

2850
DUMAM, P.
1913
p. 102-124

CHAPITRE III

LES SPHÈRES HOMOCENTRIQUES

I.

LE PROBLÈME ASTRONOMIQUE AU TEMPS DE PLATON

C'est un devoir d'étudier l'Astronomie des réalités, l'Astronomie géométrique ; seule, elle peut dissiper les erreurs nées de l'Astronomie d'observation, erreurs sacrilèges, puisqu'elles faussent le culte dû aux dieux ; seule, elle prépare nos âmes à la contemplation du Bien suprême en proposant à leurs méditations des vérités éternelles. Mais cette Astronomie géométrique, quelles règles doivent présider à sa construction ?

Ces règles, Platon ne les formule en aucun de ses Dialogues ; mais il est aisé de les deviner en observant comment le Philosophe procède pour obtenir les propositions qu'il donne comme vérités astronomiques éternelles.

L'Astronomie d'observation manifeste à nos yeux la trajectoire de chaque astre sous la figure d'une spirale compliquée ; à cette spirale, il faut substituer une composition de mouvements simples qui, seuls, seront considérés comme réels. Ces mouvements simples sont des rotations uniformes autour d'axes convenablement choisis. Ces rotations uniformes, les unes dirigées de l'Orient à l'Occident autour de l'axe du Monde, les autres de l'Occident à l'Orient autour d'un axe normal au plan de l'écliptique, sont les objets que Platon propose sans cesse à la méditation de ses disciples, en *la République*, au *Timée*, dans *les Lois*, dans *l'Épinomide*.

La règle, d'ailleurs, que Platon suivait sans la formuler en ses

IV. LE SYSTÈME DU MONDE

CHAPITRE III

LES SPHÈRES HOMOCENTRIQUES

I

LE PROBLÈME ASTRONOMIQUE AU TEMPS DE PLATON

C'est un devoir d'étudier l'Astronomie des réalités, l'Astronomie géométrique ; seule, elle peut dissiper les erreurs nées de l'Astronomie d'observation, erreurs sacrilèges, puisqu'elles faussent le culte dû aux dieux ; seule, elle prépare nos âmes à la contemplation du Bien suprême en proposant à leurs méditations des vérités éternelles. Mais cette Astronomie géométrique, quelles règles doivent présider à sa construction ?

Ces règles, Platon ne les formule en aucun de ses Dialogues ; mais il est aisé de les deviner en observant comment le Philosophe procède pour obtenir les propositions qu'il donne comme vérités astronomiques éternelles.

L'Astronomie d'observation manifeste à nos yeux la trajectoire de chaque astre sous la figure d'une spirale compliquée ; à cette spirale, il faut substituer une composition de mouvements simples qui, seuls, seront considérés comme réels. Ces mouvements simples sont des rotations uniformes autour d'axes convenablement choisis. Ces rotations uniformes, les unes dirigées de l'Orient à l'Occident autour de l'axe du Monde, les autres de l'Occident à l'Orient autour d'un axe normal au plan de l'écliptique, sont les objets que Platon propose sans cesse à la méditation de ses disciples, en *la République*, au *Timée*, dans *les Lois*, dans *l'Épinomide*.

La règle, d'ailleurs, que Platon suivait sans la formuler en ses

Dialogues, il semble bien qu'il la déclarât avec précision dans son enseignement oral.

De cet enseignement oral, l'écho est venu jusqu'à nous par un chemin long et détourné ; mais, par un bonheur singulier, nous pouvons marquer chacune des réflexions qu'a subies la grande voix de Platon, sans qu'aucune de ces réflexions l'ait sensiblement altérée.

Eudoxe, l'astronome de génie dont nous aurons à parler tout à l'heure, avait recueilli les préceptes qu'en ses discours, Platon traçait à l'astronome : ces préceptes, il les avait consignés dans ses écrits.

De ces écrits d'Eudoxe, la règle platonicienne avait été extraite par un disciple immédiat d'Aristote, Eudème ; celui-ci l'avait inscrite au second livre de son *Ἀστρολογικὴ ἱστορία* qui eut, durant l'Antiquité, une grande et légitime autorité.

Cette règle, Sosigène¹, philosophe et astronome qui fut le maître d'Alexandre d'Aphrodisias, et qu'il ne faut pas confondre avec celui qui dirigea la réforme Julienne du calendrier, Sosigène, disons-nous, l'avait copiée dans l'*Histoire astronomique* d'Eudème.

Simplicius, enfin, l'a empruntée à Sosigène et nous l'a transmise en l'insérant dans ses précieux commentaires au *De Cælo* d'Aristote.

Voici en quels termes se trouve consigné à deux reprises², au *Commentaire* de Simplicius, le précepte platonicien : « Platon admet en principe que les corps célestes se meuvent d'un mouvement circulaire, uniforme et constamment régulier [c'est-à-dire constamment de même sens] ; il pose alors aux mathématiciens ce problème :

» Quels sont les mouvements circulaires et parfaitement réguliers qu'il convient de prendre pour hypothèses, afin que l'on puisse sauver les apparences présentées par les astres errants ?
Τίνων ὑποθέσεων δι' ὁμαλῶν καὶ ἑγκυκλιῶν καὶ τεταγμένων κινήσεων δύνησεται διασωθῆναι τὰ περὶ τοὺς πλανημένους φαινόμενα ; »

Arrêtons-nous un instant à ce texte fondamental et, éclairés par ce que nous savons des doctrines de Platon touchant la théorie astronomique, essayons de fixer les pensées qu'il suggérerait aux auditeurs du philosophe.

L'Astronomie d'observation nous montre que certains astres

1. Sur ce Sosigène, voir : TH.-H. MARTIN, *Questions connexes sur deux Sosigène, l'un astronome et l'autre péripatéticien, et sur deux péripatéticiens Alexandre, l'un d'Égée, et l'autre d'Aphrodisias* (Annales de la Faculté des Lettres de Bordeaux, Première année, 1879, t. I, p. 174).

2. SIMPLICIUS *In Aristotelis libros de Cælo commentarii* ; in lib. II cap. XII ; éd. Karsten, p. 219, col. a, et p. 221 col. a ; éd. Heiberg, p. 488 et p. 493.

décrivent dans le ciel des trajectoires infiniment compliquées grâce auxquelles les ignorants ont donné à ces êtres divins l'épithète sacrilège d'astres errants.

Mais ces mouvements variables et complexes ne sont que des apparences (*φανόμενα*) ; au-dessous de ces apparences sont des réalités permanentes qui en sont les fondements (*ὑπόθεσις*).

Ces réalités permanentes, nous ne pouvons les atteindre que par la méthode géométrique ; c'est donc au mathématicien que doit être posé le problème de découvrir les mouvements vrais ; et pour les reconnaître, ces mouvements vrais, le mathématicien dispose de deux caractères :

En premier lieu, chacun de ces mouvements doit être un mouvement circulaire, toujours de même sens et de vitesse invariable.

En second lieu, les mouvements réels d'un astre, composés ensemble, doivent reproduire le mouvement apparent donné par l'Astronomie d'observation ; ils doivent *sauver les apparences* (*σώζειν τὰ φαινόμενα*).

Ce problème que Platon propose, sous une forme si précise, aux recherches des mathématiciens, il n'en est assurément pas l'inventeur ; du jour où Pythagore a résolu la spirale compliquée que le Soleil décrit chaque année et l'a décomposée en deux mouvements circulaires et uniformes, l'un diurne et dirigé d'Orient en Occident autour de l'axe du Monde, l'autre annuel et marchant d'Occident en Orient suivant l'écliptique, dès ce jour, disons-nous, les astronomes ont dû se proposer de sauver de la même manière la marche de tous les astres errants, et peut-être Pythagore s'y était-il déjà essayé.

En tous cas, si nous en croyons Gémînus, au sein de l'École pythagoricienne, à une époque qu'il ne précise pas, mais qui pouvait bien être celle-là même où vivait Platon, le problème de l'Astronomie théorique se posait exactement dans les mêmes termes qu'au sein de l'École platonicienne. Voici, en effet, ce que Gémînus écrit dans son *Introduction aux Phénomènes d'Aratus*¹ :

« Dans toute l'Astronomie, on prend comme principe que le Soleil, la Lune et les cinq planètes se meuvent de mouvement circulaire et uniforme en sens contraire de la révolution diurne du Monde. Les Pythagoriciens qui, les premiers, ont entrepris ces sortes de recherches supposent circulaires et réguliers les mouvements du Soleil, de la Lune et des cinq planètes. Ils n'admettent pas que

1. GEMINI *Isagoge in Phænomena Arati*, cap. I (PETAVI *Uranologia*, éd. 1630, p. 3).

ces corps divins puissent être le siège de désordres, tel celui par lequel tantôt ils courraient plus vite, tantôt ils marcheraient plus lentement, tantôt ils s'arrêteraient comme font les cinq planètes en ce qu'on nomme leurs *stations*. Personne, en effet, n'admettrait qu'un homme sensé et d'allure bien ordonnée pût cheminer d'une façon aussi irrégulière ; or, les nécessités de la vie sont, chez les hommes, des raisons qui les obligent à aller vite ou lentement ; mais aucune cause analogue ne se pourrait assigner en la nature incorruptible des astres. Aussi les Pythagoriciens proposent-ils cette question : Comment peut-on sauver les apparences par le moyen de mouvements circulaires et uniformes ? »

Réduire le mouvement de tout astre à n'être que la résultante d'un certain nombre de mouvements circulaires et uniformes, c'est le principe qui, jusqu'à Képler, dominera toute l'Astronomie ; ce principe était également admis, nous le voyons, par les Pythagoriciens et par Platon ; vraisemblablement, c'est aux Pythagoriciens, et peut-être même au chef de l'École, qu'il en faut faire honneur ; mais, dans l'enseignement de Platon, ce principe se précisait sans doute par deux restrictions et par une addition.

