

----- APPROCHES MECANIQUE ET GEOMETRIQUE DU MOUVEMENT DANS L'ANTIQUITE GRECQUE -----

Jöelle DELATTRE

On présente parfois la philosophie de Platon comme la recherche d'un compromis entre deux pensées antagonistes: celle de Parménide qui affirmait l'identité de l'Etre et du Penser en niant l'existence du mouvement, et celle d'Héraclite qui déclarait que tout se meut et se renouvelle indéfiniment. La pensée du changement et du mouvement a beaucoup préoccupé les premiers penseurs grecs qu'on appelait "physiciens" ou "philosophes de la nature"; en témoignent en particulier quatre des quarante Paradoxes¹ de l'élève de Parménide, Zénon d'Elée, connus grâce à l'analyse d'Aristote, dans la Physique², où il s'efforce génialement de les réfuter...

Notre propos ne sera pas ici d'entreprendre une étude exhaustive de toutes les opinions, théories, critiques et réfutations sur le mouvement dans l'Antiquité³. Nous voudrions plus modestement nous appuyer sur la lecture de quelques pages d'un philosophe du deuxième siècle après notre ère, Théon de Smyrne, auteur d'un traité intitulé: *Les connaissances mathématiques utiles à la lecture de Platon*, dont le troisième livre est entièrement consacré à l'astronomie. En effet l'auteur y utilise la plupart des ressources philosophiques et mathématiques disponibles à son époque pour tenter de parvenir à une explication cohérente du mouvement des astres par rapport à la Terre, objectif que, semble-t-il, Platon avait dû se fixer, en son temps, au fil de ses grands mythes cosmologiques⁴. Or Théon prétend dépasser les oppositions et les querelles entre mathématiciens et entre philosophes, en faisant valoir une certaine démarche plus "*phusicôs*", naturelle ou physique, dont il s'enorgueillit de maîtriser le "mode d'emploi" et en même temps l'aboutissement tangible et matériel sous la forme d'une "sphéropée mécanique platonicienne".

Avant d'aborder la lecture même du texte de Théon, nous nous efforcerons de clarifier deux énigmes difficiles pour l'historien des sciences, étant donné la rareté, l'éloignement dans le temps et le caractère contradictoire des témoignages. La première peut se formuler assez simplement de la manière suivante: les premiers astronomes grecs ont-ils été d'abord des géomètres ou des mécaniciens? La seconde, dont Théon se fait précisément l'écho et, pourrait-on dire, l'interprète, concerne la démarche épistémologique permettant de rendre compte rationnellement de mouvements et repos astronomiques apparents. Comment caractériser les multiples et géniales inventions des astronomes et penseurs grecs: modèles géométriques, modèles mécaniques ou théories philosophiques? Nous allons voir que le projet pédagogique de Théon, faciliter la lecture des textes astronomiques ou plus exactement cosmologiques de Platon, cherche sa voie entre ces trois options, tout en semblant valoriser une "manipulation mécanique" qui permette de visualiser les hypothèses philosophiques et géométriques et d'apprécier celles dont les conséquences correspondent le mieux à la fois aux observations célestes et aux principes de la nature.

IREM de LYON
BIBLIOTHEQUE

Université Claude Bernard -LYON I
43, Bd du 11 Novembre 1918
69622 VILLEURBANNE Cedex

¹ Cf. *Les Présocratiques*, éd. J.P. DUMONT, Paris 1988, Fg. A XV p. 281 et Fg A XXV pp. 287 à 289.

² Voir *Physique* VI ix 239b.

³ Le temps imparti à notre atelier de lecture de textes anciens à l'Université d'été de Montpellier, n'y aurait pas suffi!

⁴ Voir notre communication du 16/4/93 à l'Université d'été de Lille III, à paraître grâce à la collaboration de l'IREM de Lille et de la MAFFEN Philosophie de l'Académie de Lille.

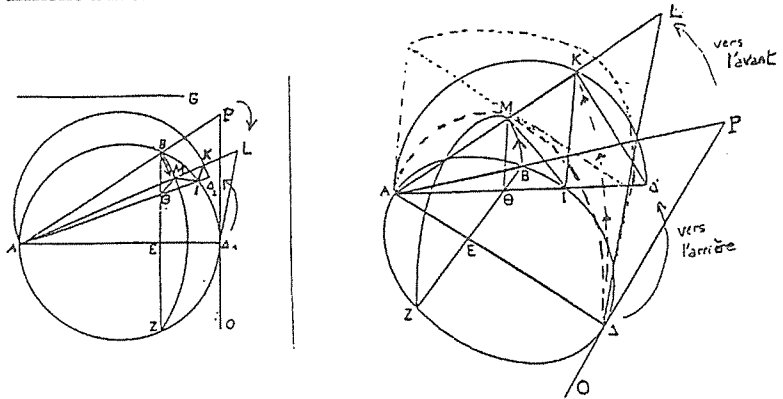
I - LES PREMIERS ASTRONOMES GRECS ONT-ILS ETE DES GEOMETRES OU DES MECANICIENS?

Nous partirons de l'écart entre le témoignage d'Eutocius⁵ au Ve siècle et celui de Plutarque⁶ à la fin du Ier siècle, à propos de la méthode utilisée par Archytas de Tarente et Eudoxus de Cnide pour résoudre le problème des moyennes proportionnelles. Le premier juge qu'ils le résolvaient par le seul raisonnement sans réussir à le mettre effectivement en oeuvre, tandis que le second évoque le "courroux" de Platon, lequel leur aurait reproché de "mêler" aux pures considérations géométriques, des éléments mécaniques comme le recours aux mouvements et à la manipulation, ce qui en gâchait la qualité et la valeur.

a) déterminer les moyennes proportionnelles par le raisonnement géométrique ou par la manipulation instrumentale

La traduction française des fragments des plus importants penseurs présocratiques, éditée maintenant en collection de poche⁷, permet de relire facilement la démonstration du savant pythagoricien, vivant au début du IVe siècle avant notre ère, Archytas de Tarente; elle est conservée grâce au témoignage d'Eutocius lequel se réfère lui-même à Eudème, historien de la géométrie du IIIe siècle avant notre ère. Voici la récapitulation des étapes de cette démonstration qu'il paraît préférable de suivre en construisant en même temps une figure dans l'espace du genre de celle que nous proposons, la figure antique traditionnelle nous semblant plus difficile à lire:

$G = AB < AD$
 $DP \perp AD$
 $BEZ \parallel PDO$



- 1) A reste fixe; le demi-cercle sur AD se meut vers l'arrière à travers le demi-cylindre sur lequel il décrit une courbe de D en K;
- 2) AD reste fixe; le triangle APD pivote vers l'avant selon un mouvement opposé, en décrivant une surface conique qui coupe le cylindre en remontant jusqu'en K;
- 3) quand la position des deux éléments est fixée, au point de rencontre K sur le cylindre, la perpendiculaire KI est abaissée sur le cercle ABDZ (le long du cylindre);
- 4) le point B monte sur le demi-cercle BMZ perpendiculaire au cercle ABDZ; il vient en M; on détermine les triangles semblables: AMI, MIO et MAO; $M0 \perp$ cercle ABDZ $\rightarrow M0 \perp BZ$, et $M0 \parallel KI$;

⁵ Cf. *Commentaires Sur la sphère et le cylindre d'Archimède II*, in *Oeuvres d'Archimède IV*, trad. C. MUGLER, Paris 1972.

⁶ Cf. *Vie de Marcellus*, trad. AMYOT, Paris 1587, pp.301-302.

⁷ Cf. *Les Ecoles présocratiques*, ed. J.P. DUMONT, Paris 1991, pp.281 et 282.

5) or $B0 \cdot OZ$ ou $A0 \cdot OI = M0^2$,
et les angles IMA, DKA sont droits;

6) donc $KD \parallel MI$, et
AD, AK, AI, AM forment une proportion continue;
 $AM = AB = G$ et deux médiétés entre AD et G sont trouvées.

