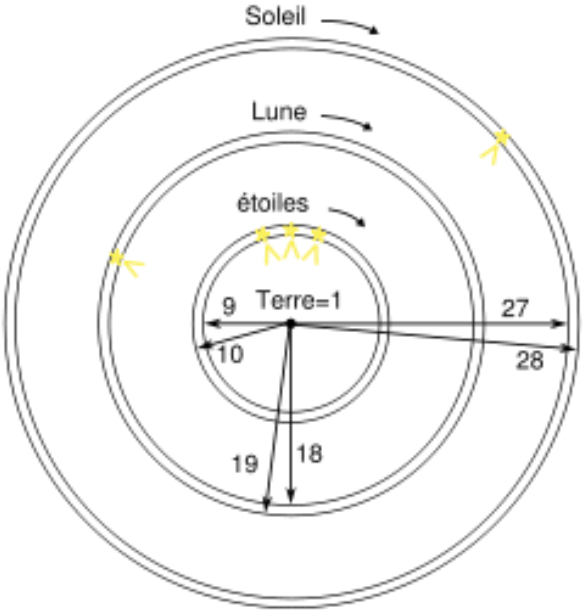
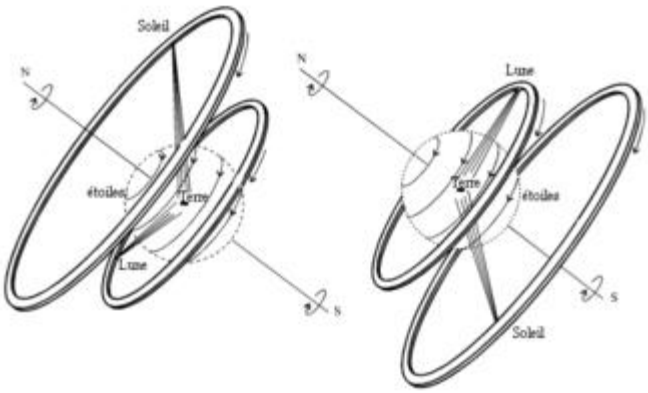
AU COMMENCEMENT

- Sur l'ensemble de la planète, chaque culture a créé ses propres mythes.
- Mythe :
  « mythos »
  « conte »
  « légende »
  « parole ultime »
- Rôle crucial d'un être
  « surnaturel »
- Liés à la société, à l'environnement.

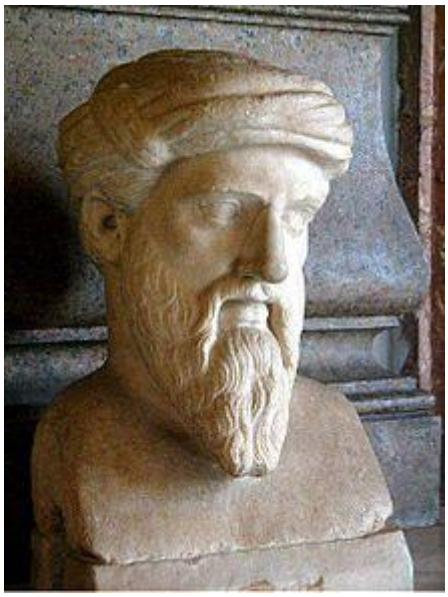
Évolution au VIe siècle Av JC



- La tolérance permet d'échafauder des théories.
- Les philosophes grecs furent les premiers « cosmologistes »
- Kosmeo : ordonner, organiser
- L'Univers devient intelligible. On peut tenter de comprendre ses structures.



540 av JC : PYTHAGORE

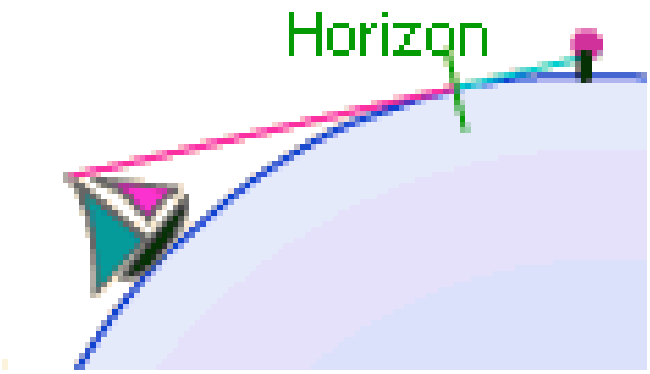


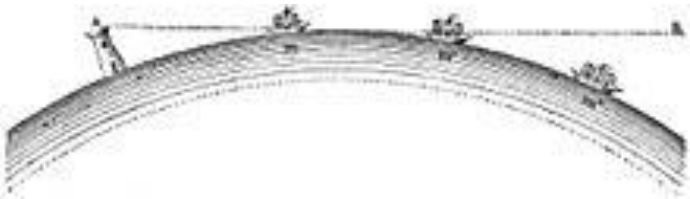
- C’est un mathématicien.
- Il tente de découvrir des règles mathématiques dans les mouvements des corps célestes.
- L’Univers est empli de musique, il n’ y a plus de surnaturel
- Mais une théorie doit être vérifiable.

Ré	**Do**	**Si♭**	**La**	**Sol**	**Fa**	**Mi**
Lune	Mercure	Vénus	Soleil	Mars	Jupiter	Saturne

Les grecs prouvent que la Terre est une sphère

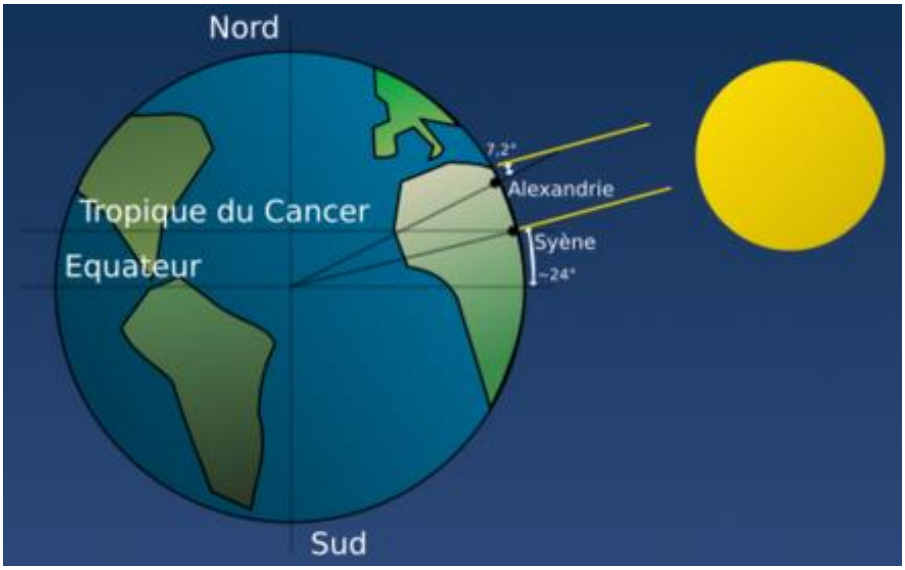
- Les navires disparaissent progressivement à l'horizon
- Lors des éclipses lunaires, on voit que l'ombre de la Terre est ronde
- Au nord, les nuits peuvent être très longues
- Mais pourquoi les habitants du Sud ne tombent-ils pas?

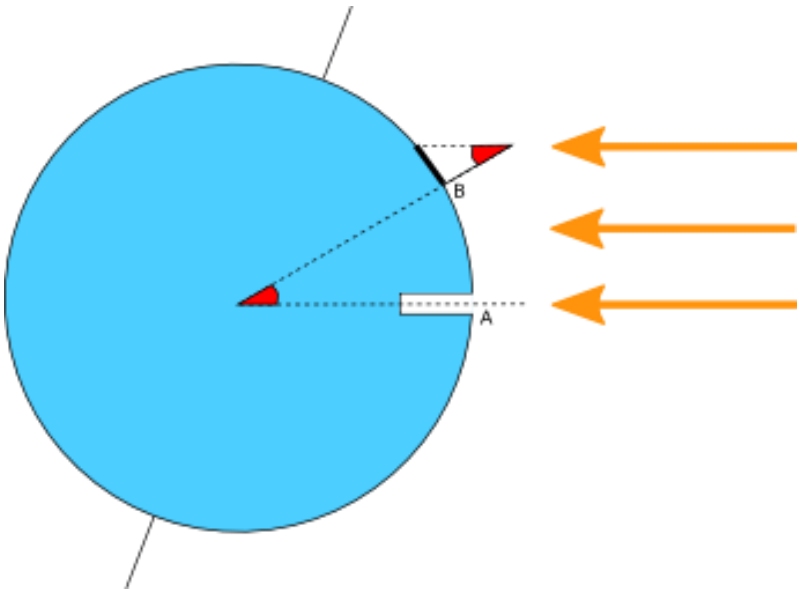




Erathostène mesure la Terre

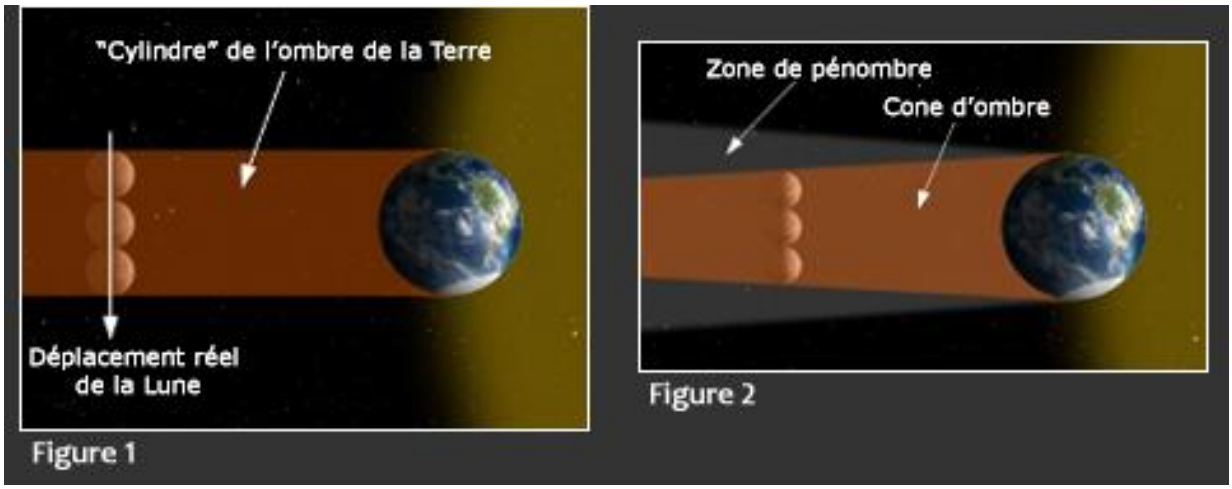
- Né en 275 av JC
- Le 21 juin à midi, le fond d'un puit de Syène était éclairé par le Soleil
- Au même moment à Alexandrie, ce n'est pas le cas
- Un piquet vertical donne un angle de 7.2° entre le piquet et les rayons du Soleil.