Ces mouvements circulaires dont la composition devait, pour chaque astre, *sauver les apparences*, Platon voulait qu'ils eussent tous même centre et que ce centre commun des circulations astrales fût le centre de la Terre. Peut-être devons-nous croire, sur le témoignage de Plutarque, qu'il se repentit à la fin de sa vie d'avoir admis ce principe et d'avoir attribué le centre du Monde à la Terre ; mais il est assuré qu'aucun de ses dialogues ne porte la trace de ce repentir, et qu'en tous, la Terre est le centre des diverses révolutions célestes. Ceux qui, comme Endoxe, ont recueilli les préceptes que Platon traçait aux astronomes et se sont efforcés de les mettre en pratique, ont cherché à sauver les apparences offertes par le cours des planètes au moyen de mouvements qui, tout d'abord, fussent circulaires et uniformes, mais qui, en outre, eussent tous pour centre le centre de la Terre.

Non seulement, en tous ses Dialogues, Platon mettait la Terre au centre des circulations célestes, mais encore, nous l'avons vu, il supposait la Terre immobile ; au nombre des rotations réelles qui devaient se composer entre elles pour reproduire le cours des planètes, il n'y avait donc pas à compter la rotation terrestre.

Platon ne s'est pas contenté, semble-t-il, de restreindre par ces deux conditions la liberté laissée aux mathématiciens dans le choix des hypothèses destinées à sauver les apparences ; il a, peut-être, par une autre condition, complété l'énoncé de ce problème.

Théon de Smyrne nous donne le renseignement suivant¹ : « Platon dit qu'on ferait un travail inutile si l'on voulait exposer ces phénomènes sans des images qui parlent aux yeux ». Ce dire de Théon trouve une bien saisissante confirmation dans la construction du fuseau de la Nécessité que nous décrit Er, fils d'Arménios.

Vraisemblablement, donc, Platon ne voulait pas que les divers mouvements circulaires qui se composent pour sauver le cours apparent des astres se fissent seulement suivant des cercles idéaux, inexistants hors de la raison du géomètre ; il voulait que ces mouvements pussent être représentés par des rotations de solides concrets, susceptibles d'être tournés et emboîtés les uns dans les autres comme les gaines du fuseau d'Ἀγέζης ; et, lorsque au *Timée* ou dans quelque autre dialogue, il traite des mouvements des astres, c'est toujours le mot de cercle qui se rencontre en son langage, mais ce qu'il dit de ce cercle nous laisse bien souvent deviner que son imagination le réalise en un globe sphérique solide.

La lecture de Platon conduisait donc tout naturellement les mathématiciens à formuler le problème astronomique de la manière que voici : Emboîter les uns dans les autres plusieurs globes sphériques concentriques ; animer chacun d'eux d'une rotation uniforme autour d'un axe convenablement choisi ; supposer que le mouvement de l'orbe intérieur se compose avec les mouvements de ceux qui l'entourent ; combiner enfin ces mouvements de telle sorte que la marche résultante d'un astre fixé à l'orbe le plus voisin du centre représente le mouvement apparent de la planète observée. C'est sous cette forme que le problème astronomique donnera naissance aux divers systèmes de *sphères homocentriques*.

Ces sphères homocentriques, Platon les regardait-il comme réellement existantes au sein de la substance céleste ? N'y voyait-il, au contraire, comme Théon de Smyrne semble l'insinuer, que des représentations propres à seconder la raison du secours de l'imagination ? Entre ces deux alternatives, il serait malaisé de choisir en s'autorisant de textes précis ; mais il serait bien étrange que Platon n'eût pas mis ces globes solides au nombre des réalités permanentes que la Géométrie nous révèle.

1. THEONIS SMYRNAEI *Opus astronomicum*, cap. XVI ; éd. Th.-H. Martin, p. 263 ; éd. J. Dupuis, p. 239.

II

OU EN ÉTAIT LA SOLUTION DU PROBLÈME ASTRONOMIQUE
DANS LES DIALOGUES DE PLATON

Que Platon regardât les sphères célestes comme des réalités ou comme des fictions, il importait peu au mathématicien ; le problème astronomique que le philosophe lui proposait gardait, dans les deux cas, la même forme ; par des agencements de globes sphériques, tous *homocentriques* à la Terre, tous animés de rotations uniformes, il s'agissait de *sauver les mouvements apparents* des astres errants.

Ce problème, jusqu'à quel point la solution en avait-elle été poussée dans les Dialogues de Platon ? Elle y était, nous allons nous en convaincre sans peine, fort peu avancée.

A chacun des astres errants, Platon attribuait seulement deux circulations uniformes ; l'une, la même pour tous, dirigée d'Orient en Occident, s'accomplissait en un jour autour de l'axe de rotation du ciel des étoiles fixes ; l'autre, particulière à chaque astre et plus lente que la précédente, se faisait d'Occident en Orient autour de l'axe de l'écliptique.

A quel point ce dispositif trop simple est incapable de représenter les mouvements observés, cela se voit si aisément qu'on ne pouvait l'ignorer au temps de Platon ; Platon, sans doute, l'avait reconnu, et c'est pourquoi il proposait aux astronomes de rechercher des hypothèses plus complètes qui fussent en état de sauver les apparences.

Considérons tout d'abord le Soleil.

Il est bien vrai que la marche apparente du Soleil résulte de la composition de la révolution diurne avec une circulation annuelle, d'Occident en Orient, accomplie suivant le grand cercle écliptique ; mais il s'en faut de beaucoup que cette marche se fasse avec une vitesse invariable.

Les deux équinoxes et les deux solstices correspondent à quatre points qui divisent exactement l'écliptique en quadrants ; chacun de ces quadrants est parcouru par le Soleil pendant la durée d'une saison ; si donc la marche du Soleil était uniforme, les quatre saisons auraient exactement la même durée. Or, c'est ce qui n'est point ; dès que l'on a su déterminer, même d'une manière assez

grossière, le moment où le Soleil atteignait chacun des solstices, chacun des équinoxes, on a dû reconnaître que les saisons étaient notablement inégales entre elles.

Cette inégalité des saisons était, alors que Platon écrivait, de notoriété commune auprès des Grecs. Selon l'*Histoire astronomique* d'Eudème, citée par Théon de Smyrne¹, Thalès reconnut le premier que « la marche périodique du Soleil par les solstices ne se faisait pas toujours dans le même temps », c'est-à-dire, à n'en pas douter, que le Soleil n'employait pas, pour aller du solstice d'hiver au solstice d'été, le même temps que pour revenir du solstice d'été au solstice d'hiver.

Au temps même de la naissance de Platon, en l'an 432, la durée des saisons avait été déterminée par Méton et par Euctémon. Les évaluations d'Euctémon nous sont connues par un précieux et célèbre papyrus, connu sous le nom de *Papyrus d'Eudoxe* ou de *Didascalie de Leptine*, et conservé au musée du Louvre ; ce papyrus contient de nombreuses données relatives au calendrier, les unes dues à Eudoxe, les autres à Méton et à Euctémon, d'autres encore à Calippe, disciple d'Eudoxe et ami d'Aristote, et à d'autres astronomes postérieurs².

Selon le *Papyrus d'Eudoxe*, voici quelles durées avaient, en l'an 432, les diverses saisons³ :

Printemps.	93 jours,
Été	90 jours,
Automne	90 jours,
Hiver	92 jours.

1. THEONIS SMYRNAEI *Liber de Astronomia*, cap. XI ; éd. Th.-H. Martin, pp. 324-325 ; éd. J. Dupuis, pp. 320-321.

2. Sur le *papyrus d'Eudoxe*, voir :

BRUNET DE PRESLE, *Notices et extraits de la Bibliothèque du Roi*, vol. XVIII, 2^e partie.

A. BÆCKH, *Ueber die vierjährige Sonnenkreise der Alten*, pp. 197-226.

LETRONNE, *Journal des savants*, année 1839.

