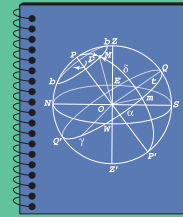


LE SYSTÈME DE PTOLÉMÉE

Louis CAMPION

Le système de Ptolémée, élaboré à partir des travaux d'Hipparque, a dominé la pensée astronomique pendant près de 17 siècles. Bien que l'héliocentrisme ait été proposé par Aristarque dès le III^{ème} siècle av. J.-C., la vision géocentrique d'Aristote — avec la Terre immobile au centre de l'Univers — a prévalu, notamment à cause de son adéquation apparente aux observations. Hipparque introduisit des notions précises comme la trigonométrie, la précession des équinoxes et un catalogue d'étoiles. Ptolémée, reprenant ces travaux, formalisa le système dans L'Almageste, fondé sur des épicycles, déferents et excentriques pour rendre compte des mouvements complexes des planètes. Ce système, bien que faux, était suffisamment efficace pour prédire les positions des astres. Il persista malgré ses limites, jusqu'à ce que Copernic propose une vision héliocentrique, confirmée par les observations de Galilée à l'aide de la lunette astronomique. Les travaux de Kepler (lois des orbites) et de Newton (loi de la gravitation) vinrent définitivement asseoir le modèle moderne. Le système de Ptolémée reste un témoignage remarquable d'ingéniosité fondée sur les connaissances de l'époque.



N° 16

LE SYSTÈME DE PTOLÉMÉE

Louis CAMPION



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES

Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports
35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23
Internet : www.san.asso.fr - E-mail : san@san-fr.com



Les Cahiers de la SAN

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

LE SYSTÈME DE PTOLÉMÉE

Louis CAMPION

Capitaine au long cours

Édition 2011

Il avait également observé les quatre premiers satellites de Jupiter qui tournaient régulièrement tout en étant entraînés par Jupiter elle-même, l'argument ❷ ci-dessus était démolé.

De plus, en observant Vénus, il y reconnut tout un cycle de phases allant du croissant au disque entièrement éclairé. Nous avons vu que dans le Système de PTOLÉMÉE, Vénus tournant entre Terre et Soleil sur son épicycle ne peut présenter que des phases obscures (deux à chaque révolution) et des croissants. Au contraire, si elle présente un disque totalement éclairé c'est qu'elle se trouve au-delà du Soleil par rapport à nous, et donc qu'elle tourne autour de lui. L'argument ❸ était démolé.

GALILÉE tenait la preuve irréfutable scientifiquement que COPERNIC avait vu juste, il l'enseigna avec tous les risques que cela comportait. On le lui fit bien voir !

Par la suite KEPLER trouva les lois qui régissent les mouvements des planètes, mais sans considération de masses et de distances.

Ce fut NEWTON³ qui découvrit la loi générale qui règle tout ce ballet céleste en une relation très simple fonction des masses des corps en mouvement et de leurs distances :

$$F = k.m \frac{m'}{d^2}$$

Nous sommes loin d'HIPPARQUE et de PTOLÉMÉE ; mais rendons gloire cependant à ces précurseurs, qui essayèrent avec les connaissances et les croyances d'il y a 2000 ans de rendre compte des apparences célestes. Ils n'expliquaient rien, mais avaient imaginé un système qui se tenait et avec lequel les astronomes (et astrologues) purent prévoir les mouvements et positions des astres du système solaire pendant près de deux millénaires, ce qui n'était en somme pas si mal que cela.

© Société d'Astronomie de Nantes, 1998

Les « **Cahiers de la SAN** » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.

35, boulevard Louis-Millet
44300 NANTES

Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : san@san-fr.com

© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit,
sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

³ Voir Christian SCOTTA, *Isaac Newton*, « Les Cahiers de la SAN n° 29 »

1616 (il y resta jusqu'en 1835).

Les griefs contre COPERNIC ne manquaient pas à l'époque :

- ❶ Les corps célestes étaient réputés sphériques et sans défauts, seule la Terre avait des reliefs puisqu'elle était différente des autres.

Si la Terre n'est pas au centre du monde et qu'elle est ramenée au rang de planète ordinaire, il n'y a aucune raison pour que les autres planètes ne lui ressemblent pas ; or, en vertu de la perfection des corps célestes cela n'était pas possible. Une preuve : sur la Lune on verrait le relief, et comme on ne le voit pas...

- ❷ Si la Terre tournait autour du Soleil, la Lune qui tourne autour d'elle serait animée de deux mouvements à la fois, chose tenue pour impossible à l'époque.

