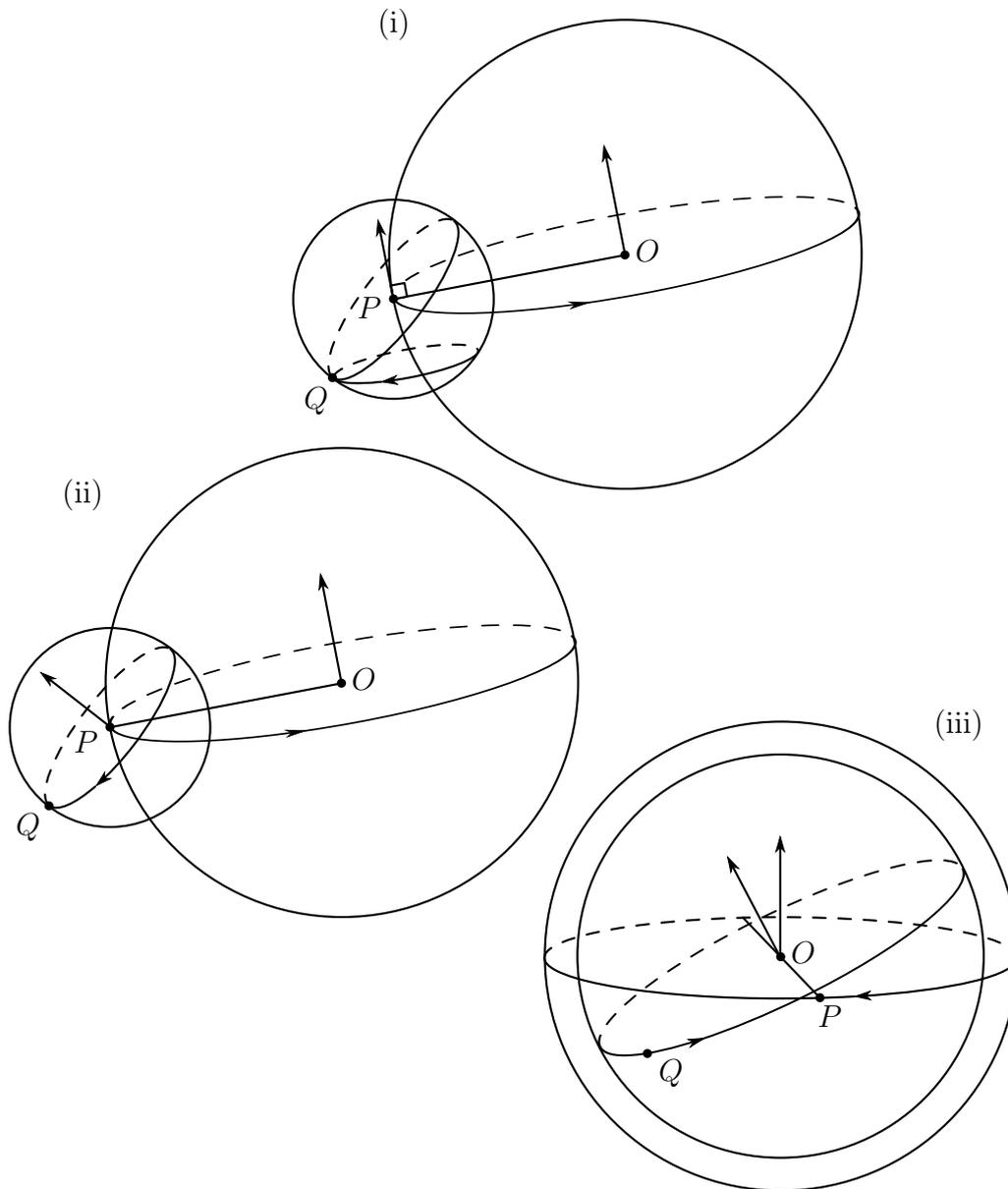


FIGURE 4 – Un orbe est un référentiel solide en mouvement

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 du parécliptique du Soleil qui l'aura 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 le parécliptique 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 son parécliptique 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 Soleil<sup>246</sup>. C'est l'unité adoptée par Ibn al-Šāṭir : *al-yawm bi-laylatihi*. 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'équateur<sup>247</sup>. 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, 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  $\tau_0$  et  $\tau$ , et en jours sidéraux  $T_0$  et  $T$ .

---

246. c'est-à-dire en une année tropique

247. 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.

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  $\bar{\lambda}(t) - \bar{\lambda}(t_0)$ .

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  $15^\circ$  par heure (elle est de  $360^\circ$  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 <sup>248</sup> :

$$E = (t - t_0) - (\tau - \tau_0) \simeq \frac{-\bar{\lambda}(t) - 2^\circ 1' 7'' + \alpha(t)}{15^\circ} \text{ heures}$$

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'une observation antérieure <sup>249</sup>, 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 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 h 8 min  $-\frac{36^\circ 18' 23''}{15^\circ} \simeq 9 \text{ h } 43 \text{ min.}$

248. On adopte ici la convention française quant au signe de l'équation du temps  $E$ .

249. Une remarque de Kennedy et Roberts ([31] p. 232) au sujet du  $\bar{z}i\bar{j}$  d'Ibn al-Šāṭir le confirme.

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  $700 \times 365 = 255500$  jours), on est le premier jour de l'année 701 de l'ère de Yazdgard, un mardi (*yawm al-thalāthā'*), le 23 *rabi' al-'awwal* 732 de l'hégire (date julienne : 24 décembre 1331). Ibn al-Šāṭir avait alors 24 ans.

**Le Soleil : 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*<sup>250</sup>), 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 déférent,  $P_4$  le centre de l'orbe rotateur, et  $P$  est le centre du Soleil, cet astre étant lui-même un corps sphérique. La figure 5 précise la position de ces points<sup>251</sup>. Elle n'est pas à l'échelle. Nous donnons une représentation à l'échelle et en

---

250. 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 figure p. 99 où le parécliptique semble contenir l'orbe total, tandis que son texte semble affirmer le contraire.

251. Attention, notre figure 5 n'est pas présente dans le traité d'Ibn al-Šāṭir. Il a certes représenté les centres des orbes du Soleil dans cinq positions distinctes, page 97 ; mais le Soleil y atteint son apogée au premier point du Cancer (c'était à peu près le cas à l'époque d'Ibn al-Šāṭir), et non au point vernal. Dans notre commentaire, nous préférons suivre l'usage adopté par Ibn al-Šāṭir pour d'autres planètes, car cet usage colle davantage avec l'architecture conceptuelle.

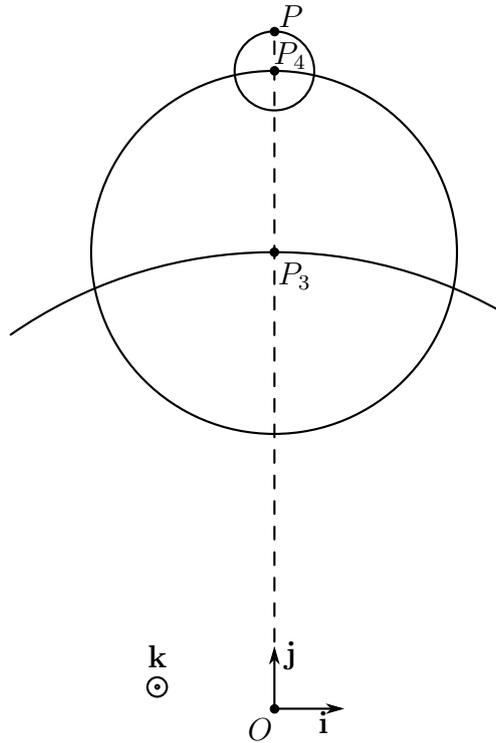


FIGURE 5 – Les orbes du Soleil : figure initiale

perspective p. 100. 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<sup>252</sup>.

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 nous l'avons 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.

252. Toutes les valeurs numériques seront données en sexagésimal, et la virgule sert alors à séparer les rangs. Par exemple,  $359; 45, 40 = 359 + \frac{45}{60} + \frac{40}{60^2}$ .

**Le Soleil : transformations géométriques** Les transformations appliquées au Soleil  $P$  sont des rotations dans le plan  $(\mathbf{i}, \mathbf{j})$  paramétrées par deux angles  $\lambda_A, \bar{\alpha}$  appelés l'*apogée* et le *centre*<sup>253</sup>. Voici la liste de ces transformations :

$$R(P_4, \mathbf{k}, 2\bar{\alpha}), \quad R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}), \quad R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\alpha}), \quad R(P_1, \mathbf{k}, \lambda_A)$$

où  $R(Q, \mathbf{k}, \theta)$  désigne la rotation de centre  $Q$  et d'angle  $\theta$ , 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 toutes 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 :

$$P'_3 = R(P_1, \mathbf{k}, \lambda_A) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\alpha}) (P_3)$$

Quant au point  $P_4$ , il est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe déférent et devient :

$$P'_4 = R(P_1, \mathbf{k}, \lambda_A) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\alpha}) \circ R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}) (P_4)$$

Enfin le point  $P$ , aussi entraîné par le mouvement de l'orbe rotateur, devient :

$$P' = R(P_1, \mathbf{k}, \lambda_A) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\alpha}) \circ R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}) \circ R(P_4, \mathbf{k}, 2\bar{\alpha}) (P)$$

**Le Soleil : trajectoire** Dans le cadre théorique que l'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 :

$$\lambda_A = \dot{\lambda}_A t + \lambda_A(0)$$

$$\bar{\alpha} = (\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\lambda}_A) t + (\bar{\lambda}(0) - \lambda_A(0))$$

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

---

253. Ici comme ailleurs, notre choix de notations est dicté par la commodité dans les comparaisons futures avec les modèles d'autres auteurs.

égale. C'est dans cet ordre qu'a dû procéder Ibn al-Šāṭir, comme le révèle la précision absurde des valeurs données :

$$\begin{aligned}\dot{\bar{\lambda}} &= 0; 59, 8, 19, 43, 33, 41, 55, 4, 6 \text{ par jour solaire moyen,} \\ &= 29; 34, 9, 51, 46, 50, 57, 32 \text{ par mois de trente jours,} \\ &= 0; 2, 27, 50, 49, 18, 54, 14, 47 \text{ par heure égale.}\end{aligned}$$

On en déduit aussi :

$$\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\lambda}_A = 0; 59, 8, 9, 51, 47 \text{ par jour.}$$

**L'équation du Soleil** Le calcul de la position du point  $P'$  revient à résoudre deux triangles rectangles (*cf.* fig. 6 p. 410) pour calculer l'angle  $c(\bar{\alpha})$  traditionnellement appelé « équation du Soleil » :

$$c(\bar{\alpha}) = (\overrightarrow{OP'_3}, \overrightarrow{OP'}) = -\arcsin\left(\frac{P_3P_4 \sin \bar{\alpha} - P_4P \sin \bar{\alpha}}{OP'}\right)$$

où

$$OP' = \sqrt{(P_3P_4 \sin \bar{\alpha} - P_4P \sin \bar{\alpha})^2 + (OP_3 + P_3P_4 \cos \bar{\alpha} + P_4P \cos \bar{\alpha})^2}$$

La longitude de  $P'$ , depuis le point vernal, est alors :

$$\left(\mathbf{j}, \overrightarrow{OP'}\right) = \lambda_A + \bar{\alpha} + c(\bar{\alpha})$$

On remarque que :

$$c(360^\circ - \bar{\alpha}) = -c(\bar{\alpha})$$

On a tracé le graphe de l'équation du Soleil en fonction de  $\bar{\alpha}$ , *cf.* figure 7, où l'on a aussi représenté à des fins de comparaison l'équation calculée suivant la méthode de Ptolémée<sup>254</sup> :

$$c_{\text{Ptolémée}}(\bar{\alpha}) = -\arcsin\left(\frac{2; 29, 30 \times \sin \bar{\alpha}}{\sqrt{(2; 29, 30 \times \sin \bar{\alpha})^2 + (60 + 2; 29, 30 \times \cos \bar{\alpha})^2}}\right)$$

La figure 7 montre aussi l'équation telle qu'aurait pu l'observer Ibn al-Šāṭir en 1331, en retranchant à la longitude vraie observée le soleil moyen calculé avec les paramètres  $\bar{\lambda}_0, \dot{\bar{\lambda}}$  mentionnés ci-dessus.

---

254. *cf.* [21] p. 150.

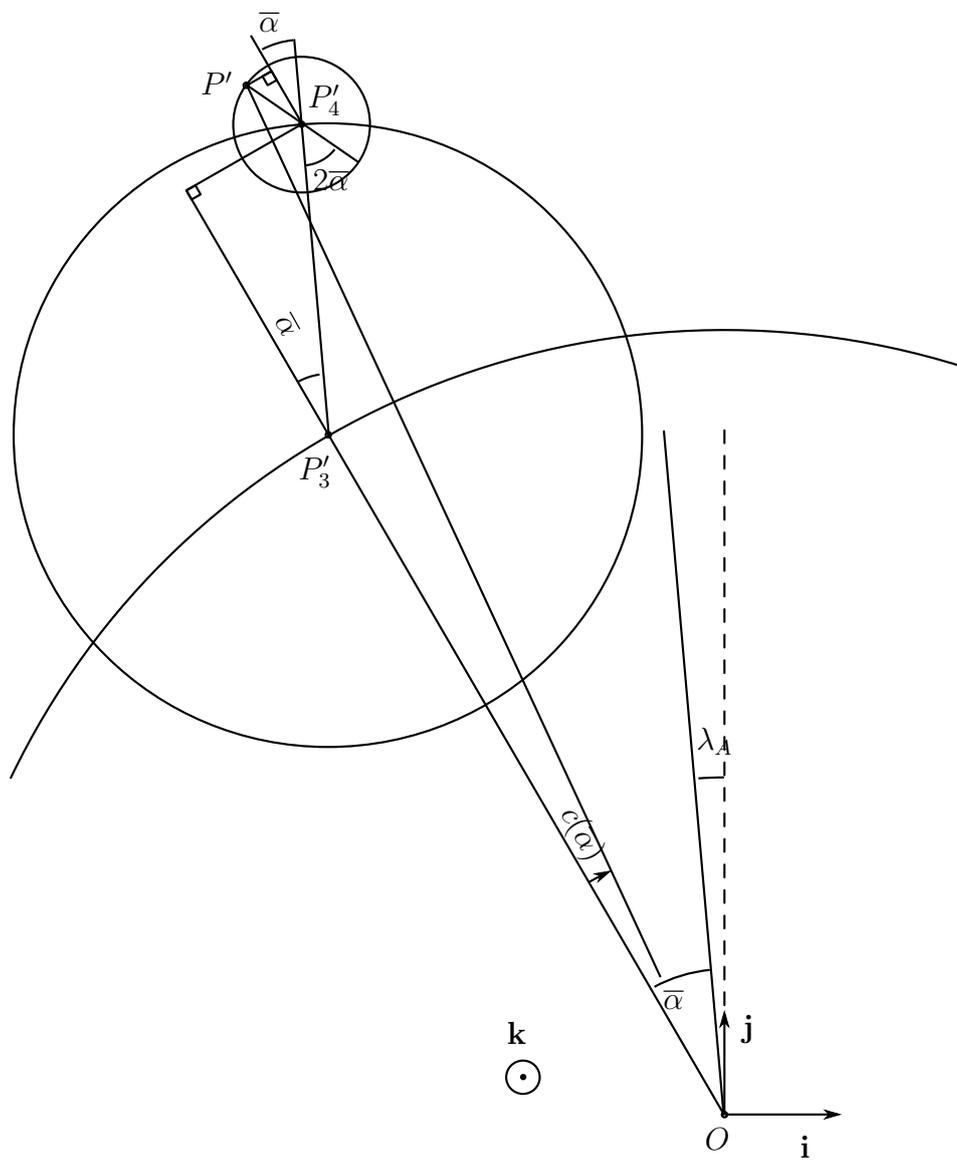


FIGURE 6 – Le Soleil : transformations planes

**Application** On a vu que 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.

**Distances extrémales et dimensions des orbes** Tandis que la figure 5 représentait, pour chaque orbe, la trajectoire circulaire de son centre au sein de l'orbe le portant, la figure 8 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 :

$$\begin{aligned} \text{rayon du rotateur} &= 2; 30 + r \\ \text{rayon du déférent} &= 4; 37 + 2; 30 + r = 7; 7 + r \\ \text{rayon extérieur du parécliptique} &= 60 + 7; 7 + r = 67; 7 + r \\ \text{rayon intérieur du parécliptique} &= 60 - (7; 7 + r) = 52; 53 - r \end{aligned}$$

L'épaisseur du parécliptique serait donc  $14; 14 + 2r$ . Or Ibn al-Šāṭir nous dit, p. 89 :

“Son épaisseur est 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'intérieur, en parts telles que son rayon extérieur est soixante-sept parts et dix-sept minutes.”

Une épaisseur de  $14; 34$  inclut donc déjà un “complément” de  $0; 20$  égal au diamètre supposé du globe solaire dans le chapitre 7 ; mais cette valeur est provisoire, comme on le voit dans la conclusion de la première partie de la *Nihaya*. D'une part, l'observation permet de déterminer le diamètre du globe solaire (*cf.* p. 275). 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 (*cf.* p. ??). Enfin, l'épaisseur de  $0; 43$  choisie pour l'orbe total dans le chapitre 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 5 et 8. 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.

**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 extrémales 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 périégée :

$$\frac{0; 32, 32 \times 60}{52; 53} \simeq 0; 36, 55$$

D'après Saliba<sup>255</sup>, 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. Ces observations suffisent en effet à déterminer  $OP_3 + P_3P_4 + P_4P$  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, p. 93 et 271.

Sans remettre en cause l'analyse de Saliba, nous aimerions 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 :

$$c(90^\circ) = -\arctan\left(\frac{P_3P_4 - P_4P}{OP_3}\right)$$

---

255. cf. [27] p. 103.

Quant à l'équation maximale  $c_{\max}$ , on montre facilement qu'elle est atteinte lorsque

$$\cos \bar{\alpha} = -\frac{P_3P_4 + P_4P}{OP_3},$$

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 modèles<sup>256</sup>. 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.

**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 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 9). 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.

---

256. cf. *supra* l'introduction d'Ibn al-Šāṭir p. 39.

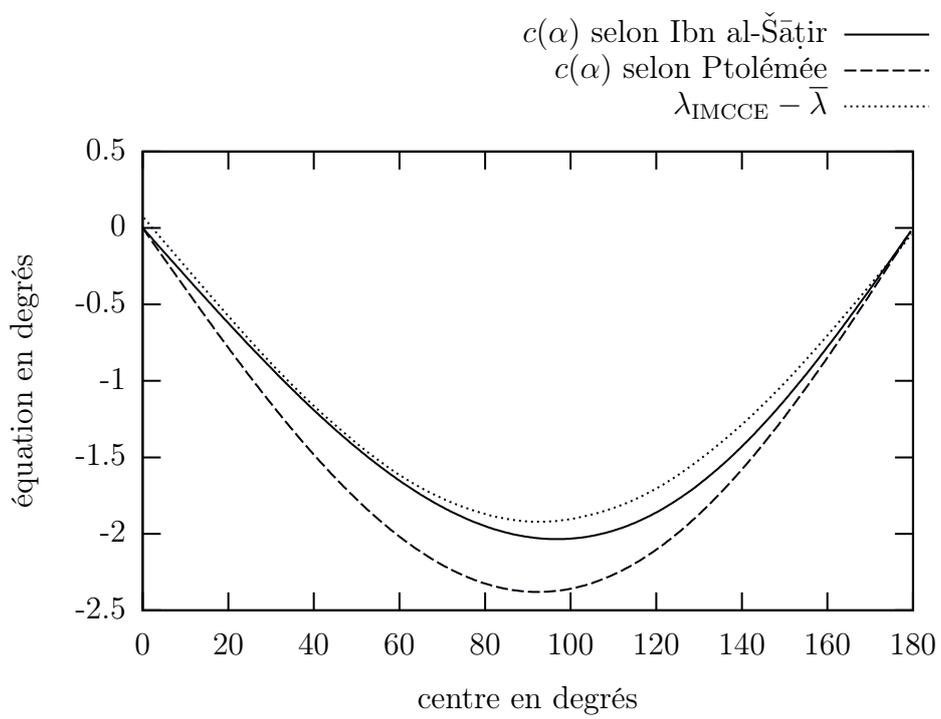


FIGURE 7 – L'équation du Soleil

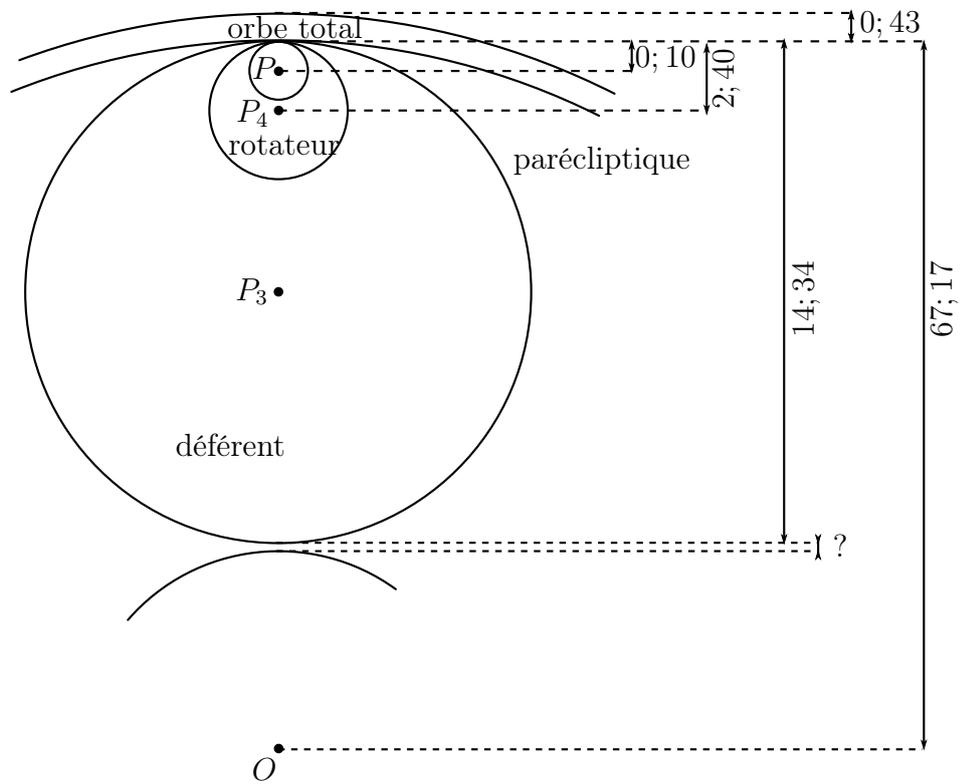


FIGURE 8 – Les orbes solides du Soleil

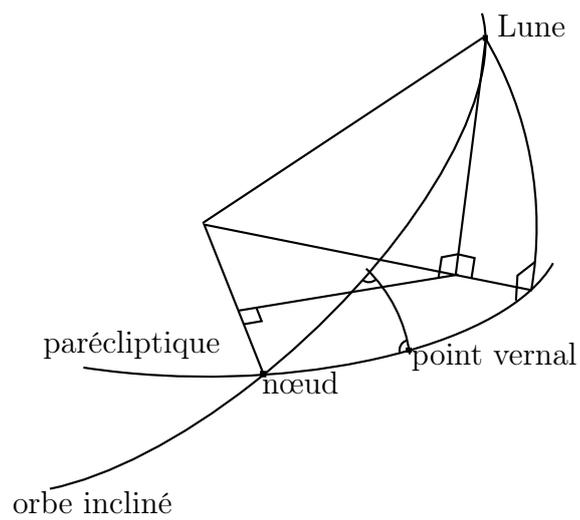


FIGURE 9 – Mouvement en latitude de la Lune

**La Lune : 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 centre de l'orbe rotateur, et  $P$  le centre de la Lune, cet astre étant lui-même un corps sphérique. La figure 10 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.

**La Lune : 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 latitude<sup>257</sup> moyen  $(\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega})$ . Enfin,  $\bar{\lambda}$  désigne la *Lune moyenne*. Voici la liste des trans-

---

257. 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.

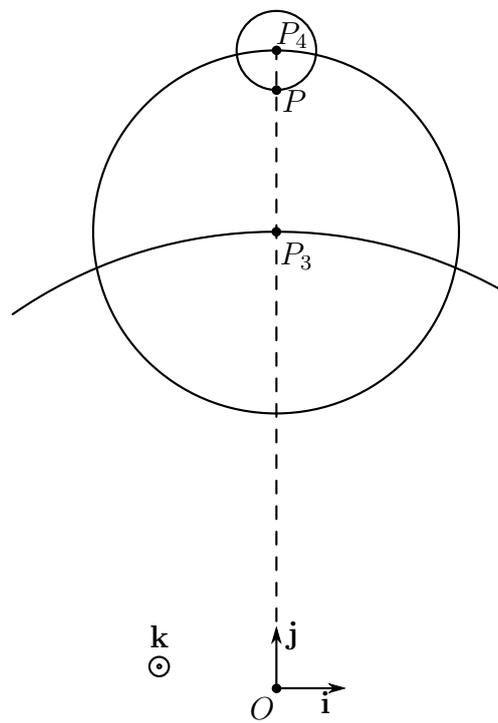


FIGURE 10 – Les orbites de la Lune : figure initiale

formations géométriques utilisées<sup>258</sup> :

$$R(P_4, \mathbf{k}, 2\bar{\eta}), \quad R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}), \quad R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\lambda} + \lambda_{\Omega}), \quad R(P_2, \mathbf{j}, 5^\circ), \quad R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega}).$$

La rotation dont l'axe est dans la direction du vecteur  $\mathbf{j}$  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 toutes 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 :

$$R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega}) \circ R(P_2, \mathbf{j}, 5^\circ) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\lambda} + \lambda_{\Omega}) (P_3)$$

Quant au point  $P_4$ , il est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe de l'épicycle et devient :

$$R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega}) \circ R(P_2, \mathbf{j}, 5^\circ) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\lambda} + \lambda_{\Omega}) \circ R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}) (P_4)$$

Enfin le point  $P$ , aussi entraîné par le mouvement de l'orbe rotateur, devient :

$$\underline{R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega}) \circ R(P_2, \mathbf{j}, 5^\circ) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\lambda} + \lambda_{\Omega}) \circ R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}) \circ R(P_4, \mathbf{k}, 2\bar{\eta})} (P)$$

258. Il règne une légère ambiguïté concernant  $\dot{\lambda}_{\Omega}$  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 » (p. 109 *supra*). 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 nous avons retenue dans notre commentaire mathématique. Dans ce cas, la rotation  $R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega})$  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 (p. 121) que le nœud moyen est l'arc « entre le commencement du Bélier et le nœud ascendant, dans l'orbe parécliptique ». Si notre 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 notre interprétation est confortée par le sort analogue dévolu au mouvement des apogées pour les autres astres. Par exemple, dans le modèle du Soleil vu ci-dessus, la grandeur  $\dot{\lambda}_A$  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.

