

1467
PREAX, C.
1970

Preaux, Clavier
La lune dans la
pensée grecque
IV p 202-221

1970

IV. Les mesures

Si près de la terre !

C'est précisément cette conquête de l'évaluation de la distance de la lune et — problème connexe — de la mesure de son diamètre, dont il nous reste à présent à suivre les voies, les progrès et les échecs.

Il nous faudra distinguer ici schémas non rationnels et méthodes scientifiques, sans nous étonner de trouver certains noms, et des plus prestigieux, aux confins de ces deux modes de pensée, qui chemineront côte à côte sans s'exclure.

A. DISTANCES ET GRANDEURS IMAGINAIRES ORDRE DES PLANÈTES

Avant ceux qui mesurèrent le monde, il y eut, en effet, ceux qui l'organisèrent. Sur quels fondements ? Peut-être sans fondements. Mais s'agirait-il dès lors d'un a priori absolu auquel de simples comparaisons n'auraient fait qu'apporter ce qui paraissait une justification suffisante ? Il est difficile de le discerner sur la foi des mentions laconiques des doxographes, qui ont réduit à des dogmes les opinions qu'ils résumaient, ou bien à la lumière des allusions d'auteurs anciens, qui ne s'intéressaient point aux méthodes ou ne les comprenaient pas.

En effet, les doxographes, dont les informations, amenuisées avec le temps, confluent chez Diogène Laërce et chez Aetius, ont un plan stéréotypé selon lequel ils nous livrent, d'après des sources qui remontent à l'école d'Aristote, la doctrine de philosophes déjà perdus pour eux comme pour nous. Ils attribuent généralement à ceux-ci une opinion touchant non seulement la matière mais la grandeur et la distance de la lune et du soleil ou seulement leur place relative par rapport à d'autres corps célestes. Leurs notices donnent l'impression de questionnaires

qu'on aurait remplis à tout prix d'un mot par case. Aussi ne faut-il accueillir qu'avec de sérieuses réserves les doxographies que ne corroborent pas des sources de quelque autre lignée : Aristote, par exemple, ou Simplicius citant Eudème de Rhodes ou Plutarque, ou Cicéron recueillant la tradition de l'historiographie stoïcienne des sciences, ou même les *Nuées* d'Aristophane.

a. Anaximandre

Le premier nom que nous trouvons est celui d'Anaximandre. Selon Simplicius (*Commentaire du De Caelo* d'Aristote, éd. HEIBERG, Berlin 1894, p. 471 = F.V.S. 10^e éd. I 12[2] A 19) c'est Eudème de Rhodes (frg. 146 WEHRLI), l'élève d'Aristote et le plus ancien historien des mathématiques ⁽¹⁾, qui, tout en attribuant aux Pythagoriciens le premier « ordre des planètes », assure qu'Anaximandre aurait, le premier, découvert les relations des grandeurs et des distances de celles-ci. (*Ἀναξίμανδρον πρῶτον τὸν περὶ μεγεθῶν καὶ ἀποστημάτων λόγον εὐρηκότος*). La mention d'Anaximandre relève du désir de préciser, même au prix d'une fausse précision — et c'est caractéristique de l'exégèse antique — ce que l'auteur qu'on commente n'avait envisagé qu'en général. Aristote, en effet, dans le passage du *De Caelo* (II, X, 291 a) visé ici (*περὶ δὲ τῆς τάξεως αὐτῶν ... καὶ πῶς ἔχει πρὸς ἄλληλα τοῖς ἀποστήμασι ἐκ τῶν περὶ ἀστρολογίαν θεωρείσθω*) n'a manifestement songé à aucun astronome en particulier, mais seulement à la littérature astronomique en général.

Dès lors faut-il croire avec Eudème de Rhodes qu'Anaximandre ait été capable d'une évaluation rationnelle des grandeurs et distances en question ? Cela paraît improbable. En effet, comme Simplicius le dit justement ensuite, « c'est par les éclipses, qui permettent de les saisir, que sont connues les grandeurs et distances du soleil et de la lune ». Mais, quand il ajoute qu'il était vraisemblable que déjà Anaximandre eût découvert celles-ci (*εἰκὸς ᾗν ταῦτα καὶ τὸν Ἀναξίμανδρον εὐρηκέναι*), on ne saurait le suivre, car Anaximandre se faisait du mécanisme des éclipses de lune et de soleil une représentation sans rapport avec la

⁽¹⁾ Sur Eudème, historien des mathématiques et de l'astronomie, voyez Fr. WEHRLI, *Eudemos von Rhodos* (= *Die Schule des Aristoteles, Texte und Kommentar*, Heft VIII, Basel, 1955) frg. 133-150 et pp. 113-121 (commentaire).

réalité. En effet, il les croyait produites par l'obturation temporaire des trous qui, dans les roues qui constituent les orbites de la lune et du soleil, laissent apparaître en temps normal ces astres (F.V.S. 10^e éd. I 12[2] A 18-19, 21-22). ⁽¹⁾ D'ailleurs, Simplicius s'exprime avec quelque réserve.

A défaut de distances mesurées, Anaximandre aurait eu une doctrine sur l'ordre d'éloignement des corps célestes, s'il faut en croire Aetius (F.V.S. 10^e éd. I 12[2] A 18) qui joint son nom à ceux de Métrodore de Chios et de Cratès parmi les philosophes qui situaient « le soleil au plus haut, la lune venant après et plus bas encore les étoiles fixes et les planètes ». Ordre bien archaïque, et dont on ne voit pas la justification, mais qui ne sera pas sans écho encore chez Julien l'Apostat (*Discours sur Hélios*, 28). On a pensé à un modèle iranien ⁽²⁾.

Aetius encore (F.V.S. 10^e éd. I 12[2] A 21) donne les estimations qu'aurait avancées Anaximandre, mais son texte n'indique pas clairement à quelle unité se réfère le « vingt-huit » et le « vingt-sept fois plus grand que la terre » par quoi il mesure « l'orbite du soleil ». Cette mesure de l'orbite suppose une estimation (mais en quelles unités ?) de la distance de la terre au soleil. L'unité est peut-être l'orbite de la terre, s'il faut croire avec Eudème qu'Anaximandre faisait se mouvoir la terre ⁽³⁾ autour du centre du monde. Mais ce mouvement est-il rotation de la terre sur son axe ou révolution ? ⁽⁴⁾ Le nombre vingt-huit est celui des

⁽¹⁾ Sur l'astronomie d'Anaximandre, voyez T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos* (Oxford, 1913), pp. 24-38. On trouvera dans C. J. CLASSEN, *Anaximandros*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, Supplement XII (1970), coll. 30-69, l'exposé le plus récent et une bibliographie abondante et à jour sur Anaximandre, spécialement coll. 50-54.

Voyez spécialement Ch. H. KAHN, *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology* (New York, 1960; 2^e éd., 1964), qui donne une importante étude critique de la doxographie et réédite tous les textes, pp. 11-71 (pp. 60-63 pour la lune).

⁽²⁾ Bibliographie dans C. J. CLASSEN, *Anaximandros*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, Supplement XII (1970), col. 50.

⁽³⁾ Sur la terre mobile autour du centre du monde qu'aurait imaginée Anaximandre, voyez la doxographie d'Eudème transmise par Théon de Smyrne (F.V.S. 10^e éd. I 12[2] A 26). Voyez A. E. TAYLOR, *A Commentary on Plato's Timaeus* (Oxford, 1928) p. 164, note 1, qui souligne que l'astronomie grecque débuta avec une terre qui se meut et que les Pythagoriciens, en faisant de la terre une planète, n'ont pas été aussi novateurs qu'on le croit généralement.

⁽⁴⁾ Je ne crois pas qu'il faille, avec A. E. TAYLOR, *loc. cit.*, se décider pour un mouvement de révolution, car ARISTOTE, *De Caelo* II, XIII, 295 b 10, attribue à

jours de la lunaison ; le nombre 27 ⁽¹⁾ a pour propriété d'être la somme des trois premiers nombres, des carrés de 2 et de 3 et du cube de 2, lui-même, 27, étant le cube de 3. En effet, $27 = 1 + 2 + 3 + 4 + 8 + 9$. Il s'agit donc de nombres sacrés, ce qui nous montre — mais Aetius rapporte-t-il bien sa pensée ? — qu'Anaximandre proposait une organisation de l'univers dont l'ordonnance évoque déjà celle que le démiurge compose dans le *Timée* 35 C de Platon ⁽²⁾.

Un autre nombre encore, dans un contexte qui ne permet pas non plus d'en préciser la relation, nous est donné par Aetius (II, 25, 1 = F.V.S. 10^e éd. I 12[2] A 22) sous le nom d'Anaximandre : le cercle de la lune serait dix-neuf fois celui de la terre.

Il reste que, selon DIOGÈNE LAERCE II, 1, 1, citant Favorinus, on pourrait voir en Anaximandre l'inventeur de l'instrument de mesure de la hauteur des astres, le gnomon. Mais HÉRODOTE, II, 109, attribue cette invention aux Babyloniens. Anaximandre, comme Thalès, est souvent l'objet de la manie des Grecs de désigner un *πρώτος εὑρητής*, un « inventeur » !

b. Parménide

Une brève mention d'Aetius (F.V.S. 10^e éd. I 28[18] A 42) attribue à Parménide l'opinion que la lune est égale au soleil. Faut-il voir là l'écho d'une première mesure des diamètres apparents qui, précisée graduellement à l'époque hellénistique, révélera par ses variations l'éloignement plus ou moins grand de l'orbite de la lune ? On ne saurait décider ⁽³⁾. Le souci d'établir

Anaximandre une terre qui *reste* en suspension à cause de l'égalité de distance où elle est de tout. Cf. F.V.S. 10^e I 12[2] A 26, corroboré par A 11 (HIPPOLYTE, *Refutatio omnium haeresium* I, 6).

⁽¹⁾ Le nombre 27 est donné aussi par HIPPOLYTE, *Ref. ibid.* (F.V.S. 10^e éd. I 12[2] A 11) dans un contexte probablement mutilé (*εἶναι δὲ τὸν κύκλον τοῦ ἡλίου ἐπτακαίκοσάπλοισιν... ? τῆς σελήνης*) qui établit un rapport d'orbites et par conséquent de distances entre le soleil et peut-être la lune. Mais il n'y a rien, à mon sens, à tirer de ce texte.

⁽²⁾ Cf. D. O'BRIEN, *Anaximander's measurements*, dans *Classical Quarterly*, n.s. 17 = 61 (1967), pp. 423-432, qui, discutant les interprétations de ce passage, conclut qu'Anaximandre se rattache à la doctrine des proportions musicales, comme Pythagore et Empédocle. La discussion s'est poursuivie. Voyez D. R. DICKS, *On Anaximander's Figures*, dans *The Journal of Hellenic Studies* 89 (1969), p. 120, ainsi que D. O'BRIEN, *Anaximander and Dr Dicks*, dans *The Journal of Hellenic Studies* 90 (1970), pp. 198-199.

⁽³⁾ Sur l'astronomie de Parménide, voyez T. L. HEATH, *op. cit.* pp. 62-77.

un ordre d'éloignement des planètes, que laisse entrevoir F.V.S. 10^e éd. I 28[18] A 40 a (*Parménide place d'abord l'Étoile du Matin qu'il tient pour identique à l'Étoile du Soir, dans l'Éther, ensuite le Soleil, sous lequel les astres sont dans la substance ignée qu'il appelle le Ciel*) n'est évidemment pas fondé sur des mesures et c'est plutôt au courant d'une pensée du plus ancien type pythagoricien que nous le rattacherions, avec Diogène Laërce, VIII, 14.

c. Pythagoriciens

C'est aux Pythagoriciens, en effet, que Simplicius (*Commentaire du De Caelo* d'Aristote, éd. HEIBERG, p. 471), nous l'avons vu, attribue, sous l'autorité d'Eudème de Rhodes, le premier essai d'établissement d'un ordre des planètes, parmi lesquelles les Anciens comptaient la Lune et le Soleil, Mercure et Vénus, Mars, Jupiter et Saturne et bien entendu, pas la terre.

On sait combien ce terme de « pythagoricien » englobe de doctrines d'âges différents et de qualité inégale, doctrines qu'il est au surplus — du moins pour le pythagorisme ancien — impossible de définir, faute de textes authentiques ⁽¹⁾. Les Vies de Pythagore et des Pythagoriciens réunies au livre VIII de Diogène Laërce ainsi que celles de Jamblique et de Porphyre, où des bribes de doxographies surnagent sur un flot d'anecdotes puériles, ne sauraient nous fournir une trame ⁽²⁾. Le dédain d'Aristote qui, lorsqu'il rapporte leurs conceptions astronomiques, désigne

⁽¹⁾ Sur l'analyse de la notion de « Pythagoriciens » par l'étude des sources et de leur origine, voyez A. DELATTE, *Études sur la littérature pythagoricienne* (Paris, Bibliothèque de l'École des Hautes Études, Sciences historiques et philologiques, fasc. 217, 1915).

⁽²⁾ Voyez A. DELATTE, *La Vie de Pythagore de Diogène Laërce* (Bruxelles, Académie Royale de Belgique, Classe des Lettres, Mémoires in-8°, 2^e série, XVII, 2, 1922) où se trouve une étude générale des sources de Diogène Laërce, en introduction, et une étude des sources de la pensée prêtée à Pythagore et de ses échos, dans le commentaire par paragraphe de l'édition de la *Vie*. On consultera aussi ISIDORE LÉVY, *Recherches sur les sources de la légende de Pythagore* (Paris, Bibliothèque de l'École des Hautes Études, Sciences religieuses, fasc. 42, 1926).

Sur l'astronomie des Pythagoriciens, l'ouvrage désormais classique, où l'on trouvera, en traduction allemande, toutes les sources classées par matières et commentées, est celui de B. L. VAN DER WAERDEN, *Die Astronomie der Pythagoreer* (dans *Verhandelingen Kon. Nederlandse Akademie, Afd. Natuurkunde, eerste reeks, deel XX, n° 1*, Amsterdam, 1951).

« les Pythagoriciens » en bloc ou même par une expression laissant entendre l'imprécision de la notion, « ceux qu'on appelle les Pythagoriciens », et, d'autre part, le désir de désigner un *πρωτος εὐπερις* ont contribué à brouiller les traces.

Il y a cependant une tradition qui, jusqu'à la fin de l'Antiquité, jusqu'à Proclus et à Macrobe, traverse avec insistance l'histoire de la philosophie, c'est celle qui attribue « aux Pythagoriciens » ou à tel d'entre eux une organisation des corps célestes selon des distances harmonisées conçues sur le modèle de la gamme musicale.

Sur ce sujet de la « musique des sphères », qui trouvera des expressions prestigieuses, partons du témoignage que PLINIE L'ANCIEN nous transmet dans l'*Histoire Naturelle* II, 83. « Pythagore, esprit subtil, a établi que, de la terre à la lune, il y a 126.000 stades ; de celle-ci au soleil, le double ; du soleil aux douze signes, le triple. Et c'est aussi l'opinion de notre compatriote Sulpicius Gallus » ⁽¹⁾.

Plinie, on le voit, prête à Pythagore une mesure absolue des distances. Or, de la terre à la lune, la distance donnée ici est tellement petite (curieusement, c'est la moitié de la circonférence terrestre d'Ératosthène ; n'est-ce pas le fait d'un télescopage d'informations ?), que cette mesure, si elle fut un jour avancée par quelque astronome grec, est évidemment sans bases rationnelles induites d'observations précises. La proportion de 1 à 2 qui harmonise les distances de la terre à la lune et de la lune au soleil est également attribuée — par Aetius — à Empédocle (F.V.S., 10^e éd., I 31[21] A 61) ⁽²⁾.

Le schéma que Plinie prête à Pythagore relève de la conception, non seulement d'un espace petit, mais d'un espace auquel on a imposé des relais disposés en fonction d'une progression arithmétique.

⁽¹⁾ Sulpicius Gallus était consul en 166. Avant la bataille de Pydna, en 168, il aurait prédit une éclipse. Le fait est mentionné par PLINIE L'ANCIEN, *Histoire Naturelle* II, IX (12) = 53, et par d'autres auteurs qu'énumère Jean BEAUJEU, dans la note, p. 143, à l'édition « Budé » de Plinie. CICÉRON, *De Republica* I, 21, mentionne l'intérêt que Sulpicius Gallus prit à la sphère armillaire fabriquée par Archimède, sphère qu'il avait vue chez le petit-fils de Marcellus, vainqueur de Syracuse.

⁽²⁾ Stobée donne l'harmonisation inverse : la distance de la lune à la terre serait double de celle qui sépare la lune du soleil. Mais DIELS, avec raison, croit ce texte corrompu. Sur cette doxographie, voyez D. O' BRIEN, *Anaximander's measurements*, dans *Classical Quarterly*, n.s. 17 = 61 (1967), pp. 428-429.

Cet ordre imposé et conçu en raison d'une sorte d'esthétique est exprimé aussi sous la forme d'intervalles musicaux. Dans son désir explicite de ne rien laisser se perdre de ce qu'il a recueilli (II, 85 : *prodenda quia sunt prodita*), Pline prête, en effet, à Pythagore une expression musicale des intervalles entre les corps célestes. Cette projection dans l'univers de l'expérience humaine de la perception des intervalles musicaux est une application du principe de sympathie. L'ordre du ciel répondra ainsi, de manière à la fois rassurante et exaltante pour l'homme, à un rythme humain. Voici ce que dit Pline (II, 84). « Mais Pythagore, en se référant aussi parfois à la théorie de la musique, appelle ton la distance de la Terre à la Lune ; de celle-ci à Mercure, demi-ton ; demi-ton aussi de Mercure à Vénus ; de celle-ci au Soleil, il compte un ton et demi ; du Soleil à Mars, un ton, c'est-à-dire autant que de la Terre à la Lune ; de Mars à Jupiter, un demi-ton, comme de celui-ci à Saturne et de là un ton et demi jusqu'au zodiaque. Ce qui constitue les sept tons de ce qu'on appelle *διὰ πασῶν ἀρμονίαν*, c'est-à-dire l'accord universel (*universitatem concentus*) ⁽¹⁾. Saturne s'y meut selon le mode dorien, Jupiter selon le mode phrygien et il en va pareillement des autres. Tout cela est d'une subtilité qui amuse plus qu'elle ne s'impose » ⁽²⁾.

La doctrine de l'harmonie planétaire, si gratuitement instituée qu'elle paraisse ici et si primitif qu'en soit le fondement, traversera les siècles, en dépit des découvertes scientifiques qu'elle aura stimulées et qui auraient dû la ruiner, enracinée dans la culture antique par le prestige de l'expression littéraire que lui donneront Platon et Cicéron.

d. Platon

C'est chez Platon, en effet, que nous trouvons exprimée pour la première fois, en deux mythes dont les différences permettent

⁽¹⁾ Nous reprenons ici la traduction de Jean BEAUJEU, qui remarque fort justement que la traduction de *διὰ πασῶν ἀρμονίαν* par *universitatem concentus* que donne Pline révèle qu'il n'a pas compris l'expression. Dans PLATON, *République* III, 398 D-E, *ἀρμονία* est défini comme le mode de la gamme.

⁽²⁾ La même théorie est exposée et longuement développée, assez visiblement d'après une source remontant à Pline ou à la source de celui-ci (peut-être Varron d'après J. BEAUJEU), par CENSORINUS, *De die Natali*, chapitre 13 (éd. HULTSCH, Leipzig, Teubner, 1867) et par MARTIANUS CAPELLA, *Noces de Mercure et de Philologie* II, 169-199.

de suivre les étapes d'une recherche, cette doctrine de l'harmonie planétaire.

Les distances relatives

Dans le mythe d'Er, tout d'abord, à la fin de la *République* (X 616 B-617 D) ⁽¹⁾, huit pesons, enchâssés les uns dans les autres et d'épaisseurs différentes figurent les cercles concentriques des sept planètes des Grecs et du ciel des fixes : « Le cercle du plus grand peson était constellé (il s'agit donc du ciel des fixes) ; celui du septième peson était le plus brillant, celui du huitième tenait sa couleur du septième qui l'éclairait » (616 E-617 A). Ces deux derniers pesons désignent évidemment les cercles du soleil et de la lune qui sont présentés aussi comme voisins (1^{er} et 2^e cercles) dans le *Timée* 38 D. Les autres pesons que décrit Platon sont les cercles des planètes, reconnaissables à leur couleur. « Le fuseau tout entier tournait en cercle d'un mouvement uniforme (c'est le mouvement du ciel des fixes). Mais dans l'enveloppe qui les entraînait ainsi tous en sa révolution, les sept fuseaux intérieurs se mouvaient lentement en une révolution de sens opposé à celle de l'ensemble. Et, parmi ces pesons, le plus rapide était le huitième (c'est-à-dire la lune) (617 A). Après avoir donné les vitesses relatives des autres corps célestes, Platon ajoute : « Le fuseau lui-même tournait sur les genoux de la Nécessité. Sur chacun de ses cercles, au bord supérieur, une Sirène tournait, entraînée par lui ; elle émettait un seul son, une seule note. De toutes ces notes, au nombre de huit, résultait un seul accord ».

Ce mythe, ainsi que le montre Proclus, fut fort étudié dès l'Antiquité ⁽²⁾ : l'apparat des éditions critiques révèle le nombre des auteurs qui en ont transmis des extraits. A notre recherche des voies de la pensée grecque vers la connaissance de la lune, il offre deux directions. Platon lie, en effet, tout d'abord, en raison de leur essence mathématique, la musique et l'astronomie. D'autre part, il semble évoquer ici un automate construit pour représenter le mouvement des astres.

⁽¹⁾ Sur ce passage du mythe d'Er, voyez le commentaire de J. ADAM, *The Republic of Plato* (Cambridge, 1929), pp. 440-454 : exposé des questions et bibliographie.

⁽²⁾ PROCLUS lui a consacré la XVI^e dissertation de son *Commentaire sur la République* (trad. A. J. FESTUGIÈRE, Paris, 1970, tome III).

Musique et astronomie ⁽¹⁾, le texte de Plin nous a montré que c'était là le thème des Pythagoriciens. Que Platon leur ait emprunté ce thème, tout ce que l'on sait de leur influence sur sa pensée le rend évident ⁽²⁾. L'« arithmétisme » des Pythagoriciens est l'objet d'un exposé d'Aristote (*Métaphysique* I, ch. V, p. 985 B), qui le critique pour son abstraction gratuite : « les Pythagoriciens — dit-il — considérèrent que les principes des nombres étaient les principes de toutes choses » et Stobée a conservé de Philolaos un fragment (F.V.S., 10^e éd., I 44[32] B 4) : « tout ce qui est objet de connaissance a un nombre ; car il n'est possible ni de concevoir ni de connaître quelque chose sans le nombre ». Ce « pan-arithmétisme » justifie donc le lien établi entre l'harmonie musicale et l'harmonie universelle. Aussi bien, dans un autre passage de sa notice sur les Pythagoriciens, Aristote ajoute-t-il (*Métaphysique* I, ch. V, p. 986 A) « et comme ils voyaient que les proportions des gammes étaient réglées par des nombres, et comme il paraissait évident que toutes choses ont conformé toute leur nature aux nombres et que les nombres sont les éléments primordiaux de toute la nature, ils considérèrent que les éléments des nombres sont les éléments de tous les êtres et que l'univers entier est harmonie et nombre. Nous avons ici, passant par l'intermédiaire du nombre, une expression de plus du principe de sympathie.

Et Aristote critique le caractère forcé de ces correspondances : « tout ce qu'ils purent montrer d'accord (ὁμολογούμενα) dans les nombres et les harmonies des processus (πάθη) de l'univers (οὐρανῶν) ainsi que de ses parties et de l'organisation (διακόσμησις) universelle,

⁽¹⁾ Sur ce sujet, et plus particulièrement sur l'harmonie musicale des planètes, la bibliographie est immense. Je cite ici ce qui concerne plus spécialement les rapports de Platon et des Pythagoriciens : P. TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (1893), pp. 323 sqq. ; K. VON JAN, *Die Harmonie der Sphären*, dans *Philologus* 52, neue Folge 6 (1893-1894), pp. 13-37 ; Th. REINACH, *La musique des sphères*, dans *Revue des Études grecques* 13 (1900), pp. 432-449 ; E. FRANK, *Mathematik und Musik und der Griechische Geist*, dans *Logos* 9 (1920-1921), pp. 222-229 ; P. TANNERY, *Du rôle de la musique grecque dans le développement de la mathématique pure* (1902) (reproduit dans *Mémoires scientifiques* III n° 71, pp. 68-89) ; T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos* (Oxford, 1913), pp. 105 sqq. ; P. BOYANCÉ, *Études sur le Songe de Scipion* (Bibliothèque des Universités du Midi XX, Bordeaux-Paris, 1936), pp. 104 sqq. B. L. VAN DER WAERDEN, *Die Astronomie der Pythagoreer* (Verhandel. Kon. Nederl. Akad. Afd. Natuurkunde, eerste reeks, Deel XX, Amsterdam, 1951), pp. 29-37, où l'on trouvera la liste des auteurs grecs et latins qui ont exposé ce thème.