- ❸ Si Vénus tournait autour du Soleil, on devrait lui voir des phases comme à la Lune, depuis le disque obscur, jusqu'au disque pleinement éclairé puis retour au disque obscur. Phénomène que l'on n'avait jamais observé. Pour PTOLÉMÉE, Vénus ne pouvait montrer que des croissants.

Et combien d'autres griefs encore !

Enfin GALILÉE vint !

Il vécut après COPERNIC, naquit 20 ans après la mort de ce dernier et mourut 100 ans après lui, mais les idées n'allaient pas vite en ce temps-là et les thèses de COPERNIC étaient combattues avec vigueur. L'ancien système était universellement enseigné.

Une des grandes inventions qui fit faire un bond de géant à l'astronomie après le XVII^e siècle, on ne le dira jamais assez, fut l'invention de la lunette. En 1609, au début de juillet, GALILÉE s'en construisit une. Partisan de COPERNIC sans oser vouloir l'enseigner, voilà que subitement en 1610 il se met à diffuser avec zèle les thèses de celui-ci, zèle qui le conduira devant le Tribunal de l'Inquisition avec tous les tracasseries et les soucis que l'on sait.

Que s'était-il donc passé chez GALILÉE entre 1609 et 1610 ?

Avec sa lunette, il avait vu des montagnes, des vallées, des cratères sur la Lune, l'argument ❶ ci-dessus était démolé.

LE SYSTÈME DE PTOLÉMÉE

Je me suis très souvent posé la question de savoir comment, des lois et principes qui nous paraissent élémentaires aujourd'hui, ont pu rester pendant si longtemps méconnus et insoupçonnés des savants.

Le système solaire par exemple a eu au cours de l'histoire bon nombre d'explications plus ou moins poétiques, élégantes ou fantaisistes. Le trait marquant a été la durée étonnante et la permanence sans faille du système dit de PTOLÉMÉE, système vicieux qui intégrait des données fausses au départ et qui eut la faveur des hommes de science depuis HIPPARQUE (vers -140) jusqu'à COPERNIC en 1543 (et encore !), soit 17 siècles.

Nous allons tenter de comprendre ce système et de voir pourquoi il a persisté si longtemps.

On sera encore plus étonné si l'on sait qu'à l'aube de l'astronomie grecque, ARISTARQUE DE SAMOS qui vécut de -310 à -230 avait conçu une hypothèse héliocentrique pour expliquer les mouvements des planètes.

Il fut le premier à imaginer le Soleil comme une étoile fixe au centre du système planétaire et fit circuler la Terre en un an autour de lui.

Partant de cette hypothèse audacieuse mais juste, l'humanité aurait pu construire un édifice solide et cohérent qui aurait

permis de découvrir les lois de Kepler¹ plus de 15 siècles en avance. Mais les précurseurs ont toujours tort d'avoir raison trop tôt !

Le monde à cette époque n'était pas prêt à accueillir une telle théorie baigné qu'il était dans celle d'ARISTOTE qui venait de publier son ouvrage d'astronomie : « *De coelo* ».

Le système d'ARISTOTE (-384, -322) est un système de sphères tournant les unes dans les autres et sur lesquelles sont fixés les astres : planètes, Soleil, Lune et étoiles.

La Terre était au centre du système qui répondait pleinement aux préoccupations de l'époque.

Le prestige d'ARISTOTE couvrit le génie d'ARISTARQUE, d'autant plus que celui-ci faisant transiter ses astres sur des orbites circulaires ne pouvait rendre compte des nombreuses irrégularités déjà découvertes à l'époque dans les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes.

Ce fut la faille, faille bien faible, de son système, mais qui lui valut d'être oublié pendant 18 siècles, jusqu'à COPERNIC.

Nous nous devons de rendre hommage à ce génie méconnu qui eut raison tout seul pendant près de 2000 ans.

Les derniers siècles avant notre ère virent l'activité scientifique grecque se développer. Des observateurs assidus, munis d'instruments précis, accumulèrent un grand nombre de données astronomiques.

Le système archaïque des sphères mobiles d'ARISTOTE ne répondait plus aux connaissances de l'époque (dernier siècle avant J.-C. et premier siècle après). Il fallait imaginer un autre système qui puisse rendre compte des mouvements et des irrégularités connus.