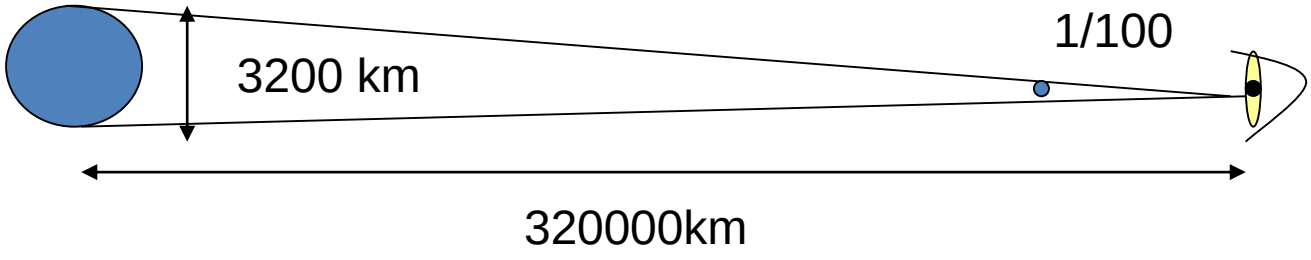
On peut ensuite évaluer la taille de la Lune

- En observant les éclipses, *Erathosthène* voit que l'ombre de la terre peut contenir quatre fois la Lune. Si la terre fait 40000km, son diamètre est de 12700 km et la Lune a donc un diamètre de 3200 km.
- *Aristarque* trouve trois diamètres (FIG 1)
- Mais, l'ombre fait un cône et c'est Hipparque qui rectifia (fig 2)



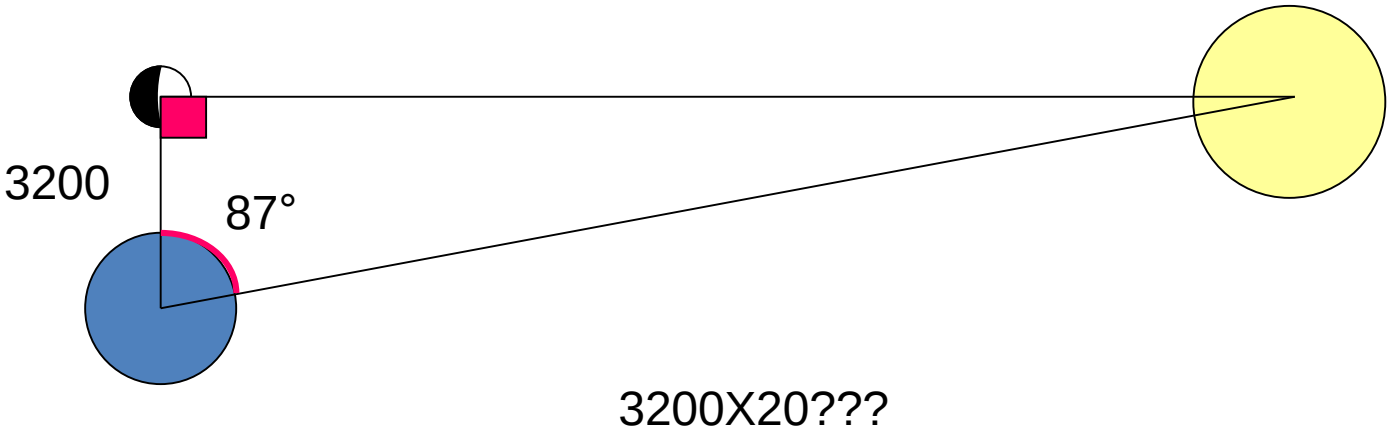
On peut alors évaluer la distance de la Lune à la Terre

- Si vous mettez le bout de votre petit doigt , bras tendu, devant la Lune, elle est cachée…
- Si le rapport entre le bras et le doigt est de 100/1, il doit être le même entre le diamètre de la Lune et sa distance à la terre…
- Soit 3200X100.
- Le Lune est au moins à 320 000km

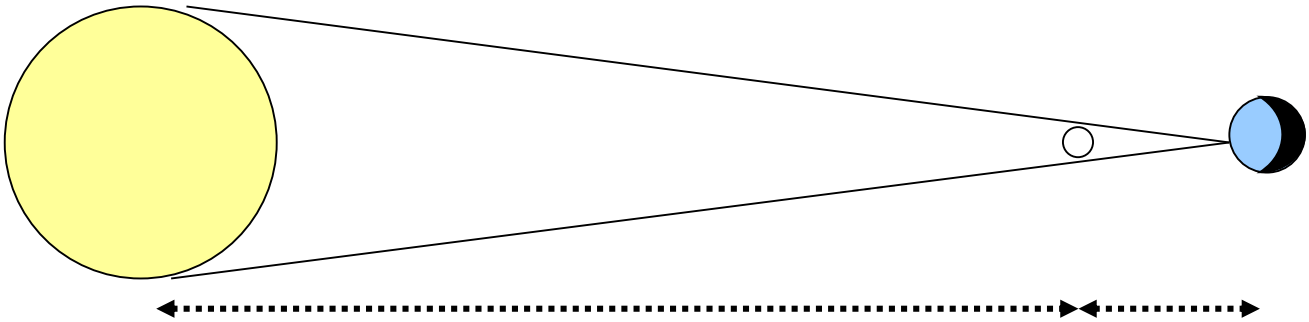


Aristarque en déduit la distance du Soleil

- IIIème siècle av JC
- Lors du premier quartier la Lune forment un triangle rectangle
- Il essaie de mesurer l'angle au sommet de la Terre
- Dur…87° soit un Soleil 20 fois plus loin que le Lune…
- En vérité, 89.95° soit un Soleil 400 fois plus loin.



Comme les diamètres de la Lune et du Soleil sont identiques…



Les mesures de l'Univers reposent donc à ce moment sur l'observation, la logique et les mathématiques.

Les astronomes sont maintenant prêts à étudier les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes. Ils vont créer un modèle dynamique de l'univers en tentant de discerner les interactions entre les différents corps célestes

Rappel des mesures modernes

Circonférence de la Terre : 40 100 km = $4.01 X 10^{4}$ km

Diamètre de la Terre : 12 750 km = $1.275 X 10^{4}$ km

Diamètre de la Lune : 3480km = 3480 km $X 10^{3}$ km

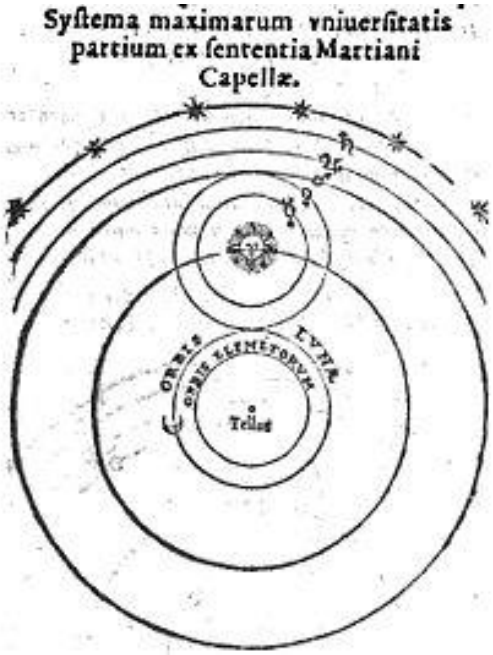
Diamètre du Soleil : 1 390 000 km = $1.39 X10^{6}$ km

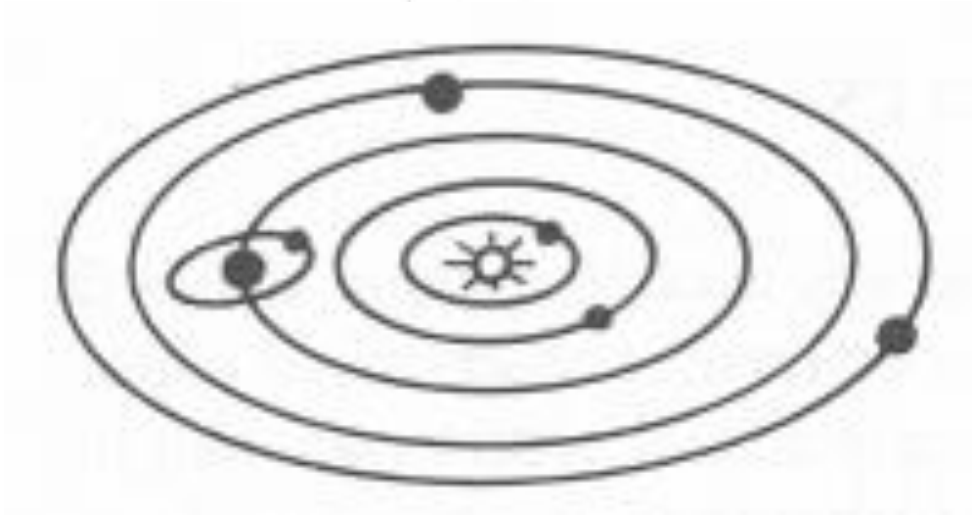
Distance Terre-Lune : 384 000 km = $3.84 X10^{5}$ km

Distance Terre-Soleil : 150 000 000 km = $1.50 X 10^{8}$ km

Ils avaient conçu un système « héliocentrique »