⁽²⁾ Voyez E. FRANK, *Plato und die sogenannten Pythagoreer* (Halle-Saale, 1923) (analyse exhaustive et critique) et B. L. VAN DER WAERDEN, *op. cit.*

ils le recueillirent et l'articulèrent (ἐφήρμοτον). Et s'il manquait quelque part un élément, ils le recherchaient ardemment pour faire de leur système un tout bien connecté ».

A partir d'Aristote, les témoignages sont nombreux sur les liens de la mathématique et de la musique, à commencer par celui d'Eudème de Rhodes (frg 142 WEHRLI) ⁽¹⁾. On sait qu'Eudoxe de Cnide, issu des milieux pythagoriciens, élève d'Archytas de Tarente et collaborateur de l'Académie de Platon, avait étudié, lui aussi, les fondements numériques des intervalles musicaux. Il y ajoutait des considérations sur le lien de la vitesse des vibrations et de la hauteur du son. Voici ce que dit à ce sujet Théon de Smyrne dans son *Manuel de ce qu'il faut savoir de mathématiques pour comprendre Platon* (éd. HILLER, Leipzig, Teubner, 1878) p. 61 : « Eudoxe et Archytas pensaient que la raison (λόγος : « raison » au sens de « raison d'une série proportionnelle ») des accords résidait dans les nombres. Ils admettaient, eux aussi, que ces proportions étaient dans les mouvements et que le mouvement rapide donnait l'aigu, attendu qu'il frappait de manière continue et qu'il percutait plus rapidement sur l'air, tandis que le mouvement lent donnait le grave, attendu qu'il était plus paresseux ».

Ainsi donc ces quelques textes qui concernent la pensée pythagoricienne de l'époque de Platon ou légèrement postérieure — et le dossier serait énorme si l'on voulait l'épuiser — nous ont fait repérer dans les milieux pythagoriciens les éléments fondamentaux du mythe astronomique de la *République* : une spéculation arithmétique sur les intervalles interplanétaires ; une comparaison de ces intervalles à ceux de la gamme ; enfin, entre vitesse et hauteur des sons, un lien projeté du monde terrestre au monde céleste, en fonction du schéma de la sympathie.

Le mythe astronomique qui clôt la *République* a eu un immense succès dans l'Antiquité et, par le *Songe de Scipion* de Cicéron ⁽²⁾, qui en met en œuvre les principales données avec une belle

⁽¹⁾ Voyez P. TANNERY, *Du rôle de la musique grecque dans le développement de la mathématique pure* (1902) (reproduit dans *Mémoires scientifiques* III, n° 71, pp. 68-89) sur la théorie des rapports chez Archytas de Tarente et chez Eudoxe, inspirateur des propositions sur ce sujet du V^e livre d'Euclide.

⁽²⁾ C'est dans l'édition, traduite et assortie d'un important et excellent commentaire, qu'en a donnée Pierre BOYANCÉ, *Études sur le songe de Scipion* (Bibliothèque des Universités du Midi XX, Bordeaux-Paris, 1936), que nous lisons ce texte.

puissance d'évocation, il a pénétré dans l'imagination romaine, pour rentrer plus tard dans le monde grec byzantin sous cette forme cicéronienne, grâce à une traduction qu'en fit du latin en grec au XIII^e siècle Maxime Planude traduisant le *Commentaire* de Macrobe. Celui-ci donne une idée des contaminations et des erreurs qui défiguraient, chez un homme de la fin de l'Antiquité, les conquêtes de l'astronomie grecque.

En gros, les chapitres IV-V (17-18) du *Songe de Scipion* correspondent au mythe astronomique de la *République* de Platon, mais sans mention des pesons ni des sirènes. Cicéron n'a pas réduit le ciel à ce « modèle » : il l'évoque directement dans sa magnifique ampleur. Il y a neuf sphères au lieu de huit, la neuvième, au centre, étant celle de la terre. Comme chez Platon, il n'y a que deux mouvements : le ciel des fixes, d'une part ; les sept planètes, d'autre part, en sens inverse, alors qu'à l'époque de Cicéron les astronomes, à commencer par Eudoxe, avaient tenté depuis longtemps de décomposer le mouvement apparent en une grande quantité de rotations sur des axes différents, pour la même planète. Mais cette représentation, trop compliquée, ne paraît pas avoir pénétré dans la culture de l'honnête homme.

D'autre part, la place du soleil dans l'ordre des planètes est différente. Si la lune est, comme chez Platon, la plus proche de la terre ou la plus basse des planètes, elle n'a pas, chez Cicéron, le soleil pour voisin. Celui-ci est au milieu de la série. Et cette place, Cicéron la justifie par une raison relevant d'un schéma qui projette dans le ciel la règle du « président au milieu ». Le soleil, en effet, est « le guide, le chef, le directeur des autres corps lumineux, l'esprit du monde et le principe de son équilibre, si grand que, de sa lumière, il parcourt et remplit tout » (traduction de P. BOYANCÉ). Le problème de la place relative des corps célestes, que déjà dès l'époque d'Anaxagore on essayait de résoudre selon une méthode scientifique par l'observation des éclipses, apparaît ici tout engagé dans des postulats et des comparaisons relevant d'une pensée non rationnelle. Pourtant l'observation, dès le IV^e siècle avant notre ère, avait été si attentive qu'Aristote connaît une éclipse de Mars par la lune (*De Caelo* II, XII, 292 A), celle du 4 mai 357 (d'après W. K. C. GUTHRIE, en note *ad loc.* édition Loeb, 1953) et Aristote ne manque pas de mentionner à cette occasion « les observations des Égyptiens et des Babyloniens ».

Cette divergence entre Cicéron et Platon quant à la place du soleil oppose précisément deux systèmes entre lesquels se partagent les Anciens touchant l'ordre des planètes (1).

L'ordre « égyptien »

L'ordre de Platon, qui met le soleil tout juste au-dessus de la lune, est en général celui des anciens astronomes (2). On l'appelait « l'Ordre égyptien ». Ce serait celui d'Anaxagore, si l'on accepte la donnée que Proclus dans le *Commentaire sur le Timée* (III p. 63, 30, éd. DIEHL) nous transmet d'après Eudème. Mais il se pourrait qu'Anaxagore ne soit crédité par Proclus que de « l'étroite communion » (πρόσδοον... ὡς συνημμένην) constatée entre le soleil et la lune et non nécessairement d'une doctrine sur l'ordre des planètes (3). Platon (4), dans le *Timée* 38 D, est conscient de la difficulté de situer l'une par rapport à l'autre les planètes extérieures. Tout en gardant le soleil immédiatement au-dessus de la lune, il aperçoit aussi les problèmes que suscitent les mouvements

(1) Sur ces deux séries d'ordres des planètes, voyez P. BOYANCÉ, *op. cit.*, pp. 60-61 ; F. BOLL, *Hebdomas*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 2547-2578 (1912) particulièrement, coll. 2561-2578 ; R. VON JAN, *Die Harmonie der Sphären*, dans *Philologus* 52 (1894) pp. 18-37, auxquels il faut ajouter W. et H. GUNDEL, *Planeten*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 2039 sqq.

C'est dans ces ouvrages que nous avons recueilli les sources que nous citons. MACROBE, *Commentaire au Songe de Scipion* I, ch. 19, expose ces deux séries. On les trouve aussi chez PROLÉMÉE, *Syntaxis* IX, 1, au chapitre qui s'intitule « de l'ordre des sphères du soleil et de la lune ainsi que des cinq planètes », chez CLÉOMÈDE *De motu circulari* I, 3, § 17, et chez PROCLUS, *Commentaire sur le Timée* III, pp. 61 sqq. éd. DIEHL.

(2) PROLÉMÉE, *Syntaxis* IX, 1, attribue au contraire cet ordre aux plus récents des astronomes : le relevé des témoignages nous force à ne pas le suivre sur cette question de priorité.

(3) PROCLUS, *Commentaire sur le Timée*, III, pp. 61 sqq. (éd. DIEHL) commentant *Timée* 38 C 9-D 6 en même temps que le mythe d'Er (*République* X, 616 E), nous donne une petite monographie sur les deux systèmes de l'ordre des planètes, (traduction A. J. FESTUGIÈRE, tome IV, pp. 83 sqq.).

Le passage de Proclus relatif à l'opinion d'Anaxagore, πρώτος ἐπερίης de l'ordre de Platon, d'après Eudème (frg. 147 WEHRLI) est reproduit dans *F.V.S.* 10^e éd. II 59 [46] A 75. Les doutes sur l'interprétation de la pensée d'Anaxagore sont émis par F. BOLL, *Hebdomas*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.* col. 2566.

(4) Platon a indiqué son ordre des planètes non seulement dans le mythe d'Er, mais dans le *Timée* 38 D, où il renonce à préciser la position de Mars, Jupiter et Saturne.

de Vénus et de Mercure ⁽¹⁾ qu'il place au-delà du soleil. L'auteur de l'*Epinomis* 986 A-987 B adopte sans inquiétude l'ordre platonicien. C'est aussi l'ordre d'Eudoxe ⁽²⁾, d'une partie au moins des Pythagoriciens ⁽³⁾ auxquels Eudème attribue la priorité de l'établissement d'un ordre, de Philolaos ⁽⁴⁾, d'Aristote ⁽⁵⁾, de Callippos ⁽⁶⁾, de Chrysippe ⁽⁷⁾ et enfin peut-être d'Ératosthène ⁽⁸⁾.

Les raisons qui ont dû pour Platon justifier cet ordre ancien, Proclus ne les cherche pas dans la science astronomique, mais dans le schéma du couple lune-soleil. « Platon, dit-il, place le soleil en second après la lune parce que ces deux dieux sont dans la liaison la plus étroite en ce qui regarde la création visible — car l'un a rang de père, l'autre de mère — et parce que les causes intelligibles et intellectives de ces deux sont mutuellement unies » (traduction de A. J. FESTUGIÈRE tome IV, p. 83) et Proclus cite à l'appui de cette explication cinq « oracles », qui ne sont pas à vrai dire très convaincants. Bien entendu, l'explication de Proclus ne prouve rien quant aux fondements que Platon donnait à sa doctrine, qui sans doute s'appuyait sur les observations des astronomes touchant notamment les éclipses. Proclus nous montre seulement la persistance et la vigueur en son propre esprit du schéma du couple au cœur même d'un problème d'astronomie. Mais Aristote, s'il met les planètes au-delà du soleil

⁽¹⁾ Sur *Timée* 38 D, outre Proclus cité ci-dessus, p. 176, n. 3, voyez le commentaire de A. E. TAYLOR, *A Commentary on Plato's Timaeus* (Oxford, 1928), pp. 192-202.

⁽²⁾ L'ordre d'Eudoxe nous est connu par PROCLUS, *Commentaire sur le Timée* III p. 62, 5, éd. DIEHL.

⁽³⁾ D'après Eudème qui cite SIMPLICIUS, *Commentaire sur le De Caelo d'Aristote* p. 471, éd. HEIBERG.

⁽⁴⁾ Sur la doctrine de Philolaos touchant l'ordre des planètes, voyez AETIUS, *Placita* 336, 20 sq. de Théophraste (?) reproduit F.V.S. 10^e éd. I 44 (32) A 16. Le texte est l'objet de plusieurs restitutions qui ne touchent que ce qui concerne les corps célestes les plus éloignés de la terre : voyez la note critique de DIELS-KRANZ.

⁽⁵⁾ Sur l'ordre des planètes qu'adopte Aristote, voyez *De Caelo* 291 B-292 A ; PROCLUS, *Commentaire sur le Timée de Platon* III, p. 62, éd. DIEHL, et *Commentaire sur la République de Platon* II, p. 220, 21, éd. KROLL.

⁽⁶⁾ PROCLUS, *Commentaire sur la République de Platon* II, p. 220 et ARISTOTE, *Métaphysique* XII, 8, 1073 B 17 sqq. et 32 sqq. (Eudoxe et Callippos).

⁽⁷⁾ S.V.F. II, n° 527 (Stobée Flor. I, p. 184, Wachsmuth).

⁽⁸⁾ Cf. THÉON DE SMYRNE, *De Astron.* ed. E. HILLER, p. 142, que cite A. W. TAYLOR, *A Commentary on Plato's Timaeus*, p. 193.

et plus près que celui-ci du « corps primaire », donne, au moins pour « certaines d'entre elles », une preuve tirée de l'astronomie scientifique : on a lu plus haut qu'il sait que la lune éclipse Mars (*De Caelo* II, XII, 292 A).

L'ordre « chaldéen »

L'ordre qui met le soleil au milieu de la série est plus récent. Il est dit « chaldéen ». C'est celui d'Archimède ⁽¹⁾, de certains Pythagoriciens ⁽²⁾, de Panétius ⁽³⁾ de Cicéron ⁽⁴⁾, de Ptolémée ⁽⁵⁾, des astrologues ⁽⁶⁾ et de Proclus lui-même ⁽⁷⁾, en dépit des hésitations qu'il expose dans le *Commentaire sur le Timée*, III, pp. 62-63 (éd. DIEHL).

En fait, la difficulté fondamentale est, depuis Platon jusqu'à Ptolémée, de placer Vénus et Mercure, qui évoluent de façon apparemment irrégulière dans le voisinage du soleil. La théorie des éclipses de soleil donnait plus de vraisemblance à l'ordre « égyptien » — soleil immédiatement au-dessus de la lune et ainsi éclipsé par elle. Et le fait que jamais Vénus ni Mercure n'avaient été vues devant le soleil et l'éclipsant pouvait paraître corroborer cet ordre. Mais Ptolémée fait remarquer (*Syntaxis* IX, 1, p. 207) que ces planètes peuvent fort bien se trouver « sous » le soleil, sans jamais être sur une ligne droite allant de notre œil à celui-ci, tout comme la lune n'éclipse pas le soleil à chaque conjonction, mais seulement quand sa position en latitude la met sur une ligne droite de notre œil au soleil. Et c'est ce qui fait que, faute — dit-il — de parallaxe perceptible qui permettrait une mesure des distances, et une décision scientifiquement fondée, il ne voit pas d'objection à tenir pour « plus naturel » l'ordre chaldéen. Ptolémée voit donc très bien qu'où

⁽¹⁾ L'ordre d'Archimède est mentionné par MACROBE, *Commentaire au Songe de Scipion* I, 19, 2 et II, 3, 13.

⁽²⁾ D'après PLINIE II, 84, qui attribue cette doctrine à Pythagore ; CENSORINUS, *De die natali* 13, 3 et THÉON DE SMYRNE, *De Astronomia*, p. 138, 11.

⁽³⁾ D'après CICÉRON, *De divinatione* II, chapitre 43, § 91, dans une argumentation contre les principes de l'astrologie, que répudiait également Panétius.

⁽⁴⁾ CICÉRON, *ibid.* et *Songes de Scipion*, IV, 17 2.

⁽⁵⁾ PTOLÉMÉE, *Syntaxis* IX, ch. 1 (cf. PROCLUS, *Commentaire sur le Timée* III pp. 62-63, éd. DIEHL et *Tétrabible* III, 12, 148).

⁽⁶⁾ Cf. F. BOLL, *Hebdomas*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.* coll. 2568 sqq.

⁽⁷⁾ *Commentaire sur la République* II, p. 220, éd. KROLL.

s'arrête la mesure s'arrête aussi la démarche scientifique. Et, avec ce « plus naturel », rentre en scène le choix inspiré de schémas non rationnels. Ptolémée sait, naturellement (*loc. cit.*), que les planètes sont beaucoup plus près de la terre que les fixes, mais plus loin de la terre que la lune.

Proclus (*Commentaire du Timée* III p. 62, 15, éd. DIEHL), qui résume l'argumentation de Ptolémée, trouve, dans ce qui n'est chez celui-ci que conscience claire des limites de sa science, les raisons d'un scepticisme désabusé. « Ces savants — dit-il — ne disent rien de sûr... Mais cela même qui a besoin de preuve, que le soleil est au milieu, ils ne peuvent le garantir au moyen de démonstrations, je veux dire d'arguments pressants (traduction de Ch. MUGLER apud A. J. FESTUGIÈRE). Et Proclus préfère donner sa foi à Julien le Théurge ! Tout comme, avec un sourire consciemment ambigu, l'empereur Julien aurait quelque indulgence pour un ordre mystique qui mettait le soleil au-delà même des étoiles fixes (*Discours sur Hélios*, 28).

Mais poursuivons la comparaison du *Songe de Scipion* et du mythe astronomique de la *République* de Platon. Le thème de la musique des astres, ou plutôt des sphères qui les portent et les entraînent dans leur mouvement, s'est développé depuis Platon. Et les sons spécifiques de chacun, conformément aux découvertes que Théon de Smyrne (éd. HILLER, p. 61) prête à Eudoxe et à Archytas dans le domaine de l'acoustique, sont mis en rapport avec leur vitesse. Pour Cicéron, ch. V, 18-19, « le cercle du ciel le plus élevé, celui qui porte les étoiles, comme son mouvement est le plus rapide, se meut en rendant un son aigu et précipité ; le cercle de la lune, qui est le plus bas, se meut avec le son le plus grave » (traduction de P. BOYANCÉ). Or, pour Platon (*République* 617 B et *Timée* 39 A-B), c'est le mouvement de la lune qui est le plus rapide, en ce sens que la révolution en est accomplie dans le moins de temps. Pour lui, le son de la lune devrait donc être le plus aigu. Mais il n'a pas donné cette précision. La loi de l'acoustique liant hauteur du son et vitesse de vibration d'Eudoxe et d'Archytas pouvait être encore inconnue au moment où Platon écrivait le mythe d'Er.

Dans le *De animae procreatione in Timaeo* 31-32, 1028 F-1029 A, Plutarque évoque ces assimilations proposées entre la position des planètes et la place des notes dans la gamme et il signale la divergence des doctrines sur ce sujet. Mais, d'une

seule phrase, il exécute en bloc toutes ces théories. « Cette élégance — dit-il — n'atteint pas la vérité », opposant ainsi, sous le nom de « vérité », le résultat d'une démarche scientifique à celui d'une spéculation sans fondement rationnel (1029 A) (1).

Les modèles mobiles

Revenons cependant au mythe d'Er. Outre les rapports de la musique et de l'astronomie, il révèle, on s'en souvient, la construction de modèles représentant les corps célestes. E. Frank (2) a suggéré et A. Rivaud (3) a démontré, en effet, que les pesons tournants surmontés de sirènes devaient être inspirés de quelque automate reproduisant les mouvements du ciel, et cela en dépit du fait que les auteurs anciens ne mentionnent pas d'automates de ce type avant la sphère armillaire d'Archimède que décrit Cicéron (*De Republica* I, XIV, 21-22). La complication et la perfection de cette sphère creuse et mobile, qui rendait compte de toutes les anomalies du cours de la lune, du soleil et des cinq planètes ainsi que des éclipses de lune et de soleil, permet de supposer qu'Archimède avait eu des prédécesseurs autres que Thalès et Eudoxe dont Cicéron mentionne les sphères solides. Les « roues » d'Anaximandre évoquent aussi un « modèle » (4).

La démonstration d'Albert Rivaud se fonde sur le mythe du démiurge du *Timée*. Le démiurge a d'abord composé l'âme en mêlant l'indivisible et le divisible. La substance ainsi obtenue comprend le Même et l'Autre. Reprenant divisible, indivisible et cette troisième substance, il les mélange pour en faire une

(1) Dans cet exposé, Plutarque dit que « certains donnent à la terre la place du *proslambanomenon* ; à la lune, l'*hypaté* ».

(2) E. FRANK, *Plato und die sogenannten Pythagoreer* (Halle, Saale, 1923) p. 344, note 69.

(3) A. RIVAUD, *Études platoniciennes I. Le système astronomique de Platon*, dans *Revue d'histoire de la Philosophie*, 2^e année, fasc. 1, janvier-mars 1928, pp. 1-26. Cf. aussi P. M. SCHUHL, *Autour du fuseau d'Anankè*, dans *Revue Archéologique*, 5^e série, tome XXXII, juillet-octobre 1930, pp. 58-64 (sur un modèle oriental possible).

(4) C. H. KAHN, *On early Greek Astronomy*, dans *The Journal of Hellenic Studies* 90 (1970), pp. 99-116, spécialement pp. 107-110, pense qu'il faut attribuer déjà aux Méséniens la construction de modèles sphériques de la sphère céleste, situant notamment le zodiaque. Il s'appuie notamment sur *F.V.S.* 10^e éd. I 12[2] A 1, 2, de Diogène Laërce qui attribue à Anaximandre la construction d'une sphère (céleste). Bien entendu, il ne s'agit pas là de modèles exprimant des mesures précises.

seule. Puis ce tout, il le distribue selon deux progressions géométriques de raison 2 et 3 (35 A-36 A), « dont les intervalles sont à leur tour comblés selon des médiétés constituant une nouvelle progression » (36 A-36 C). Divisant ensuite en deux bandes ce mélange, il ajuste par ses extrémités chaque bande afin d'en constituer deux anneaux qu'il dispose l'un par rapport à l'autre en les faisant se croiser comme les branches d'un *chi* et il imprime à chacune des bandes une rotation en sens opposé à celui de l'autre. L'anneau intérieur et la révolution qui l'anime, il le divise en six de manière à créer sept cercles inégaux (36 D) dont les distances se définissent par deux progressions géométriques de raison 2 et 3.

Ces intervalles correspondant à une double progression géométrique de raison 2 et 3 qui caractérisait la composition de l'âme (35 C) se retrouvent donc au niveau des distances qui séparent les cercles où se situeront les astres ⁽¹⁾. Il y a donc sympathie de structure entre l'âme qui animera l'univers astronomique et la disposition des corps célestes, sympathie de structure par le fait d'une commune rationalité géométrique. Il ne s'agit pas ici de mesure, mais seulement de l'affirmation d'une foi en une rationalité, foi qui relève de la croyance fondamentale en une sympathie.

Ensuite Platon anime de mouvement cette construction. Tandis que le démiurge, en effet, a laissé intact l'anneau extérieur, qui annonce le ciel des fixes, animé d'un seul mouvement, il fait se mouvoir en sens inverse les sept anneaux intérieurs, obtenus par division, qui préfigurent les orbites de la lune, du soleil et des cinq planètes. Ensuite « il ordonna à ces cercles d'aller en sens inverse les uns des autres, trois d'une vitesse égale, les quatre autres de vitesse ni égales entre elles ni égales aux trois autres, mais selon des rapports rationnels » (*ἐν λόγῳ δὲ φερόμενους*) (36 D) ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Sur la première composition de l'âme (*Timée* 35 C), on s'est demandé dès l'Antiquité (Plutarque, dans le *De animae procreatione in Timaeo*, et Proclus, dans le *Commentaire sur le Timée*) ce que figurent, en ce qui concerne les planètes, les termes des deux progressions : est-ce leurs grandeurs, leurs vitesses ou leurs distances relatives ? A. E. TAYLOR, *A commentary on Plato's Timaeus* (Oxford, 1928) pp. 161-164, montre qu'il s'agit des distances. Mais il montre aussi la difficulté de découvrir l'unité qui sert d'étalon à cette évaluation des distances.