C'est alors qu'intervint l'*École d'Alexandrie* dont les grands noms sont HIPPARQUE et PTOLÉMÉE. Elle ne chercha pas à découvrir le pourquoi des choses, à donner une explication exacte du monde, elle se borna à exposer les phénomènes, elle conçut un système plus pratique que théorique : le système était viable,

¹ Voir Louis CAMPION, *Le système de Kepler*, « Les Cahiers de la SAN n° 24 »

d'éclat de Vénus, Mars et Jupiter, on fut amené à excentrer de plus en plus les déferents de ces planètes au point que leur centre arriva à être repoussé jusqu'au Soleil !

Le génie de COPERNIC fut, après avoir cherché dans les écrits des anciens si une autre théorie que celle de Ptolémée n'existait pas, d'avoir ressuscité ARISTARQUE et adopté sa théorie héliocentrique.

Et il fallait du génie et du courage pour braver les tabous de l'époque ! Tabous établis par des siècles et des siècles d'ignorance, de mysticisme, d'erreurs officielles.

À cette époque, une vérité scientifique ne s'appuyait pas sur des faits réels, tangibles, prouvés, mais sur la foi d'enseignements anciens, de principes philosophiques et religieux où le mystérieux régnait en maître :

- L'homme, merveille de la création créé à l'image de Dieu ne pouvait avoir été placé que sur l'astre central, autour duquel gravitaient tous les autres.
- L'énergie qui permettait aux astres de se mouvoir dans l'espace était fournie par des anges qui les poussaient.
- Les planètes allaient moins vite lorsqu'elles étaient éloignées du Soleil parce qu'elles y voyaient moins clair.
- Dans la Bible, la Terre a été créée avant le Soleil, la Lune et les étoiles, Josué arrêta le Soleil, etc., autant de preuves pour justifier le Système de PTOLÉMÉE.

Les autorités religieuses veillaient à la bonne préservation de l'orthodoxie scientifique qui ne pouvait pas être différente de l'orthodoxie religieuse (sinon à admettre que l'une des deux était fausse).

COPERNIC eut la prudence d'attendre la fin de sa vie pour proclamer sa théorie, son ouvrage « *De Revolutionibus Orbium Coelestium* » fut imprimé en 1543, l'année de sa mort.

Mais il avait donné un sacré coup de pied dans la fourmière !

Si des esprits éclairés de l'époque adoptèrent la théorie de COPERNIC, la science officielle et l'Église (qui la coiffait) accueillirent l'ouvrage avec méfiance et hostilité. Il fut mis à l'Index en

pour article de foi, que de nombreux abus furent commis en son nom, et c'est parce que des abus furent commis qu'il est peut-être raillé et caricaturé de nos jours.

Bien sûr, à mesure que des découvertes d'anomalies ou d'irrégularités avaient lieu, on en tenait compte dans le Système de PTOLÉMÉE, en ajoutant un petit cercle par-ci, un autre petit cercle par-là, on rafistolait la machine.

Mais à force de rafistolages, elle devint poussive, cahotante, et à l'époque de COPERNIC il fallait considérer soixante dix-neuf cercles emboîtés les uns dans les autres ; c'est cela qui mit le doute dans l'esprit de nombreux astronomes avertis, avant et jusqu'à COPERNIC.

Mais cet instrument pratique, d'une efficacité remarquable eut le mérite, qui rejaillit sur PTOLÉMÉE, d'avoir fait régner l'ordre en astronomie du II^e au XVI^e siècle. Ordre vicieux, mais mieux vaut ordre vicieux que pas d'ordre du tout.

Décadence et ruine du système

Les observations devenant de plus en plus précises avec les siècles qui passaient, nous avons vu que le système s'alourdissait par l'adjonction de nouveaux cercles et aussi par des modifications des rouages existants. Il fallait déplacer le centre de tel ou tel excentrique, modifier tel épicycle déjà existant. Bref, le système ne fut jamais définitif, mais constamment l'objet de retouches.

Le grand mérite de COPERNIC fut d'avoir mis en doute ce système et d'avoir cherché à expliquer le monde selon un autre mécanisme, ce qui à son époque était relativement risqué !

Ce sont les coïncidences nécessitées par le Système de PTOLÉMÉE qui choquèrent le chanoine de Frauenbourg :

- le centre de l'épicycle de Mercure et de Vénus devait rester aligné avec la droite Terre-Soleil,
- le rayon vecteur des épicycles de Mars, Jupiter et Saturne devait rester parallèle à la droite Terre-Soleil.

De plus, pour représenter avec précision les variations

voilà pourquoi il dura si longtemps et resta inattaqué pendant dix-sept siècles.