**La Lune : 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 :

$$\begin{aligned}\lambda_{\Omega} &= \dot{\lambda}_{\Omega}t + \lambda_{\Omega}(0) \\ \bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} &= (\dot{\bar{\lambda}} + \dot{\lambda}_{\Omega})t + \bar{\lambda}(0) + \lambda_{\Omega}(0) \\ \bar{\alpha} &= \dot{\bar{\alpha}}t + \bar{\alpha}(0) \\ 2\bar{\eta} &= 2(\dot{\bar{\lambda}} - \dot{\bar{\lambda}}_{\odot})t + 2(\bar{\lambda}(0) - \bar{\lambda}_{\odot}(0))\end{aligned}$$

On a, d'après Ibn al-Šāṭir :

$$\bar{\lambda}_{\odot}(0) = 280; 9, 0, \quad \dot{\bar{\lambda}}_{\odot} = 0; 59, 8, 19, 43, 33, 41, 55, 4, 6 \text{ par jour solaire moyen}$$

$$\bar{\lambda}(0) = 213; 35, 50, \quad \dot{\bar{\lambda}} = 13; 10, 35, 1, 13, 53 \text{ par jour solaire moyen}$$

$$\bar{\alpha}(0) = 138; 32, 27, \quad \dot{\bar{\alpha}} = 13; 3, 53, 56 \text{ par jour solaire moyen}$$

$$\lambda_{\Omega}(0) = 275; 7, 35, \quad \dot{\lambda}_{\Omega} = 0; 3, 10, 38, 27 \text{ par jour solaire moyen}$$

d'où  $\dot{\bar{\lambda}} + \dot{\lambda}_{\Omega} = 13; 13, 45, 39, 40$  par jour solaire moyen. On appelle « élongation moyenne » la grandeur  $\bar{\eta} = \bar{\lambda} - \bar{\lambda}_{\odot}$ .

**La Lune : transformations planes** Si  $R$  et  $S$  sont deux rotations dans l'espace, il existe une rotation  $T$  telle que  $R \circ S = T \circ R$ , 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. 418 ci-dessus, de sorte à réécrire à droite toutes les rotations dont l'axe est dans la direction du vecteur  $\mathbf{k}$ . Il suffit de remarquer que :

$$R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega}) \circ R(P_2, \mathbf{j}, 5^{\circ}) = R(P_2, \mathbf{u}, 5^{\circ}) \circ R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega})$$

où le vecteur  $\mathbf{u}$  est l'image de  $\mathbf{j}$  par  $R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega})$ . L'image de  $P$  est donc :

$$R(P_1, \mathbf{u}, 5^{\circ})(P')$$

où

$$P' = R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\Omega}) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\lambda} + \lambda_{\Omega}) \circ R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}) \circ R(P_4, \mathbf{k}, 2\bar{\eta}) (P).$$

On introduit de même les points  $P'_3$  et  $P'_4$  suivants :

$$P'_3 = R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\mathcal{O}}) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\lambda} + \lambda_{\mathcal{O}}) (P_3)$$

$$P'_4 = R(P_1, \mathbf{k}, -\lambda_{\mathcal{O}}) \circ R(P_2, \mathbf{k}, \bar{\lambda} + \lambda_{\mathcal{O}}) \circ R(P_3, \mathbf{k}, -\bar{\alpha}) (P_4)$$

Tous ces points sont dans le plan de la figure initiale : calculer leurs positions relève entièrement de la géométrie plane.

**Equations de la Lune** Le calcul de la position du point  $P'$  revient à résoudre les triangles rectangles représentés sur la figure 11. On calcule d'abord l'angle  $c_1 = -(\overrightarrow{P'_3P'_4}, \overrightarrow{P'_3P'})$  appelé « équation de la Lune propre » (cf. p. 115). C'est une fonction de  $2\bar{\eta}$  :

$$c_1 = \arcsin \left( \frac{P_4P \sin 2\bar{\eta}}{P'_3P'} \right)$$

où  $P'_3P'$  est le « rayon de l'épicycle apparent » :

$$P'_3P' = \sqrt{(P_3P_4 - P_4P \cos 2\bar{\eta})^2 + (P_4P \sin 2\bar{\eta})^2}$$

On calcule ensuite une autre « équation »  $c_2 = (\overrightarrow{OP'_3}, \overrightarrow{OP'})$  :

$$c_2 = \arcsin \left( \frac{P'_3P' \sin(-\bar{\alpha} - c_1)}{OP'} \right)$$

où

$$OP' = \sqrt{(OP_3 + P'_3P' \cos(\bar{\alpha} + c_1))^2 + (P'_3P' \sin(\bar{\alpha} + c_1))^2}$$

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  $c_2$  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,

$$c_2(\alpha, 2\bar{\eta}) = \arcsin \left( \frac{P'_3P' \sin(-\alpha)}{\sqrt{(OP_3 + P'_3P' \cos \alpha)^2 + (P'_3P' \sin \alpha)^2}} \right)$$

où  $P'_3P'$  est la fonction de  $2\bar{\eta}$  vue ci-dessus. Ces fonctions sont bien sûr  $2\pi$ -périodiques par rapport à chacune des variables, mais on remarque aussi que :

$$\begin{aligned} c_1(360^\circ - 2\bar{\eta}) &= -c_1(2\bar{\eta}) \\ c_2(360^\circ - \alpha, 360^\circ - 2\bar{\eta}) &= -c_2(\alpha, 2\bar{\eta}) \end{aligned}$$

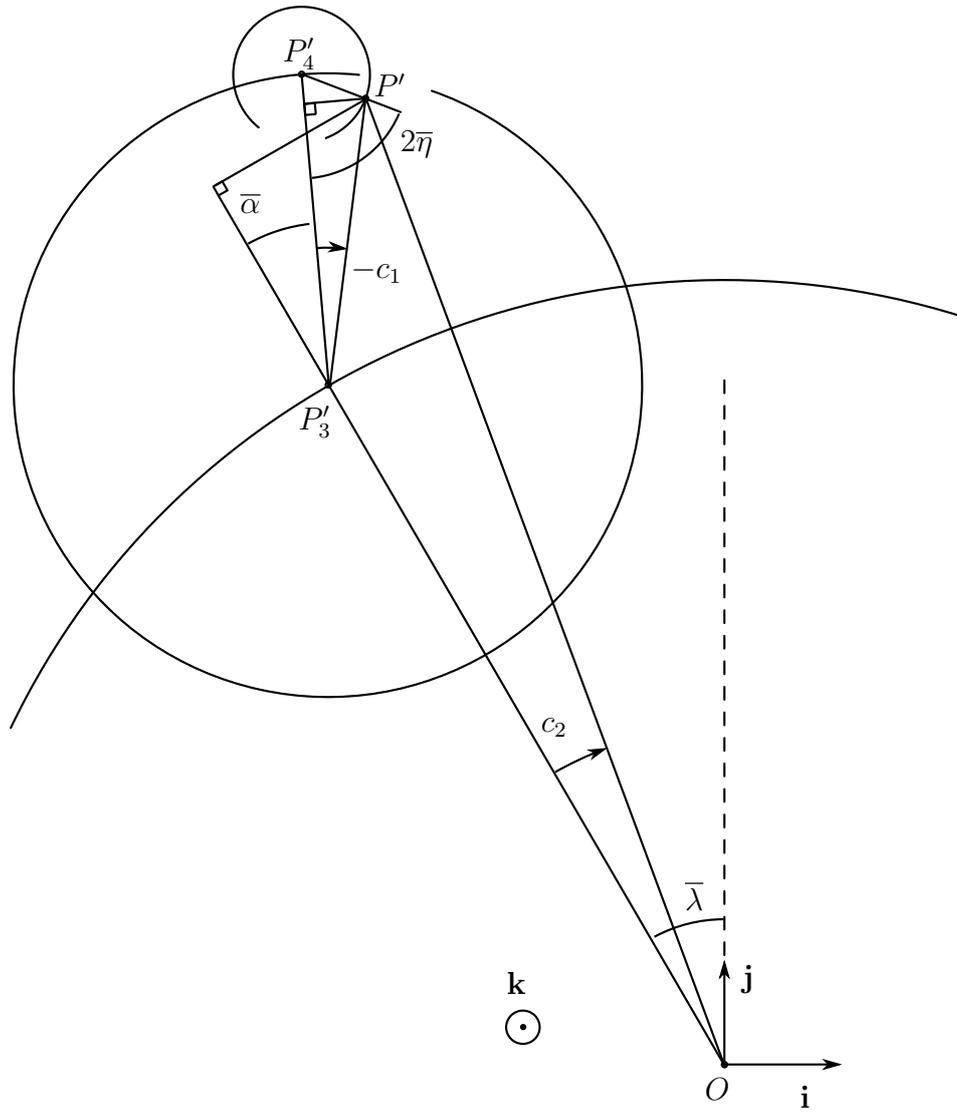


FIGURE 11 – La Lune : transformations planes

**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 Ptolémée<sup>259</sup>, 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  $\alpha$  par une fonction de  $2\bar{\eta}$ . À  $\alpha$  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  $\chi$  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 maximum<sup>260</sup>, 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 :

$$\max |c_2(\cdot, 2\bar{\eta})| = \arcsin \frac{P'_3P'}{OP_3}.$$

**Trigonométrie sphérique** On va à présent calculer les coordonnées sphériques du point  $R(P_1, \mathbf{u}, 5^\circ)(P')$  par rapport à l'écliptique. L'angle formé entre le vecteur  $\mathbf{u}$  et la direction du point  $P'$  vaut (modulo  $360^\circ$ ) :

$$(\mathbf{u}, \overrightarrow{OP'}) = (\mathbf{j}, \overrightarrow{OP'}) - (\mathbf{j}, \mathbf{u}) = \bar{\lambda} + c_2 + \lambda_\Omega$$

259. cf. [21], p. 84-89.

260. Ibn al-Šāṭir procède géométriquement, en considérant une droite tangente à l'« épicycle apparent » qui est un cercle de rayon  $P'_3P'$ .

Les égalités suivantes seront aussi prises modulo  $360^\circ$ . Sur la figure 12, on a représenté sur la sphère de l'écliptique le point  $B$  dans la direction du point  $R(P_1, \mathbf{u}, 5^\circ)(P')$ , 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 :

$$\tan(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) = \cos(5^\circ) \times \tan(\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2)$$

La longitude du point  $R(P_1, \mathbf{u}, 5^\circ)(P')$  par rapport à l'écliptique, en prenant la direction du point vernal, c'est-à-dire  $\mathbf{j}$ , comme origine, est donc, quand  $\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2 \in ]-90^\circ, 90^\circ[$  :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = (\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) - (\overrightarrow{OC}, \mathbf{j}) = \arctan(\cos(5^\circ) \times \tan(\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2)) - \lambda_{\Omega}$$

Quand au contraire  $\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2 \in ]90^\circ, 270^\circ[$ , on a :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = 180^\circ + \arctan(\cos(5^\circ) \times \tan(\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2)) - \lambda_{\Omega}.$$

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 »  $e_n(x)$  est définie comme suit sur l'intervalle  $[-90^\circ, 270^\circ]$ , et ailleurs par périodicité :

$$e_n(x) = \begin{cases} \arctan(\cos(5^\circ) \times \tan(x)) - x, & \text{si } x \in ]-90^\circ, 90^\circ[ \\ 180^\circ + \arctan(\cos(5^\circ) \times \tan(x)) - x, & \text{si } x \in ]90^\circ, 270^\circ[ \\ 0^\circ, & \text{si } x = \pm 90^\circ \end{cases}$$

Enfin, la latitude de la Lune est :

$$(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}) = \arcsin(\sin(5^\circ) \times \sin(\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2)).$$

On peut aussi l'obtenir ainsi (c'est la solution retenue par Ibn al-Šāṭir au chapitre 11) :

$$(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}) = \arctan(\tan(5^\circ) \times \sin(\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2 + e_n(\bar{\lambda} + \lambda_{\Omega} + c_2))).$$

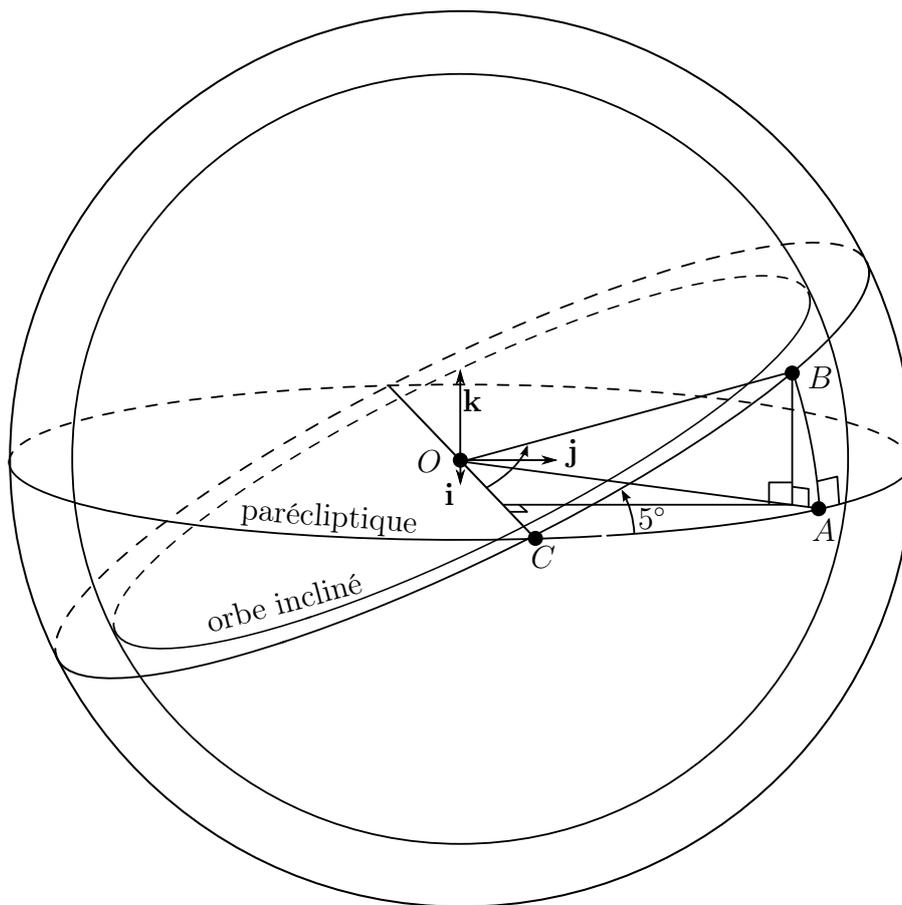


FIGURE 12 – La Lune : coordonnées de  $R(P_1, \mathbf{u}, 5^\circ)(P')$

**La Lune : critique des modèles antérieurs** Les critiques adressées par Ibn al-Šāṭir à ses prédécesseurs p. 39 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 procèdera, 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 longitude<sup>261</sup>. La longitude vraie  $\lambda$  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’Apogée – n’a un mouvement strictement périodique dans les modèles les plus élaborés.

Ainsi pour la Lune, la figure 13 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

---

261. à ne pas confondre avec la vitesse instantanée, d’où notre notation pour la vitesse moyenne  $\dot{\bar{\lambda}}$  qui est une constante, à ne pas confondre avec  $\dot{\lambda}$ .

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*. 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 14 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 propre de rotation de l’épicycle,  $\bar{\alpha}$  dans la figure 14, 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 13 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 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 propre de rotation 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 figure 13, 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, p. 39, Ibn al-Šāṭir semble ignorer que Ptolémée a précisément utilisé des observations dans les octants pour déduire son troisième modèle<sup>262</sup>. Comment est-ce possible ? Peut-être n’avait-il

---

262. Cf. *Almageste* V.5, in [23] p. 149.

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 *Tadkirat* [2], qu'il connaissait, et où Ṭūsī expose le troisième modèle de Ptolémée en mentionnant des observations dans les *sextants* (et non les *octants*)<sup>263</sup>.

On a aussi représenté les latitudes de Lune prédites par le modèle d'Ibn al-Šāṭir pour les mêmes dates, cf. fig. 15. 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 notre tracé, les deux courbes seraient indiscernables. Enfin, on a représenté la distance Terre-Lune à la figure 16, où l'on voit le progrès radical accompli par Ibn al-Šāṭir. Le troisième modèle de Ptolémée<sup>264</sup> 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.

**La Lune chez al-'Urḏī** Ibn al-Šāṭir adresse une critique plus circonstanciée à son prédécesseur Mu'ayyad al-Din al-'Urḏī (?-1266). Il écrit en effet :

La position conjecturée par al-Mu'ayyad al-'Urḏī dans la configuration des orbites 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'orbite portant l'épicycle, est impossible.<sup>265</sup>

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 'Urḏī dans son *Kitāb al-Hay'a*<sup>266</sup>.

Suivons la description donnée par al-'Urḏī :

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.<sup>267</sup>

---

263. En revanche, 'Urḏī, dans son *Kitāb al-hay'a* [35], commente les observations de Ptolémée dans les octants. Mais Ibn al-Šāṭir a pu négliger cette partie du traité de 'Urḏī après avoir compris le défaut du modèle lunaire de 'Urḏī – cf. notre analyse ci-dessous.

264. Son deuxième modèle présente le même défaut.

265. Cf. *supra* p. 43.

266. Cf. l'édition critique du texte arabe par Saliba [35], accompagnée d'une introduction en anglais où Saliba décrit le modèle de 'Urḏī, p. 50-55.

267. Cf. [35] p. 118.

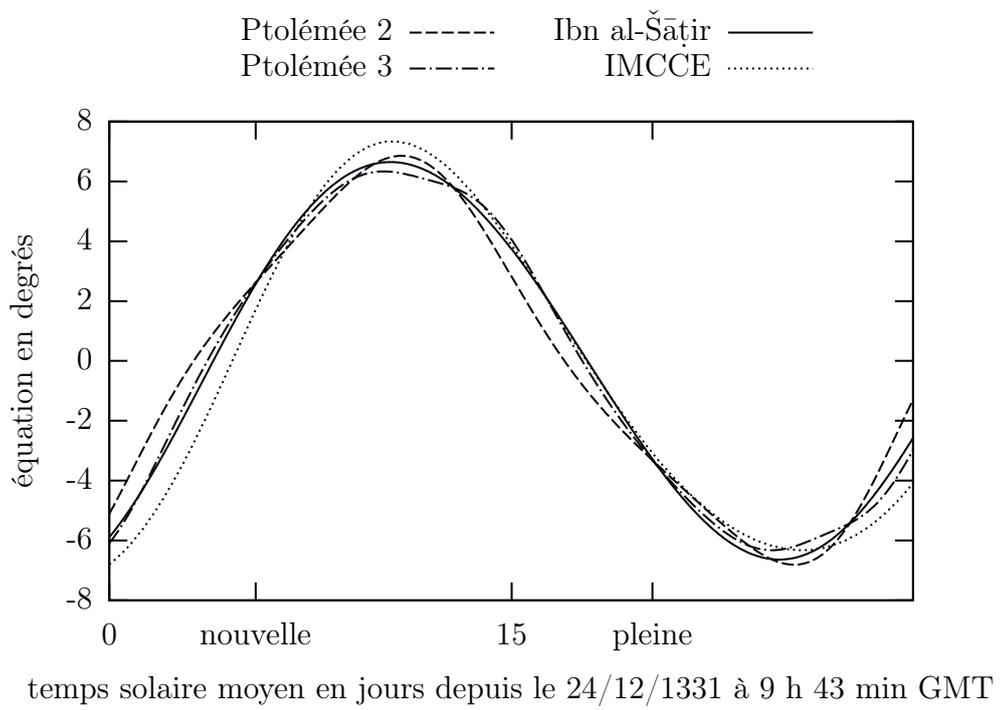
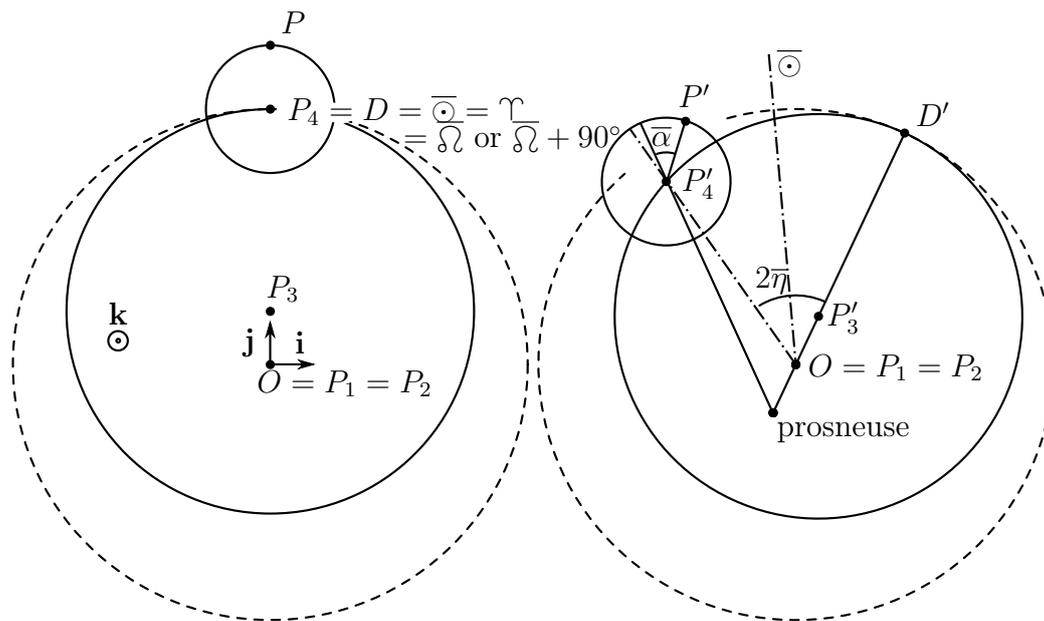


FIGURE 13 – L'équation de la Lune en 1331, sur 30 jours



$$P_2P_3 = 10; 19 \quad P_3P_4 = 49; 41 \quad P_4P = 5; 15$$

Centres : éclipse  $P_1$ , cercle concentrique dans le plan incliné  $P_2$ ,  
excentrique  $P_3$ , épicycle  $P_4$ , la Lune  $P$ .

$$[O\delta\Omega'] = R_{-\lambda_\Omega} [O\delta\Omega], \quad [OD'] = R_{(O\Omega), 5^\circ} R_{-\lambda_\Omega} R_{-(2\bar{\eta} - (\bar{\lambda}_\alpha + \lambda_\Omega))} [OD]$$

$$[OP'_4] = R_{(O\Omega), 5^\circ} R_{-\lambda_\Omega} R_{\bar{\lambda}_\alpha + \lambda_\Omega} [OP_4]$$

FIGURE 14 – Le troisième modèle de la Lune dans l'*Almageste*

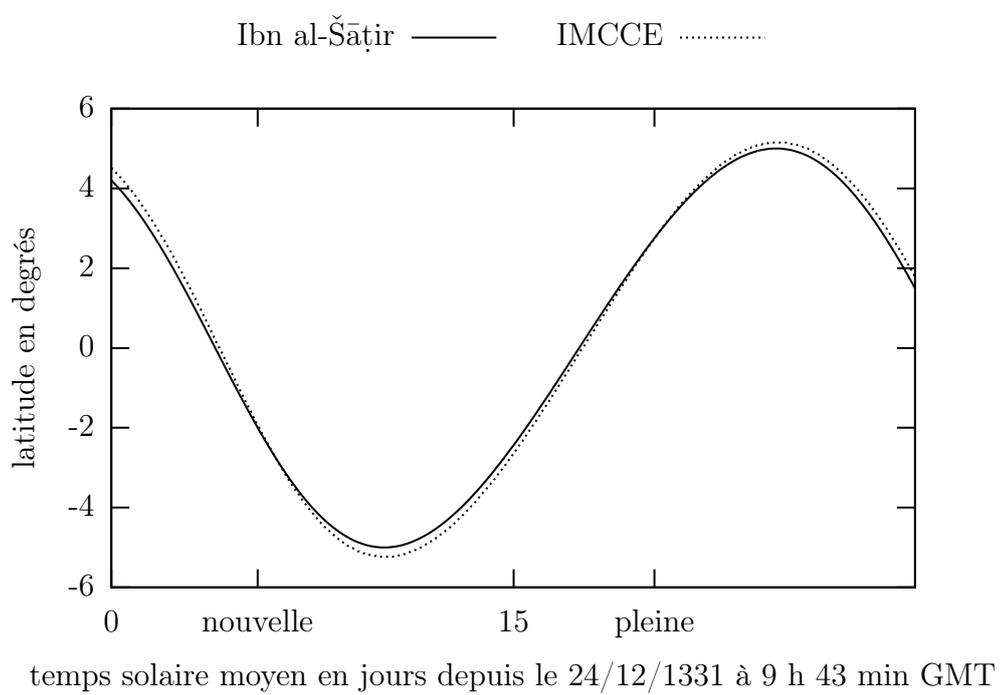


FIGURE 15 – Latitudes de la Lune en 1331, sur 30 jours

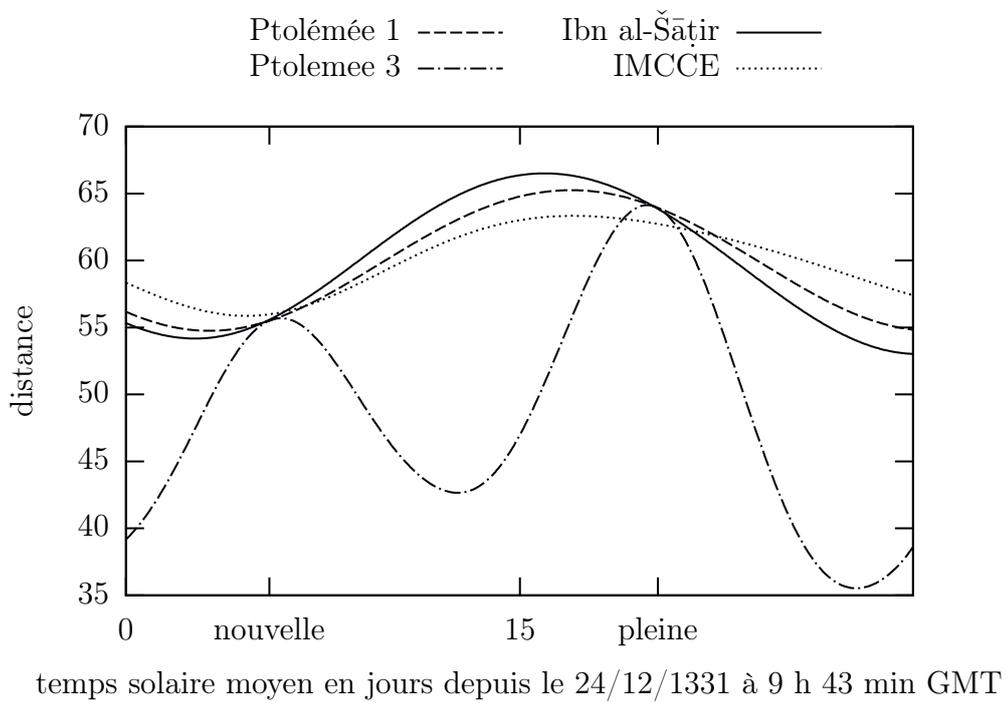


FIGURE 16 – Distance Terre-Lune en 1331, sur 30 jours

On reconnaît la figure initiale que nous avons dessinée fig. 17, 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 :

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 jour.<sup>268</sup>

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 ainsi :

$$P' = R_{O, 3\bar{\eta} + \bar{\lambda}_\odot} R_{P_3, -2\bar{\eta}} R_{P_4, -\bar{\alpha}}(P)$$

et en tenant compte de l'inclinaison de l'orbe incliné :

$$P' = R_{P_1, -\lambda_\Omega} R_{P_1, j, 5^\circ} R_{P_2, \lambda_\Omega + 3\bar{\eta} + \bar{\lambda}_\odot} R_{P_3, -2\bar{\eta}} R_{P_4, -\bar{\alpha}}(P)$$