⁽²⁾ « Vitesse égale ». Sur la notion de vitesse, voyez A. E. TAYLOR, *A commentary on Plato's Timaeus* (Oxford, 1928), pp. 155 sqq., qui montre que les vitesses

Tout cela est encore de l'ordre de l'abstrait : les cercles font partie de la structure de l'âme non encore incorporée. Mais bientôt Platon passe à la création, dans le domaine du sensible, des astres eux-mêmes qui sont cette fois des corps placés sur ces orbites abstraites. Et il revient, dès lors, à la place relative et au mouvement de la lune, dans la première orbite à l'entour de la terre, du soleil, dans la seconde, et de ses deux acolythes, Vénus et Mercure, qui se meuvent à la même vitesse que lui « mais qui ont reçu en partage une impulsion de direction contraire à la sienne, ce qui fait que le Soleil, Mercure et Vénus tour à tour se rattrapent et sont dépassés avec régularité » (38 D). Il ajoute encore que les astres qui ont la plus petite orbite se meuvent plus vite et ceux qui ont la plus grande plus lentement, entendant par là que leur révolution est plus ou moins vite achevée (39 A-B). C'est ainsi qu'il explique les apparentes rétrogradations des planètes. Mais, à deux reprises, Platon renonce expressément à rendre compte des mouvements des planètes extérieures (38 E et 40 C) et assure qu'on n'a pas encore mesuré la périodicité des cycles qui en feraient ces « instruments du temps » que sont le soleil et la lune. En particulier « montrer quels sont, dans les conjonctions et les oppositions, ceux de ces dieux (les astres) qui se font face et ceux qui s'opposent, lesquels passent l'un devant l'autre et en quel temps ils peuvent nous être cachés puis nous apparaître de nouveau... l'exposer sans faire voir quelques modèles imitant ces phénomènes, ce serait peine inutile » (40 C-D).

sont ici tenues pour égales du fait que les orbites, qu'elles soient plus grandes ou plus petites, sont parcourues en un temps égal. Nous dirions au contraire qu'à temps égaux, l'astre qui parcourt la plus grande orbite a la plus grande vitesse. Taylor fait remarquer aussi que la notion d'égalité est exprimée ici par *ὅμοιως*, signification que ce mot a dans la prose scientifique ionienne et que l'attique rend par *ἰσως*. PROCLUS, *Comm. sur le Timée* III, 75-76, définit bien la notion de vitesse selon Platon.

Le commentaire de A. E. Taylor sur l'ensemble du passage (pp. 155-174) est fondamental. Il dégage les deux temps de la création qu'opère le démiurge : d'abord l'âme et ensuite les corps astronomiques. Cette distinction, Taylor montre que Plutarque l'a bien perçue dans le *De animae procreatione in Timaeo* 1029 D-E. C'est l'âme tout d'abord qui est une harmonie rationnelle. Chalcidius, *Comm.* § 51, insiste sur le fait que cette structure fondée sur une harmonie rationnelle donne à l'âme la capacité de connaître le rationnel. L'âme que construit le démiurge de Platon est donc faite pour être motrice et connaissante. Taylor, p. 159, montre en quoi cela se rattache aux schémas des systèmes philosophiques anciens, qui — feu d'Héraclite ou *νοῦς* d'Anaxagore — exigent un principe connaissant.

Ce modèle, Platon ne le décrit pas, mais il y pense et, autour de lui, nous allons voir qu'on entreprenait, à l'Académie, de le construire. C'est en somme de cet automate astronomique qu'il esquisse sous nos yeux le programme, avec l'aisance de sa souveraine imagination, tandis qu'il passe des mains de l'artisan qui ajuste les orbites aux rondes contrariées des astres, et aux vitesses, inégales entre elles, mais imperturbables qui les entraînent selon les nombres. L'immensité du ciel en mouvement et la précision d'une horlogerie se combinent et se confondent par la vertu des mots et des images pour la plus haute exaltation d'un univers intelligent et partant intelligible.

Mais si nous comparons l'horlogerie du *Timée* à celle du mythe d'Er de la *République*, il apparaît qu'à la fin de sa longue vie, Platon, dans le *Timée*, enregistre les rapides progrès des observations astronomiques qu'on faisait autour de lui et leur mise en œuvre dans des constructions géométriques précises. Dans le *Timée* interviennent, en effet, l'inclinaison de l'écliptique (le *chi*) et les rétrogradations des planètes dont les cercles ont chacun leur mouvement propre et leur vitesse spécifique, complications qui n'affectaient pas encore les pesons du mythe d'Er tournant ensemble autour d'un axe unique.

Or, si les choses se sont ainsi compliquées, c'est peut-être bien à l'impulsion de Platon lui-même qu'on le doit. En effet, ce qui apparaissait comme des irrégularités dans les mouvements des astres, Platon s'en est montré inquiet. Au livre VII de la *République*, 530 B, il les explique par le fait que ces astres que nous voyons ne sont que la projection corporelle de l'œuvre du démiurge et que, par conséquent, ce n'est pas en eux qu'on trouvera en sa vérité abstraite la réalité originelle et sans défaut. Et au livre VII des *Lois*, 822 A, il affirme aussi qu'il est faux que le cours des astres soit changeant. C'est qu'il a besoin, au moins dans l'abstrait, de la régularité sans faille et rationnellement construite des astres pour prouver que ce ne peut être là que l'œuvre d'un *vous* intelligent, d'un dieu. C'est, en effet, sur la régularité du mouvement des astres que Platon fonde, dans les *Lois* X, 897 C, sa preuve de l'existence de dieu. L'auteur de l'*Epinomis* (982) cherchera dans l'intelligence du ciel étoilé une preuve de l'existence de dieu.

La volonté de régularité que Platon entretenait ainsi devait maintenir pour longtemps encore dans l'astronomie grecque le

postulat des orbites concentriques. C'est pour sauver ce postulat et réduire en même temps les irrégularités apparentes que Platon aurait posé aux astronomes de l'Académie le problème que Simplicius (*Commentaire du De Caelo d'Aristote*, p. 488 éd. HEIBERG, sur la page 292 B 10 du *De Caelo*) cite d'après Eudème de Rhodes, transmis par Sosigène. Le voici : « *quels mouvements réguliers et ordonnés faut-il supposer pour sauvegarder les apparences constatées dans les mouvements des astres errants ?* »⁽¹⁾, problème « *de mécanique autant que de mathématique auquel, premier des Grecs, Eudoxe de Cnide s'attacha à répondre, selon ce que rapporte Sosigène d'après le deuxième livre de l'Histoire de l'Astronomie d'Eudème* ». Que Platon ait ou non posé ce problème, il découlait du postulat d'ordre et d'intelligibilité rationnelle sur quoi se fonde sa philosophie et il doit émaner de l'Académie. M. Mittelstrass⁽²⁾ montre que la priorité en revient à Eudoxe.

e. Eudoxe et Callippos

Or la réponse d'Eudoxe⁽³⁾, nous la connaissons par Aristote et elle concerne notamment la lune. Dans la *Métaphysique*

⁽¹⁾ Nous donnons ici la traduction d'Albert RIVAUD (*Études platoniciennes I. Le système astronomique de Platon*, dans *Revue d'histoire de la philosophie*, 2^e année, fasc. 1, janvier-mars, 1928, p. 7) de la phrase de Simplicius : *τίνων υποθετίσθων ὁμαλῶν καὶ τεταγμένων κινήσεων διασωθῇ τὰ περὶ τῆς κινήσεως τῶν πλανωμένων φαινόμενα*.

⁽²⁾ H. GOERGEMANN, *Untersuchungen zu Plutarchs Dialog De facie...* (1970), p. 93, n. 13, fait le status quaestionis de la controverse. G. DE STE CROIX, dans *Scientific Change (Symposium on the History of Science, Oxford, 1961)* (London, 1962), p. 83, doute que l'impulsion vienne de Platon. Cf. O. NEUGEBAUER, *The exact Science in Antiquity*, p. 152. Voyez J. MITTELSTRASS, *Die Rettung der Phänomene* (Berlin, 1962), pp. 152 sqq.

⁽³⁾ Sur les sphères d'Eudoxe, voyez T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos* (Oxford, 1913), pp. 190-224, P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic I* (Paris, 1913) pp. 111-123 (pour la lune, pp. 117-118) et H. KARPP, *Untersuchungen zur Philosophie des Eudoxos von Knidos* (Würzburg, 1933), 3^e chapitre, *Die Kosmologie des Eudoxos*, pp. 42-51. Parmi la bibliographie que cite HEATH, il faut relever l'ouvrage capital de SCHIAPARELLI, *La sfera omocentrica di Eudosso, di Callippo e di Aristotele*, dans *Pubblic. del R. Osservatorio di Brera in Milano IX* (Milano 1875) et P. TANNERY, *Note sur le système astronomique d'Eudoxe* (1876) reproduit dans *Mémoires scientifiques I*, 1912, n° 1, pp. 1-11, et *Seconde note...*, (1883), reproduit *ibid.* n° 24, pp. 317-338.

Voyez aussi B. L. VAN DER WAERDEN, *Ontwakende Wetenschap* (Groningen, 1950), pp. 202-205.

Sur l'influence de l'Orient sur Eudoxe, voyez J. BIDEZ, *Platon, Eudoxe de Cnide et l'Orient*, dans le *Bulletin de l'Académie Royale de Belgique*, Cl. Lettres,

Λ (XII), 8, 1073 B 17-1074 A 14, Aristote dit ceci : « Eudoxe considérait que la révolution du soleil et celle de la lune exigeaient chacune trois sphères : la première est celle des fixes, la deuxième se meut selon le cercle qui coupe par le milieu le zodiaque, la troisième se meut selon un cercle qui est incliné à travers la largeur du zodiaque. Mais le cercle dans lequel se meut la lune a une inclinaison d'un angle plus grand en latitude que celui dans lequel se meut le soleil ». Ceci est rendu nécessaire pour expliquer qu'il n'y a pas éclipse de soleil à chaque conjonction avec la lune ni éclipse de lune à chaque opposition. Quant aux astres errants, Eudoxe, selon Aristote, leur donne à chacun quatre sphères⁽¹⁾. Ce qui porte l'ensemble de la construction à vingt-sept sphères. « Pour ce qui est de la lune et du soleil — dit T. L. Heath — l'hypothèse d'Eudoxe suffisait pour expliquer de manière assez adéquate les principaux phénomènes, excepté les irrégularités dues à l'excentricité des orbites qu'Eudoxe ignorait ou négligeait »⁽²⁾. Au contraire, le système des quatre sphères était trop rudimentaire encore pour rendre compte de tous les phénomènes relatifs aux planètes. Mais il n'importe : nous entrons ici dans un système d'explication à la fois mécanique et géométrique des apparentes irrégularités du mouvement des planètes, qui conduira à une analyse toujours plus fine et à la construction de modèles toujours plus complexes des différentes caractéristiques du mouvement du soleil, de la lune et des cinq planètes, en longitude et en latitude ainsi que de leur vitesse respective. Aussi bien Eudoxe avait-il rédigé un ouvrage *Περὶ ταχῶν* que cite Simplicius (*Comm. du De Caelo* p. 494, 12 HEIBERG). Le but de l'entreprise est de ramener l'irrégularité apparente à une régularité calculable. L'accord précis des phénomènes avec les prévisions doit être le critère de la justesse de l'explication.

La recherche de cet accord, dont la précision se dérobe, amènera Callippos de Cyzique, qui travaillait autour des années 330

1933, pp. 195-218. J. Bidez insiste sur les pronostics météorologiques dans l'œuvre de ce mathématicien.

(1) On trouve dans SIMPLICIUS, *Commentaire du De Caelo d'Aristote*, p. 488, 18-24, et pp. 493, 4-506, 18 (HEIBERG), un exposé plus détaillé du système d'Eudoxe, fait d'après Sosigènes, exploitant lui-même l'exposé d'Eudème de Rhodes. Sur la lune, pp. 494, 23-495, 16.

(2) Je cite ici T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos*, p. 211.

avant J.-C.⁽¹⁾, à ajouter d'autres sphères à celles d'Eudoxe, dont il gardait l'ordre et les intervalles, et spécialement « il lui fallut deux sphères supplémentaires pour la lune et aussi pour le soleil, si l'on voulait rendre compte des phénomènes, et une sphère supplémentaire pour chacune des autres planètes » (excepté pour Jupiter et Saturne) (ARISTOTE, *Métaphysique* Λ (XII) 1073 B 33-39). Simplicius⁽²⁾ explique par la nécessité de rendre compte de l'inégalité des saisons, connue depuis les observations faites par Méton et Euctémon vers 430 avant J.-C., l'introduction de deux nouvelles sphères pour les mouvements du soleil. Pour ce qui est de la lune, l'explication de Simplicius est plus confuse, mais T. L. HEATH (*Aristarchus of Samos*, p. 216) pense que Callippos avait perçu l'inégalité du mouvement de la lune en longitude.

Quant à Aristote, qui expose ensuite sa propre construction, il lui faut quarante-sept, mais si l'on compte bien, quarante-neuf⁽³⁾ sphères en tout, car, sauf pour la lune, il imagine des sphères qui contrebalancent les mouvements de cette horlogerie « et restituent en sa position la première sphère de l'astre immédiatement inférieur » (*Métaphysique* Λ (XII) 1074 A). Cette nouvelle exigence montre qu'Aristote pense à une mécanique matérielle et qu'il donne aux sphères orbitales une existence réelle, alors qu'Eudoxe et Callippos en faisaient des figures géométriques idéales⁽⁴⁾ destinées seulement à représenter les mouvements sans s'inquiéter du moteur. Ne serait-ce pas là l'indice de la persistance, dans la pensée d'Aristote, du vieux schéma des roues d'Anaximandre (*F.V.S.* 10^e éd. I 12[2] A 18) ?

Mais, quoi qu'il en soit, l'exigence de précision ne devait jamais être complètement satisfaite par le moyen d'expression et de contrôle qu'offrait la construction de ces modèles. Il fallait, en effet, faire ceux-ci de plus en plus complexes à mesure que

(1) Sur Callippos, voyez T. L. HEATH, *op. cit.*, pp. 212-216. Voyez aussi J. K. FOTHERINGHAM, *The Metonic and Callippic Cycles*, dans *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 84 (1924), pp. 383-391.

(2) Cf. la notice de SIMPLICIUS, *Commentaire du De Caelo d'Aristote*, p. 497, 17-24 (HEIBERG), d'après Eudème, « car on n'a pas écrit de Callippos » lui-même à ce sujet.

(3) Le nombre total de 47 sphères transmis par nos manuscrits se révèle incorrect si l'on additionne les sphères qu'exige Aristote.

(4) Sur la conception matérielle des sphères d'Aristote voyez A. E. TAYLOR, *A commentary on Plato's Timaeus*, pp. 207-209.

l'observation, de plus en plus précise, accumulait les « irrégularités » dont il fallait rendre compte. Et sans doute la sphère d'Archimède représente-t-elle dans cette voie une étape techniquement insurpassable.

C'est qu'en fait aucun système de sphères, si celles-ci sont concentriques, ne peut rendre compte des phénomènes — puisqu'en réalité les orbites ne sont ni absolument concentriques ni absolument circulaires et que les vitesses ne sont pas absolument uniformes. Multiplier le nombre et varier l'inclinaison des axes ne suffit pas. Ptolémée, *Syntaxis* XIII, 2, (II, pp. 553 éd. HEIBERG) refuse, comme introduisant inutilement les difficultés d'une représentation corporelle, les constructions de mécanismes et entend travailler dans la pure abstraction. Simplicius se fait l'écho de cette critique qui, déjà peu après Aristote, fit préférer l'explication par des sphères excentriques ou par des épicycles ⁽¹⁾ — la voie qu'adopteront Apollonios de Pergé, Hipparque puis Ptolémée. Il attribue, en effet, aux longues observations des Babyloniens et à la conquête d'Alexandre qui en provoqua la diffusion dans le monde grec la notion d'éloignement et de rapprochement des astres, prouvée, notamment en ce qui concerne la lune, par le fait que celle-ci détermine des éclipses de soleil qui sont parfois totales et parfois annulaires, ce qui implique des variations du diamètre apparent et partant de l'éloignement de l'astre ⁽²⁾.

On sait que ni le système des épicycles ni celui des excentriques même perfectionnés, comme nous le verrons, par Ptolémée, ne pourront rendre compte, eux non plus, de toutes les irrégularités et c'est ce qui conduira au scepticisme touchant toutes ces voies diverses de l'explication, scepticisme qu'expriment, par exemple, il est vrai avant la théorie plus satisfaisante de Ptolémée,

⁽¹⁾ Hipparque est tenu pour l'inventeur des épicycles par THÉON DE SMYRNE, *De Astron.* p. 188, éd. HILLER (Leipzig, 1878), mais Héraclide du Pont paraît avoir installé Vénus sur un épicycle autour du soleil, d'après CHALCIDIUS, *Comm. sur le Timée*, 109. Excentriques et épicycles sont exposés par Ptolémée, *Mathématikè Syntaxis*, IV, chapitre 5, pour la lune, pp. 294-300 (HEIBERG).

⁽²⁾ Sur la critique du système des sphères concentriques qui aboutit à la construction d'Aristote, voyez SIMPLICIUS, *Commentaire du De Caelo*, pp. 504-507 (HEIBERG) que résume A. E. TAYLOR, *op. cit.*, loc. cit., et THÉON DE SMYRNE, pp. 178-181 (HILLER).

Sur les éclipses annulaires de soleil, voyez aussi PROCLUS, *Hypotyposis Astronomicarum Positionum* IV, 87-99 (traduction anglaise dans COHEN-DRABKIN, *A Source Book in Greek Science*, New-York, 1948, p. 142).

Plinie l'Ancien (*Histoire Naturelle*, II, 85) ou Cicéron (*Premières Académiques* II, 39) ou, après cette théorie, Proclus (*Commentaire sur le Timée*, t. III, 96, 27 éd. DIEHL) qui voit dans ces hypothèses des mathématiciens « une belle invention, sans doute, et qui convient à des esprits férus de logique, mais qui ne s'en sont pas moins écartés de la nature du Tout, que seul Platon avait appréhendée » (trad. FESTUGIÈRE IV, p. 125) ⁽¹⁾. Proclus voit bien que le mouvement des planètes ne peut se représenter ni sur une circonférence, ni sur la surface courbe d'un anneau de sphère, mais qu'il évolue dans la profondeur d'un espace à trois dimensions (III, 96, 7-10, s'appuyant sur l'interprétation qu'il donne de δῖδ dans l'expression δὲ οὐρανοῦ de Platon, *Timée* 39 D).

Mais nous étions partis du mythe du *Timée*. Il nous resterait à savoir si, dans ce mythe, où il a présenté une construction beaucoup plus élaborée que celle du mythe d'Er, Platon se serait inspiré de la construction des sphères concentriques, mais à axes diversement inclinés d'Eudoxe. Malheureusement on ignore la date précise à laquelle celui-ci a conçu cette analyse du mouvement des astres. Comme, selon les chronographes, il était mort avant Platon ⁽²⁾ et que le *Timée* est une des dernières œuvres de celui-ci, Platon s'est vraisemblablement inspiré de l'analyse d'Eudoxe qui répondait au fameux problème.

Mais la pensée de Platon est en perpétuel devenir. Parti des spéculations pythagoriciennes sur la structure arithmétique de l'être, demandant ensuite une explication mécanique du comportement des astres errants, il finira par affirmer, dans les *Lois* VII, 822 A, « que les planètes n'ont chacune qu'un seul mouvement circulaire et non pas, comme l'indiquent les apparences, plusieurs ». C'était en somme condamner d'avance cette avenue de la recherche de mouvements composés que nous venons de suivre d'Eudoxe à Aristote et qui devait mener, en effet, à une impasse.

⁽¹⁾ L'opinion de Proclus est invoquée par A. E. TAYLOR, *op. cit.*, pp. 208-209.

⁽²⁾ Sur les dates de la vie d'Eudoxe, voyez A. E. TAYLOR, *op. cit.*, pp. 209-210, qui situe cette vie entre 408-4 et 356-2, son acmé se plaçant en 368-4. L'établissement de ces dates repose sur l'acmé donnée par APOLLODORÉ en l'Olympiade 103, d'où l'on remonte à quarante ans en arrière pour placer la naissance en 408-4 ; la mort en 356-2 s'établit à partir de cette date de naissance par le renseignement que donne DIOGÈNE LAERCE VIII, 8, 90, à savoir qu'Eudoxe serait mort à 52-53 ans.

f. L'hypothèse héliocentrique

Un seul mouvement circulaire pour chaque planète, cette nouvelle exigence qu'inspire la préférence irrationnelle tout à la fois du circulaire et de l'unique, si fortement affirmée dans le *Timée* (33 A-B) et qu'on peut suivre tout au long de l'histoire de la pensée grecque⁽¹⁾, devait conduire, si l'on voulait garder un centre unique, à priver de cette fonction le centre de la terre et à proposer un mécanisme héliocentrique où la terre, avec les planètes, tournerait autour du soleil et aurait en outre une rotation diurne⁽²⁾.

Or l'idée de faire se mouvoir la terre avait tenté quelques esprits, dès le IV^e siècle avant notre ère. Philolaos la faisait tourner autour d'un feu central⁽³⁾, s'il faut en croire une tradition qui remonte à Aristote.

⁽¹⁾ Voyez, par exemple, A. SCHLACHTER, *Der Globus, seine Entstehung und Verwendung in der Antike*, dans la Collection *STOIXEIA*, Heft VIII (Leipzig, Teubner, 1927) ; en dehors du domaine grec, voyez l'approche philosophique et psychologique de cette préférence pour la sphère, par H. GLOCKNER, *Die ästhetische Sphäre*, dans *Logos* IX (1920-21), pp. 83-120.

Pour les sources antiques antérieures à Platon, un coup d'œil à l'index des *Fragmente der Vorsokratiker* de H. DIELS et W. KRANZ, s.v. *κύκλος* et dérivés, ainsi que *σφαίρα* et dérivés donnera une idée de l'importance de ces notions dans la pensée présocratique et notamment chez les Pythagoriciens.

Aristote tient le transport circulaire pour premier, dans la *Physique* IV, 223 b et VIII, 265 a, et, à travers tout le *De Caelo*, il affirme la sphéricité du cosmos et des corps célestes.

Sur l'unicité, voyez de même *εἷς* (τὸ ἓν) à l'index des *Fragmente der Vorsokratiker*. Le « un » est le privilège de l'être ; il est ce en quoi se résout le multiple et ce dont procède la diversité ; il est divin, éternel, pur, exempt de mouvement et de souffrance chez les Eléates, Parménide et les Pythagoriciens. L'excellence de l'Un est un consensus des philosophes les plus différents. ARISTOTE, *De Caelo* 276 a-279 b, insiste sur l'unicité du monde. Se référant aux Pythagoriciens, GEMINUS, *Isagogé* I, 19-22, exige encore au nom de la supériorité de l'ordre et de la régularité une révolution circulaire et de vitesse uniforme. Ptolémée (*Syntaxis* IX, 2) réaffirmera, nous le verrons, l'excellence du circulaire, congénère au divin, en dépit des irrégularités des planètes (p. 212 II, HEIBERG).

L'importance du cercle et du centre dans la pensée primitive est mise en lumière par Mircea ÉLIADÉ, *Le sacré et le profane* (Paris, 1968), ch. I, et par J. P. VERNANT, *Mythes et pensée chez les Grecs* (Paris, 1965), pp. 145-158.

⁽²⁾ C'est B. VAN DER WAERDEN, *Die Astronomie der Pythagoreer* (Amsterdam, 1951), p. 60, qui a montré le lien entre *Lois* VII, 822 A, et la solution héliocentrique.

⁽³⁾ Voyez les sources réunies par B. L. VAN DER WAERDEN, *Die Astronomie der Pythagoreer* (Amsterdam, 1951), pp. 49-56. Van der Waerden appelle la

Qu'Héraclide du Pont ait le premier imaginé le mouvement héliocentrique, qui peut tout expliquer, sauf les irrégularités dues à ce que les orbites ne sont pas des cercles parfaits⁽¹⁾ et que les vitesses de révolution ne sont pas uniformes, reste douteux. De toute façon, Aristarque a eu des prédécesseurs.

En effet, Aristote connaissait l'hypothèse qui faisait se mouvoir la terre autour d'un centre, puisqu'il la réfute, comme le fera notamment Hipparque, par le fait qu'aucun déplacement apparent des astres fixes n'avait été constaté, de la terre, dans leur position relative (*De Caelo* II, XIV, 296 b).

B. LES MESURES FONDÉES SUR L'OBSERVATION ET LA GÉOMÉTRIE

Les constructions géométriques et mécaniques représentant les mouvements, qu'ils fussent géocentriques ou héliocentriques, ne pouvaient être précisées — et les hypothèses qui les fondaient, départagées — que par des mesures.

C'est pourquoi l'effort de représentation est assorti d'un effort de mesure : mesure des distances de la terre au soleil et à la lune ainsi que de leurs diamètres, essai de repérage précis de la place des étoiles fixes, place dont les variations selon le déplacement de la terre, dans l'hypothèse de la révolution de celle-ci, auraient prouvé, comme le disait Aristote et comme, découvertes aujourd'hui, elles prouvent en effet, la réalité de cette révolution.

Faut-il faire remonter à Anaxagore un essai de mesure des dimensions de la lune et du soleil fondées sur des observations insérées dans une construction géométrique ? D'après Plutarque (*De facie* 932 B), il aurait donné à la lune la dimension du Péloponnèse, ce qui signifie qu'il la tenait pour plus petite que le soleil, puisqu'il estimait celui-ci grand comme plusieurs fois le

solution héliocentrique de l'exigence posée par Platon, *Lois* VII, 822 A, *die einzige Lösung*, p. 60.

