

**CE DOCUMENT EST DESTINÉ AUX ETUDIANTS  
DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE RABAT  
(MAROC)**

**LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST COMMENTÉ DANS LE  
DETAIL PENDANT LES SEANCES DE COURS**

**POUR TOUT AUTRE USAGE IL CONVIENT DE CITER LA SOURCE**

## - LES TEMPS ANCIENS

vers 4500 av. J.C. : Premiers sites astronomiques ? Édification de monuments probablement en relation avec des rites religieux, et servent de support de calendriers rudimentaires (détermination des dates importantes de la vie agricole) Par exemple l'alignement de menhirs à Carnac en France :

vers - 3000 à -1500 av. JC (néolithique à l'âge de bronze), Les monuments à caractère astronomique deviennent plus sophistiqués. Ils permettent par exemple de déterminer les extrêmes du cycle lunaire de 19 ans

vers - 3000 av. JC. en Egypte, l'astronomie pratiquée par les prêtres et les pyramides ont probablement joué de le rôle de depuis calendrier agricole

vers - 2500 av. JC. en Mésopotamie, on commence à observer les éclipses de lune, les comètes, à prédire les conjonctions planétaires en établissant une liste d'une trentaine de constellations (ébauche du zodiaque),...

vers -1100 av. J.C. en Chine commence la construction d'observatoires avec la découverte de l'inclinaison de l'axe de la Terre,

pendant les temps anciens, depuis - 4.500 ans jusqu'à - 600 ans, l'astronomie était marquée par beaucoup d'observations, souvent très précises des mouvements des astres **mais pas d'explications rationnelles**

Les explications données sont d'ordre religieux où les superstitions et prophéties s'y trouvent très souvent mêlées. Par exemple :

Les phénomènes cycliques des astres (Soleil, Lune...) sont attribuées à l'action des êtres supérieurs (Cultes des divinités)

Les phénomènes non cycliques (comètes, « étoiles filantes », ...) sont souvent interprétés comme des signes de colère des Dieux

## - LES TEMPS ANCIENS

### I - L'ÉPOQUE DES GRECS

**Thalès** (VI<sup>ème</sup> siècle av. JC - 575 av. J.-C.) : hypothèse d'un disque terrestre flottant sur les eaux de l'océan.

**Anaximandre**, élève de Thalès: «...la terre est suspendue, soutenue par rien, mais stable à cause de son égal éloignement de tout. Sa forme est courbée, arrondie à la façon d'une colonne de pierre; sur l'une nous marchons, mais l'autre se trouve à l'opposé.» (Hyppolite, Refutatio: traduction de Marcel Conche, 1991)

**Pythagore** (VI<sup>ème</sup> siècle av. JC, -585 à -500)

La Terre est une sphère qui tourne autour d'un feu central

**Aristote** (V-IV<sup>ème</sup> siècle av. JC, -429 à -347)

Prise l'idée d'un monde géocentrique

La Terre est le centre d'un monde qu'on appelle cosmos

Le monde est clos avec une frontière

Prend l'idée d'un univers géocentrique

La terre et la Lune appartiennent au monde de la corruption

Les étoiles, qui tournent autour des cercles (55 sphères), appartiennent au monde Divin

