CLUB D'ASTRONOMIE

QUASAR 95

DE VALMONDOIS

CLAUDE PTOLEMEE

ET SON SYSTEME DU MONDE

MAUGRION Gil
Le 03/03/2006

Ptolémée, sur une gravure de Margarita Philosophica, *ouvrage publié en 1503. La couronne royale qu'il porte indique la confusion avec les souverains qui régnèrent sur l'Égypte quelques siècles avant son époque (dynastie des Ptolémées).*

I) SA VIE

Astronome, mathématicien et géographe grec, Claude Ptolémée semble avoir consacré son activité et une grande partie de sa vie à Alexandrie.

On connaît peu de choses sur sa vie. Son nom semble avancer l'idée qu'il serait d'origine grecque, voire macédonienne.

Les récits de ses activités sous les règnes d'Hadrien (76, 138), d'Antonin le Pieux (86, 161) et de Marc Aurèle (121, 180) laissent à penser qu'il serait né vers l'an 100 et mort vers l'an 170.

L'incertitude sur ce sujet est telle que des fresques et illustrations du Moyen-Âge le représentent avec une couronne sur la tête, signe de la confusion avec la dynastie des Ptolémées qui ont régné en Égypte entre la mort d'Alexandre-le-Grand en -323 et celle de Ptolémée XVI en -30.

II) SON ŒUVRE

Si la vie de Ptolémée est peu connue, son œuvre, elle, a traversé les siècles dans de nombreux domaines:

En **mathématiques**, il développe la trigonométrie et la géométrie plane et sphérique.

Dans **″Optique″** , ouvrage en 5 livres, il présente des théories sur la vision, les miroirs (plans, convexes et concaves) et la réfraction de la lumière.

Il a encore publié, en 3 livres, un traité de référence en musicologie, **″les harmoniques″,** qui expose une théorie mathématique des sons employés dans la musique grecque.

Après l'astronomie, son 2ème grand domaine de prédilection est la géographie.
Son ouvrage **″Géographie″** est le meilleur et le plus complet résumé de la géographie du monde de l'empire romain. Ptolémée dresse des tables de longitudes et de latitudes pour des lieux connus et dessine une carte du monde.

.

Représentation des terres connues, selon Ptolémée, créateur d'un système géographique qui fit autorité durant 14 siècles (Milan, bibl. Ambrosienne)

Mais sa renommée s'affirme et se perpétue avec 2 ouvrages magistraux qui vont traverser les siècles : le Tétrabiblon et l'Almageste.

1°) LE TETRABIBLON

Cet ouvrage en 4 volumes regroupe des horoscopes et une étude sur les effets astrologiques des planètes.
Une sous-estimation de l'importance de la précession des équinoxes, découvert par **Hipparque de Nicée (-194, -120)** , a décalé, en 20 siècles, les prévisions de 1 ou 2 signes par rapport à la réalité.

Malgré ce défaut majeur, il reste encore, aujourd'hui, pour les astrologues, la bible de l'astrologie que Ptolémée considérait comme une science exacte.

2°) L'ALMAGESTE

Ouvrage en 13 volumes, dont le titre grec était *″Composition mathématique ″,* est la somme de toutes les connaissances acquises, durant l'antiquité, en astronomie mathématique, particulièrement par les grecs et les romains.
Son nom définitif qui veut dire *″Le plus grand″ (el mégistos en arabe)* lui sera donné par les arabes vers l'an 1000.

Ptolémée rend compte du mouvement des 7 planètes (La Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne) et des étoiles fixes, ainsi que des phénomènes célestes les plus apparents tels que les éclipses.

Il semble que Ptolémée ait utilisé l'oeuvre d'Hipparque, le grand astronome de l'antiquité, à qui il rend un hommage appuyé.

Néanmoins, on peut indubitablement qualifier Ptolémée de grand mathématicien.

Le livre I de l'Almageste donne les bases de la trigonométrie plane et sphérique ramenées à l'astronomie.