En étudiant de près le texte de la démonstration, nous avons pu reconnaître la présence d'un raisonnement géométrique et en même temps celle d'une puissante imagination dynamique. Mais il n'est pas facile de décider entre une démarche de type instrumental, correspondant par exemple à l'utilisation d'une sorte d'astrolabe, qui consisterait à maintenir fixe telle ou telle partie de l'appareil pour en ajuster telle ou telle autre partie, et la transposition conceptuelle de cette démarche; le texte, en effet, ne fait appel qu'à la conception et à l'imagination (ou représentation) géométrique, et ne propose, en tout cas, aucune autre manipulation ni construction que le déplacement combiné d'un demi-cercle et d'un triangle, et l'abaissement d'une perpendiculaire.

Aussi avons-nous quelque raison d'être étonnés du "courroux" de Platon auquel Plutarque fait allusion. D'autant que Platon lui-même avait donné son nom à une machine simple⁸ pour déterminer et construire, entre deux segments perpendiculaires donnés, ces deux longueurs moyennes proportionnelles dont Théon, citant Eratosthène dans l'introduction de son ouvrage⁹, rappelle qu'elles constituaient une réponse géométrique au problème de l'oracle de Délos, le Dieu, consulté à propos de la peste qui ravageait l'île, ayant demandé qu'on doublât la taille de son autel.

b) manipuler un instrument astronomique pour mieux concevoir et comprendre le cosmos

Selon certains témoignages, Platon aurait aussi construit une espèce de réveil-matin!¹⁰ Il nous a donc semblé important de l'interroger directement pour mieux connaître son sentiment concernant les liens et les démêlés entre géométrie et mécanique. Or, la relecture des pages 36 à 40 du *Timée* a, de ce point de vue, le plus grand intérêt.

Platon y met à contribution l'arithmétique et la géométrie pour construire le mécanisme mobile du monde, conçu comme un vivant animé. Décrivant la création de l'âme du monde par le démiurge, le philosophe nous dit que, pour ce faire, le Dieu "*machine*", qu'il s'arrange pour que soit construit un mécanisme tout entier constitué de nombre et de mouvement circulaire. Et l'analogie indéniable avec l'art du forgeron construisant une sphère armillaire¹¹ (autre instrument astronomique) ne doit pas faire oublier qu'il s'agit essentiellement d'un modèle intellectuel, numérique et géométrique, exprimant qu'une vie intelligente pénètre le monde de part en part et revient sans cesse sur elle-même¹² en un mouvement circulaire capable de se démultiplier et se différencier sans perdre son uniformité ni sa régularité:

"Il prescrit que ces cercles aillent en sens inverse les uns des autres, trois avec des vitesses semblables, et les quatre autres avec des vitesses différentes les unes par rapport aux autres,

⁸ Voir à ce propos le chapitre "Pourquoi la règle et le compas?" dans l'ouvrage collectif de la Commission Inter-IREM: *Histoires de problèmes*, Paris 1993.

⁹ Cf. o.c., trad. J.DUPUIS, p.5.

¹⁰ Cf P. M. SCHUHL, in *La Fabulation platonicienne*, Paris 1968, p.97, où est rappelée la citation d'Aristoclès (écrivain du II^e siècle av. n.è.) par Athénée (écrivain du III^e siècle), dans son *Banquet des sophistes*, à propos de l'horloge de nuit de Platon qui, semble-t-il, devait, fonctionner comme une clepsydre.

¹¹ Comme le signale fort justement L. BRISSON dans sa récente traduction : *Timée et Critias*, éd. G.F., Paris 1991.

¹² Voir le *commentaire* de Proclus à ce passage du *Timée*, dans la remarquable traduction de A.-J. FESTUGIERE, Paris 1966, tomes III et IV.

mais suivant un mouvement réglé¹³. Chacun peut reconnaître le dispositif mobile d'une sphère armillaire géocentrique très complexe, distinguant le mouvement lié du Soleil, de Vénus et de Mercure, et un mouvement de type différent pour la Lune d'une part, Mars, Jupiter et Saturne d'autre part. Et Platon lui-même ne laisse plus planer aucun doute quand, un peu plus loin, il explique comment le démiurge "a l'idée de fabriquer" le temps en même temps qu'il "met le ciel en ordre"¹⁴. Le Dieu, en effet, "s'arrangea" pour que naussent les jours, les nuits, les mois, et les années, "en même temps qu'il construisait le ciel". Et c'est ainsi qu'il conçut et façonna le Soleil, la Lune, et les cinq autres astres, et les plaça sur leurs orbites circulaires "pour définir et conserver les nombres du temps"¹⁵. La lettre même du texte de Platon semble entremêler la description d'un travail de conception et d'imagination et celle d'une activité de forgeron, de sculpteur ou de savant mécanicien. Or il est remarquable que, après "l'installation" ou "l'établissement" de la Terre, "enroulée autour de l'axe qui traverse le tout" ou bien "pelotonnée sous l'arrondi du ciel"¹⁶, les quatre pages du *Timée* que nous nous proposons de relire se terminent justement par ce paragraphe étonnant auquel Théon juge bon de renvoyer pour justifier son projet¹⁷.

*"Or décrire les danses de ces mêmes corps célestes, leurs juxtapositions les unes par rapport aux autres, déterminer les rétrogradations et les progressions de leurs courses circulaires les unes par rapport aux autres, dire quand elles se trouvent en conjonction, lesquelles se font l'une à l'autre écran et au bout de quel temps chacune se cache à nos yeux pour de nouveau reparaitre, provoquant ainsi l'effroi et fournissant des présages sur les événements à venir aux gens qui ne sont point capables de les prévoir grâce au calcul, expliquer tout cela, ce serait peine perdue, si on n'avait pas sous les yeux une représentation mécanique des mouvements considérés."*¹⁸.

Cela signifie-t-il que Platon a lui-même ce type de représentation sous les yeux quand il écrit? L'hypothèse a déjà été formulée par des commentateurs modernes du philosophe¹⁹, et nous pensons qu'elle permet seule de démêler l'enchevêtrement dont nous parlions plus haut, à propos du démiurge, d'un modèle conceptuel et d'un modèle mécanique ou artisanal. L'utilisation de l'instrument astronomique est alors déviée de son usage "professionnel", visée et observation du ciel, prédiction d'événements ou mesures d'angles et de distances, pour un usage "paradigmatique", où la compréhension et la maîtrise du fonctionnement du modèle réduit permette par analogie, ou plutôt par extrapolation, de concevoir et imaginer celui du cosmos véritable.

c) deux usages de l'instrument astronomique et plusieurs manières de pratiquer l'astronomie

En même temps, pour revenir au "courroux" attribué à Platon par la tradition de Plutarque, il est bien évident que le modèle mécanique apparaît surtout comme un outil facilitateur, pour aider les ignorants à comprendre, visualiser et se représenter les hypothèses explicatives de la science astronomique. Or, qu'il s'agisse de mettre en conformité des théories scientifiques abstraites avec les observations dans le temps et dans l'espace, ce que semble-t-il, Eudoxe de Cnide et son disciple Callippe, avec leurs emboîtements de sphères homocentriques, auraient tenté de faire, ou qu'il s'agisse de chercher à mettre à la portée de tous, par une réalisation matérielle, "image" ou "imitatrice", la réalité concevable mais non observable,

¹³ Cf. *Timée* 36d, trad. L. BRISSON, p. 126.

¹⁴ Cf. *Timée* 37d, trad. cit., p. 127.

¹⁵ Cf. *Timée* 37e et 38c, trad. cit., p. 129.

