

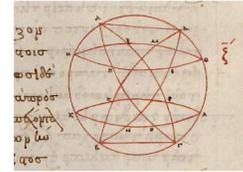
0 La théorie des sphères

Ah l'astronomie grecque ! Il serait facile de la résumer au seul nom de Ptolémée. Sa « Composition Mathématique », rebaptisée *Almageste* par les Arabes, a dominé la pensée européenne jusqu'à la révolution copernicienne. Ptolémée vivait au second siècle de notre ère, quatre siècles après Archimède, huit siècles après Thalès. Il n'a jamais prétendu que son manuel était entièrement original, et il y cite abondamment ses prédécesseurs. Mais voilà, l'histoire est ainsi faite, qu'il est plus facile de se souvenir de Ptolémée que de tous ceux qui ont fait l'astronomie avant lui.

histoires d'astronomie

La théorie des sphères

astronomie grecque avant Ptolémée



hist-math.fr

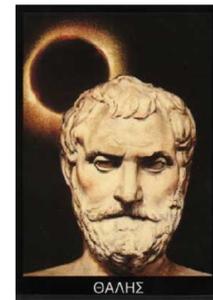
Bernard YCART

1 Thalès de Milet (ca 625–547 av. J.-C.)

À commencer par le premier de tous, Thalès. D'après Diogène Laërce, qui n'est que rarement fiable, on raconte qu'un soir, sortant de la maison, conduit par une vieille femme, il tomba dans un creux pendant qu'il regardait les étoiles ; et que s'étant plaint de cet accident, la vieille lui dit : « Comment pouvez-vous, Thalès, espérer voir et comprendre ce qui est au ciel, vous qui n'apercevez pas ce qui est à vos pieds ? »

De fait, on ignore ce que Thalès comprenait de ce qui est au ciel. Et surtout, on ignore s'il était allé au-delà de la connaissance des Babyloniens et des Égyptiens dont il avait certainement hérité. L'illustration que vous voyez rappelle un de ses exploits les plus célèbres, avoir prédit une éclipse. Écoutez le récit d'Hérodote.

Thalès de Milet (ca 625–547 av. J.-C.)



2 Thalès de Milet avait prédit ce changement

« Il y eut une espèce de combat nocturne : car le jour se changea tout à coup en nuit, pendant que les deux armées en étaient aux mains. Thalès de Milet avait prédit aux Ioniens ce changement, et il en avait fixé le temps en l'année où il s'opéra. Les Lydiens et les Mèdes, voyant que la nuit avait pris la place du jour, cessèrent le combat, et n'en furent que plus empressés à faire la paix. »

Thalès de Milet avait prédit ce changement

Hérodote (ca 495–420 av. J.-C.) Histoire, Livre I, chapitre LXXIV

Il y eut une espèce de combat nocturne : car le jour se changea tout à coup en nuit, pendant que les deux armées en étaient aux mains. Thalès de Milet avait prédit aux Ioniens ce changement, et il en avait fixé le temps en l'année où il s'opéra. Les Lydiens et les Mèdes, voyant que la nuit avait pris la place du jour, cessèrent le combat, et n'en furent que plus empressés à faire la paix.

3 Éclipse de Thalès (28 mai 585 av. J.-C.)

Il y a eu de longues discussions pour savoir si ce récit est réellement historique, et si oui, de quelle éclipse il s'agissait. Un certain consensus semble s'être dégagé pour convenir que Thalès avait effectivement prédit l'éclipse du 28 mai 585 avant notre ère, dont vous voyez une magnifique photographie d'époque.

Comme je vous l'ai montré ailleurs, l'exploit n'était que relatif : cela faisait sans doute plusieurs siècles que les Mésopotamiens avaient remarqué le cycle de 223 mois synodiques, ou Saros, et en avaient déduit leur méthode de prédiction des éclipses.

La première victoire astronomique spécifiquement grecque semble être la sphéricité de la Terre. À propos, vous allez devoir oublier tous ceux qui vous diront que jusqu'à Christophe Colomb, on a cru que la Terre était plate. Quant aux platistes qui le croient encore...