En résolvant des triangles rectangles, il est alors facile de calculer la position de point  $P'$ . En particulier :

$$OP'_4 = \sqrt{(P_3P_4 \sin(2\bar{\eta}))^2 + (P_3P_4 \cos(2\bar{\eta}) + OP_3)^2}$$

$$q = \arcsin \left( \frac{P'_3P'_4 \sin(2\bar{\eta})}{OP'_4} \times \frac{OP_3}{P'_3P'_4} \right) = \arcsin \left( \frac{OP_3 \sin(2\bar{\eta})}{OP'_4} \right)$$

$$OP' = \sqrt{(P_4P \sin(-(\bar{\alpha} + q)))^2 + (OP'_4 + P_4P \cos(-(\bar{\alpha} + q)))^2}$$

---

268. Cf. [35] p. 118.

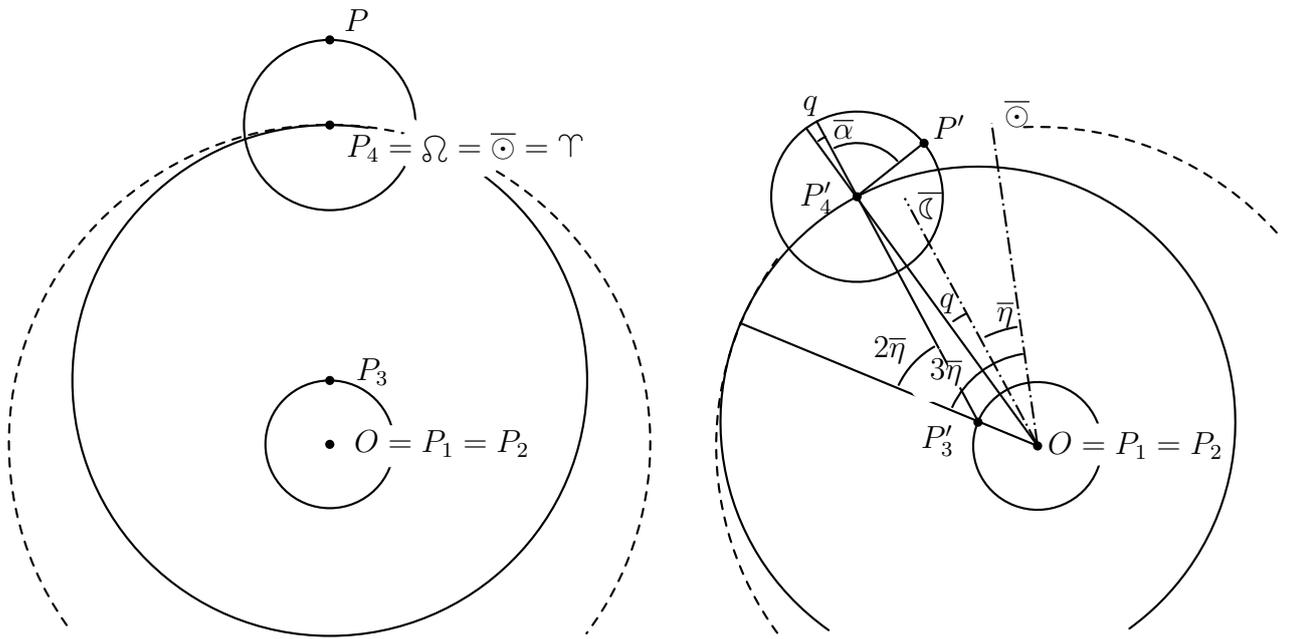


FIGURE 17 – La Lune dans le *Kitab al-Hay'at* de ‘Urđī

Si l'équation de la Lune était l'angle  $\widehat{P'_4OP'}$ , 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 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 de centre par rapport à l'Apogée est



la défense par anticipation de ‘Urđī :

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.<sup>270</sup>

Cette remarque était probablement adressée à ‘Urđī ou à un autre auteur, avant ou après ‘Urđī, ayant commis une erreur analogue.

**La Lune chez Ṭūsī et Shīrāzī** Décrivons à présent le modèle exposé par Ṭūsī dans sa *Tadkirat fī ‘ilm al-hay’at*. On a seulement tracé la figure initiale, cf. figure 19, à gauche, où  $P_1$  est le centre du 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 Lune<sup>271</sup>. 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 de Ṭūsī”. Que les orbes tournent, et la position du point  $P$  devient :

$$P' = R_{P_1, -\lambda_\Omega} \circ R_{P_1, j, 5^\circ} \circ R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot - \lambda_\Omega)} \circ R_{P_3, 2\bar{\eta}} \circ R_{P_4, 2\bar{\eta}} \circ R_{P_5, -4\bar{\eta}} \circ R_{P_6, 2\bar{\eta}} \circ R_{P_7, -\bar{\alpha}}(P)$$

Dans le référentiel de l’orbe déférent centré en  $P_3$ , la trajectoire du point  $P_6$  ressemble à un cercle de rayon 49; 41. On a représenté cette trajectoire ovale sur la figure 19, 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 notre ovale est beaucoup plus applati que dans le modèle véritable. Ṭūsī trace et étudie la ressemblance 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’orbes entre la “sphère englobante” et l’épicycle. Les historiens ont appelé ce dispositif un “couple de Ṭūsī curviligne”. Il s’agit de deux sphères homocentriques, centrées en  $P_7$ . Leurs rayons n’importent pas à la description

270. cf. *supra* p. 41.

271. Comme le dit Ṭūsī, 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”.

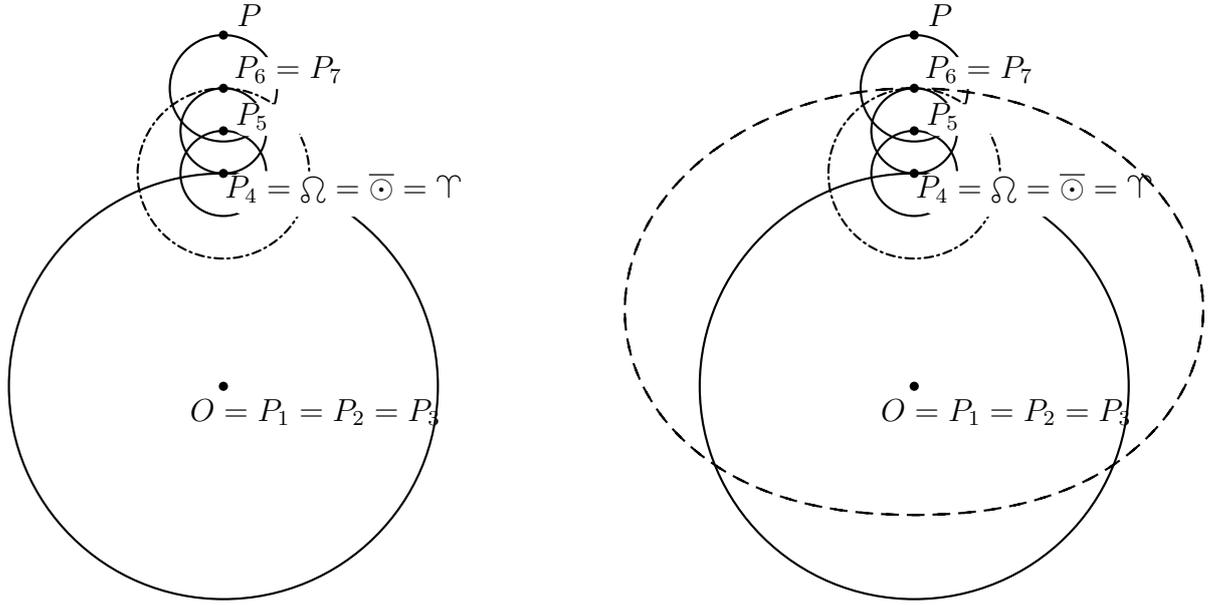


FIGURE 19 – La Lune dans la *Tadkirat* de Ṭūsī

du mouvement. Dans la composée de rotations qu'on fait subir au point  $P$ , 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 :

$$P' = R_{P_1, -\lambda_\Omega} \circ R_{P_1, j, 5^\circ} \circ R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot - \lambda_\Omega)} \circ R_{P_3, 2\bar{\eta}} \circ R_{P_4, 2\bar{\eta}} \circ R_{P_5, -4\bar{\eta}} \circ R_{P_6, 2\bar{\eta}} \\ \circ R_{P_7, i, \frac{c_{3\max}}{2}} \circ R_{P_7, j, -4\bar{\eta}} \circ R_{P_7, i, -\frac{c_{3\max}}{2}} \circ R_{P_7, j, 2\bar{\eta}} \circ R_{P_7, -\bar{\alpha}}(P)$$

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 celà 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 notre figure 20. La critique que lui adresse Ibn al-Šāṭir peut donc nous surprendre :

La position mentionnée par Naṣīr al-Ṭūsī dans la *Tadkira* sur l'élimination des doutes des orbes de la Lune est impossible parce qu'on y trouve l'excentrique et que le diamètre de l'épicycle suit

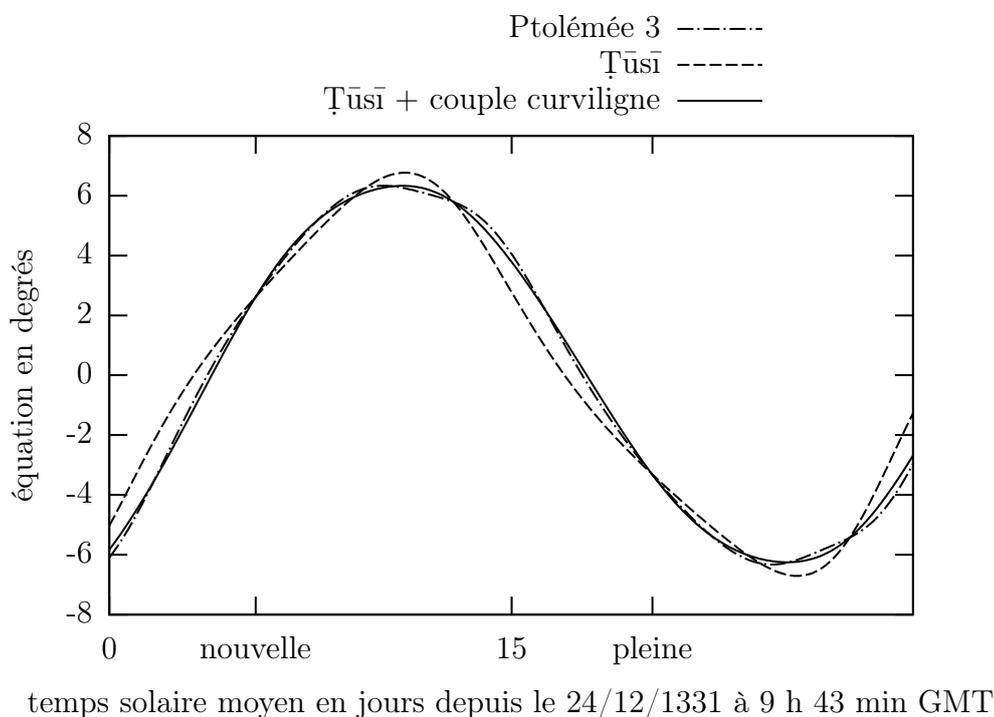


FIGURE 20 – L'équation de la Lune selon Ṭūsī

un point autre que le centre de l'orbe portant l'épicycle.<sup>272</sup>

Nous y reviendrons.

Décrivons à présent le modèle de la Lune proposé par Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī dans sa *Tuḥfat al-Shāhīyat*<sup>273</sup> Voici ce que dit Ibn al-Šāṭir :

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 *Tuḥfa* ; il y indique une autre manière, mais elle est aussi impossible.<sup>274</sup>

Saliba [27], suivant peut-être l'avis d'Ibn al-Šāṭir, pense que le modèle décrit

<sup>272</sup>. Cf. *supra* p. 41.

<sup>273</sup>. Nous avons consulté le manuscrit de la *Tuḥfat* à la Bibliothèque Nationale (BN Arabe MS 2516, livre 2, chapitres 10 f. 33r-44v, et 12 f. 50r-56r) en nous aidant de la description faite par Saliba dans [27].

<sup>274</sup>. Cf. *supra* p. 43.

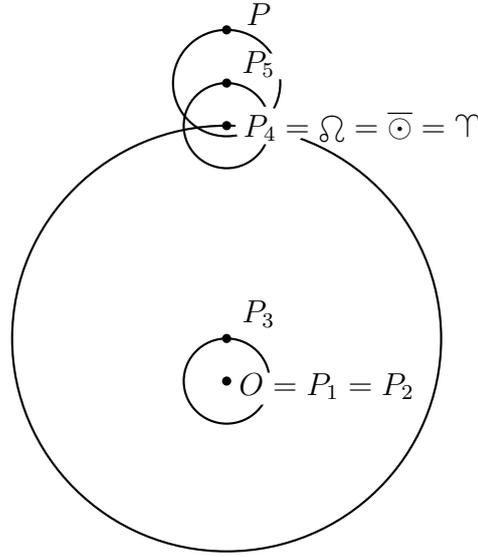


FIGURE 21 – La Lune dans la *Tuhfat* de Shīrāzī

dans la *Tuhfat* est différent des modèles décrits dans deux autres textes de Shīrāzī, les *Ikhtiyārāt-i Muzaffarī* et la *Nihāyat al-Idrāk*, qui exposeraient seulement des modèles anciens. Niazi, l’auteur d’une thèse [20] sur Shīrāzī, a fait une comparaison textuelle des trois ouvrages ; il affirme qu’un modèle semblable au modèle de la *Tuhfat* est bien présent dans chacun des deux autres ouvrages, mais peut-être pas là où on l’attendrait<sup>275</sup>. Ceci nous a aussi été confirmé par Gamini (communication personnelle) qui prépare une édition critique des *Ikhtiyārāt*.

La figure initiale du modèle de la *Tuhfat* est notre figure 21. 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 :

$$P' = R_{P_1, -\lambda_\Omega} R_{P_1, j, 5^\circ} R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_\odot - \lambda_\Omega)} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -2\bar{\eta} - \bar{\alpha}}(P)$$

275. Cf. [20] p. 138-142.

Ce modèle est inspiré des modèles de ‘Urdī pour les planètes supérieures, mais il diffère substantiellement de son modèle pour la Lune. Au contraire, il est strictement équivalent au modèle de Ṭūsī sans couple curviligne : les trajectoires prédites sont égales.

*Démonstration.* Notons  $P_i$  ( $1 \leq i \leq 5$ ) les centres des orbés de Shīrāzī, et  $\tilde{P}_i$  ( $1 \leq i \leq 7$ ) les centres des orbés 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 :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_2 P_3} &= \overrightarrow{\tilde{P}_4 \tilde{P}_5} = \frac{10; 19}{2} \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_3 P_4} &= \overrightarrow{\tilde{P}_3 \tilde{P}_4} = 49; 41 \mathbf{j} \\ P_5 = \tilde{P}_6 = \tilde{P}_7, \quad \overrightarrow{P_3 P_3} &= \overrightarrow{P_4 P_4} = -\overrightarrow{\tilde{P}_5 \tilde{P}_6}\end{aligned}$$

Cette dernière égalité permet d’appliquer la proposition 2, et on a alors :

$$\begin{aligned}& R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_{\odot} - \lambda_{\Omega})} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -2\bar{\eta} - \bar{\alpha}} \\ &= R_{\tilde{P}_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_{\odot} - \lambda_{\Omega})} (R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_6, -2\bar{\eta}}) R_{\tilde{P}_7, -\bar{\alpha}} \\ &= R_{\tilde{P}_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_{\odot} - \lambda_{\Omega})} R_{\tilde{P}_3, 2\bar{\eta}} (R_{\tilde{P}_4, -2\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_5, 4\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_6, -2\bar{\eta}}) R_{\tilde{P}_7, -\bar{\alpha}}\end{aligned}$$

En vertu de la proposition 3, ceci est aussi égal à :

$$R_{\tilde{P}_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_{\odot} - \lambda_{\Omega})} R_{\tilde{P}_3, 2\bar{\eta}} (R_{\tilde{P}_4, 2\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_5, -4\bar{\eta}} R_{\tilde{P}_6, 2\bar{\eta}}) R_{\tilde{P}_7, -\bar{\alpha}}, \quad q. e. d.$$

Ce modèle produit des trajectoires très proches du deuxième modèle de Ptolémée, et il ne reproduit donc pas les effets du point de prosneuse.<sup>276</sup> Dallal et Saliba ont indiqué qu’un contemporain d’Ibn al-Šāṭir, Sadr al-Sharī‘a (?-1347), a proposé un amendement au modèle de Shīrāzī 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 21 ; il faut alors ajouter une rotation à droite<sup>277</sup> :

$$P' = R_{P_1, -\lambda_{\Omega}} R_{P_1, \mathbf{j}, 5^\circ} R_{P_2, -(\bar{\eta} - \bar{\lambda}_{\odot} - \lambda_{\Omega})} R_{P_3, 2\bar{\eta}} R_{P_4, 2\bar{\eta}} R_{P_5, -2\bar{\eta} - \bar{\alpha}} R_{P_6, -2\bar{\eta}}(P).$$

276. Ce modèle achevé décrit par Shīrāzī ne tient donc pas compte de la troisième anomalie lunaire. Saliba affirme que, même dans la *Tuhfat*, “Quṭb al-Dīn ne semble pas avoir réussi à répondre à la seconde objection” (celle du point de prosneuse), cf. [27], p. 113. Il resterait cependant à identifier clairement, par une étude complète des trois ouvrages, “l’argument que [Shīrāzī] a avancé pour permettre le point de prosneuse” selon Ibn al-Šāṭir.

277. cf. [4] p. 373-379 et [27] p. 112-113. Dans [27], le sens de rotation de la petite sphère semble erroné. Dans [4], Dallal donne deux interprétations possibles du texte de Sadr al-Sharī‘a : avec nos notations, soit  $\overrightarrow{P_6 \tilde{P}} = +0; 52 \mathbf{j}$  et l’angle de rotation est  $-2\bar{\eta}$ , soit  $\overrightarrow{P_6 \tilde{P}} = -0; 52 \mathbf{j}$  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 nous avons donc retenue dans notre comparaison.

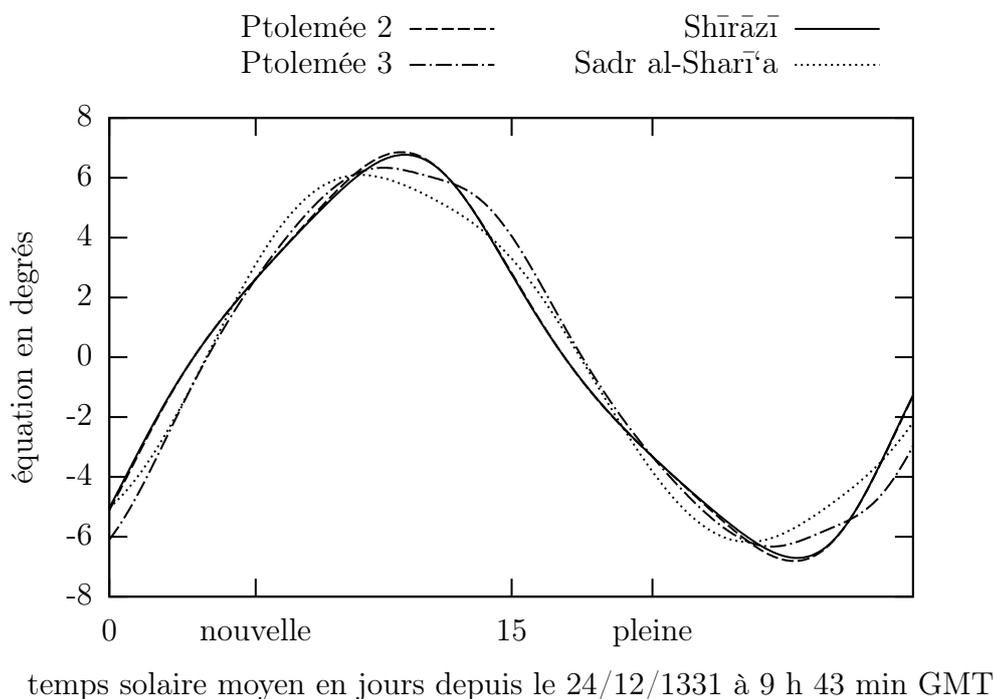


FIGURE 22 – La Lune selon Shīrāzī et Sadr al-Sharī'a

Le modèle de Sadr al-Sharī'a a bien l'effet escompté, comme on peut le voir dans les octants sur notre figure 22.

**Comment expliquer le reproche qu'Ibn al-Šāṭir adresse à Ṭūsī concernant la Lune ?** Tout d'abord, Ṭūsī rejette lui-même son propre modèle, à la fin du chapitre II.11 de la *Tadkirat*, 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 Ṭūsī dans II.7 ? Mais c'est à Ṭūsī qu'Ibn al-Šāṭir adresse un reproche ; n'aurait-il pas compris qu'il s'agissait là d'un modèle dû à Ptolémée<sup>278</sup> ?

Il nous semble plus probable qu'Ibn al-Šāṭir ajoute à l'auto-critique de Ṭūsī sur la prosneuse un second reproche plus général concernant le modèle

278. ceci pourrait aussi expliquer qu'il ignorait les observations dues à Ptolémée dans les octants, comme on l'a vu plus haut.

présent dans II.11. Mais quel reproche ?

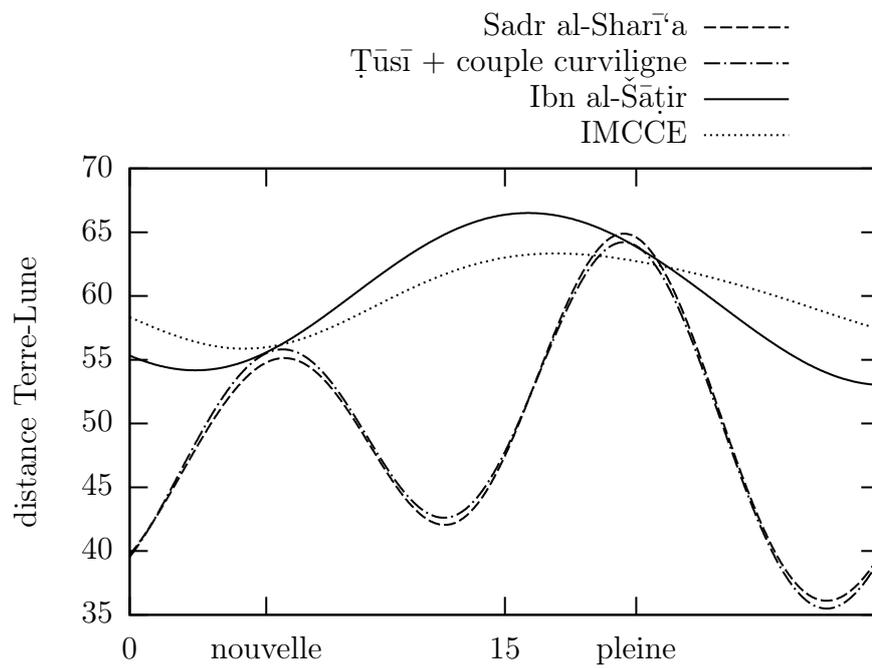
Bien que Ṭūsī n'utilise pas d'orbe excentrique, il conçoit une combinaison de mouvements épicycliques afin de donner au point  $P_6$  une trajectoire *proche du cercle excentrique de Ptolémée dans le plan incliné* ; il prend d'ailleurs soin de le démontrer dans II.11. Ṭūsī substitue donc à l'excentrique de Ptolémée un dispositif reproduisant la même trajectoire, par le truchement d'un artifice, le couple de Ṭūsī, produisant un mouvement rectiligne oscillatoire. En tant qu'artifice produisant un mouvement *par essence* interdit dans les cieux, 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-'arṣād*. 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. Nos figures 23 et 24 comparent entre eux les « meilleurs » modèles lunaires à partir du troisième modèle de Ptolémée : celui de Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī, celui d'al-Ṭūsī avec le couple curviligne, et celui d'Ibn al-Šāṭir. Pour ne pas alourdir ces figures, nous n'avons 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 produisaient des valeurs aberrantes de la distance Terre-Lune, y compris celui de 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





temps solaire moyen en jours depuis le 24/12/1331 à 9 h 43 min GMT

FIGURE 24 – La distance Terre-Lune dans les modèles les meilleurs pour les longitudes

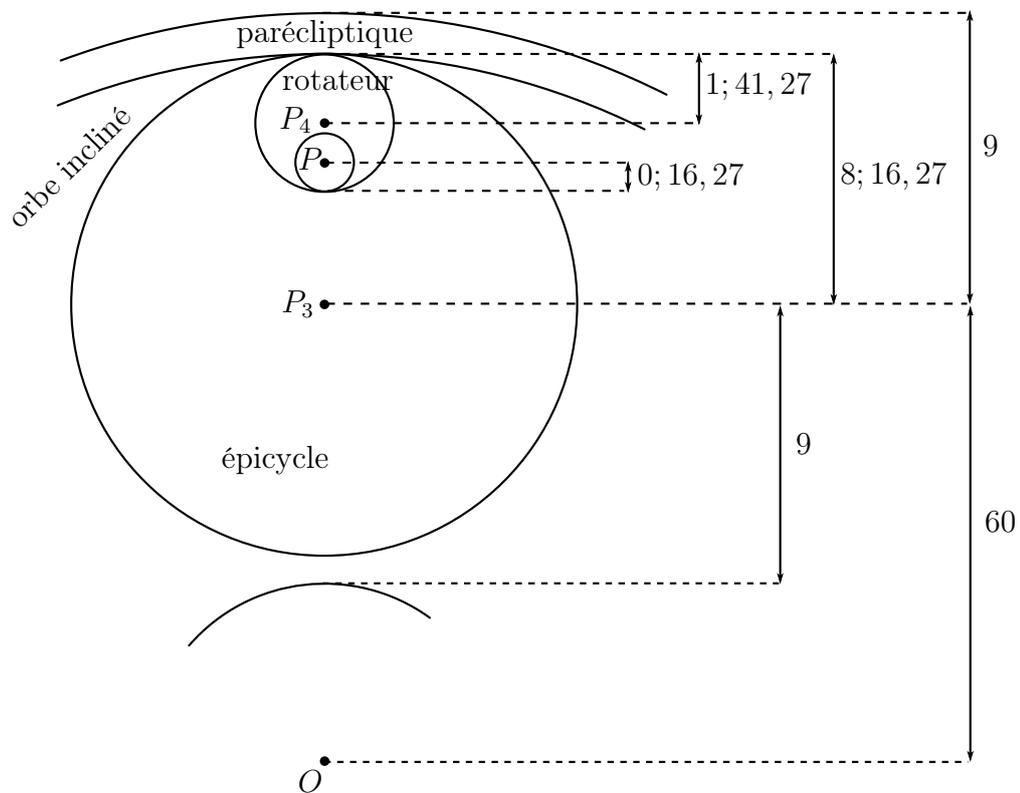


FIGURE 25 – Les orbes solides de la Lune

- 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 connaître<sup>279</sup>.