Le livre II expose les problèmes relatifs à la sphère céleste et à la terre, sphérique, immobile, centrale, mais de la taille d'un point par rapport à la distance des étoiles fixes.

Le livre III traite des mouvements du Soleil et de la durée de l'année.

Les livres IV et V traitent des mouvements de la Lune et de sa distance par rapport à la Terre et au Soleil ainsi que de la première description d'un instrument d'astrométrie, l'astrolabe armillaire, inventé par Hipparque, d'une précision de 4'.

Le livre VI explique la théorie des éclipses de la Lune et du Soleil.

Les livres VII et VIII contiennent une étude de la Voie lactée et un catalogue d'étoiles classées en 6 grandeurs, assez complet jusqu'à la quatrième grandeur.
Dans ce catalogue, les étoiles sont répertoriées par constellations :
12 dans le zodiaque, 21 dans l'hémisphère nord et 15 dans l'hémisphère sud.

Les cinq derniers livres, de loin les plus importants, décrivent avec une précision jusqu'alors inégalée le mouvement des 5 planètes, du Soleil et de la Lune, en faisant appel à un système mixte d'excentriques, d'épicycles et à la notion d'équant.

C'est cette partie de l'Almageste que nous allons maintenant développer.

III) LES BASES DU SYSTEME DE PTOLEMEE

1°) Une terre sphérique, immobile, au centre du monde

L'idée de la sphéricité de la Terre, admise en Égypte et peut-être même en Mésopotamie, sera enseignée en Grèce dès 500 av.J.C. par Pythagore.

Par contre, la Terre est immobile au centre du système du monde.

Quelques astronomes vont tenter de ramener la Terre à une simple planète :

- **Philolaos**, vers 500 av.J.C., émet l'hypothèse d'un feu central autour duquel tournerait la Terre, une anti-terre, le Soleil et les autres astres.

- **Héraclide du Pont** (-388 , -315) suggère que la Terre, sphérique, tourne sur son axe, mais reste au centre du monde. Néanmoins, il propose que Mercure et Vénus tournent autour du Soleil puisqu'elles semblent ne pas s'en écarter.

- D'après **Aristarque de Samos** (-310 , -230), appelé ″ le Copernic de l'antiquité ″ tous les mouvements journaliers pourraient être expliquer en imaginant que la sphère céleste est immobile, et que la Terre effectue une rotation complète par jour autour d'un axe passant par son centre, les trajectoires de la Lune, du Soleil et des autres planètes s'expliquant en inclinant correctement l'axe de la Terre.

On pouvait en plus justifier les saisons et le mouvement bizarre de certaines planètes en imaginant que la Terre tourne autour du Soleil avec les autres planètes.

Mais l'intuition géniale d'Aristarque était trop révolutionnaire pour son époque, et cette nouvelle représentation fut sévèrement critiquée.

L'idée que la Terre put être en mouvement était inacceptable et en contradiction avec le bon sens et les observations quotidiennes.
La notion d'inertie n'existant pas, elle posait plus de questions qu'elle n'en résolvait :

- L'atmosphère devrait être en mouvement.
- Les corps qui ne seraient pas appuyés sur elle (Oiseaux, nuages, objets lancés) paraîtraient toujours avoir un mouvement contraire aux objets sur le sol.
- Les étoiles devraient bouger, à moins qu'elles ne soient à des distances inacceptables.

De plus, pointait l'idée que la Terre, lieu d'élection des dieux pour créer l'homme, ne pouvait être que le centre du monde.

Il est probable que cette idée n'a pas été déterminante à cette époque, mais elle va contribuer à perpétuer le système de Ptolémée pendant 14 siècles, car elle était un très bon compromis entre la science et la religion.

2°) L'harmonie des formes : héritage de la culture grecque.

Platon, philosophe grec (-428, -348), prend pour hypothèse que les astres doivent être exclusivement animés d'un mouvement circulaire uniforme pour justifier la symétrie, l'harmonie et la perfection des cycles de la nature :
Un univers monocentrique autour d'une Terre sphérique et immobile.