Éclipse de Thalès (28 mai 585 av. J.-C.)

Thalès de Milet (ca 625-547 av. J.-C.)



4 La Terre est sensiblement de forme sphérique

Bref, Ptolémée ne laisse pas l'ombre d'un doute sur le sujet et liste l'ensemble des arguments qui prouvent que la Terre est bien ronde et non pas plate. Cela faisait longtemps que personne n'en doutait. Les premiers à l'avoir affirmé sont probablement les Pythagoriciens, et je vais vous en montrer la première démonstration rigoureuse, celle d'Aristote, au quatrième siècle avant notre ère.

La Terre est sensiblement de forme sphérique

Claude Ptolémée (ca 85-165) Composition Mathématique, Chapitre III

CHAPITRE III.

LA TERRE EST SENSIBLEMENT DE FORME SPHÉRIQUE DANS L'ENSEMBLE DE TOUTES SES PARTIES.

POUR concevoir que la terre est sensiblement de forme sphérique, il suffit d'observer, que le soleil, la lune et les autres astres ne se lèvent et ne se couchent pas pour tous les habitans de la terre à-la-fois, mais d'abord pour ceux qui sont à l'orient, ensuite pour ceux qui sont à l'oc-

5 Oresme, Manuscrit BNF Fr. 565

Je ne me lasse pas de ce magnifique manuscrit. C'est la première version française du Traité du Ciel et du Monde d'Aristote. La traduction est de Nicole Oresme en personne. Vous le voyez ici offrant son livre à Charles V qui lui avait commandé cette traduction. La partie droite de l'image ne laisse pas de doute sur la forme de la Terre. Voici le passage où Aristote donne son argument principal. Je triche un peu : c'est une traduction plus moderne que celle d'Oresme.

Oresme, Manuscrit BNF Fr. 565

Aristote (384-322 av. J.-C.) Du ciel et du monde



6 les éclipses de Lune ne fussent point ainsi

« On peut encore démontrer la sphéricité de la Terre par les phénomènes qui frappent nos sens. Ainsi, si l'on supposait que la Terre n'est pas sphérique, les éclipses de Lune ne présenteraient pas les sections qu'elles présentent, dans l'état actuel des choses ; car la Lune, dans ses transformations mensuelles, affecte toutes les divisions possibles, tantôt demi-pleine, tantôt en croissant, tantôt pleine aux trois quarts ; mais dans les éclipses, la ligne qui la termine est toujours courbe. Par conséquent, comme la Lune ne s'éclipse que par l'interposition de la Terre, il faut bien que ce soit la circonférence de la Terre, qui, étant sphérique, soit la cause de cette forme et de cette apparence. »

les éclipses de Lune ne fussent point ainsi

Aristote, Du ciel et du monde, Livre II chapitre XIV



7 terram esse globosam

Dix-neuf siècles plus tard, Peter Apian trouve encore que l'observation des éclipses est la meilleure démonstration du fait que la Terre est un globe. Il se contente de substituer un schéma à la démonstration d'Aristote.

Donc la Terre est une sphère. Mais alors quelle est sa taille ? Aristote a une réponse qui montre que déjà de son temps le problème n'était pas nouveau.

terram esse globosam

Peter Apian, Cosmographia (1540)



8 quarante fois dix mille stades

« Les mathématiciens qui ont essayé de mesurer les dimensions de la circonférence, la portent à quarante fois dix mille stades. C'est d'après ces preuves péremptoires qu'on est nécessairement amené à penser que non seulement la masse de la Terre est de forme sphérique, mais encore que cette masse n'est pas fort grande comparativement à celle des autres astres. »

Quatre cent mille stades, l'estimation est environ deux fois supérieure à la réalité. Mais peu importe. Le fait de concevoir une telle mesure était déjà un exploit. La mesure un peu précise la plus ancienne, est celle d'Ératosthène, qui était un contemporain d'Archimède. Le texte d'Ératosthène est perdu, mais sa méthode a été décrite par un auteur postérieur, Cléomède. En voici quelques extraits.

quarante fois dix mille stades

Aristote, Du ciel et du monde, Livre II chapitre XIV

Les mathématiciens qui ont essayé de mesurer les dimensions de la circonférence, la portent à quarante fois dix mille stades. C'est d'après ces preuves péremptoires qu'on est nécessairement amené à penser que non seulement la masse de la Terre est de forme sphérique, mais encore que cette masse n'est pas fort grande comparativement à celle des autres astres.