¹⁶ Les traditions manuscrites proposent deux termes presque homophones dont l'un signifie un mouvement, et l'autre une position de repos. L'ambiguïté existait déjà, semble-t-il, dès l'époque d'Aristote, lequel a pris parti pour l'interprétation immobile. Voir le commentaire de Proclus, trad. A.-J. FESTUGIERE, IV 133 p. 177.

¹⁷ Cf. *o.c.*, ch. 16, trad. J DUPUIS, p. 239: "nous avons construit une sphère d'après ses explications. Platon dit en effet qu'on ferait un travail inutile si on voulait exposer ces phénomènes sans les images qui parlent aux yeux".

¹⁸ Cf. *Timée* 40c-d, trad. cit., p. 132.

¹⁹ Voir en particulier, A. RIVAUD, *Etudes platoniciennes I*, in *Revue d'Histoire de la Philosophie* 2, 1928, p. 126; et P. M. SCHUHL, *La Fabulation platonicienne*, Paris 1968, pp. 71 à 98.

comme semble-t-il Archimède devait le proposer dans son traité aujourd'hui perdu *Sur la sphéropée*, nous nous trouvons devant deux aspects de "l'expédient mécanique" utilisés par l'astronome mais que le philosophe sera tenté de repousser sous prétexte qu'ils le détournent de la recherche de la vérité. En effet, dans la *République*²⁰, Platon fait préciser par Socrate, à son interlocuteur étourdi, que l'astronomie ne consiste pas à regarder le ciel bouche bée, mais, comme la géométrie, à poser et résoudre des problèmes! Et en l'occurrence, l'énoncé du problème le plus important, selon Platon, pour tout astronome digne de ce nom, nous a été conservé par le témoignage de Simplicius, au Ve siècle de notre ère, citant Sosigène, astronome postérieur à Ptolémée, citant lui-même Eudème, l'historien du IIIe siècle avant notre ère, à propos d'Eudoxe. Voici comment G. AUJAC propose de le traduire²¹.

"Platon, en imposant aux mouvements des corps célestes l'obligation d'être circulaires, uniformes et réglés, a proposé aux mathématiciens le problème suivant: quelles sont les hypothèses qui par des mouvements uniformes, circulaires et réglés pourront sauver les faits observés pour les planètes?"

Tel était donc le problème que Platon posait aux "meilleurs élèves de l'Académie", selon l'expression de T. HEATH²². En effet Théon rappelle, dans les dernières lignes de l'introduction de son traité, que *"Platon lui-même ne veut pas que l'on continue jusque dans l'extrême vieillesse à tracer des figures géométriques ou à chanter des chansons, choses qui conviennent aux enfants, et qui sont destinées à préparer et purifier leur esprit, pour le rendre capable de comprendre la philosophie."*²³

Or, il est étonnant que Théon, pourtant si scrupuleux dans ses citations, selon ses propres affirmations²⁴, et ainsi que les nombreuses références faites à l'oeuvre de Platon, dans l'introduction de son ouvrage, permettent de le vérifier²⁵, n'attribue pas l'énoncé du problème d'astronomie à Platon lui-même, mais à Pythagore²⁶, figure tutélaire, selon lui, de l'astronomie scientifique grecque. Comme Proclus²⁷ semble confirmer aussi l'origine pythagoricienne de l'exigence de simplicité dans la recherche des combinaisons de mouvements susceptibles d'expliquer le mouvement des astres, le témoignage de Théon nous paraît digne d'attention. En effet, l'enjeu est d'importance pour le commentateur: il s'agit bien d'introduire à une lecture "technique" des textes cosmologiques de Platon, en insistant le moins possible sur leur dimension symbolique et mystique, symbolisme et mystique des nombres renvoyant, par ailleurs, au "pythagorisme" de Platon lui-même.

Nous voudrions enfin rappeler une page du traité de Vitruve²⁸, proposant un classement des astronomes en penseurs théoriciens et observateurs praticiens, parce que ²⁴ Voir l'introduction de la deuxième partie de son ouvrage, trad.cit., p. 79: *"il ne nous déplaira pas de rapporter ce que nos devanciers ont découvert...sans nous vanter d'en avoir découvert la moindre partie"*.

L'architecte latin y range Eudoxe parmi ceux qui recouraient aux instruments en astronomie, confirmant ainsi la tradition de Plutarque. En l'état actuel de nos connaissances, aussi bien pour

²⁰ Cf. *République* VII 530, trad. E. Chambry, p. 169.

²¹ Cf. les *"testimonia"* traduits dans les dernières pages de l'édition des *Oeuvres d'Autolykos de Pytane*, Paris 1979, en particulier, p. 160, Simplicius, *Commentaire du second livre du traité du ciel d'Aristote*, p. 493 de l'édition HEIBERG.

²² Cf. *Greek Astronomy*, p. xliv.

²³ Cf. *trad. cit.*, p. 25.

²⁴ Voir l'introduction de la deuxième partie de son ouvrage, trad. cit., p. 79: *"il ne nous déplaira pas de rapporter ce que nos devanciers ont découvert...sans nous vanter d'en avoir découvert la moindre partie."*

²⁵ Quelques écarts laissent supposer qu'il cite les textes de mémoire, mais très peu d'erreurs se détectent, comme par exemple, une seule confusion entre la *République* et les *Lois*, sur la trentaine de citations de Platon que compte la seule introduction.

²⁶ Cf. ch. 22, *trad. cit.*, p. 245.

²⁷ Cf. *Hypotypose des hypothèses astronomiques*, I 34-35 éd. MANITIUS p. 18.

²⁸ Cf. *De Architectura* IX 6, trad. C. PERRAULT, p. 148, éd. DIDOT: *"Eudoxus, Euctémon, Callipus, Méto, Philippus, Hipparchus, Aratus et les autres astrologues, ont fait à l'aide de la parapegmatique, des observations plus exactes"*.

Archytas de Tarente que pour Eudoxe, il est difficile de trancher et de décider s'ils furent plutôt des géomètres ou des mécaniciens; sans doute ont-ils été les deux à la fois, utilisant la puissance de chacune des deux disciplines pour combler les insuffisances de l'autre, comme Archimède réussit à l'expliquer magnifiquement, dans sa lettre à Eratosthène *Sur la méthode*²⁹.

²⁹ Cf. *Oeuvres d'Archimède*, trad. C. MUGLER.

II - QUELS PROBLEMES SOULEVE LA DEMARCHE DE LA SCIENCE ASTRONOMIQUE GRECQUE POUR RENDRE COMPTE RATIONNELLEMENT DES MOUVEMENTS ASTRONOMIQUES APPARENTS?

Nous avons déjà évoqué deux manières différentes de recourir à l'"expédient mécanique" pour l'astronome grec. Ou bien, procédant comme Eudoxe, et après lui Callippe, on s'efforcera de concevoir une combinaison de mouvements géométriques, susceptible de produire une trajectoire la plus semblable possible à celle que l'observation permet d'attribuer aux astres dits "errants". Ou bien, comme Archimède et peut-être Archytas, on mettra en oeuvre matériellement une certaine combinaison de mouvements dans une machine perfectionnée plus ou moins automate, laquelle permettra surtout de "montrer" et de faire comprendre ce que la recherche géométrique étudie et démontre théoriquement¹. Il est assez tentant à partir de cela de distinguer deux types d'astronomie:

- une astronomie savante pour initiés et dont l'objet serait surtout de rendre compte des déplacements des astres et d'en calculer la "raison" (*logon*), c'est-à-dire en particulier, s'intéresser aux rapports de distance et de vitesse, à la composition des mouvements, aux retours cycliques et aux régularités, pour pouvoir déduire et prévoir les passages et événements remarquables (conjonctions et éclipses par exemple);

- et une astronomie de "démonstration" pour grand public laquelle n'aurait d'autre prétention, que de représenter mécaniquement les déplacements des astres à l'aide de dispositifs simples dont la caractéristique principale serait d'abord de "reproduire" ou "imiter" les apparences observées. Un argument pour soutenir la distinction que nous suggérons peut se trouver dans le fait que Ptolémée, au II^e siècle, ait jugé bon d'écrire, à côté de la *Syntaxe Mathématique*, un autre traité d'astronomie s'adressant à "ceux qui préfèrent utiliser des sphères automates ou actionnées à la main". C'est à ce traité, intitulé "*Hypothèses des planètes*" que G. AUJAC renvoie² pour démontrer l'importance de la sphéropée dans la pratique antique de l'astronomie.

a) rejeter la contradiction

Il ne s'agirait toutefois pas d'imaginer deux astronomies concurrentes ou antagonistes, même si quelques possibilités existent de repérer des écoles d'astronomie différentes, en Asie mineure, à Athènes, à Rhodes, à Alexandrie, avec des méthodologies différentes³, comme il y a sans doute eu aussi des écoles géométriques différentes par souci de compatibilité avec les principes fondamentaux de doctrines philosophiques originales comme l'épicurisme ou le stoïcisme⁴. En effet, la double tendance que nous avons définie pourrait bien être une caractéristique fondamentale de la démarche complexe de l'astronome grec, sur laquelle nous voulons maintenant faire porter notre étude.