**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’orbite inclinée 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 orbite inclinée. Ces trois points sont confondus

279. *cf. supra* p. 125.

$O = P_1 = P_2$ . Le point  $P_3$  est le centre d'un orbe *déférent* (*falak hāmil*),  $P_4$  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 26 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.

**Saturne : transformations géométriques** Les transformations appliquées à Saturne  $P$  sont des rotations paramétrées par trois angles : l'*Apogée*  $\lambda_A$ , 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 :

$$R_{P_3, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}, \quad R_{P_4, 2\bar{\kappa}}, \quad R_{P_3, -\bar{\kappa}}, \quad R_{P_2, \bar{\kappa}}, \quad R_{P_1, \lambda_A}.$$

Comme d'habitude, quand on omet la mention de l'axe de rotation, il s'agit par défaut de la direction vecteur  $\mathbf{k}$ . Mais il faut se souvenir que la figure 4 p. 403 cas (i) 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 :

$$R_{P_4, \mathbf{v}, -1^\circ}, \quad R_{P_3, \mathbf{u}, -3^\circ 30'}, \quad R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'}.$$

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 :

$$\mathbf{v} = R_{2 \times (140^\circ - 90^\circ)}(\mathbf{u}) = \cos(50^\circ)\mathbf{i} + \sin(50^\circ)\mathbf{j}.$$

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.

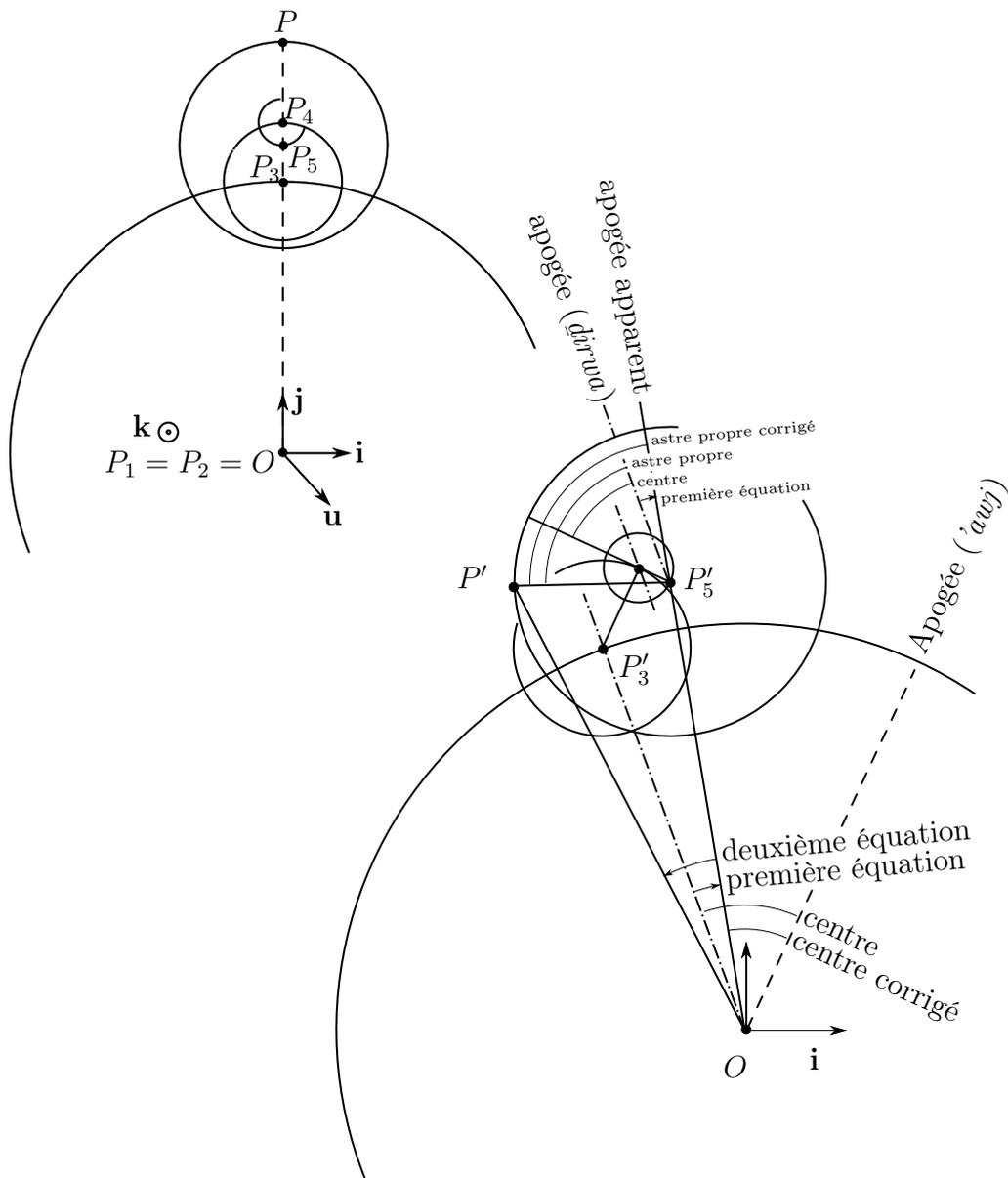


FIGURE 26 – Les orbes de Saturne : figure initiale et terminologie

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 27 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.

**Saturne : trajectoire paramétrée** Le modèle de Saturne est couplé au modèle du Soleil en vertu de la relation suivante :

$$\bar{\alpha} = \bar{\lambda}_{\odot} - \lambda_A - \bar{\kappa}$$

La trajectoire dans l'ensemble des valeurs des paramètres est :

$$\lambda_A = \dot{\lambda}_A t + \lambda_A(0)$$

$$\bar{\kappa} = \dot{\bar{\kappa}} t + \bar{\kappa}(0)$$

$$\bar{\lambda}_{\odot} = \dot{\bar{\lambda}}_{\odot} t + \bar{\lambda}_{\odot}(0)$$

On rappelle que  $\bar{\kappa} = \bar{\lambda} - \lambda_A$ . On a, d'après Ibn al-Šāṭir :

$$\bar{\lambda}_{\odot}(0) = 280; 9, 0, \quad \dot{\bar{\lambda}}_{\odot} = 359; 45, 40 \text{ par année persane,}$$

$$\bar{\lambda}(0) = 157; 58, 20, \quad \dot{\bar{\lambda}} = 12; 13, 40 \text{ par année persane,}$$

$$\lambda_A(0) = 254; 52, \quad \dot{\lambda}_A = 0; 1 \text{ par année persane.}$$

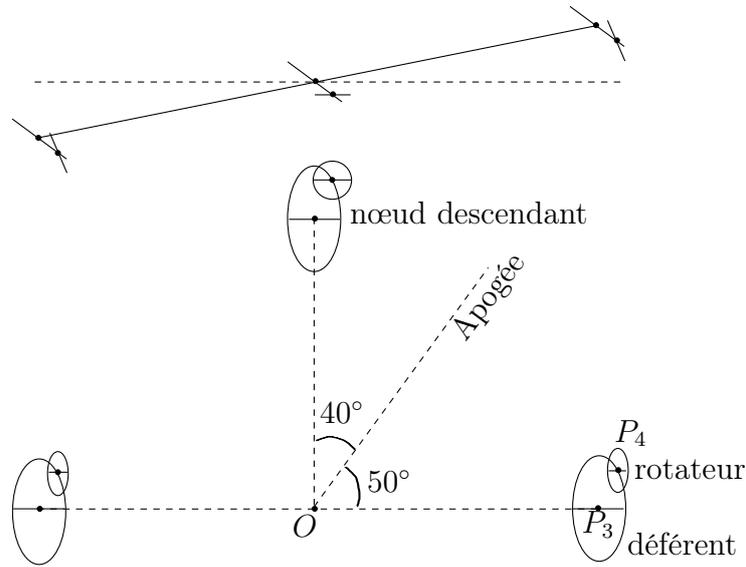


FIGURE 27 – Saturne, trois positions : projection orthogonale

**Transformations planes** Si  $R$  et  $S$  sont deux rotations, il existe une rotation  $T$  telle que  $R \circ S = T \circ R$ , 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 :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} = R_{P_2, \mathbf{a}, 2^\circ 30'} R_{P_1, \lambda_A}$$

où le vecteur  $\mathbf{a}$  est l'image de  $\mathbf{u}$  par  $R_{P_1, \lambda_A}$ . 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 :

$$M R_{P_2, \mathbf{a}, 2^\circ 30'}(P')$$

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 26) :

$$P'_3 = R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}}(P_3)$$

$$P'_4 = R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}}(P_4)$$

$$P'_5 = R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}}(P_5)$$

Tous ces points sont dans le plan de la figure initiale : calculer leurs positions relève entièrement de la géométrie plane.

**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 :

$$c_2(\bar{\kappa}, \alpha) = \arcsin\left(\frac{P_5P \sin \alpha}{\sqrt{(P_5P \sin \alpha)^2 + (OP'_5 + P_5P \cos \alpha)^2}}\right)$$

où  $OP'_5$  est la fonction de  $\bar{\kappa}$  vue ci-dessus. On remarque que :

$$c_1(360^\circ - \bar{\kappa}) = -c_1(\bar{\kappa}),$$

$$c_2(360^\circ - \bar{\kappa}, 360^\circ - \alpha) = -c_2(\bar{\kappa}, \alpha).$$

**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<sup>280</sup> 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

280. Cf. chap. 23 de la première partie de la *Nihāya*.

une fonction de  $\alpha$ . À  $\alpha$  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  $\chi$  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<sup>281</sup> :

$$\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)| = \arcsin \frac{P_5 P}{OP'_5}.$$

**Trigonométrie sphérique** On va à présent calculer les coordonnées sphériques du point  $R_{P_2, \mathbf{a}, 2^\circ 30'}(P')$  par rapport à l'écliptique. L'angle formé entre le vecteur  $\mathbf{a}$  et la direction du point  $P'$  vaut (modulo  $360^\circ$ ) :

$$(\mathbf{a}, \overrightarrow{OP'}) = \bar{\kappa} + c_1 + c_2 + 140^\circ = \bar{\lambda} - \lambda_\Omega + c_1 + c_2 = \lambda - \lambda_\Omega$$

où  $\lambda = \bar{\lambda} + c_1 + c_2$ . Les égalités suivantes seront prises modulo  $360^\circ$ . Sur la figure 28, on représente sur la sphère de l'écliptique le point  $B$  dans la direction du point  $R_{P_2, \mathbf{a}, 2^\circ 30'}(P')$  et le point  $C$  dans la direction du vecteur  $\mathbf{a}$ . En particulier,

$$(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OB}) = \lambda - \lambda_\Omega.$$

L'étude du triangle sphérique  $ABC$  donne :

$$\tan(\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) = \cos(2^\circ 30') \times \tan(\lambda - \lambda_\Omega).$$

La longitude du point  $R_{P_2, \mathbf{a}, 2^\circ 30'}(P')$  par rapport à l'écliptique, en prenant la direction du point vernal  $\mathbf{j}$  comme origine, est donc, quand  $\lambda - \lambda_\Omega \in ] - 90^\circ, 90^\circ[$  :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = (\overrightarrow{OC}, \overrightarrow{OA}) - (\overrightarrow{OC}, \mathbf{j}) = \arctan(\cos(2^\circ 30') \times \tan(\lambda - \lambda_\Omega)) + \lambda_\Omega$$

281. 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  $z$ .

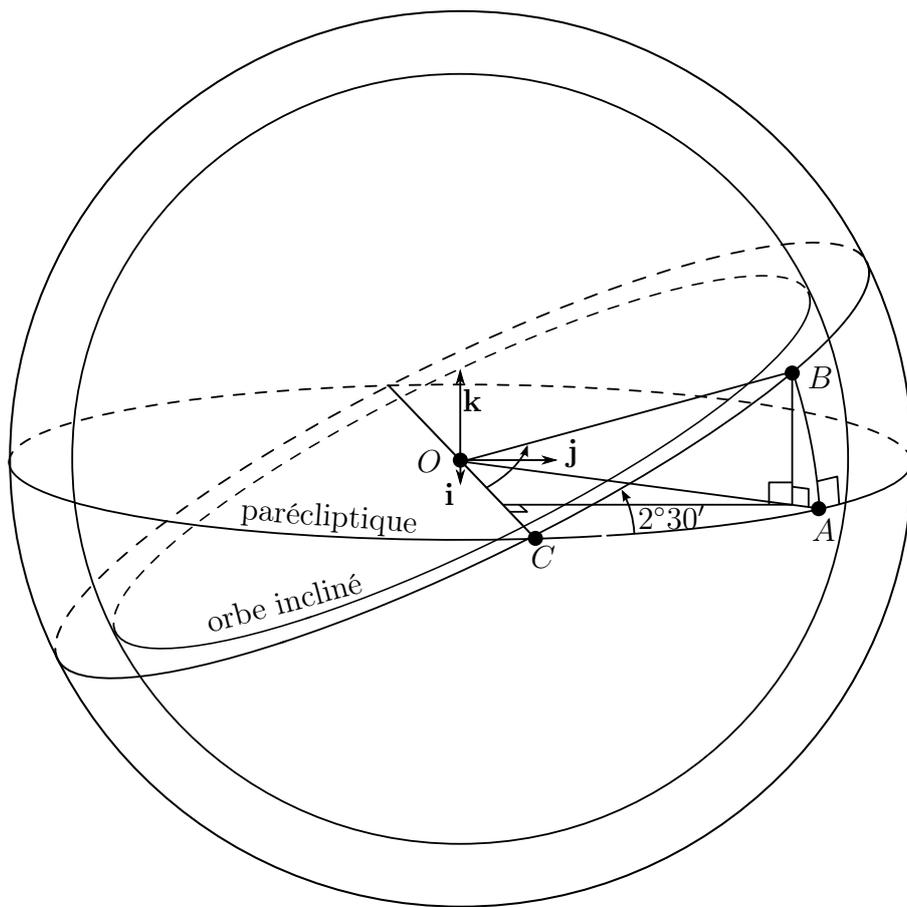


FIGURE 28 – Saturne : inclinaison de l'orbite inclinée

Quand au contraire  $\lambda - \lambda_{\mathcal{Q}} \in ]90^\circ, 270^\circ[$ , on a :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = 180^\circ + \arctan(\cos(2^\circ 30') \times \tan(\lambda - \lambda_{\mathcal{Q}})) + \lambda_{\mathcal{Q}}.$$

On rassemble ces deux cas dans la formule suivante, valable pour toutes les valeurs des paramètres :

$$(\mathbf{j}, \overrightarrow{OA}) = \lambda + e_n(\lambda - \lambda_{\mathcal{Q}})$$

où l'“équation du déplacement”  $e_n(x)$  est définie comme suit sur l'intervalle  $[-90^\circ, 270^\circ]$ , et ailleurs par périodicité :

$$e_n(x) = \begin{cases} \arctan(\cos(2^\circ 30') \times \tan x) - x, & \text{si } x \in ]-90^\circ, 90^\circ[ \\ 180^\circ + \arctan(\cos(2^\circ 30') \times \tan x) - x, & \text{si } x \in ]90^\circ, 270^\circ[ \\ 0^\circ, & \text{si } x = \pm 90^\circ \end{cases}$$

Enfin, la latitude du point  $R_{P_2, \mathbf{a}, 2^\circ 30'}(P')$  est :

$$(\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}) = \arcsin(\sin(2^\circ 30') \times \sin(\lambda - \lambda_{\mathcal{Q}})).$$

**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  $R_{P_2, \mathbf{a}, 2^\circ 30'}(P')$ . 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 sphériques<sup>282</sup>. Ibn al-Šāṭir se contente ici d'une description qualitative de l'effet en latitude de  $M$  (voir chapitre 24).

**Comparaisons** À la figure 29 nous donnons 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 moyens<sup>283</sup>, (3) au moyen du modèle complet d'Ibn al-Šāṭir décrit par la composée de huit rotations appliquée au point  $P$  comme ci-dessus.

Quand Ibn al-Šāṭir indique que le nœud ascendant de Saturne est “à cinq parts du Lion”, il faut peut-être comprendre qu'il est à  $5^\circ$  avant le

282. Ibn al-Haythām lui-même, dans un ouvrage inégalé sur l'astronomie mathématique, avait renoncé à une tâche semblable ; cf. [30] p. 444-447.

283. On a suivi l'interprétation des méthodes de Ptolémée donnée dans [21] et [41].

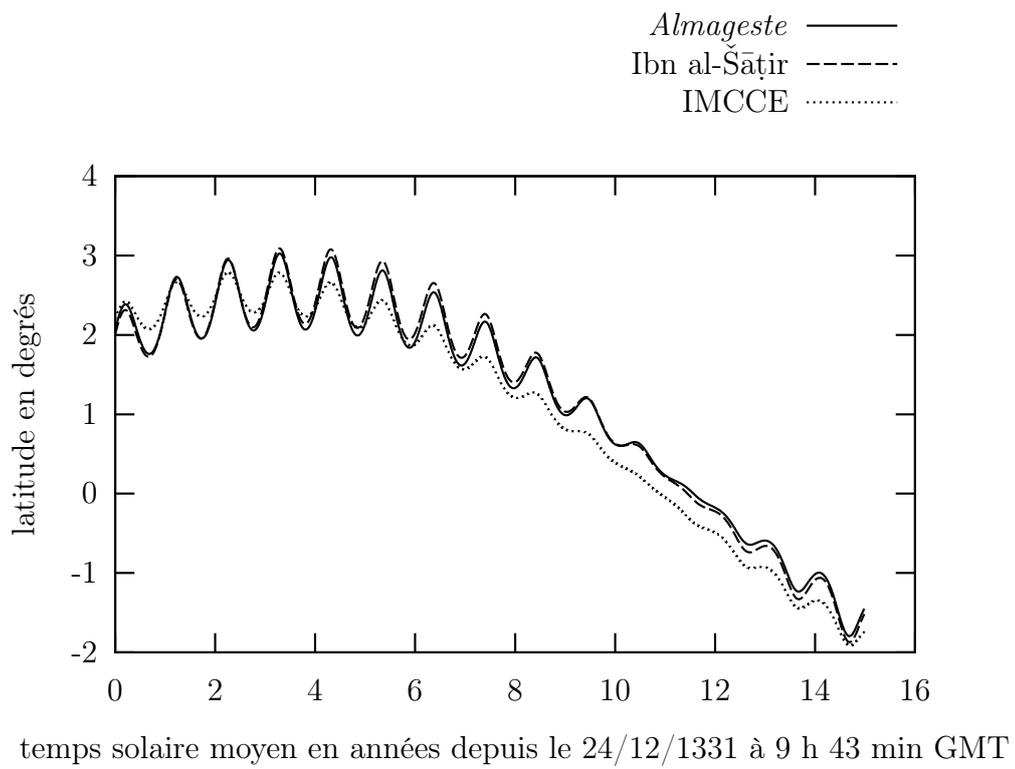


FIGURE 29 – Latitudes de Saturne sur quinze ans, à partir de l'Époque

début du Lion, à  $115^\circ$  du point vernal, en 1339 ap. J.-C. *i. e.* à  $t = 8$  ans de l'Époque, quand l'Apogée de Saturne est à  $254;52 + 8 \times 0;1 = 255^\circ$  du point vernal<sup>284</sup>; on aurait alors  $\lambda_\Omega = \lambda_A - 140$  comme l'affirmait déjà Ptolémée 1200 ans auparavant. C'est la valeur que nous avons adoptée dans le commentaire ci-dessus. Hélas, l'élongation nœud-Apogée 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 figure 29, près du nœud ascendant. Nous en concluons qu'Ibn al-Šāṭir n'a pas cherché à corriger la valeur donnée par Ptolémée en confrontant son modèle en latitude avec l'observation directe pour Saturne<sup>285</sup>. Il semble néanmoins l'avoir fait pour Jupiter : au même endroit, il affirme que, pour Jupiter,  $\lambda_\Omega = \lambda_A - 70 = 181 - 70 = 111$ , valeur coïncidant avec celle donnée par Ptolémée, mais il ajoute plus loin<sup>286</sup> que "d'après ses propres observations"  $\lambda_\Omega = \lambda_A - 62$ . Enfin, pour Mars, il ne mentionne pas la valeur donnée par Ptolémée<sup>287</sup> et il affirme simplement que  $\lambda_\Omega = \lambda_A - 90 = 138 - 90 = 48$ .

Comme l'a montré Swerdlow<sup>288</sup>, 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 :

- Dans le référentiel héliocentrique, le diamètre de l'épicycle indique la direction Soleil-Terre. Le plan de l'épicycle devrait donc toujours rester parallèle à l'écliptique<sup>289</sup>, 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.

---

284. Cf. p. 217 *supra*.

285. Lire  $5^\circ$  après le début du Lion, *i. e.* à  $125^\circ$  du point vernal, conduirait à un désaccord encore plus grand avec d'hypothétiques observations du temps d'Ibn al-Šāṭir.

286. Cf. p. 225 *supra*.

287. Selon Ptolémée, pour Mars,  $\lambda_\Omega = \lambda_A - 85^\circ 30'$ .

288. Cf. [41] p. 47.

289. à peu près, car Soleil moyen  $\simeq$  Soleil vrai.

$\overrightarrow{P_3P_4}$	Saturne 5; 7, 30 <b>j</b>	Jupiter 4; 7, 30 <b>j</b>	Mars 9 <b>j</b>
$\overrightarrow{P_4P_5}$	-1; 42, 30 <b>j</b>	-1; 22, 30 <b>j</b>	-3 <b>j</b>
$\overrightarrow{P_5P}$	6; 30 <b>j</b>	11; 30 <b>j</b>	39; 30 <b>j</b>
$(\mathbf{j}, \mathbf{u})$	-140°	-62°	-90°
$\bar{\lambda}(0)$	157; 58, 20	272; 6, 10	292; 0, 0
$\dot{\bar{\lambda}}$ , 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	$R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'}$	$R_{P_2, \mathbf{u}, 1^\circ 30'}$	$R_{P_2, \mathbf{u}, 1^\circ}$
inclinaison du déférent	$R_{P_3, \mathbf{u}, -3^\circ 30'}$	$R_{P_3, \mathbf{u}, -2^\circ}$	$R_{P_3, \mathbf{u}, -1^\circ 37' 30''}$
inclinaison du rotateur	$R_{P_4, \mathbf{v}, -1^\circ}$	$R_{P_4, \mathbf{v}, -0^\circ 30'}$	$R_{P_4, \mathbf{v}, -0^\circ 37' 30''}$

TABLE 2 – Synopsis des paramètres utilisés par Ibn al-Šāṭir pour les planètes supérieures

### Les longitudes des planètes supérieures chez Ṭūsī, ‘Urḏī et Shīrāzī

Le modèle de Ṭūsī pour les planètes supérieures comprend sept orbes<sup>290</sup>. Sur la figure initiale (fig. 30),  $P_1$  est le centre du parécliptique,  $P_2$  le centre de l'orbe incliné,  $P_3$  le centre d'un orbe déférent 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 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 :<sup>291</sup>

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_2P_3} &= 2e \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_3P_4} &= 60 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_4P_5} &= \overrightarrow{P_5P_6} = -\frac{e}{2} \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_7P} &= 6; 30 \mathbf{j}\end{aligned}$$

Ṭūsī adjoint trois orbes supplémentaires pour rendre compte des mouvements en latitude au moyen d'un "couple de Ṭūsī curviligne"<sup>292</sup>; on les négligera ici. Les rotations décrivant le mouvement en longitude de chaque planète supérieure selon Ṭūsī sont alors :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, -2\bar{\kappa}} R_{P_6, \bar{\kappa}} R_{P_7, \bar{\alpha}}.$$

290. Cf. [2] II.11[10], p. 208.

291. Pour Mars et Jupiter, on a le même modèle que Saturne, seuls  $e$  et  $P_7P$  diffèrent.

292. Cf. [2] II.11[19], p. 218-220.

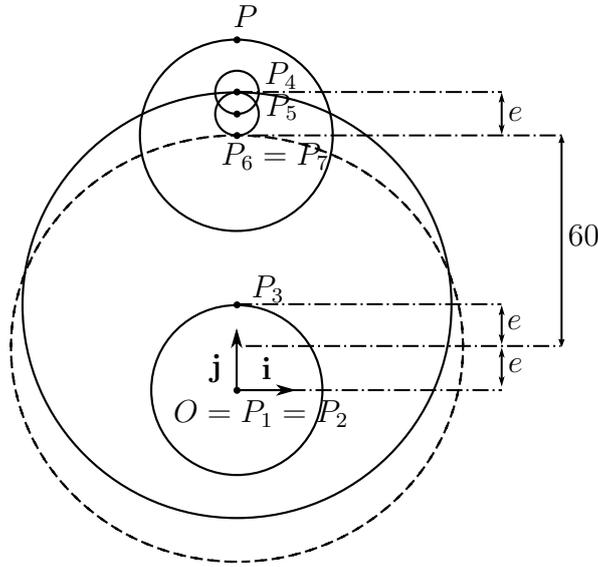


FIGURE 30 – Saturne, al-Ṭūsī, figure initiale

On aura remarqué que la “petite” et la “grande” sphère constituent un couple de 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 de ‘Urḍī pour les planètes supérieures comprend cinq orbes dont les centres sont :<sup>293</sup>  $O = P_1 = P_2$  le centre du Monde,  $P_3$  le centre du déférent que Shīrāzī 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 :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_2 P_3} &= \frac{3e}{2} \mathbf{j} = 5; 7, 30 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_3 P_4} &= 60 \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_4 P_5} &= -\frac{e}{2} \mathbf{j} \\ \overrightarrow{P_5 P} &= 6; 30 \mathbf{j} \end{aligned}$$

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 Shīrāzī proposer un modèle strictement équivalent au modèle de Ṭūsī sans couple curviligne, assez différent du modèle erroné

293. Cf. [35], et [27] p. 119-122.

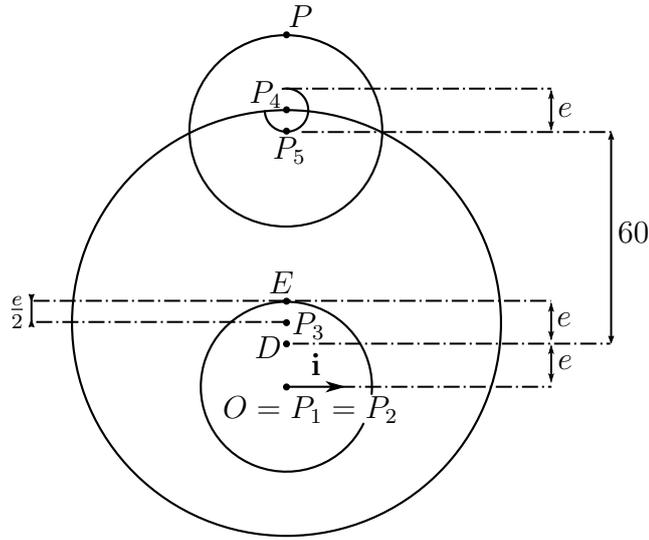


FIGURE 31 – Saturne, al-‘Urđī, figure initiale

qu’offrait ‘Urđī dans son *Kitāb al-hay’a*. Pour les planètes supérieures, Shīrāzī semble avoir hésité, dans les années 1281-1285, entre un modèle fondé sur un “principe conjectural” et le modèle de ‘Urđī (ou un modèle équivalent) fondé sur un “principe déductif”. Ma connaissance des trois ouvrages écrits par Shīrāzī dans ces années-là<sup>294</sup> s’appuie sur les travaux de Saliba, Gamini-Masoumi et Niazi ; il me faudra 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 *Tadhkira* de Ṭūsī et les *Ikhtiyārāt-i muzaffarī* comme un auto-commentaire de la *Nihāya al-idrāk*, bien que les deux ouvrages aient été rédigés presque simultanément<sup>295</sup>. Il n’est donc pas surprenant que Shīrāzī reprenne la structure du traité de Ṭūsī dans sa *Nihāya al-idrāk* et y décrive d’abord le modèle de Ptolémée pour les planètes supérieures<sup>296</sup>. Puis, dans son chapitre sur les latitudes, comme l’avait fait Ṭūsī avec son couple de Ṭūsī, Shīrāzī propose un nouveau modèle<sup>297</sup>. Ce modèle est aussi décrit dans les *Ikhtiyārāt* où Shīrāzī explique pourquoi il le

294. Les *Ikhtiyārāt-i muzaffarī*, la *Nihāya al-idrāk* et la *Tuhfa al-shāhīya*. Cf. [27], [7], [20].

295. C. [20] p. 213.

296. *Nihāya al-idrāk*, livre 2, chapitre 8. Cf. [20] 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 [7].