9 Syène et Alexandrie sont sous le même méridien

« Qu'il soit admis pour nous, premièrement que Syène et Alexandrie sont établies sous le méridien, deuxièmement que la distance entre les deux cités est de 5000 stades, troisièmement que les rayons envoyés de différents endroits du Soleil sur différents endroits de la Terre sont parallèles.

[...] Syène est située sous le tropique de l'été. Lorsque donc, le Soleil étant dans la constellation du cancer, faisant exactement le solstice d'été est au milieu du ciel, les gnomons des cadrans solaires sont nécessairement sans ombres. »

Syène et Alexandrie sont sous le même méridien

Ératosthène (276-194 av. J.-C.)

Qu'il soit admis pour nous, premièrement que Syène et Alexandrie sont établies sous le méridien, deuxièmement que la distance entre les deux cités est de 5000 stades, troisièmement que les rayons envoyés de différents endroits du Soleil sur différents endroits de la Terre sont parallèles.

[...] Syène est située sous le tropique de l'été. Lorsque donc, le Soleil étant dans la constellation du cancer, faisant exactement le solstice d'été est au milieu du ciel, les gnomons des cadrans solaires sont nécessairement sans ombres.

10 la distance qui va de Syène à Alexandrie

« À Alexandrie à cette heure-là, les gnomons des cadrans solaires projettent une ombre, puisque cette ville est située davantage vers le nord que Syène.

[...] Il se trouve que l'arc du cadran est la cinquantième partie de son propre cercle. Il faut donc nécessairement que la distance qui va de Syène à Alexandrie soit la cinquantième partie du plus grand cercle de la Terre. Et elle est de 5000 stades. Le cercle dans sa totalité fait donc 250 000 stades. »

Beaucoup d'encre a coulé sur la précision de ce calcul. Déjà, Alexandrie et Syène, de nos jours Assouan, ne sont pas exactement sur le même méridien. Ensuite la distance de Syène à Alexandrie n'a pas pu être mesurée très précisément. De plus, les historiens ne sont pas vraiment d'accord sur la valeur exacte du stade. Mais tout de même, l'exploit était de taille.

11 Posidonios (135–51 av. J.-C.)

Pour vous dire le fond de ma pensée, tous ces bustes de Grecs en marbre se ressemblent un peu, et je n'ai aucune confiance en leur authenticité. Mais je n'ai pas mieux à vous offrir. Bref ; celui-ci est sensé représenter Posidonios, un philosophe stoïcien du premier siècle avant notre ère. En plus d'avoir eu Cicéron comme auditeur dans ses cours de philosophie, il est aussi l'auteur d'une mesure de la Terre, à base de triangles semblables, au fond assez proche dans l'esprit de celle d'Eratosthène.

12 Visée de Canopus à Rhodes et Alexandrie

L'étoile Canopus est la seconde plus brillante après Sirius. Il se trouve qu'elle est à peine visible au-dessus de l'horizon à Rhodes, tandis qu'à Alexandrie, qui est plus au sud, elle atteint un angle que l'on peut mesurer.

Cet angle, noté ϕ sur la figure, est donc égal à la différence de latitudes entre les deux villes. Il suffit de connaître leur distance pour en déduire la circonférence de la Terre ; ce que Posidonios a fait avec une précision d'autant meilleure qu'il avait surestimé de beaucoup, à la fois l'angle et la distance.

Mais revenons deux ou trois siècles en arrière, pour comprendre ce qui a provoqué la géométrisation de l'astronomie.

la distance qui va de Syène à Alexandrie

Eratosthène (276–194 av. J.-C.)

À Alexandrie à cette heure-là, les gnomons des cadrans solaires projettent une ombre, puisque cette ville est située davantage vers le nord que Syène.