PAUL TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'Astronomie ancienne*, Chap. I, § 25 et Appendice I : *Traduction de la Didascalie céleste de Leptine (Art d'EUDOXE) (Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, 4^e série, t. I, 1893 ; pp. 23-25 et pp. 283-294)*.

Brunet de Presle a donné à cet écrit le nom d'*Art d'EUDOXE*, traduction d'un anagramme des premiers mots. Letronne, qui l'a déchiffré le premier, l'intitulait *Didascalie céleste de LEPTINE* ; Paul Tannery a repris ce titre.

Nos extraits du *papyrus d'Eudoxe* sont empruntés à G. SCHIAPARELLI, *Le sfere omocentriche di Eudosses, di Calippe e di Aristotele* [*Memorie del R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Classe di Scienze matematiche e naturali*. Vol. XIII (série III, vol. IV) ; 1877, pp. 117-179] et à l'ouvrage ci-dessus cité de P. Tannery.

3. G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, p. 162. PAUL TANNERY, *loc. cit.*, p. 294.

Vers le même temps, Démocrite, selon le même papyrus ¹, attribuait aux saisons les durées suivantes :

Printemps.	91 jours,
Été	91 jours,
Automne	91 jours,
Hiver	92 jours.

Ces évaluations n'étaient pas entièrement exactes ; nos tables modernes montrent qu'en l'année 432, les durées exactes des diverses saisons, évaluées en jours et fractions de jours, étaient les suivantes ² :

Printemps.	94,23,
Été	92,01,
Automne	88,52,
Hiver	90,50.

Mais, bien qu'entachées d'erreurs assez graves, les évaluations de Méton et d'Euctémon n'en mettaient pas moins en évidence cette vérité : La marche du Soleil sur l'écliptique ne procède nullement avec une vitesse uniforme.

Pour chacune des cinq planètes, le défaut d'uniformité dans le mouvement propre, l'*anomalie apparente*, se marque par des effets plus curieux encore que ceux dont l'observation du Soleil a livré la connaissance aux astronomes.

Le cours apparent de la planète résulte, lui aussi, de la composition du mouvement diurne avec un mouvement que les astronomes nomment mouvement propre. Selon le système de Platon, ce mouvement propre devrait se réduire à une circulation de l'Occident vers l'Orient, accomplie avec une vitesse uniforme. Or il s'en faut de beaucoup qu'il offre un telle simplicité.

Non seulement la vitesse de la marche d'Occident en Orient, que l'on appelle *marche directe*, ne se fait pas toujours avec la même vitesse, mais à certains moments, le mouvement propre de la planète cesse de se diriger de l'Occident vers l'Orient pour prendre la direction contraire, d'Orient en Occident ; la planète rebrousse chemin, se rapprochant maintenant de certaines étoiles fixes dont, par sa marche directe, elle s'était écartée. Cette *marche rétrograde* se poursuit le long d'un certain arc de cercle, puis la planète reprend la marche directe.

1. PAUL TANNERY, *loc. cit.*, p. 294.

2. G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, p. 162.

Lorsque le sens du mouvement propre d'une planète vient ainsi à se renverser, la vitesse de circulation change de signe en passant par la valeur nulle. Pendant un certain laps de temps, cette vitesse demeure insensible et la planète semble garder, par rapport aux étoiles fixes, une position invariable ; les astronomes de l'Antiquité disaient alors qu'elle est *stationnaire*.

Platon avait-il connaissance des stations et des mouvements rétrogrades des planètes ? Il semble que l'on puisse conclure qu'il possédait cette connaissance, et même d'une manière assez détaillée, d'un passage emprunté à la description du fuseau de la Nécessité, pourvu, toutefois, qu'on lise ce passage tel que Théon de Smyrne le rapporte ¹. Il y est dit, en effet, que Mars « rétrograde plus que toutes les autres planètes (ἐπισταχυλούμενον μάλιστα τῶν ἄλλων) » ; et ce renseignement est parfaitement exact. Il est vrai que les mots *μάλιστα τῶν ἄλλων* manquent dans tous les manuscrits et dans toutes les éditions de Platon ², ce qui laisse planer un doute sur la valeur de cette preuve.

En tous cas, lors même qu'il n'eût point connu les marches rétrogrades et les stations des planètes, Platon savait que Vénus et Mercure progressent tantôt plus vite et tantôt moins vite que le Soleil, et il nous a laissé la description des phénomènes qui résultent de là.

Selon l'Astronomie de Platon, toutes les planètes devraient ou bien parcourir l'écliptique ou bien demeurer à une distance invariable de ce grand cercle de la sphère céleste. En réalité, elles ne s'en écartent jamais beaucoup ; elles demeurent toujours comprises dans une zone dont ce grand cercle forme l'équateur et qu'occupent douze constellations ; ces constellations, les anciens les nommaient *les animaux* (ζῷα), d'où le nom de *ceinture zodiacale* donnée à cette zone. Mais, en la largeur du zodiaque, les planètes s'éloignent ou s'approchent alternativement de l'écliptique.

Platon connaissait-il les variations qu'éprouvent les longitudes des diverses planètes ? Th.-Henri Martin a admis qu'il possédait cette connaissance et qu'elle se traduisait, au mythe d'Er, par les diverses épaisseurs attribuées aux gaines successives du fuseau de la Nécessité. Cette interprétation du mythe d'Er, nous l'avons dit, ne nous paraît pas fondée ³ ; mais il n'en résulte nullement que Platon ignorât les variations que subissent les latitudes des pla-

1. THEONIS SMYRNAEI *Liber de Astronomia*, cap. XVI ; éd. Th.-H. Martin, pp. 200-201 ; éd. J. Dupuis, pp. 236-237.

2. Voir la discussion de ce membre de phrase par Th.-Henri Martin dans : THEONIS SMYRNAEI *Liber de Astronomia*, note R, pp. 365-366.

3. Voir p. 63.

nètes ; ces variations, en effet, sont assez grandes ; la Lune s'écarte de l'écliptique jusqu'à 5°9' environ ; la longitude de Mars atteint parfois 7° et celle de Vénus 9° ; il est bien probable que les observateurs contemporains de Platon n'avaient pas été sans remarquer de tels écarts.

L'Astronomie trop simple que Platon avait empruntée aux Pythagoriciens était fort loin de représenter le cours apparent des astres errants, et Platon ne pouvait l'ignorer. Il n'est donc pas étonnant qu'il ait fait appel aux mathématiciens et qu'il leur ait demandé de construire, à l'aide d'hypothèses semblables, un système assez compliqué pour *sauver* plus complètement les apparences.

III

LES SPHÈRES HOMOCENTRIQUES D'EUDOXE

« Le premier des Grecs qui tenta la solution du problème posé par Platon fut Eudoxe de Cnide », nous dit Simplicius¹, répétant un propos de Sosigène qui, lui-même, parlait d'après l'*Histoire astronomique* d'Eudème. Nul, en effet, n'était mieux préparé à le traiter².

Eudoxe était né à Cnide vers l'an 408 ; il mourut en 355, sans doute à Athènes.

Il fut astronome, géomètre, médecin et philosophe. Il reçut, en Géométrie, les leçons d'Archytas de Tarente, le célèbre pythagoricien ; d'autre part, Diogène de Laërte rapporte, sur la foi de Sotion, qu'il fut, à Athènes, au nombre des auditeurs de Platon. L'enseignement de ses maîtres l'avait donc prédisposé à chercher, en des combinaisons de mouvements circulaires et uniformes, la raison du cours apparent des astres.

Au cours d'un voyage en Égypte, il passa seize mois dans la société des prêtres d'Héliopolis et de Memphis ; de ce commerce avec les prêtres égyptiens, il rapporta peut-être des observations sur le cours des planètes, observations plus précises et plus détaillées

1. SIMPLICIUS *Commentarii in Aristotelis libros de Cælo* ; in lib. II cap. XII ; éd. Karsten, p. 219, col. a ; éd. Heiberg, p. 488.

2. Diogène de Laërte a donné une narration de la vie d'Eudoxe. Paul Tannery a traduit cette narration en l'accompagnant de notes fort importantes. [PAUL TANNERY, *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie ancienne*. Appendice II (*Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 4^e série, t. I, pp. 295-300 ; 1893)].

que celles dont les Grecs avaient eu jusque-là connaissance. Ces renseignements précieux semblent avoir puissamment aidé à la composition de sa théorie des planètes.

Eudoxe acquit bientôt une grande réputation de mathématicien. Proclus dit ¹ qu'il fit progresser toutes les parties de la Géométrie. L'enseignement qu'il donna à Cyzique, puis à Athènes, réunit un grand nombre de disciples dont plusieurs sont demeurés justement célèbres. Parmi ces disciples d'Eudoxe, nous trouvons, en effet, Ménechme qui, le premier, étudiera d'une manière systématique les sections coniques et montrera comment elles permettent de résoudre le problème de la duplication du cube ; nous trouvons également Polémarque de Cyzique, que préoccupera le problème astronomique et qui formera, à son tour, Calippe, le continuateur d'Eudoxe.