Qu'on l'attribue à Platon ou à Pythagore, une fois admise l'exigence épistémologique d'une recherche des mouvements les plus simples susceptibles d'expliquer par leur combinaison les apparences complexes et variées, une autre difficulté surgit concernant la possibilité pour un être de se mouvoir et d'être en repos en même temps. Comment échapper à

¹ Cf La Lettre d'Archimède à Eratosthène *Sur la méthode*, in *Oeuvres complètes d'Archimède*, trad. C. MUGLER, Les Belles Lettres, Paris 1972. Voir aussi les témoignages sur les constructions mécaniques d'Archytas de Tarente, *Les Ecoles présocratiques*, p. 280, en particulier ce que dit Favorinus de la colombe volante, selon le témoignage d'Aulu-Gelle.

² Cf. G. AUJAC, *La sphéropée ou la mécanique au service de la découverte du monde*, in *Revue d'Histoire des Sciences* XXIII, 1970, pp. 93-107.

³ Ainsi Proclus, dans son *Hypotypose des hypothèses astronomiques* signale qu'il va présenter les doctrines et théories qui procèdent "*différemment de Ptolémée*"; cf. ch. I 34-35, p. 18 éd. MANITIUS, Leipzig 1909.

⁴ Voir les *Actes de l'Université d'été d'épistémologie et d'histoire des mathématiques de Lille*, notre contribution, "Géométrie ou géométries antiques?", Irem de Lille I, 1993.

la contradiction? Platon, dans une page bien connue de la *République* ⁵, pose le problème de manière magistrale, en se référant au paradigme des toupies:

"Si un subtil interlocuteur soutenait que les toupies sont tout entières, et dans le même temps en repos et en mouvement, quand, leur centre restant fixe, elles tournent sur elles-mêmes, et qu'il en est de même de tout autre objet qui tourne sur lui-même sans bouger de place, nous rejeterions ce raisonnement." L'argumentation du philosophe pour rejeter un tel raisonnement, qu'il qualifie néanmoins de *subtil*, mérite une lecture très attentive :

"il faut distinguer en elles l'axe et la circonférence". En effet, immobiles selon leur axe, elles se meuvent circulairement selon leur circonférence ; la solution est claire et sans bavure: *"ce n'est pas dans les mêmes parties d'elles-mêmes que les toupies sont ainsi en repos et en mouvement."* Mais Platon ajoute ensuite:

"que si l'axe penchait à droite ou à gauche, en avant ou en arrière, tandis que l'objet tourne, alors il ne serait plus en repos d'aucune part." Certes le contexte de ce passage n'est pas du tout astronomique, puisqu'il s'agit de parvenir à une définition cohérente et convaincante de la justice. Pourtant cette image stable et mobile de la toupie, par l'évocation du mouvement de son axe, oscillant d'avant en arrière, ou de côté et d'autre, correspond à l'expérience de la précession de tout corps mû circulairement sur lui-même, et ne peut qu'interpeller l'historien de l'astronomie.

L'évocation d'un tel mouvement de rotation, pour un être *"qui ne serait plus en repos d'aucune part"*, peut se produire à trois niveaux différents: celui du cosmos dans son ensemble, celui de chacun des astres "errants", et enfin même celui de la Terre. En effet, si l'on considère traditionnellement que la découverte de la précession des équinoxes revient à Hipparque (II^e siècle avant notre ère), le débat reste ouvert⁶ concernant l'attribution de l'hypothèse d'"un certain mouvement de la Terre" à Héraclide du Pont et à Platon lui-même⁷. Une citation scrupuleuse d'Alexandre d'Aphrodise, reprise textuellement par Simplicius, nous a conservé le témoignage relais de Gémios à ce propos⁸. Il n'y a aucune raison de ne pas lui accorder de valeur suffisante, sous prétexte qu'il est unique, et qu'Archimède attribue, quant à lui, à Aristarque de Samos l'hypothèse du mouvement terrestre héliocentrique ⁹.

b) formuler des hypothèses dont les conséquences s'accordent avec les apparences

Mais revenons à la démarche de l'astronome. Elle est essentiellement hypothétique. Aucune hypothèse n'est a priori exclue en recherche astronomique, aussi paradoxale et aberrante puisse-t-elle paraître, pourvu que, au bout du compte, les apparences soient sauvegardées (*ta phainoména sôthésétai*)¹⁰ autrement dit, cela signifie que les conséquences déductibles de ces hypothèses doivent s'accorder (*sumbainein* ou *sumphônein*) avec les observations¹¹. Une critique intéressante de Proclus¹², peut-être reprise de Gémios, fait pourtant apparaître l'insuffisance de telles hypothèses, *"construites en prenant les conclusions pour point de départ"*: qui peut nous garantir que des hypothèses contradictoires ne puissent pas aussi bien conduire à des conséquences conformes aux apparences observées? Car

⁵ Cf *République*, IV 436 d-e.

⁶ Voir les arguments respectifs de G. SCHIAPARELLI, in "Origine del sistema planetario eliocentrico presso i Greci", Milan 1898 et T. HEATH, in *Aristarque de Samos. The ancient Copernicus*, Londres 1913.

⁷ Voir *Timée* 40 d, déjà cité plus haut.

⁸ Cf. *Abrégé des météorologiques de Posidonius*, trad. G. AUJAC, pp. 112 et 113 de l'éd. de l'*Oeuvre de Gémios*, Paris 1975.

⁹ Cf. Archimède, *L'Arénaire*, ed. HEIBERG II pp. 216-217 (Leipzig 1913); voir la traduction de C. MUGLER in *Oeuvres complètes*, Paris 1972. Cf. aussi Sextus Empiricus, *Adversus Mathematicos* X 174, éd. R. G. BURY, Londres 1961.

¹⁰ Cf. Théon, *o. c.*, ch. 26 éd. J. DUPUIS, par exemple pp. 254, 264, et 266.

¹¹ Cf Ptolémée, *Almageste* III 1 ; voir aussi Aristote, *Du Ciel* II 296 a.

¹² Proclus, *Hypotypose ou Représentation des hypothèses astronomiques*, cité et retraduit par P. DUHEM, in *Système du monde* II p. 105.

on peut tirer une conclusion vraie d'hypothèses fausses!. Ainsi Théon insiste, non sans malice¹³, sur l'étonnement qu'Hipparque cherchait à faire partager aux mathématiciens (peu soucieux habituellement de la conformité de leurs résultats avec l'observation), devant la capacité pour des hypothèses aussi différentes que celle des excentriques, et celle des épicycles, d'expliquer aussi bien l'une que l'autre, l'anomalie du mouvement solaire, et les stations et rétrogradations des mouvements planétaires. Sans doute aussi est-ce la raison pour laquelle Gémînus explique que l'astronome ne pourra décider seul de la meilleure hypothèse, et devra s'en remettre au physicien¹⁴. Cet argument était connu très certainement de Théon, et l'on peut penser qu'il l'adapte en insistant plusieurs fois sur la nécessité d'adopter une démarche qui soit plus "*phusikôs*". Or, c'est à Eudoxe, à Callippe et à Aristote, ainsi qu'à leur modèle ou dispositif de sphères homocentriques que Théon nous renvoie, pour signifier une manière plus physique d'aborder l'explication du mouvement des astres.