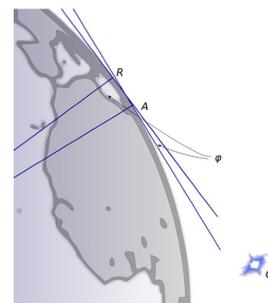
[...] Il se trouve que l'arc du cadran est la cinquantième partie de son propre cercle. Il faut donc nécessairement que la distance qui va de Syène à Alexandrie soit la cinquantième partie du plus grand cercle de la Terre. Et elle est de 5000 stades. Le cercle dans sa totalité fait donc 250 000 stades.

Posidonios (135–51 av. J.-C.)



Visée de Canopus à Rhodes et Alexandrie

Posidonios (135–51 av. J.-C.)



13 Platon (ca 428–348 av. J.-C.) La République

Je vous ai déjà raconté le rôle qu'a joué Platon dans la définition du quadrivium, qui allait dominer la pédagogie des mathématiques pendant pratiquement deux millénaires. Le quadrivium ce sont les quatre voies, les quatre composantes des mathématiques : l'arithmétique, la géométrie, la musique qui est l'arithmétique dans le temps, et l'astronomie qui est la géométrie du mouvement. Écoutez-le fixer le programme de recherche des siècles futurs, dans le livre sept de La République.

Platon (ca 428–348 av. J.-C.) La République

Pesellino, Arismetica Geometria Musica Astronomia (ca. 1450)



14 Platon (ca 428–348 av. J.-C.) La République, Livre VII

« Le véritable astronome, ne crois-tu pas qu'il éprouvera le même sentiment en considérant les mouvements des astres ? Il pensera que le ciel et ce qu'il renferme ont été disposés par leur créateur avec toute la beauté qu'on peut mettre en de pareils ouvrages. »

Platon (ca 428–348 av. J.-C.) La République, Livre VII

Dieu Géomètre ; codex Vindobonensis 2554 (ca 1220)



15 Nous étudierons l'astronomie comme la géométrie

« Nous étudierons l'astronomie comme la géométrie, à l'aide de problèmes, et nous laisserons les phénomènes du ciel, si nous voulons saisir vraiment cette science, et rendre utile la partie intelligente de notre âme, d'inutile qu'elle était auparavant. »

C'est un programme radical que préconise Platon : laisser les phénomènes du ciel, c'est oublier les observations, pour ne plus considérer que des objets géométriques. Pour réaliser cela, le premier objet géométrique qui s'offre à l'astronomie abstraite est la sphère.

Nous étudierons l'astronomie comme la géométrie

Platon (ca 428–348 av. J.-C.) La République, Livre VII

Nous étudierons l'astronomie comme la géométrie, à l'aide de problèmes, et nous laisserons les phénomènes du ciel, si nous voulons saisir vraiment cette science, et rendre utile la partie intelligente de notre âme, d'inutile qu'elle était auparavant.

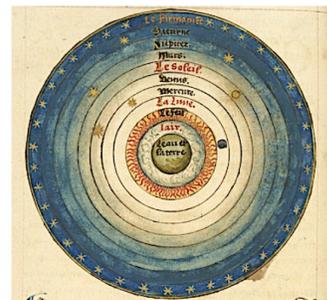
16 Sphère céleste

La vision de la Terre au centre de la sphère des étoiles fixes remonterait à Anaximandre, entre Thalès et Pythagore.

Mais voir les astres comme posés sur une sphère dont le centre est la Terre, ne suffit pas à rendre compte de leurs mouvements.

Sphère céleste

Oronce Fine (1494–1555) La Sphère du Monde (1549)



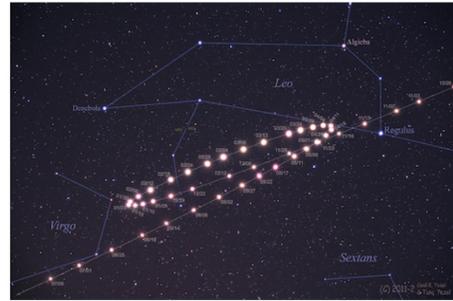
17 Mouvement rétrograde de Mars

Or si le mouvement des étoiles fixes, du Soleil et de la Lune correspond bien à l'idée intuitive de mouvement circulaire uniforme, il n'en est pas de même des cinq planètes, que l'on qualifiait d'astres errants à cause de leur mouvement apparemment irrégulier.