- V siècle av JC Philolaüs
- IV siècle av JC Héraclide
- III siècle Aristarque



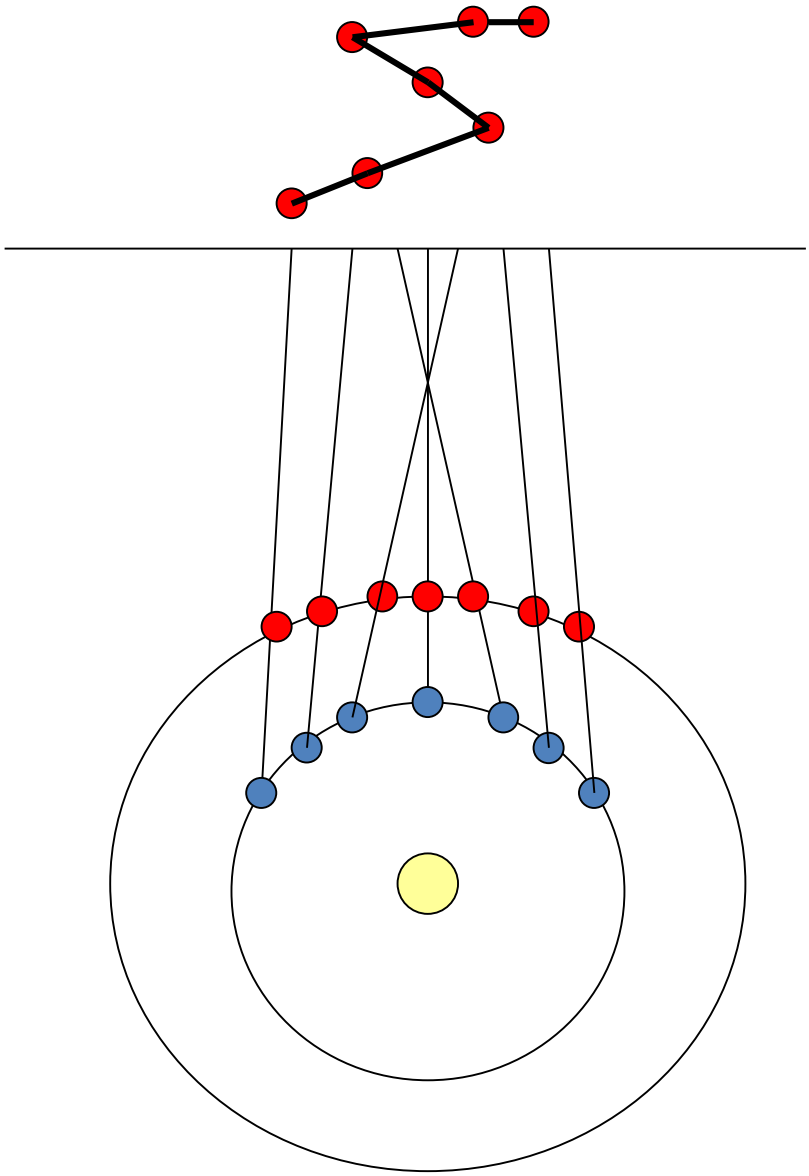


Trois reproches condamnent la Théorie pour 2000 ans

- Si la terre bouge, on devrait sentir du vent.
- Par gravité tout doit être attiré vers le centre de l'Univers si le Soleil s'y trouve, pourquoi les pommes qui tombent vont vers le centre de la Terre???
- Si la terre bougeait autour du Soleil, les étoiles devraient changer de position

Il y avait pourtant un problème de « rétrogradation »

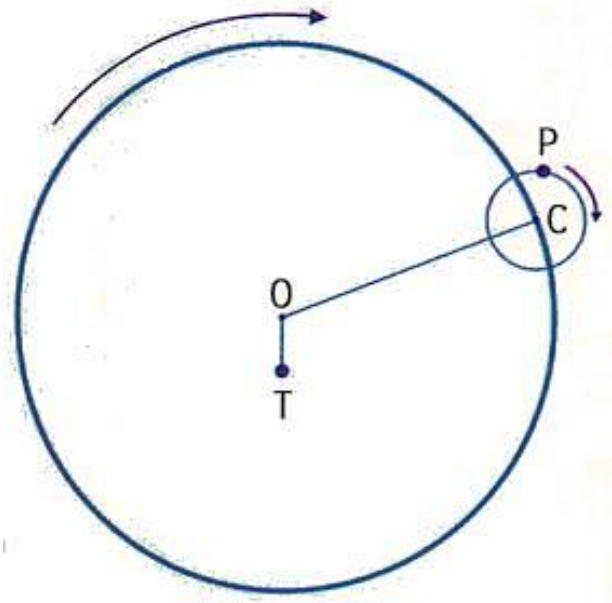
- Planètes : « astres errants » ou bibbu « moutons sauvages ».
- Mars, Jupiter et Saturne semblent reculer, ce qui est inexplicable avec une Terre centrale



Dans un système héliocentrique, la Terre rattrape ces planètes et les dépasse, elles semblent alors reculer

150 ap JC : Ptolémée trouve de multiples solutions

- Son système, très compliqué, permet de prédire les positions des planètes avec une grande précision.
- Son modèle va perdurer 1300 ans

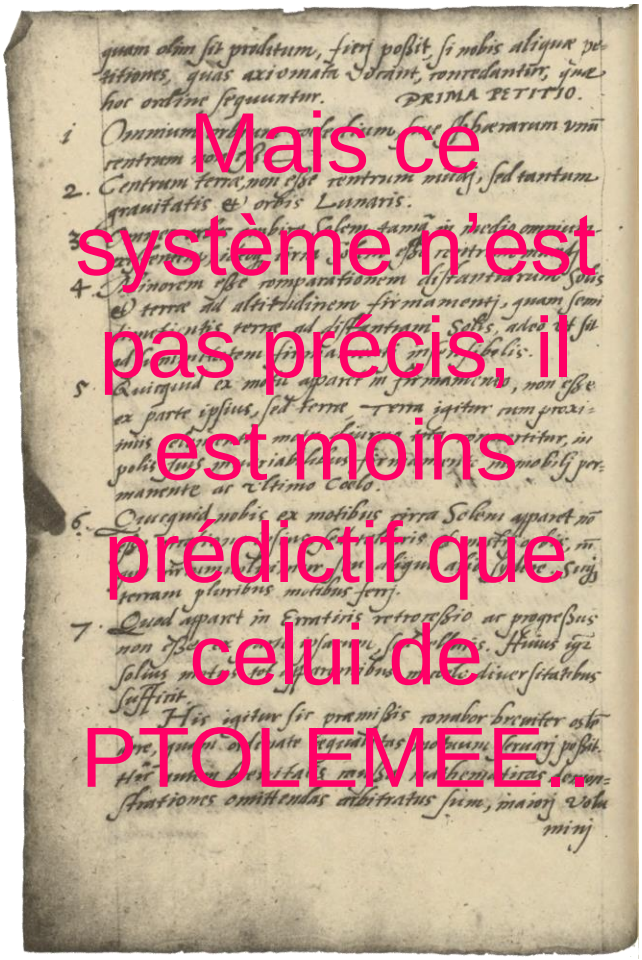


1500 : COPERNIC ébranle le géocentrisme

- Les corps célestes n’ont pas de centre en commun
- Le centre de la Terre n’est pas le centre de l’Univers
- Le centre de l’Univers est situé près du Soleil

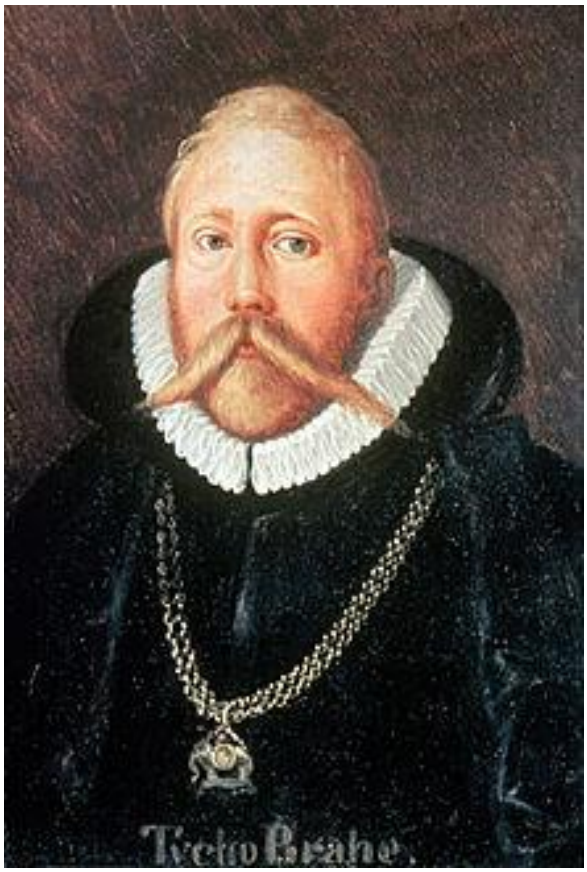
Retour aux théories d'Aristarque

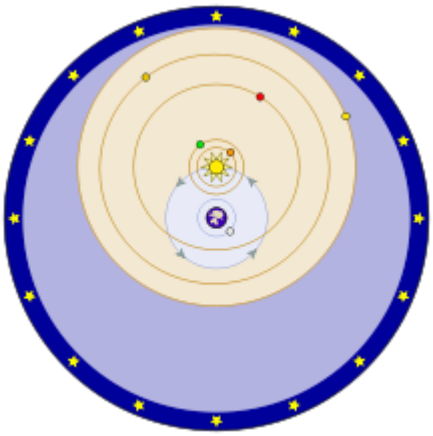
- La distance entre la Terre et le Soleil est dérisoire comparée à celle qui sépare la Terre des étoiles
- Le mouvement quotidien apparent des étoiles est le résultat de la rotation de la Terre
- La séquence annuelle apparente des mouvements du Soleil est le résultat de la révolution de la Terre autour de ce dernier. Toutes les planètes tournent autour du Soleil

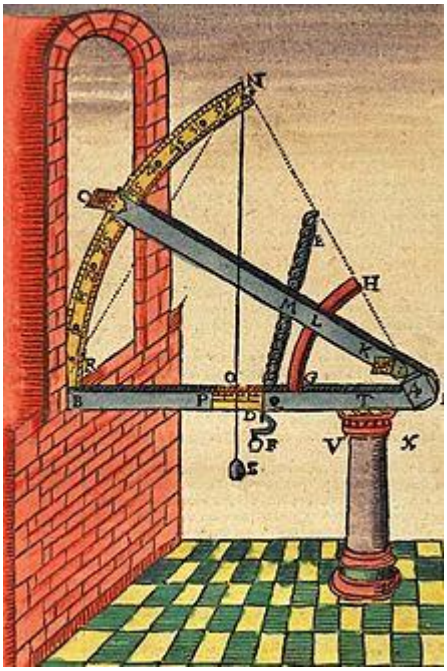


Le mouvement rétrograde apparent de certaines planètes est simplement le résultat de notre position d'observateurs sur une Terre en mouvement