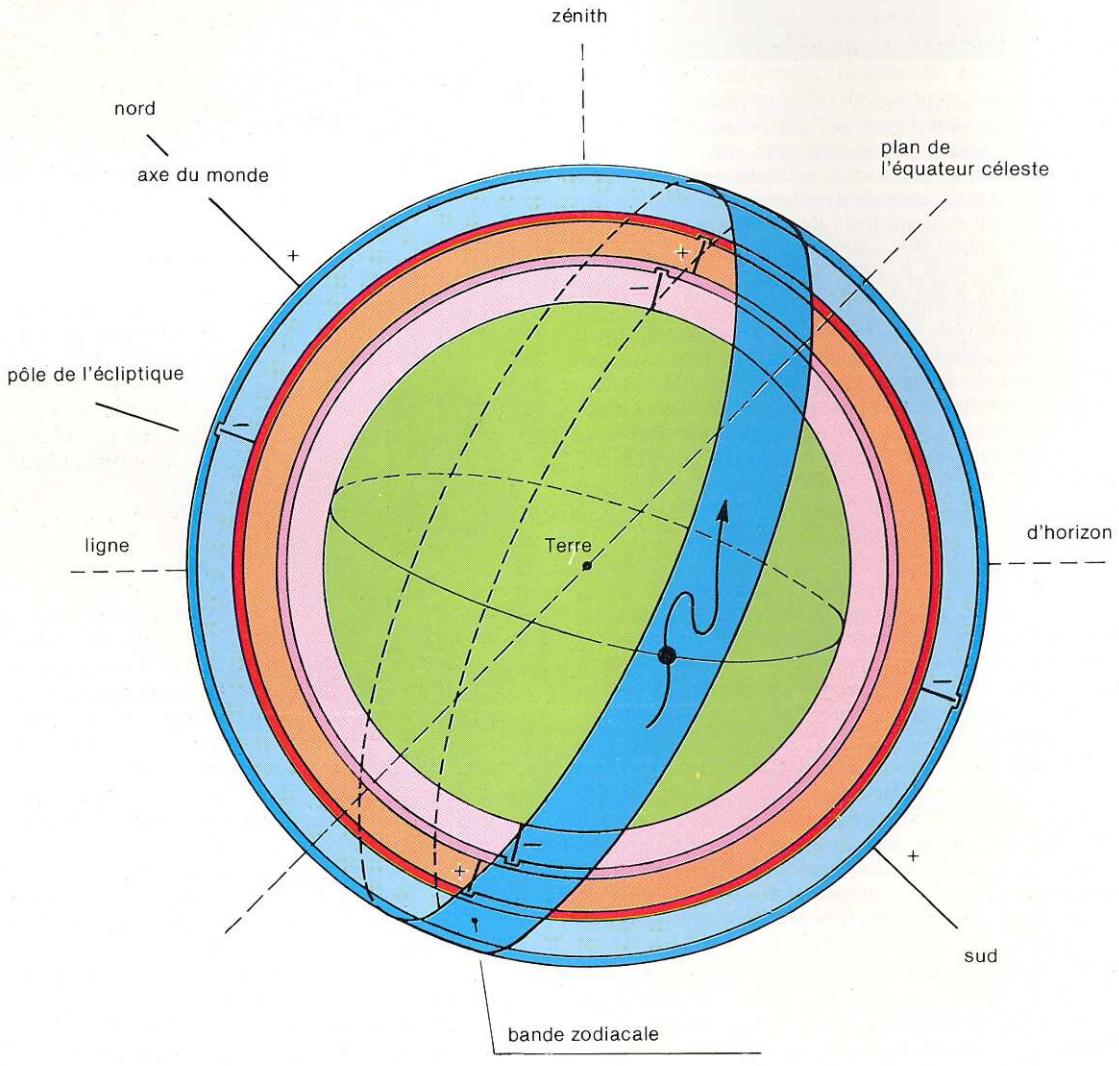
3°) Des systèmes du monde plus géométriques que physiques.