D'après les témoignages postérieurs, Platon aurait explicitement incité ses élèves à appliquer son idéal de mathématisation de la nature, en expliquant le mouvement des planètes.

Mouvement rétrograde de Mars

Tunç Tezel (2011)



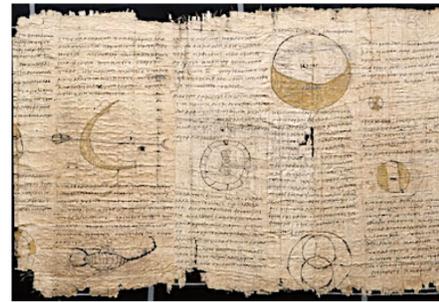
18 Eudoxe de Cnide (ca 390–337 av. J.-C.)

Eudoxe de Cnide était contemporain de Platon. Il est l'auteur de la théorie des proportions et de la méthode d'exhaustion. C'est aussi lui qui a élaboré la toute première théorie astronomique.

Ceci est le texte le plus ancien qui nous soit parvenu de lui. Il est intitulé « L'Art d'Eudoxe », mais son authenticité est douteuse.

Eudoxe de Cnide (ca 390–337 av. J.-C.)

Papyrus astronomique d'Eudoxe (II^e siècle av. J.-C.)



19 Théorie des sphères d'Eudoxe

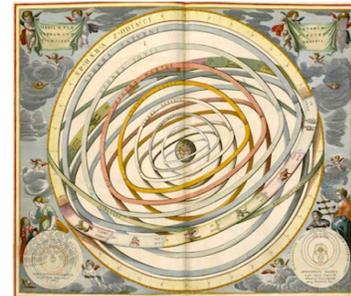
Pour Eudoxe, les planètes sont fixées chacune à une sphère. Cette sphère est en rotation à l'intérieur d'une autre, elle même en rotation à l'intérieur d'une troisième. C'est un peu comme le dispositif que nous appelons « suspension de Cardan », qui est en fait bien antérieur à Cardan.

Il est évident qu'en se donnant autant de degrés de liberté, on peut rendre compte de n'importe quel mouvement apparent, mais en déduire un modèle quantitatif est une autre paire de manches.

Écoutez plutôt Aristote, qui a connu Eudoxe.

Théorie des sphères d'Eudoxe

Eudoxe de Cnide (ca 390-337 av. J.-C.)



20 Eudoxe a cru

« Eudoxe a cru que le Soleil et la Lune faisaient chacun leur révolution dans trois sphères distinctes. La première de ces sphères, selon lui, est celle des étoiles fixes ; la seconde est celle qui passe par le milieu du zodiaque ; et la troisième, celle qui se dirige obliquement dans la largeur du zodiaque. »

Eudoxe a cru

Aristote (384–322 av. J.-C.) Métaphysique, Livre XII

Eudoxe a cru que le Soleil et la Lune faisaient chacun leur révolution dans **trois sphères distinctes**. La première de ces sphères, selon lui, est celle des étoiles fixes ; la seconde est celle qui passe par le milieu du zodiaque ; et la troisième, celle qui se dirige obliquement dans la largeur du zodiaque.

21 l'une est la sphère des étoiles fixes

« Quant aux planètes, Eudoxe leur assignait à chacune quatre sphères. De ces quatre sphères, la première et la seconde étaient les mêmes que pour la Lune et le Soleil ; car, l'une est la sphère des étoiles fixes, qui emporte, selon Eudoxe, toutes les sphères sans exception ; et l'autre est la sphère placée au-dessous de celle-là, et qui, avant son mouvement par le milieu du zodiaque, est commune à toutes. Quant à la troisième sphère, elle a ses pôles sur la ligne qui passe par le milieu du zodiaque. La quatrième, enfin, a son mouvement et ses cercles obliques sur le milieu de la troisième. »

Si je ne me suis pas trompé dans le compte, cela fait tout de même quatorze sphères. Les successeurs d'Eudoxe ont trouvé des explications plus simples.