⁽¹⁾ Voyez B. L. VAN DER WAERDEN, *Die Astronomie der Pythagoreer*, pp. 62-73, qui attribue cette invention à Héraclide du Pont. L'opinion de VAN DER WAERDEN n'est pas unanimement acceptée. Cf. F. WEHRLI, *Herakleides Pontikos* (Basel, 1953), p. 98 ; H. GOERGEMANN, *Untersuchungen zu Plutarchs De facie* (Heidelberg, 1970), p. 93, n. 12, et F. WEHRLI, *Herakleides der Pontiker*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, Suppl. XI (1968), col. 686.

Péloponnèse (F.V.S. 10^e éd. II 59 [46] A 72). On ne saurait décider s'il y a déjà là calcul. Mais, dans les *Nuées*, Aristophane évoque plusieurs tentatives de mesure (v. 145, 171, 200), qui mettent en œuvre des instruments. Règles et compas sont ridiculisés dans les *Oiseaux* (995-1020) comme les insignes mêmes de l'astronomie que pratique Méton. Or nous savons que celui-ci a essayé de préciser l'instant du solstice d'été (DIODORE XII, 36, 2) ainsi que la longueur du mois lunaire et de l'année solaire, ce qui suppose des mesures. D'autre part, la reconnaissance de l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur est attribuée à Oinopide de Chios, qui vivait probablement, lui aussi, à la fin du V^e siècle avant J.-C. et qui est connu, comme Méton, pour ses recherches sur la longueur de l'année solaire comparée à celles des autres planètes (F.V.S. 10^e éd. I 41[29] A 8 et 9, pour la « grande année », et A 7, pour l'écliptique). Il est vrai que Théon de Smyrne, qui rapporte le témoignage d'Eudème, fait aussi honneur à Pythagore de la découverte de l'inclinaison de l'écliptique.

Tout cela, mais surtout l'insistance d'Aristophane dans ses moqueries contre les « mesureurs », nous invite à faire remonter à l'entourage d'Anaxagore les premiers essais de mesures fondées sur l'observation et la géométrie.

Dans les *Météorologiques* I, 8, 345 B, Aristote rappelle que, au milieu du IV^e siècle, on avait déjà mesuré par des méthodes rationnelles les distances et les diamètres du soleil et de la lune et il fait le point de ce que de son temps on professait à ce sujet ⁽¹⁾.

On sait aussi par une notice de Suidas que Philippe d'Oponite, disciple de Platon, avait écrit des ouvrages « *Sur la distance du soleil et de la lune* », « *Sur la grandeur du soleil, de la lune et de la terre* », « *Sur l'éclipse de lune* », « *Sur les planètes* ». Or, dans l'*Epinomis*, qui est peut-être de lui, on lit qu'il est établi « *par des démonstrations* » que les astres sont d'un volume prodigieux et que le soleil notamment est plus grand que la terre (983 A). Malheureusement, la mesure précise résultant de ces démonstra-

⁽¹⁾ Sur ces premières mesures, voyez P. TANNERY, *Aristarque de Samos*, article de 1883, reproduit dans *Mémoires scientifiques* I, n° 26, pp. 371-396, et T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos* (Oxford, 1913), pp. 105-115.

SIMPLICIUS, *Commentaire du De Caelo*, p. 505, 24-27 (HEIBERG), dit qu'Aristote connaissait déjà le problème des variations de distance de la lune et des planètes, qui suppose une mesure des variations des diamètres apparents.

tions, l'auteur de l'*Epinomis* n'a pas cru qu'elle intéresserait son public. Il lui suffit que cette grandeur soit étonnante et merveilleuse tout à la fois (*θαυμαστόν*), et cela pour établir que les corps célestes sont doués d'une âme.

Dans l'*Arénaire* I, 9 (p. 7 de l'édition de E. J. DIJKSTERHUIS), Archimède passe en revue plusieurs estimations des diamètres relatifs de la lune et du soleil : il cite celle d'Eudoxe, pour qui le diamètre du soleil vaut neuf fois celui de la lune, et celle de Phidias, son propre père, pour qui il le vaut douze fois. Mais on ne sait rien des méthodes qui ont abouti à ces estimations ⁽¹⁾.

Passant ensuite à Aristarque de Samos, Archimède dit qu'il « *a essayé de démontrer (δεικνύειν) que le diamètre du soleil est plus grand que dix-huit fois et plus petit que vingt fois le diamètre de la lune* ». C'est la proposition n° 9 du traité d'Aristarque « *Sur les grandeurs et distances du Soleil et de la Lune* ». Plutarque en cite la proposition n° 7 dans le *De facie* 925 C, à savoir que « *la distance du soleil à la terre est plus grande que dix-huit fois, mais moindre que vingt fois la distance de la terre à la lune* ». Et Plutarque qui connaît « *la plus haute* » estimation de la distance de la terre à la lune, soit 56 rayons terrestres ⁽²⁾ — estimation dont nous ignorons l'auteur et qui n'est pas la plus haute, puisqu'elle est inférieure à celle d'Hipparque — Plutarque se met immédiatement à évaluer en stades la distance du soleil. Il en conclut que c'est à cause de son poids (en dépit de la force centrifuge de sa rotation qu'il évoquait pour expliquer qu'elle ne tombe pas sur la terre) que la lune a « *émigré* » si loin du soleil et si près de la terre.

Quant à Archimède, pour se donner le monde extrêmement grand qui lui permette de montrer l'efficacité du nouveau procédé de numération qu'il propose, il irait jusqu'à conférer au soleil un diamètre valant trente fois celui de la lune (*Arénaire*, loc. cit.).

Signalons encore, en marge de ces évaluations qui font la lune de plus en plus petite par rapport au soleil, la doctrine aberrante des anciens Stoïciens, qui croyaient que la lune est,

⁽¹⁾ P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic* II (Paris, 1914), pp. 18-19, s'appuyant sur un passage de la *Didascalie céleste* de LEPTINE (*Art d'Eudoxe*), croit pouvoir déceler des traces de mysticisme des intervalles musicaux à la base des « mesures » d'Eudoxe.

⁽²⁾ Sur ce passage, voyez H. CHERNISS, *Notes on Plutarch's De Facie in Orbe Lunae*, dans *Classical Philology* XLVI (1951), pp. 140-141.

comme le soleil, plus grande que la terre (S.V.F. II, n° 666, d'Aetius), doctrine qui émerge encore dans Plin l'Ancien (*Histoire Naturelle* II, 49). Celui-ci, d'autre part, tient cependant la lune pour le plus petit des astres (II, 105), car il faut tenir compte, dit-il, dans l'évaluation des grandeurs relatives, de l'immense hauteur de ces derniers. Plin connaît d'ailleurs la relation de 1 à 19 entre la distance de la terre à la lune et de la lune au soleil (II, 83), ce qui est sans doute, quoiqu'il ne le cite pas, un écho d'Aristarque de Samos, et les « multi » à qui il attribue cette opinion indiquent la célébrité de l'œuvre à laquelle il nous faut à présent revenir.

a. Aristarque de Samos

Le traité « *Sur les grandeurs et distances du Soleil et de la Lune* » d'Aristarque de Samos ⁽¹⁾, qui vécut de 308 à 230 environ avant J.-C. ⁽²⁾, n'est certainement pas le premier sur la matière : on a vu plus haut que Philippe d'Oponthe avait écrit sur ce sujet. Mais, s'il est probable qu'Aristarque n'a fait que préciser, grâce à de meilleurs instruments de visée, les mesures qui devaient lui permettre d'inférer distances et diamètres, même s'il n'a fait que mettre en forme, à la manière d'Euclide, les démonstrations ébauchées avant lui, son traité néanmoins est un chef d'œuvre par l'économie des moyens requis et par l'élégance des démonstrations.

C'est en outre une prouesse d'avoir résolu sans le recours à la trigonométrie qui n'était pas encore fondée un problème dès lors fort difficile. P. DUHEM, dans *Le système du monde de Platon à Copernic* II (Paris, 1914), p. 24, caractérise ainsi le traité d'Aristarque.

« Le problème à résoudre nous apparaît aujourd'hui comme extrêmement facile. Il offrait en réalité, au temps d'Aristarque, les plus grandes difficultés.

Il s'agit d'effectuer deux calculs trigonométriques très simples, l'évaluation du cosinus d'un angle donné, la longueur de l'arc qui

⁽¹⁾ Ce traité est édité, traduit et commenté par T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos* (Oxford, 1913), pp. 352-414.

⁽²⁾ Sur les sources touchant les dates d'Aristarque et sur son œuvre en général voyez P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic* I (Paris, 1913), pp. 418-423, et II (1914), pp. 17-26.

correspond à un nombre donné de degrés. Or au temps d'Aristarque de Samos la trigonométrie n'était pas constituée : on ne possédait encore qu'une évaluation très grossière du rapport de la circonférence au diamètre ; des calculs que nous regardons comme un jeu ne pouvaient alors être faits. Par des artifices géométriques d'une subtile ingéniosité, Aristarque est parvenu à déterminer une limite inférieure et une limite supérieure pour chacune des grandeurs qu'il se proposait de connaître. L'habileté et la rigueur de ses démonstrations ne sauraient être trop louées ».

Les éléments mesurables qui servent de base à ses dix-huit propositions sont le diamètre du cône d'ombre de la terre au niveau de la lune, qui s'évalue en diamètres lunaires, par la mesure du temps que dure l'éclipse de lune — à savoir deux diamètres lunaires — ⁽¹⁾ (c'est l'hypothèse préalable ou axiome n° 5) ; la distance angulaire du soleil à la lune au moment de la phase de demi-lune qu'Aristarque évalue à « un quadrant moins 1/30^e de quadrant », soit 87°, et qui est en réalité de 89°50' (c'est l'hypothèse préalable n° 4) ⁽²⁾ ; enfin le diamètre apparent de la lune qu'Aristarque évalue à 2 degrés (hypothèse préalable n° 6), ce qui est trop grand, mais que, selon Archimède, *Arénaire* I (p. 7 éd. E. J. DIJKSTERHUIS), il évalua sans doute dans la suite à 1/2 degré ⁽³⁾, ce qui se rapproche de la mesure

⁽¹⁾ Sur la durée du passage de la lune dans l'ombre de la terre lors des éclipses de lune, voyez CLÉOMÈDE, *De motu circulari* II, 1, § 80, et SIMPLICIUS, *Commentaire du De Caelo*, p. 471, 6-11, sans mention de durée déterminée.

⁽²⁾ P. DUHEM, *Le système du monde* II, pp. 22-23, montre combien l'évaluation de cet angle, de très peu inférieur à un angle droit, est difficile, étant donné notamment que l'instant précis de la dichotomie de la lune est difficile à saisir. Il rappelle que Paul Tamery, dans l'article *Aristarque de Samos*, cité ci-dessus, a calculé qu'Aristarque « se serait trompé de six heures dans la détermination de cet instant ».

⁽³⁾ Dans l'*Arénaire* I, (p. 7, éd. E. J. DIJKSTERHUIS), c'est le diamètre du soleil, évalué à 1/720 de son orbite, que mentionne Archimède. Mais la proposition 8 du *Traité des grandeurs et distances*... d'Aristarque montre que celui-ci considérait comme égaux les diamètres apparents du soleil et de la lune. Hipparque et Ptolémée, selon PAPPUS VI, pp. 554, 6-560, 10 (éd. F. HULTSCH), avaient noté le désaccord de leurs mesures avec celles d'Aristarque ; Pappus remarque qu'ils avaient, en effet, réduit considérablement les dimensions du diamètre lunaire exprimé en fraction de l'orbite de la lune.

Sur la façon dont Aristarque exprime les mesures angulaires sans se servir de la notion de degré, voyez D. R. DICKS, *Solstices, Equinoxes and the Presocratics*, dans *The Journal of Hellenic Studies* 86 (1966), p. 28, n. 15. Le diamètre de la lune, en effet, que nous traduisons en degrés est donné comme un quinzième de signe du zodiaque. DICKS montre par là que la division du cercle en 360° n'avait pas encore été adoptée par les Grecs au III^e siècle avant J.-C.

exacte et est de l'ordre de celles qu'obtinrent Hipparque et Ptolémée.

Lune et soleil, en raison de ces mesures trop grandes sont donc, dans le traité d'Aristarque, beaucoup trop proches de la terre. Il arrive, en effet, à situer la lune à une distance de $9\frac{1}{2}$ diamètres terrestres de la terre (proposition 11 et proposition 17 combinées), la réalité étant de 30,2 ; et le soleil à 180 diamètres terrestres (proposition 7 combinée avec les propositions 11 et 17), la réalité étant de 11.726 ! Le diamètre du soleil est de même beaucoup trop petit ($6\frac{3}{4}$ contre 108,9 de la réalité). Mais le diamètre de la lune, établi entre $\frac{43}{108}$ et $\frac{19}{60}$, soit environ 0,36 diamètre terrestre (proposition 17) est de l'ordre de grandeur du diamètre réel (0,27). Aristarque compare encore le volume du soleil à celui de la lune dont la relation est entre $\frac{5832}{1}$ et $\frac{8000}{1}$ (proposition 10) et le volume du soleil à celui de la terre dont la relation est entre $\frac{6859}{27}$ et $\frac{79.507}{216}$ (proposition 16).

Les mesures d'Aristarque sont toujours présentées entre deux limites.

Une curieuse simplification des faits l'a conduit à admettre comme axiome l'hypothèse préalable n° 2 : « la terre a la fonction d'un point et d'un centre à l'égard de la sphère de la lune » (c'est-à-dire la sphère où se meut la lune). Or le point en question, c'est le centre de la terre, distant d'un demi-diamètre terrestre de l'endroit où nous faisons nos observations. Étant donné le nombre relativement petit des diamètres terrestres qui nous séparent de la lune, une erreur d'un demi-diamètre dans la construction géométrique modifie les angles et retentit sur les résultats numériques recherchés. L'angle de vision dont il eût fallu tenir compte est ce qu'on nomme la parallaxe lunaire.

D'autre part, dans les figures où il les situe, Aristarque place les corps célestes dans le plan d'un espace à deux dimensions, ce qui ne tient pas compte du fait que ces corps se déplacent aussi en profondeur par rapport à la terre d'où nous les observons. Il y a là au surplus une notion de temps que la construction géométrique ne peut exprimer.

C'est à corriger ces infirmités que vont travailler les astronomes suivants.

On vient de voir qu'Aristarque avait sans doute déjà corrigé lui-même sa mesure du diamètre apparent de la lune. C'est que le souci de précision a conduit les « mesureurs » à fabriquer de meilleurs instruments de visée. Car, si l'on peut admettre que les méthodes de mesure, comme sans doute les premières ébauches de démonstration, étaient trouvées dès avant l'époque hellénistique, leur efficacité n'était pas encore assurée à la fin du III^e siècle avant J.-C., puisque Archimède, dans l'*Arénaire* I (p. 7, éd. E. J. DIJKSTERHUIS), déplore qu'« il ne soit pas facile de prendre un angle avec précision parce que ni la vue, ni les mains, ni les instruments qui interviennent dans cette opération ne nous permettent de croire qu'ils nous révèlent l'exactitude ». Et il ajoute qu'il ne s'étendra pas plus longuement sur ce sujet, notamment parce que cette situation a été souvent exposée, et qu'il lui suffira de se fonder sur des mesures comprises entre un maximum et un minimum. Il fallait donc perfectionner les instruments et sur cette voie-là beaucoup ont œuvré ⁽¹⁾, mais le grand nom qui — peut-être injustement — émerge est celui d'Hipparque ⁽²⁾. Il n'empêche que la précision souhaitable ne sera jamais atteinte, en sorte que Ptolémée (*Syntaxis* IX, 2, pp. 208-210 éd. HEIBERG) sera conscient des erreurs faites sur la mesure des angles et des temps, en raison « des circonstances atmosphériques et des différences dans l'acuité des perceptions visuelles de l'observateur », sans compter l'imperfection matérielle des instruments (p. 209).

⁽¹⁾ Sur le perfectionnement graduel des instruments de visée et de mesure du temps, voyez A. LEJEUNE, *La dioptra d'Archimède*, dans *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, 1947, pp. 28-47 ; A. ROME, *L'astrolabe et le météoroscope*, d'après le commentaire de Pappus sur le 5^e livre de l'*Almageste*, dans *Annales de la Société scientifique de Bruxelles* 47 (1927), série A.

W. et H. GUNDEL, *Planeten*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 2075-2077.

⁽²⁾ Sur Hipparque, voyez P. TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (Paris, 1893), pp. 142-243 : (pour les mouvements lunaires, pp. 179-218) ; A. REHM, *Hipparchos* (18), dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 1666-1681 (1918), peu développé en ce qui concerne l'astronomie ; F. HULTSCH, *Hipparchos über die Grösse und Entfernung der Sonne*, dans *Berichte über die Verhandlungen der königlich sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig*, 1900, Sitzung vom 7 Juli 1900, pp. 169-200, où l'on trouvera les textes sur lesquels se fonde la reconstruction de l'œuvre d'Hipparque ; T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos*, pp. 341 sqq. ; P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic II* (Paris, 1914), pp. 26-35, 180-186, 189-191 et l'index, p. 511. On peut relever les opinions d'Hipparque citées par PTOLÉMÉE, *Syntaxis*, dans la traduction allemande de la *Syntaxis* par K. MANITRUS (*Ptolemaeus, Handbuch der Astronomie*, Leipzig, Teubner, 1913) II, index s.v. *Hipparch*.

Ainsi l'imprécision de la mesure du diamètre lunaire devait retentir sur les mesures de distances angulaires exprimées en diamètres lunaires. La plus ancienne utilisation que nous connaissions de cette unité pour définir la distance angulaire d'une planète, en l'occurrence Mercure, à telle étoile, est du 15 novembre 264 avant J.-C. et citée par Ptolémée (*Syntaxis* IX, 10 = HEIBERG II, p. 288). Ptolémée lui-même (*Syntaxis* X, 1 = HEIBERG II, p. 297) utilise encore la même unité de mesure le 3 juillet 140 après J.-C., pour indiquer la position de Vénus.

En 264 avant J.-C., on ne peut savoir si c'est déjà un des diamètres d'Aristarque qui est utilisé ni, par conséquent, lequel des deux. Et quand Ptolémée utilise cette unité de mesure pour son propre compte, elle n'est pas équivalente à celle d'Aristarque. On voit combien cette variation est préjudiciable à l'étude des mouvements des planètes établie sur des mesures dont l'unité n'est pas précisée.

D'autre part, les calculs fondés sur la représentation des positions relatives dans un espace à deux dimensions ne seraient parfaitement opérants que si les orbites étaient des cercles parfaits et concentriques. C'est encore Hipparque qui, attentif aux « anomalies », sera amené à rechercher une représentation mécanique et géométrique plus exigeante des phénomènes, à les voir dans un espace à trois dimensions. Progrès qui, faute d'instruments, plus précis et moins faillibles que ceux qu'il fabriquait, restera dans une impasse.

b. Hipparque

Originaire de Bithynie (STRABON, XII, IV, 9 = C 566), Hipparque fit ses observations de 162 à 126 avant J.-C. au moins ⁽¹⁾. De son œuvre nous ne lisons plus aujourd'hui qu'un *Commentaire aux Phénomènes d'Aratos et d'Eudoxe* ⁽²⁾, mais Ptolémée, dans la *Syntaxis*, en donne des aperçus précis ainsi que plusieurs citations

⁽¹⁾ Ces dates s'établissent d'après les observations attribuées à Hipparque, que Ptolémée rapporte au livre III, ch. I, et au livre V de la *Syntaxis*, par exemple, ch. V, p. 369, éd. HEIBERG (observation, datée de 127 avant J.-C.) et p. 374 (7 juillet 126 avant J.-C.), ainsi qu'au livre VII, ch. II, p. 15 (129-128 avant J.-C.).

⁽²⁾ Ce *Commentaire* est édité par K. MANITIUS, avec une traduction allemande dans la Collection Teubner, Leipzig, 1894.

littérales ⁽¹⁾. Pappus d'Alexandrie, dans son commentaire du V^e livre de la *Syntaxis* de Ptolémée (V, 11, p. 402), a cité des extraits de l'ouvrage en deux livres au moins d'Hipparque « *Sur les grandeurs et les distances du soleil et de la lune* ». En ce qui regarde la lune, nous connaissons les titres d'autres ouvrages encore : « *Sur le mouvement mensuel de la lune en latitude* », « *Sur les mois et les jours intercalaires* » (cité par PTOLÉMÉE, *Syntaxis* III, 1, p. 207, éd. HEIBERG), « *Sur la durée du mois* » (d'après GALIEN, *Des jours décroîtaires* III, 4, t. IX, p. 907, éd. KUEHN).

Ce qui revient comme un leit-motiv sous la plume de Ptolémée, c'est l'effort de précision qu'accomplit Hipparque, tant dans la mesure de l'année (*Syntaxis* III, 1, pp. 191 et 207, éd. HEIBERG) ⁽²⁾ et de la précession des équinoxes (*Syntaxis* III, 9, pp. 258-263 et VII, 2, p. 13) ⁽³⁾, que dans les mesures relatives à la lune et au soleil (*Syntaxis*, IX, 2, p. 210). Ptolémée loue aussi Hipparque, le φιλαλήθης, l'ami de la vérité, de s'être abstenu, faute de mesures précises, de proposer une théorie des planètes (*Syntaxis* IX, 2, p. 210). La grande œuvre d'Hipparque, le « *Catalogue des étoiles fixes* », qu'utilise Ptolémée (*Syntaxis* VII, 1, p. 4, et VII, 2, p. 13, cf. PLIN L'ANCIEN, *Histoire Naturelle* II, 95) est d'ailleurs aussi œuvre de « mesureur », puisqu'il s'agissait notamment de déceler les parallaxes des étoiles, qui auraient donné à la théorie héliocentrique d'Aristarque ⁽⁴⁾ sa preuve irréfutable, faute de quoi Hipparque revint au géocentrisme et à Aristote (*De Caelo* II, XIV, 296 b).

L'instrument de précision que perfectionna Hipparque, la *dioptra*, qui servait à mesurer des angles et notamment des distances zénithales d'étoiles, permet aussi de mesurer

⁽¹⁾ Voyez l'index, vol. II, s.v. *Hipparch*, de la traduction allemande de la *Syntaxis* de Ptolémée par K. MANITIUS (Leipzig, Teubner, 1913) (*Schriften des Hipparch* ; wörtlich zitiert).

⁽²⁾ PTOLÉMÉE, *Syntaxis* III, 1, pp. 207-208, éd. HEIBERG, cite *verbatim* les conclusions d'Hipparque touchant la mesure de l'année solaire.

⁽³⁾ Hipparque, à vrai dire, n'est pas cité dans le chapitre 9 du livre III, mais tout ce livre III de la *Syntaxis* de Ptolémée, qui porte sur la détermination de la durée précise de l'année et sur les « anomalies » du soleil, abonde en références à Hipparque dont Ptolémée cite et utilise les observations, par exemple III, 1, pp. 194-196. Voyez aussi VII, 2.

⁽⁴⁾ On n'a plus l'ouvrage où Aristarque de Samos exposait sa théorie héliocentrique, mais celle-ci est citée par ARCHIMÈDE, *Arénaire* I (p. 5, éd. E. J. DIJKSTERHUIS) et par PLUTARQUE, *De facie* 923 A, d'après Cléanthe. Cf. les autres allusions que réunit H. CHERNISS en note à ce passage, éd. Loeb, 1957.

les diamètres apparents de la lune et du soleil en degrés de leur orbite⁽¹⁾.

Avant Hipparque, Archimède — on vient de le voir — avait déploré l'imprécision inhérente aux opérations de mesure (*Arénaire* I, 11), sur quoi il décrit l'instrument de visée, la *dioptra* dont il se sert. Mais son souci de précision va jusqu'à tenir compte du fait que les yeux ne voient pas à partir d'un seul point. A. LEJEUNE (*La Dioptra d'Archimède*, dans les *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, tome 61, série I, 1947, pp. 28-47) a fait l'expérience de visée avec l'appareil d'Archimède et il montre par ce qu'on sait de la physiologie de l'accommodation de la vision, que des erreurs, dues notamment aux variations de diamètre de la pupille, étaient fatales.