A cette époque, il était moins important de comprendre comment les astres se déplaçaient que de prévoir la position de ces astres à un moment donné.

On imaginait des systèmes du monde plus géométriques que physiques, sortes de modèles et d'outils mathématiques capable de prévoir la position des astres.

C’est **Eudoxe de Cnide** (-408 , -355) qui formule le premier système du monde organisé et rationnel : Les sphères homocentriques

Illustration du système des sphères homocentriques d’Eudoxe pour une planète (la sphère céleste est orientée d’après l’horizon de Rhodes). La sphère la plus externe est celle des étoiles fixes, qui produit par sa rotation le mouvement diurne. La ceinture bleue représente sur cette sphère la bande du zodiaque, dont le cercle médian (non représenté ici) est l’écliptique.
La deuxième sphère, dont l’axe prend appui dans la première, produit par sa rotation le mouvement le long de l’écliptique. En plaçant l’astre sur l’équateur de cette sphère et en faisant tourner cette dernière à vitesse uniforme, on obtient uniquement le mouvement moyen propre à l’astre.
Eudoxe ajoute pour chaque planète deux autres sphères : la troisième, axée sur l’équateur de la deuxième, et la quatrième, axée sur la troisième de manière que les deux axes de rotation forment entre eux un angle réduit. Ces deux dernières sphères tournent en sens opposés l’une par rapport à l’autre, à une même vitesse uniforme.
La planète se trouve sur l’équateur de la dernière sphère (représenté sur la figure). La composition des mouvements de ces deux dernières sphères produit pour le point qui représente la planète un mouvement en forme de 8 (qu’Eudoxe appelle « hippopède »). Sur la figure, la flèche tracée sur la bande du zodiaque représente à peu près le produit de la composition des mouvements des trois dernières sphères projetés sur la sphère des étoiles fixes, c’est-à-dire, d’après Eudoxe, une portion de la trajectoire apparente d’une planète devant la sphère des étoiles fixes.



Il imagine que chacune des 7 planètes, ainsi que la sphère des étoiles fixes, sont mises en mouvement par des sphères concentriques à la Terre et pivotant les unes dans les autres de façon plus ou moins complexe.

Ce système comptait ainsi 27 sphères homocentriques : une sphère pour les étoiles fixes, 3 pour la Lune, 3 pour le Soleil et 4 pour chacune des 5 autres planètes.

4°) La réalité des observations

Tous les systèmes du monde imaginés à l'époque et basés sur 7 planètes tournant autour d'une Terre centrale et suivant des mouvement circulaires uniformes sont vite confrontés à la réalité des observations:

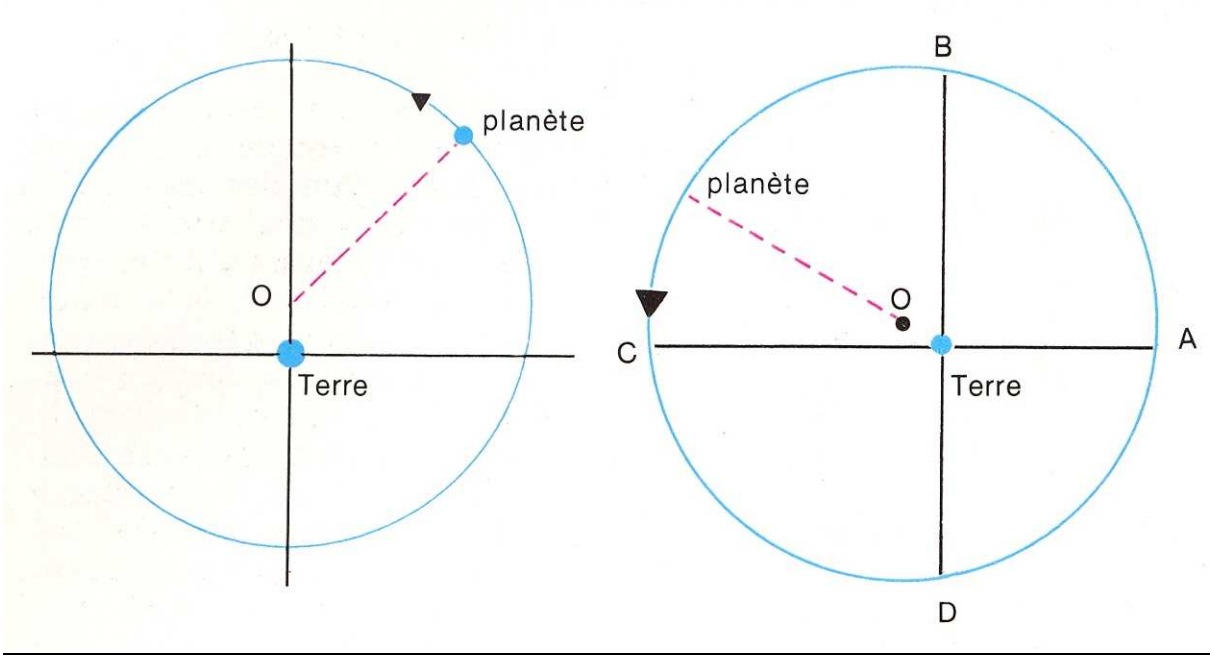
- Des variations importantes de la luminosité des planètes.

- Des variations importantes de la vitesse de ces planètes:
  Rétrogradations pour Mars, Jupiter et saturne.
  Oscillations pour Mercure et Vénus.

- Des éclipses de Soleil parfois totales, parfois annulaires, parfois partielles, supposent également des variations des positions de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre.

IV) LE SYSTEME DE PTOLEMEE

1°) La théorie de l'excentrique



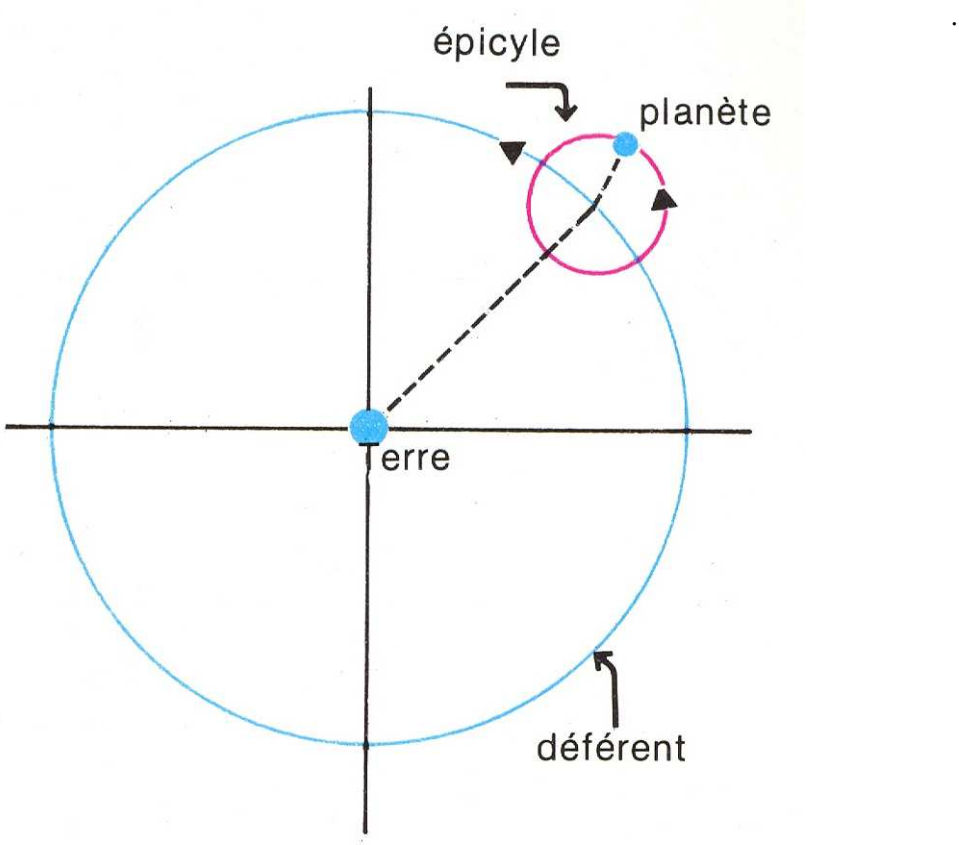
Il est clair que Ptolémée n'est pas à la base de ce système. Il l'a simplement mis à jour pour corriger certaines erreurs apparues depuis Hipparque.