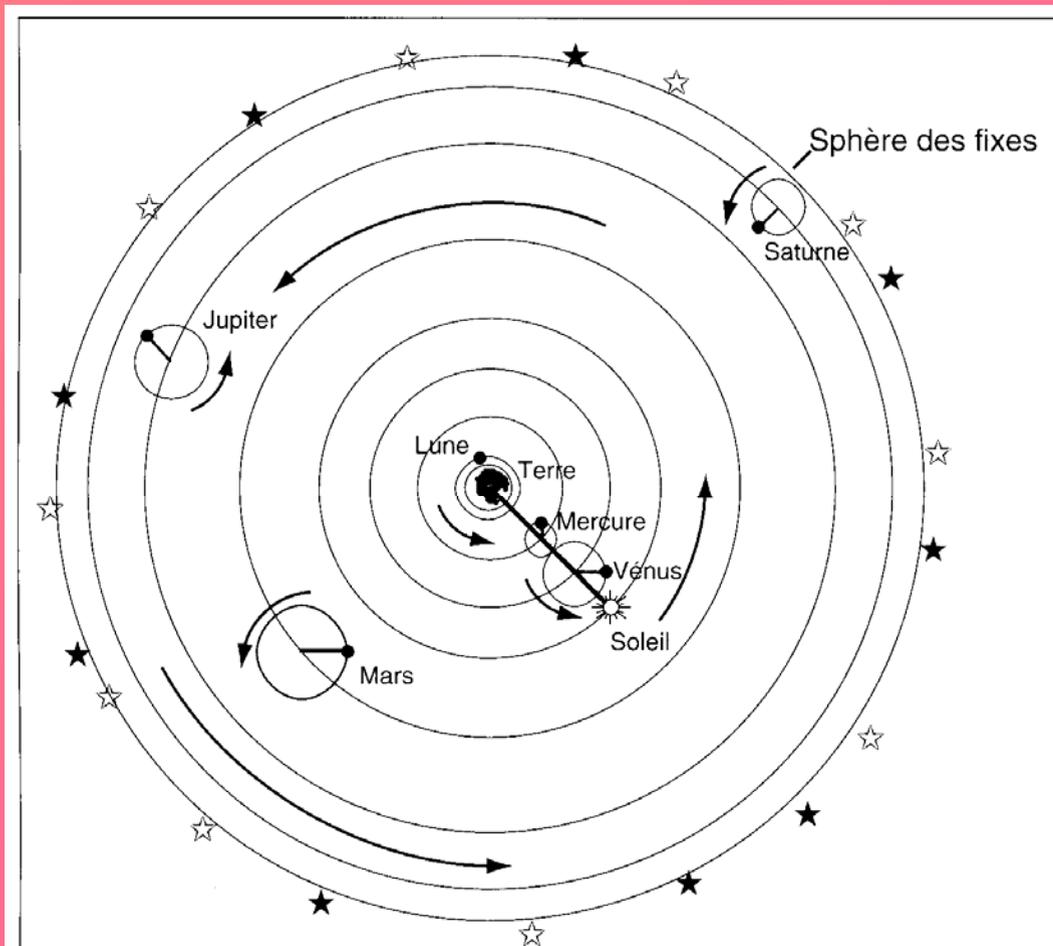


*Extrait de 'Chronique de Nuremberg', histoire du monde paru en 1493. Au centre est la Terre entourée des 4 éléments puis viennent les objets célestes sur leur sphère respective.*

ajoute les épicycles : modèle qui va rester admis jusqu'à la renaissance  
système complexe de cercles et mouvements uniformes.

l'Univers étant géocentrique, les étoiles sont placées sur la sphère des fixes  
qui tourne d'un tour en un jour.

seules planètes, Lune et Soleil ont des mouvements particuliers.



l'astrarque de Samios (290 env. après J.C.) :  
la Terre comme les autres planètes décrit un orbite circulaire autour du Soleil  
qui est au centre = **premier système héliocentrique**, 17 siècles av. Copernic  
le modèle tombe dans l'oubli...

Mais

car la suite les nouvelles observations répondent à la spéculation philosophique.  
Elles sont très précises et aboutissent toutes au modèle de Ptolémée qui est d  
nouveau un modèle géocentrique. Ce dernier sera considéré comme valable  
durant plus de 17 siècles ans

## Quelques chiffres de l'Univers du monde grec

	Valeur d 'époque	Valeur actuelle
Circonférence de la Terre	39.425 km	40.000 km
Rayon de la Terre	6.275 km	6.378 km
Distance Terre Lune	376.500 km	384.400 km
Diamètre de la Lune	3.400 km	3.475 km
Distance Terre - Soleil	154.000 km	150.000.000 km
Diamètre du Soleil	64.600 km	1.400.000 km

- LES TEMPS ANCIENS

I - L'EPOQUE DES GRECS

II - LE MOYEN AGE (DE PTOLEME A COPERNIC)

En Europe la religion chrétienne est reconnue comme religion d'état et l'église défend farouchement le fait que la Terre est le centre de l'Univers. La connaissance en astronomie se fige.