Tycho Brahé, un observateur sans instrument d'optique

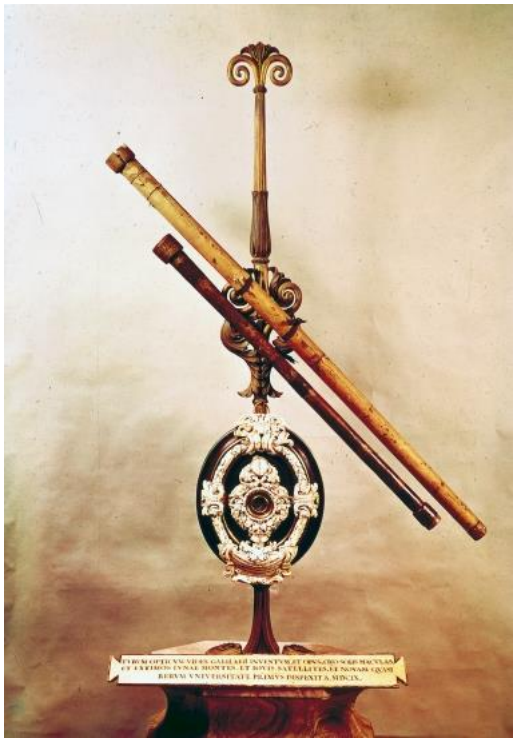




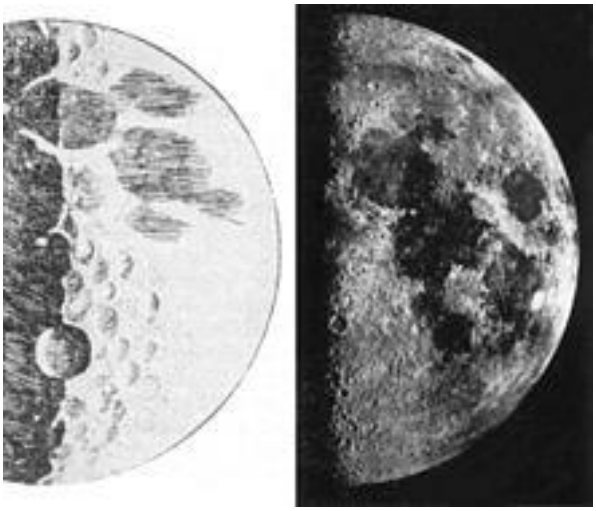


GALILEE : voir c’est croire

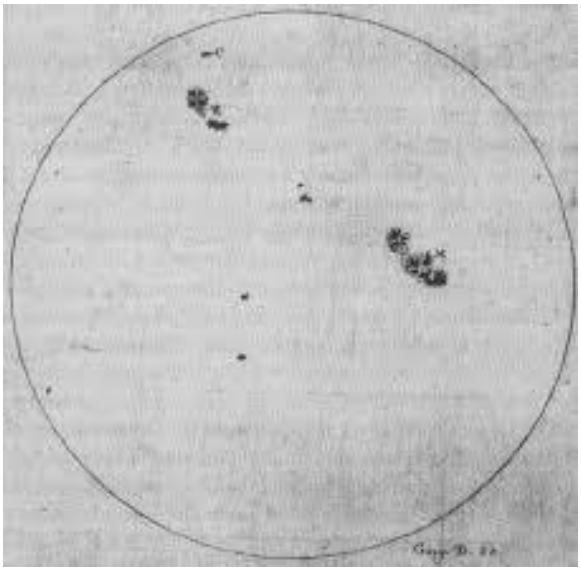
Il améliore la lunette de Lippershey



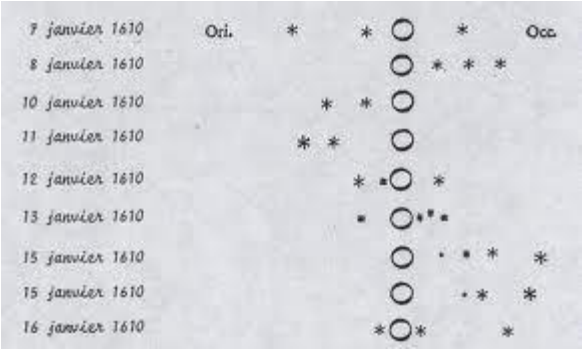
D’abord, Il observa la Lune



Il observe la taches du Soleil, il finit sa vie aveugle



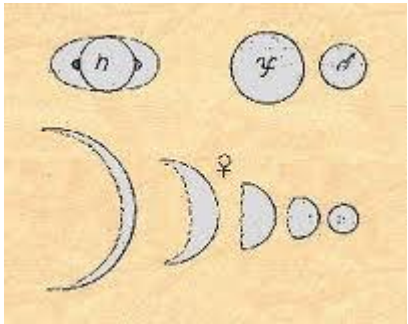
Et pourtant, elle bouge!



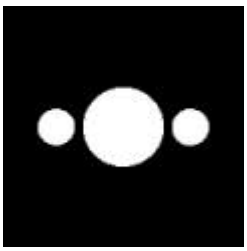
GALILEE

découvre quatre lunes autour de Jupiter

Première preuve que tout ne tourne pas autour de la Terre



Copernic avait prédit que Vénus devait avoir des phases, Galilée les observe.



Saturne lui parait bizarre mais il ne peut observer les anneaux

En juillet 1616, le livre de Copernic est interdit

En 1623, il propose au Pape d'écrire un livre (en italien) comparant les deux systèmes. Il ne sera publié qu'en 1632.

« Dialogue sur les Deux Grands systèmes du monde »

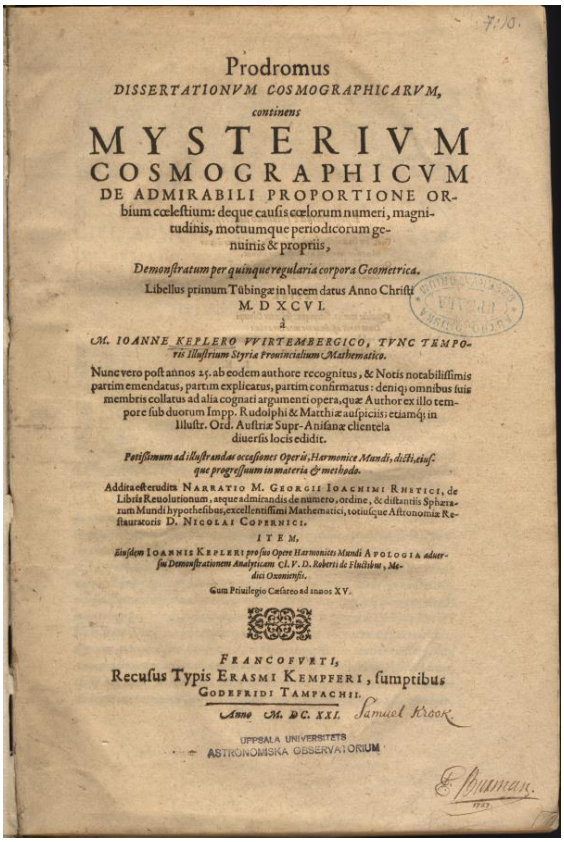
est l'un des ouvrages les plus contreversés de toute l'histoire des sciences

KEPLER
jette les bases de l’astronomie moderne

En 1596, KEPLER publie son premier ouvrage,

Mysterium Cosmographicum,

fruit de ses recherches sur la structure de l'Univers.



Prodromus
DISSERTATIONVM COSMOGRAPHICARVM,
continens
MYSTERIVM
COSMOGRAPHICVM
DE ADMIRABILI PROPORTIONE ORbium cœleſtium: deque cauſis cœlorum numeri, magnitudinis, motuumque periodicorum genuinis & propriis,

Demonſtratum per quinque regularia corpora Geometrica.

Libellus primum Tubingæ in lucem datus Anno Chriſti M. D XCVI.

à

M. IOANNE KEPLERO VVIRTEMBERGICO, TVNC TEMPOris Illuſtrium Styriæ Provincialium Mathematico.

Nunc vero poſt annos 25, ab eodem authore recognitus, & Notis notabiliſſimis partim emendatus, partim explicatus, partim confirmatus: deniq; omnibus ſuis membris collatus ad alia cognati argumenti opera, quæ Author ex illo tempore ſub duorum Impp. Rudolphi & Matthiæ auſpiciis; etiamq; in Illuſtr. Ord. Auſtriæ Supr-Aniſanæ clientela diuerſis locis edidit.

Petiſſimum ad illuſtrandas occaſiones Operis Harmonice Mundi, dicti, eiuſque progreſſuum in materia & methodo.

Addita eſt erudita NARRATIO M. GEORGII IOACHIMI RHETICI, de Libris Reuolutionum, atque admirandis de numero, ordine, & diſtantiis Sphærarum Mundi hypotheſibus, excellentiſſimi Mathematici, totiuſque Aſtronomiæ Reſtauratoris D. NICOLAI COPERNICI.

ITEM,

Eiuſdem IOANNIS KEPLERI *pro ſuo Opere Harmonices Mundi* APOLOGIA *aduerſus Demonſtrationem Analyticam Cl. V. D. Roberti de Fluctibus, Medici Oxonienſis.*

Cum Priuilegio Cæſareo ad annos XV.

FRANCOFVRTI,
Recuſus Typis ERASMI KEMPFERI, ſumptibus GODEFRIDI TAMPACHII.

Anno M. DC. XXI.

UPPSALA UNIVERSITETS
ASTRONOMISKA OBSERVATORIUM

Il voit dans les lois qui régissent les mouvements des planètes un message divin adressé à l'Homme.