Il semble en effet que ce soit Hipparque (-194,-120) qui a imaginé le système de base grâce à des dispositifs géométriques imaginés par l'un des plus grand mathématicien de son temps avec Euclide et Archimède : **Appolonios de Perga (-240 , -174)** connu pour son traité sur **"les coniques"**

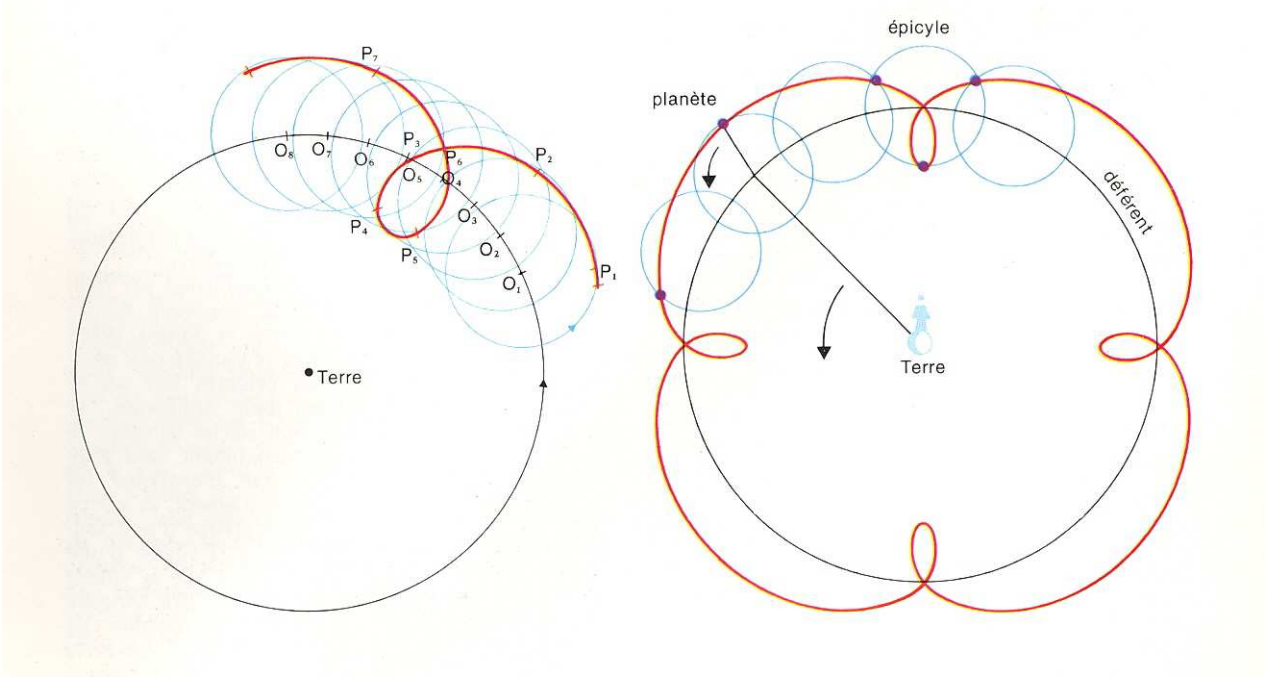
Pour expliquer le mouvement apparent non uniforme des planètes, on a recours à la théorie de l'excentrique:
La planète accomplit une révolution selon un mouvement uniforme le long d'une circonférence dont le centre O ne coïncide pas avec la Terre.
L'inégalité de durée des saisons pouvait s'expliquer par cette hypothèse (en réalité due au fait que l'orbite terrestre est elliptique).
Elle peut également expliquer les variations de luminosité ainsi que les éclipses annulaires et totales.