Durant cette époque, l'héritage grec est passé au monde arabo-musulman qui a perfectionné des observatoires et développe divers procédés mathématiques (trigonométrie sphérique introduction des chiffres arabes, du zéro) Al-Battani (850 - 929) ou Al-Biruni (973 - 1048), ont confronté leurs observations et leurs mesures aux données et prédictions théoriques du système géocentrique de Ptolémée. Cela n'a pas marché!

Ibn al-Haytam (965 - 1040), en travaillant sur les variations des diamètres apparents du Soleil et de la Lune, a mis en évidence toutes les incohérences et absurdités du système géocentrique grec. Il n'a pas proposé une meilleure « explication » du ciel

Le système de Ptolémée est adopté partout mais au fil des siècles les observations deviennent de plus en plus précises et ce système devient de plus en plus compliqué. L'astronomie se trouvait complètement bloquée dans une impasse.

- LES TEMPS ANCIENS

I - L'EPOQUE DES GRECS

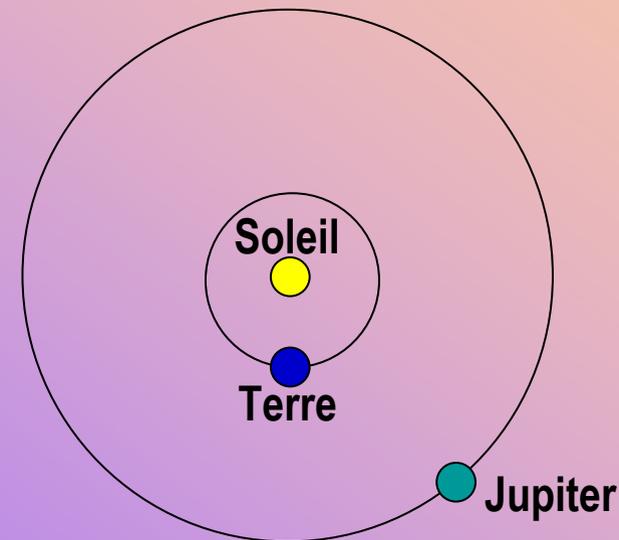
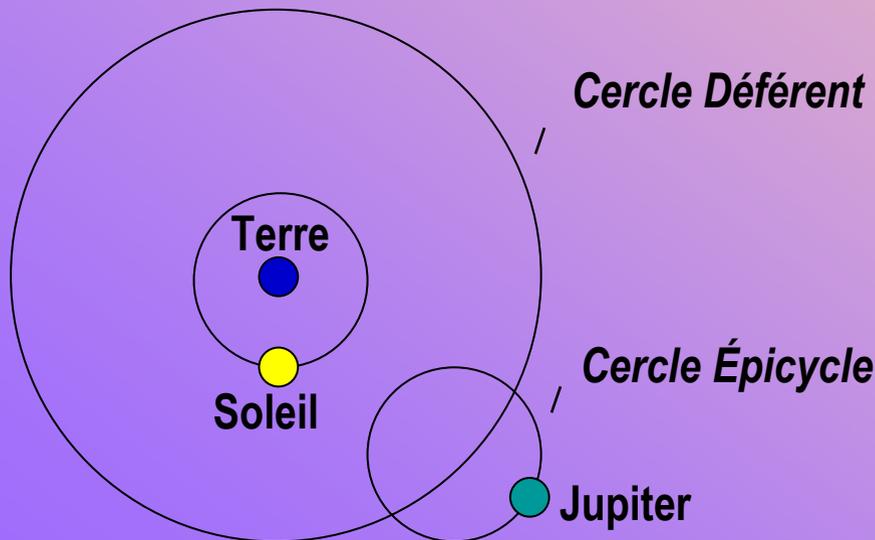
II - LE MOYEN AGE (DE PTOLEME A COPERNIC)