Tel est le géomètre qui entreprit de sauver les apparences astronomiques à l'aide des hypothèses que prescrivaient Platon et les Pythagoriciens.

Eudoxe avait exposé son système dans un ouvrage intitulé : *Περὶ ταχυῶν*, *Sur les vitesses* ; cet ouvrage paraît avoir été perdu de bonne heure. Eudème en avait donné un exposé dans son *Ἀστρολογικὴ ἱστορία*, et cet exposé avait été reproduit par Sosigène le Péripatéticien, probablement dans son traité *Περὶ τῶν ἀνελιπτουσῶν* ² ; l'*Histoire astronomique* d'Eudème, le traité de Sosigène sont également, aujourd'hui, des écrits perdus ; mais heureusement Simplicius, qui possédait encore le dernier de ces ouvrages, lui a emprunté la description des systèmes astronomiques d'Eudoxe et de Calippe, et, grâce à lui, cette description nous a été conservée ³.

Les renseignements fournis par le long extrait de Simplicius peuvent être, en quelques points, complétés par les courtes, mais précises indications qu'au XI^e livre de sa *Métaphysique*, Aristote nous donne ⁴ sur le système d'Eudoxe, sur celui de Calippe et sur les modifications qu'il a apportées à ce dernier.

1. PROCLI DIADOCHI *In primum Euclidis elementorum librum commentarii*, éd. Friedlein, Lipsiæ, 1873 ; p. 67.

2. Cité par Proclus, en son *Hypotypose (Hypothèses et époques des Planètes de C. PTOLÉMÉE et Hypotyposes de PROCLUS DIADOCHUS, traduites pour la première fois du grec en français par M. l'abbé Halma ; Paris, 1820. Hypotyposes de PROCLUS DIADOCHUS, philosophe platonicien, ou Représentation des hypothèses astronomiques, p. 111. — PROCLI DIADOCHI Hypotyposis astronomicarum positionum, Edidit Carolus Manitius ; Lipsiæ, MCMX ; p. 130).*

3. SIMPLICI *In Aristotelis de Caelo libros commentarii* ; in lib. II, cap. XII ; éd. Karsten, p. 219, col. a, à p. 226, col. b ; éd. Heiberg, p. 488 à p. 506.

4. ARISTOTE, *Métaphysique*, livre XI, ch. VIII (*ARISTOTELIS Opera* ; éd. Bekker, vol. II, pp. 1073-1074).

On possède, sous le nom d'Alexandre d'Aphrodisias, un commentaire à la *Métaphysique* d'Aristote ¹. La partie de ce commentaire qui concerne les cinq premiers livres de la *Métaphysique* est certainement authentique ; mais beaucoup d'érudits regardent le reste comme apocryphe ² ; cette partie apocryphe, en tous cas, semble, la plupart du temps, formée par des extraits ou des résumés d'ouvrages réellement écrits par Alexandre.

Le commentaire au XI^e livre renferme ³ un exposé assez étendu des systèmes d'Eudoxe, de Calippe et d'Aristote ; malheureusement, cet exposé ne fait guère que reproduire sous une forme plus prolixe les renseignements contenus en la *Métaphysique* d'Aristote.

Cet exposé renvoie souvent à un exposé analogue qui se trouvait dans un commentaire au *De Cælo* d'Aristote (ἐν τῷ περὶ Οὐρανοῦ) ; Alexandre avait, en effet, commenté le *De Cælo* ; Simplicius cite et critique fréquemment ce commentaire, qui ne nous est pas parvenu.

Ajoutons qu'en cet exposé attribué à Alexandre, le nom de Sosigène se trouvait invoqué ⁴.

Thémistius avait, lui aussi, composé une *Paraphrase* de la *Métaphysique* d'Aristote. Le texte grec en est perdu. Une traduction en avait été faite en syriaque, puis en arabe, enfin en hébreu. En 1538, le juif Moïse Finzio qui possédait le texte hébreu de cette paraphrase en traduisit en latin une partie qu'il intitula : XII^e livre ⁵, et qui correspond aux livres XI, XII et XIII de la *Métaphysique* d'Aristote dans les éditions modernes ⁶. En cette *Paraphrase*, Thémistius reproduisait à peu près textuellement ce qu'avait dit Aristote.

Le long extrait de Sosigène donné par Simplicius et le chapitre de la *Métaphysique* d'Aristote sont donc, en définitive, les seules sources où il nous soit, aujourd'hui, possible de puiser utilement pour connaître le système d'Eudoxe ; mais les renseignements que ces deux sources nous fournissent ont été si scrupuleusement examinés par G. Schiaparelli ⁷, par Th.-Henri Martin ⁸, par Paul

1. ALEXANDRI APHRODISIENSIS *In Aristotelis Metaphysica commentaria*. Edidit Michael Hayduck. Berolini, 1891.

2. Voir la préface mise par M. Hayduck à l'édition précédente.

3. ALEXANDRI APHRODISIENSIS *In Aristotelis Metaphysica commentaria* ; in lib. XI cap. VIII ; éd. Hayduck, pp. 701-706.

4. ALEXANDRE D'APHRODISIAS, *loc. cit.*, éd. cit., p. 706.

5. THEMISTI PERIPATETICI LUCIDISSIMI *Paraphrasis in duodecimum librum Aristotelis de prima Philosophia*, Mose Finzio interprete. Venetiis, apud Hieronymum Scotum. MDLVIII.

6. THEMISTI *Op. laud.*, pp. 17-18.

7. G. SCHIAPARELLI, *Le sfere omocentriche di Eudosso, di Calippo e di Aristotele*, memoria letta nell' adunanza del 26 novembre 1874 [*Memorie del R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere ; classe di Scienze matematiche e naturali* ; vol. XIII (série III, vol. IV) ; 1877 ; pp. 117-179].

8. TH.-HENRI MARTIN, *Mémoire sur les hypothèses astronomiques chez les Grecs*

Tannery¹, que notre connaissance de la théorie des sphères homocentriques ne présente plus qu'un petit nombre de lacunes ou de parties douteuses.

Nous nous contenterons d'esquisser ici les grandes lignes du système d'Eudoxe, telles que les ont retracées les travaux que nous venons de citer ; c'est à ces travaux, et particulièrement à celui de G. Schiaparelli, que le lecteur devra se reporter s'il veut acquérir une connaissance plus détaillée de l'Astronomie du géomètre grec ; c'est en ces travaux, également, qu'il trouvera les discussions par lesquelles les propositions que nous nous contentons d'affirmer ont acquis la certitude ou, tout au moins, la probabilité.

Les étoiles fixes sont toutes serties en un corps solide que nous nommerons, *brevitatis causa*, un *orbe* ou une *sphère*, mais qui, en réalité, est une couche sphérique comprise entre deux surfaces sphériques concentriques à la Terre ; cet orbe tourne, d'Orient en Occident, avec une vitesse uniforme, autour d'un axe qui est l'axe du Monde ; les pôles de cette rotation sont les pôles du Monde. La durée de révolution de cette sphère est ce que nous nommons le jour sidéral ; les astronomes grecs entendent presque constamment par *jour* (ἡμέρα) la durée du jour solaire ; ils disent alors que la sphère des étoiles fixes, l'*inerrante* (ἀπλανής), effectue sa rotation à *peu près* en un jour.

Le mécanisme destiné à sauver les mouvements apparents des sept astres errants (πλανήτες) connus des anciens est plus compliqué.

Chacun des astres errants a son mécanisme indépendant, qui se suffit à lui-même, qui ne subit aucunement l'influence du mouvement de la sphère inerrante ni du mouvement des mécanismes relatifs aux autres astres errants. Comme le voulait l'*Épinomide*, les huit puissances du Ciel sont sœurs ; aucune d'entre elles ne commande à aucune des autres.

Le mécanisme destiné à représenter le mouvement d'un astre errant se compose de plusieurs orbes solides qui ont tous pour centre le centre de la Terre et qui sont contigus les uns aux autres.

L'astre est logé dans l'épaisseur de la dernière de ces sphères,

et les Romains ; hypothèses astronomiques d'Eudoxe, de Calippe et d'Aristote (*Mémoires de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, t. XXX, première partie, 1881).

1. PAUL TANNERY, *Note sur le système astronomique d'Eudoxe* (*Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 2^e série, t. I, p. 411 ; 1876). — *Seconde note sur le système astronomique d'Eudoxe* (*Ibid.*, 2^e série, t. V, p. 129 ; 1883).

de celle qui est à l'intérieur de toutes les autres ; son centre est sur l'équateur de cette sphère. Sauf un mouvement de rotation sur lui-même, que Platon attribuait à chaque astre errant, et dont nous ne savons ce que pensait Eudoxe, l'astre ne saurait avoir un autre cours qu'un point de l'équateur de la sphère solide en laquelle il se trouve enclassé.