Concernant le modèle des sphères homocentriques d'Eudoxe, il est extrêmement difficile de se rendre compte s'il est un modèle simplement géométrique, sans souci d'une mise en œuvre matérielle, ou s'il correspond à la construction effective de maquettes explicatives et pédagogiques du type de celles dont Platon préconise l'usage, à la fin des quatre pages du *Timée* que nous avons lues plus haut, pour lutter contre l'ignorance, la superstition et la panique de ceux qui ne savent pas prédire les événements astronomiques par le calcul. Que Callippe ait été amené à ajouter plusieurs sphères, puis Aristote à son tour, en particulier ces fameuses sphères "compensatrices" destinées à annuler les effets de frottement et d'entraînement des sphères supérieures, cela montre à quel point le modèle d'Eudoxe était insuffisant, aussi génial fût-il du strict point de vue géométrique, comme l'a si bien montré G. SCHIAPARELLI¹⁵. En effet, ses deux insuffisances les plus graves consistaient dans l'incapacité à rendre compte de l'inégalité des saisons, et dans l'écart très grand entre les trajectoires observées pour Mars, Vénus et Mercure, et celle que le modèle eudoxéen déduisait pour chacun de ces astres, ainsi que pour la lune.

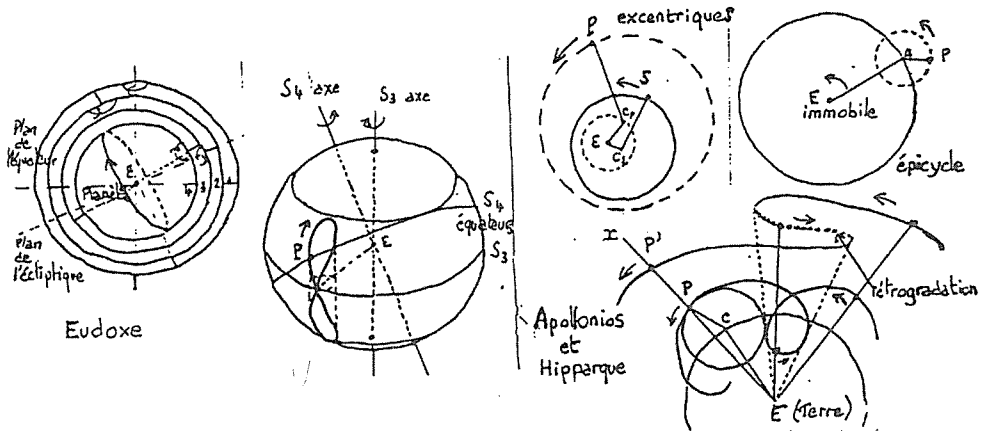
D'autres théories géométriques¹⁶ se sont alors développées en concurrence avec le modèle des sphères homocentriques. L'excentricité de la trajectoire solaire, par rapport à la Terre, permettait d'expliquer plus facilement l'*anomalie* ou irrégularité des saisons. Le recours à des trajectoires épicycloïdales, pour les différentes planètes, et en particulier, à des épicycles se déplaçant circulairement autour du Soleil, pour Vénus et Mercure, permettait de mieux "sauver" les apparences observées, et d'en rendre compte plus fidèlement.

¹³ Cf Théon, *o.c.*, trad. cit., ch. 26 p. 269.

¹⁴ Voir Simplicius, *Commentaire à la Physique (II 193b) d'Aristote*, suite de la traduction de G. AUJAC, p.113, citée plus haut.

¹⁵ Cf. G. SCHIAPARELLI, *Le sfere omocentiche di Eudosso, di Callippo e di Aristotele*, Milano 1875, pp. 24 à 36.

¹⁶ On peut considérer que ces théories géométriques ont pris naissance, comme celles d'Eudoxe, à l'Académie, et en attribuer les premières ébauches à Héraclide du Pont. Même si l'hypothèse héliocentrique n'est vraiment mise au point que plus tardivement par Aristarque de Samos, et si la complexité des trajectoires épicycloïdales et excentriques est étudiée plus systématiquement par Apollonius de Perge et par Hipparque (aux II^e et III^e siècles avant notre ère), on s'aperçoit bien qu'il s'agit de modèles et d'hypothèses géométriques concurrents ou éventuellement complémentaires, destinés à corriger les imperfections du modèle eudoxéen des sphères homocentriques.



c) soutenir ces hypothèses par une "intuition mécanique", sinon une manipulation

Les difficultés n'ont pu que surgir alors, à partir du moment où l'on cherchait à mettre en oeuvre effectivement, par la construction de maquettes de bois ou de métal, les intuitions mécaniques ou géométriques concurrentes. Si au III^e siècle avant notre ère, Archimède a jugé bon d'écrire un traité de sphéropée, c'est que cette construction était problématique, et que sa puissante intelligence mécanique lui permettait de proposer de géniales solutions, dont témoigne encore, deux siècles plus tard, à l'époque de Cicéron, une merveilleuse sphère armillaire rapportée avec le butin du siège de Syracuse¹⁷. On peut certes considérer, comme Théon, le modèle Eudoxéen, amélioré par Callippe, puis par Aristote, comme "plus physique", parce qu'on y parle de sphères homocentriques (plutôt que de cercles), s'entraînant les unes les autres, s'accéléralant et se ralentissant mutuellement en fonction de l'inclinaison de leurs axes, ainsi que de leurs vitesses et leurs sens de rotation; mais cela ne signifie nullement que ces dispositifs aient été effectivement réalisés dès le IV^e siècle avant notre ère, et pas simplement conçus géométriquement. Au contraire, Théon peut se vanter, lui, d'avoir réussi cette prouesse: une sphéropée mécanique platonicienne tenant compte à la fois du modèle des sphères homocentriques, et de celui des trajectoires excentriques et épicycloïdales.

L'intuition mécanique des anciens astronomes soutiendrait alors une démarche purement hypothétique et intellectuelle, portant sur des combinaisons de mouvements certes, et pas seulement des rapports de distances, de vitesses, ou d'angles, d'arcs de circonférences et de segments de droites¹⁸. Mais le recours à la manipulation est loin d'être évident car il nous est très difficile d'imaginer que les quarante-sept ou les cinquante-cinq sphères d'Aristote ont un jour été construites, l'idée même d'une construction qui vérifierait la pertinence de l'hypothèse ou simplement sa "faisabilité" ne se rencontrant d'ailleurs pas dans les textes.

Par contre, nous avons été étonnée, en parcourant *Du visage qui apparaît sur le disque lunaire* de Plutarque, de découvrir une page assez extraordinaire, illustrant ce que nous avons appelé "intuition mécanique". On y sent bien comment celle-ci permet de lutter contre la panique superstitieuse, mais ne peut suffire à fonder un savoir scientifique ou technologique¹⁹.

¹⁷ Cf. Cicéron, *De republica*, II 4.

¹⁸ Voir par exemple la démonstration archimédienne des propriétés géométriques de la spirale, courbe mécanique type, construite par la combinaison de deux mouvements. Cf. *Sur les Spirales* II 44-46, éd. HEIBERG; Voir I. THOMAS, *Greek Mathematical Work* II p. 182 et suiv.

¹⁹ Cf. Plutarque, *De la face qui apparaît dedans le rond de la Lune*, trad. AMYOT, pp. 919-920, Paris 1606.