Mais on avait une autre méthode pour évaluer le diamètre apparent de la lune et du soleil. Au moyen d'une horloge à eau, on mesurait le temps qui s'écoulait entre le premier instant où l'astre émerge au-dessus de l'horizon et l'instant où il apparaît entièrement. Ce temps est alors comparé à celui que met le soleil à parcourir en un jour et une nuit une circonférence complète, ce qui peut s'exprimer en degrés de cette circonférence. Proclus (*Hypotyposis Astronomicarum Positionum* IV, 73-77, éd. K. MANITIUS, pp. 120-122) décrit cette horloge d'après Héron. Cléomède (*De Motu circulari Corporum caelestium* II, 1, 75, éd. H. ZIEGLER, pp. 136-138) explique comment on s'en sert et comment on arrive ainsi à évaluer le diamètre apparent du soleil à $1/750$ de la circonférence de son orbite, soit $28'4/5$, et il attribue aux Égyptiens l'invention de cette méthode.

Cependant, selon Vitruve IX, 9, qui en décrit le dispositif, l'horloge à eau de précision aurait été inventée par Ctésibios d'Alexandrie. Dès le III^e siècle avant J.-C., Ctésibios avait tenté d'éviter l'irrégularité du débit par obturation éventuelle de tout ou partie de l'orifice d'échappement : il construisait celui-ci, dit Vitruve, en or ou en pierre dure.

⁽¹⁾ Cf. PTOLÉMÉE, *Syntaxis* V, 14, p. 417, éd. HEIBERG. PROCLUS, *Hypotyposis Astronomicarum Positionum* (éd. K. MANITIUS) IV, 71-72, et VI, décrit la construction et le mode d'emploi de l'astrolabe de Ptolémée (livre V, 1) et à cette occasion rappelle les instruments d'Hipparque. Ptolémée, dans la *Syntaxis*, décrit non seulement son astrolabe (V, 1, pp. 350-354), mais aussi l'*organon parallaktikon* (V, 12, pp. 403-408). Proclus fait remarquer que les corps célestes paraissent plus grands près de l'horizon (IV, 83).

D'autre part, Héron d'Alexandrie, dans les *Pneumatiques* I, IV, propose un moyen d'assurer la régularité du débit d'un siphon. A cette occasion, il rappelle que la vitesse d'échappement est fonction du poids de l'eau, lequel est lui-même fonction de sa hauteur au-dessus de l'orifice (cf. le fragment sur les *Horloges à eau* de HÉRON, éd. W. SCHMIDT, Lipsiae, 1899, I, p. 507). Mais ni dans ce qui nous est conservé de Héron, ni dans Frontin (*Aqueducs* 35), qui envisage aussi des problèmes de débit, vers l'an 100, c'est-à-dire peu avant Ptolémée, on ne trouve de calcul de la pression (cf. note 133 de P. GRIMAL, à son édition de FRONTIN). En fait, c'est du poids de l'eau seulement qu'il est question dans Héron.

La hantise de l'exactitude s'impose d'ailleurs aux astrologues comme aux astronomes (cf. PTOLÉMÉE, *Tétrabible* III, 2, 108-109) et dans la critique que Sextus Empiricus dirige contre les premiers on trouve un excellent exposé des défauts qui peuvent affecter cette horloge (*Contre les Astrologues* = *Contre les Mathematici* V 75-77).

Aussi Ptolémée, d'après Proclus (*Hypotyposis* IV, 80 sqq.), qualifie-t-il cette horloge de très irrationnelle (*ἀλογωτάτων*) — peut-être dirions-nous aujourd'hui « artisanale » — car maints accidents peuvent y entraver la régularité de l'écoulement « et notamment l'orifice peut se boucher » (*τὴν ὀπήν πολλάκις κατὰ συντυχίαν ἐμφράττεσθαι*). C'est pourquoi Ptolémée emploiera la *dioptra* d'Hipparque (Proclus, *Hypotyposis* IV, 87 sqq.).

Les recherches d'Hipparque, que balisent ceux de ses ouvrages dont le titre est connu, portent sur une série de problèmes qui sont logiquement liés.

En effet, toute mesure astronomique combine des angles et du temps. Or le temps se mesure par référence à un étalon. Mais il n'y a pas parmi les parcours des corps célestes, pas même dans la sphère des « fixes », de révolution intégralement uniforme qui puisse servir d'étalon immuable. En d'autres termes, les points de repère choisis se déplacent.

Voici comment se présentaient, à cet égard, les problèmes de la lune aux astronomes grecs postérieurs à Aristote. Et tout d'abord, coiffant ces problèmes, la *parallaxe* provenant du fait que nous n'observons pas du centre de la terre exigerait des corrections préalables de toute mesure, si elle ne s'éliminait aux éclipses, d'où l'importance de celles-ci pour les observations qui commandent les recherches.

Les mouvements de la lune sont, d'autre part, affectés de plusieurs « inégalités » qu'il fallait d'abord reconnaître, dont il fallait mesurer les périodes, qu'il fallait enfin expliquer. Les voici telles que les expose Paul TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (Paris, 1893), pp. 179-180.

1° « Le plan de l'orbite n'est pas fixe ; il est entraîné par un » mouvement de rotation autour de l'axe de l'écliptique, tout en » conservant sur ce dernier plan la même inclinaison, sauf de » faibles variations que les Anciens n'avaient pas reconnues ». La ligne d'intersection du plan de l'orbite lunaire et du plan de l'écliptique qu'on appelle *ligne des nœuds* « se déplace sur l'écliptique d'un mouvement rétrograde sensiblement uniforme ».

2° La droite qui, passant par le centre de la terre, joint l'apogée et le périhélie de l'orbite lunaire (ligne des *apsides* de cette orbite en réalité elliptique) se déplace par un mouvement de révolution direct.

3° Enfin, Ptolémée a été le premier à reconnaître l'*évection* de la lune, à savoir une inégalité liée à la différence entre la longitude de la lune et celle du soleil.

On sait, depuis Kepler, que l'orbite lunaire est une ellipse (voyez Z. KOPAL, *The Moon*, Dordrecht, 2^e éd. 1969, p. 10) et depuis Newton que les variations de vitesse de révolution et d'intersection des plans sont dues à l'attraction de la terre et du soleil ainsi qu'à maints autres effets de la gravitation qui constituent une combinaison complexe d'influences ⁽¹⁾.

La parallaxe s'élimine aux éclipses, avons-nous dit. En effet, à ce moment-là, l'observateur est sur la droite qui joint le centre de la terre à celui de la lune et à celui du soleil. On conçoit donc qu'il faille fonder la théorie de la lune sur l'observation des éclipses. C'est ce que Ptolémée (*Syntaxis* IV, 1, p. 265, éd. HEIBERG) tient pour une condition préalable et nécessaire à toute observation tendant à établir la situation de la lune. Et c'est à cette occasion qu'il critique l'axiome 2 d'Aristarque de Samos, qui négligeait délibérément la parallaxe lunaire. Cependant au moment de l'éclipse, on ne peut percevoir l'élongation. Pour mesurer celle-ci, Ptolémée devra donc choisir d'autres moments et essayer de corriger les erreurs qui s'ensuivent.

⁽¹⁾ Voyez J. TAILLÉ, *La terre et la lune* (Que sais-je ?, Paris, 1960), pp. 88-94, et Z. KOPAL, *The Moon* (Dordrecht, 2^e éd., 1969) chapitre I.

Ainsi posés les problèmes, revenons à Hipparque et voyons comment il s'attache à la définition de certaines unités de temps et au repérage de leurs variations.

Mais disons avant cela qu'il n'est certainement pas le premier à envisager ces problèmes, quoiqu'on n'ait sur les recherches de ses prédécesseurs que de faibles indices. L'année luni-solaire de Méton, de qui on connaît par Ptolémée une observation du solstice faite le 27 juin 432 avant J.-C., suppose un essai de mesure du mois lunaire ⁽¹⁾. Les corrections de Callippos au système de Méton témoignent aussi de mesures du mois lunaire. Censorin, dans le *De Die Natali*, chap. XVIII, cite plusieurs établissements de cycles de plus en plus longs, c'est-à-dire de plus en plus précis, pour le retour de positions identiques de la lune et du soleil, entre Méton et Hipparque ⁽²⁾. C'est dans le cycle de Callippos, qui commence le 28 juin 330 avant J.-C., que sont datées maintes observations d'éclipses qu'utilise Ptolémée, *Syntaxis* (cf. *Index*, trad. MANITIUS, s.v. Kallippus).

Ptolémée, faisant le point de ce qui a été acquis avant lui en ce qui concerne les « périodes de la lune », au livre IV, chapitre 2 de la *Syntaxis* (pp. 269-270, éd. HEIBERG), avant d'exposer les recherches d'Hipparque, rappelle celles des *anciens astronomes* (οἱ παλαιοὶ μαθηματικοί) et des « plus anciens encore » (οἱ ἔτι παλαιότεροι) qui « ont, comme il le fallait (εἰκότως), recherché un temps endéans lequel la lune aura parcouru le même espace en longitude, en pensant que seul ce temps peut restituer l'anomalie ». Et Ptolémée donne, selon ces « anciens », le nombre des jours qui contiendraient constamment un même nombre de lunaisons et une même quantité de mouvements en longitude, et cela par des observations d'éclipses de lune.

⁽¹⁾ Sur Méton, voyez KUBITSCHKE, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.* coll. 1458-1466 (1932) avec la bibliographie. Touchant l'observation du 27 juin 432, voyez DIODORE XII, 36, 2 ; PTOLÉMÉE, *Syntaxis* III, 1, p. 205 éd. HEIBERG ; PHILOCHORE, FGH n° 328, frg 122 (scholie aux *Oiseaux* d'Aristophane v. 997) et enfin une inscription de Milet publiée par DIELS, *Abhandl. Berlin*, 1904, 93, 1, que cite KUBITSCHKE. Méton est raillé dans les *Oiseaux*, vv. 992-1020.

Voyez aussi F. K. GINZEL, *Handbuch der... Chronologie* II (Leipzig, 1911) index, s.v. Meton.

⁽²⁾ Sur le cycle de Callippos, voyez CENSORIN, *De die natali* XVIII, 8 (éd. F. HULTSCH, Leipzig 1867, p. 38) et la discussion de F. K. GINZEL, *Handbuch der... Chronologie* II, pp. 385 sqq. et index, s.v. Kallippus. Au § 208 de son livre, GINZEL examine « Die zyklischen Zeitrechnungssysteme bis auf Hipparch », pp. 385-391. Au § 212, il étudie « Die Kallippische Zyklus », pp. 409-419.

Cf. GEMINUS, *Elem. Astr.* VIII, 50 sqq. et ci-dessus notre chapitre « calendrier ».

Ceci nous avertit que les observations d'éclipses consignées, d'abord par les Babyloniens, dès le VIII^e siècle, puis par les Grecs, observations dont Hipparque, selon Ptolémée, faisait usage, avaient déjà été utilisées avant lui pour un problème qu'il reprendra. Nous pouvons donc supposer que des astronomes du début de l'époque hellénistique dont nous ne connaissons plus guère que les noms, à savoir Aristylle dont Ptolémée (*Syntaxis* VII, 1, p. 3 et VII, 3, p. 19 du tome II de l'éd. HEIBERG) cite les observations touchant les étoiles fixes en même temps que celles de Timocharis⁽¹⁾, avaient aperçu les problèmes posés par les anomalies de la lune. D'autre part, le *De Placitis Philosophorum* du Ps. Plutarque, II, p. 892 B, attribue à Ératosthène une mesure de la distance de la terre à la lune de 780.000 stades, soit 9,75 diamètres terrestres. Et JEAN LYDUS, *De Mensibus* III, 12, p. 54 WUENSCH, nous transmet la même donnée.

Il faut considérer aussi un autre milieu de chercheurs, celui des « Chaldéens » de l'âge hellénistique. Strabon (XVI, 1,6 = C 739) nomme Kidenas et Soudinès, en même temps qu'un certain Nabourianos dont on ne sait rien et que Séleucos de Séleucie, parmi les « Chaldéens » que les astronomes (μαθηματικοί) mentionnent avec estime. Vettius Valens IX, 11, dit avoir utilisé les tables solaires d'Hipparque et les tables lunaires de Soudinès avec celles de Kidenas et d'Apollonios (de Myndos ?) ⁽²⁾. Or des « tables lunaires » supposent une connaissance des « anomalies ». P. SCHNABEL a cru pouvoir attribuer à Kidenas, qui serait le Kindinnu des documents babyloniens, ou à son école la découverte de la précession des équinoxes et aussi de l'équivalence de 251 mois lunaires synodiques et de 269 mois lunaires anomalistiques⁽³⁾. Mais, touchant la précession des équinoxes, la démonstra-

⁽¹⁾ Sur les observations de Timocharis, voyez B. L. VAN DER WAERDEN, *Greek Astronomical Calendars and their Relation to the Athenian civil Calendar*, dans *The Journal of Hellenic Studies* 80 (1960), pp. 171-172. Les observations de Timocharis s'échelonnent de 295 à 283 avant J.-C. (PTOL., *Synt.* VII, 2, p. 13).

⁽²⁾ Voyez le texte de Vettius Valens et la discussion sur l'identité d'Apollonios, avec la bibliographie du problème, dans P. SCHNABEL, *Berosos and die babylonisch-hellenistische Literatur* (Leipzig, 1923, reprod. anast. Hildesheim, 1968), p. 122.

⁽³⁾ Sur Kidenas, contemporain d'Alexandre et qui lui survécut, voyez WEISSBACH et KROLL, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, col. 379 (1921). Ces auteurs pensent, d'après *Cat. Cod. Astrol. Graec.* VIII, II, 126, « qu'Hipparque a utilisé les calculs de Kidenas et a transmis ses connaissances à la postérité ». Ils lui attribuent aussi la découverte de l'équivalence de 251 mois lunaires synodiques

tion de P. SCHNABEL ne convainc pas O. NEUGEBAUER, dont la critique nous paraît fondée⁽¹⁾.

D'autre part, P. TANNERY, dans ses *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (Paris, 1893), pp. 56-81, a montré que les techniques mathématiques et géométriques qu'utilise Hipparque remontent au moins au début de l'âge hellénistique. Outre le recueil d'observations anciennes d'éclipses de soleil que constitua Conon de Samos⁽²⁾ et les recherches sur la longueur de l'année que

et de 269 mois anomalistiques. P. SCHNABEL, *Berosos*, pp. 122-130, consacre à Kidenas-Kindinnu une importante monographie, dans laquelle il reproduit tous les témoignages. Sur Soudinès, voyez KROLL, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, col. 563 (1931) citant POLYEN, *Strat.* IV, 20, et FRONTIN, *Strat.* I, 11, 15. On trouvera, d'autre part, tous les témoignages reproduits dans P. SCHNABEL, *Berosos*, pp. 130-132. D'après le fragment anonyme d'un auteur qui écrivait au V^e ou au VI^e siècle de notre ère, et qui est publié au *Cat. Cod. Astrol. Graec.* VIII, II (1911), p. 126, cité ci-dessus, Kidenas aurait œuvré à la découverte des périodes éclipseques.

La découverte de la précession des équinoxes est attribuée à Kidenas par P. SCHNABEL, dans *Berosos*, pp. 227-237, que suit H. GRESSMANN, *Die hellenistische Gestirnsreligion* (Beihefte zum Alten Orient, Heft 5, Leipzig, 1925), p. 5. Gressmann soutient qu'en gros la thèse de BOLL, pour qui les Grecs de la période classique avaient élaboré une astronomie scientifique et les « Chaldéens » une astrologie, reste vraie, mais il pense qu'il y a un peu d'astrologie dans la pensée grecque classique et plus de science qu'on ne croit dans la pensée des « Chaldéens ». Je crois que cette opinion est juste. La publication des tablettes cunéiformes par O. NEUGEBAUER, en 1955, montre la science des calculs des Chaldéens.

B. VAN DER WAERDEN admet que les relations des périodes des différents types de mois lunaires (synodiques, anomalistiques, draconitiques) sont déjà établies par les observations babyloniennes éditées par F. X. KUGLER, *Babylonische Mondrechnung* (Freiburg, 1900). Voyez l'article *Ptolemaios*, (66) dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, col. 1804 (1959).

⁽¹⁾ O. NEUGEBAUER, *Journal of Cuneiform Studies* I (1947), p. 147.

⁽²⁾ Sur Conon de Samos, voyez SÉNÈQUE, *Quaest. Nat.* VII, 3, 3 : Conon postea, diligens et ipse inquisitor, defectiones quidem solis servatas ab Aegyptiis collegit. Conon est l'astronome qui, pour plaire à Ptolémée III, établit la « boucle de Bérénice » dans une constellation. A ce titre il est cité dans le poème de Callimaque, frg. 110 (éd. R. PFEIFFER, Oxford, I, 1949), poème traduit par Catulle, 66, 1-7, qui décrit ainsi son œuvre « Omnia qui magni dispexit lumina mundi | qui stellarum ortus comperit atque obitus | flammeus ut rapidi solis nitor obscuretur | ut cedant certis sidera temporibus |, ut Trivium furtim sub Latmia saxa relegans | dulcis amor guro devocet aërio, | idem me ille Conon... ». On reconnaît là les problèmes classiques de l'astronomie hellénistique et notamment les éclipses.

Conon était donc contemporain de Ptolémée Evergète. Apollonios de Pergé qui devait être un peu plus jeune que lui, lui a dédié le IV^e livre de ses *Coniques*, ce qui implique sans doute qu'il s'était, lui aussi, occupé des sections coniques. On n'a point conservé de fragment des 7 livres d'astronomie de Conon.

Voyez d'autres sources dans REHM, *Konon* (11), dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 1338-1340 (1922).

Ptolémée (*Syntaxis* III, 1, p. 195 éd. HEIBERG) attribue à Archimède, il faut en effet, avec P. Tannery, souligner l'importance des travaux d'Apollonios de Pergè⁽¹⁾ qu'on aurait surnommé *Epsilon* à cause de ses recherches sur la théorie de la lune⁽²⁾, étant donné la ressemblance entre la lune et cette lettre. Ptolémée Chennus⁽³⁾ situe sous Philopator, soit dans le dernier quart du III^e siècle, la maturité d'Apollonios. D'autre part, celui-ci avait dédié à Attale I^{er} de Pergame les livres IV à VII au moins de ses *Sections Coniques* en huit livres.

C'est à Apollonios de Pergè que Paul Tannery (*Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne*, pp. 56-81) attribue la coordination des recherches qui ont abouti à la trigonométrie, dont Hipparque constitua les tables et qui renouvela les méthodes de calcul en astronomie. Et O. Neugebauer a montré « qu'une astronomie grecque mathématique sérieuse ne commence qu'avec Apollonios » (*The Equivalence of Eccentric and Epicyclic Motion according to Apollonios*, dans *Scripta Mathematica* 24, 1959, pp. 5-21).

Ptolémée cite deux fois Apollonios (*Syntaxis* XII, 1, p. 450 éd. HEIBERG et 456) à propos de la rétrogradation des planètes et de leurs arrêts (texte reproduit par HEIBERG, éd. d'*Apollonios de Pergè*, Bd II, Leipzig, 1893, pp. 137 sqq.). Et c'est pour rappeler la contribution de celui-ci, comme « d'autres mathématiciens », à la représentation des « anomalies » des planètes par un montage sur épicycle. Parmi les « autres mathématiciens » il faut sans doute ranger Héraclide Pontique qui établit Vénus et Mercure sur un épicycle autour du soleil.

⁽¹⁾ Sur Apollonios de Pergè, voyez F. HULTSCH, *Apollonios* (112) dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 151-160 (1896). On trouvera le texte grec, avec traduction latine d'Apollonios de Pergè dans l'édition de J.-L. HEIBERG (Leipzig, Teubner, 2 vol. 1891-1893). Une traduction française des *Coniques*, précédée d'une étude sur Apollonios, a été publiée par P. VER ECKE, (Bruges, 1923). Le volume II de l'édition de HEIBERG contient le *Commentaire d'Eutocius* d'Ascalon, du V^e siècle ap. J.-C., ainsi que les *testimonia* sur Apollonios.

Voyez aussi T. L. HEATH, *Apollonios of Perga* (1896) et *A History of Greek Mathematics* (Oxford, 1921), II, pp. 110-196; P. TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (Paris, 1893), pp. 56-81 *passim*.

⁽²⁾ C'est Ptolémée Chennus, dans un passage que nous a conservé Photius (cod. CXC, p. 151 b 18 de l'édition BEKKER), qui mentionne ce surnom d'*Epsilon*. Ce témoignage est reproduit par HEIBERG, dans l'édition Teubner qu'il a donnée d'Apollonios de Pergè, vol. II (Leipzig, 1893) p. 139, frg. 61 : τὸ σχῆμα τοῦ εἰς συμπεριφέρεται τῷ τῆς σελήνης περί ἣν ἐκεῖνος μάστιγα ἠκριβώτο.

⁽³⁾ PTOLÉMÉE CHENNUS, *loc. cit.* dans la note précédente.

Enfin, pour nous borner à ce qui concerne la lune, il faut encore dire qu'Apollonios aurait évalué « la distance de la surface de la terre à l'orbite de la lune à 500 myriades de stades », soit 5.000.000 de stades. C'est Hippolyte, *Réfutation des hérésies* IV, 8, (p. 66, éd. DUNCKER et SCHNEIDEWIN = p. 41, éd. WENDLAND, passage reproduit par HEIBERG, *Apoll. Perg.* II, p. 139, frg 60) qui transmet cette information en même temps que les évaluations d'Aristarque de Samos et d'Archimède, ainsi que les distances de la lune au soleil et de celui-ci aux autres planètes. Mais P. TANNERY croyait le chiffre corrompu⁽¹⁾.

Ce qui, à notre sens, est significatif de la force, dans la pensée d'Apollonios, du préjugé de l'excellence du cercle, c'est que cet auteur d'une œuvre d'une haute qualité et en partie originale sur les *Sections Coniques*, ce géomètre à qui l'on doit les noms mêmes de parabole, d'hyperbole et d'ellipse, qu'il employa dans cet ouvrage pour désigner les courbes qu'il y étudiait⁽²⁾, ainsi donc ce théoricien de l'ellipse s'en est tenu, comme astronome, à une représentation par épicycle circulaire et n'a pas, que nous sachions, su se dégager de l'obstacle épistémologique que constituait l'exigence de révolutions circulaires, pour imaginer des orbites elliptiques.

Sans doute, si nous avions les œuvres des astronomes du III^e siècle avant J.-C. et les œuvres astronomiques d'Apollonios de Pergè, dégagerions-nous mieux, dans ce que nous transmet Ptolémée de l'œuvre d'Hipparque, ce qui fut la part originale de celui-ci. Du moins avons-nous assez d'indices pour savoir que les problèmes classiques des « anomalies » et des distances étaient posés avant lui, que les recueils d'observations qu'il utilisait étaient constitués avant lui, observations babyloniennes, transmises par Béroze et intégrées par Conon de Samos, sans doute, dans des tables générales. Et si Ptolémée cite beaucoup plus souvent Hipparque que les autres astronomes, auxquels il ne se réfère guère qu'en bloc et vaguement, c'est que peut-être l'œuvre de ceux-ci avait déjà disparu de son temps, condensée dans celle d'Hipparque dont l'originalité est peut-être seulement

⁽¹⁾ Cf. P. TANNERY, *Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 2^e série V, p. 254.

⁽²⁾ Cf. P. VER ECKE, *Les Coniques d'Apollonios de Pergè* (Bruges, 1923) p. XIV, et Livre I des *Coniques*, propositions XI (parabole), XII (hyperbole) et XIII (ellipse).

cette précision, cette acceptation d'observations insolites qui obligent à reconsidérer les théories, cette résignation à ne pas expliquer, que lui attribue Ptolémée et qui le caractérisent comme un esprit de scrupuleux chercheur, mais non de génial rénovateur.

Il fallait, avons-nous dit, d'abord vérifier l'unité de temps qui allait servir d'étalon à la mesure de la révolution de la lune et éventuellement des planètes et au repérage de leurs « anomalies ».

Il s'agissait donc de préciser la mesure de l'année solaire et Hipparque a établi la lente variation de cet étalon.