HIPPARQUE est le plus grand astronome de l'antiquité, il travailla à Rhodes entre -161 et -126. Il fit des observations très précises, il imagina un nouveau système de l'Univers à l'aide duquel il détermina certaines données avec une exactitude surprenante : par exemple, il donna pour durée du mois lunaire, 29 jours 12 heures 44 minutes 2,5 secondes, alors que la valeur adoptée actuellement est de 29 jours 12 heures 44 minutes 2,8 secondes ; il trouva celle de l'année sidérale de 365 jours 6 heures 10 minutes, au lieu de la valeur réelle 365 jours 6 heures 9 minutes 9,5 secondes.

Pour les besoins de ses calculs, il inventa la trigonométrie.

C'est lui qui introduisit l'usage babylonien de la division de la circonférence en 360 degrés, et du degré et de la minute en 60 parties.

Une nuit de -194, il fut stupéfait d'apercevoir une étoile éclatante briller là où la veille il n'y avait rien. Il venait de voir une *nova*.

Ses réflexions l'amènèrent à penser qu'il serait bien utile de confectionner un catalogue d'étoiles pour voir si de temps en temps ne surgissait pas une de ces éphémères.

Un catalogue d'étoiles, c'est une œuvre qui avait été ébauchée un siècle et demi auparavant par deux astronomes alexandrins, ARISTYLLE et TIMOCHARSIS, HIPPARQUE la reprit, la précisa, l'augmenta. Il considéra l'une après l'autre les principales étoiles, et, tout comme on situe un point à la surface du globe par sa latitude et sa longitude, il repéra la position de ces étoiles par leur latitude et leur longitude célestes. Son catalogue en contient 800.

En effectuant les observations nécessitées par l'établissement de ce catalogue, HIPPARQUE éprouva une autre surprise : comparant ses observations de l'étoile *Épi de la Vierge* avec celles d'ARISTYLLE et de TIMOCHARSIS, il constata une différence de longitude de un degré et demi.

– *Tiens*, se dit-il, *une erreur*.

Mais passant aux autres étoiles, il s'aperçut que toutes celles qu'avaient passées en revue ses prédécesseurs offraient la même différence de longitude.

– *Cela ne peut pas être une erreur*, réfléchit-il. *Il s'agit sûrement d'une véritable variation des longitudes célestes, au cours de ces 150 ans.*

L'origine de ce phénomène réside dans un léger balancement de l'axe de rotation de la Terre : c'est la *précession des équinoxes*² qui oblige l'extrémité de cet axe à décrire, en 26 000 ans, un petit cercle parmi les étoiles.

Entre les années 127 et 151 de notre ère, exerçait à Alexandrie, un savant continuateur d'HIPPARQUE, qui put bénéficier de 300 années d'observations après celui-ci : Claude PTOLÉMÉE. Il conserva la théorie de ce dernier concernant le système solaire. Il fit quelques découvertes en astronomie, en particulier l'inégalité du mouvement de la Lune appelé *l'évection*, il publia un catalogue de 1022 étoiles mais ce n'était pas un génie comme HIPPARQUE.

Par exemple, il attribua 28 350 km au tour de la Terre.

Connaissant la distance *A* des terres connues à l'époque, de l'Extrême-Orient aux îles Canaries, il échafauda un tableau des longitudes autour de la Terre où $360^\circ = 28\,350 \text{ km}$ au lieu de 40 000. Il assigna ainsi à la partie inconnue qui va de l'Ouest de l'Afrique à l'Extrême-Orient (les Indes de l'époque), par l'Ouest, une distance de : $28\,350 \text{ km} - A$ au lieu de $40\,000 - A$, soit une erreur en moins de $40\,000 - 28\,350 = 11\,650 \text{ km}$.

C'est parce qu'il était persuadé qu'il avait un trajet relativement court (amputé de ces 11 650 km soit environ 7 000 km au lieu de 18 650 km) que Christophe COLOMB s'engagea sur la route des Indes par l'Ouest... et qu'il découvrit l'Amérique.

Claude PTOLÉMÉE est surtout célèbre parce qu'il a publié un ouvrage scientifique « *La Syntaxe Mathématique* » qui est le plus ancien traité complet d'astronomie qui nous ait été conservé. Il a été écrit en grec en 130 puis traduit en arabe en 827. Il provoqua chez les savants arabes une telle admiration que l'on ne l'appela

² Voir Louis CAMPION, *La précession des équinoxes*, « Les Cahiers de la SAN n° 39 »

Pour Saturne dont la révolution dure 30 ans, on la fit tourner 30 fois sur son épicycle au cours d'une révolution.

Mars tournait plus vite.