"Pharnacès... a pitié de ceux qui sont à plomb au dessous du cours de la Lune, comme les Ethiopiens et ceux de la Trapobane, de peur qu'un si pesant fardeau ne tombe sur eux: et toutefois il y a le mouvement de la Lune qui engarde qu'elle ne tombe, et la violence de la révolution, ne plus ne moins que les pierres et cailloux, et tout ce qu'on met dedans une fronde, sont empêchés de tomber, parce qu'on les tourne violemment en rond. Car chaque corps se meut selon son mouvement naturel, s'il n'y a autre cause qui l'en détourne. C'est pourquoi la Lune ne se meut point selon le mouvement de sa pesanteur, étant son inclinaison déboutée et empêchée par la violence de la révolution circulaire. A l'avanture y auroit-il plus de raison de s'esbahir qu'elle demeurast totalement ferme sans se remuer, ne plus ne moins que la Terre..."

Mais l'hypothèse audacieuse que Newton exploitera avec génie, est ici seulement émise sur le mode de la conversation libre entre philosophes cultivés et maniant volontiers le paradoxe. Son efficacité est grande pour lutter contre la superstition, toutefois, c'est la liberté de parole du philosophe qui lui donne cette puissance, et non la démarche rationnelle de l'astronome, lequel préfère d'ailleurs s'en remettre, nous l'avons vu, au philosophe de la nature pour le fondement ou la garantie de ses hypothèses. Il nous reste donc, comme Plutarque un peu plus loin dans le texte, à faire appel à... Théon!

III - EN QUOI LE RECOURS A LA MANIPULATION MECANIQUE FAIT-IL DIFFICULTE?

L'originalité du projet de Théon nous semble être précisément de prendre en charge complètement le problème de la validation de la meilleure hypothèse. Par l'exigence d'une méthode plus physique ou naturelle, nous avons vu qu'il cherchait surtout à dépasser les querelles d'écoles entre mathématiciens partisans des épicycles, des excentriques, ou bien des sphères. Mais il s'agissait aussi pour lui de fonder l'hypothèse la meilleure, en se situant par rapport aux différends entre philosophes empiristes et nominalistes, pour qui les trajectoires proposées par les géomètres pour les astres sont des êtres géométriques incorporels incapables de "porter" les énormes et immenses corps célestes¹, et les philosophes rationalistes pour qui les principes de l'unité et de l'homocentricité doivent rester inviolés, mais qui sont pourtant en litige entre eux, concernant l'apparence ou la réalité d'un mouvement contraire pour les astres², ou comme nous l'avons déjà évoqué, à propos du mouvement et du repos relatifs de la Terre et de la sphère céleste.

a) Le projet de conciliation entre les diverses hypothèses se limite de lui-même

Après un long chapitre de théorie géométrique dans lequel Théon développe en ordre, à propos du Soleil, les propriétés de la solution des excentriques et de celle des épicycles, puis triomphant, l'équivalence réversible des deux hypothèses, on le voit interrompre rapidement une tentative similaire pour rendre compte du mouvement planétaire, et délibérément s'engager dans l'explication "physique" du déplacement des planètes. Or, ce que finalement il nous propose au chapitres 31 et 32, c'est une solution technique qui s'efforce de concilier les hypothèses des cercles épicycles, des cercles excentriques, et celle des sphères homocentriques.

Nous avouons avoir quelque difficulté à comprendre la raison pour laquelle les historiens déprécient ou dévalorisent ce résultat vanté par Théon. Voici par exemple ce qu'écrit T. HEATH: *"la prétention que le livre contient des choses utiles à la lecture de Platon ne doit pas être prise trop au sérieux"*³; en effet, on y trouve la description d'un système dans lequel des sphères portantes appelées creuses ont entre elles des sphères solides qui, par leur propre mouvement, entraînent ces sphères portantes dans la direction contraire du fait de leur contact avec elles. *"Ces sphères solides (qui portent la planète fixée en un point de leur surface) jouent pratiquement le même rôle que des épicycles"*. Or, dans les deux hypothèses concernant la disposition et le mouvement de Vénus et de Mercure par rapport au soleil, *"on reconnaît, par comparaison avec Chalcidius, (après avoir éliminé les épicycles importés par erreur dans les deux systèmes) les hypothèses de Platon et d'Héraclide respectivement."*⁴

P. DUHEM parle d'Adraste et de Théon comme d'habiles artisans pour qui la possibilité de réaliser en bois ou en métal, *"avec des sphères solides, convenablement emboîtées, un mécanisme qui représentât les mouvements célestes"* suffisait pour reconnaître la conformité d'une hypothèse astronomique avec la nature des choses⁵. Et, G. SCHIAPARELLI de son côté, constate que *"le système de la sphère solide est une dérivation du système homocentrique"*, système complètement abandonné à partir du moment où l'on admet un seul mouvement excentrique par rapport au centre du monde. Et donc, *"les sphères solides, plus qu'une filiation des doctrines d'Eudoxe, sont un travestissement de la doctrine des épicycles"*⁶.

Mais revenons tout simplement au texte de Théon. A la fin du passage où les dispositifs d'Eudoxe de Callippe et d'Aristote sont présentés, Théon décrit en quelques lignes

¹ Cf. Théon, *o. c.*, ch. 31, trad. J. DUPUIS, p. 289.

² *Ibidem*, ch. 18, p. 241.

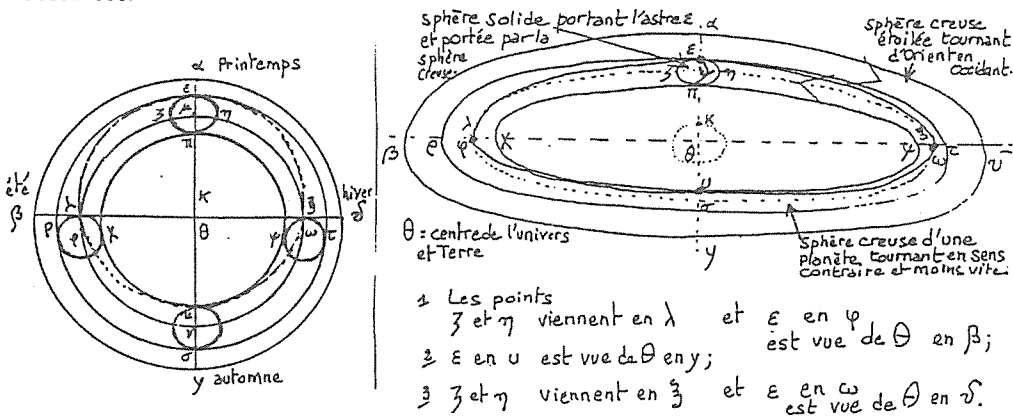
³ Cf T. HEATH, *Greek Astronomy II*, p. 239.

⁴ *Ibid.*, p. 244.

⁵ Cf. P. DUHEM, *Système du monde II* pp. 81-82.

⁶ Cf. G. SCHIAPARELLI, *o. c.*, p. 52.

les rouages complexes d'une machine céleste avec cylindres, tambours, et roues dentées⁷ qui fait penser aux fameux différentiels du calendrier astronomique d'Anticythère décrit par DEREK DE SOLLA PRICE⁸. Quand on réalise la complexité technique de l'appareil reconstitué par les chercheurs, on conçoit que Théon ne soit pas peu fier de son travail, et cherche à faire partager à d'autres le plaisir qu'il a eu à le construire ou à le faire construire. C'est la raison pour laquelle, au chapitre juste suivant, il nous propose une figure "mode d'emploi", sur laquelle il invite le lecteur à suivre la suite de son exposé. Cette figure est présentée projetée dans le plan, mais représente un dispositif dans l'espace que nous avons essayé de visualiser par un schéma en perspective dont nous voudrions qu'il fasse plus clairement apparaître les trois exigences excentrique de la planète dans l'espace zodiacal, et homocentricité du déplacement du centre de la sphère solide, à l'intérieur de la deuxième sphère creuse. On voit bien alors comment l'hypothèse de l'homocentricité bénéficie d'une préférence, pour des raisons physiques et mécaniques fondamentales, doublées sans aucun doute de l'exigence pédagogique incontournable consistant à produire un résultat le plus conforme possible aux apparences observées.