297. Cf. [20] p. 151. Il serait intéressant d’étudier le comportement du modèle de Shīrāzī pour les latitudes.

préfère au modèle de ‘Urḏī<sup>298</sup> : dans le modèle de ‘Urḏī, la trajectoire du centre de l’épicycle dans le plan de l’orbe incliné n’est pas exactement un cercle<sup>299</sup>, mais c’en est bien un dans le nouveau modèle de Shīrāzī. Dans les *Ikhtiyārāt*, Shīrāzī utilise les termes “déductif” et “conjectural” pour marquer l’opposition entre les deux modèles<sup>300</sup>. 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 de ‘Urḏī! La *Tuḥfa*, au dire de Niazi, reflète sûrement son choix définitif, et on y trouve le modèle suivant. C’est le seul que nous retiendrons 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 fléchisseur<sup>301</sup> ;

298. Cf. [20] p. 203-204.

299. On retrouve évidemment le même défaut dans le modèle de Ṭūsī, comme nous l’avons déjà remarqué pour la Lune (cf. la courbe en pointillés, fig. 19 p. 436 *supra*).

300. Le “principe déductif”, *istinbāṭī*, désigne le dispositif à l’œuvre dans le modèle de ‘Urḏī, et le “principe conjectural”, *ḥadsī*, désigne celui à l’œuvre dans le nouveau modèle de Shīrāzī. À cette occasion, il utilise aussi un troisième terme, “innovant”, *ibdā’ī*, pour désigner un principe que Niazi n’a pas su expliquer (cf. [20] note 52 p. 138). Ce terme se rapporte peut-être aux dispositifs utilisés pour décrire les mouvements en latitude, puisque Ibn al-Šāṭir en parle ainsi dans la *Nihāya al-Sūl* (p. 43 *supra*) :

“Le principe qu’il a nommé l’invention (*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 *Tuḥfa* ([20] p. 159).

301. Nous traduisons ainsi *mumayyil* ; cet orbe est responsable de l’inclinaison variable de la ceinture de l’épicycle.

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 inclinaison constante.”<sup>302</sup>

Les centres des orbes dans le modèle de la *Tuhfa* sont :  $O = P_1$  centre du parécliptique,  $P_3$  centre d'un "déférént corporel",  $P_4$  centre de l'orbe "englobant",  $P_5$  centre d'un orbe "fléchisseur",  $P_6 = P_5$  centre de l'épicycle, et  $P$  centre du globe planétaire. On notera  $D$  le centre du "déférént imaginaire" qui n'est autre que le centre de la trajectoire approximativement circulaire du point  $P_5$  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 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 de 'Urđī. Si Shīrāzī 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 Maragha d'avoir déplacé le centre du déférent concentrique que Ptolémée avait posé au milieu entre le centre du Monde et le point équant ("bissektion de l'excentricité"), Shīrāzī tente d'abord de justifier par des arguments issus de l'observation le choix fait par Ptolémée. Gamini et Masoumi ont récemment analysé cette intéressante réflexion sur

302. Notre traduction. Cf. manuscrit Arabe 2516 à la Bibliothèque Nationale de France ; chapitre 11, f. 45v.

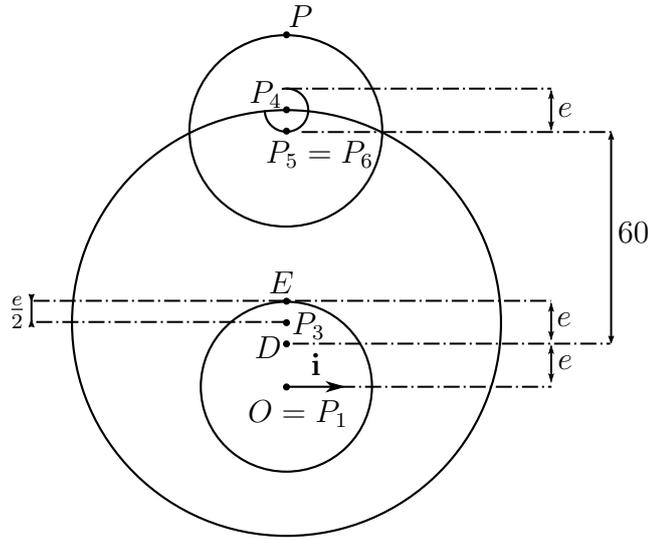


FIGURE 32 – Saturne, Shīrāzī, figure initiale

les “arcs rétrogrades”<sup>303</sup>. Ce faisant, Shīrāzī caractérise le centre du déférent 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 étant le point autour duquel le mouvement du centre de l’épicycle a une vitesse angulaire constante. Dans tous les modèles des astronomes de Maragha 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 de ‘Urḏī et de Shīrāzī, ce sont les points  $E$  et  $D$  sur nos figures 31 et 32.

En fait le modèle de ‘Urḏī (et donc aussi celui de Shīrāzī) est strictement équivalent au modèle de Ṭūsī. Partons en effet du modèle de ‘Urḏī 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. 31.  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  désigneront les centres des orbes dans la figure initiale de ‘Urḏī, et  $\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \tilde{P}_3, \tilde{P}_4, \tilde{P}_5, \tilde{P}_6, \tilde{P}_7$  désigneront

303. Le passage correspondant de la *Nihāya al-idrāk* et des *Ikhtiyārāt* est aussi étudié dans [20] p. 195-200, mais Niazi a une interprétation légèrement différente de celle de [7]. À ses yeux il faut voir dans tout ce passage une tentative de justifier la préférence pour les deux modèles de ‘Urḏī et de Shīrāzī vis-à-vis d’éventuels contradicteurs qui souhaiteraient revenir à Ptolémée ; aux yeux de Gamini-Masoumi ([7] p. 51) il s’agit plutôt de justifier le refus du modèle de ‘Urḏī.

les centres des orbes dans la figure initiale d'al-Ṭūsī. On a :

$$O = P_1 = P_2 = \tilde{P}_1 = \tilde{P}_2, \quad \overrightarrow{P_3\tilde{P}_3} = \frac{e}{2}\mathbf{j}, \quad P_4 = \tilde{P}_5,$$

$$P_5 = \tilde{P}_6 = \tilde{P}_7, \quad \overrightarrow{P_4\tilde{P}_4} = \frac{e}{2}\mathbf{j}.$$

Alors :

$$\begin{aligned} R_{P_3,\bar{\kappa}} R_{P_4,\bar{\kappa}} R_{P_5,\bar{\alpha}-\bar{\kappa}} &= (R_{P_3,\bar{\kappa}} R_{P_4,-\bar{\kappa}}) R_{P_4,2\bar{\kappa}} R_{P_5,\bar{\alpha}-\bar{\kappa}} \\ &= R_{\tilde{P}_3,\bar{\kappa}} (R_{\tilde{P}_4,-\bar{\kappa}} R_{P_4,2\bar{\kappa}} R_{P_5,\bar{\alpha}-\bar{\kappa}}) \quad (\text{proposition 1}) \\ &= R_{\tilde{P}_3,\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_4,\bar{\kappa}} R_{P_4,-2\bar{\kappa}} R_{P_5,\bar{\alpha}+\bar{\kappa}} \quad (\text{proposition 3}) \\ &= R_{\tilde{P}_3,\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_4,\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_5,-2\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_6,\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_7,\bar{\alpha}}. \end{aligned}$$

Enfin, pour les longitudes des planètes supérieures, le modèle d'Ibn al-Šāṭir est équivalent aux modèles des trois savants de Maragha. En effet, notons toujours  $P_i$  les centres des orbes dans la figure initiale de 'Urḍī, mais notons à présent  $\tilde{P}_i$  les centres des orbes d'Ibn al-Šāṭir. On a :

$$O = P_1 = P_2 = \tilde{P}_1 = \tilde{P}_2, \quad P_4 = \tilde{P}_4, \quad P_5 = \tilde{P}_5, \quad P = \tilde{P}.$$

Comme  $\overrightarrow{\tilde{P}_2\tilde{P}_3} = \overrightarrow{P_3P_4}$ , en vertu de la proposition 1 :

$$\begin{aligned} R_{P_3,\bar{\kappa}} R_{P_4,\bar{\kappa}} R_{P_5,\bar{\alpha}-\bar{\kappa}} &= (R_{P_3,\bar{\kappa}} R_{P_4,-\bar{\kappa}}) R_{P_4,2\bar{\kappa}} R_{P_5,\bar{\alpha}-\bar{\kappa}} \\ &= R_{\tilde{P}_2,\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_3,-\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_4,2\bar{\kappa}} R_{\tilde{P}_5,\bar{\alpha}-\bar{\kappa}} \end{aligned}$$

Une démonstration plus intuitive, au moyen d'une figure géométrique, circule beaucoup dans la littérature secondaire depuis Kennedy<sup>304</sup>. Nous l'avons reproduite, fig. 33 p. 462.

**Sections planes des orbes solides de Saturne** Les sections planes des orbes solides de Saturne sont représentées à la figure 34 qui respecte à peu près les ordres de grandeurs sauf pour  $OP_3$ . Les rayons sont :

rayon du globe planétaire =  $r$

rayon de l'orbe de l'épicycle =  $6;30 + r$

rayon du rotateur =  $1;42,30 + 6;30 + r = 8;12,30 + r$

rayon du déférent =  $5;7,30 + 1;42,30 + 6;30 + r = 13;20 + r$

rayon extérieur du l'orbe incliné =  $60 + 5;7,30 + 1;42,30 + 6;30 + r = 73;20 + r$

rayon intérieur de l'orbe incliné =  $60 - (5;7,30 + 1;42,30 + 6;30 + r) = 46;40 - r$

épaisseur du parécliptique =  $0;40$

---

304. Cf. [12] p. 367.

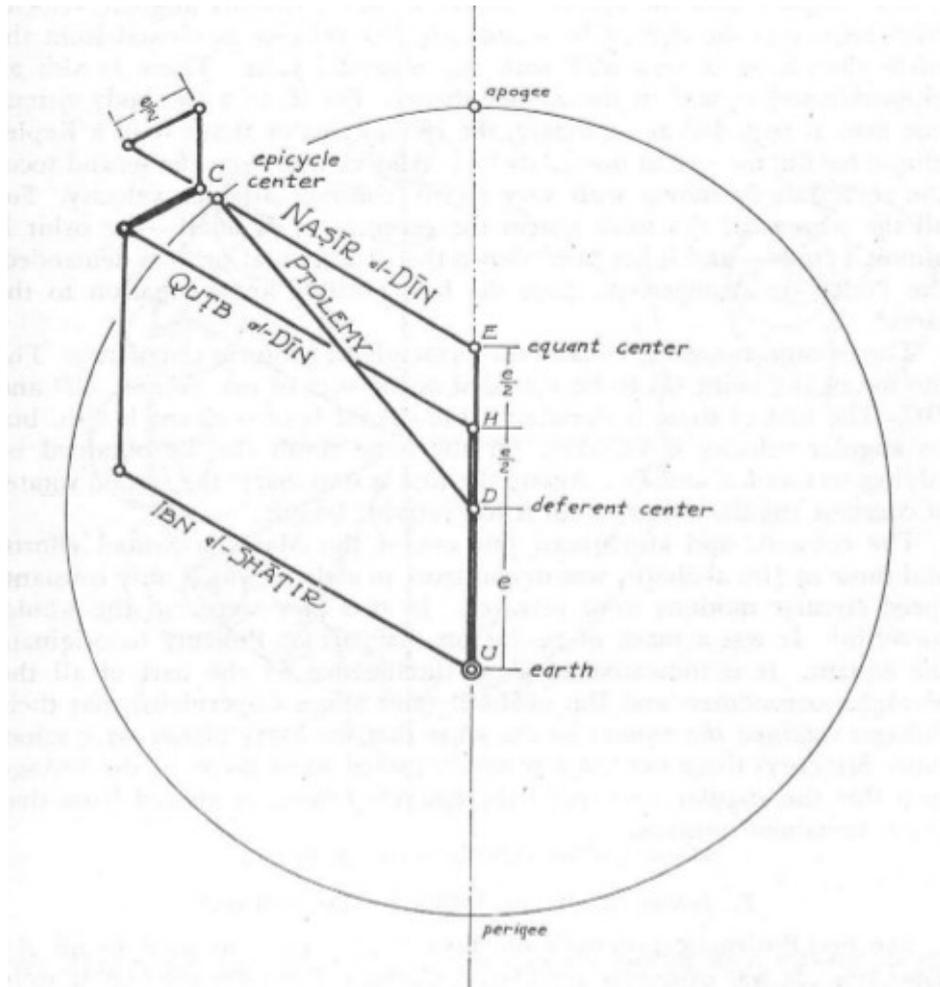


FIGURE 33 – Démonstration d'équivalence entre les modèles en longitude de divers savants, selon Kennedy [12] p. 367

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 parts."<sup>305</sup>

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 *Nihaya*, et il suivra le même procédé pour les quatre autres planètes.

### Les orbes solides de Jupiter

rayon du globe planétaire =  $r$

rayon de l'orbe de l'épicycle =  $11; 30 + r$

rayon du rotateur =  $1; 22, 30 + 11; 30 + r = 12; 52, 30 + r$

rayon de déferent =  $4; 7, 30 + 1; 22, 30 + 11; 30 + r = 17 + r$

rayon extérieur de l'orbe incliné =  $60 + 4; 7, 30 + 1; 22, 30 + 11; 30 + r = 77 + r$

rayon intérieur de l'orbe incliné =  $60 - (4; 7, 30 + 1; 22, 30 + 11; 30 + r) = 43 - r$

épaisseur du parécliptique = 1

---

305. Cf. p. 151 *supra*. 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.

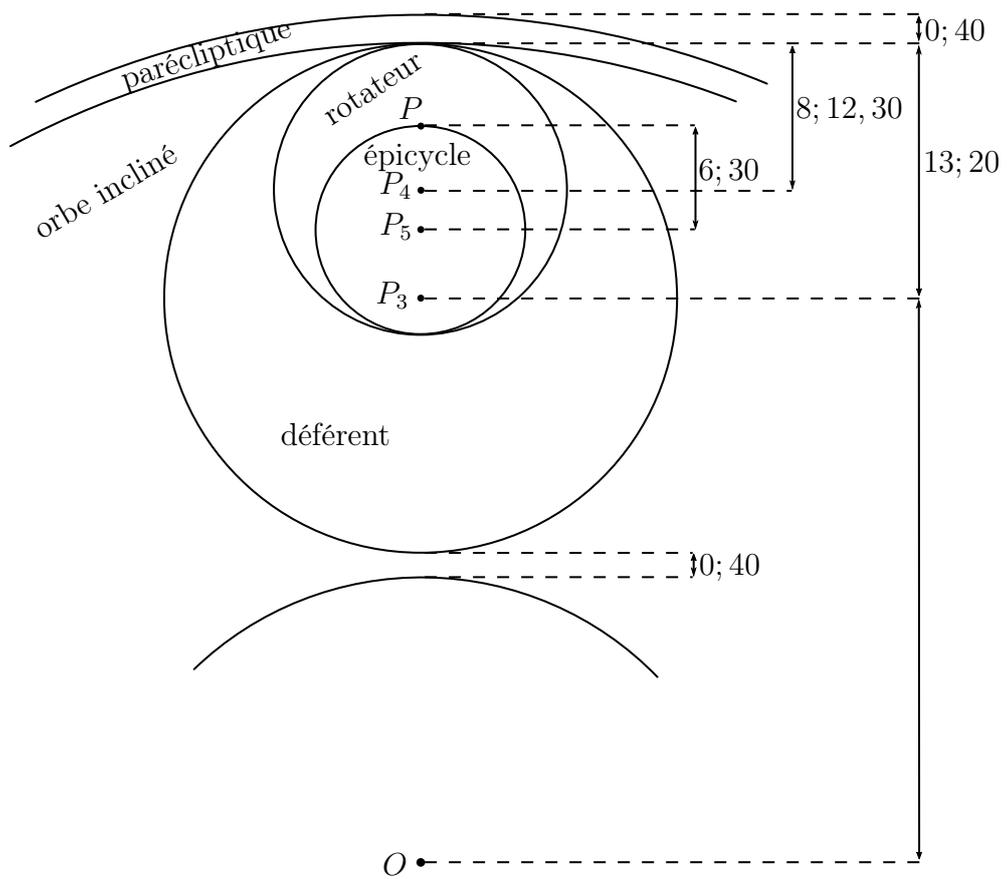


FIGURE 34 – Saturne, orbes solides

## Les orbres solides de Mars

rayon du globe planétaire =  $r$   
rayon de l'orbe de l'épicycle =  $39; 30 + r$   
rayon du rotateur =  $3 + 39; 30 + r = 42; 30 + r$   
rayon du déferent =  $9 + 3 + 39; 30 + r = 51; 30 + r$   
rayon extérieur de l'orbe incliné =  $60 + 9 + 3 + 39; 30 + r = 111; 30 + r$   
rayon intérieur de l'orbe incliné =  $60 - (9 + 3 + 39; 30 + r) = 8; 30 - r$   
épaisseur du parécliptique =  $0; 30$

**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 :

“Le rapprochement de la ceinture de l'épicycle et de la ceinture de l'orbe incliné, sans un mobile qui ne perturbe les mouvements en longitude, dans l'astronomie classique de l'*Almageste* et des *Hypothèses* concernant les corps mûs en latitude, est impossible. Ce dont se sont efforcés Ptolémée et ses successeurs comme Ibn al-Haytham dans son *Épître*, Naṣīr al-Ṭūsī dans sa *Tadhkira*, Mu'ayyad al-'Urḍī dans son *Astronomie*, Quṭb al-Shīrāzī dans sa *Muntaha '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.”<sup>306</sup>

À cette critique s'en ajoutera une seconde ; mais il faut déjà comprendre la première.

Pour expliquer l'oscillation du plan de l'épicycle<sup>307</sup>, 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 inclination est constante dans Saturne, Jupiter et Mars [...]”

---

306. Cf. p. 219 *supra*.

307. 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  $i_1 = 2^\circ 30'$ . Cf. [41] p. 43.

“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 périégées, 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 objecte pas à ces hypothèses, qu’elles sont trop difficiles à saisir [...]”<sup>308</sup>

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 difficile<sup>309</sup>, al-Ḥasan Ibn al-Ḥasan Ibn al-Haytham a précisé le modèle de Ptolémée dans un texte aujourd’hui perdu sur *Le mouvement d’enroulement*, probablement antérieur à son traité sur *La configuration des mouvements*. C’est sûrement à ce texte qu’Ibn al-Šāṭir fait allusion. Heureusement pour nous, al-Ṭūsī a décrit dans la *Tadkira* le dispositif conçu par Ibn al-Haytham<sup>310</sup> : il s’agit d’adjoindre à l’épicycle deux orbes ou sphères homocentriques comme sur la figure 35, 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  $\mathbf{j}$  de la seconde sphère. Le mouvement de rotation de la première sphère autour de son axe  $\mathbf{t}$  aura pour effet de faire “osciller” la direction du vecteur  $\mathbf{j}$  autour du vecteur  $\mathbf{t}$ . Le rôle du mouvement de rotation de la seconde sphère autour de  $\mathbf{j}$  est, comme pour la troisième sphère d’un couple de 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  $\mathbf{t}$ . 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 nous faut

---

308. Cf. [23], chap. XIII.2. Nos italiques ; nous adoptons ici la traduction française de Halma.

309. Ibn al-Haytham renonce à ce calcul dans sa *Configuration des mouvements*, cf. [30] p. 444-447.

310. Cf. [2] II.11 [16].

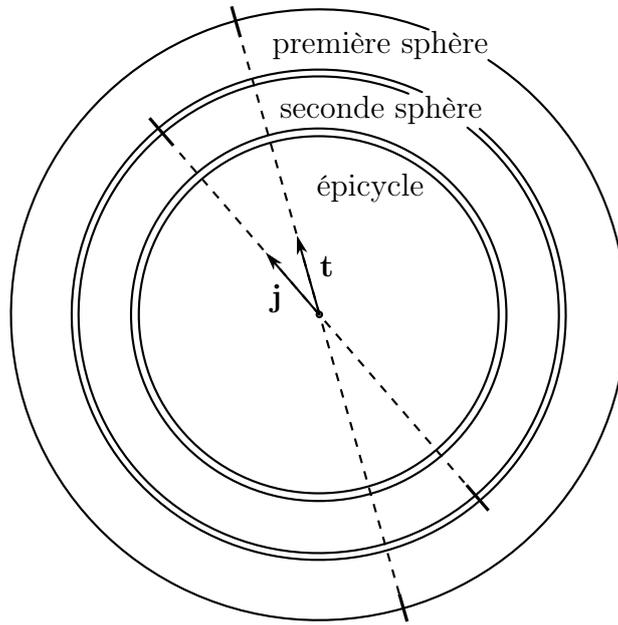


FIGURE 35 – Ibn al-Haytham’s *Ittifāf*, according to al-Ṭūsī

donc deviner.

Naïvement, plaçons l’axe de la première l’axe de la première sphère, c’est-à-dire le vecteur  $\mathbf{t}$ , dans le plan de la figure initiale (notre fig. 30 p. 456), et fixons ses pôles dans la “sphère englobante”. Le modèle de Ṭūsī auquel on adjoint les deux orbes d’Ibn al-Haytham contient maintenant neuf orbes<sup>311</sup> :

- 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-Haytham en  $P_7$  et  $P_8$ , où  $P_8 = P_7 = P_6$ ,
- 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 :

311. Voir notre fig. 36 p. 468, figure plane qui, bien sûr, n’est plus suffisante pour décrire la configuration initiale des orbes.

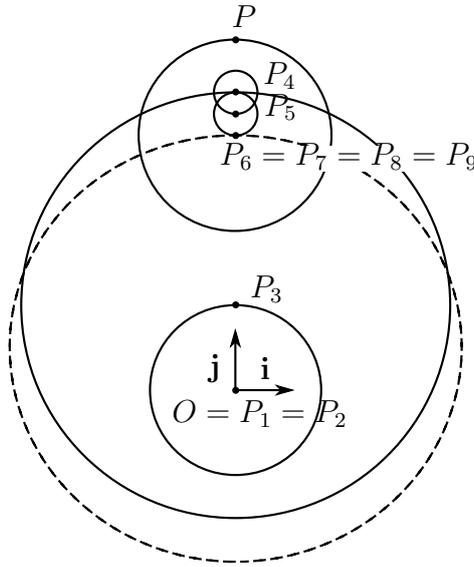


FIGURE 36 – Saturne d’après la *Tadkira* II.11[16]

“Les petits cercles mentionnés, en entraînant des inclinaisons latitudinales, causent aussi des inclinaisons en longitude, et les positions des apogées et des périgées sont donc différents de ce qu’elles devraient être quant aux points avec lesquels ils devraient être alignés.”<sup>312</sup>

Dans sa première critique, Ibn al-Šāṭir ne fait que répéter celle qu’al-Ṭūsī adresse au modèle de Ptolémée précisé par Ibn al-Haytham, et il ajoute que ni al-Ṭūsī, ni ‘Urḏī, ni Shīrāzī 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-Haytham par *deux* sphères homocentriques (cf. figure 37). L’épicycle est toujours contenu dans la seconde sphère d’Ibn al-Haytham, 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  $P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = P_{10}$  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 de 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-Haytham est une courbe fermée qu’al-Ṭūsī pensait pouvoir assimiler à un

312. Cf. [2] II.11 [15].

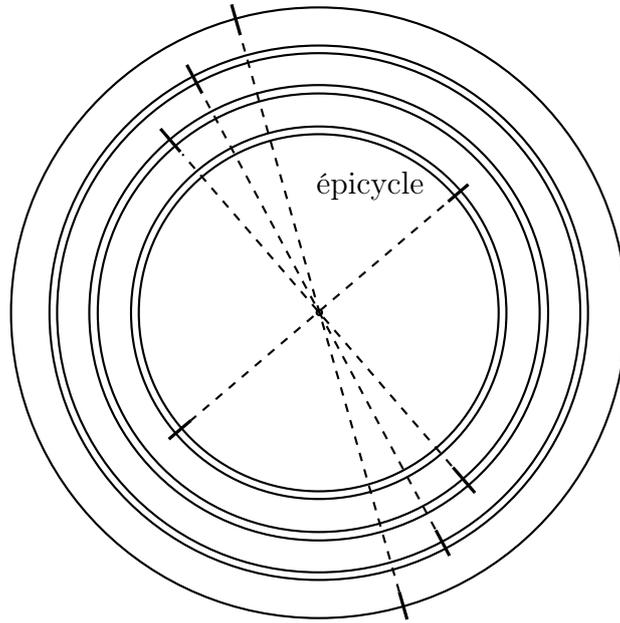


FIGURE 37 – Le couple curviligne de Ṭūsī pour les latitudes

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 oscillatoire<sup>313</sup>.

Comment insérer ce dispositif dans le modèle d’al-Ṭūsī pour Saturne ? Comme on l’a fait pour le dispositif d’Ibn al-Haytham, 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-Haytham et  $\mathbf{w}$  est l’axe de la “petite sphère”. La composée de rotations décrivant le mouvement de Saturne est alors :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, -2\bar{\kappa}} R_{P_6, \bar{\kappa}} T R_{P_{10}, \mathbf{i}, -4^\circ 30'} R_{P_{10}, \bar{\alpha}}$$

où  $T = R_{P_7, \mathbf{j}, \bar{\kappa} + 50^\circ} R_{P_8, \mathbf{w}, -2(\bar{\kappa} + 50^\circ)} R_{P_9, \mathbf{v}, \bar{\kappa} + 50^\circ}$  est le “couple curviligne” des trois sphères additionnelles.