Pour les planètes inférieures, Mercure et Vénus, qui vues de la Terre ne s'écartent pas beaucoup du Soleil, le centre *C* de l'épicycle restait aligné avec la Terre et le Soleil, et parcourait le déférent en un an. L'épicycle était parcouru en une révolution synodique de l'astre (Mercure 116 jours, Vénus 1 an 219 jours), et le rayon du cercle fonction de l'élongation maximum de chacun des deux astres (Mercure = 22° , Vénus = 46°). Le point le plus éloigné de la Terre s'appelait *l'apocentre*.

Pour les planètes supérieures, Mars, Jupiter et Saturne, que nous avons déjà rencontrées plus haut, redisons que *C* parcourt le déférent dans le temps mis par l'astre à faire le tour du ciel, mais précisons que pour tenir compte des moments corrects des rétrogradations et des stations, le rayon joignant *C* à l'astre (*CM* sur la figure 7) restait à chaque instant parallèle à la droite Terre-Soleil. En *A*, le mouvement paraît direct, en *A'*, il paraît rétrograde.

En résumé, l'épicycle rend compte du fait que la Terre tourne en réalité autour du Soleil.

Pour tenir compte de l'irrégularité du mouvement angulaire (et linéaire) résultant de la loi des aires, les planètes conservaient un mouvement uniforme, non par rapport au centre du déférent, mais par rapport au symétrique de la Terre par rapport à ce centre excentré ! Ce point s'appelait *l'équant*.

Excentrique, déférent, épicycle, équant, de bien jolis mots, mais que de complications !

Pourtant ce système qui fit l'admiration des savants arabes tenait debout, il permettait de calculer à l'avance les positions du Soleil et des planètes, de prédire les conjonctions d'étoiles, de planètes, etc., avec une certaine précision pour l'époque.

Le système était satisfaisant, il rendait compte de ce qui se passait dans le système solaire et il fut un bon outil de travail pendant des siècles.

Il ne prétendait sans doute pas vouloir expliquer l'Univers à l'origine, et c'est peut-être parce que 'bien plus tard' on le tint

Cas des planètes : Prenons une planète telle que Jupiter. Vue de la Terre, Jupiter semble parcourir le ciel en 12 ans, et c'est effectivement sa période de révolution (11 ans 315 jours). PTOLÉMÉE fait Jupiter se déplacer autour de la Terre sur un cercle en 12 ans. Le cercle le long duquel se déplace une planète (ou le Soleil) se nomme le **déférent** (qui porte).

Mais comme le mouvement apparent de Jupiter vu de la Terre : station, rétrogradation, etc. (voir figure 5), est une combinaison du mouvement réel des deux planètes en question, pendant les 12 ans que Jupiter emploie à faire sa révolution autour du Soleil, la Terre fera douze révolutions autour du même astre central.

Pour rendre compte de ce mouvement apparent de Jupiter, on imagina qu'elle se déplaçait non pas sur le déférent lui-même, mais sur un petit cercle dont le centre était sur le déférent qu'elle parcourait en 12 ans. Ce petit cercle parcouru dans le sens direct comme le déférent s'appelle l'**épicycle** (sur le cercle).

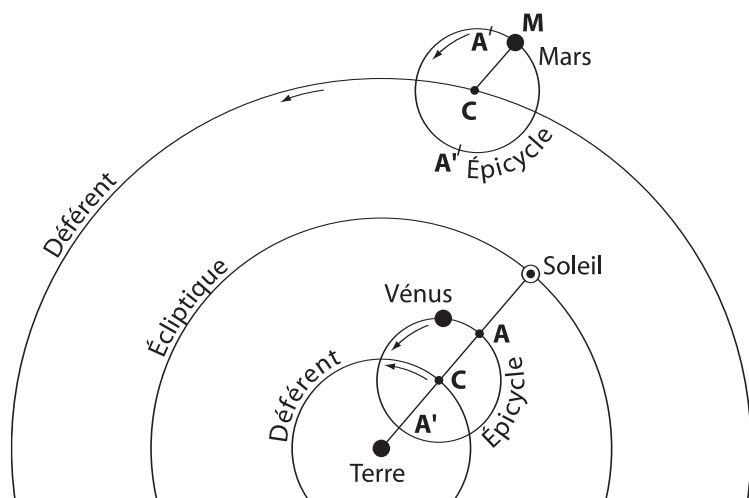


Figure 7

L'épicycle était parcouru 12 fois par Jupiter au cours d'une révolution de 12 ans.

plus que « *L'Almageste* » (en arabe : *Le Très Grand*).