Or, précisément, Théon a dit, à la fin du chapitre 32, que "ce ne sont pas même des cercles (ni des sphères) que les planètes paraissent décrire, mais des hélices"; et un peu plus loin, il trouve utile de préciser que le mouvement hélicoïdal est accessoire et second, car, "c'est le mouvement selon l'obliquité (du zodiaque) dont il faut dire qu'il se produit le premier"⁹. Que veut-il dire exactement?

b) Les erreurs et les apories des mathématiciens résultent de leur manque de maîtrise de la "physiologie"

Le souci de rendre compte techniquement de la formation seconde des hélices planétaires, mais aussi physiquement (*phusicôs*), ou conformément à la philosophie de la nature, est particulièrement sensible dans le dernier chapitre du traité. Il convient, selon nous, de le relire à la lumière des reproches adressés par Théon à tous ceux, mathématiciens, astronomes ou philosophes, auxquels il manque une certaine maîtrise de la physiologie¹⁰. Ce reproche touche, en tout premier chef, les Chaldéens et les Egyptiens dont les méthodes et d'observation et de description, fondées sur des principes différents¹¹, pèchent néanmoins

⁷ Ibidem, ch. 31: "De même que dans des sphères artificielles, les tympans roulant autour de leurs axes peuvent de leur propre mouvement, et à l'aide de dents faire mouvoir et rouler en sens contraire des corps adjacents et en contact." (trad. J. DUPUIS, p. 290).

⁸ DEREK DE SOLLA PRICE, "Gears from the Greeks", *American Philosophical Society*, vol. 64 part 7, 1974.

⁹ Théon, trad. cit., ch. 41, p. 325.

¹⁰ Ibid., ch. 30, p. 287.

¹¹ A savoir des méthodes arithmétiques pour les Chaldéens, et des méthodes graphiques pour les Egyptiens.

l'une l'autre par manque de vue d'ensemble et de cohérence explicative, avantages que, selon Théon, la sphéropée mécanique apporte justement.

Platon lui-même introduit souvent la confusion en parlant indifféremment de cercles ou de sphères, ou encore d'axes en lieu de pôles¹², ce qui est, cette fois, plutôt un manque d'exactitude scientifique. Or la sphéropée, en réalisant matériellement le dispositif de combinaison de mouvements, permet de différencier sans difficulté les trajectoires circulaires sur ou dans les sphères supports. Elle montre aussi clairement comment les pôles de chacune des sphères sont à la fois fixés dans une certaine inclinaison, et entraînés dans leur mouvement régulier grâce aux tiges sans doute métalliques¹³ qui matérialisent leurs axes.

Quant à Hipparque, auquel Théon se réfère très souvent, et qui est comme sa meilleure référence scientifique, la confusion dans laquelle il est tombé et qui dénote un manque de maîtrise de la "*phusiologia*", consiste à ne pas avoir su clairement distinguer ce qui est conforme à la nature, *kata phusin*, de ce qui est *kata sumbebèkos*. On traduit traditionnellement cette expression grecque, dans les écrits d'Aristote en particulier, par l'expression "par accident". Mais cela semble difficile dans le contexte du traité de Théon. En effet, c'est aussi l'expression qu'il emploie pour opposer le mouvement non premier des hélices, par rapport au mouvement fondamental du zodiaque. Nous serions tentée par la suggestion de P. DUHEM qui propose le sens de "résultat de la composition d'autres mouvements"¹⁴.

Toutefois, la relecture du chapitre 43¹⁵ où l'expression est employée avec insistance pour qualifier les hélices décrites par les planètes fait apparaître qu'une traduction uniquement géométrique ou plutôt mécanique courrait le risque de réduire ou rétrécir le sens. En effet, il nous est précisé que la considération d'hélices, décrites perpendiculairement aux cercles tropicaux et équatorial par les planètes à travers la zone zodiacale, ne doit pas nous cacher une autre hélice, parallèle aux cercles célestes, et correspondant à la course sans fin des astres selon l'obliquité du zodiaque, montant et descendant d'un tropique à l'autre indéfiniment. Les figures qui accompagnaient ce texte ont disparu. Cette "autre hélice" a intrigué quelques historiens des sciences qui se sont passionnés à la fin du siècle dernier et au début de ce siècle pour y reconnaître ou non la fameuse hippopède d'Eudoxe. Les arguments de G. SCHIAPARELLI qui exclut magistralement cette interprétation¹⁶ nous semblent assez convaincants, d'autant que Théon fait lui-même allusion à une telle courbe ailleurs dans le traité, en la plaçant sur le même plan que les épicycles, les excentriques, ou les hélices, comme une sorte de trajectoire parmi les autres propositions des géomètres¹⁷. Il s'agit ici d'une hélice qu'on nous invite à "concevoir" et à "découvrir"¹⁸ par un effort d'imagination tout intellectuel, certes soutenu par des représentations géométriques, et sans nul doute aussi par la sphéropée mécanique, actionnée avec habileté.

Aussi l'hypothèse avancée par le savant italien d'une divagation de philosophe ne nous semble-t-elle pas non plus très pertinente, à moins qu'il entende par là une intuition mécanique du type de celle que nous avons vue à l'oeuvre dans l'écrit de Plutarque. Il nous semble plutôt que nous sommes en présence ici d'une tentative épistémologique intéressante, qui consiste à chercher à rendre compte scientifiquement d'une telle intuition de philosophe de la nature, car la course hélicoïdale du Soleil a été évoquée par plusieurs savants présocratiques et stoïciens¹⁹. En effet ce passage témoigne aussi d'un certain usage technique de la projection, avant les écrits théoriques et l'effort de systématisation de Ptolémée, et l'on peut dire que l'autre hélice est décrite comme le résultat d'une transformation projective. Tout le problème nous paraît tenir alors dans le fait que le procédé employé pour faciliter la conception ou la représentation de l'autre hélice, décrite elle aussi *kata sumbebèkos*, est donné à la manière d'une recette presque

¹² Ibid. ch.34, p.305

¹³ Cf. DUHEM, Le Système du monde II, pp. 81-82.

¹⁴ Ibid. II, p. 84 note 3

¹⁵ Pour une étude détaillée de ce chapitre, nous renvoyons aux actes du Colloque Inter-IREM épistémologie et Histoire des mathématiques qui s'est tenu en 1992 à BREST: *Histoire d'infinis* (à paraître).

¹⁶ Cf G. SCHIAPARELLI, "Le sfere omocentriche di Eudosso, di Callippo e di Aristotele", Milano 1875, p. 24 à 35.

¹⁷ Voir ch. 41 où il est question de lignes semblables à la course sinuée d'un cheval" (trad. J. DUPUIS).

¹⁸ Cf. Théon, *o.c.*, ch 43, p.330.