Les autres sphères ne portent aucun astre ; Théophraste leur donnera le nom de *sphères sans astres* (ἀναστρου σφαίραι) ¹ tandis qu'Eudoxe paraît les avoir désignées par le nom de *sphères tournant en sens contraire* (ἀνελκτρούσαι σφαίραι) dont Aristote, nous le verrons plus loin, a fait un usage mieux justifié. Inaccessibles aux perceptions de la vue, elles ne se révèlent qu'au raisonnement géométrique, comme il convient aux *hypotheses* de l'Astronomie réelle.

La première sphère, c'est-à-dire celle qui est extérieure à toutes les autres, tourne avec une vitesse uniforme et dans un certain sens autour d'un certain axe qui passe par le centre du Monde.

La seconde sphère participe exactement à ce mouvement uniforme de la première sphère ; mais, en elle, il se compose avec un second mouvement de rotation uniforme dont l'axe, le sens, la vitesse sont propres à cette seconde sphère.

La troisième sphère reçoit le mouvement déjà composé dont la seconde sphère était animée ; elle le combine à son tour avec un mouvement de rotation uniforme qui lui est propre.

Les choses se poursuivent de cette manière jusqu'à la dernière sphère, jusqu'à celle qui porte l'astre ; le mouvement de l'astre se compose donc d'autant de circulations uniformes concentriques à la Terre qu'il y a d'orbes en son mécanisme spécial.

Le principe du mécanisme sera le même pour tous les astres errants ; mais de l'un à l'autre, le géomètre pourra varier le nombre des orbes et les particularités qui définissent la rotation de chacun d'eux, jusqu'à ce qu'il soit parvenu à sauver d'une manière satisfaisante les divers mouvements apparents.

Les mécanismes qu'Eudoxe combine et adapte aux divers astres errants offrent, tous, deux caractères communs :

1^o En tous, la première sphère tourne uniformément, d'Orient en Occident, autour de l'axe du Monde, et sa rotation dure exactement le même temps que la rotation de la sphère inerrante ; par là, chacun des astres errants prend part à la rotation diurne qui affectera tous les corps du Ciel ; cette rotation, cependant,

1. SIMPLICIUS *In Aristotelis libros de Caelo commentarii* ; in lib. II cap. XII ; éd. Karsten, p. 220, col. a, et p. 221, col. b ; éd. Heiberg, p. 491 et p. 493.

comme le veut l'*Épinomide*, n'est pas, pour les astres errants, un entraînement produit par la sphère des étoiles fixes.

2° En tous, la seconde sphère tourne uniformément d'Occident en Orient autour d'un axe normal à l'écliptique. Mais la durée de cette révolution n'est pas la même pour les divers astres errants : pour la Lune et le Soleil, elle a des durées particulières dont nous parlerons tout à l'heure ; pour chacune des cinq planètes, cette durée est égale au temps que l'astre emploie, en moyenne, à parcourir tout le cercle écliptique, temps qui est nommé *durée de la révolution zodiacale* de la planète.

Pour les cinq planètes, Eudoxe en connaissait la valeur d'une manière assez exacte, comme le montre le tableau suivant, que nous empruntons à G. Schiaparelli ¹ :

Noms des planètes	Révolutions zodiacales		
	Selon Eudoxe	Selon les modernes	
	Ans	Ans	Jours
Vénus	1	1	»
Mercure	1	1	»
Mars	2	1	322
Jupiter	11	12	315
Saturne	30	29	166

Si le mécanisme de chaque astre errant se réduisait aux deux sphères dont nous venons de parler, le mouvement de chacun d'eux se composerait d'une circulation diurne uniforme d'Orient en Occident autour de l'axe du Monde et d'une circulation uniforme d'Occident en Orient suivant l'écliptique ; on retrouverait l'Astronomie trop simplifiée que Platon expose constamment dans ses dialogues. Les sphères nouvelles qu'Eudoxe va introduire auront pour objet de sauver au moins quelques-uns des mouvements apparents que le système de Platon ne sauvait pas.

1. G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, p. 152.

IV

LES SPHÈRES HOMOCENTRIQUES D'EUDOXE (*suite*). THÉORIE DE LA LUNE

Voyons d'abord comment Eudoxe sauvait les apparences présentées par l'astre le plus rapproché de la Terre, par la Lune.

Si la Lune se mouvait autour de la Terre dans le plan même de l'écliptique, chaque fois que, par rapport à la Terre, la Lune est opposée au Soleil, elle se trouverait dans le cône d'ombre de la Terre et serait éclipsée ; chaque fois qu'elle est conjointe au Soleil, elle se trouverait exactement entre la Terre et le Soleil et éclipserait cet astre ; toute pleine-lune serait accompagnée d'une éclipse de Lune, toute nouvelle-lune d'une éclipse de Soleil. Pour tirer cette conclusion des prémisses, il n'est pas besoin d'une Géométrie bien savante, et pour constater qu'elle ne s'accorde pas avec les faits, l'observation la plus grossière suffit.

La Lune ne peut donc pas se mouvoir constamment dans le plan de l'écliptique ; et, en effet, les observations montrent que la Lune est tantôt au nord, tantôt au sud de l'écliptique ; la latitude de cet astre est tantôt boréale et tantôt australe ; au temps d'Eudoxe, on savait que la valeur absolue de cette latitude peut atteindre environ 5° (exactement $5^{\circ} 8' 48''$).

Si l'on veut que la Lune décrive un cercle dont la Terre soit le centre, on devra admettre que le plan de ce cercle est oblique au plan de l'écliptique et forme avec celui-ci un angle d'environ 5° . Projetés sur une même sphère céleste, le cercle de la Lune et l'écliptique se coupent en deux points auxquels les Grecs donnaient le nom de *nœuds* (νόδοι) ; au *nœud ascendant* (ἀναγών), la Lune passe du sud au nord de l'écliptique ; au *nœud descendant* (καταγών), elle passe du nord au sud.

Il est maintenant facile de déterminer en quelles conditions la Lune ou le Soleil peuvent être éclipsés. Il y aura éclipse de Lune lorsque, sur la sphère céleste, les projections de la Lune et du Soleil se trouveront l'une en un nœud et l'autre au nœud opposé ; il y aura éclipse de Soleil lorsque ces deux projections se trouveront conjointes au même nœud.

Dans le langage des astrologues, la ligne d'intersection des deux cercles de la Lune et du Soleil fut nommée *dragon*, car elle représente le dragon fabuleux qui dévore la Lune au moment des éclipses ; le nœud ascendant fut la *tête du dragon* et le nœud

descendant la *queue du dragon* ; inusitées chez les astronomes grecs, ces dénominations ont été constamment employées, au Moyen-Age, par les astronomes de l'Islam et de la Chrétienté.

Pour représenter ce que nous venons de dire, il suffirait de modifier très légèrement l'Astronomie de Platon ; au lieu de faire tourner la sphère de la Lune d'Occident en Orient autour d'un axe normal à l'écliptique, il suffirait de la faire tourner autour d'un axe oblique, qui fit avec la normale dont il vient d'être parlé un angle d'environ 5° .

Mais voici qu'une complication se présente.

Selon cette disposition, le plan de l'écliptique et le plan du cercle lunaire, fixes tous deux, se couperaient suivant une droite invariable qui percerait la sphère céleste en des points également invariables ; les éclipses se produiraient toujours aux deux mêmes lieux de l'écliptique. Or, c'est ce qui n'a pas lieu ; l'observation prolongée des éclipses soit de Soleil, soit de Lune, montre que ces éclipses se produisent successivement en des lieux divers de l'écliptique ; les nœuds se déplacent d'Orient en Occident sur ce grand cercle, de manière à le parcourir en 223 lunaisons à peu près.

Déjà connu des Chaldéens, grands observateurs d'éclipses, ce phénomène n'était pas ignoré d'Eudoxe ; c'est afin de le *sauver* qu'il dota le système lunaire d'une troisième sphère.

Ce système se compose donc de trois orbes emboîtés l'un dans l'autre.

L'orbe extérieur tourne uniformément d'Orient en Occident autour d'un axe normal à l'équateur ; sa révolution est parfaite en un jour sidéral.

L'orbe intérieur, qui porte la Lune, tourne uniformément d'Occident en Orient, autour d'un axe qui forme avec la normale à l'écliptique, un angle de 5° environ ; sa révolution s'achève dans le temps que la Lune, partie de la tête du dragon, met à y revenir ; cette durée est le *mois draconitique*, évalué aujourd'hui à 27 jours 5 heures 5 minutes 36 secondes.

L'orbe intermédiaire tourne d'Orient en Occident, comme le premier orbe, mais autour d'un axe normal à l'écliptique ; sa révolution uniforme, accomplie en 223 lunaisons à peu près, produit la marche rétrograde des nœuds ¹.