22 Épicycles et excentriques

En fait deux explications plus simples. L'une, celle des épicycles, consiste à dire que les planètes tournent sur un petit cercle, lui-même en rotation autour d'un cercle plus grand. L'autre consiste à excentrer le cercle de rotation par rapport à la Terre. On ne sait pas grand chose sur l'apparition de ces deux théories. Celle des épicycles pourrait être due à Apollonius, ce qui au vu de la première loi de Kepler semble plutôt paradoxal, de la part du grand spécialiste des ellipses qu'il était.

Il semble aussi que l'on se soit rendu compte assez tôt que non seulement les deux théories pouvaient être combinées, mais qu'elles étaient en un sens équivalentes. Écoutez ce qu'en dit Théon de Smyrne dans son « Exposition des connaissances utiles pour la lecture de Platon ». Son témoignage est d'autant plus intéressant qu'il est antérieur à l'Almageste de Ptolémée.

23 les apparences seront expliquées

« À quelque hypothèse que l'on s'arrête, les apparences seront expliquées ; c'est pour cela qu'on peut considérer comme vaines les discussions des mathématiciens qui disent que les planètes ne sont emportées que sur des cercles excentriques, ou sur des épicycles, ou autour du même centre que la sphère étoilée. »

Pourtant il semble que ce soit Ptolémée qui ait poussé le plus loin l'aspect quantitatif du modèle. Il l'a traduit en un algorithme de calcul qui fournissait des prédictions suffisantes. Enfin suffisantes... jusqu'à ce que les progrès de l'observation ne fassent apparaître ses failles, quatorze siècles après Ptolémée tout de même.

Une autre théorie avait été proposée par Aristarque, qui vivait environ un demi-siècle avant Archimède. Son texte est perdu, mais écoutez ce qu'en dit Archimède.

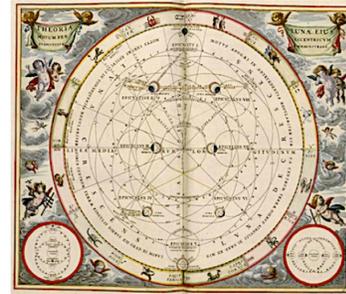
l'une est la sphère des étoiles fixes

Aristote (384-322 av. J.-C.) Métaphysique, Livre XII

Quant aux planètes, Eudoxe leur assignait à chacune quatre sphères. De ces quatre sphères, la première et la seconde étaient les mêmes que pour la Lune et le Soleil ; car, l'une est la sphère des étoiles fixes, qui emporte, selon Eudoxe, toutes les sphères sans exception ; et l'autre est la sphère placée au-dessous de celle-là, et qui, avant son mouvement par le milieu du zodiaque, est commune à toutes. Quant à la troisième sphère, elle a ses pôles sur la ligne qui passe par le milieu du zodiaque. La quatrième, enfin, a son mouvement et ses cercles obliques sur le milieu de la troisième.

Épicycles et excentriques

Cellarius, Macrocosmica (1661)



les apparences seront expliquées

Théon de Smyrne, Connaissances nécessaires pour la lecture de Platon (ca 130)

À quelque hypothèse que l'on s'arrête, les apparences seront expliquées ; c'est pour cela qu'on peut considérer comme vaines les discussions des mathématiciens qui disent que les planètes ne sont emportées que sur des cercles excentriques, ou sur des épicycles, ou autour du même centre que la sphère étoilée.

24 Aristarque de Samos (ca 310–230 av. J.-C.)

« [Aristarque] suppose en effet que les étoiles fixes et le Soleil restent immobiles, que la Terre tourne autour du Soleil sur une circonférence de cercle, le Soleil occupant le centre de cette trajectoire, et que la sphère des fixes, qui s'étend autour du même centre que le Soleil, a une grandeur telle que le rapport du cercle, sur lequel il suppose que la Terre tourne, à la distance des étoiles fixes est comparable au rapport du centre de la sphère à sa surface. »

Pff! Franchement, la Terre qui tourne autour du Soleil! Quelle idée! Personne n'y a cru. Peut-être même pas Aristarque lui-même, qui n'y fait aucune allusion dans un autre traité qui, lui, est conservé.