V - LES TEMPS MODERNES

**Copernic (1473-1543)**

Afin d'échapper à la censure de l'église, il présenta une pure formulation mathématique d'un Univers héliocentrique : la Terre n'est plus le centre du monde. Son œuvre est néanmoins censuré

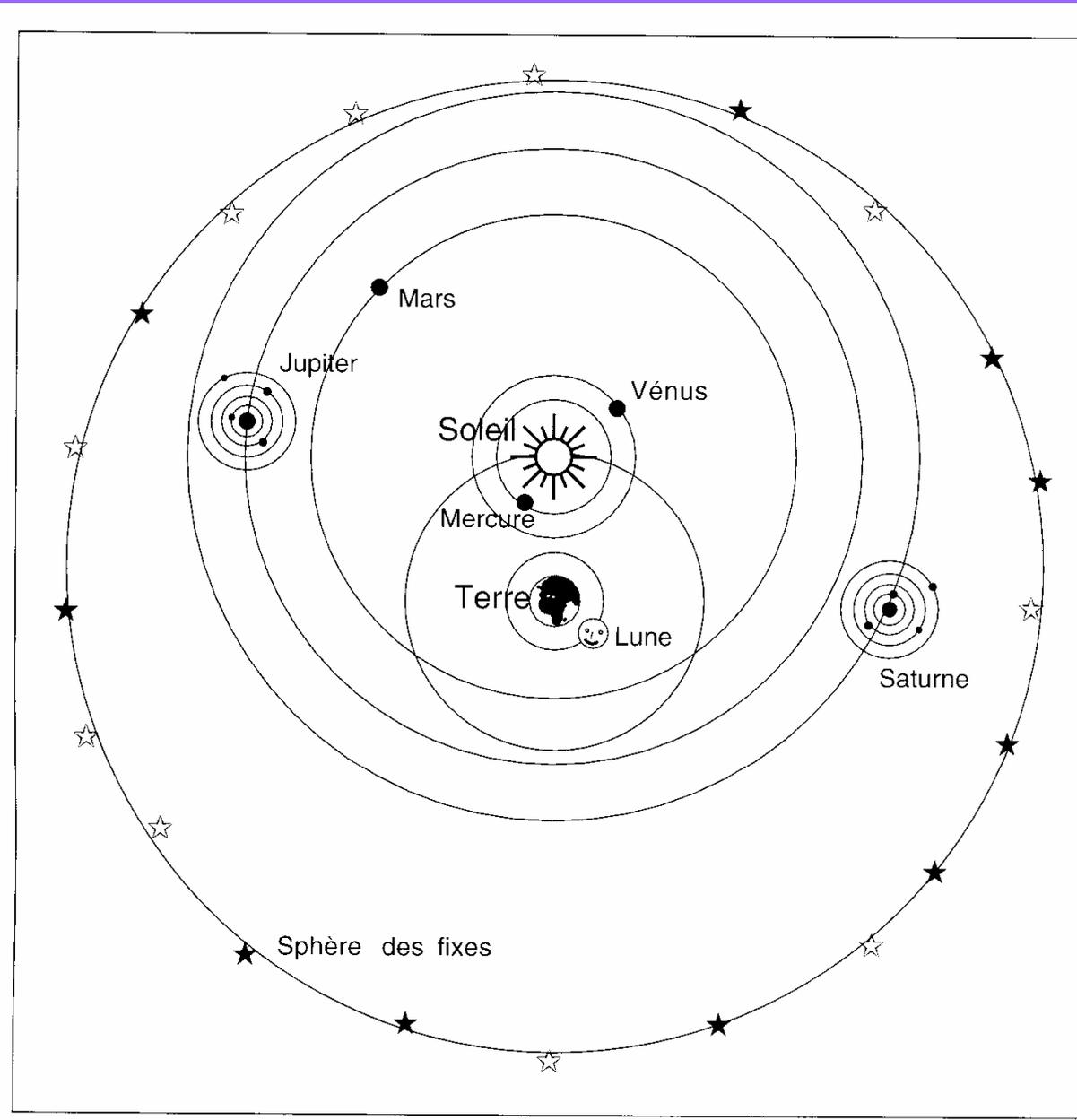
Les positions des planètes sont désormais facilement repérables dans l'espace et le temps.