L'Occident ne le connut qu'après sa traduction tardive en latin. Le surnom d'Almageste lui est resté et il fut révérenté en chrétienté comme un article de foi pendant huit siècles.

C'est dans cet Almageste qu'est exposé le système dit de PTOLÉMÉE (qui est plutôt celui d'HIPPARQUE) suivant lequel la Terre est fixe au centre de l'Univers et regarde tourner autour d'elle Soleil, Lune, planètes et étoiles.

C'est ce système que nous allons exposer.

En partant de nos connaissances actuelles (lois de KEPLER) et des apparences (maintenant expliquées), nous allons voir comment les anciens s'y étaient pris pour expliquer le mouvement des astres.

Voyons tout d'abord la réalité en énonçant les trois lois de KEPLER :

- 1 - Nature des orbites : *les planètes décrivent des orbites elliptiques dont le Soleil occupe l'un des foyers.*
- 2 - Loi des aires : *chaque planète se meut de telle façon que le rayon vecteur qui unit son centre à celui du Soleil balaie des aires égales dans des intervalles de temps égaux.*

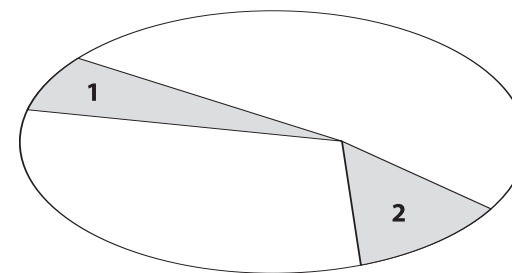


Figure 1

La loi des aires s'interprète sur la figure ci-dessus en disant que, si les aires grisées 1 et 2 sont parcourues dans des intervalles de temps égaux, elles sont égales entre elles. Les planètes ne se déplacent donc pas à vitesse angulaire constante.

3 - Loi harmonique : *les carrés des durées de révolution des planètes autour du Soleil sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites elliptiques.*

Cette dernière loi s'écrit : $\frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^2} = \text{Constante}$

En partant de ces lois, nous allons voir ce qui se passe dans la réalité, ce que les anciens avaient observé et remarqué, et comment ils ont résolu à leur façon le problème de la représentation du monde.

La 1^{ère} loi nous dit que les orbites des planètes sont des ellipses. Donc la Terre en tournant autour du Soleil qui occupe un des foyers de son orbite, sera à certains moments plus proche du Soleil qu'à d'autres. Le point le plus proche (situé sur le grand axe de l'ellipse du côté du foyer occupé par le Soleil) s'appelle le *périhélie*, le point le plus éloigné *l'aphélie*. Entre ces deux points, le périhélie situé à 147 millions de kilomètres et l'aphélie situé à 152 millions de kilomètres, la distance Terre-Soleil varie de 5 millions de kilomètres (soit 13 fois la distance Terre-Lune).

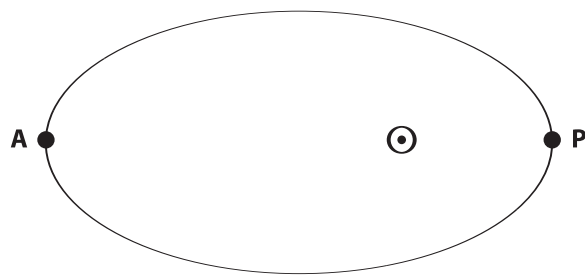


Figure 2

Quand la Terre (•) est en P, le Soleil (☉) paraît plus gros que lorsqu'elle est en A (l'orbite de la Terre a été exagérément aplatie).

Du fait de cette variation de distance, le diamètre apparent du Soleil vu de la Terre varie de 32'5 à 31'5, ce n'est pas beaucoup, mais les anciens l'avaient remarqué.

PTOLÉMÉE le reprit trois siècles plus tard en l'améliorant et en le publiant dans l'Almageste. Nous parlerons donc désormais du *Système de Ptolémée*.

Hypothèse de départ : la Terre est au centre du système et tous les mouvements sont circulaires uniformes.

Cas du Soleil : comme les apparences sont conservées si l'on fait tourner le Soleil autour de la Terre (relativité du mouvement), il n'y eut aucune difficulté pour les anciens à représenter le Soleil parcourant une orbite circulaire en 365 jours autour de la Terre.

Pour rendre la variation de distance entre périhélie et aphélie (variation apparente du diamètre solaire), Ptolémée fit tourner le Soleil autour d'un point excentré par rapport à la Terre.