Alors que les étoiles fixes conservent entre elles la même position, dit Ptolémée (*Syntaxis* VII, 2, p. 12, éd. HEIBERG), « la preuve de ce que la sphère des fixes a un mouvement propre de sens opposé à celui de la révolution de l'univers... c'est que les mêmes étoiles n'ont pas conservé aujourd'hui les distances aux points solsticiaux et équinoxiaux qu'elles avaient autrefois et que ces distances augmentent continuellement avec le temps ». Or Hipparque, poursuit Ptolémée, s'était avisé de ce phénomène, notamment en comparant ses observations avec celles de Timocharis (qui remontent, on l'a vu, au début du III^e siècle avant J.-C.) et, dans son ouvrage « *Sur le déplacement des points solsticiaux et équinoxiaux, il compare quelques-unes des éclipses de lune bien observées de son temps à celles qui l'avaient été avant lui par Timocharis et il conclut que l'Épi était, de son temps, à une distance de 6° du point équinoxial d'automne, mesurée en sens inverse des signes, alors qu'il était à une distance de 8° environ de ce point, du temps de Timocharis* ». En comparant aux siennes, faites 265 ans plus tard, les observations d'Hipparque, Ptolémée conclut qu'en 100 ans, il y a un glissement de 1° à peu près (ἔργον). Et il ajoute : « c'est manifestement aussi l'opinion qu'avance avec prudence Hipparque qui, dans son « *Traité sur la longueur de l'année* », dit « si pour cette raison les solstices et équinoxes ont modifié leur position de 1/100 de degré par an au moins, dans le sens inverse des signes, leur déplacement en 300 ans devrait être d'au moins 3 degrés ». C'est le phénomène que nous appelons « *précession des équinoxes* ».

Il s'ensuit que le temps qui sépare deux passages successifs du soleil au même point équinoxial, soit l'année tropique, est un peu plus court que l'année sidérale qui sépare deux passages successifs du soleil à la même étoile. Dès lors, non seulement il faudra choisir une de ces deux années comme étalon de mesure

du temps, mais encore il faudra, « toute première tâche » de l'astronome, selon Ptolémée (*Syntaxis* III, 1, p. 191 éd. HEIBERG), en déterminer la durée avec précision, ce à quoi se sont attachés, à travers « *leurs divergences d'opinions et leurs doutes, les Anciens et particulièrement Hipparque, grand travailleur et ami de la vérité* ». Une fois de plus, nous entrevoyons ici le rôle d'Hipparque : reprendre une question controversée et en préciser la solution. Hipparque, en l'occurrence, choisit l'année tropique comme base de la mesure des durées. C'est ce que dit Ptolémée (*Syntaxis* III, 1, p. 207), qui sur ce point le cite littéralement. Simplicius, dans le *Commentaire du De Caelo* (éd. HEIBERG, pp. 462-463), rapporte que son professeur Ammonios fit, de son temps, de nouvelles observations à Alexandrie et trouva un déplacement d'Arcturus correspondant au mouvement d'un degré par siècle qu'avaient repéré Hipparque et Ptolémée (1).

Revenons aux travaux d'Hipparque. De même que celle de l'année, il a cherché à mesurer avec précision la durée de la lunaison, tout d'abord de conjonction en conjonction (mois synodique), ce qui est très délicat (2), car il est difficile d'observer le moment exact de la conjonction, qui est à la fois fin et début de lunaison. Cette observation n'est aisée que lorsqu'il y a éclipse du soleil par la lune. Comme la lune a un mouvement en latitude tel que le plan de son orbite est incliné de 5°8'48" sur le plan de l'écliptique, cette orbite et l'écliptique se coupent aux extrémités de leur diamètre commun en deux points opposés que les Grecs

(1) Sur la mesure de l'année solaire par Hipparque, voyez P. TANNERY *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (Paris, 1893), pp. 142-178.

Sur la découverte de ce mouvement lent de la sphère céleste, qui correspond à la précession des équinoxes, voyez P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic II* (Paris, 1914), pp. 180-266.

Hipparque est traité aux pages 180-185, Ptolémée, aux pages 185-186. P. Duhem souligne que ce phénomène n'est pas mentionné dans CLÉOMÈDE, *De motu circulari corporum caelestium*, ni dans les *Éléments d'astronomie* de THÉON DE SMYRNE, ce qui indiquerait que Posidonios, dont s'inspirent ces ouvrages, n'avait pas prêté attention à cette découverte d'Hipparque. P. Duhem suit jusqu'aux Arabes les conséquences de la connaissance de la précession des équinoxes et notamment l'exigence d'une 9^e sphère tout à fait immobile. Pour ce qui concerne les Grecs après Ptolémée, voyez les pages 190-204.

(2) Sur les difficultés de ce problème, voyez J. TAILLÉ, *La terre et la lune* (Que sais-je ?, Paris, 1960), pp. 88-94 : « Si nous voulons étudier, dit J. Taillé le mouvement de la lune autour de la terre, nous sommes d'emblée embarrassés par la présence d'astres perturbateurs extrêmement influents en raison de la masse bien faible du système terre-lune. Et le soleil est le chef de file de ces trouble-fête ».

appelaient *nœuds* (σύνδεσμοι) et auxquels nous avons conservé ce nom. Il n'y aura éclipse de soleil que lorsque les projections de la lune et du soleil coïncideront au même nœud, et éclipse de lune, que lorsque ces projections se trouveront chacune à un des nœuds. Ce phénomène est expliqué très clairement par Simplicius, *Commentaire du De Caelo*, éd. HEIBERG, pp. 461-462 ⁽¹⁾. Or, phénomène analogue à celui de la précession des équinoxes, ces nœuds se déplacent sur l'écliptique d'Orient en Occident. C'est ce que révèle le fait que « les éclipses se produisent successivement en des lieux divers de l'écliptique » ⁽²⁾.

A quand peut-on faire remonter la notion de « nœuds », c'est-à-dire des points de coïncidence en projection de l'orbite de la lune et du cercle de la course annuelle du soleil, dont l'obliquité est connue au moins depuis le V^e siècle avant J.-C. ? On ne saurait le dire. Le nom d'écliptique n'apparaît pour la première fois, pour désigner ce cercle comme celui sur lequel se produisent les éclipses, que chez Achille Tatius, qu'on situe, sans certitude, au III^e siècle après J.-C. C'est dans une notice sur le zodiaque, qu'il consigne au Chapitre 23 de son *Commentaire (Isagogè) aux Phénomènes d'Aratos* (éd. E. MAASS, dans *Commentariorum in Aratum Reliquiae*, Berlin, 1898, p. 53), qu'Achille Tatius définit le cercle « héliaque, comme disent les savants, et aussi écliptique, parce que c'est sur ce cercle que se produisent les éclipses de soleil ». Il y a lieu de penser qu'Achille Tatius prenait son information chez un de ces savants. Or il en est un qui avait avant lui commenté Aratos, c'est Hipparque. Une mention de l'écliptique chez CLÉOMÈDE, *De Motu* II, 5, 115 est considérée comme une glose interpolée. On ne voit pas pourquoi, puisqu'elle s'insère dans une définition des nœuds. Si on admet ce texte, on pourrait sans doute remonter à Posidonios, la source que Cléomède cite le plus souvent. Ces deux voies nous amènent donc au II^e siècle au plus tard, avant notre ère.

Mais on pourrait remonter à Eudoxe dont, nous le verrons dans un instant, la 3^e sphère qu'il consacre à l'expression des mouvements de la lune pourrait être affectée au mouvement de la ligne des nœuds. Ce qui confirmerait cette hypothèse, c'est que la notion de « nœuds » est déjà vulgarisée au milieu du

⁽¹⁾ Le passage de Simplicius est traduit par P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic* II, pp. 202-203.

⁽²⁾ Je cite ici P. DUHEM, *op. cit.* I, p. 118.

II^e siècle au point d'apparaître dans un papyrus grec du Sérapéum de Memphis, le P. Louvre 1, qui se donne précisément pour « *L'art d'Eudoxe* » et qui, en effet, nous le verrons ci-dessous, p. 284, a quelques connexions avec ce que nous savons de la doctrine de cet astronome.

Les essais d'évaluation de la périodicité de ce déplacement remontent haut ⁽¹⁾. En effet, Ptolémée (*Syntaxis* IV, 2, pp. 270-271) expose d'abord la méthode des « Anciens » et donne les chiffres trouvés avant Hipparque. Mais celui-ci avait prouvé que ces évaluations n'étaient pas exactes et avait entrepris de les corriger. Il disposait d'observations des « Chaldéens » qu'il comparait aux siennes. « Il démontre — dit-il — par les observations qu'il a exposées, que le moindre nombre des jours endéans lesquels le temps des éclipses revient toujours cycliquement après un nombre égal de lunaisons et en des mouvements égaux est de 126.007 jours et une heure équinoxiale, temps dans lequel il trouve accomplies 4.267 lunaisons, 4.573 retours d'anomalies et 4.612 révolutions zodiacales à 7½ degrés environ près dont il s'en faut que le soleil n'ait accompli 345 cycles (annuels), période où il considère que se retrouvent au même point par rapport aux étoiles fixes (la lune et le soleil). Ce qui lui donne le temps moyen de la lunaison en divisant le nombre de jours susdit (126.007) par les 4.267 lunaisons, soit 29 jours 31' 50" 8" 20^{IV}, à très peu de chose près ». (Les 31 minutes s'entendent en minutes de jour, celui-ci étant divisé en 60 « minutes » et ces minutes étant elles-mêmes divisées en 60 secondes de jour). Ce résultat s'exprime en système décimal par 29,530583 jours. Cette évaluation d'Hipparque est remarquablement précise (à une seconde près), puisqu'on l'établit aujourd'hui à 29,530589, soit 29 jours 12 heures 44 minutes 2,9 secondes solaires, selon J. TAILLÉ, *La terre et la lune* (Que sais-je ?, Paris, 1960), p. 91, et Z. KOPAL, *The Moon* (2^e éd., Dordrecht, 1969) p. 10 (où je relève cependant 2,8 secondes).

Dans ses *Éléments d'astronomie* VIII, περὶ μηνῶν, 43, p. 116 (C. MANITIUS, Leipzig, 1898), Geminus transmet, mais sans le justifier et sans citer Hipparque, et 2, p. 100, il cite le chiffre plus grossier de 29 jours 1/2 + 1/33, présenté comme une donnée

⁽¹⁾ On trouvera dans P. TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (Paris, 1893), p. 183, les mesures du mois synodique antérieures à Hipparque.

qui va de soi. Donnée simplifiée dans l'usage civil à 29 1/2 jours, soit 59 jours pour deux mois.

Parmi les observations antérieures qu'Hipparque a pu combiner avec celles, plus précises, qu'il fit personnellement, il faut peut-être compter celles d'Eudoxe qui devait connaître le déplacement des nœuds de la lune sur l'écliptique comme en témoigne la troisième sphère qu'il confère à la lune, pour exprimer sans doute ce phénomène ⁽¹⁾.

Outre le *mois synodique* dont on vient de lire la mesure, Hipparque détermina aussi avec une précision plus rigoureuse que ses prédécesseurs, les mois lunaires d'autres définitions. On sait, en effet, qu'on peut considérer le temps que met la lune à revenir à la même longitude : c'est le *mois tropical*, pour lequel Geminus (*Éléments d'astronomie* I, § 30, p. 12) connaît une valeur de 27 jours 1/3 approximativement, ce qui est très voisin de la valeur admise aujourd'hui de 27 jours, 7 heures, 43 minutes, 11 1/2 secondes. Le mois peut aussi être compté comme la révolution qui ramène la lune à la même « anomalie » (c'est-à-dire à l'apogée ou au périégée) ; c'est le *mois anomalistique* (cf. GEMINUS, XVIII, 1, p. 200), de 27 jours 5545685. Enfin, on peut encore définir le mois comme la révolution qui ramène la lune à la même latitude : c'est le *mois draconitique*, de 27 jours 21222 ⁽²⁾, pour lequel la latitude prise en considération est le passage de la lune aux nœuds.

Hipparque a, sur ce point, recueilli des connaissances qui remontaient aux Babyloniens ⁽³⁾. Mais il réussit à donner de ces

⁽¹⁾ Cf. P. DUHEM, *op. cit.*, I, pp. 117-118.

⁽²⁾ Sur la définition de ces mois, voyez P. TANNERY, *op. cit.*, pp. 188-189 ; P. DUHEM, *op. cit.* I, p. 118. Voyez aussi, pour le maintien de ces définitions aujourd'hui, J. TAILLÉ, *La terre et la lune*, pp. 91-93, et Z. KOPAL, *The Moon*, pp. 10-11. Les valeurs des différents mois sont données ainsi par KOPAL : mois tropical ou sidéral : 27 jours, 7 heures 43 minutes, 11,5 secondes ; mois anomalistique : 27 jours, 13 heures, 18 minutes, 37,4 secondes ; mois draconitique : 27 jours, 5 heures, 5 minutes, 35,8 secondes ; mois synodique : 29 jours, 12 heures, 44 minutes, 2,8 secondes. Ces valeurs sont celles de 1964. Les « jours » sont des « jours solaires moyens ».

⁽³⁾ Voyez B. VAN DER WAERDEN, article *Ptolemaios* (66) *Klaudios* (1959), col. 1804, sur l'origine babylonienne de ces périodes, d'après KUGLER, *Babylonische Mondrechnung* (Freiburg, 1900). Hipparque recueille que 251 mois synodiques = 269 mois anomalistiques (PTOLÉMÉE, *Syntaxis* IV, 2, éd. HEIBERG, p. 272), puis il trouve que 5458 mois synodiques = 5923 mois draconitiques (Id., *ibid.*).

mois des longueurs très précises ⁽¹⁾ (notons qu'il ne s'agit jamais que de longueur moyenne, puisque le mouvement de la lune n'est pas uniforme).

Autre effort de précision préalable à la mesure des distances et diamètres du soleil et de la lune : Hipparque refuse l'axiome 2 d'Aristarque de Samos qui, dans ses constructions, admettait, on s'en souvient, que la terre avait fonction de point et centre à l'égard de la sphère dans laquelle se meut la lune. On a lu plus haut que cette erreur d'un rayon terrestre entraîne, pour la détermination de la position de la lune, une différence entre angle apparent et angle réel. C'est la parallaxe lunaire, qu'on ne peut négliger, mais qui s'annule pendant les éclipses, ce qui fait que les éclipses constituent pour les observations un moment privilégié, ainsi qu'on l'a lu plus haut.

Cette critique de l'axiome d'Aristarque, Ptolémée la formule avec une parfaite précision dans la *Syntaxis* IV, 1 (p. 266 de l'éd. HEIBERG). Nous la citons ici dans la traduction qu'en a donnée P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic* II, pp. 28-29. « La distance du centre ⁽²⁾ de la terre à l'orbe de la lune n'est pas comme la distance de la terre au cercle du zodiaque ; elle n'est pas assez grande pour qu'à son égard, la grandeur de la terre se comporte comme un simple point. Aussi est-il nécessaire d'admettre que la droite issue du centre du monde, passant par le centre de la lune et prolongée jusqu'à la rencontre avec l'écliptique, droite à l'aide de laquelle sont conçus, par tout le monde, les mouvements véritables, ne coïncide aucunement d'une manière sensible avec la ligne issue d'un point de la surface terrestre, c'est-à-dire de l'œil de l'un des observateurs, au centre de la lune, droite à l'aide de laquelle le mouvement apparent est observé. C'est seulement lorsque la lune est placée verticalement au-dessus de l'observateur qu'une seule et même droite, issue du centre de la terre et passant par l'œil de cet observateur, va rencontrer le centre de la lune et, de là, le zodiaque. Mais, dès là que la lune s'écarte d'une manière quelconque du zénith, il se produit des divergences et des inclinaisons

⁽¹⁾ Voyez sur ces mois, PTOLÉMÉE, *Syntaxis* IV, 5 (éd. HEIBERG, pp. 294 sqq.). Ptolémée, pp. 294-295, dit expressément que pour le calcul des anomalies il suit la méthode d'Hipparque. Voyez aussi IV, 8. P. TANNERY, *op. cit.*, pp. 190-201, essaie de reconstituer à travers Ptolémée, la méthode d'Hipparque.

⁽²⁾ Nous ajoutons « centre » (τοῦ κέντρου dans le texte grec) que P. Duhem a sans doute omis par lapsus.

des susdites droites ; par conséquent, le mouvement apparent n'est plus identique au mouvement véritable ; les positions que la vue observe sont sans cesse différentes de celles qui seraient déterminées à partir du centre de la terre, et cela proportionnellement aux grandeurs des angles formés par l'inclinaison mutuelle de ces deux droites ».

Que l'abandon de l'axiome 2 d'Aristarque et la prise en considération de la parallaxe lunaire remonte au moins à Hipparque est dit expressément par Pappus, *Collectio Mathematica* VI, pp. 554-560, éd. HULTSCH. Pappus, en effet, joint le nom d'Hipparque à celui de Ptolémée lorsqu'il déclare que ces mathématiciens se sont séparés d'Aristarque sur ce point, comme sur deux autres axiomes sur lesquels nous reviendrons : « selon eux — dit-il — la terre a la fonction d'un point et d'un centre, non à l'égard de la sphère où se meut la lune, mais à l'égard de la sphère des fixes ».

Dès lors qu'il renonce avec raison à cet axiome, Hipparque devra tenir compte de la parallaxe de la lune pour déterminer diamètre et distance de cet astre. Et l'on sait qu'il avait écrit un traité des *Parallactiques* en plusieurs livres, dont Ptolémée cite le premier (*Syntaxis* V, 19, éd. HEIBERG, I, pp. 450-451) à propos de la parallaxe lunaire. Ptolémée est très sévère pour Hipparque touchant ce chapitre de son œuvre qu'il déclare « manquer à la fois de science et de logique » et qu'il tient pour indigne d'un savant « qui avait fait profession de la plus minutieuse acribie ». Sans décrire précisément sa démarche, Ptolémée (*Syntaxis* V, 11, p. 402 éd. HEIBERG) dit qu'Hipparque, pour éviter la parallaxe lunaire, a pris pour point de départ de sa recherche le soleil. « Étant donné en effet... — écrit-il — qu'il croyait que si la distance d'un de ces astres est connue, l'autre l'est ipso facto, Hipparque, par une évaluation approchée de la distance du soleil, cherche à démontrer la distance de la lune. Il suppose tout d'abord que le soleil n'est affecté que de la plus petite parallaxe perceptible, afin de déterminer, sur ces bases, la distance de cet astre. Mais ensuite, il invoque à l'appui de son raisonnement l'éclipse de soleil observée par lui ⁽¹⁾ et calculée tantôt en supposant que le soleil n'a

(1) Cette éclipse est celle que mentionne PAPPUS, dans son *Commentaire de la Syntaxis de Ptolémée* ad V, 11, p. 402, dont il sera question ci-dessous. K. MANTHUS en appendice à sa traduction allemande de la *Syntaxis* (tome I, Leipzig, 1912, pp. 440-441, note 36) commente le texte de Pappus à propos d'Hipparque.

aucune parallaxe perceptible, tantôt qu'il en est affecté d'une assez grande. Et à partir de là se dégagent des valeurs différentes pour la distance de la lune selon celle des deux hypothèses qu'il admettait. En effet, le doute est entier touchant le soleil : non seulement on ignore la grandeur de la parallaxe dont il est affecté, mais encore s'il en a une ». Hipparque a probablement fait deux calculs selon deux observations qui lui apportaient des données différentes. Cela paraît bien être sa méthode : ne point forcer les choses pour obtenir une régularité abusive. Et cette méthode était saine puisque c'est celle qui a fait apparaître dans les mouvements de la lune, comme dans ceux du soleil, des anomalies qui permettaient de mieux les définir. Nous verrons plus loin que l'incertitude dont Hipparque n'avait sans doute pas voulu exonérer ses conclusions et peut-être aussi les remaniements successifs de ses calculs en raison de nouvelles observations pourraient expliquer la discordance des témoignages au sujet de ses mesures du soleil.

Même si ce chapitre de la parallaxe lunaire, comme celui de la parallaxe solaire, est un des plus faibles de son œuvre, Hipparque a du moins le mérite d'avoir compris qu'il fallait inventer une méthode de mesure des diamètres et distances autre que celle d'Aristarque, et cela parce que l'axiome 2 de celui-ci n'était pas recevable.

Il faut nous représenter ces astronomes « mesureurs » point du tout affranchis de l'exigence d'orbites parfaitement circulaires, de mouvements uniformes, d'hypothèses simples — les Grecs ne le seront jamais — exigence qu'avaient formulée Platon et Aristote et auxquelles avaient tenté de répondre Eudoxe et Callippe. Exigence que Ptolémée (*Syntaxis* I, 2 ; III, 3, p. 216 ; IX, 2, p. 212) formulera encore avec force, lui qui devait se plonger si profondément dans l'étude des anomalies — mais précisément pour les réduire à une structure rationnelle. Et ces astronomes, à mesure que se multiplient et se précisent leurs observations, submergés par des « irrégularités » qui éclatent sur tous les fronts de leurs recherches : inégalité des saisons, connue peut-être depuis Méton, précession des équinoxes, déplacement des nœuds lunaires sur l'écliptique, sans compter, bien

P. DUREM, *op. cit.* II, p. 30, traduit le passage de Ptolémée (*Syntaxis* V, 11, p. 402), que nous citons ici.

entendu, les mouvements apparemment irrationnels des planètes. Le système des sphères a fait faillite ; on s'accrochera cependant toujours aux orbites circulaires, mais il faudra abandonner la concentricité. On perçoit dans la constatation sincère qu'ils expriment de la difficulté de « sauver » les apparences par des constructions géométriques simples, l'angoisse des astronomes grecs, angoisse à laquelle, en dépit des dogmes qu'il s'est si fermement donnés en son introduction de la *Syntaxis*, I, 3, Ptolémée non plus — et c'est tout à son honneur — n'échappera pas.

Les tâtonnements d'Hipparque, dont nous avons perçu quelques échos au sujet de la parallaxe du soleil, nous allons les retrouver, et d'autant que se perfectionnent les instruments de mesure, lorsqu'il tentera d'évaluer la distance de la lune.

Car il avait pu mesurer avec précision les variations du diamètre apparent de la lune, variations perceptibles d'ailleurs au premier venu. C'est Ptolémée (*Syntaxis* V, 2, p. 355 et V, 14, p. 417 éd. HEIBERG) qui rapporte comment Hipparque a mis en évidence, par la discordance de ses mesures, la variation des distances de la lune au soleil qui l'obligèrent à une nouvelle représentation de la révolution lunaire.

Il s'agit, en effet, des anomalies qui suggèrent un éloignement et un rapprochement de la lune, autrement dit un périégée et un apogée.

Ces variations, qu'Aristarque négligeait dans son « *Traité des grandeurs et distances* » ⁽¹⁾, sont d'ailleurs mises en évidence par deux types d'éclipses de soleil : l'éclipse totale, qui, ne durant qu'un instant dans sa totalité, suggère un diamètre apparent de la lune égal à celui du soleil, et l'éclipse annulaire au cours de laquelle le disque lunaire laisse subsister un anneau de soleil visible, ce qui indique un diamètre apparent de la lune plus petit que celui du soleil et par conséquent, alors qu'elle est dans les deux cas à la même phase, un éloignement plus grand de la lune. On trouve mention de l'éclipse annulaire dans le *Commentaire du De Caelo* de Simplicius (p. 505, 7-9, éd. HEIBERG), d'après Sosigène, lequel vivait au II^e siècle de notre ère.

Cet éloignement variable où la lune, en sa révolution mensuelle, paraît de la terre, a suscité deux représentations géométriques

⁽¹⁾ Voyez la proposition 8 du traité d'Aristarque de Samos « *Sur les grandeurs et distances...* »

de cette révolution, qu'on maintint, en tout état de cause, circulaire : on peut monter la révolution mensuelle de la lune sur un *épicycle* circulaire dont le centre est porté par une circonférence déferente de même centre que la terre. On peut aussi établir la lune sur une orbite circulaire *excentrique* par rapport au centre commun de la terre et du monde.

Ces deux constructions sont utilisées, tant pour rendre compte du comportement des planètes que de celui de la lune. Dès l'époque d'Alexandre, Héraclide du Pont, en faisant tourner Vénus et Mercure autour du soleil, avait constitué pour ces planètes des épicycles ⁽¹⁾.

L'hypothèse de cercles excentriques, qui rend compte notamment des variations de diamètres apparents du soleil et de la lune et sauve le principe des mouvements circulaires de vitesse uniforme, hypothèse qui fut sans doute avancée tout d'abord par des Pythagoriciens ⁽²⁾, répugnait, tout comme la théorie héliocentrique, à ceux qui y voyaient la terre destituée de sa fonction de centre du monde.

Cependant, après l'impasse où avaient conduit les sphères homocentriques multipliées par Eudoxe, Callippos et Aristote, il fallut bien reprendre sur frais nouveaux les hypothèses d'excentriques et d'épicycles. Les géomètres et notamment, nous l'avons vu, Apollonios de Pergé, à la fin du III^e siècle avant J.-C., s'attachent avec succès à prouver l'équivalence des deux constructions ⁽³⁾.