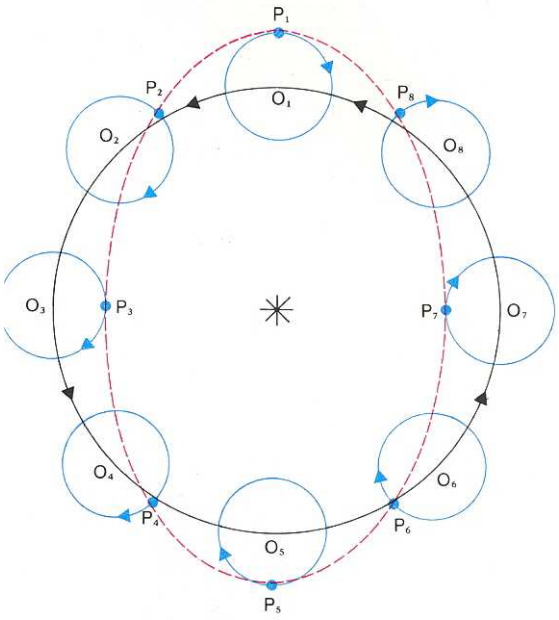
Mais cette théorie ne résout pas le problème des oscillations et des rétrogradations.

2°) La théorie des épicycles



Un épicycle est un petit cercle sur lequel tourne la planète, et dont le centre tourne lui-même sur un cercle plus grand, **le déférent**, dont le centre est occupé par la Terre. La combinaison de ces deux mouvements avec ses 4 degrés de liberté que sont les 2 diamètres et les 2 vitesses donne à ce système une énorme souplesse pour créer divers mouvements.





Sur les 2 figures ci-dessus, par exemple, on fait apparaître une boucle représentant le mouvement rétrograde.

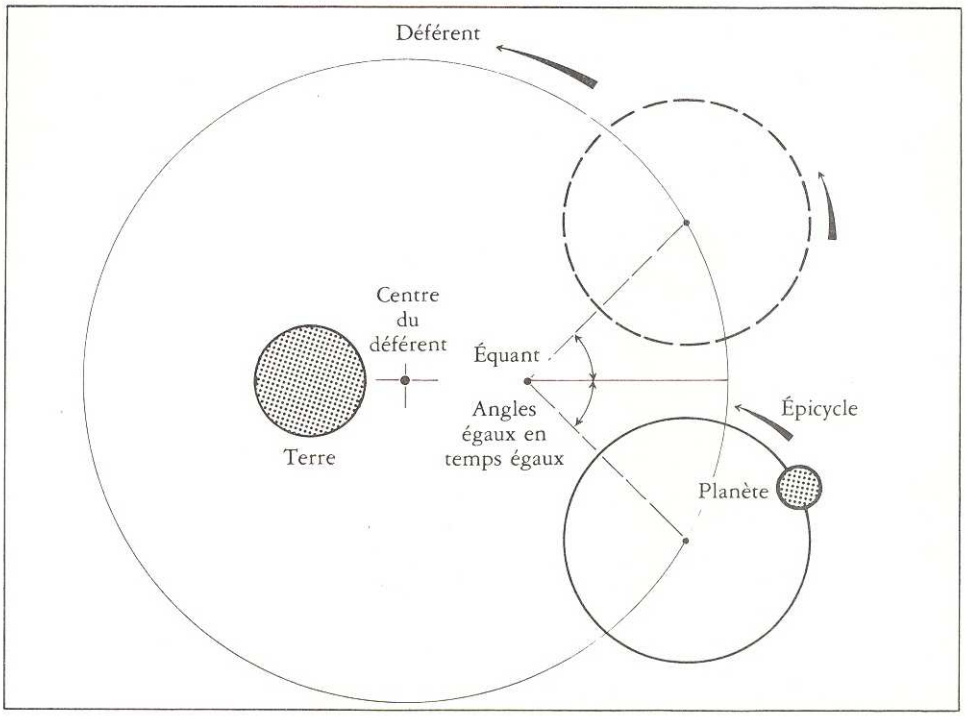
Ci-contre, on crée un mouvement elliptique.