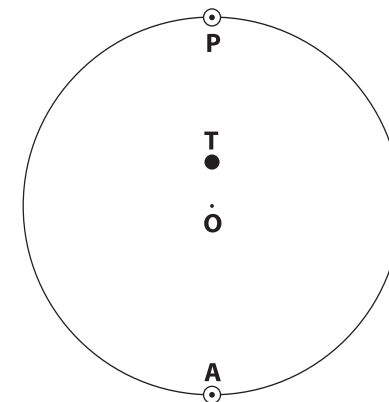


Figure 6

Le Soleil tournant autour d'un point O, excentré par rapport à la Terre T, paraît plus proche de la Terre en P et plus éloigné en A. La similitude avec la figure 2 est respectée dans les apparences.

Il fit de même avec la Lune et les autres planètes, qui tournaient chacune autour d'un point situé hors de la Terre.

C'est le système des *excentriques*, qui rend compte de l'ellipticité de l'orbite.

Mettons-nous à la place des observateurs de l'antiquité qui observaient ces ballets étranges : comment ne pas rester perplexe devant tant de fantaisie ? C'est pour cela qu'ils nommèrent ces astres « *planètes* » du grec : $\pi\lambda\alpha\nu\epsilon\tau\eta\zeta$ (planètes) = errant, car ce sont effectivement des « astres errants » (autre nom par lequel on désigne encore ces corps célestes).

Du fait de la 2^e loi de KEPLER, les vitesses de translation des planètes sur leur orbite sont fonction de leur distance au Soleil. Au périhélie elles se déplacent plus vite qu'à l'aphélie, d'où variation de la vitesse apparente de chaque astre selon qu'il est proche ou éloigné du Soleil sur sa propre trajectoire.

Que de complications ! Il y avait de quoi se perdre dans cet embrouillamini.

Ce fut à l'honneur d'HIPPARQUE d'avoir essayé de voir clair dans ce désordre et d'avoir essayé d'organiser et de représenter ce chaos apparent.

Nous replaçant dans le contexte de l'époque, il nous faut considérer les bases établies de l'astronomie, les croyances, les erreurs tenues pour incontestables vérités, en un mot les éléments (reconnus faux de nos jours) sur lesquels HIPPARQUE dut s'appuyer pour construire son édifice :

1 - La Terre était au centre de l'Univers et tous les autres astres tournaient autour d'elle.

Depuis HÉRACLIDE cependant (4^e siècle avant J.-C.) on faisait tourner la Terre sur elle-même en 24 heures. Mais, HIPPARQUE et PTOLÉMÉE ne croyaient pas en la rotation de la Terre.

2 - La sphère était reconnue comme la perfection des formes et le mouvement circulaire et uniforme comme seul digne de la perfection des corps célestes.

HIPPARQUE proposa un système à l'aide duquel il put mesurer et calculer de nombreux éléments tels que nous l'avons vu plus haut.

De même, le diamètre de la Lune varie pour la même raison entre 29'3 (à l'apogée) et 33'5 (au périhélie), les anciens l'avaient également remarqué.

Lorsque des planètes comme Vénus ou Mars se trouvent dans leur trajectoire autour de l'astre central, du même côté que la Terre, leur distance en est relativement réduite :

- entre la Terre et Vénus = 41,4 millions de kilomètres
- entre la Terre et Mars = 78,1 millions de kilomètres

alors que, lorsque ces astres sont à l'opposé de la Terre par rapport au Soleil, leurs distances à notre planète deviennent respectivement 257,8 millions de kilomètres pour Vénus et 377,3 millions de kilomètres pour Mars.

Ces déplacements amènent des variations de leurs diamètres apparents, (de 60"13 à 9"65 pour Vénus et de 17"87 à 3"71 pour Mars), ainsi que des variations dans leurs éclats selon leurs positions relatives par rapport au Soleil.