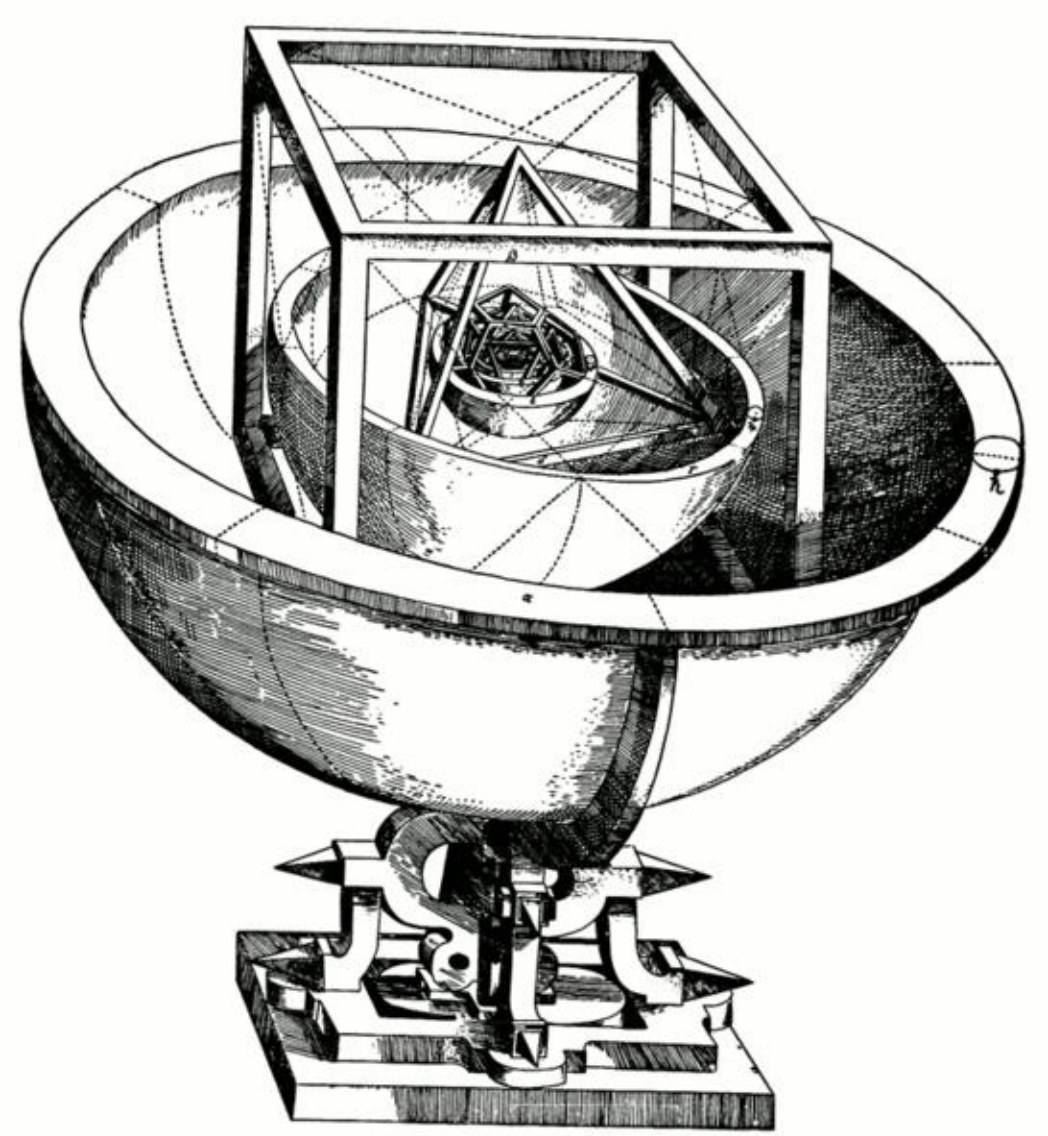
Dans ce livre, où il affirme sa position copernicienne, il veut répondre à trois questions:

Quel est le nombre de planètes ?

Quelle est leur distance au Soleil ?

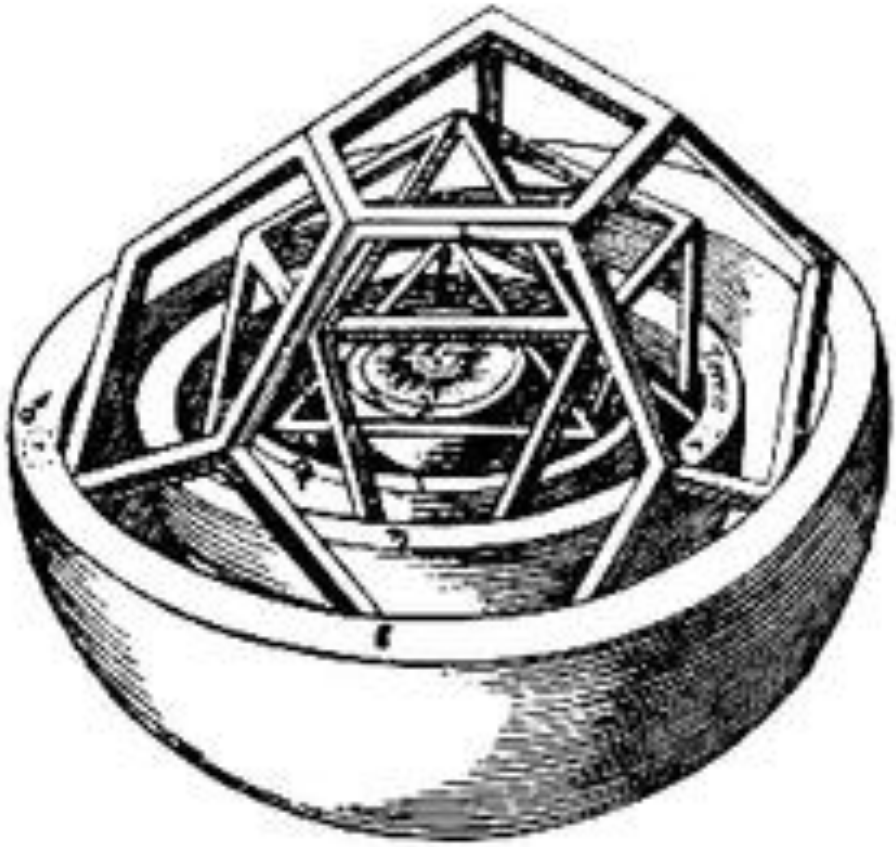
Quelle est leur vitesse ?

Dans ce livre, il développe une théorie des polyèdres réguliers permettant de construire un modèle de l’Univers.



Kepler remarqua que l'on pouvait intercaler entre les orbes des six planètes connues à l’époque (de Mercure à Saturne) **les cinq solides de Platon**.

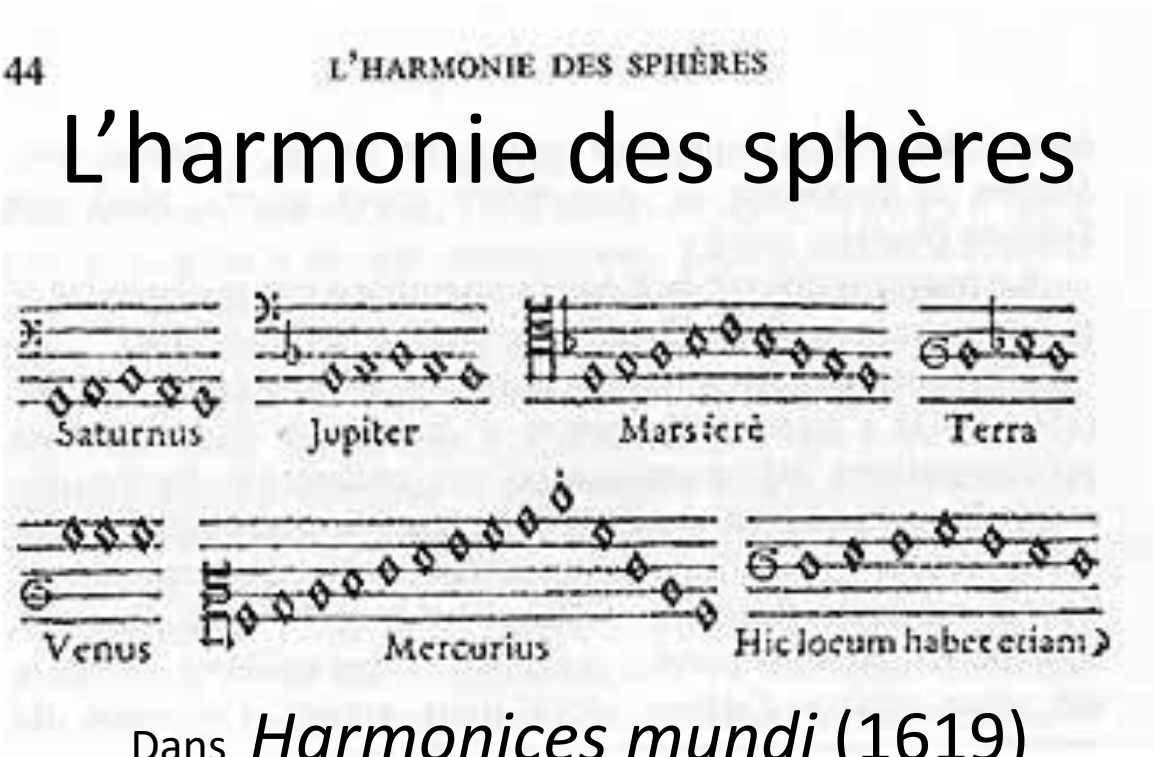
Ces polyèdres réguliers étaient parmi les solides ceux qui approchaient le plus la perfection divine de la sphère.



Le nombre de ces solides impliquait le nombre de planètes : cinq intervalles, donc six planètes.

Chaque solide était inscrit dans l'orbe d'une planète et circonscrit à l'orbe de la planète immédiatement inférieure.

Pour prendre en compte la variabilité de la distance des planètes au Soleil, l'astronome donne à chaque orbe une épaisseur correspondant à la différence entre la distance maximale et la distance minimale de la planète au Soleil.



L'harmonie des sphères

Dans *Harmonices mundi* (1619)

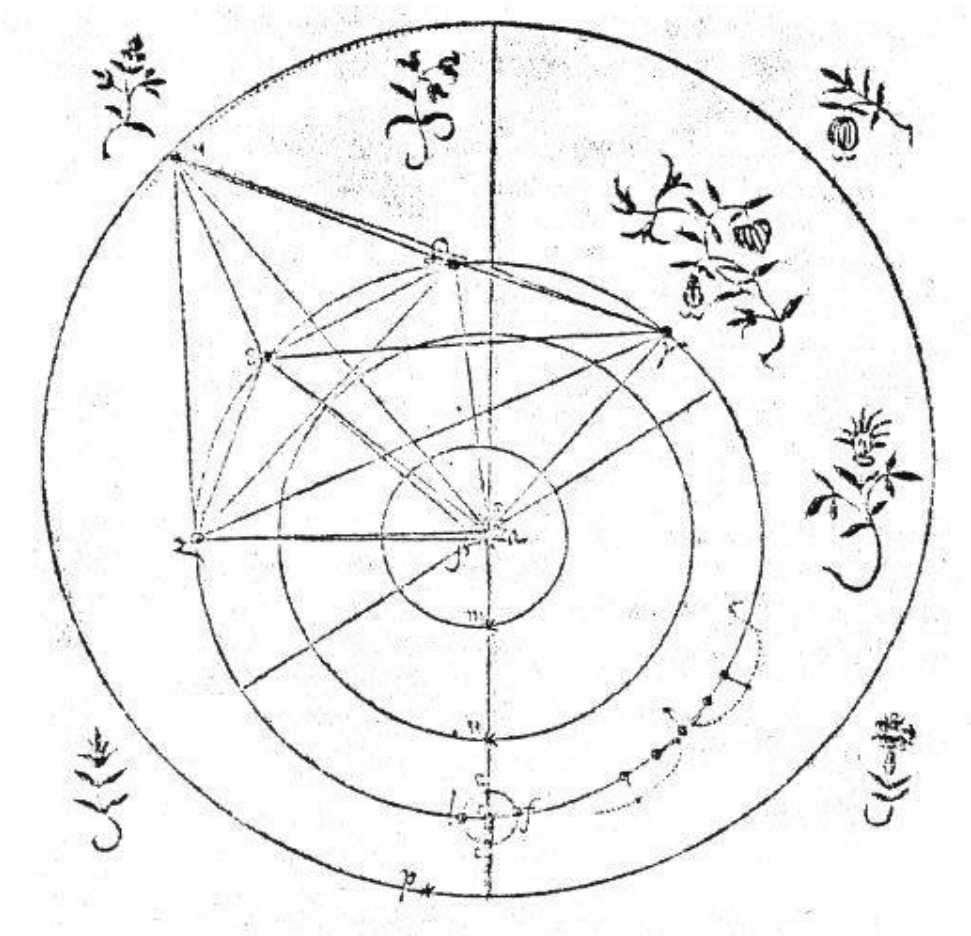
Kepler fonde la musique céleste, non plus sur les distances entre planètes, mais sur la vitesse des planètes, en fonction de sa deuxième loi (loi des aires : la vitesse d'une planète devient donc plus grande lorsque la planète se rapproche du Soleil).