LES TEMPS MODERNES  
Copernic (1473-1543)  
Tycho Brahé (1546-1601)

Par la perfection de ses observations grâce à la précision de nouveaux instruments, il récusait ce point de vue géocentrique mais il défendait également le point de vue géocentrique en proposant le modèle conciliant entre les deux théories :

La Terre est au centre, la Lune et le Soleil tournant autour d'elle. Les autres planètes sont les satellites du Soleil



**Copernic (1473-1543)**

**Johannes Kepler (1571-1630)**

**Galilée (1564-1642)**

**Galilée** est le fondateur de la Physique moderne, il invente également le télescope, découvre la nature de la lune, les anneaux de Saturne, de nombreuses étoiles, la nature de la voie lactée, les taches et la rotation solaire, les cratères de la lune,...

Par ses mesures il a détruit l'idée d'un Univers géocentrique. Pour cela ses documents seront mis à l'index et il sera jugé par l'église et mis en résidence surveillée jusqu'à sa mort.

Copernic (1473-1543)

Tycho Brahé (1546-1601)

Galilée (1564-1642)

Kepler (1571-1630)

Il s'est basé sur les travaux de Tycho Brahé (1546 - 1601) pour formuler les 3 lois qui lui permettent de définir le mouvement de Mars à partir de l'attraction du Soleil

Abandon des orbites circulaires

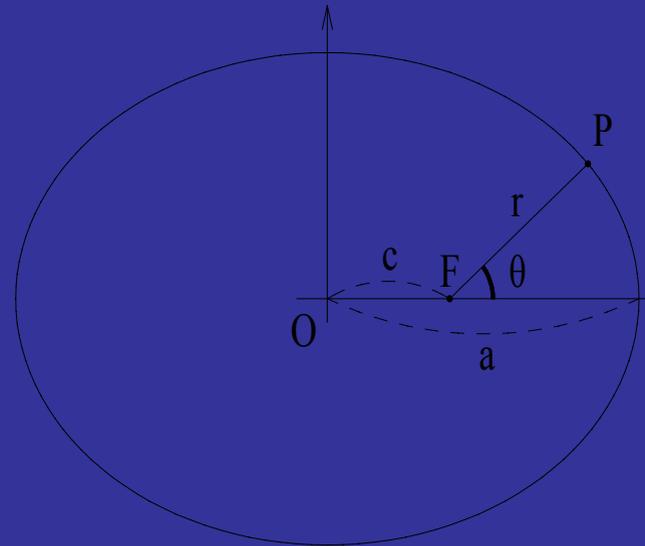
Grande révolution dans le calcul exacte des orbites planétaires.

Les 3 lois sont toujours en usage.