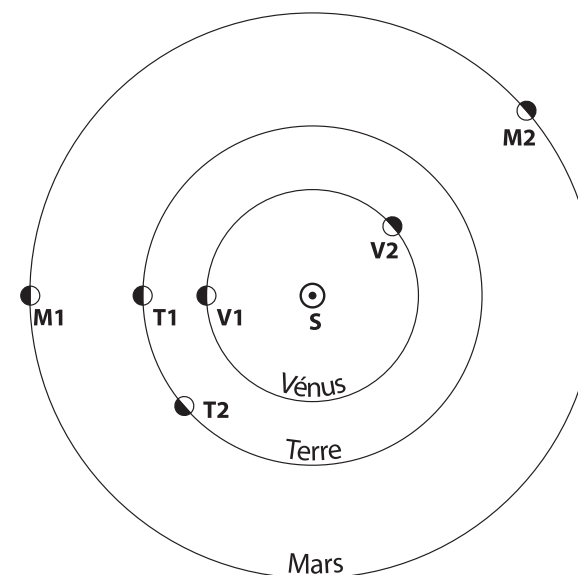


Figure 3

Dans la situation T1, M1, V1, on voit clairement que Mars et Vénus sont rapprochées de la Terre, mais si Mars brille de son plus bel éclat à ce moment, c'est là que l'on ne voit plus Vénus (entre la Terre et le Soleil). Dans la situation T2, M2, V2, Mars et Vénus sont au delà du Soleil, très éloignées de la Terre, Vénus est dans sa période de plus bel éclat mais celui de Mars est plus faible qu'en (1) car plus éloignée de nous. On n'a pas tenu compte du fait que le Soleil étant entre ces deux planètes et nous, il nous était pratiquement impossible de les voir ; mais légèrement décalées à gauche ou à droite du Soleil, la situation est la même que sur la figure 2.

Observations bien troublantes pour nos anciens qui cherchaient à organiser le monde autour de la Terre.

Les mouvements relatifs de la Terre et des autres planètes entraînent des perturbations dans la vitesse de déplacement apparente de celles-ci sur le champ des étoiles. Lorsque la Terre et la planète considérée vont en sens contraire l'une de l'autre, vue depuis la Terre, l'autre planète semble se déplacer plus rapidement. Si toutes les deux vont dans le même sens, nous voyons l'autre astre aller moins vite, parfois il nous semble s'arrêter puis rebrousser chemin, s'arrêter de nouveau et repartir dans le bon sens de plus en plus vite. On appelle ce phénomène la *rétrogradation* car au lieu de poursuivre leur chemin normal dans le sens direct, à ces moments les planètes se déplacent dans le sens rétrograde (vues depuis la Terre).

La 3^e loi de KEPLER : $\frac{T_m^2}{T_t^2} = \frac{a_m^3}{a_t^3}$.

Comme $a_m > a_t$, automatiquement $T_m > T_t$, c'est-à-dire que comme la distance Soleil-Mars est plus grande que la distance Soleil-Terre, la période de révolution de Mars sera plus grande que celle de la Terre autour du Soleil, (en fait 1 an 322 jours contre 365 jours), donc la Terre va plus vite que Mars sur son orbite (3548" par jour contre 1886" pour Mars) et $V_t > V_m$.

En T1 et M1, de la Terre on voit Mars *reculer* par rapport à nous puisque nous la *dépassons*.

En T2 et M2, de la Terre on voit Mars *stationner* (son vecteur vitesse relative passe par la Terre).

En T3 et M3, de la Terre on voit Mars à son maximum de vitesse, compte tenu de l'éloignement.

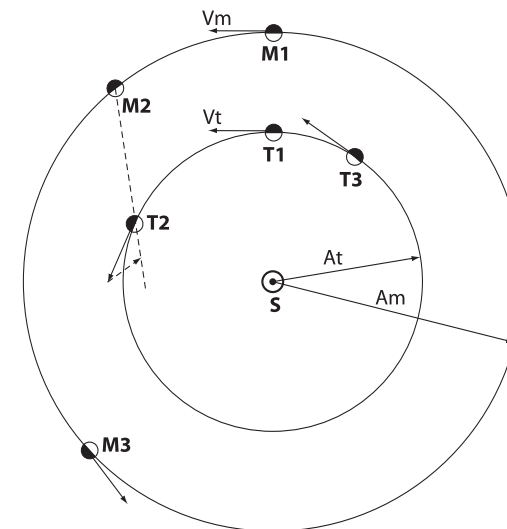


Figure 4

On pourrait faire le même raisonnement avec une planète inférieure, Vénus ou Mercure. Dans les deux cas on aurait une trajectoire apparente telle que ci-dessous.

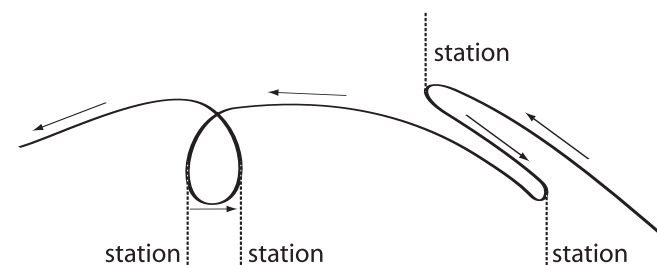


Figure 5