313. Ragep l’explique très bien, *cf.* [2] fig. C26 et note 54 p. 455.

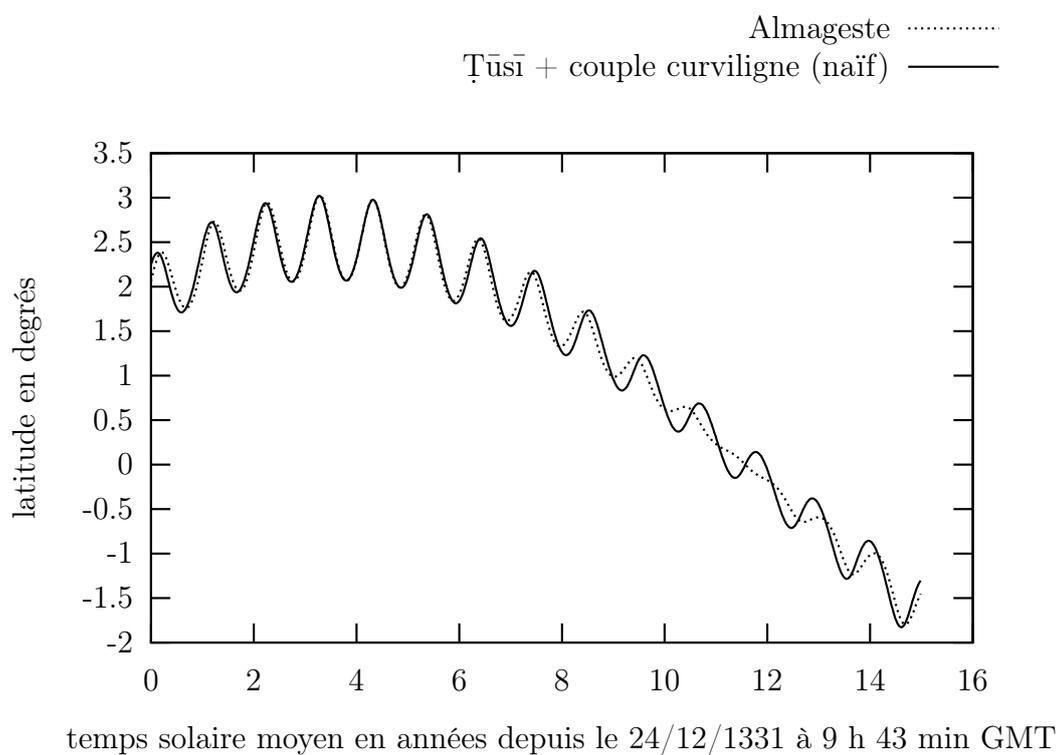


FIGURE 38 – Interprétation naïve de la solution d’al-Ṭūsī utilisant son “couple curviligne” pour les latitudes de Saturne

Pour Saturne dont l'épicycle est petit, la solution d'Ibn al-Haytham 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 38. Et pour cause : nous avons, "naïvement", fixé les pôles de la plus grande des deux ou trois sphères additionnelles dans le plan de l'orbe 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-Haytham 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*"<sup>314</sup>. Il faut donc penser que les axes des deux sphères d'Ibn al-Haytham devraient être inclinés de  $2^{\circ}$  l'un par rapport à l'autre, puisque l'épicycle est incliné de  $2^{\circ}$  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  $\pm 2^{\circ}$  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 :

"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-Shīrāzī – ont pensé que la latitude s'annulait quand c'est le plan de l'orbe incliné : c'est impossible [...]"<sup>315</sup>

En effet, la solution dont nous avons tracé le graphe fig. 38, bien que naïve,

---

314. *Tadkira* [2] 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*" (*Tadkira* II.11[14]).

315. Cf. p. 223 *supra*.

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 orbites pour garantir l'existence d'un tel plan dans le solide de l'orbite englobant. Il faudrait par exemple incliner, une fois pour toutes, le plan et l'axe de l'orbite englobant par rapport à ceux du déférent. On aurait alors la composée de rotations suivante, toujours en accord avec les notations de la p. 468 ci-dessus :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \mathbf{u}, 2^\circ 30'} R_{P_3, \bar{\kappa}} R_{P_4, \bar{\kappa}} R_{P_5, -2\bar{\kappa}} R_{P_6, \mathbf{u}, -2^\circ 30'} R_{P_6, \bar{\kappa}} T R_{P_{10}, \mathbf{i}, -4^\circ 30'} R_{P_{10}, \bar{\alpha}}$$

où, comme ci-dessus,

$$T = R_{P_7, \mathbf{j}, \bar{\kappa} + 50^\circ} R_{P_8, \mathbf{w}, -2(\bar{\kappa} + 50^\circ)} R_{P_9, \mathbf{v}, \bar{\kappa} + 50^\circ},$$

mais ici  $\mathbf{v} = \cos(2^\circ)\mathbf{j} - \sin(2^\circ)\mathbf{k}$  et  $\mathbf{w} = \cos(1^\circ)\mathbf{j} - \sin(1^\circ)\mathbf{k}$ . Une telle modification rend l'adéquation avec les prédictions ptoléméennes presque parfaite<sup>316</sup>.

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'adjoindre 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 est aussi très proche des prédictions ptoléméennes ; il est donc plus intéressant de comparer les deux modèles aux éphémérides modernes comme nous l'avons fait à la figure 39.

Qu'en conclure ? Au moins dès le XI<sup>ème</sup> siècle avec Ibn al-Haytham, 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 Maragha 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-Haytham 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

316. Une correction semblable s'appliquerait aussi aisément au dispositif d'Ibn al-Haytham de la fig. 35.

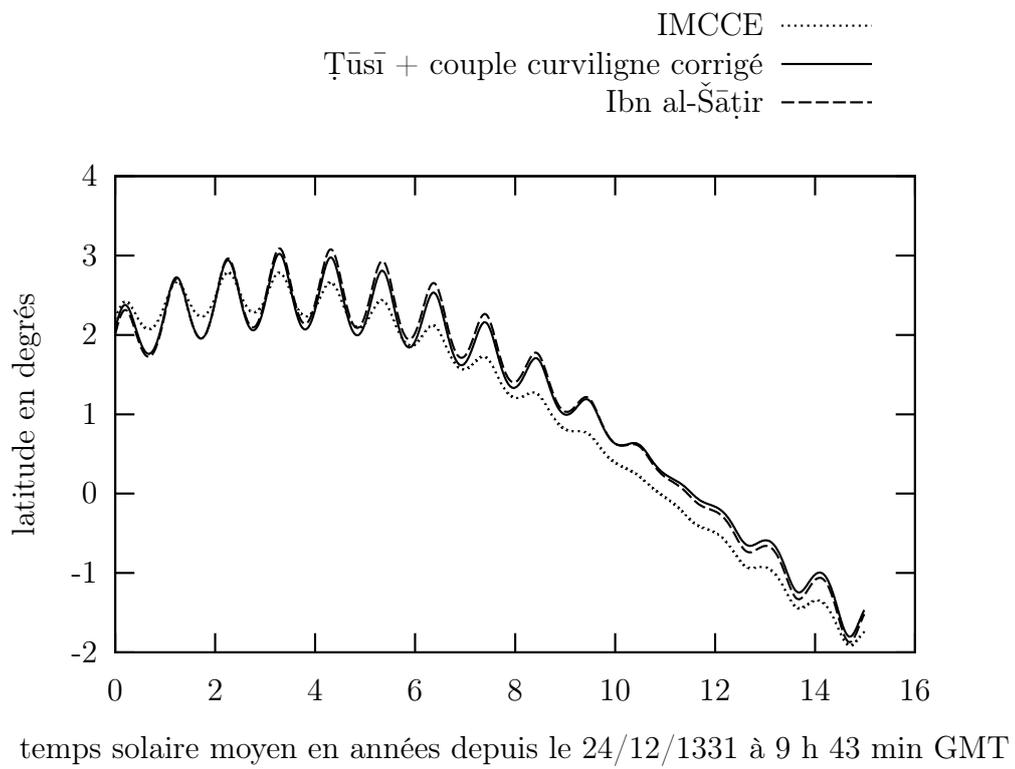


FIGURE 39 – Comparaison des modèles en latitude pour Saturne

identifier  $P_3$  et  $P_4$  dans ses explications, et sur une de ses figures. On pourra comparer la figure originale p. 227 à notre fig. 27 p. 448 où nous distinguons  $P_3$  et  $P_4$ . Eu égard au fait que  $P_3P_4$  est petit devant les rayons de l'épicycle et de l'excentrique, cette approximation peut se justifier. 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 déjà valeur de paradigme dans les théories planétaires. C'est en inclinant les axes de plusieurs orbes non homocentriques qu'Ibn al-Šāṭir semble accomplir un geste nouveau.

**Vénus : figure initiale** La figure initiale pour Vénus est analogue à celle de Saturne (*cf.* fig. 26 p. 446), sauf quant aux rayons des orbes et à la position de la ligne des nœuds. La ligne des nœuds, à l'intersection des plans de l'orbe incliné 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

$$\overrightarrow{P_3P_4} = 1; 41\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_4P_5} = -0; 26\mathbf{j}, \quad \overrightarrow{P_5P} = 43; 33\mathbf{j}.$$

**Vénus : 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 25 de la *Nihāya* est assez différente. Voici la liste complète des rotations utilisées dans les chapitres 19 (pour les longitudes) et 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 les mouvements de l'orbe parécliptique et de l'orbe incliné 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 déferent et devient :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \mathbf{i}, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}}(P_4).$$

Le point  $P_5$  est aussi entraîné par le mouvement de l'orbe rotateur et devient :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \mathbf{i}, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, \mathbf{i}, -0^\circ 5'} R_{P_4, \mathbf{j}, 3^\circ} R_{P_4, 2\bar{\kappa}}(P_5).$$

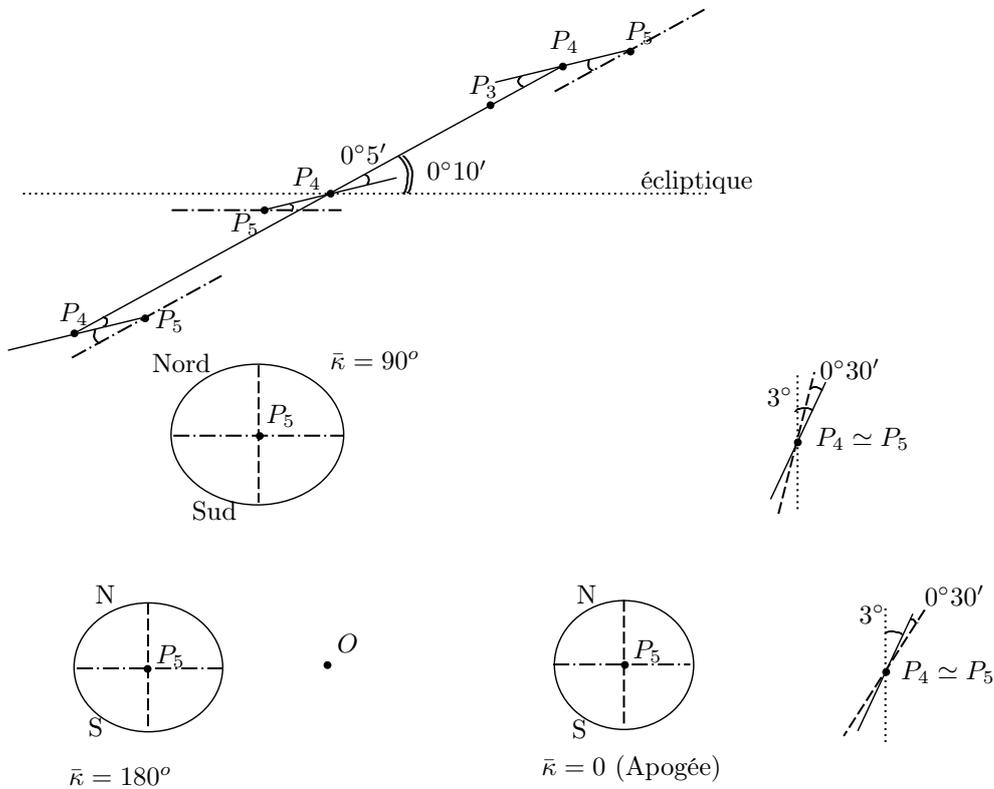


FIGURE 40 – Vénus, trois positions : projections orthogonales

Enfin le point  $P$ , aussi entraîné par l'orbe de l'épicycle, devient :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, i, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, i, -0^\circ 5'} R_{P_4, j, 3^\circ} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, i, 0^\circ 5'} R_{P_5, j, 0^\circ 30'} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}(P).$$

La figure 40 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 déferent reste toujours dans le plan de l'orbe incliné.

**Vénus : trajectoire paramétrée** Le modèle de Vénus est couplé au modèle du Soleil en vertu de la relation suivante :

$$\bar{\kappa} = \bar{\lambda}_\odot - \lambda_A.$$

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 :

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_{\odot}(0) &= 280; 9, 0, & \dot{\bar{\lambda}}_{\odot} &= 359; 45, 40 \text{ par année persane,} \\ \lambda_A(0) &= 77; 52, & \dot{\lambda}_A &= 0; 1 \text{ par année persane,} \\ \bar{\alpha}(0) &= 320; 50, 19, & \dot{\bar{\alpha}} &= 225; 1, 48, 41 \text{ par année persane.}\end{aligned}$$

**Transformations planes et équations de Vénus** Comme nous l'avons 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 :

$$M R_{P_2, \mathbf{a}, 0^\circ 10'}(P')$$

où  $\mathbf{a}$  est l'image de  $\mathbf{i}$  par la rotation  $R_{P_1, \lambda_A}$ , 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 (*cf.* fig. 41) exactement comme pour Saturne :

$$\begin{aligned}P'_3 &= R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}}(P_3), \\ P'_4 &= R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}}(P_4), \\ P'_5 &= R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}}(P_5).\end{aligned}$$

Les équations pour le mouvement en longitude de Vénus sont donc identiques à celles des planètes supérieures (*cf.* p. 449 ci-dessus).

**Vénus : trigonométrie sphérique** On va à présent calculer les coordonnées du point  $R_{P_2, \mathbf{a}, 0^\circ 10'}(P')$  par rapport à l'écliptique. L'angle formé entre le vecteur  $\mathbf{a}$  et la direction du point  $P'$  vaut (modulo  $360^\circ$ ) :

$$(\mathbf{a}, \overrightarrow{OP'}) = \bar{\kappa} + c_1 + c_2 + 90^\circ = \bar{\lambda} - \lambda_{\delta} + c_1 + c_2 = \lambda - \lambda_{\delta}$$

où  $\lambda = \bar{\lambda} + c_1 + c_2$  et  $\bar{\lambda} = \bar{\kappa} + \lambda_A$ , et où  $\lambda_{\delta} = \lambda_A - 90^\circ$  est la longitude du nœud ascendant sur l'écliptique, toujours situé  $90^\circ$  avant l'Apogée. Comme on l'a

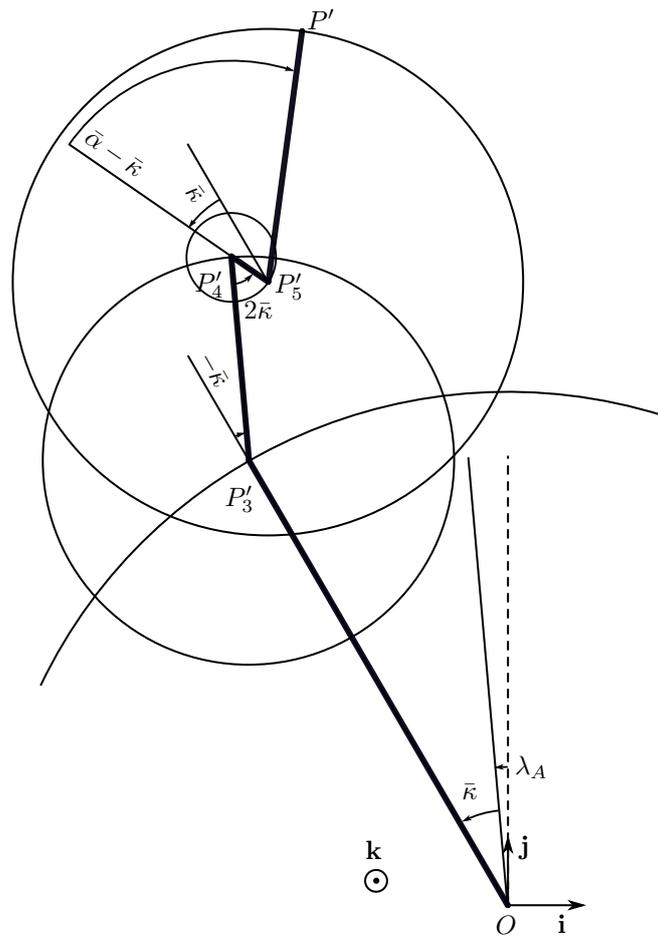


FIGURE 41 – Les orbites de Vénus à un instant  $t$

montré pour Saturne, on trouve que la longitude du point  $R_{P_2, \mathbf{a}, 0^\circ 10'}(P')$  par rapport à l'écliptique, en prenant la direction du point vernal, c'est-à-dire  $\mathbf{j}$ , comme origine, vaut :

$$\lambda + e_n(\lambda - \lambda_{\check{\Omega}})$$

où l'"équation du déplacement"  $e_n(x)$  est définie comme suit sur l'intervalle  $[-90^\circ, 270^\circ]$ , et ailleurs par périodicité :

$$e_n(x) = \begin{cases} \arctan(\cos(0^\circ 10') \times \tan x) - x, & \text{si } x \in ] - 90^\circ, 90^\circ[ \\ 180^\circ + \arctan(\cos(0^\circ 10') \times \tan x) - x, & \text{si } x \in ]90^\circ, 270^\circ[ \\ 0^\circ, & \text{si } x = \pm 90^\circ. \end{cases}$$

Sa latitude est :

$$\arcsin(\sin(0^\circ 10') \times \sin(\lambda - \lambda_{\check{\Omega}})).$$

**Vénus : 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 ( $3^\circ$  au plus). Elles auront peu d'effet<sup>317</sup>. Dans le chapitre 25, Ibn al-Šāṭir se contente d'une description qualitative de l'effet en latitude de  $M$ .

**Vénus : second modèle** Le modèle que nous avons 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 :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \mathbf{i}, 0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, \mathbf{i}, -0^\circ 5'} R_{P_4, \mathbf{j}, 3^\circ 30'} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, \mathbf{i}, 0^\circ 5'} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}.$$

**Comparaison** À la figure 42, nous donnons les latitudes de Vénus pendant deux ans, à partir de l'Époque choisie par Ibn al-Šāṭir, calculées de quatre 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 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*.

317. Cf. [22] où nous montrons que l'erreur commise en les négligeant est inférieure à  $0^\circ 5'$ .

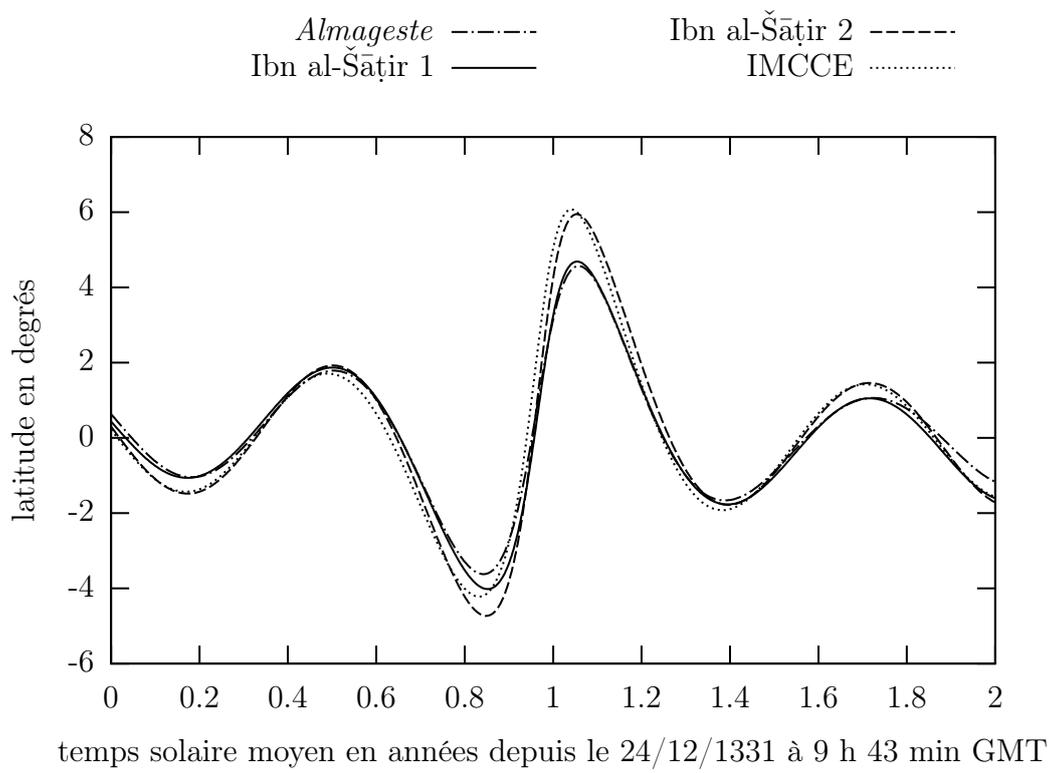


FIGURE 42 – Vénus : comparaison des modèles pour les latitudes

**Les orbres solides de Vénus** La figure est la même que pour les planètes supérieures (figure 34).

rayon du globe planétaire =  $r$   
rayon de l'orbe de l'épicycle =  $43; 33 + r$   
rayon du rotateur =  $0; 26 + 43; 33 + r = 43; 59 + r$   
rayon du déférent =  $1; 41 + 0; 26 + 43; 33 + r = 45; 40 + r$   
rayon extérieur de l'orbe incliné =  $60 + 1; 41 + 0; 26 + 43; 33 + r = 105; 40 + r$   
rayon intérieur de l'orbe incliné =  $60 - (1; 41 + 0; 26 + 43; 33 + r) = 14; 20 - r$   
épaisseur du parécliptique =  $0; 20$

**Le mouvement en longitude de Vénus selon al-Ṭūsī** Le modèle de Naṣir al-Dīn al-Ṭūsī pour les longitudes de Vénus est aussi analogue à son modèle pour les planètes supérieures<sup>318</sup> : sept orbres, dont les centres sont déterminés par les relations suivantes<sup>319</sup>,

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P_7P} &= 43; 10 \mathbf{j}, & \overrightarrow{P_5P_6} &= \overrightarrow{P_4P_5} = -0; 37, 30 \mathbf{j}, & \text{d'où } \overrightarrow{P_4P_6} &= -1; 15 \mathbf{j}, \\ \overrightarrow{P_3P_4} &= 60 \mathbf{j}, & \overrightarrow{P_2P_3} &= 2; 30 \mathbf{j}. \end{aligned}$$

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 selon Ibn al-Šāṭir<sup>320</sup>. 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 récents<sup>321</sup>.

318. Cf. ci-dessus fig. 30. Quitte à bien choisir les paramètres, l'équivalence cinématique entre les modèles d'al-Ṭūsī, al-'Urḏī, al-Shīrāzī et Ibn al-Šāṭir, démontrée p. 461 *supra*,

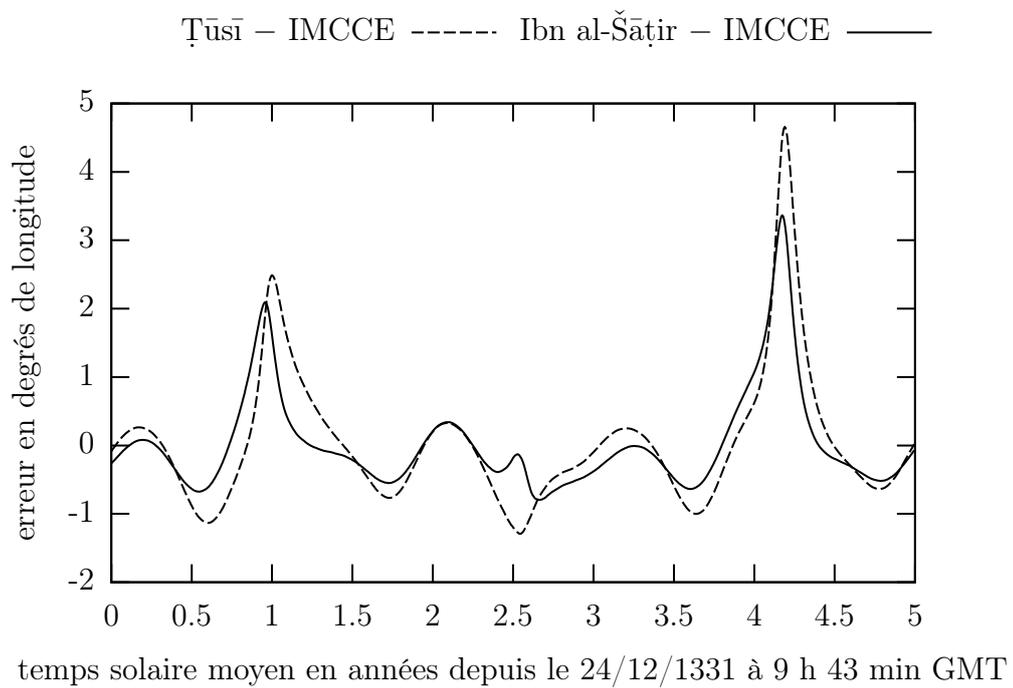


FIGURE 43 – Erreur en longitude des modèles d’Ibn al-Šāṭir et d’al-Ṭūsī pour Vénus

**Comparaison** Pour mieux juger des paramètres adoptés par Ibn al-Šāṭir et al-Ṭūsī, on donne fig. 43 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  $50^\circ$  en coordonnées géocentriques, on a 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 ptoléméennes de l'*Almageste*<sup>322</sup>.

**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 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 de 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 25 sur les latitudes, les inclinaisons des plans des orbes sont de signes contraires à ceux de Vénus.

Sur la figure initiale fig. 44, 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 25. Le premier, censé reproduire les mouvements en

---

vaut aussi pour Vénus.

319. Cf. [2] p. 457.

320. Rappelons en effet que dans le modèle du Soleil d'Ibn al-Šāṭir, si l'on suit les notations de la fig. 5 p. 407 *supra*, le rayon de l'épicycle apparent minimal est  $|P_3P_4| - |P_4P| = 2; 7$ .

321. Cf. [2] p. 146 et 182. Dans [8] p. 64, Kennedy donne les valeurs adoptées par trois autres savants pour l'excentricité de Vénus : al-Birūnī 1; 2, 30, al-Zarqualla 1; 3, 22, al-Kāshī 1; 3. Elles sont toutes proches des 1; 3, 30 d'Ibn al-Šāṭir.

