

Tycho Brahé, Kepler, Newton

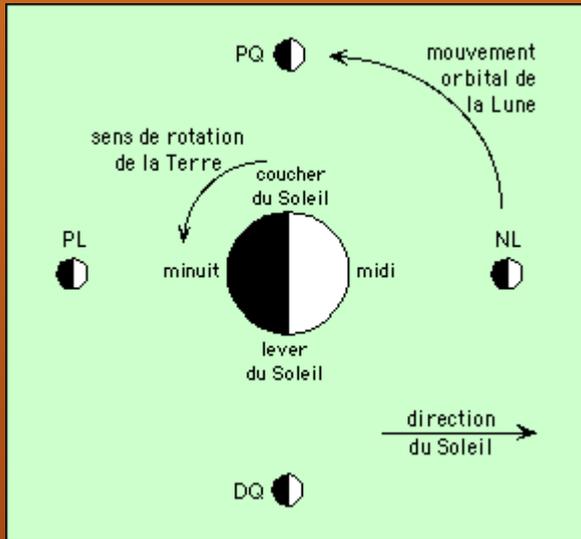
Naissance de la Gravitation Universelle

*J. Gispert
Association ANDROMEDE
Observatoire de Marseille*

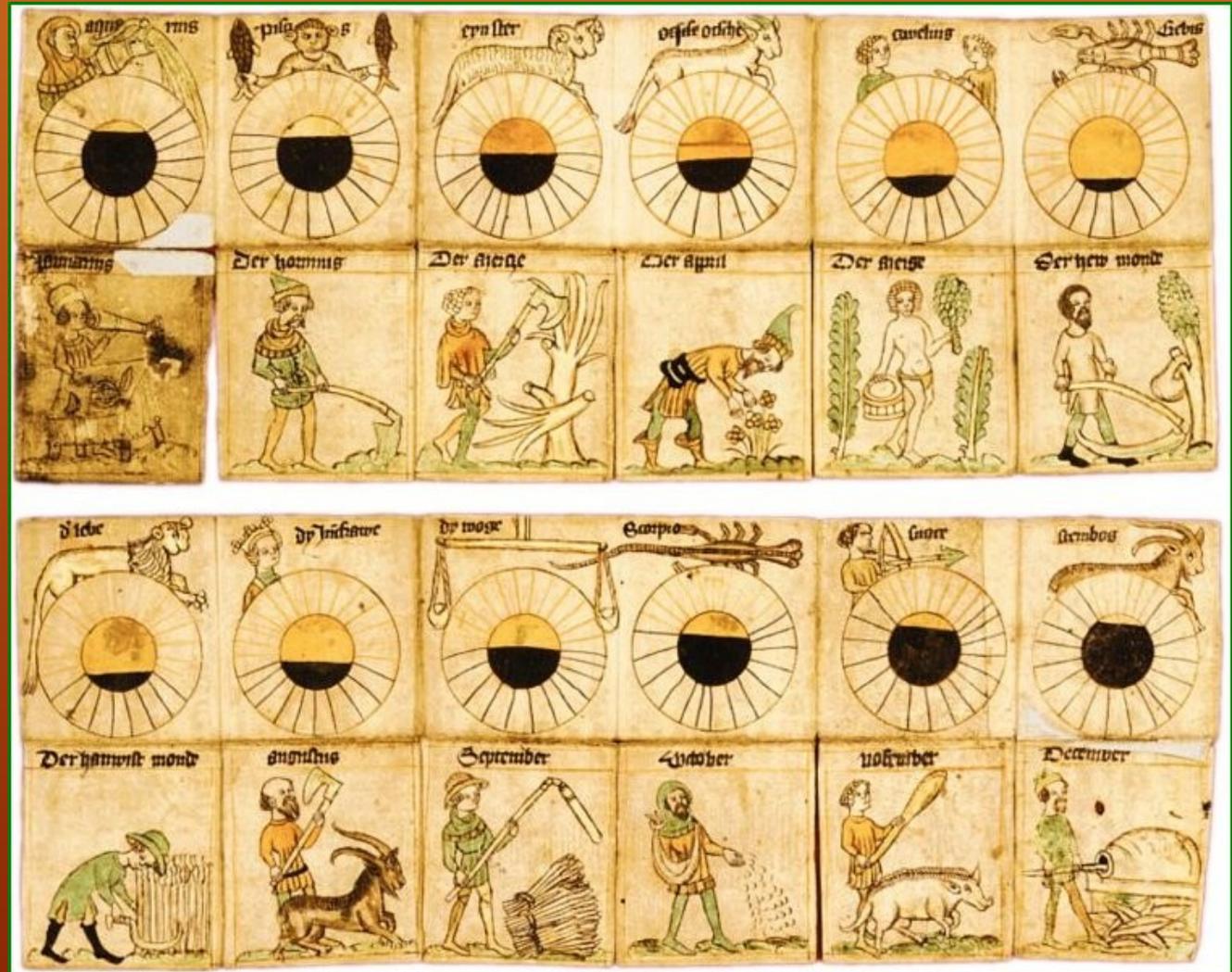
*Planétarium Peiresc
Aix-en-Provence
10 avril 2014*