Mais les épicycles ne permettaient pas encore de tout expliquer. Hipparque s'était déjà rendu compte que les distances Terre / Soleil et Terre / Lune n'étaient pas constantes.

Pour régler ce problème, il fait un système mixte d'épicycles et d'excentriques en décalant la Terre par rapport au centre du déférent, donnant ainsi un degré de liberté supplémentaire.

3°) La notion d'équant

Là encore, malgré sa souplesse et sa complexité, ce système mixte ne décrit pas les mouvements planétaires avec une précision suffisante. Il fallait en effet, pour que le système corresponde aux observations et convienne aux exigences morales des philosophes, que la vitesse angulaire de rotation de l'astre autour de la Terre soit constante. Ptolémée dut alors ajouter un point appelé **équant**, symétrique de la Terre par rapport au centre du déférant à partir duquel la vitesse angulaire du centre de l'épicycle est constante.



Ptolémée modélisait les trajets apparents des planètes en combinant les 3 constructions qui lui donnaient 6 degrés de liberté.

La souplesse du système n'a pas empêché des décalages importants avec la réalité. Pour pallier à ce problème, Ptolémée va rajouter des épicycles supplémentaires :
Le centre de l'épicycle portant la planète, se déplace sur un épicycle plus grand, lui-même se déplaçant sur un épicycle encore plus grand, etc… etc…etc…

Ptolémée justifia admirablement ces complications dans *l'almageste, XII, 2* :
″Il faut, autant qu'on le peut, adapter les hypothèses les plus simples aux mouvements célestes; mais si elles ne suffisent pas, il faut en choisir d'autres qui les expliquent mieux″.

V) LE SYSTEME DE PTOLEMEE AU MOYEN-AGE

Toutefois, même sans être compris, le système de Ptolémée va servir de modèle de référence jusqu'au XV^{e} siècle.
L'église catholique, prenant de l'importance, refusera tout autre système. Il était indispensable pour les ecclésiastiques que la Terre reste au centre du monde:
Le géocentrisme était fortement teinté d'égocentrisme!

Au XV^{e} siècle, Nicolas Copernic trouve que le modèle géocentrique de Ptolémée ressemble à la créature de Frankenstein :
Il enchaîne les mouvements les uns aux autres sans se préoccuper, ni de la vraisemblance, ni de l'unité générale de l'ensemble de son œuvre.
Aux yeux de Copernic, Ptolémée s'est rendu coupable de lèse-majesté en tordant le cou à la règle de Platon sur l'harmonie et la perfection des cieux décrits par le mouvement circulaire uniforme.
Proche des philosophes grecs et de l'âme divine des cieux, notre chanoine veut restaurer l'ordre et l'harmonie dans l'Univers.
Dans son livre majeur ″ *Des révolutions des orbes célestes* ″ publié à sa mort, en 1543, il reprend le modèle héliocentrique d'Aristarque de Samos.

La révolution scientifique et culturelle est en marche et sera continuée par Tycho Brahé, Giordano Bruno, Galilée, Képler et Newton, au cours du XVII^{e} siècle.