322. Nous avons 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.

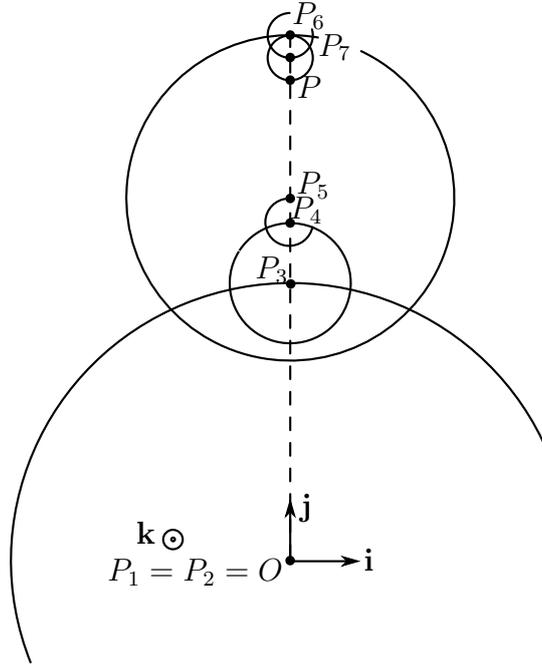


FIGURE 44 – Mercure : figure initiale

latitude décrits dans l'*Almageste*, consiste en la composée de rotations suivante :

$$R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, i, -0^\circ 10'} R_{P_2, \bar{k}} R_{P_3, -\bar{k}} R_{P_4, i, 0^\circ 5'} R_{P_4, j, -6^\circ 36' 30''} R_{P_4, 2\bar{k}} R_{P_5, i, -0^\circ 5'} R_{P_5, j, -0^\circ 22' 30''} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{k}} R_{P_6, 2\bar{k}} R_{P_7, -4\bar{k}}.$$

On a, d'après Ibn al-Šāṭir :

$$\bar{\lambda}_\odot(0) = 280; 9, 0, \quad \dot{\bar{\lambda}}_\odot = 359; 45, 40 \text{ par année persane,}$$

$$\lambda_A(0) = 212; 52, \quad \dot{\lambda}_A = 0; 1 \text{ par année persane,}$$

$$\bar{\alpha}(0) = 154; 2, \quad \dot{\bar{\alpha}} = 1133; 57, 1 \text{ par année persane.}$$

Kennedy<sup>323</sup> a indiqué deux incohérences, concernant les rayons et les distances, que nous croyons 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 21. La ressemblance entre *thulth* ( $0; 20$ ) et *thulthay* ( $0; 40$ ) a probablement induit un copiste en erreur. De plus, au chapitre 23, Ibn al-Šāṭir écrit bien  $21; 40$ . Nous avons donc opté pour  $21; 40$ , et nous avons laissé  $21; 20$  dans l'apparat critique.

323. Cf. [8] p. 65.

– 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  $180^\circ$  présentent une erreur de  $0; 5$ . Kennedy indique que cette 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 orbes solides révèlent qu'il avait lui-même adopté  $|P_4P_5| = 0; 55$ .

**Équations de Mercure et formule d'interpolation** On déduit les équations de Mercure comme on l'a fait pour les planètes supérieures et 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 nous calculerons 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 :

$$\begin{aligned} c_2(\bar{\kappa}, \alpha) &\simeq c_2(0, \alpha) + \chi(\bar{\kappa})(c_2(180^\circ, \alpha) - c_2(0, \alpha)), \\ \chi(\bar{\kappa}) &= \frac{\max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)| - \max |c_2(0, \cdot)|}{\max |c_2(180^\circ, \cdot)| - \max |c_2(0, \cdot)|}, \\ \max |c_2(\bar{\kappa}, \cdot)| &= \arcsin \frac{P'_5P'}{OP'_5}. \end{aligned}$$

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  $P$  :

$$\begin{aligned} P'_5 &= R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}}(P_5), \\ P' &= R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}} R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P). \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned} \overrightarrow{P'_5P'} &= \overrightarrow{P_5 R_{P_5, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}} R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P)} \\ &= R_{\bar{\alpha} - \bar{\kappa}}(\overrightarrow{P_5 R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P)}) \end{aligned}$$

La remarque p. 400 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

$$R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P) = t_{\overrightarrow{P_7 R_{P_6, 2\bar{\kappa}}(P_7)}} t_{\overrightarrow{P R_{P_7, -2\bar{\kappa}}(P)}}(P).$$

On a donc :

$$\begin{aligned}
P'_5 P' &= \left\langle \overrightarrow{P_5 R_{P_6, 2\bar{\kappa}} R_{P_7, -4\bar{\kappa}}(P)}, \mathbf{j} \right\rangle \\
&= \left\langle \overrightarrow{P_5 \vec{P}} + \overrightarrow{P R_{P_7, -2\bar{\kappa}}(P)} + \overrightarrow{P_7 R_{P_6, 2\bar{\kappa}}(P_7)}, \mathbf{j} \right\rangle \\
&= \left\langle \overrightarrow{P_5 P_6} + R_{-2\bar{\kappa}}(\overrightarrow{P_7 \vec{P}}) + R_{2\bar{\kappa}}(\overrightarrow{P_6 P_7}), \mathbf{j} \right\rangle \\
&= P_5 P_6 - (P P_7 + P_7 P_6) \cos 2\bar{\kappa}
\end{aligned}$$

Finalement :

$$P'_5 P' = P_5 P_6 - P P_6 \cos 2\bar{\kappa}.$$

**Les orbes solides de Mercure** Cf. figure 45.

$$\begin{aligned}
\text{rayon du globe planétaire} &= r \\
\text{rayon du protecteur} &= 0; 33 + r \\
\text{rayon de l'orbe englobant} &= 0; 33 + 0; 33 + r = 1; 6 + r \\
\text{rayon de l'orbe de l'épicycle} &= 22; 46 + 1; 6 + r = 23; 52 + r \\
\text{rayon du rotateur} &= 0; 55 + 23; 52 + r = 24; 47 + r \\
\text{rayon du déferent} &= 4; 5 + 24; 47 + r = 28; 52 + r \\
\text{rayon extérieur de l'orbe incliné} &= 60 + 28; 52 + r = 88; 52 + r \\
\text{rayon intérieur de l'orbe incliné} &= 60 - (28; 52 + r) = 31; 8 - r \\
\text{épaisseur du parécliptique} &= 0; 8
\end{aligned}$$

**Comparaisons** À la figure 46 nous avons 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. Nous n'avons 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. Nous avons repéré sur l'axe supérieur les syzygies et les quadratures au moyen des lettres « a », « p », « q », resp. apogée, périégée, quadrature. Bien que le résultat soit assez bon aux syzygies et aux quadratures, on observe une erreur considérable près des octants ; la figure 47 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 sont sur la figure 48.

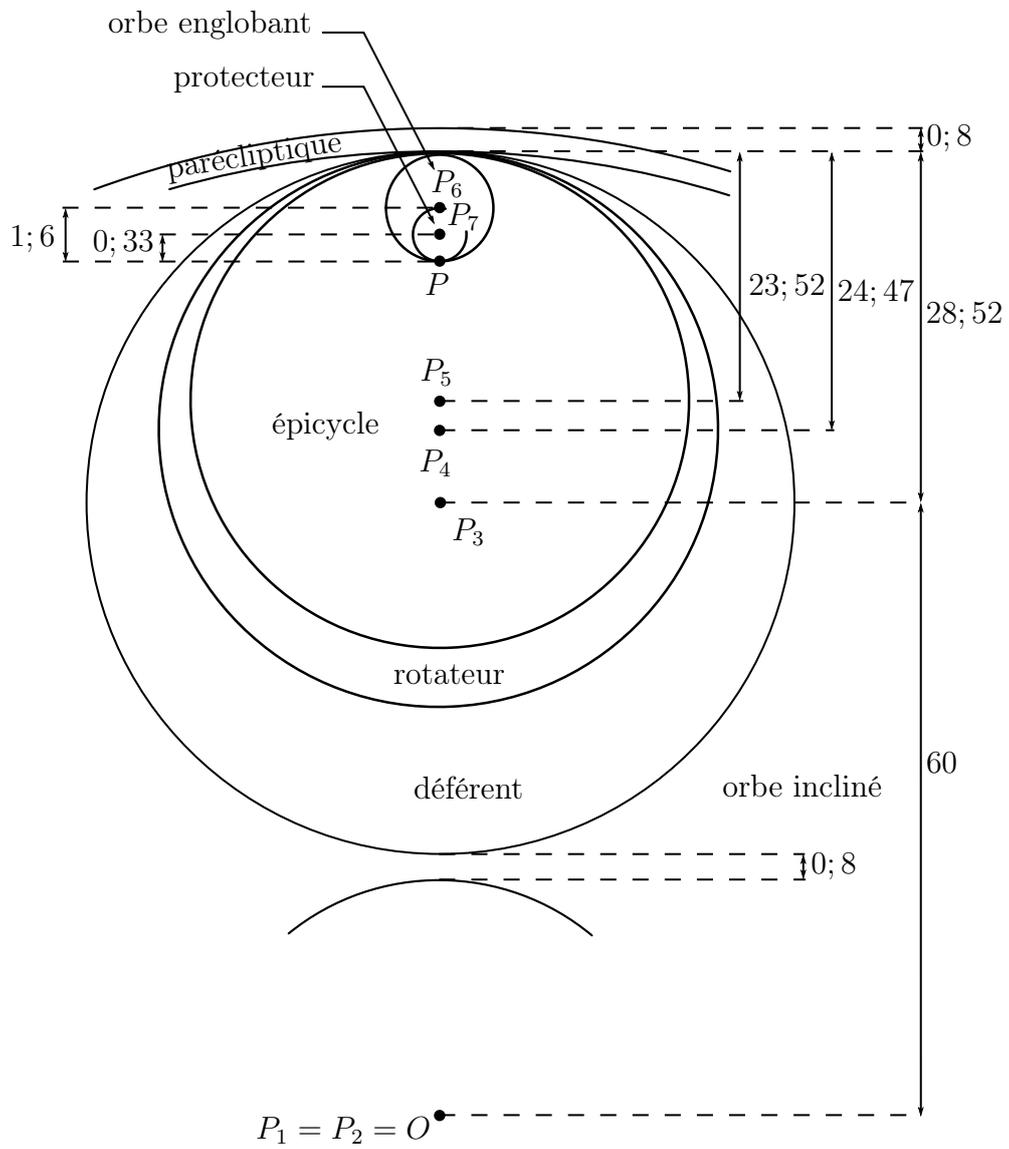


FIGURE 45 – Mercure, orbites solides

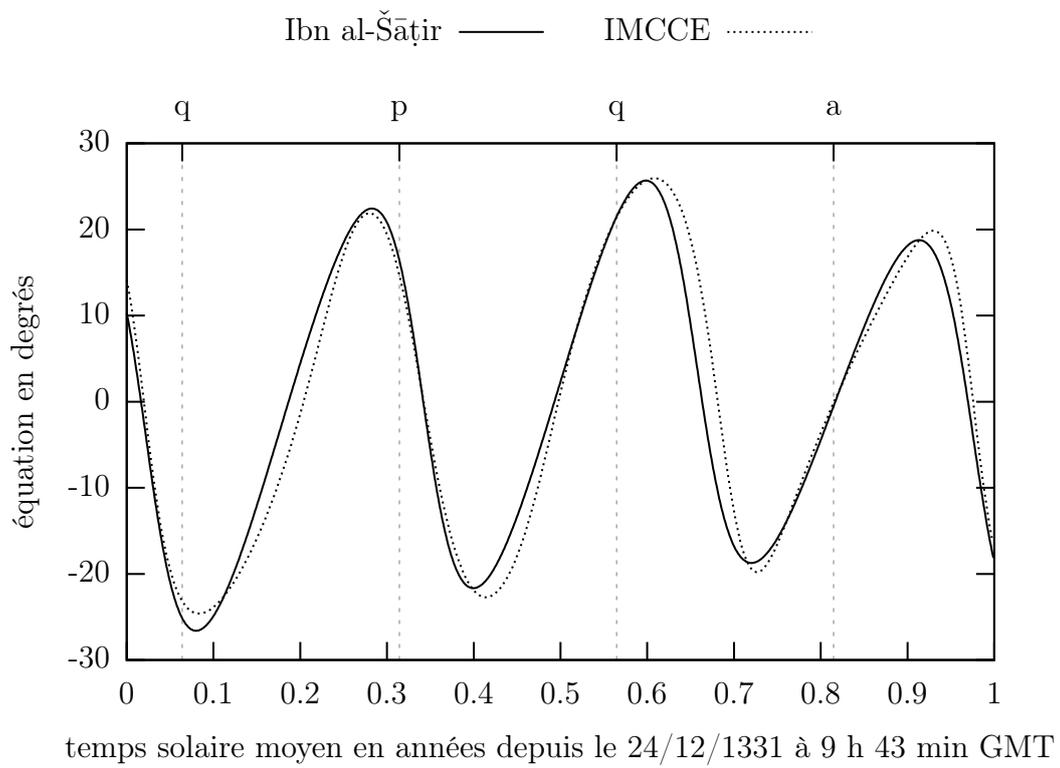


FIGURE 46 – Les longitudes de Mercure

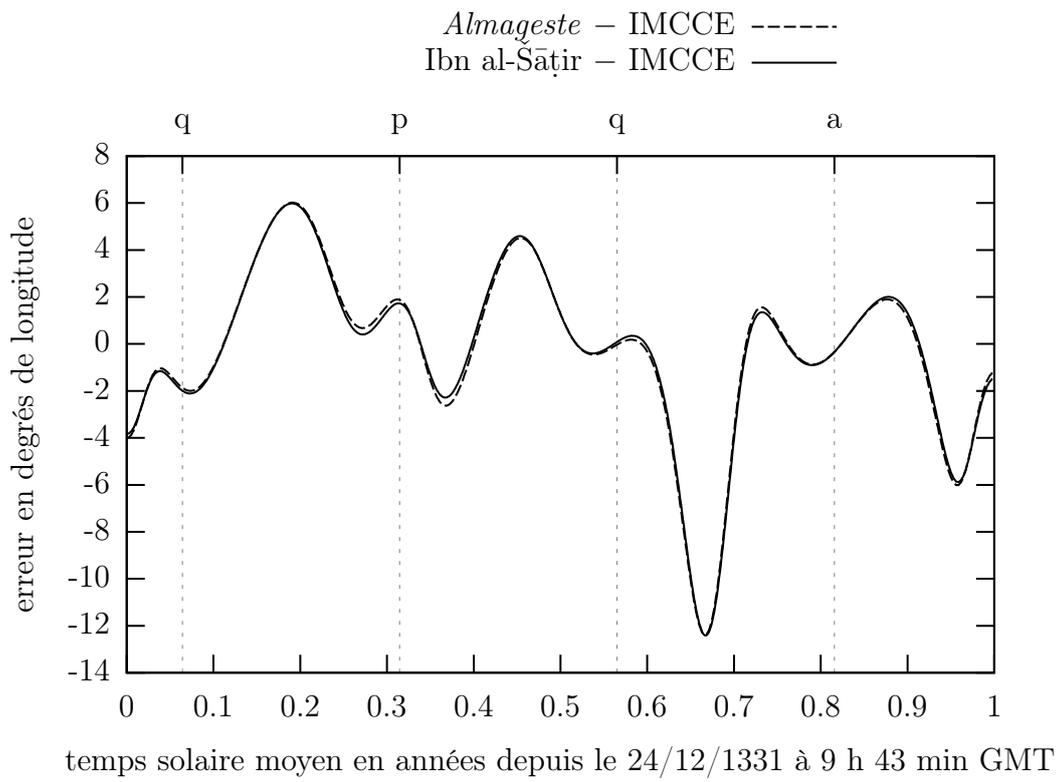


FIGURE 47 – Erreur en longitude des modèles de Ptolémée et d’Ibn al-Šāṭir pour Mercure

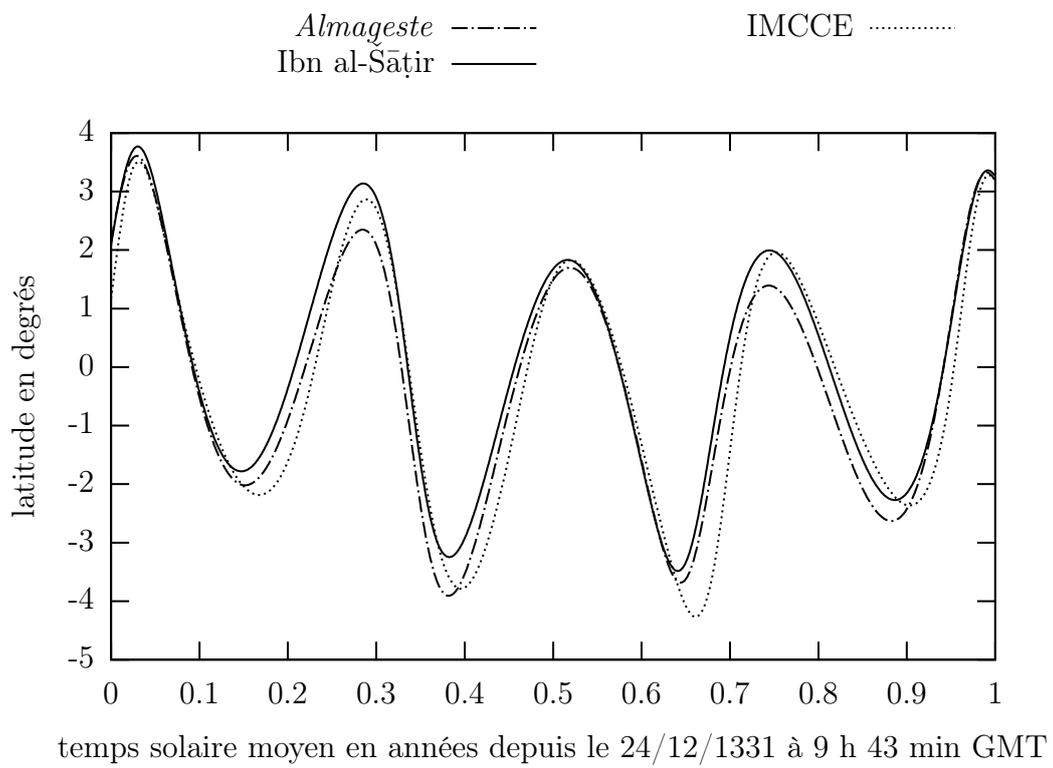


FIGURE 48 – Les latitudes de Mercure

**Le modèle de Qutb al-Dīn al-Shīrāzī pour Mercure** Le modèle de Shīrāzī pour Mercure n'est pas équivalent à celui d'Ibn al-Šāṭir. Il reproduit de manière assez précise les prédictions de l'*Almageste*, mieux encore qu'Ibn al-Šāṭir. Posons  $c = 3$ ; les centres des orbes dans la figure initiale sont définis par<sup>324</sup> :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_1P_2} &= 6\mathbf{j}, & \overrightarrow{P_2P_3} &= 60\mathbf{j}, & \overrightarrow{P_3P_4} &= \overrightarrow{P_4P_5} = -\frac{c}{2}\mathbf{j} = -1; 30\mathbf{j}, \\ \overrightarrow{P_5P_6} &= \overrightarrow{P_6P_7} = \frac{c}{2}\mathbf{j} = 1; 30\mathbf{j}, & \overrightarrow{P_7P_8} &= c\mathbf{j} = 3\mathbf{j}, & \overrightarrow{P_8P} &= 22; 30\mathbf{j}.\end{aligned}$$

On a un déferent 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 de Ṭūsī. Les rotations engendrant les mouvements en longitude sont :

$$\begin{aligned}R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} \overbrace{R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, -\bar{\kappa}}}^{\text{premier couple}} \overbrace{R_{P_5, 2\bar{\kappa}} R_{P_6, -4\bar{\kappa}} R_{P_7, 2\bar{\kappa}}}^{\text{deuxième couple}} R_{P_7, \bar{\kappa}} R_{P_8, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}} \\ = R_{P_1, \lambda_A} R_{P_2, \bar{\kappa}} R_{P_3, -\bar{\kappa}} R_{P_4, 2\bar{\kappa}} R_{P_5, \bar{\kappa}} R_{P_6, -4\bar{\kappa}} R_{P_7, 3\bar{\kappa}} R_{P_8, \bar{\alpha} - \bar{\kappa}}.\end{aligned}$$

**Calibrage du modèle d'Ibn al-Šāṭir pour Mercure** En 1974, Willy Hartner [9] 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. Nous reprenons ici ses analyses, en formulant d'abord les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'un modèle de 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<sup>325</sup>

$$\frac{R + 3e}{R - e}.$$

Dans le modèle d'Ibn al-Šāṭir, ce rapport est

$$\frac{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)}{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)}.$$

324. Le modèle est décrit par Kennedy dans [8] p. 101-103.

325. Cf. [21] pour une description de la théorie de Ptolémée.

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'Apogée et au périgée 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<sup>326</sup>, les relations suivantes :

$$P_3P_4 - P_4P_5 = \frac{R(C - 1)}{C + 1} \quad (1)$$

$$e = \frac{R(C - 1)}{C + 3} \quad (2)$$

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 inversé 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 :

$$P_3P_4 - P_4P_5 = 2; 43, 38,$$

---

326. Cf. [9] p. 15. Nous reprenons 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.

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, peut-être trop prudent, juge « peu probable »<sup>327</sup> qu'Ibn al-Šāṭir n'ait pas eu l'intention de concevoir un véritable « 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'apogée ; 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'apogée,  $\max |c_2(0, \cdot)| = 19; 3$ . Le modèle d'Ibn al-Šāṭir donne<sup>328</sup>  $\max |c_2(0, \cdot)| = 19; 28$ . Cette supposée observation nouvelle sera notre point de départ pour tenter de reconstituer le calibrage du modèle d'Ibn al-Šāṭir.

Quelles sont les données de l'observation ? On a d'abord cette nouvelle observation, qu'on arrondira à 19; 30 :

$$\max |c_2(0, \cdot)| = \arcsin \frac{P_5P_6 - 2 \times P_6P_7}{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)} = 19; 30.$$

L'*Almageste* donne aussi une observation de l'élongation maximale au péri-gée :

$$\max |c_2(180^\circ, \cdot)| = \arcsin \frac{P_5P_6 - 2 \times P_6P_7}{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)} = 23; 15.$$

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 :

$$\frac{OP_3 - (P_3P_4 + P_4P_5)}{OP_3 + (P_3P_4 + P_4P_5)} = \frac{\sin(19^\circ 30')}{\sin(23^\circ 15')}$$

327. Cf. [9] p. 23.

328. Hartner trouve 19; 30 sous l'hypothèse que  $P_4P_5 = 0; 50$ . On trouve 19; 28 en prenant  $P_4P_5 = 0; 55$ .

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 :

$$P_5P_6 - 2 \times P_6P_7 = (60 + P_3P_4 + P_4P_5) \sin(19^\circ 30') = 21; 42, 13.$$

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 :

$$\max |c_2(90^\circ, \cdot)| = 23; 15 = \arcsin \frac{P_5P_6 + 2 \times P_6P_7}{\sqrt{(P_3P_4 - P_4P_5)^2 + 60^2}},$$

d'où

$$P_5P_6 + 2 \times P_6P_7 = \sin(23^\circ 15') \times \sqrt{(P_3P_4 - P_4P_5)^2 + 60^2} = 23; 43; 2.$$

On devrait alors avoir  $2 \times P_6P_7 = 1; 1$ , d'où  $P_6P_7 = P_7P = 0; 30, 30$  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  $0; 33$ .

**Tables d'équations en longitude** Les formules p. 420, 449 et 484, 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 *Nihaya al-sūl* comme nous l'avons fait dans la table 3. Pour faciliter d'éventuelles comparaisons, nous avons adopté le même format que Fuad Abbud dans [8] p. 80.

Lune	$2\bar{\eta}$ ou $\alpha$	$c_1(2\bar{\eta})$	$c_2(\alpha, 0)$	$c_2(\alpha, 180^\circ) - c_2(\alpha, 0)$	$\chi(2\bar{\eta})$
	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 $\alpha$	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	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 $\alpha$	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	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 $\alpha$	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	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 $\alpha$	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	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 $\alpha$	$c_1(\bar{\kappa})$	$c_2(0, \alpha)$	$c_2(180, \alpha) - c_2(0, \alpha)$	$\chi(\bar{\kappa})$
	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

TABLE 3 – Restitution d'un extrait des tables d'équations en longitude d'Ibn al-Šāṭir

## Numéraux

أ = 1, ب = 2, ج = 3, د = 4, ه ه = 5,

و = 6, ز = 7, ح = 8, ط = 9,

ي ي = 10, ك = 20, ل = 30, م = 40, ن = 50,

ص ص = 60, ع = 70, ف = 80, ظ ص = 90,

ق = 100, ر = 200, ش س = 300, ت ت = 400, ث = 500,

خ = 600, ذ د = 700, ض = 800, ظ غ = 900

غ ش = 1000

# Bibliographie

- [1] Philippe Abgrall. *Le développement de la géométrie aux IXe–XIe siècles : Abū Sahl al-Qūhī*, Albert Blanchard, Paris, 2004.
- [2] Nasīr al-Dīn al-Tūsī. *Nasīr al-Dīn al-Tūsī's Memoir on astronomy : al-tadhkira fī 'ilm al-hay'a*, édition, traduction et commentaire par F. J. Ragep. Springer, New York, 1993.
- [3] Aristote. *De la génération et de la corruption*. Texte établi et traduit par Marwan Rashed. Les Belles Lettres, Paris, 2005.
- [4] Ahmed S. Dallal. *An Islamic Response to Greek Astronomy*. Kitāb Ta'dīl Hay'at al-Aflāk of Sadr al-Sharī'a. Edited with Translation and Commentary. Brill, 1995.
- [5] Pierre Duhem. *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 10 vol., Paris : Hermann, 1913-1959.
- [6] A. Fienga, H. Manche, J. Laskar, M. Gastineau, et A. Verma. INPOP new release : INPOP13c (2014) [www.imcce.fr/fr/presentation/equipes/ASD/inpop/inpop13c.pdf](http://www.imcce.fr/fr/presentation/equipes/ASD/inpop/inpop13c.pdf)
- [7] Amir Mohammad Gamini et Hossein Masoumi Hamedani. Al-Shīrāzī and the empirical origin of Ptolemy's equant in his model of the superior planets. *Arabic Sciences and Philosophy*, 23(2013) : 47-67.
- [8] E. S. Kennedy et Imad Ghanem. *Ibn al-Shāṭir, An Arab Astronomer of the Fourteenth Century*. Aleppo Univ. Publications, 1976.
- [9] W. Hartner. Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shāṭir and Copernicus on Mercury. A Study of Parameters. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 24 : 5-25, 1974.
- [10] Ahmad Hasnawi. La définition du mouvement dans la *Physique* du Šifā' d'Avicenne. *Arabic Sciences and Philosophy*, 11 : 219-255, 2001.
- [11] E. S. Kennedy. A Survey of Islamic Astronomical Tables. *Trans. of the Amer. Phil. Soc.*, 46(1956) : 123-177.
- [12] E. S. Kennedy. Late Medieval Planetary Theory. *Isis*, 57 : 365-378, 1966 ([8], p. 93).

- [13] E. S. et M. H. Kennedy. *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources.*, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Univ., Frankfurt am Main, 1987.
- [14] E. S. Kennedy *et al.*, *Studies in the Islamic Exact Sciences.* Beyrouth, A. U. B., 1983.
- [15] David A. King, article “Ibn al-Shāṭir, ‘Alā’ al-Dīn Abu’l-Ḥasan ‘Alī Ibn Ibrāhīm” in C. C. Gillispie, éd., *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vol., vol. 12 p. 357-364, Charles Scribner’s Sons, New York, 1975.
- [16] David A. King. *A Survey of the Scientific Manuscripts in the Egyptian National Library.* The American Research Center in Egypt, 1986.
- [17] David A. King, George Saliba, *et al.*, *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.
- [18] David A. King. *In Synchrony with the Heavens – Studies in Astronomical Timekeeping and Instrumentation in Islamic Civilization*, 2 vol., Leiden & Boston, Brill, 2005.
- [19] Andrea Murschel. The structure and function of Ptolemy’s physical hypotheses of planetary motion. *Journal for the History of Astronomy*, 26 : 33-61, 1995.
- [20] Kaveh Farzad Niazi. *A Comparative Study of Qutb al-Dīn Shīrāzī’s Texts and Models on the Configuration of the Heavens.* Columbia University, 2011.
- [21] Olaf Pedersen. *A Survey of the Almagest*, Odense Univ. Press, 1974.
- [22] Erwan Penchèvre. Vénus selon Ibn al-Šāṭir. *Arabic Sciences and Philosophy*, 26 : 184-214, 2016.
- [23] Ptolémée. *The Almagest.* Trad. R. Catesby Taliaferro. *Great Books of the Western World*, vol. 16, *Encyclopædia Britannica*, 1952.
- [24] Ptolémée. *Der Sternkatalog des Almagest, Die arabisch-mittelalterliche Tradition, I, Die arabischen Übersetzungen.* ed. et trad. par P. Kunitsch. Wiesbaden, Otto Harrasowitz, 1986.
- [25] Thābit Ibn Qurra. *Œuvres d’astronomie*, édition, traduction et commentaire par Régis Morelon. Paris, Les Belles Lettres, 1987.
- [26] F. Jamil Ragep. Ibn al-Shāṭir and Copernicus : The Uppsala Notes Revisited. *Journal for the History of Astronomy*, 47(4) : 395-415, 2016.
- [27] Roshdi Rashed, Régis Morelon *et alii.* *Histoire des sciences arabes. 1. Astronomie, théorique et appliquée.* Seuil, Paris, 1997.