- ***Saturne***, à son aphélie, couvre chaque jour 106 secondes d'arc d'ellipse ; à son périhélie, 135 ; cela équivaut, à 2 secondes près, à un rapport de 4 à 5, qui est la ***tierce majeure.*** Kepler suppose que le ton de Saturne à son aphélie est le ***sol***, en son périhélie le ***si.***
- ***Jupiter,*** donne la ***tierce mineure***,
- ***Mars*** la ***quinte***,
- la ***Terre*** le ***demi-ton***,
- ***Vénus*** la ***dièse***,
- ***Mercure*** l'***octave*** augmentée de la tierce mineure.

L'ensemble des planètes constitue alors un chœur où la basse est dévolue à Saturne et Jupiter, le ténor à Mars, l'alto à la Terre et à Vénus, le soprano à Mercure.

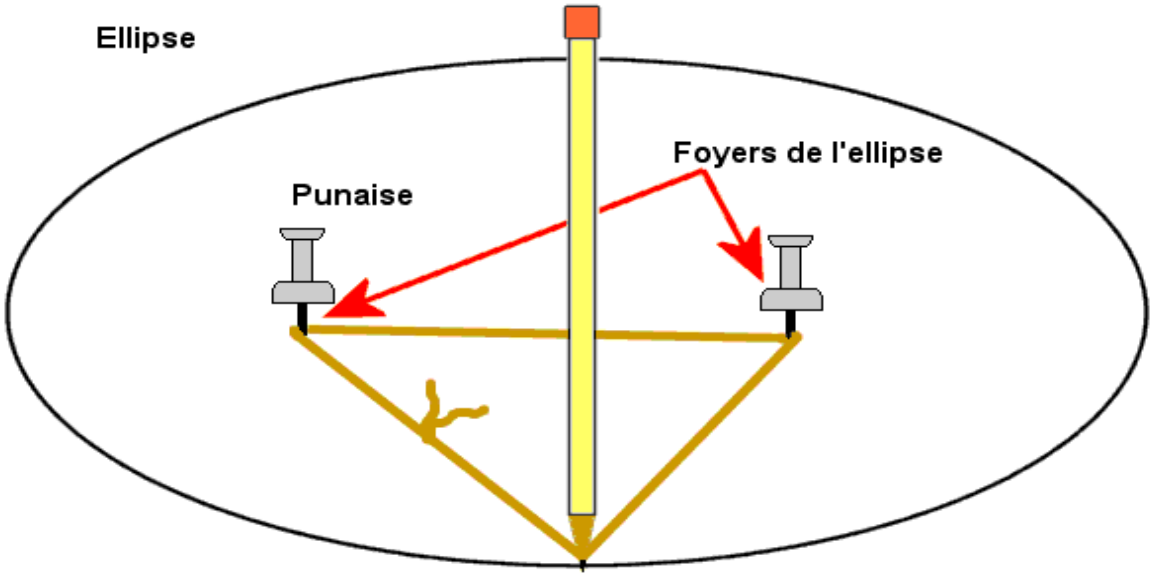
EN 1600, Kepler se réfugie chez TychoBrahé qui lui demande de calculer l’orbite précise de la planète MARS.

C’est en observant Mars à quatre dates différentes, lorsqu’il occupe la même position par rapport aux étoiles que Kepler a pu reconstruire l'orbite martienne

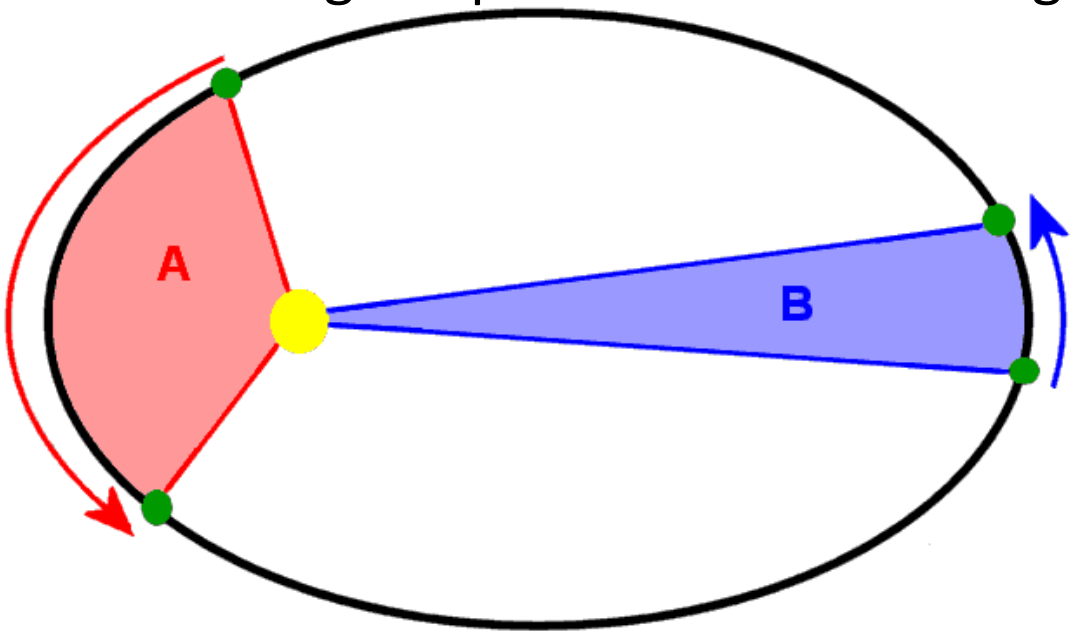


Au bout de six années de travail sur les mesures de Tycho, Kepler énonce ses deux premières lois

1ère loi : Les planètes décrivent des trajectoires elliptiques dont le Soleil est un foyer.



2ème loi : Le mouvement de chaque planète est tel que le segment de droite reliant le Soleil et la planète balaie des aires égales pendant des durées égales.



Ces lois furent publiées dans Astronomia Nova en 1609, où Johannes Kepler fut également le premier à émettre l'hypothèse d'une rotation du Soleil sur son axe.

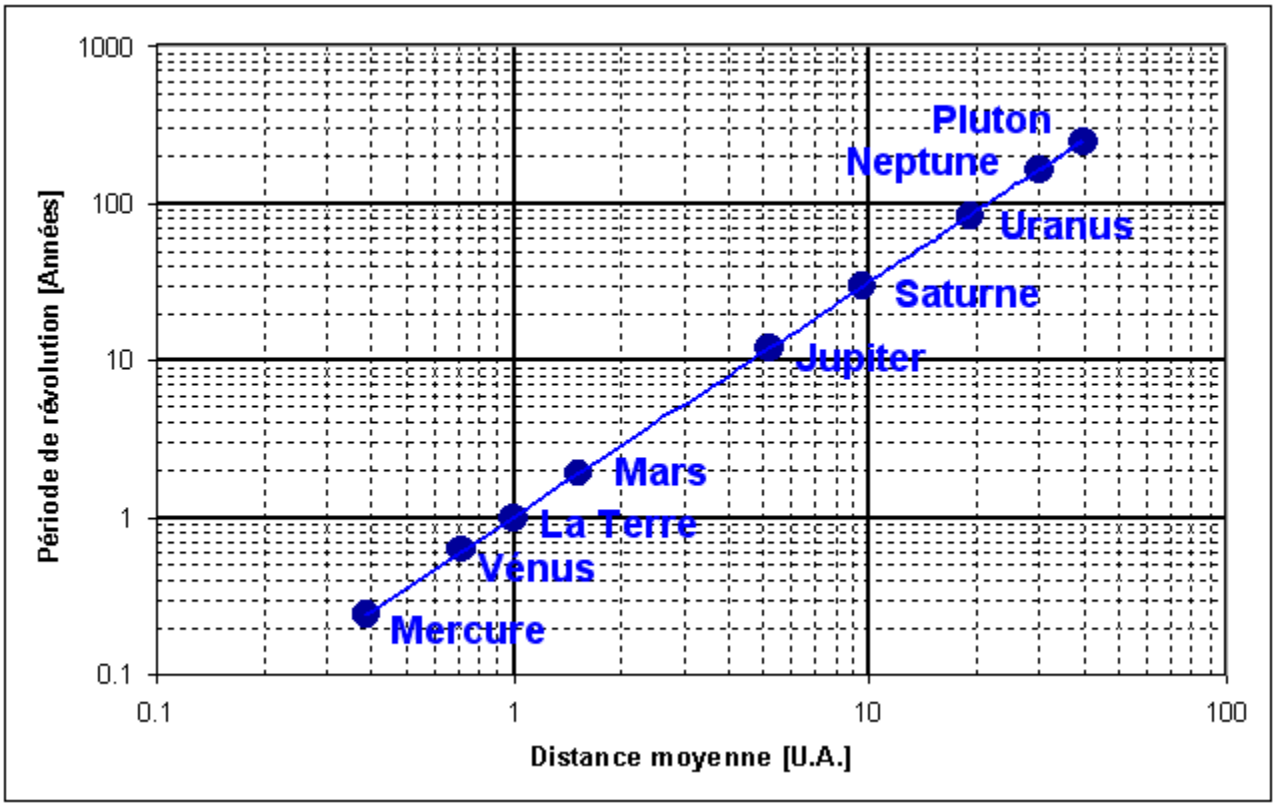
En 1618 viendra sa troisième grande loi

le carré de la période de révolution est proportionnel

au cube de la distance au Soleil.

$$T2 = K \times D3$$

K est la constante de proportionnalité indépendante de la masse de la planète.