¹⁹ Voir en particulier Anaxagore de Démocrite, ainsi que le stoïcien Cléanthe.

magique, sans justification ni effort d'explication, comme une évidence ou une révélation initiatique, ce qui n'est d'ailleurs pas sans rapport avec la situation d'Er le Pamphilien placé face à la superbe vision de la fin de la *République* de Platon. Ce rapport qu'entretient le profane ou l'ignorant avec le merveilleux sacré, ou avec le savoir ainsi révélé n'est qu'incident (*épeisodiôdès*) ou co-incident (*sumbebêkos*), comme les trajectoires hélicoïdales des planètes²⁰ par rapport au mouvement premier selon l'obliquité zodiacale.

c) En quoi consiste exactement la "physiologia" dont Théon prétend indirectement ne pas manquer

Le terme de *physiologia* est employé par Aristote au sens d'"enquête sur les causes naturelles et les phénomènes"²¹. Toutefois, la connotation épicurienne de cette "enquête" ne nous semble pas anodine, d'autant que nous avons déjà remarqué plus haut avec quelle malice Théon attribuait à Hipparque la remarque aux mathématiciens: que des hypothèses concurrentes pour expliquer le mouvement des astres se révèlent finalement équivalentes quant à l'accord avec les phénomènes. En effet, Epicure, dans la *Lettre à Pythoclès*, insiste sur la pluralité et l'équivalence des explications scientifiques auxquelles nous devons avoir la sagesse de demander essentiellement de nous prémunir contre l'angoisse et la superstition, rôle attribué aussi par Platon, dans le *Timée*, aux maquettes automates des astronomes.

Nous avons cru déceler deux usages différents de la manipulation mécanique par Théon: un usage expérimental pourrait-on dire, et un usage heuristique. Dans le premier cas, il s'agit de valider une hypothèse explicative par combinaisons de mouvements en proposant une réalisation matérielle de ces combinaisons qui permette d'en contrôler à la fois la cohérence et la conformité aux phénomènes observables. Dans le second cas, on utilise la réalisation matérielle déjà réalisée, et correspondant à l'hypothèse choisie, pour "montrer", "faire découvrir", aider à "concevoir", un phénomène très difficile, sinon impossible à observer directement. L'instrument acquiert alors une puissance d'investigation scientifique, par l'aide à la conceptualisation qu'il permet, et par la démarche de type paradigmatique²² dont il facilite la mise en place. Or cette démarche, si elle est caractéristique d'une investigation méthodique, est aussi parfaitement adaptée à un apprentissage progressif. Ainsi pouvons-nous découvrir comment la seule finalité avouée, et avouable par un philosophe, pour un tel dispositif technique sera son efficacité pédagogique. Il montre, il aide à concevoir et à imaginer, il permet toutes les décompositions de mouvements en en contrôlant les étapes intermédiaires. Il peut donc servir de support et de guide pour une relecture des textes de Platon, dont l'ambiguïté et le caractère volontiers allusif ne sont un secret pour personne.

Quant à Théon, présenté dans le titre même de son ouvrage comme un philosophe platonicien, nous avons pensé un certain temps pouvoir l'inscrire dans la tradition d'astronomes stoïciens, comme Gémînus et Cléomède, commentateurs des écrits de Posidonius²³. Or, il semble surtout avoir en commun avec eux la conviction empiriste que des concepts scientifiques complexes peuvent se former à partir de situations quotidiennes ou de manipulations simples²⁴; mais cette conviction était, si nous en croyons le témoignage de Diogène Laërce, doxographe du III^e siècle environ, aussi partagée par les philosophes épicuriens²⁵. Aussi sommes-nous plus

²⁰ Cf. Théon, o.c., ch. 41, p.324.

²¹ Voir LSJ p. 1964. La référence à Aristote concerne l'étude des plantes; toutes les références avec un sens général sont par contre épicuriennes et stoïciennes.

²² Voir le *Politique de Platon*, pp. 277b-278d, pour une ébauche de théorisation de cette démarche, dans le contexte précisément du mythe cosmologique de ce grand dialogue.

²³ Posidonius d'Apamée, le grand savant stoïcien de la fin du II^e siècle avant notre ère, n'est cité qu'une fois dans l'ouvrage de Théon, et en tout cas, pas dans le livre sur l'Astronomie.

²⁴ Cf. par exemple la manière dont Sextus Empiricus rapporte, dans son traité *Contre les géomètres*, la formation de la représentation compréhensive de longueur sans largeur à partir de l'étirement d'un fil très étroit (par.51-52). Ce passage est traduit par J.P. DUMONT, dans "Mos geometricus, mos physicus", in *La Logique des stoïciens*, ed. J. BRUNSCHWIG, Paris 1978.

²⁵ Cf. Diogène Laërce, *Vies, doctrines et sentences des philosophes illustres*, trad. R. GENAILLE, livre VII p. 68 et livre X p. 225, une même phrase est répétée exactement pour expliquer la formation des concepts dans les

indécise sur le classement de cet auteur, de toute évidence très informé des théories et enseignements de son époque. La philosophie de la nature ou *phusiolgia* qu'il défend dans son traité d'astronomie est en fait une sorte d'éclectisme scientifique teinté de néoplatisme²⁶.

Ainsi, le livre de Théon sur l'astronomie se révèle être, pour peu qu'on veuille bien le relire scrupuleusement, un précieux commentaire des écrits cosmologiques de Platon, mais aussi un remarquable exemple de recours à la fois expérimental et heuristique à la construction mécanique. Nous pouvons certes dire que la pensée qu'il développe s'y auto-limite et se stérilise en quelque sorte, en s'inscrivant dans une finalité essentiellement pédagogique, plutôt que dans un véritable projet d'enquête scientifique au sens moderne.

Ce n'est pourtant pas le moindre des intérêts de ce traité, qu'une certaine indépendance de pensée par rapport même à Platon, à la lecture duquel il prétend introduire, et dont il critique l'absence de rigueur dans l'emploi des termes, ou le statut de réalité accordé au mouvement contraire. Certes, H. STIERLIN a longuement démontré²⁷ que "*l'unique moteur de la débauche d'efforts technologiques et scientifiques* (dans la construction en particulier d'instruments cosmologiques monumentaux) *était la curiosité des puissants face à l'avenir*", et que "*l'astrologie constitue le mobile profond des progrès de la technique antique*". Il semble bien difficile de remettre en cause la plupart de ses arguments. "*Pour engager des frais artisanaux considérables*", nous dit-il, la seule curiosité devant le fonctionnement de la mécanique céleste, pas plus que le besoin d'appuyer son exposé sur un support clair et manifeste, éprouvés par un philosophe ou un astronome, ne sont des "*motivations suffisantes*"²⁸. ET SI THÉON, AVEC SA SPHÉROPÉE PLATONICIENNE AVAIT VOULU DÉMONTRER LE CONTRAIRE?

Nous avons peu de renseignements sur le statut social et les ressources des enseignants et des chercheurs de l'antiquité, mais ils semblent avoir plutôt été de riches notables, suffisamment nantis ou protégés par la qualité reconnue de leurs travaux, pour ne pas craindre quelque dépense exceptionnelle. Aussi l'explication des historiens n'est-elle pas si "*courte*"²⁹, selon nous, qui admet le caractère pédagogique ou de démonstration de certains des instruments cosmologiques de l'antiquité. Elle peut même se justifier, encore une fois, pour des raisons de philosophie très épicurienne: le sage ne pouvant trouver l'absence de trouble et le bonheur, ni dans la recherche ou la fréquentation du pouvoir, ni dans la connaissance insensée de futurs contingents, a besoin néanmoins d'explications rationnelles et cohérentes, concernant les phénomènes célestes en particulier, pour se prémunir contre l'angoisse et la peur superstitieuse.

deux écoles philosophiques rivales. Nous avons étudié en 1969 dans notre mémoire de maîtrise sur "La théorie de la connaissance des stoïciens et des épicuriens" ce "parallèle" très intéressant.

²⁶ Quelques rapprochements avec des auteurs comme Galien, Plotin, Proclus, en particulier concernant l'emploi de l'expression "*kata sumbebêkos*", nous entraînent dans ce sens.

²⁷ Cf. H. STIERLIN, *L'astrologie et le pouvoir - De Platon à Newton*, Paris 1986. Voir aussi in *Astronomie et sciences humaines*, n°8, Strasbourg 1993, l'article intitulé "Le développement de la mécanique antique sous l'impulsion de l'astrologie", p. 17 à 32.

²⁸ *Ibid.* p. 30.

²⁹ *Ibid.* p. 30