- [28] Roshdi Rashed. *Les mathématiques infinitésimales du IX<sup>ème</sup> au XI<sup>ème</sup> siècles*. Volume IV : *Méthodes géométriques, transformations ponctuelles et philosophie des mathématiques*. Al-Furqān Islamic Heritage Foundation, Londres, 2004.
- [29] Roshdi Rashed. *Geometry and dioptics in classical Islam*, Londres, 2005.
- [30] Roshdi Rashed. *Les mathématiques infinitésimales du IX<sup>ème</sup> au XI<sup>ème</sup> siècles*. Volume V : *Ibn al-Haytham. Astronomie, géométrie sphérique et trigonométrie*. Al-Furqān Islamic Heritage Foundation, Londres, 2006.
- [31] E. S. Kennedy et Victor Roberts. The Planetary Theory of Ibn al-Shāṭir. *Isis*, 50 : 227-235, 1959 ([8], p. 60).
- [32] Victor Roberts. The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shāṭir, A Pre-Copernican Copernican Model. *Isis*, 48 : 428-432, 1957 ([8], p. 44).
- [33] Victor Roberts. The Planetary Theory of Ibn al-Shāṭir : Latitudes of the Planets. *Isis*, 57 : 208-219, 1966 ([8], p. 81).
- [34] George Saliba. Theory and Observation in Islamic Astronomy : the Work of Ibn al-Shāṭir of Damascus. *Journal for the History of Astronomy*, 18(1) : 35-43, 1987 ([36], p. 234-241).
- [35] George Saliba. *The Astronomical Work of Mu'ayyad al-Din al-'Urdu, A thirteenth century Reform of Ptolemaic Astronomy, Kitab al-Hay'ah*. Center for Arab Unity Studies, Beyrouth, 1990.
- [36] George Saliba. *A History of Arabic Astronomy. Planetary Theories during the Golden Age of Islam*. N. Y. U. Press, 1994.
- [37] Henri Sauvaire. *Description de Damas*, trad. de l'arabe par Henri Sauvaire, Extrait du *Journal Asiatique*. Paris, Imprimerie Nationale, 1895-1896, 2 vol., un tableau de concordance avec les pages publiées dans le *Journal Asiatique* est dans E. E. Ouéchék, *Index général de la "Description de Damas" de Sauvaire*, Institut Français de Damas, 1954.
- [38] Peter Schmalzl, *Zur Geschichte des Quadraten bei den Arabern*, Druck der Salesiarischen Offizin, München, 1929.
- [39] Louis Amélie Sédillot, *Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, Paris : Imprimerie royale, 1841.
- [40] N. M. Swerdlow et O. Neugebauer. *Mathematical astronomy in Copernicus' De Revolutionibus*. Springer-Verlag 1984.
- [41] N. M. Swerdlow. Ptolemy's Theories of the Latitude of the Planets in the *Almagest*, *Handy Tables*, and *Planetary Hypotheses*, dans *Wrong for the Right Reasons*, ed. Jed Z. Buchwald et Allan Franklin, Springer-Verlag 2005.

- [42] Eilhard Wiedemann. Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. LXXIX. Ibn al Schâtîr, ein arabischer Astronom aus dem 14. Jahrhundert. *Sitzungsberichten der Physikalisch-Medezinischen Sozietät zu Erlangen*, 60 : 317-326, 1928 ([8], p. 17).

# Index

- أثر  
أثر علوي, météore, 32  
أثيري, éthéré, 32  
أثير الدين الابهري, Athīr al-Dīn al-  
Abharī, 124
- أرخ  
تأريخ متقدم, Époque, 156  
RL'aris.tU'a, Aristote, 46
- أرض  
أرض, la Terre, 48, 264  
دور الأرض, circonférence terrestre,  
266  
كرة الأرض, globe terrestre, 58
- أسد  
قلب الأسد, le cœur du Lion, 44
- أصل  
أصل, 1) fondement, 2) origine, 28,  
206, 216
- أقلم  
إقليم ج أقالم, climat, 308, 310
- أوج  
أوج, Apogée, 86, 146, 214, 224,  
230, 234  
أوج الشمس, Apogée du Soleil,  
324, 336, 352, 362  
حركة الأوج, mouvement des apo-  
gées, 78, 86, 88, 140
- أول  
آلة ج آلات, instrument, 48  
إبرخس, Hipparque, 70, 94, 104, 124,  
216, 218, 266, 288
- بحر  
بحر, mer, 304, 306  
بحر طبرستان, mer Caspienne, 308  
بحر ورنك, mer Baltique, 308  
بحيرة خوارزم, mer d'Aral, 308
- بدأ  
مبدأ, voir مبدأ  
مبدأ, principe, origine, 36, 198,  
218
- برج  
برج, signe (du zodiaque) , voir  
فلك البروج, voir فلك البروج

- فلك البروج *voir*
- بروج مكوكبة, constellations du zodiaque, 44, 54
- على توالي البروج, dans le sens des signès, 56
- الى خلاف توالي البروج, en sens contraire de celui des signes, 56
- منطقة البروج, éclipse, ceinture de l'éclipse, 48, 62, 320, 328, 336, 342, 352, 356
- برد  
برد, froid, 306, 324
- بسط  
بسط, plan, surface, *voir* مساحة  
جسم بسيط, corps simple, 32, 46
- بصر  
بصر, 1) vision, 2) observateur, 252, 254, 298
- بطليموس, Ptolémée, 28, 36, 38, 40, 48, 72, 90, 94, 104, 118, 124, 216, 218, 224, 230, 232, 234, 238, 266, 270, 282, 288, 294, 298, 308
- بطو  
بطء, lenteur, 242
- بعد  
بعد, 1) distance, 2) élongation (*i.e.*, écart en longitude), 210
- بعد عن السميت, distance zénithale, 336
- بعد ما بين النيرين بالوسط, élongation moyenne, 108
- بعد مضاعف, élongation double, 120
- ابن سينا, Avicenne, 324
- بهت, vitesse apparente, 94, 102, 124
- تاودوسيوس, Théodose, 340, 352
- تولى, île de Thulé, 308
- ثبت  
ثبات, immobilité, 186
- الكواكب الثابتة, les étoiles fixes, 70
- ثقل  
مركز الثقل, centre de gravité, 52, 264
- ثلث  
مثلث, triangle (éventuellement sphérique), 356, 358
- ثور  
ثور, Taureau (zodiaque), 70
- جبل  
جبل ج جبال, montagne, 264, 306, 312
- جدل  
جدول, table, 90, 122
- جدول, table, tableau, catalogue, 158, 208, 212, 302

جرّ	356
مجرة, Voie Lactée, 72	جوز
جرم	الجوزاء, les Gémeaux, 70
جرم ج أجرام, corps, volume, voir	جيب
مساحة, voir مساحة	جيب, sinus, 208
جز	جيب التمام, cosinus, 208
جزء ج أجزاء, partie, segment, portion, part, 54	حبش
جزهر	حبشة, Éthiopie, 306, 314, 324
تقويم الجوزهر, nœud vrai, 120	حجم
عقدة, voir جوزهر	مركز الحجم, centre du volume, 264
ذنب, voir جوزهر مجاز جنوبي	حدّ
رأس, voir جوزهر مجاز شمالي	محدّد الجهات, le neuvième orbe, 32
حركة الجوزهر, mouvement des nœuds, 108	حدو
وسط الجوزهر, nœud moyen, 120	نقطة المحاذاة, point de prosneuse, 38, 40, 42
جسم	حرر
جسم, corps, solide, 36, 40, 50, 278	حرارة, chaleur, 306
كرة مجسم, sphère solide, orbe solide, 84, 88, 162, 176, 186, 188, 200	حرّ, chaud, 324, 336
جمع	حرق
اجتماع, conjonction, 104, 248, 252, 254	طريقة محترقة, routes brûlantes, 306
جمهر	حرك
الجمهور, les Grecs, 124, 266, 308,	حركة أولى, premier mouvement, voir حركة يومية
	حركة إرادية, mouvement volitif, 32
	حركة بسيطة, mouvement simple, 34, 112
	حركة بسيطة مركّبة, mouve-

- ment simple-composé, 32, 82, 86, 142, 150, 162, 174, 186, 198
- حركة ثانية, deuxième mouvement, 44, 72, 320, 348, 352
- حركة خاصة, mouvement propre, 76, 108, 140, 144, 170, 174, 186, 198
- حركة طبيعية, mouvement naturel, 32
- حركة عرضية, mouvement par accident, 32, 76
- حركة قسرية, mouvement violent, 32
- حركة العرض, mouvement en latitude, 40, 42, 108
- حركة لولبية, mouvement hélicoïdal, 46
- حركة مختلفة, mouvement irrégulier (*i. e.* non uniforme), 34, 38, 112, 162, 174, 186
- حركة المركز, mouvement du centre (en général, le centre d'un épicycle), 140, 170, 184, 196
- حركة مركز الشمس, mouvement du centre du Soleil, 84, 184, 196
- حركة مركبة, mouvement composé, 34, 46
- حركة مستوية, mouvement uniforme, 38, 46
- حركة الوسط, mouvement de l'astre moyen, 170, 174, 206
- حركة وسط الشمس, mouvement du Soleil moyen, 84, 206
- حركة يومية, mouvement diurne, 58, 78, 342
- زاوية الحركة, mouvement angulaire, 242
- متحرك بنفسه / بغيره, mû par soi / par un autre, 34, 76
- حَضّ
- حضيض, périgée, 86, 104, 214
- حَظّ
- انخفاض, abaissement, *voir* ارتفاع, *voir* ارتفاع, *voir* ارتفاع
- حمل
- حمل, Bélier (zodiaque), 70
- حوت
- حوت, Poissons (zodiaque), 70
- حوط
- البحر المحيط, l'Océan, 308, 314, 316, 318
- محيط, contour, périmètre, 268
- حوى
- حَاوٍ (الْحَاوِي), contenant, 76
- محوى, contenu, 76
- خسف
- خسوف, éclipse de Lune, 124, 252, 258, 262, 272, 306

- خسوف, éclipse de Lune, 104
- خَصَّ  
خاصّة القمر, Lune propre, 120
- خاصّة الكوكب, astre propre (traduit par "anomalie" par de nombreux auteurs), 140, 146
- خَطَّ  
خطّ, ligne, 50
- خطّ مستقيم, droite, 50
- خطّ نصف النهار, *voir* نصف
- خفي  
اختفاء, invisibilité, 250
- خلج  
خليج احمر, mer Rouge, 308
- خليج اخضر, « golfe vert » (golfe d'Oman), 308
- خليج بربرى, golfe de Berbera (golfe d'Aden), 308
- خليج فارس, golfe Persique, 308, 312
- خلد  
جزائر الخالدات, îles Canaries, 308
- خلف  
اختلاف, irrégularité, anomalie, variation, 42, 46, 86, 104, 112, 116, 118, 144, 210, 232, 304, 362
- خلو  
خلاء, vide, 34, 40
- دبر  
إدبار, trépidation, récession, 42
- درج  
درج السواء, degrés égaux ( $\neq$  leur coascension), 356
- درجة ج درجات, degré, 56, 266, 356
- دور  
تدوير, épicycle, 46, 90, 104, 106, 242
- سمت دائرة أول السموت, *voir* سمت
- دائرة الأفق الحادث, cercle de l'horizon occurrent, 66
- دائرت الارتفاع, cercle de hauteur, 66
- دائرة العرض, cercle de latitude, 62, 384
- ميل دائرة الميل, *voir* ميل
- نصف دائرة نصف النهار, *voir* نصف
- استدارة, sphéricité (de la Terre, des cieux), 264, 304
- مدار, trajectoire, trajectoire diurne (*i. e.* cercle parallèle à l'équateur), 68, 72, 104, 352, 394
- مدارات العروض, trajectoires selon les latitudes (*i. e.* cercles parallèles à l'écliptique), 68, 240
- مدارات مراكز الاكر, trajectoires des centres des orbés, 84, 174,

- 188
- ذرع  
ذراع ج اذراع, coudée (coudée moderne = 24 doigts), 264
- ذرو  
ذروة, sommet, apogée, 42, 104, 142, 186, 198, 214  
ذروة التدوير الوسطى, apogée moyen de l'épicycle, 120, 162  
ذروة حقيقية, apogée vrai, 144, 146  
ذروة التدوير المرئي, apogée apparent, 108  
ذروة مرئية, apogée apparent, 120, 144, 146, 244
- ذنب  
ذنب, queue, nœud descendant, 40, 106, 160, 172, 184, 196, 234  
ذنب السرحان, queue du loup, *voir* صبح كاذب
- رأس  
رأس, tête, nœud ascendant, 40, 106, 160, 172, 184, 196, 216, 234  
الرازي, Fahr al-Dīn al-Rāzī, 324
- رتب  
ترتيب, ordre, disposition, 54
- رجع  
رجوع, rétrogradation, 174, 242
- رصد  
الأرصاء الصحيحة, les observations, 28, 44, 46, 48, 196, 220, 222, 224, 238, 250, 270
- رفع  
ارتفاع, hauteur (coordonnées azimutales), 66, 250, 338
- ركب  
جسم مركب, corps composé, 32, 46, 82
- ركز  
مركز, centre, 84, 86, 146, 208
- ريخ  
مريخ, Mars, 42, 172, 182, 214, 216, 220, 224, 250, 286, 288, 298
- زحل  
زحل, Saturne, 42, 140, 156, 158, 214, 216, 220, 224, 250, 286, 288  
الزرقالة, al-Zarqūlla, 42
- زمن  
أزمان معدّل النهار, temps équatoriaux, 54, 296
- زنج  
زنج, Noirs, 306
- زهر

زهرة, Vénus, 42, 48, 184, 194, 230, 250, 284, 288, 298	330
سأل	سمو
مسألة ضرورية, principe, 28, 34	السماء, les cieux, 52
سحب	سنو
سحاب ج سحب, nuage, nébu- leuse? ?, 32, 70	سنة الشمس, année solaire, 122, 366, 380
سرط	سنة قمرية, année lunaire, 122, 382
سرطان, Cancer (zodiaque), 70	فصول السنة, les saisons, 320, 336, 342, 380
سرع	سوح
سرعة, vitesse, 242, 296	مساحة البسيط / الجرم, mesure d'une surface / d'un volume, 268, 276, 282
سطح	سوع
سطح, surface, 50	ساعات مستوية, heures égales, 378
سطح مستوي, plan, 50, 214, 358	ساعات معوجة, heures courbes, 378
سفن	سوى
سفينة, navire, 76	خط الاستواء, équateur terrestre, 60, 304, 308, 320
سكن	شبت
سكون, repos, 34	تشبث, adhérer, 76
المسكون, la partie habitée (du globe), 260, 268, 304, 306, 340	شرق
سمت	خط المشرق والمغرب, ligne de l'Est et de l'Ouest, 66, 390, 394
دائرة أول السموت, cercle origine des azimuts, 66, 390	مشرق, Est, 352, 394
سمت, direction, azimut, 66, 390	شري
سمت الرأس, zénith, 64, 324, 330, 336	المشتري, Jupiter, 42, 160, 170, 214,
سمت الرجل, سمت القدم, nadir, 64,	

- 216, 220, 224, 250, 286, 288
- شعر  
شعيرة معتدلة, grain d'orge (unité de longueur), 264
- شع  
شعاع, rayon (de lumière), 48, 252, 300, 324, 370
- شفق  
شفق, crépuscule, 342, 352, 370
- شكّ  
شكّ, doute, 28
- شكل  
تشكلات, phases (de la Lune), 118, 378
- شمس  
شمس, Soleil, 46, 78, 80, 252, 270, 370, 378
- شهب  
شهب ذوات الاذنان, étoile filante ??, 32
- شهر  
شهر قمريّ, mois lunaire, 122  
شهر قمريّ, mois lunaire, 258, 378
- قطب الدين الشيرازي, Qutb al-Dīn al-Šīrāzī, 42, 78, 218, 220, 222
- صبح  
صبح, aurore, 342, 352, 370  
صبح صادق, aurore franche, 370, 378
- صبح كاذب, aurore trompeuse, 370
- صبع  
اصبع, doigt (= 6 grains d'orge), 264
- صقلب, Slave, 308
- صور  
صورة ج صور, figure, constellation, 32, 70
- ضوء  
ضوء, clarté, 252, 300, 340, 352, 370
- طبع  
طبيعة, nature, 32
- طلس  
اطلس, Atlas, voir *فلك معدّل النهار*
- طلع  
تعديل مطالع, équation de la coascension, 360  
درجة الطلوع, degré du lever, 386  
طلع, se lever ( $\neq$  غرب), 348, 352  
طلوع, lever (d'un astre), 250, 386  
مطالع, coascension, 62, 102, 356, 362, 378  
مطالع استوائية, coascension calculée à l'équateur terrestre, 102  
نصير الدين الطوسي, Naṣīr al-Dīn

- al-Tūsi, 40, 42, 124, 218, 220, 222, 306
- طول  
 طول, longitude (par rapport à l'écliptique), 64, 216, 240  
 طول البلد, longitude du pays (par rapport à l'équateur), 60  
 طول معدّل, longitude rapportée à l'équateur (mais mesurée sur un cercle de latitude), 64
- ظلّ  
 قطر الظلّ, diamètre de l'ombre, 124, 258, 272, 282  
 مخروط الظلّ, cône d'ombre, 252, 272, 370
- ظلم  
 كوكب مظلم, étoile obscure, 70  
 مظلم, obscur ( $\neq$  نير), 252
- ظهر  
 ظهور, visibilité ( $\neq$  اختفاء), 250, 320
- عدل  
 تعديل, équation, 90, 112, 144, 208  
 تعديل الأيّام, équation des nychtémères, 102, 364  
 تعديل الخاصّة, équation de l'astre propre, 144  
 تعديل درجة الممرّ, équation du degré de transit, 384
- تعديل الشمس, équation du Soleil, 86  
 تعديل محكم, équation principale, 130, 158, 210  
 تعديل المركز, équation du centre, 144  
 خاصّة معدّلة, astre propre corrigé, 162, 208  
 اعتدال خريفيّ, équinoxe d'automne, 56  
 اعتدال ربيعيّ, équinoxe de printemps, 56, 380  
 عدل, tempéré, 324  
 مركز معدّل, centre corrigé, 162, 222  
 معدّل, corrigé, 162  
 معدّل النهار, équateur, 54, 60  
 معدّل النهار, équateur, plan de l'équateur, 304, 320, 356
- عرض  
 حصّة عرض, argument de latitude, 64, 120  
 عرض, latitude, *i. e.* par rapport à l'écliptique, 40, 42, 62, 116, 162, 196, 214, 216, 230  
 عرض البلد, latitude du pays, *i. e.* par rapport à l'équateur, 60, 64  
 عرض اقليم الروية, latitude de ce qui est visible sous un climat, *i. e.* latitude du pôle de l'hori-

- zon par rapport à l'écliptique, 66
- عرض معدّل, latitude rapportée à l'équateur (mais mesurée sur un cercle de latitude), 62
- المويد العرضي, al-Mu'ayyad al-'Urdī, 42, 48, 218, 220, 222, 284
- عطارد, Mercure, 40, 196, 206, 234, 250, 284, 288
- عقد  
عقدة, nœud, 106, 214, 224, 230
- عكس  
انعكاس, reflet, 300
- علم  
عالم, monde, 32
- عالم سفلي, monde inférieur, *i. e.* sublunaire, 32
- عالم علوي, monde supérieur, *i. e.* supralunaire), 32
- عالم سفلي الكون والفساد, *voir*
- عمر  
العمارة المعمور, partie cultivée de la Terre; par extension, le quart habité (مسكون), 306, 340
- عنصر  
عنصر, élément simple, 32
- غرب  
درجة الغروب, degré du coucher, 386
- غرب, se coucher ( $\neq$  طلع), 348, 352
- غروب, coucher (d'un astre), 386
- مغرب, co-coucher (« codescension »), 358
- مغرب, Ouest, 352, 394
- غور  
غورج أغوار, terrain encaissé, 264
- فرسخ  
فرسخ ج فراسخ, parasange (= 3 milles), 264, 294
- ابن افلح, Ibn Aflah, 48, 284
- فلك  
أقرب قرب التاسع, rayon de la cavité du neuvième orbe, 296
- فلك, 1) orbe, 2) ciex, 162, 264
- فلك البروج, orbe de l'écliptique, 48, 54, 56, 62, 356
- فلك تاسع, neuvième orbe, *voir*
- فلك معدّل النهار
- فلك التدوير, orbe de l'épicycle, 106, 140, 160, 172, 184, 214, 220
- فلك التراب, orbe de la Terre, 58
- فلك ثامن, huitième orbe (étoiles fixes), 46, 70
- فلك حافظ, orbe protecteur, 196

- فلك خارج المركز, orbe excentrique, 38, 42
- فلك الماء, orbe de l'Eau, 58
- فلك مائل, orbe incliné, 104, 106, 140, 214, 220, 230, 234
- فلك محيط, orbe englobant, 196, 198
- فلك مستقيم, كرة منتصبة, sphère droite, 324
- فلك معدّل المسير, orbe équant, 40, 42
- فلك معدّل النهار, orbe de l'équateur, 46, 54
- فلك مكوكب, orbe des étoiles fixes (*syn.* orbe de l'écliptique), 54
- فلك النار, orbe du feu, 58, 106
- فلك الهواء, orbe de l'Air, 58
- فلك حامل, orbe déférent, 84, 140, 160, 172, 184, 196, 220, 232, 238
- فلك شامل, orbe total, 84, 198
- فلك مدير, orbe rotateur, 84, 106, 140, 160, 172, 184, 196, 220, 232, 238
- فلك ممثّل, parécliptique, 62, 84, 106, 140, 160, 172, 184, 196
- فوق
- أفق, horizon, 64, 250, 320, 328, 336, 342, 352, 356, 386
- أفق مائل, horizon incliné, 328
- قبة, قبة الأرض, dôme de la Terre, 308
- قبل
- إستقبال, opposition, 104, 248, 252
- إقبال, trépidation, accession, 42
- قبلة, *qibla*, direction de la *Ka'ba*, 390
- قوس انحراف القبلة, arc de déviation de la *qibla*, 394
- قدر
- قدر, magnitude (d'une étoile), 290
- قطب
- قطب, pôle, 88
- قطر
- أقطار الكواكب, diamètres apparents des planètes, 288, 298
- قطر, diamètre, 214, 230
- قطر عرضي, diamètre des latitudes, 226
- نصف قطر الشمس / القمر, rayon apparent du Soleil / de la Lune, 270, 282
- نصف قطر التدوير المرئي, rayon de l'épicycle apparent, 108, 198, 270
- قلب
- مدار المنقلبين, les deux tropiques, 324

- منقلب شتوي, solstice d'hiver, 56  
منقلب صيفي, solstice d'été, 56
- قمر  
قمر, Lune, 42, 252, 270, 306, 378
- قنطر  
مقنطرات, muqantars, cercles parallèles à l'horizon, 68
- قوس  
قوس الرؤية, arc de visibilité, 250  
قوس الرجوع / الاستقامة / arc rétrograde / arc direct, 244
- قوم  
تقويم, 1) calcul de la longitude vraie, 2) longitude vraie d'un astre, 148, 158, 170, 182, 194, 206, 240  
تقويم الشمس, Soleil vrai, 90  
تقويم القمر, Lune vraie, 120, 240  
مقوم الكوكب, astre vrai (= longitude vraie de l'astre), 148, 162, 240  
مقيم للرجوع / للاستقامة / en station rétrograde / en station directe, 244
- قيس  
مقياس ج مقاييس, gnomon, 48, 306, 340, 390
- كبس
- سنة كبيسة / يوم, jour / année intercalaire, 380
- كثف  
كثافة, opacité, 254, 300
- كسف  
كسوف, éclipse de Soleil, 104, 254, 260, 262
- كَب  
كوكب تهابت, étoile fixe, 54, 56, 58  
كوشيار بن لبان, Kūšyār b. Labbān, 124
- لرزق  
ألرزق, agglutiner, coller, 76
- لون  
لون, couleur, 306, 312, 326
- ليل  
قوس الليل, arc nocturne, durée de la nuit, 378
- المجريطي, al-Majrīṭī, 44, 46
- محو  
محو, obscurcissement, 118
- مرّ  
اختلاف المرّ, anomalie du transit, 384  
درجة مرّ, degré de transit, 62, 358, 384
- مرور, voir مرّ  
مرّ ج ات, passage, transit (en général au méridien), 62, 358,

- 362  
 مصر, Égypte, 306  
 مكة, La Mecque, 390, 394  
 ميل  
 دائرة الميل, cercle de déclinaison, 62, 358, 384  
 غاية الميل, partie d'inclinaison maximale (dans un orbe incliné), 184  
 ميل, inclinaison, inclinaison maximale (*i. e.* mesure d'un angle dièdre), 214, 220  
 ميل أول, première déclinaison, *i. e.* par rapport à l'équateur, 62  
 ميل التدوير, inclinaison de l'épicycle, 230, 236  
 ميل ثاني, seconde déclinaison, *i. e.* par rapport à l'écliptique, 62  
 ميل ج اميال, mille (= 4000 coudees modernes), 264  
 ميل الورااب, inclinaison de biais, 230, 236, 238  
 نزل  
 منازل القمر, les maisons lunaires, 72  
 نسب  
 دقائق النسب, coefficient d'interpolation, 116, 146, 210  
 نصف  
 خط نصف النهار, ligne méridienne, 64, 264, 390  
 دائرة نصف النهار, méridien, 60, 64, 364, 384, 390  
 نطق  
 منطقة, ceinture, 88, 188, 216  
 نظر  
 اختلاف المنظر, parallaxe, 118, 252, 256, 260, 270, 298  
 نظر, œil (de l'observateur), 370  
 نقل  
 تعديل النقل, équation du déplacement, 116, 240  
 نهر  
 تعديل النهار, équation du jour, 330, 340, 360, 378  
 قوس النهار, arc diurne, durée du jour, 68, 304, 312, 330, 378  
 نهار, jour, 352  
 نهر ج انهار, rivière, 312  
 نور  
 حلقة نورانية, anneau lumineux (lors d'une éclipse annulaire), 256  
 نور, lumière, 118, 298, 370  
 النيران, les deux luminaires (Lune et Soleil), 252  
 نير, lumineux, 252, 298  
 نيل, Nil, 306, 314