⁽¹⁾ La théorie d'Héraclide du Pont est donnée par CHALCIDIUS, *Commentaire du Timée*, CIX-CX (= WEHRLI, *Her. Pont.*, frg. 109). Cf. VITRUVIUS IX, 1, 6 et MARTIANUS CAPELLA, *Les noces de Mercure et de Philologie* VIII, 857, 879. Ces trois textes sont donnés en traduction dans M.-R. COHEN et J.-E. DRABKIN, *A Source Book in Greek Science* (New-York, 1948), p. 107.

P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic* I, pp. 399-418, a fait une lumineuse étude de l'œuvre d'Héraclide. Ce qui concerne Vénus et Mercure est aux pages 406-410, où l'on trouvera une discussion sur les sources du témoignage de Chalcidius.

⁽²⁾ Cf. SIMPLICIUS, *Commentaire du De Caelo* II, 12, éd. HEIBERG, p. 507, 12-14 et PROCLUS, *Hypotyposis*, éd. MANITIUS, pp. 18-19.

⁽³⁾ Les théorèmes d'Apollonios de Pergé sur l'équivalence des deux constructions sont rapprochés par PTOLÉMÉE, *Syntaxis* XII, 1, (éd. HEIBERG, II, pp. 450 et 457) qui, en le citant, démontre la légitimité des deux constructions en ce qui concerne l'expression géométrique des mouvements des planètes. Voyez P. DUHEM, *op. cit.* I, pp. 435-441. Ptolémée, p. 450, dit expressément que d'autres « mathématiciens » se sont, ainsi qu'Apollonios de Pergé, attachés à la démonstration de l'équivalence des deux constructions.

Hipparque les recueille toutes deux et il s'abstiendra de choisir. Au chapitre III du livre III de la *Syntaxis* (pp. 216-232 éd. HEIBERG), Ptolémée démontre cette équivalence des deux constructions imaginées pour rendre compte des anomalies du soleil. P. DUHEM⁽¹⁾ pense que cette démonstration est empruntée à Hipparque, quoique Ptolémée ne cite pas celui-ci dans ces pages. Du moins, Théon de Smyrne, *Astron.*, ch. XXVI, éd. HILLER, p. 166, souligne-t-il qu'Hipparque trouvait digne de recherches la cause de cette étonnante équivalence. Et Ptolémée, à propos des anomalies du soleil (*Syntaxis* III, 4, pp. 233-238 éd. HEIBERG), cite longuement Hipparque et se dit d'accord avec lui. Mais Ptolémée choisit l'hypothèse de l'excentrique « parce qu'elle est plus simple et qu'elle ne nécessite qu'un seul mouvement au lieu de deux. La traditionnelle valorisation du simple et de l'unique a joué ici, conformément au principe que l'astronome rappellera au livre XIII, 2 (p. 532 éd. HEIBERG).

Pour l'explication de l'anomalie de la lune, c'est au chapitre V du livre IV (pp. 294-295, éd. HEIBERG) qu'il faut retrouver la pensée d'Hipparque que Ptolémée déclare emprunter. Or ce chapitre a pour objet l'équivalence des deux constructions, par excentrique et par épicycle, pour représenter le comportement et l'ampleur de l'anomalie lunaire, seule connue de ses prédécesseurs, à savoir celle qui fait la lune tantôt plus proche (périgée), tantôt plus éloignée de la terre (apogée). C'est à l'occasion d'éclipses de lune qu'Hipparque avait pris les mesures justifiant l'équivalence des deux constructions. Mais Ptolémée (*Syntaxis* IV, 11, pp. 338-339, éd. HEIBERG) constate que les éclipses qu'Hipparque a comparées pour mesurer l'anomalie lunaire ne donnent pas le même résultat que celui qu'il a lui-même obtenu, et que le rapport établi par l'hypothèse de l'excentrique ne coïncide pas avec celui qui est calculé selon l'hypothèse de l'épicycle. Cette erreur n'est pas selon lui le résultat du défaut d'équivalence (*ἀσυμφωνία*) des hypothèses, dont il a montré précisément qu'elles se valent, mais elle s'est produite parce qu'Hipparque a établi ses deux constructions sur des phénomènes différents et non point sur les mêmes, comme il l'aurait fallu.

Hipparque a dû, comme il l'a fait avec succès pour les anomalies du soleil, établir les données quantitatives qui devaient lui

⁽¹⁾ *Le système du monde de Platon à Copernic* I, p. 454.

permettre de déterminer soit l'excentricité de l'excentrique, soit le rayon du déférent ainsi que le rayon de l'épicycle sur lequel il situait la lune.

Pour l'excentricité, nous savons qu'Hipparque, en considérant trois éclipses, a calculé deux valeurs différentes que nous a conservées Ptolémée, *Syntaxis* IV, 11 (pp. 340-348).

Nous n'avons pas ses calculs, mais ce que nous savons de ses déterminations de la distance et du diamètre de la lune est en rapport immédiat avec les deux hypothèses qu'il adoptait de front. La distance moyenne de la lune est, en effet, le rayon du déférent, les distances extrêmes se situent aux deux extrémités du diamètre de l'épicycle en direction du rayon terrestre. Quant à l'excentricité, si on l'adopte, elle ne peut se calculer non plus qu'une fois trouvées les distances maxima et minima de la lune à la terre.

On ne s'étonnera donc pas de voir attribuer à Hipparque une distance minima et une distance maxima. Ptolémée ne rapporte pas la démonstration qui conduit celui-ci à la mesure de ces distances. Mais Pappus, dans son *Commentaire* à V, 11, p. 402, de la *Syntaxis* de Ptolémée, donne une idée de l'usage qu'Hipparque faisait des éclipses pour établir ses calculs⁽¹⁾. « Dans le 1^{er} livre (sur les grandeurs et distances du soleil et de la lune) — dit-il — Hipparque signale le phénomène suivant : dans la région de l'Hellespont il y eut une éclipse totale de soleil, tandis qu'à Alexandrie d'Égypte, il n'y eut d'éclipsés que les $\frac{4}{5}$ environ du diamètre⁽²⁾. Sur la base de cette observation il montre, dans le 1^{er} livre, que, si l'on prend pour unité le rayon terrestre, la plus petite distance de la lune est de 71 rayons terrestres, la plus grande de 83, la moyenne de 77 ». Une partie de la démonstration est donnée par Cléomède, *De circulari motu corporum caelestium* II,

⁽¹⁾ K. MANITIUS cite ce texte à propos de la critique que Ptolémée, *Syntaxis* V, 11, p. 402, fait de la méthode d'Hipparque dans l'établissement de la parallaxe lunaire. Il en donne la traduction, note 36, pp. 440-441, du vol. I de sa traduction de Ptolémée.

⁽²⁾ Cette observation est répétée aussi par CLÉOMÈDE, *De Motu circulari corporum caelestium* II, 3 (pp. 172-174 éd. H. ZIEGLER, Leipzig, 1901) qui ne l'attribue pas à Hipparque. F. HULTSCH, *Hipparchos über die Grösse und Entfernung der Sonne*, dans *Berichte über die Verhandlungen der königlich sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig*, 1900, p. 197, pense qu'il s'agit de l'éclipse du 20 novembre 129 avant J.-C. Mais Manitius, *loc. cit.*, remarque qu'il n'est pas certain que l'éclipse considérée n'ait pas été transmise à Hipparque par une observation antérieure.

3, 94-96, pp. 172-174 (ZIEGLER), sans le nom d'Hipparque. Mais, tout en omettant de nous dire cependant par quel processus Hipparque ou tel autre astronome arrivait à déterminer la distance de la lune à la terre, Cléomède montre du moins que la démonstration, comme il se doit, passait par le calcul d'un diamètre de la lune. En effet, la distance de l'Hellespont à Alexandrie, qui sont sur le même méridien, doit correspondre au $1/5$ des diamètres apparents, qui sont égaux, du soleil et de la lune. (Après avoir parlé du $1/5$, Cléomède passe au $1/6$). Le procédé, on le voit, est du même type que celui qu'avait employé Ératosthène et qu'emploiera encore Posidonios, avec des points de repère différents, pour mesurer le méridien terrestre : un certain nombre de degrés d'une orbite céleste auquel répond une distance mesurable sur la terre, procédé que rapporte précisément Cléomède, *De Motu circulari* I, 10, 52-55 (pp. 94-100 éd. H. ZIEGLER).

Pappus poursuit sa notice sur les mesures d'Hipparque en citant les réflexions que l'astronome avait consignées en conclusion du 1^{er} livre de son ouvrage. « Dans ce traité — dit Hipparque — j'ai porté le raisonnement jusqu'à ce point. Mais qu'on ne suppose pas que la théorie de la distance de la lune ait jamais été mise au point, de toute façon. Car, même sur cette question, il faut poursuivre les recherches et l'on verra ainsi que la distance de la lune est moindre que les mesures ci-dessus ». Admirable méthode et admirable modestie du savant qui, poursuivant la précision des mesures qui seule lui permettra de rendre compte correctement des phénomènes, ne cesse de remettre en question ses propres résultats aussi bien que ceux de ses devanciers. Et, reprenant l'ouvrage, l'infatigable Hipparque corrige ses premières données. Ce qui fait que, toujours selon Pappus, qui attribue à l'imperfection de son évaluation des parallaxes l'incertitude que perçoit Hipparque dans les mesures sur lesquelles elles ont une incidence, « il démontre, dans le 2^e livre « Sur les grandeurs et distances », que la plus petite distance de la lune est de 62 rayons terrestres, la distance moyenne, de 67 $1/3$, et la distance du soleil, de 2490. D'où il ressort que la distance maxima de la lune est de 72 $2/3$ rayons terrestres » (1). La distance moyenne de

(1) Le texte de Pappus qui nous donne ces renseignements est traduit par T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos*, pp. 341 sqq.

la lune est ainsi beaucoup plus proche de la réalité que chez Aristarque.

Quant aux diamètres qu'Hipparque avait calculés pour la lune et le soleil, ni Pappus ni Cléomède ne nous les donnent. On les infère du volume qu'il avait attribué à ces astres, information que nous a transmise Théon de Smyrne, qui vivait à l'époque d'Hadrien (p. 197, éd. HULLER, Leipzig, 1878). L'estimation faisait l'objet d'une démonstration (*δεικνυσιν* "Ιππαρχος), que Théon n'a pas reproduite. Selon lui, pour Hipparque, la terre avait un volume 27 fois plus grand que celui de la lune, ce qui conduit à attribuer à celle-ci un diamètre de 0,33 diamètre terrestre. Quant au soleil, la tradition nous transmet sous son nom deux chiffres différents exprimant son volume (1880 fois la terre, selon Théon, 1050 fois selon Cléomède, II, 1, 83, p. 152, éd. H. ZIEGLER, Leipzig, 1891), ce qui lui donne, selon le chiffre de Théon, un diamètre, encore beaucoup trop petit, de 12 $1/3$ diamètres terrestres.

On voit cependant le progrès accompli depuis Aristarque de Samos dans l'approche de résultats corrects : distance et diamètre de la lune atteignent avec Hipparque l'ordre de ce qu'ils sont réellement. Progrès aussi dans la méthode, indépendante de celle d'Aristarque, puisque, aussi bien, l'axiome 2 avait été rejeté. L'amélioration des mesures résulte aussi du rejet de deux autres axiomes de l'astronome de Samos, les n^{os} 5 et 6. C'est Pappus (*Collectio Mathematica* VI, pp. 554, 6-560, 10, éd. F. HULTSCH) qui a relevé les points sur lesquels Hipparque a corrigé les axiomes d'Aristarque. L'axiome 5 attribuait à l'ombre de la terre au niveau de la lune un diamètre égal à 2 fois celui de la lune : Hipparque dit $2\frac{1}{2}$. Quant au diamètre apparent de la lune, il le fait beaucoup plus petit. Il n'est pas de 2^o, comme le veut l'axiome 6, mais de $1/650$ de son orbite, soit $36/65$ de degré, c'est-à-dire un peu plus d' $1/2$ degré (1).

Voilà donc pour les mesures d'Hipparque. Quant aux anomalies, Ptolémée ne lui attribue la connaissance que d'une seule, celle que révèlent les différences de diamètres qui indiquent un périégée et un apogée. Mais il paraît évident qu'il devait connaître aussi l'anomalie résultant du déplacement des nœuds, dont

(1) Le texte de Pappus est traduit par T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos*, pp. 412-414, et par P. DÜHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic* II, p. 27.

Eudoxe devait déjà avoir tenu compte, puisqu'il exigeait une troisième sphère pour représenter les mouvements de la lune.

Il faut ajouter encore qu'Hipparque avait appliqué ses mesures des mouvements de la lune à la construction de tables. Pline l'Ancien (*Histoire Naturelle* II, 53) qui, sans guère les comprendre, connaît néanmoins quelques résultats du travail d'Hipparque, attribue à celui-ci, dans le chapitre qu'il consacre aux éclipses, des prédictions pour 600 ans, touchant le soleil et la lune. Il ajoute que son œuvre embrassait la durée des mois des diverses nations, des jours, des heures, la situation des lieux et les aspects du ciel pour les différents peuples (*utriusque sideris in sexcentos annos praececinuit Hipparchus, menses gentium diesque et horas ac situs locorum et visus populorum complexus*). Comme la notice de Pline suit immédiatement ce qu'il dit des éclipses, il est vraisemblable que la table devait donner la prévision de celles-ci, ce qui découle directement de son étude de la périodicité des mouvements en latitude de la lune. Les mots *gentium, populorum et situs locorum* donnent à penser qu'il avait étendu la prévision des éclipses aux lieux de toute la terre habitée ⁽¹⁾. On sait d'ailleurs qu'un *Περὶ ἐκλείψεων ἡλίου κατὰ τὰ ἑπτα κλίματα* lui était attribué ⁽²⁾ et Pline encore (*Histoire Naturelle* II, 57) sait qu'Hipparque avait « découvert qu'une éclipse de lune se produit parfois au cinquième mois après la précédente, mais une éclipse de soleil, au septième, que le soleil peut être occulté deux fois en trente jours, mais point pour les mêmes habitants de la terre ». R. FLACELIÈRE (*Plutarque et les éclipses de lune*, dans la *Revue des Études anciennes* 53, 1951, pp. 203-221) ferait remonter

⁽¹⁾ Sur le texte de Pline (*Histoire Naturelle* II, 53), voyez J. BEAUJEU, commentaire, pp. 143-144 de l'édition de la *Collection des Universités de France*. F. BOLL, *Finsternisse* dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.* col. 2351, et W. KROLL, *Kosmologie des Plinius* (Breslau, 1930) p. 16, préfèrent, comme J. Beaujeu, le texte *sideris*, auquel il faudrait sous-entendre *defectus*, qui se tire des lignes qui précèdent et sont consacrées aux éclipses, au texte *sideris cursum* d'autres manuscrits, qui indiqueraient de simples tables des mouvements périodiques. P. TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne*, p. 241, traduit le texte *utriusque sideris cursum* (la course des deux astres) mais le commente en songeant aux éclipses. Aux pp. 202-208, P. TANNERY essaie de déterminer la part qui reviendrait à Apollonios de Pergé, à Hipparque et à Ptolémée dans la construction des tables qu'on lit dans la *Syntaxis*. Mais l'entreprise est désempée.

⁽²⁾ Voyez A. REHM, *Hipparchos* (18), dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 1666-1681 (1918).

à Hipparque la mention que fait Plutarque, *De facie* 933 E, de la constatation que de 465 pleines lunes écliptiques, 404 se produisent en cycles de six mois et le reste en cycles de cinq ⁽¹⁾.

Il est impossible de savoir au juste ce qu'étaient les tables d'Hipparque, quels éléments des tables qu'a dressées Ptolémée viennent de lui, et lesquels peut-être remontent à Apollonios de Pergé. Mais Hipparque ayant calculé l'excentricité de l'orbite lunaire (*Syntaxis* IV, 11) était en mesure de construire des tables des mouvements périodiques et non pas seulement des éclipses.

c. Posidonios

Avec Posidonios ⁽²⁾, on part des mesures concernant le soleil. Distance et diamètre de cet astre s'amplifient jusqu'à atteindre la moitié des grandeurs réelles. Le diamètre du soleil est tiré de l'observation d'Eratosthène qu'à Syène, au solstice d'été, la région où le gnomon ne projette pas d'ombre a un diamètre de 300 stades, longueur qui est le correspondant sur terre de la portion de son orbite occupée par le soleil. Or Posidonios suppose que l'orbite du soleil vaut 10.000 fois le méridien terrestre. Dès lors, le diamètre du soleil vaudrait 10.000 fois la portion du méridien terrestre où ses rayons, au solstice d'été, tombent perpendiculairement, soit 3.000.000 de stades. Tel est le résumé que donne Cléomède (*De motu circulari corporum caelestium*, II, 1, 79, pp. 144-146, éd. ZIEGLER, Leipzig, 1901) de la méthode de Posidonios, qui aboutit à un diamètre solaire de $39 \frac{1}{4}$ diamètres terrestres, le diamètre réel étant de 108,9. Il semble bien que la donnée touchant la valeur de l'orbite solaire (10.000

⁽¹⁾ Cf. H. CHERNISS, *Classical Philology* 46 (1951), p. 145, et H. GOERGEMANN, *Untersuchungen zu Plutarchs Dialog De facie in orbe lunae* (Heidelberg, 1970), p. 13, note 4, qui rappelle l'origine babylonienne de la constatation de ces cycles.

⁽²⁾ Sur Posidonios astronome, voyez F. HULTSCH, *Poseidonios über die Grösse und Entfernung der Sonne*, dans *Abhandlungen der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, Phil.-Hist. Klasse, Neue Folge, Band I, n° 5, 1897, 48 pages; K. REINHARDT, *Poseidonios von Apameia*, dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 558-826 (1954), avec une bibliographie considérable sur l'ensemble des questions posidonniennes; Marie LAFFRANQUE, *Poseidonios d'Apamée* (Paris, 1964), p. 202 (mesure du diamètre du soleil), pp. 299-300 (distance lune-terre). Voyez aussi T.-L. HEATH, *Aristarchus of Samos*, pp. 344-349; P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic* II (Paris, 1914), pp. 25-26; T. L. HEATH, *A History of Greek Mathematics* II (Oxford, 1921), pp. 219-222.

méridiens terrestres) n'ait pas été le résultat d'un calcul, car Cléomède conclut ainsi l'exposé de la méthode de Posidonios. « Sans doute peut-on admettre que l'orbite du soleil ne vaille pas moins de 10.000 fois la circonférence de la terre, qui tient lieu d'un point à son égard, mais il est possible qu'il soit plus grand ou plus petit et que nous l'ignorions ».

Si Cléomède n'a pas trahi Posidonios, qu'il cite, on aperçoit que le savant stoïcien n'avait pas connaissance de la rigueur qu'Hipparque exigeait des données du problème — qu'il voulait fondées sur des observations et des mesures — ni des résultats auxquels celui-ci était parvenu. Ceci nous révèle le peu de rayonnement des recherches d'astronomie technique, même dans un milieu de philosophes. Que penser alors du « grand public cultivé » ? Ce public auquel appartenait Plin l'Ancien qui précisément nous transmet les résultats de Posidonios plutôt que ceux d'Hipparque. Et Plin nous donne, selon Posidonios, une distance du soleil de 500.000.000 de stades depuis la lune, à quoi il faut ajouter 2.000.040 stades, de la terre à la lune, ce qui fait en tout 6.545 diamètres terrestres (*Histoire Naturelle*, II, 85).

Il se fait ainsi que c'est Posidonios qui aurait le plus approché, de toute l'Antiquité, des dimensions réelles, en ce qui concerne le soleil. Or sa donnée initiale, une orbite solaire valant 10.000 fois le méridien terrestre, ne repose sur aucune observation. T. L. HEATH (*A History of Greek Mathematics* II, p. 221) la croit prise à l'*Arénaire* d'Archimède. Nous avons ici un exemple clair de ce que, étant donné l'imperfection des instruments de mesure, même de ceux d'Hipparque et plus tard de Ptolémée, l'observation objective n'a pas plus de chance d'atteindre la réalité exacte que n'en a l'appréciation immédiate d'une vraisemblance ⁽¹⁾.

Quant à la distance de la lune à la terre, à savoir 2.000.040 stades, voici comment Cléomède résume la méthode qui a conduit Posidonios à cette évaluation (II, 80 pp. 146-148). Le cône d'ombre de la terre, coupé au niveau de la lune lors des éclipses totales de lune, a un diamètre égal à deux fois celui de la lune. C'est l'axiome 5 d'Aristarque de Samos, dont Posidonios ignore

⁽¹⁾ Voyez, sur ce caractère de la science astronomique des Grecs, A. AABOE et D. J. DE SOLLA PRICE, *Qualitative Measurement in Antiquity, The Derivation of accurate Parameters from crude but crucial Observations*, dans *L'Aventure de la Science, Mélanges Alexandre Koyré*, I (Paris, 1964), pp. 1-20.

qu'Hipparque l'a corrigé. Cette donnée admise, Posidonios, si Cléomède reproduit bien sa pensée, oublie que c'est dans un cône que la lune détermine la section considérée et, comme s'il s'agissait d'un cylindre, il conclut que le diamètre de la terre est double de celui de la lune. On a tout ce qu'il faut, dès lors, pour mesurer le diamètre de la lune. En effet, le méridien terrestre ayant, selon Ératosthène, 250.000 stades, Cléomède en tire une valeur de plus de 80.000 stades pour le diamètre de la terre (on reconnaît ici l'imprécision de la valeur de π , qu'Archimède avait cependant établie à la fin du III^e siècle). Le diamètre de la lune, moitié de celui de la terre, sera donc de 40.000 stades. On ne saurait dire quelle est la valeur du stade ici considéré.

Et voici, toujours selon Cléomède, la distance de la terre à la lune. « Comme le montrent les horloges à eau — dit-il — la lune, de même que le soleil, occupe la 750^e partie de son orbite (c'est-à-dire 28'48"). Or la distance de la lune à la terre est égale à la 6^e partie de l'orbite lunaire (si $\pi = 3$, cette distance étant le rayon de l'orbite). Cette distance est donc de 125 diamètres lunaires et, comme chacun de ces diamètres vaut 40.000 stades, la distance de la terre à la lune est, selon ce calcul, de 5.000.000 de stades » ⁽²⁾.

On aperçoit que ce chiffre ne coïncide pas du tout avec les 2.000.040 stades que donne Plin. De l'un à l'autre, on passe de 62 1/2 à 26 1/3 diamètres terrestres.

La tradition est donc vraiment trop incertaine pour que nous puissions juger de l'œuvre de Posidonios ⁽³⁾.

Le chiffre de 5.000.000 de stades rejoint curieusement celui qui est conservé pour Apollonios de Pergè ⁽⁴⁾.

Enfin, pour ajouter à nos incertitudes, nous pouvons tirer des chiffres donnés par Plin pour les distances lune-terre (2.000.000 stades en négligeant les 40 stades de l'atmosphère

⁽¹⁾ « 500 myriades de stades », ce qui fait 5.000.000 et non 500.000 comme il est imprimé par lapsus dans la traduction que P. DUHEM, *op. cit.*, p. 26, donne de ce passage.

⁽²⁾ Sur les sources possibles de la notice de Plin et de celle de Cléomède, voyez J. BEAUJEU, note à PLIN L'ANCIEN, *Histoire Naturelle* II, 83-88, pp. 172-173, de l'édition de la Collection des Universités de France (Paris, 1950). J. BEAUJEU pense que la source de Plin est Varron, tributaire lui-même de quelque abrégiateur de Posidonios.

⁽³⁾ Cf. HIPPOLYTE, *Réfutation des hérésies* IV, p. 66, éd. DUNCKER et SCHNEIDERMAN — p. 41, éd. WENDLAND, reproduit par HEIBERG, *Apoll. Perg.* II, p. 139, frg. 60.

terrestre troublée) et soleil-terre (500.000.000 stades), étant donné que les diamètres apparents de la lune et du soleil sont égaux, une autre valeur encore du diamètre de la lune. Ces diamètres, en effet, sont entre eux comme leur distance à la terre. Or Posidonios a déterminé, on l'a vu, la valeur du diamètre du soleil, soit $39\frac{1}{4}$ diamètres terrestres. Les rapports des distances sont de 2.000.000 à 500.000.000. On peut donc écrire :

$$\frac{\text{Diamètre Lune}}{\text{Diamètre Soleil}} = \frac{2}{500} = \frac{x}{39\frac{1}{4}}$$

et l'on obtient pour x , diamètre de la lune, 0,157 diamètre terrestre, au lieu de 0,50 donné par Cléomède, p. 146 ⁽¹⁾.