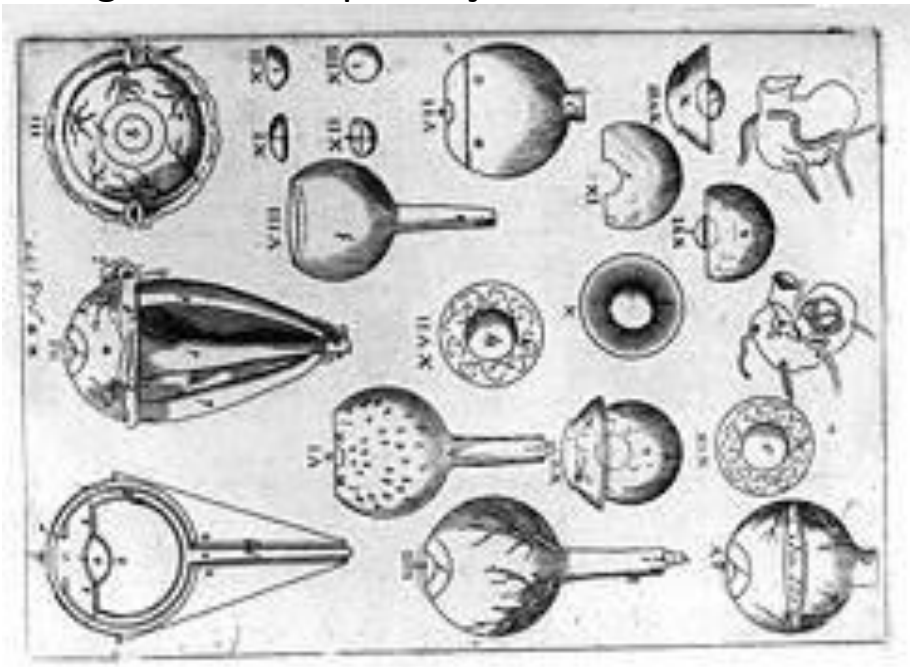
La troisième loi de Kepler permet de connaître la distance d'un corps au Soleil si on connaît sa période de révolution.

Alors qu'il étudie l'orbite de Mars, Kepler voit la nécessité d'étudier également l'optique afin de mieux comprendre certains phénomènes observés tels la réfraction atmosphérique.

Dès 1603, il parcourt divers ouvrages sur le sujet dont celui de l'Arabe **Alhazen**.

Kepler rassemble les connaissances de l'époque dans son livre *Astronomia pars Optica*, publié en 1604. Il y explique :

- les principes fondamentaux de l'optique moderne
- la nature de la lumière (rayons, intensité variant avec la surface, vitesse infinie, etc.),
- la chambre obscure,
- les miroirs (plans et courbes),
- les lentilles et la réfraction dont il donne la loi $i = n \times r$.
- Il aborde également le sujet de la vision et la perception des images par l'œil. Il est convaincu que la réception des images est assurée par la rétine et non pas le cristallin comme on le pensait à cette époque, et que le cerveau serait tout à fait capable de remettre à l'endroit l'image inversée qu'il reçoit.

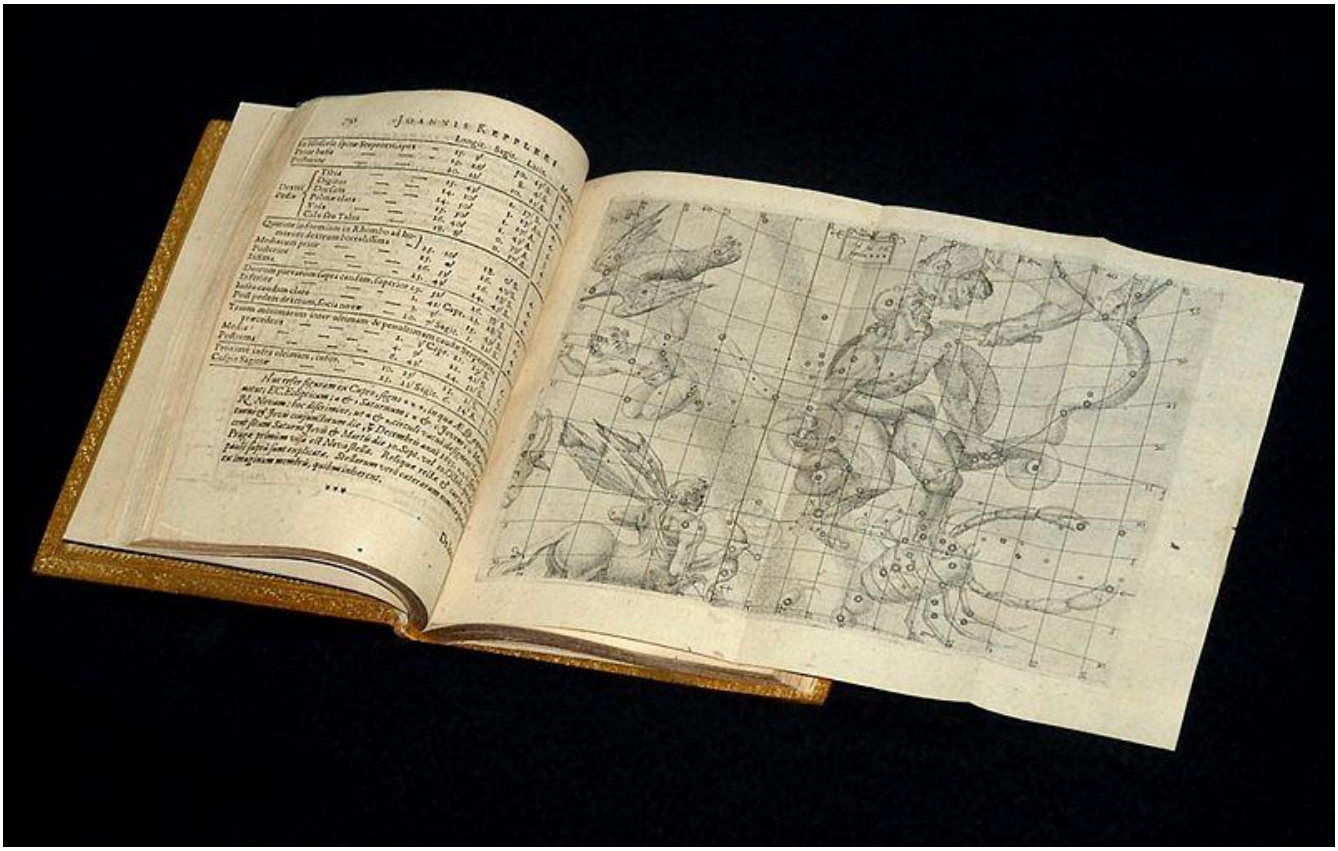


En 1610, il prend connaissance de la découverte de quatre satellites autour de Jupiter grâce aux observations de Galilée avec son télescope

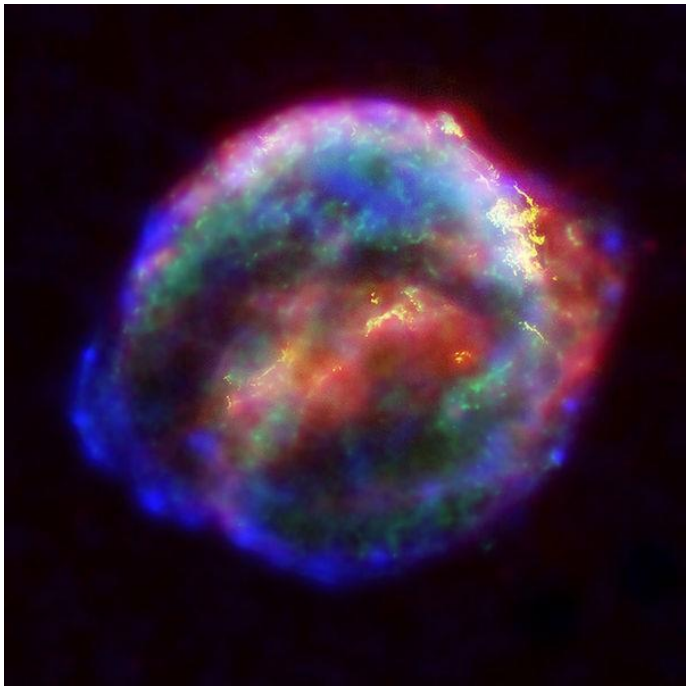
- Il écrit une lettre de soutien publiée sous le titre de *Dissertatio cum Nuncio Sidero* (*Conversation avec le messager des étoiles*)
- Après avoir lui-même observé ces satellites, il publie ses observations dans *Narratio de Observatis Quatuor Jovis Satellibus*.

L'invention récente du télescope enthousiasme beaucoup Kepler qui, en 1611, écrit un second ouvrage d'optique, *Dioptricae*, reprenant de nombreux thèmes abordés dans l'*Optica* en les approfondissant.

Dans ce livre très mathématique, il rassemble 141 théorèmes expliquant principalement les lentilles et le fonctionnement d'un télescope.



Suite à l’observation d’une supernova en 1604-1605, il écrira deux ans plus tard *De Stella nova in pede serpentarii*.



Au cours des siècles suivants, l'église deviendra plus tolérante. Les astronomes adopteront le modèle héliocentrique et la science se développera sans entrave.

A la fin du XIXe siècle, les cosmologistes conclurent que l'Univers n'avait pas été créé, mais qu'il était éternel.

Cette théorie n'était étayée d'aucune preuve. La thèse d'un Univers éternel n'était guère qu'un mythe.

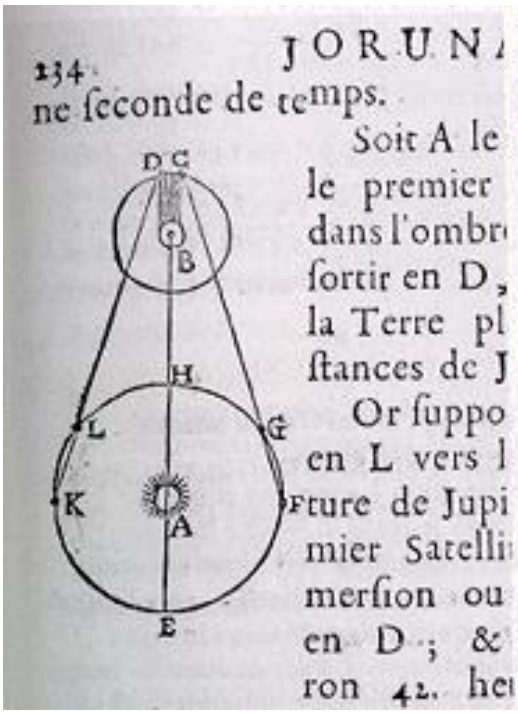
Au XXe siècle, les cosmologistes se poseront à nouveau la question mais l'aborderont avec des méthodes scientifiques

L'UNIVERS A-T-IL ETE CREE ?

OU

A-T-IL EXISTE DE TOUTE ETERNITE ?