1<sup>ère</sup> loi

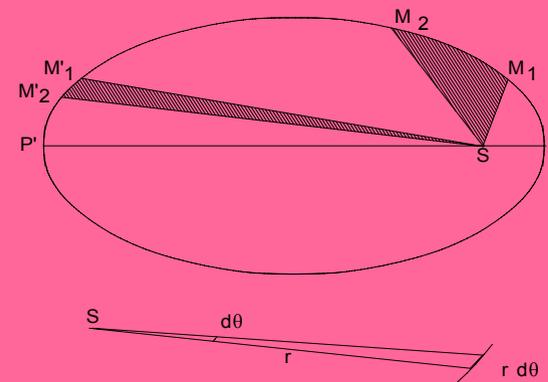
Les planètes décrivent autour du Soleil des orbites elliptiques dont le soleil occupe un des foyers

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cdot \cos \theta}$$



2<sup>ème</sup> loi

Une ligne joignant une planète au soleil balaye des aires égales en des temps égaux (loi des aires).



3<sup>ème</sup> loi : La période de rotation d'une planète et le demi-grand axe de son orbite sont liés par la relation :

$$\frac{a^3}{P^2} = C^{te} \quad \text{ou} \quad \frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} \cdot (M_s + M_p)$$

Copernic (1473-1543)

Tycho Brahé (1546-1601)

Galilée (1564-1642)

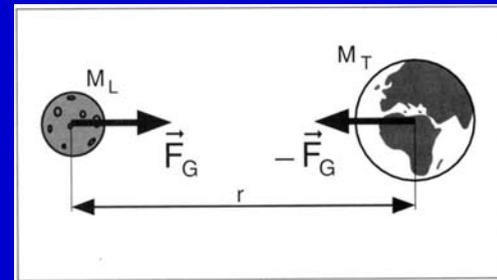
Kepler (1571-1630)

Newton (1643-1727)

Sa théorie de la gravitation universelle était le point de départ de la cosmologie moderne

Les forces d'attraction entre deux corps A et B sont proportionnelles à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance

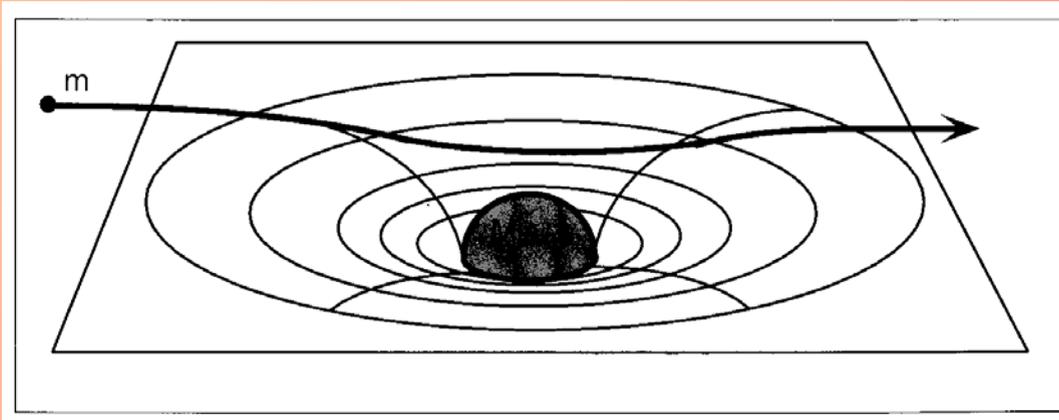
$$F_G \propto \frac{M_T M_L}{r^2} \quad F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad G \text{ constante universelle de la gravitation}$$



Dans la cosmologie de Newton,

- L'espace (euclidien) et le temps sont géométrisés
  - Le temps est absolu et mathématique et coule uniformément.
- L'Univers est vide et infini, il est matérialisé par la distribution de matière (régie par des forces) dans ce cadre géométrique

L'avance du périhélie de Mercure n'est pas conforme à la théorie newtonienne. Einstein généralise le concept d'espace à l'espace-temps et transforme la gravité en déformation de l'espace-temps



Lindermann, De Boeck Université 1999.

selon la théorie de la relativité générale, la gravitation gouverne la cosmologie  
univers = espace-temps + contenu énergétique