1. Simplicius (*In Aristotelis libros de Caelo commentarii* ; in lib. I cap. XII ; éd. Karsten, p. 222, col. a ; éd. Heiberg, pp. 494-495) attribue à la seconde sphère une rotation *d'Occident en Orient* et, à la troisième, une rotation *lente d'Orient en Occident* ; il dit que cette dernière rotation rend compte du mouvement rétrograde des nœuds. Il est clair que, par une interversion, il a attri-

V

LES SPHÈRES HOMOCENTRIQUES D'EUDOXE (*suite*). THÉORIE DU SOLEIL

Le mécanisme imaginé par Eudoxe pour sauver les mouvements apparents de la Lune est assurément l'une des parties les plus heureusement agencées de son Astronomie ; il a rencontré une bien moindre réussite en la théorie du Soleil. Visiblement, il a été guidé par la pensée que cette doctrine-ci devait être imitée de celle-là. Or, le sens de l'analogie et de la généralisation qui est, dans la construction de la théorie physique, l'instrument habituel du progrès, intervint, ici, d'une manière malencontreuse ; rien, en effet, ne diffère plus de la théorie de la Lune que la théorie du Soleil.

Pour calquer, donc, la théorie du Soleil sur la théorie de la Lune, Eudoxe a supposé ¹ que le Soleil, en son cours par rapport aux étoiles fixes, ne suivait pas exactement l'écliptique ; il a admis que l'écliptique était un grand cercle purement idéal de la sphère céleste ; que le Soleil décrivait un autre grand cercle incliné sur le premier d'un tout petit angle ; enfin que l'intersection de ces deux cercles, semblable à la ligne des nœuds de la Lune, tournait très lentement, dans le plan invariable de l'écliptique idéale, mais d'Occident en Orient et non point d'Orient en Occident.

Dès lors, le système du Soleil a été, comme le système de la Lune, constitué par trois orbes contigus et concentriques à la Terre.

Dans ce système, l'orbe extérieur tourne uniformément d'Orient en Occident, en un jour sidéral, autour de l'axe du Monde.

bué à la troisième sphère la durée de révolution et le rôle de la seconde, et inversement.

L'erreur n'est sans doute pas du fait de Simplicius, mais du fait de Sossigène, dont Simplicius suit ici trop fidèlement l'exposé. Elle a, d'ailleurs, été soigneusement gardée par Alexandre d'Aphrodisias (ALEXANDRI APHRODISIENSIS *Op. laud.*, in lib. XI cap. VIII ; éd. Hayduck, p. 703).

Elle a été tout d'abord reconnue par Ideler [*Ueber Eudoxus (Mémoires de l'Académie de Berlin ; classe historique et philologique, 1830 ; p. 77)*] qui en a proposé la correction suivie dans notre texte. Cette correction a été également admise par G. Schiaparelli (*loc. cit.*, p. 127) et par Paul Tannery (*Première note*, p. 442 ; *seconde note*, pp. 138-142). Th.-Henri Martin a proposé (*loc. cit.*, pp. 212-222) une interprétation qui prête à Eudoxe de telles erreurs astronomiques qu'elle semble absolument inadmissible (P. TANNERY, *Seconde note*, pp. 138-142).

1. SIMPLICIUS, *loc. cit.* ; éd. Karsten, p. 221, col. b ; éd. Heiberg, pp. 493-494. Simplicius et Alexandre commettent, en la description des orbes du Soleil, la même interversion qu'en la description des orbes de la Lune.

L'orbe moyen tourne uniformément, d'Occident en Orient, avec une lenteur extrême, autour d'un axe normal à l'écliptique.

Enfin, l'orbe intérieur, qui porte le Soleil, tourne d'Occident en Orient autour d'un axe très légèrement oblique à l'écliptique, et sa révolution uniforme s'achève en un an.

Cette théorie, selon laquelle le Soleil, en sa marche annuelle, suivrait un cercle oblique à l'écliptique, et lentement variable, garda longtemps des partisans parmi les astronomes de l'Antiquité. Comment Eudoxe avait-il été conduit à la proposer ? Le désir, bien manifeste d'ailleurs, d'imiter la théorie de la Lune ne saurait expliquer comment il a fait tourner d'Occident en Orient la sphère intermédiaire du Soleil, tandis que la sphère intermédiaire de la Lune tourne d'Orient en Occident. Paul Tannery suppose ¹ que l'astronome de Cnide a été guidé par une connaissance, encore bien vague, du phénomène de la précession des équinoxes, et les considérations dont il accompagne cette hypothèse lui conférèrent un haut degré de vraisemblance.

VI

LES SPHÈRES HOMOCENTRIQUES D'EUDOXE (*suite*). THÉORIE DES PLANÈTES

C'est en la théorie des cinq planètes qu'Eudoxe a le mieux montré son ingéniosité de géomètre ².

Chacune des cinq planètes est mue par un système de quatre orbes contigus ; l'orbe intérieur, le quatrième, compose son mouvement propre avec celui des trois autres, et porte l'astre.

Pour chaque planète, le premier orbe, nous l'avons dit, tourne uniformément d'Orient en Occident autour des pôles du Monde et accomplit sa révolution en un jour. Le second tourne d'Occident en Orient autour des pôles de l'écliptique et accomplit sa révolution en un temps, variable d'une planète à l'autre, qui est la *durée de révolution zodiacale de la planète* ; nous avons vu qu'Eudoxe connaissait avec une assez grande exactitude les durées de révolution zodiacale des diverses planètes.

Si la seconde sphère portait l'astre, celui-ci se mouvrait comme le voulait l'Astronomie trop simplifiée de Platon ; il ne présenterait ni station ni rétrogradation ni variation de latitude.

1. PAUL TANNERY, *Seconde note*, pp. 142-146.

2. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 222, coll. a et b ; éd. Heiberg, pp. 495-497.

Aussi n'est-ce pas l'astre qu'Eudoxe place sur l'équateur de cette seconde sphère, mais simplement un certain point fictif qui sera la *position moyenne de la planète*. Le rayon qui joint le centre du Monde à la planète ira marquer en ce second orbe une *position vraie* de l'astre. Différente de la position moyenne, la position vraie ne demeurera pas dans une situation invariable par rapport à celle-ci ; autour de la position vraie, elle dessinera, sur la seconde sphère, une certaine courbe fermée dont la position moyenne occupera le centre. La marche de la position vraie de la planète sur cette courbe, composée avec la circulation de la position moyenne le long de l'écliptique, donnera un mouvement affecté de stations, de marches rétrogrades, de variations de latitude, et ce mouvement devra représenter le cours de la planète par rapport aux étoiles fixes.

La courbe que, sur la seconde sphère, la position vraie de la planète décrit autour de la position moyenne est, en entier, parcourue en un certain temps qui varie d'une planète à l'autre. Simplicius nous dit que les mathématiciens nomment ce temps *διεξόδου χρόνος* ; ce temps est devenu, dans le système de Ptolémée, celui que la planète emploie à parcourir l'épicycle et, chez les modernes, la *durée de révolution synodique*.

Simplicius nous dit quelles étaient les valeurs attribuées par Eudoxe aux durées des révolutions synodiques des diverses planètes ; il est intéressant de comparer ces valeurs à celles que donnent les observations modernes ¹.

Noms des planètes	Révolutions synodiques	
	Selon Eudoxe	Selon les modernes
Vénus.	570 jours	584 jours
Mercure	110 »	116 »
Mars	260 »	780 »
Jupiter	390 »	399 »
Saturne	390 »	378 »

Pour la plupart des planètes, les évaluations d'Eudoxe sont assez voisines de la vérité. Seule, la durée de révolution synodique

1. D'après G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, p. 152.

admise pour Mars s'écarte extrêmement de la durée véritable ; elle en est exactement le tiers ; il est permis d'attribuer cette détermination fautive non pas à une erreur d'Eudoxe, mais à la maladresse de quelque copiste ; les interprètes modernes, d'ailleurs, n'ont pu rectifier le texte de Simplicius au point d'en tirer pour Mars une théorie acceptable.

La position vraie de la planète sur le second orbe doit donc, en un temps égal à la durée de révolution synodique, décrire une certaine courbe dont la position moyenne occupera le centre. Par quel agencement de sphères Eudoxe va-t-il obtenir cet effet ? Cet agencement le voici :

Dans le plan de l'écliptique, Eudoxe trace le diamètre perpendiculaire au rayon qui va trouver la position moyenne de la planète ; ce diamètre va servir d'axe de rotation à la troisième sphère, qui accomplira sa révolution en un temps égal à la durée de révolution synodique.

L'axe de rotation de la quatrième sphère fera, avec l'axe de la troisième sphère, un certain angle aigu, particulier à chaque planète ; autour de cet axe, la quatrième sphère accomplira sa rotation en un temps qui sera égal, lui aussi, à la durée de révolution synodique de la planète, mais cette rotation sera de sens contraire à celle de la troisième sphère.