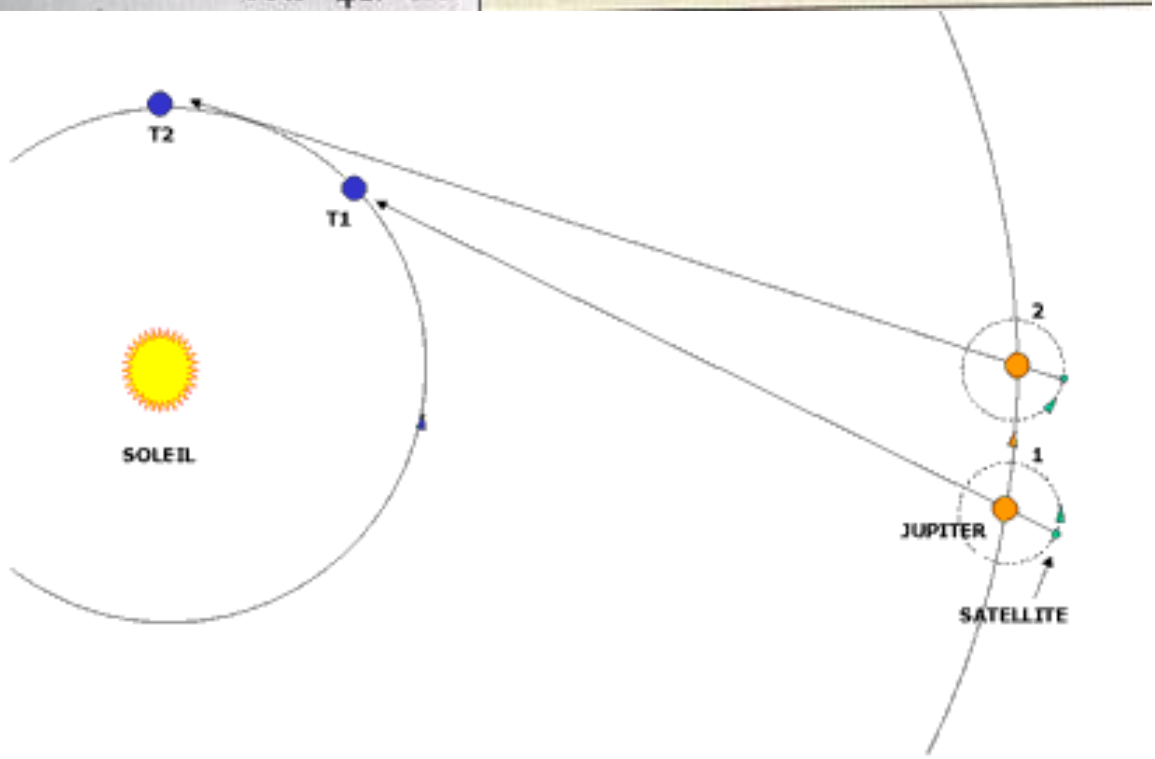
En 1670, CASSINI prouve que la lumière a une vitesse finie en observant les lunes de Jupiter.



« Soit A le Soleil, B Jupiter, C le premier satellite qui entre dans l'ombre de Jupiter pour en sortir en D, et soit E, F, G, H, K, L, la Terre placée à diverses distances de Jupiter.

Or supposé que la Terre étant en L vers la seconde quadrature de Jupiter, ait vu le premier satellite, lors de son émersion ou sortie de l'ombre en D ; et qu'ensuite, environ 42 heures et demie après, savoir après une révolution de ce satellite, la Terre se trouvant en K, le voit de retour en D : il est manifeste que si la lumière demande du temps pour traverser l'intervalle LK, le satellite sera vu plus tard de retour en D, qu'il n'aurait été si la Terre était demeurée en L ; de sorte que la révolution de ce satellite, ainsi observé par les émersions, sera retardée d'autant de temps que la lumière en aura employé à passer de L en K, et qu'au contraire dans l'autre quadrature FG, où la Terre en s'approchant, va au devant de la lumière, les révolutions des immersions paraîtront autant raccourcies, que celles des émersions avaient parues allongées. »

Extrait du rapport de Römer, dans le *Journal des sçavans* du Lundy 7 Décembre 1676 (page 234)

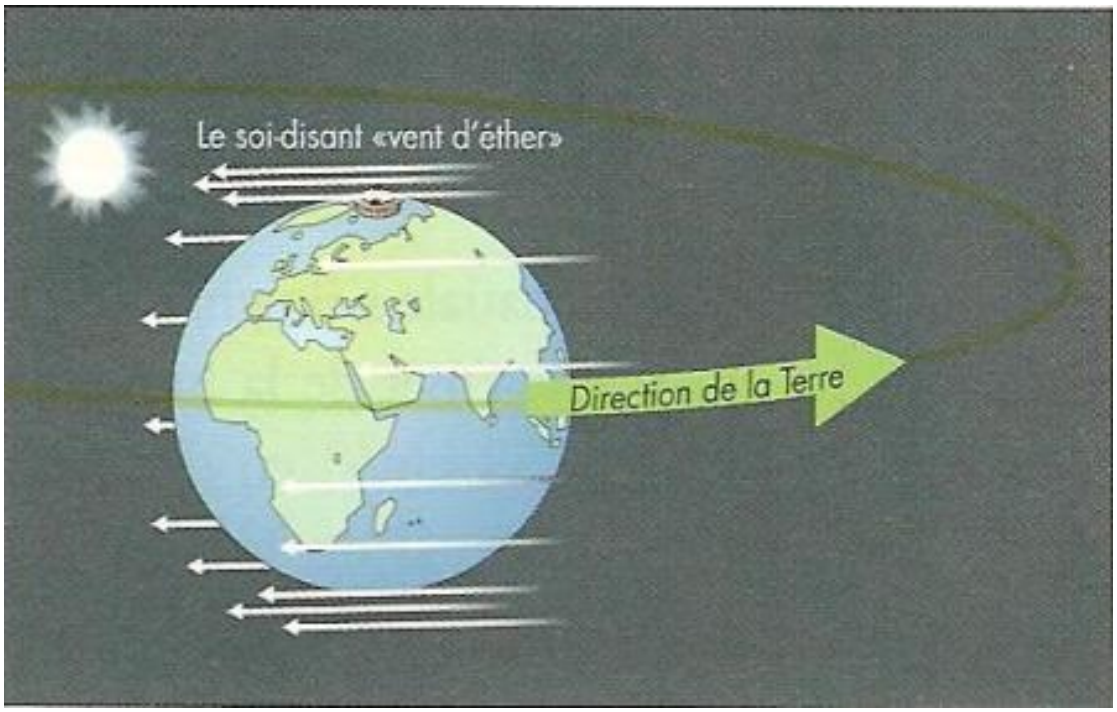


Tous les modèles essaient de répondre à trois questions

- Quelles matières constituent l'univers et comment se comportent elles?
- Quelle est la cause de la force de gravitation et comment régit-elle les interactions entre les planètes et les étoiles?
- L'univers est composé d'espace et il a évolué dans le temps, qu'est ce que les physiciens entendent par espace et temps?

Il faut d'abord connaître la vitesse de la lumière…

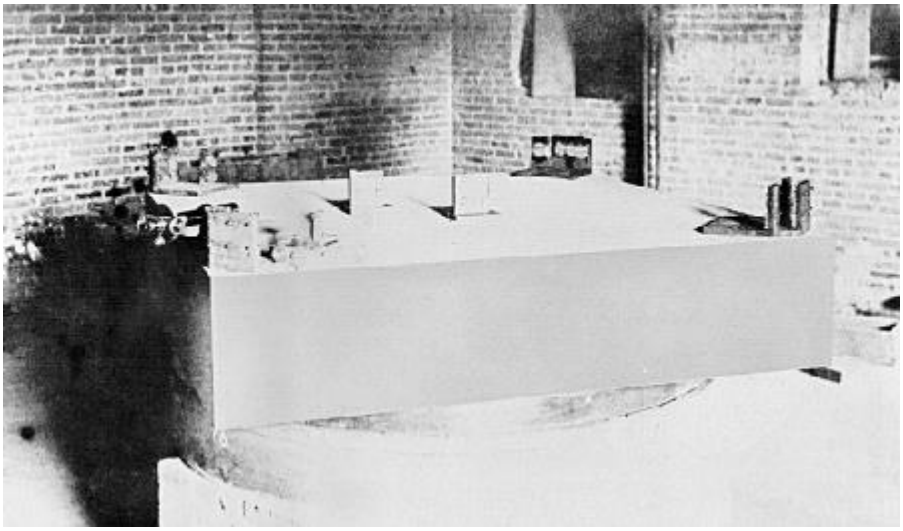
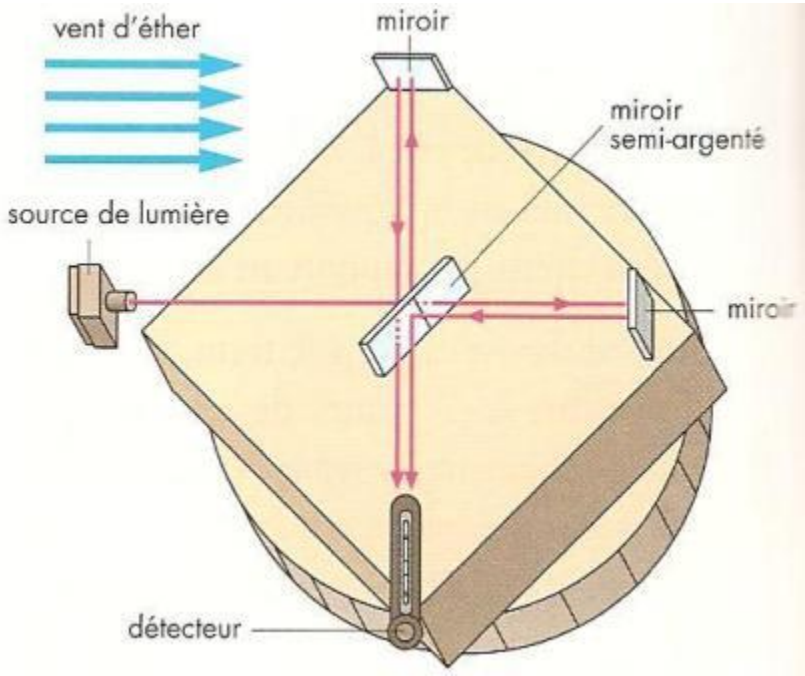
Les Victoriens pensaient que l'univers étaient rempli par l'ETHER, support qui véhicule a lumière.



Comme la Terre se déplace dans l'espace à travers l'éther, il doit y avoir un vent d'éther.

Alors la vitesse d'un faisceau de lumière allant contre le vent d'éther doit être différente de celle d'un faisceau se propageant perpendiculairement au vent

Années 1880
MICHELSON et MORLEY mènent une expérience en ce sens mais ils ne constatent aucune différence



L'Ether n'existe pas