25 Sur les grandeurs et les distances du Soleil et de la Lune

C'est un « Traité sur les grandeurs et les distances du Soleil et de la Lune ». Je vous en lis un petit extrait.

« Proposition VIII : La distance à laquelle le Soleil se trouve de la Terre est plus grande dix-huit fois, mais moindre de vingt fois que celle à laquelle la Lune se trouve de la Terre.

Soit en effet A le centre du Soleil, et B le centre de la Terre; que la ligne AB , qui joint ces deux centres, soit prolongée; que le centre de la Lune, dans sa dichotomie, soit C . »

La figure 6 qui accompagne cette proposition 8, est celle que vous voyez.

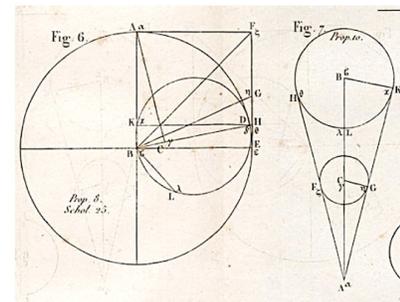
Aristarque de Samos (ca 310–230 av. J.-C.)

Archimède (274–212 av. J.-C.) L'Arénaire

[Aristarque] suppose en effet que les étoiles fixes et le Soleil restent immobiles, que la Terre tourne autour du Soleil sur une circonférence de cercle, le Soleil occupant le centre de cette trajectoire, et que la sphère des fixes, qui s'étend autour du même centre que le Soleil, a une grandeur telle que le rapport du cercle, sur lequel il suppose que la Terre tourne, à la distance des étoiles fixes est comparable au rapport du centre de la sphère à sa surface.

Sur les grandeurs et les distances du Soleil et de la Lune

Aristarque de Samos (ca 310–230 av. J.-C.)



26 Sur les grandeurs et les distances du Soleil et de la Lune

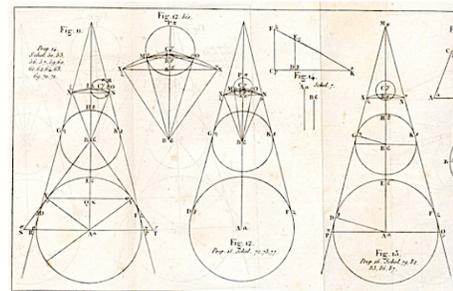
Plus loin on lit encore :

« Proposition XV : Si l'on tire une ligne droite du centre de la Terre au centre de la Lune, cette ligne sera avec la ligne droite prise sur l'axe, entre celle qui soutend l'arc du cercle contenu dans l'ombre de la Terre et le centre de la Lune, en plus grande proportion que 675 à 1. »

Ce qui frappe dans cette rédaction, et qui tranche radicalement avec Aristote par exemple, c'est le style euclidien, avec ses propositions et ses démonstrations. Euclide était à peine plus ancien qu'Aristarque, et lui-même a joué un rôle dans le mouvement de géométrisation de l'astronomie initié par Platon.

Sur les grandeurs et les distances du Soleil et de la Lune

Aristarque de Samos (ca 310–230 av. J.-C.)



27 Euclide (ca 325–265 av. J.-C.) Phénomènes

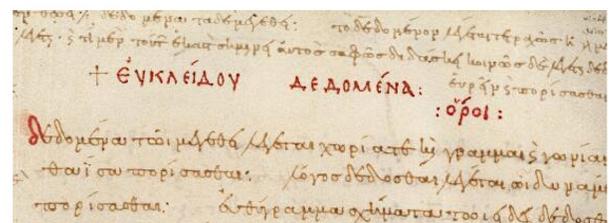
Indépendamment de ses Éléments, Euclide a écrit un traité d'Astronomie axé sur la géométrie de la sphère : les Phénomènes. Vous en voyez ici le titre dans un manuscrit byzantin du dixième siècle. Je vous lis la Proposition 1.