Ces deux rotations uniformes, de même durée, mais de sens contraire, se composeront entre elles pour faire décrire à la position vraie de la planète la courbe dont nous avons parlé.

G. Schiaparelli a fait ¹ l'étude géométrique de cette courbe en s'astreignant à n'employer aucun procédé qui ne pût être connu d'Eudoxe. Il a montré qu'elle avait la figure du chiffre 8 (fig. 1) ;



Fig. 1.

les deux boucles, parfaitement égales entre elles, se rejoignent en un point double M qui est la position moyenne de la planète ; ces deux boucles sont couchées dans le sens de l'écliptique EE' qui est, pour la courbe, un axe de symétrie.

Lorsque la position vraie de la planète décrit cette courbe, elle rencontre quatre fois l'écliptique, aux points P, P' et M, ce dernier

1. G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, pp. 141-146.

étant franchi deux fois ; il y a donc, pendant la durée de révolution synodique de la planète, quatre instants où l'astre a une latitude nulle ; le reste du temps, sa latitude est tantôt boréale et tantôt australe.

Simplicius nous dit qu'Eudoxe donnait à cette courbe le nom d'*hippopède* (ἵππου πῆδη). Xénophon a fourni à G. Schiaparelli l'explication de cette dénomination ¹. En son *Traité de l'équitation*, Xénophon dit ² que l'on appelle πῆδη une ligne courbe qui habitue le cheval à tourner en étant tiré par la bride tantôt d'un côté de la bouche et tantôt de l'autre ; telle est bien la ligne étudiée par Eudoxe.

Aristote nous apprend ³ que, dans le système d'Eudoxe, Vénus et Mercure, qui avaient déjà même durée de révolution zodiacale (un an), avaient aussi même lieu moyen et, partant, même axe de rotation pour leurs troisièmes sphères. Ce renseignement complète ce que nous savons de plus certain touchant la théorie des planètes de l'astronome de Cnide. C'est à l'aide de ces documents que G. Schiaparelli a tenté de reconstruire presque en entier cette théorie.

VII

LA RÉFORME DE CALIPPE

Construite en vue de *sauver* les mouvements apparents des astres, la théorie astronomique d'Eudoxe était bien loin d'avoir atteint ce but assez exactement pour que les contemporains du géomètre de Cnide s'en pussent déclarer satisfaits ; que de disparates se pouvaient reconnaître, en effet, entre les corollaires des combinaisons cinématiques du théoricien et les résultats déjà obtenus par les observateurs !

Le système d'Eudoxe, par exemple, donnait bien une même position moyenne aux deux planètes Vénus et Mercure ; mais cette position moyenne, qui décrivait uniformément l'écliptique, ne pouvait coïncider avec le Soleil, puisque Eudoxe avait eu la malencontreuse idée de faire circuler cet astre hors de l'écliptique.

D'ailleurs, tandis qu'il représentait des variations de latitude

1. G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, p. 150.

2. XÉNOPHON, *De re equestri* cap. VII.

3. ARISTOTE, *Métaphysique*, livre XI, ch. VIII (ARISTOTELIS Opera, éd. Bekker, vol. II, p. 1073, col. b).

que le Soleil n'éprouve pas, le système élaboré par Eudoxe ne rendait pas compte de l'anomalie indéniable qu'éprouvait la marche du Soleil suivant l'écliptique.

Ces désaccords, et bien d'autres qu'il serait trop long d'énumérer, devaient attirer l'attention des astronomes qui vinrent aussitôt après Eudoxe ; ils attirèrent, en particulier, celle de Calippe de Cyzique.

Polémarque de Cyzique était un des familiers d'Eudoxe ¹ ; il s'occupait d'Astronomie, et Simplicius nous apprend ² qu'il avait reconnu les changements de diamètre apparent du Soleil et de la Lune. Le même Simplicius nous dit ³ que Calippe de Cyzique fut condisciple de Polémarque, sans nous apprendre, d'ailleurs, si c'est à l'école d'Eudoxe qu'ils avaient étudié ensemble.

« Calippe, poursuit Simplicius ⁴, vint à Athènes, où il entretint un habituel commerce avec Aristote ; c'est avec Aristote qu'il entreprit de redresser et de compléter la théorie astronomique imaginée par Eudoxe. » Il fut conduit ainsi, comme nous l'allons voir, à joindre un certain nombre d'orbes sphériques à ceux qu'Eudoxe avait admis. « Mais il n'existe ⁵ aucun écrit de Calippe où celui-ci explique pour quelle raison ces sphères ont été ajoutées, et cette raison, Aristote ne l'expose pas davantage. Toutefois, Eudème nous conte brièvement quels sont les phénomènes en vue desquels il crut nécessaire d'introduire ces sphères nouvelles ; il rapporte en effet que Calippe disait : Si les durées qui s'écoulent entre les solstices et les équinoxes sont aussi différentes les unes des autres que le pensent Euctémon et Méton, les trois sphères qui sont attribuées à chacun des deux astres (le Soleil et la Lune) ne suffisent pas, en ce qui les concerne, à sauver les apparences (σώζειν τὰ φαινόμενα), et cela en raison de l'anomalie qui se manifeste d'une manière évidente dans leurs mouvements apparents. »

Calippe avait reconnu clairement que le système d'Eudoxe ne pouvait rendre compte de l'inégalité des saisons ; avant de chercher à sauver cette anomalie, il voulut d'abord, selon les préceptes d'une saine méthode, en demander à l'observation une évaluation précise ; il reprit donc les déterminations qu'avaient faites Euctémon et Méton, et le *Papyrus d'Eudoxe* nous a fort heureusement conservé les durées qu'il fut ainsi conduit à donner aux

1. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 221, col. a ; éd. Heiberg, p. 493.

2. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 226, col. a ; éd. Heiberg, p. 505.

3. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 221, col. a ; éd. Heiberg, p. 493.

4. SIMPLICIUS, *ibid.*

5. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 223, col. a ; éd. Heiberg, p. 497.

quatre saisons ; voici ces durées ; nous avons inscrit en regard ¹ les valeurs que les formules actuelles fournissent lorsqu'on les applique à l'an 330, au voisinage duquel furent faites les observations de Calippe.

Noms des saisons	Durées des saisons	
	Selon Calippe	Selon les modernes
Printemps	94 jours	94,17 jours
Été.	92 »	92,08 »
Automne	89 »	88,57 »
Hiver	90 »	90,44 »

Bien plus exactes que celles de Méton et d'Euctémon, les déterminations de Calippe méritent d'être louées pour leur justesse. « En aucun cas, fait remarquer G. Schiaparelli, l'erreur de Calippe n'atteint la moitié d'une journée ; les durées assignées, en son parapegme, aux diverses saisons, sont les plus exactes qui se puissent donner, si on les veut exprimer par des nombres entiers de jours. »

Pour sauver l'anomalie zodiacale du Soleil, pour sauver bon nombre d'autres phénomènes présentés par les astres errants, Calippe fut amené à compliquer notablement le système d'Eudoxe ; au Soleil comme à la Lune, il attribua deux sphères de plus que son prédécesseur, ce qui porta à cinq le nombre des orbes de chacun de ces deux astres ; Mercure, Vénus et Mars eurent également cinq orbes ; Jupiter et Saturne gardèrent chacun les quatre orbes qu'Eudoxe leur avait assignés. Le nombre des orbes planétaires fut ainsi porté à 33 ; il était seulement de 26 dans le système d'Eudoxe.

Tels sont les seuls renseignements que nous possédions au sujet du système de Calippe. Ils nous ont été conservés par Aristote ². Simplicius, après avoir cité Aristote, ajoute ³, comme nous l'avons vu plus haut, qu'il n'existe, à sa connaissance, aucun écrit où soit expliqué le rôle de ces diverses sphères. La divination de

1. D'après G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, p. 162.

2. ARISTOTE, *Métaphysique*, livre XI, chapitre VIII (ARISTOTELIS *Opera*, éd. Bekker, vol. II, p. 1073, col. b, et p. 1074, col. a).

3. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 223, col. a ; éd. Heiberg, p. 497.

ce rôle, tentée par G. Schiaparelli ¹, est donc purement conjecturale.

VIII

LES SPHÈRES COMPENSATRICES D'ARISTOTE

Aux sphères nouvelles que Calippe avait déjà introduites dans l'Astronomie d'Eudoxe, Aristote proposa ² d'en adjoindre un grand nombre d'autres ; mais les raisons qui le guidaient en cette intention étaient toutes différentes de celles qui avaient conduit Calippe. Calippe, pur astronome, s'était contenté d'imaginer des combinaisons de rotations uniformes qui fussent propres à sauver les mouvements apparents des planètes. Aristote, philosophe, voulait que ces combinaisons fussent telles que les principes de sa Physique en permissent la réalisation dans la nature.