Besoin de prévoir

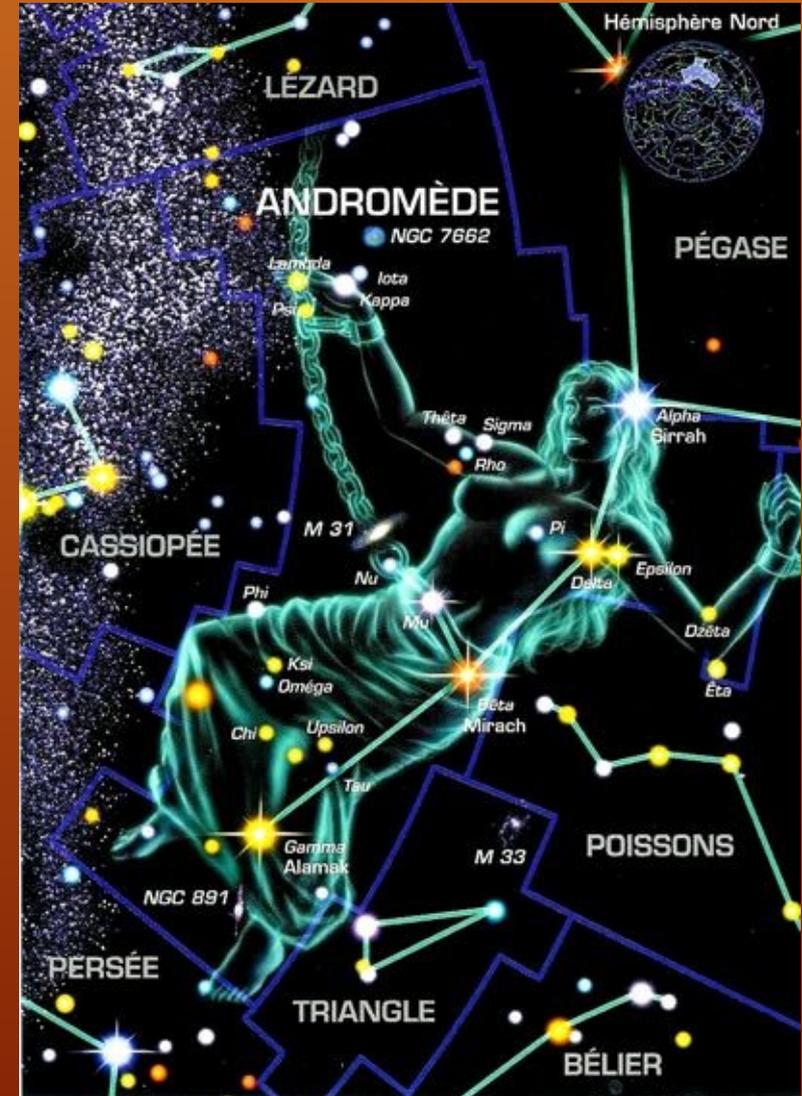
Agriculture



Calendrier



Mythologie



Le problème

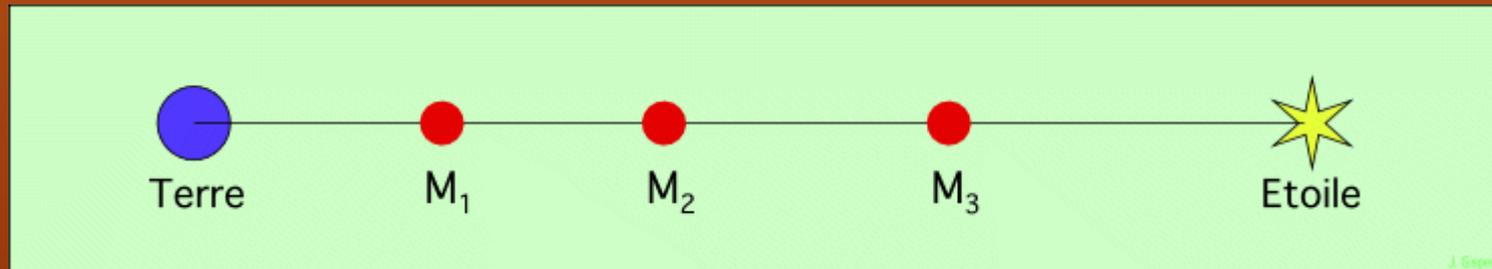
Prévoir les positions des astres

Donc, *déterminer les orbites et les vitesses*

Méthode

*observer les positions passées,