« La Terre est au milieu du cosmos et occupe la position de centre par rapport au cosmos. »

Évidemment, Euclide en va pas laisser une proposition sans en donner une démonstration détaillée. Celle-ci repose sur un cercle vicieux, une fois n'est pas coutume. Les autres propositions sont des résultats parfaitement rigoureux de géométrie sphérique.

Euclide (ca 325–265 av. J.-C.) Phénomènes

Biblioteca Apostolica Vaticana, manuscrit Gr. 204



28 Théorème des cercles tangents

Par exemple celui-ci, dit théorème des cercles tangents. Il affirme que, étant donné un point P entre deux cercles parallèles égaux sur la sphère, il est possible de tracer deux grands cercles tangents aux cercles parallèles et passant par ce point P .

Je le reconnais, ce n'est pas évident sur la figure. Mais c'est de la géométrie : vous pouvez faire confiance à Euclide !

29 Cercles parallèles

Utilisant les cercles tangents et parallèles, Euclide détermine les temps de levés héliques des différents signes. La Proposition 8, qui est illustrée par cette figure, dit : « Les signes se lèvent et se couchent dans des segments inégaux de l'horizon. Ceux qui sont à l'équateur dans les segments les plus longs, ensuite de plus en plus courts jusqu'à ceux du tropique. Les signes équidistants de l'équateur se lèvent et se couchent dans des segments de l'horizon égaux.

Des segments plus longs ou égaux, peut-être, mais Euclide n'introduit rien de quantitatif, rien qui permette de calculer les longueurs des segments dont il parle. Pour cela il lui manque un ingrédient essentiel, qui sera introduit après lui, probablement par Hipparque, et utilisé par Ptolémée : la trigonométrie.

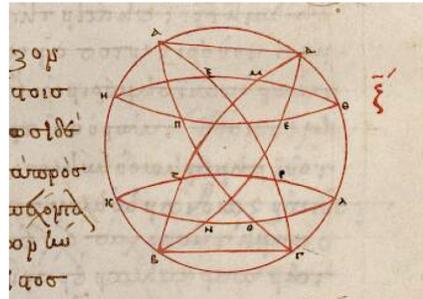
Je sens qu'il va me falloir encore une ou deux histoires entières pour vous en parler !

30 références

Finalement, la recette pour devenir aussi célèbre que Ptolémée, c'est de prendre tout ce que les autres ont fait avant, d'en faire un manuel de cours, et d'attendre qu'il soit recopié. Mouais, pas sûr que ça marche de nos jours : vous voulez essayer ?

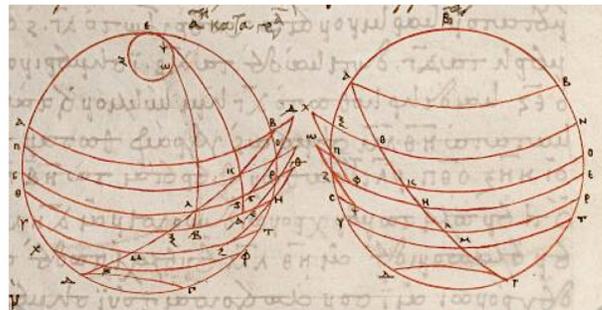
Théorème des cercles tangents

Euclide (ca 325-265 av. J.-C.) Phénomènes, manuscrit Vat. Gr. 204



Cercles parallèles

Euclide (ca 325-265 av. J.-C.) Phénomènes, manuscrit Vat. Gr. 204



références

- A. Aaboe (2001) *Episodes from the early history of astronomy*, New York : Springer
- G. Aujac (1993) *La sphère, instrument au service de la découverte du monde*, Caen : Paradigme
- L. Blanche (1968) L'éclipse de Thalès et ses problèmes, *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 158, 153-199
- A. C. Bowen, B. R. Goldstein (1991) Hipparchus' treatment of early Greek astronomy : the case of Eudoxus and the length of daytime, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 135(2), 233-254
- J. L. Berggren, R. S. D. Thomas (1996) *Euclid's Phenomena*, American Mathematical Society
- M. Gabriel (1988) La théorie des sphères homocentriques : la première théorie scientifique, *Ciel et Terre*, 104, 87-90