Selon Eudoxe et Calippe, le système de chacun des astres errants se compose de plusieurs orbes contigus ; chacun des orbes est animé d'une rotation propre et participe, en outre, des rotations de tous les orbes qui sont situés au-dessus de lui. Eudoxe et Calippe ont combiné chacun de ces systèmes en vue de rendre compte du mouvement apparent de l'astre auquel il est attribué ; mais ils l'ont traité comme un mécanisme entièrement indépendant ; ils ne se sont pas demandé comment les divers mécanismes imaginés par eux pourraient prendre place dans l'Univers de telle manière qu'ils formassent un tout, et que, cependant, l'indépendance du mouvement de chacun d'eux fût sauvegardée.

C'est ce problème qui a sollicité l'attention d'Aristote.

Les groupes d'orbes relatifs aux divers astres doivent tous avoir la Terre pour centre ; ils seront donc disposés autour de la Terre, de manière à se contenir les uns les autres. Aristote les range, d'ailleurs, dans le même ordre que Platon ; en s'élevant à partir de la Terre, on rencontrerait d'abord les orbes de la Lune, puis ceux du Soleil, puis ceux de Mercure, de Vénus, de Mars, de Jupiter et de Saturne, enfin le ciel des étoiles fixes.

Ces groupes d'orbes sont-ils isolés les uns des autres par des intervalles vides ? Aristote n'admet aucunement la possibilité du vide. Sont-ils donc contigus ? Mais alors, de même qu'en chaque système partiel, un orbe participe des rotations de tous les orbes

1. G. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, pp. 158-164.

2. ARISTOTE, *Métaphysique*, livre XI, ch. VIII (ARISTOTELIS *Opera*, éd. Bekker, vol. II, p. 1074, col. a).

situés au-dessus de lui, de même, dans l'Univers, chaque système suivra les rotations de tous les systèmes qui l'enveloppent, et l'indépendance supposée par Eudoxe et par Calippe ne sera pas sauvegardée ; on ne pourra plus dire, avec l'*Épinomide*, que les huit puissances du ciel sont sœurs et qu'aucune d'elles ne mène les autres.

Un seul moyen subsiste, sinon de rétablir cette indépendance, du moins, d'obtenir un effet équivalent, et c'est celui que va employer Aristote. Il consiste à interposer, entre deux systèmes successifs, un certain nombre d'orbes animés de rotations telles qu'elles compensent exactement, pour le système intérieur, l'effet des rotations du système extérieur. Ces sphères annexes, Aristote les nomme *sphères tournant à rebours* (ἀνελπιτούσαι σφαίραι) ; Simplicius nous apprend ¹ que Théophraste, en ses *Physiques*, les nommait *sphères ramenantes* (ἀναπαφερούσαι).

Si l'on veut compenser exactement, pour le système inférieur, toutes les rotations du système supérieur, il suffira de placer entre ces deux systèmes des orbes en nombre égal aux orbes du système supérieur, puis de faire correspondre chacun des orbes annexes à chacun des orbes du système supérieur de telle manière que les deux sphères correspondantes tournent autour du même axe, avec la même vitesse angulaire, mais en sens contraire l'une de l'autre.

Aristote a fort bien vu qu'il n'était pas nécessaire d'employer autant de sphères que cette méthode l'exigerait ; au lieu de maintenir, en effet, entre les divers systèmes, une indépendance absolue, de telle sorte que chacun d'eux se meuve comme si les autres n'existaient pas, il n'y a aucun inconvénient à supposer qu'ils se transmettent les uns aux autres la rotation diurne, puisqu'ils doivent tous prendre part à cette rotation.

Par exemple, il ne sera pas nécessaire de mettre de sphère compensatrice entre le ciel des étoiles fixes et le système de Saturne ni d'attribuer à Saturne un premier orbe mû du mouvement diurne ; la sphère des étoiles fixes pourra jouer ce rôle ; et il semble bien qu'Aristote ait voulu qu'il en soit ainsi, car cela s'accorde avec le dénombrement que nous lui verrons faire.

Le système de Saturne communiquerait au système de Jupiter un nombre de rotations égal au nombre des sphères que Calippe lui attribue, c'est-à-dire à quatre ; si l'on veut compenser les rotations de toutes ces sphères, sauf la révolution diurne issue de la première, on devra placer entre le ciel de Saturne et le ciel de

1. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 225, col. b ; éd. Heiberg, p. 504.

Jupiter des sphères ramenantes dont le nombre soit inférieur d'une unité à celui des orbes de Saturne ; et c'est ce qu'Aristote dit d'une manière très précise.

Mais, cela fait, les quatre orbes qui meuvent Saturne et les trois sphères ramenantes communiqueront au système de Jupiter un mouvement réduit au mouvement diurne ; il faudra donc supprimer le premier des orbes attribués par Calippe à Jupiter ; en sorte que l'introduction des trois sphères compensatrices entre le ciel de Saturne et le ciel de Jupiter devra augmenter seulement de deux unités le nombre des orbes imaginés par Calippe. Cela, Aristote ne l'a pas vu. Sosigène qui, en son traité *Περὶ τῶν ἀνελιπτουσῶν*, avait fait, du mécanisme des sphères compensatrices, une étude très détaillée, le reproche au Philosophe. « Pour retrouver le nombre qu'indique Aristote, il faut, dit-il, compter deux fois la même sphère. » Simplicius nous a conservé l'analyse ¹ et la critique ² de Sosigène.

Grâce à cette inadvertance, Aristote a mis trois sphères compensatrices entre le ciel de Saturne et le ciel de Jupiter, trois autres entre le ciel de Jupiter et celui de Mars, quatre en chacun des intervalles laissés par les cieux suivants ; il a été amené de la sorte à compter, dans l'Univers, cinquante-cinq orbes distincts ; selon la remarque de Sosigène, il n'en eût dû compter que quarante-neuf.

« C'est seulement de la sorte, déclare le Philosophe, que le mouvement des astres errants parvient à être complètement réalisé. — Οὕτω γὰρ μόνως ἐνδέχεται τὴν τῶν πλανητῶν ὁρὰν ἀπαντα ποιεῖσθαι. »

Ainsi fut donc achevée, au gré d'Aristote, cette Astronomie des sphères homocentriques, appelée à être la première des théories physiques. Pour la première fois, en effet, dans la constitution de cette théorie, on vit le géomètre partir d'un certain nombre de principes simples qui lui étaient donnés d'ailleurs et, conformément à ces principes, construire un système mathématique hypothétique, retoucher, compliquer ce système jusqu'à ce qu'il sauvât avec une exactitude suffisante les apparences décrites par les observateurs.

Lorsque l'observation eût fait connaître des phénomènes que tout système de sphères homocentriques était, à tout jamais, impuissant à sauver, les astronomes géomètres acceptèrent d'autres

1. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 223, col. a, à p. 225, col. b ; éd. Heiberg, p. 498 à p. 504.

2. SIMPLICIUS, *loc. cit.*, éd. Karsten, p. 225, col. a ; éd. Heiberg, p. 502.

principes et, à l'aide de ces nouveaux principes, combinèrent de nouvelles hypothèses ; mais la méthode qu'ils suivirent pour construire de nouveaux systèmes astronomiques ne différa pas de celle qui avait servi à édifier le système des sphères homocentriques.

Cette méthode, on ne tarda guère à la transporter de l'Astronomie aux autres parties de la Physique ; l'auteur des *Questions mécaniques* attribuées à Aristote tenta de l'appliquer à l'équilibre des corps solides pesants et, à cette science de l'équilibre des solides pesants, Archimède donna une forme rationnelle d'une rare perfection ; cette forme admirable, il l'étendit, en suivant toujours la même méthode, à l'équilibre des liquides et à celui des corps flottants.

Euclide montra de son côté comment la seule hypothèse de l'égalité entre l'angle d'incidence et l'angle de réfraction suffisait à sauver les phénomènes que présentent les miroirs plans, concaves ou convexes.

Ainsi, deux siècles avant notre ère, l'Astronomie, la Science de l'équilibre des poids, une partie de l'Optique avaient pris la forme de théories mathématiques précises, désireuses de satisfaire aux exigences du contrôle expérimental ; beaucoup de parties de la Physique n'ont, à leur tour, revêtu cette forme qu'après de longs siècles de tâtonnements ; mais, pour le faire, elles n'ont eu qu'à suivre la méthode par laquelle les premières étaient parvenues à l'état de théories rationnelles.

L'attribution du titre de créateur de la méthode des sciences physiques a donné lieu à bien des querelles ; les uns ont voulu le donner à Galilée, les autres à Descartes, d'autres encore à François Bacon, qui est mort sans avoir jamais rien compris à cette méthode. En vérité, la méthode des sciences physiques a été définie par Platon et par les Pythagoriciens de son temps avec une netteté, une précision qui n'ont pas été surpassées ; elle a été appliquée pour la première fois par Eudoxe lorsqu'il a tenté, en combinant des rotations de sphères homocentriques, de sauver les mouvements apparents des astres.