Lorsqu'on comprit à quel point le soleil est plus loin de la terre que la lune, on fut saisi de vertige en imaginant l'immense vitesse de révolution du soleil et des étoiles. Cléomède (*De Motu*, II, 1 73-74) exprime cette immensité en comparant la vitesse du son à celle de la révolution de l'Univers. Émerveillement poétique que la pensée hellénistique et celle d'un Cicéron doivent sans doute à Posidonios.

d. Ptolémée

Ptolémée ⁽²⁾, qui a fait ses observations sous Hadrien et sous Antonin, de 121 à 151 de notre ère, recueille et discute la pensée de ses devanciers, mais c'est avec celle d'Hipparque qu'il dialogue pour l'essentiel, dans l'œuvre très logiquement articulée ⁽³⁾ qu'est la *Composition Mathématique*, la *Syntaxis*, que les Arabes ont appelée *Almageste* ⁽⁴⁾. Il semble qu'il n'ait

⁽¹⁾ C'est le diamètre de 0,157 qu'ont retenu HULTSCH, *op. cit.*, et T. L. HEATH, *Aristarchus of Samos*, p. 350.

⁽²⁾ Sur Ptolémée astronome, voyez P. TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne* (Paris, 1893), pp. 82-282 ; P. DUHEM, *Le système du monde de Platon à Copernic II* (Paris, 1914), pp. 26-58 ; 83-98 ; 185-189 et *passim* ; T. L. HEATH, *A History of Greek Mathematics II* (Oxford, 1921), pp. 273-297 ; B. VAN DER WAERDEN, *Ptolemaios (Klaudios)*, 66 dans PAULY-WISSOWA, *Real Enc.*, coll. 1788-1859 (1959), avec une bibliographie abondante, coll. 1799-1801 (sur les livres de la *Syntaxis* IV-VI, consacrés à la lune, coll. 1804-1807).

⁽³⁾ Cf. *Syntaxis* I, 2 où Ptolémée justifie son plan (*περί τῆς τάξεως τῶν θεωρημάτων*) (p. 9).

⁽⁴⁾ La *Syntaxis* a été éditée et traduite assez librement en français par l'abbé N. HALMA, avec des notes de J. DELAMBRE (Paris, 1813-1816, reproduction anastatique, 1927). On utilise aujourd'hui l'édition de J. L. HEIBERG, *Syntaxis Mathematica*, 2 vol. (Leipzig-Teubner, 1898), qui est assortie d'une traduction

eu accès à ses devanciers, et particulièrement aux « Chaldéens », qu'à travers Hipparque qui a transmis ainsi un choix d'observations remontant jusqu'à 721 avant J.-C.

Mais Ptolémée ne se borne pas à recueillir ce stimulant héritage. Il le contrôle et il y ajoute, faites avec un grand souci de précision, ses propres observations, nombreuses et répétées, qu'il compare à celles de ceux qui l'ont précédé. Ainsi, à propos de la mesure des diamètres apparents de la lune et du soleil, il dit ceci : « *Par des observations analogues répétées, nous avons obtenu des grandeurs coïncidant à peu de chose près avec celles qui avaient été publiées. Aussi en avons-nous fait usage, à la fois pour les recherches concernant les éclipses et pour notre présente démonstration de la distance du soleil, démonstration qui est déjà celle d'Hipparque* » (*Syntaxis* V, 14, p. 421 éd. HEIBERG). Toute la méthode et toute la position de Ptolémée dans l'histoire de l'astronomie nous paraissent résumées dans cette profession. Au reste, il a conscience de l'insuffisance des observations dont il dispose quant à leur étalement dans le temps. « *Le temps depuis lequel nous avons des observations sur les planètes — dit-il — est relativement court en comparaison d'un si grand objet à traiter et ne permet, pour un temps incomparablement plus long, que des conclusions très incertaines* » (IX, 2, p. 208, HEIBERG).

Ptolémée disposait d'un instrument mathématique qui manquait à Aristarque de Samos, la trigonométrie, qu'avaient peu à peu constituée Apollonios de Pergé et Hipparque ⁽¹⁾, ce qui lui permit des démonstrations plus techniques et des calculs plus efficaces. Sa « table des cordes » (*Syntaxis* I, 11) remonte très vraisemblablement à celle d'Hipparque.

Son œuvre s'inscrit dans une conception de l'univers qui est celle d'Aristote. Elle est, en effet, fondée sur les postulats suivants, exigés comme conventions préliminaires : la terre est au centre de l'univers et immobile, le ciel est sphérique et animé de deux mouvements opposés fondamentaux, la terre est sphérique et elle a la valeur d'un point par rapport à la sphère céleste.

Après l'exposé de ces postulats et la définition de l'instrument mathématique (table des cordes, table d'obliquité) (livre I),

allemande de K. MANITIUS, 2 vol. (Leipzig-Teubner, 1912-1913) avec des notes et un important commentaire. Cette traduction a été rééditée par O. NEUGEBAUER (Leipzig, Teubner, 1963).

⁽¹⁾ Cf. T. L. HEATH, *A History of Greek Mathematics*, II pp. 276-283.

Ptolémée aborde les projections des mouvements du soleil sur la sphère terrestre et notamment les latitudes avec les variations de la longueur des jours (livre II). La longueur de l'année et les mouvements du soleil font l'objet du livre III. Les livres IV-VI sont consacrés à la lune ; VII et VIII aux étoiles fixes et à la précession des équinoxes ; IX-XIII aux mouvements des planètes.

De tout cela, il y a relativement peu de chose qui soit absolument neuf. Ptolémée accepte complètement la théorie du soleil d'Hipparque. Il le suit aussi pour la lune, sauf, nous le verrons, à le compléter par l'observation et la théorie de l'élongation. Et il marche dans les pas d'Hipparque pour les étoiles fixes et la précession des équinoxes. Mais, pour les planètes, il dit, et il n'y a pas de raison d'en douter, car il cite volontiers ses devanciers, qu'il fait œuvre de pionnier (*Syntaxis* IX, 2, p. 210 éd. HEIBERG).

Voyons comment s'enchaîne, aux livres IV-VI, la théorie de la lune.

Si nous insistons sur l'enchaînement, c'est que nous avons, dans la *Syntaxis*, le seul traité général et savant (à l'exclusion des manuels et des commentaires) qui nous soit parvenu entier de toute l'astronomie grecque. Au livre IV, après un chapitre sur la nature des observations à considérer, Ptolémée étudie la périodicité des mouvements de la lune et aboutit à une table (ch. 4). Puis il passe à l'étude des anomalies, de périégée et d'apogée d'abord (*κατὰ μῆκος*), puis du déplacement des nœuds (*κατὰ πλάτος*). Il démontre que ces mouvements peuvent être interprétés soit par excentrique, soit par épicycle et il en donne les calculs et la table (ch. 5-10). En un 11^e chapitre, il maintient l'équivalence des représentations par excentrique et par épicycle, en dépit de divergences qu'il constate avec les données numériques obtenues par Hipparque. Au livre V, après une description de son astrolabe, Ptolémée passe à une troisième anomalie, celle de l'élongation : il la démontre, la calcule et en donne les tables. Aux chapitres 11-12 il aborde les parallaxes de la lune et décrit l'instrument qui les mesure. Aux chapitres 13-16, c'est la démonstration des distances et diamètres du soleil et de la lune, qui permet de compléter l'étude des parallaxes et d'en dresser une table (chapitres 17-19). Le livre VI traite des phases de syzygies de la lune et en dresse les tables (chapitres 1-4), puis il est consacré à la théorie des éclipses, à la démonstration des périodicités de celles-ci et aux tables qui les résument.

Nous avons déjà vu, sous le nom d'Hipparque, la plus grande partie de ce programme de Ptolémée. Rappelons d'abord cependant que celui-ci rejette les axiomes 2, 5 et 6 d'Aristarque. Mais pour les mesures qui constituent les affirmations 5 et 6, Pappus (VI, pp. 554, 6-560, 10, éd. F. HULTSCH) nous avertit que Ptolémée avait trouvé d'autres valeurs que celles d'Hipparque. « *Selon Hipparque, d'une part, — dit-il — la circonférence décrite par la lune mesure 650 diamètres lunaires (donc le diamètre de la lune est le 650^e de son orbite), tandis que l'ombre de la terre (au niveau de la lune) mesure 2½ diamètres lunaires moyens dans les conjonctions. Selon Ptolémée, d'autre part, le diamètre de la lune sous-tend, lorsque la lune est à sa plus grande distance, un arc de 0° 31' 20" et quand elle est à sa distance la plus rapprochée, de 0° 35' 20", tandis que le diamètre de la section circulaire du cône d'ombre est, lorsque la lune est le plus éloignée, de 0° 40' 40", et lorsque la lune est le plus proche, de 0° 46' ».* Pappus, on l'a remarqué, s'est trompé : l'angle qu'il donne correspond au rayon, non au diamètre de la section du cône d'ombre de la terre au niveau de la lune. Celui-ci est donc respectivement de 0° 81' 20" et de 0° 92". En d'autres termes, Ptolémée mesure la dite section du cône d'ombre de la terre par 81' 20" : 31' 20", ce qui fait 2⅔ au lieu de 2½ d'Hipparque et de 2 d'Aristarque de Samos.

Autre amélioration sur la voie de la précision : Ptolémée, qui utilise la dioptra d'Hipparque (*Syntaxis* V, 14), construit cependant des instruments nouveaux : l'astrolabe (*Syntaxis* V, 1) et le *parallactique* (*Syntaxis* V, 12). Mais on a montré récemment combien illusoire était la précision de ces instruments ⁽¹⁾ qui ne dépassait en réalité point de beaucoup celle de l'observation à l'œil nu. En sorte qu'il ne faut point juger du progrès de l'astronomie antique par la coïncidence plus ou moins proche de ses mesures avec la réalité connue aujourd'hui — nous avons eu l'occasion de le dire à propos du soleil de Posidonios — mais plutôt par le choix des observations qu'elle met en œuvre.

Les parallaxes étant une source d'erreurs à corriger, Ptolémée en fait, après Hipparque, une étude minutieuse, mais entachée d'erreurs de méthode, d'après un procédé différent, sans prendre

⁽¹⁾ Voyez A. AABOE et D. J. DE Solla PRICE, *Qualitative Measurement in Antiquity. The Derivation of accurate Parameters from crude but crucial Observations*, dans *L'Aventure de la Science. Mélanges Alexandre Koyré I* (Paris, 1964), pp. 1-20.

appui dans les données relatives au soleil (*Syntaxis* V, chapitres 12 et 13) ⁽¹⁾.

A l'anomalie résultant d'un éloignement variable de la lune par rapport à la terre (apogée et périgée) et à celle du déplacement des nœuds, Ptolémée ajoute l'anomalie par élongation à partir du soleil (l'évection), dont il donne les mesures et les périodes.

En vue de représenter la combinaison des phénomènes, il va imaginer, pour en démontrer le fonctionnement, une représentation géométrique des mouvements de la lune beaucoup plus compliquée que celle d'Hipparque.

Il combine, en effet, épicycle et excentrique.

Épicycle et excentrique, ce sont encore des cercles sur lesquels on peut installer un mouvement uniforme, condition que Ptolémée affirme préalables dans les premières lignes de ses *Hypothèses des Planètes* où il rappelle avoir exposé dans la *Syntaxis* « les hypothèses qui expliquent les révolutions célestes, en démontrant pour chacune qu'elle est plausible et d'accord avec les phénomènes. Cela en confirmation du mouvement uniforme et circulaire qui est la loi (*ἀναγκαστικόν*) des corps doués d'un mouvement perpétuel et ordonné et qui, en aucune manière, ne sont susceptibles d'admettre ni augmentation ni diminution » (cf. *Syntaxis* IX, 1-2).

Les deux premières anomalies (mouvement d'apogée et périgée et mouvement des nœuds) sont ainsi représentées ; le mouvement s'insère dans la géométrie. Mais seul un calcul des vitesses aurait constitué le critère de la légitimité de la construction proposée.

Quant aux évaluations des diamètres et distances du soleil et de la lune, Ptolémée, en se servant de la dioptra d'Hipparque et des instruments qu'il a construits lui-même, établit d'abord les distances de la lune et du soleil (V, ch. 15, p. 425) : la distance moyenne de la lune est de 59 rayons soit 29,5 diamètres terrestres, celle du soleil, de 1.210 rayons, soit 605 diamètres terrestres. Le cône d'ombre de la terre, du centre de celle-ci au sommet du cône, a 268 rayons terrestres.

⁽¹⁾ On trouvera dans P. TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne*, pp. 219-230, une analyse de l'étude des parallaxes dans la *Syntaxis* V et une critique des erreurs de méthode de Ptolémée.

Les diamètres s'établissent ainsi : en prenant pour unité le diamètre de la lune, celui de la terre en vaut $3 \frac{2}{5}$, celui du soleil $18 \frac{4}{5}$, ce qui, converti en diamètres terrestres, donne pour la lune $5 \frac{1}{17}$ ou 0,29 et pour le soleil $5 \frac{1}{2}$.

En ce qui concerne la lune, Ptolémée est le plus proche des dimensions réelles : distance moyenne de $29 \frac{1}{2}$ diamètres terrestres pour 30,2 de la réalité ; diamètre de 0,29 pour 0,27. Mais l'énorme écart en ce qui concerne le soleil (distance : 605 au lieu de 11.726 et diamètre $5 \frac{1}{2}$ au lieu de 108,9) doit nous faire douter de la qualité des mesures et des procédés mis en œuvre. Aussi bien Paul Tannery a-t-il, pas à pas, en suivant mesures et démonstrations, relevé les erreurs de méthode qui, parfois en se compensant, produisent cependant, par hasard, un résultat très proche de la réalité. Voici ce qu'il dit au sujet de la mesure de la distance de la lune. « Évidemment cette méthode n'a aucune valeur ; elle suppose, en effet, que la théorie des mouvements lunaires est amenée à une perfection dont elle était alors encore bien éloignée ; en particulier, les anciens n'avaient pas reconnu l'inégalité de l'inclinaison de l'orbite qui, au moment de l'observation rapportée par Ptolémée, atteignait près de 9 minutes ; la lune étant en quadrature augmentait par suite la parallaxe de près d'un sixième. C'est cette circonstance qui, compensant les conséquences erronées de la représentation géométrique de l'évection, a permis à Ptolémée d'arriver, pour la valeur moyenne de la distance de la lune, à un nombre relativement satisfaisant. Mais il est clair que, s'il avait fait des observations systématiques suivant la méthode qu'il indique, il n'aurait nullement obtenu des résultats concordants. Il a donc dû, parmi ses observations, en CHOISIR une qui conduisit à une distance moyenne sensiblement la même que celle déjà déterminée autrement par Hipparque ; du même coup, il apportait à sa théorie géométrique de l'évection une justification certainement spécieuse, mais sur la valeur de laquelle il ne semble pas qu'il ait vraiment pu se faire illusion » (*Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne*, p. 223) ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Cette remarque de P. Tannery sur le choix des observations met déjà en évidence ce que nous appellerions l'intrusion de valeurs préconçues dans l'astronomie grecque, choix qui fait l'objet de l'article de A. AABOE et de D. J. DE SOLLA PRICE cité ci-dessus. Cette coïncidence de la pensée de Tannery avec la leur n'est pas mentionnée par ces auteurs, qui, au contraire, montrent,

Ainsi Ptolémée recherche, dans ses mesures, l'exactitude la plus rigoureuse, puis, au lieu d'accueillir toutes les variations que ces mesures lui révéleraient et de s'abstenir dès lors de construire au prix de grandes complications un système qui les « régularise », il choisit, il élimine pour sauver, non point les phénomènes, mais le système — celui des épicycles et des excentriques — avec lequel les mesures ne concordent pas. Qu'il « choisisse », Ptolémée le dit expressément à propos des observations sur les planètes (IX, 2, p. 213 éd. HEIBERG), mais il justifie ce choix par une intention critique, où peut à vrai dire se glisser l'influence de quelque idée préconçue.

Paul Tannery (*ibid.* pp. 238-239) a, de même, mis en évidence les défauts d'exactitude des tables de prédiction des éclipses, que Ptolémée donne au livre VI de la *Syntaxis* et il a montré qu'en appliquant les règles de construction de la table à des observations qu'il utilise, celui-ci aurait trouvé d'autres mesures pour ces observations.

A regarder ainsi l'œuvre de Ptolémée, on y perçoit le drame de toute science qui reste suspendue à une philosophie, qui reste prisonnière de choix faits en dehors d'elle. La *Syntaxis* nous est parvenue complète et cela nous permet d'y suivre ce drame. Alors que les préfaces d'Apollonios de Pergè ou d'Archimède sont exemptes de morale, Ptolémée, d'entrée de jeu, en une courte préface, définit les valeurs esthétiques et morales qui justifient l'œuvre de l'astronome. « Plus que toute autre occupation — dit-il — l'astronomie doit pouvoir préparer des hommes qui sachent, en vue de l'action et dans les mœurs, discerner le beau et le bien. Par la contemplation de la similitude que présentent les objets divins (que sont les corps célestes), de leur parfaite ordonnance, de la symétrie, de la simplicité qui y règnent, elle inspire à ceux qui la suivent l'amour de cette beauté divine; elle habitue l'âme à une constitution qui lui ressemble, constitution qu'elle rend en elle en quelque sorte naturelle » (*Syntaxis* I, 1, p. 7 éd. HEIBERG) (voyez aussi IX, 2, p. 212).

à juste titre, la nouveauté de leur thèse par rapport aux idées reçues touchant la précision des mesures dans l'astronomie grecque, qu'on lit dans J. L. E. DREYER, *A History of Astronomy*, 2^e éd. New-York, 1953, p. 151; G. SARTON, *A History of Science II* (Cambridge, 1959) pp. 296 sqq.; G. DE SANTILLANA, *The Origins of Scientific Thought* (Chicago, 1961), p. 242.

L'*eûtraçla*, la belle ordonnance, la simplicité, vertus morales si hautement recommandées par Platon, ont donc leur modèle à l'échelle du macrocosme. Programme inspiré des vieux schémas de la sympathie, programme platonicien tracent ensemble à l'astronome son devoir et sa voie. L'aberrant, l'irrégulier, l'imprévisible doivent être réduits à tout prix. Et Ptolémée vient le dernier sur le chemin des conquêtes : il observe, il contrôle, il veut être critique, il mesure, mieux que ses devanciers, croit-il ; il calcule et démontre avec une technique dont il est parfaitement maître. Mais quand tout est fini et qu'il a fait, en vue de l'ordre rassurant, les choix qui y conduisaient, il avoue enfin que tout n'est pas si simple : « on doit s'efforcer du mieux qu'on peut de faire concorder avec les mouvements célestes les hypothèses les plus simples, mais si l'on n'y réussit point, il faut admettre celles qui sont possibles ». (*Syntaxis* XIII, 2, p. 532, éd. HEIBERG).

Après Ptolémée et déjà avant lui, les notions astronomiques se simplifient dans la vulgarisation. Ni Gémios, ni Plin, ni Cléomède, ne manient les démonstrations mathématiques. Ils ne les transmettent point à leurs lecteurs. Les astronomes mathématiciens, eux, ayant démontré l'équivalence de l'épicycle et de l'excentrique, restent perplexes et se tournent vers le physicien, pour lui demander les consignes qui devraient dicter leur choix entre ces deux systèmes réputés équivalents, auxquels s'ajoute encore l'héliocentrisme. Citant ou résumant un passage d'un commentaire des *Météorologiques* de Posidonios par Gémios, Simplicius, dans son *Commentaire de la Physique d'Aristote* (pp. 292, 21-292, 31 éd. H. DIELS) définit l'impasse où est parvenue l'astronomie et dénie à celle-ci la capacité de choisir. « C'est au physicien — dit-il — que l'astronome doit demander ses principes de départ, à savoir que les mouvements des astres sont simples, uniformes et réguliers et, au moyen de ces principes, il prouvera que le mouvement rythmique de tous est selon des orbites circulaires, les unes parallèles, les autres obliques. »

On n'essayera donc plus de nouveaux systèmes d'explication géométrique. Il n'y aura plus de trouvaille, parce qu'aucune incitation ne viendra de la physique, figée par Aristote — une physique fidèle aux visions circulaires, à l'unicité de mouvement des vieilles cosmologies ioniennes.

Chose curieuse, ce n'est pas la physique qui, mille ans plus tard, sortira la première de l'impasse où elle avait mené l'astronomie :

avant que Newton ne découvre la gravitation universelle, qui devait commander l'explication du comportement des corps célestes, l'astronome Kepler avait rompu avec le préjugé de l'excellence du cercle et installé les planètes sur des ellipses autour du soleil.

Confinée dans une technicité sans issue, dès avant Ptolémée, l'astronomie antique ne sert plus que de vague et illusoire confirmation aux vieux et prestigieux schémas de la sympathie cosmique. Il suffit à un Pline pour porter aux nues Hipparque que, par ses travaux, celui-ci ait « *confirmé, plus que quiconque, la parenté de l'homme avec les astres et prouvé que notre âme est une partie du ciel* » (*Histoire Naturelle* II, 95). Pline est d'ailleurs découragé par la technicité. Et la connaissance, pour lui, devient croyance qu'il faut thésauriser. Ainsi, devant la multiplicité des évaluations de la hauteur de l'atmosphère terrestre, il s'écrie : « *Tout cela est obscur et inextricable ! Mais il faut le publier parce que cela l'a été. Dans ces questions cependant il existe une méthode, celle du raisonnement géométrique, qu'on ne saurait récuser, si l'on voulait poursuivre plus profondément ces recherches non point en vue de mesure (pareil dessein suppose, en effet, des loisirs presque insensés) mais en se bornant à une simple estimation conjecturale* ». Et après avoir, fort mal, résumé les résultats des recherches de Posidonios sur la distance de la terre au soleil et à la lune, il disserte sur la *démésure* où la science entraîne l'esprit humain (*Histoire Naturelle* II, 85-87).

Certes, jusqu'à la fin de l'Antiquité, on répétera — parce qu'il ne faut pas, comme dit Pline, que se rompe la transmission du savoir — les données fondamentales de l'astronomie. Et sur la lune, où les recherches ont été en somme assez satisfaisantes, les connaissances d'un Proclus, d'un Pappus, d'un Simplicius ont encore quelque consistance, comme aussi celles d'un Macrobie ou d'un Martianus Capella.

Mais le doute, qui, chez Hipparque, stimulait de nouvelles recherches, n'est plus désormais que résignation sceptique qui jette les esprits en quête de prestigieuse exaltation vers les affirmations transcendantes des cosmologies mystiques. On hésite d'abord, parce qu'on a quelque connaissance de la science, mais la connaissance est trop vague et la science imparfaite et, en se tournant vers les théurges, on se dit « *pourquoi pas ?* ». Julien l'Apostat a balancé ainsi, sceptique souffrant de l'incertitude :

« *On dit, même si tout le monde ne le croit pas, que le disque solaire parcourt la région vide d'astres, bien au-dessus de celle des étoiles fixes. En ce cas, il n'occuperait pas la présidence (le milieu, τὸ μέσον) des planètes, mais des trois mondes (sublunaire, planètes et fixes). Ce sont là les hypothèses mystiques, s'il faut appeler cela hypothèses et non doctrines (δόγματα)... D'aucuns, en effet, affirment tenir leurs informations des dieux ou de quelques puissants génies, d'autres fondent leur conviction en accord avec les phénomènes visibles. Certes, ces derniers méritent l'approbation, mais à celui qui préfère croire les premiers, moi, à la fois par jeu et par conviction, j'accorde mon admiration (ἀγαπαί τε καὶ θαύματα)* » (*Discours sur Hélios*, 28).

La boucle se referme lentement et l'homme cultivé, le moraliste, retrouve le chemin des vieilles certitudes transcendantes qui — les Stoïciens et Plutarque nous l'ont montré — s'étaient fortifiées des démonstrations rationnelles dans lesquelles elles s'étaient insérées.

La lune est l'objet de cette continuelle collusion des croyances et de la science. Les astronomes démontrent qu'elle est le plus proche des corps célestes et cela justifie les mille influences qu'elle a sur nous. On reconnaît un lien entre elle et les marées, mais c'est un lien de sympathie. Elle a des mouvements multiples mais en nombre modéré, mais Aristote (*De Caelo* II, 292 b) y voit le résultat de son éloignement de la pureté et de la simplicité des hautes sphères célestes. En effet, loin du ciel supérieur, la lune a besoin de plusieurs mouvements pour réaliser ce que les étoiles fixes font en un seul ; mais ces mouvements sont en nombre modéré, car elle a une sorte de résignation toute terrestre à l'immobilité. Parce qu'elle croît et décroît, la lune est liée au devenir, comme les mortels et la dévaluation qui frappe le devenir dans la pensée grecque l'atteint aussi.

Croyances et science, la lune, dans la pensée grecque, a montré leur perpétuelle interdépendance.