comprendre les mouvements,
pour prévoir les positions futures.*

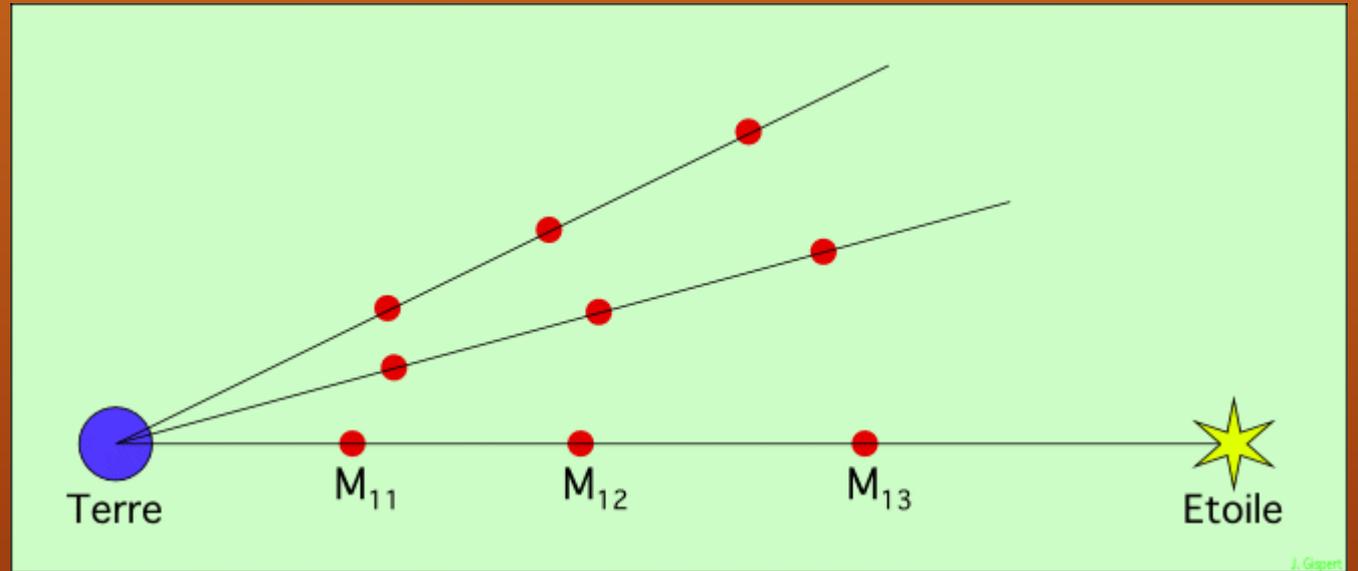
Qu'observe-t-on ?



La *direction* des astres, repérée par rapport aux étoiles fixes

Le problème

avec 3 observations,
on obtient :



On connaît la direction, pas la distance.

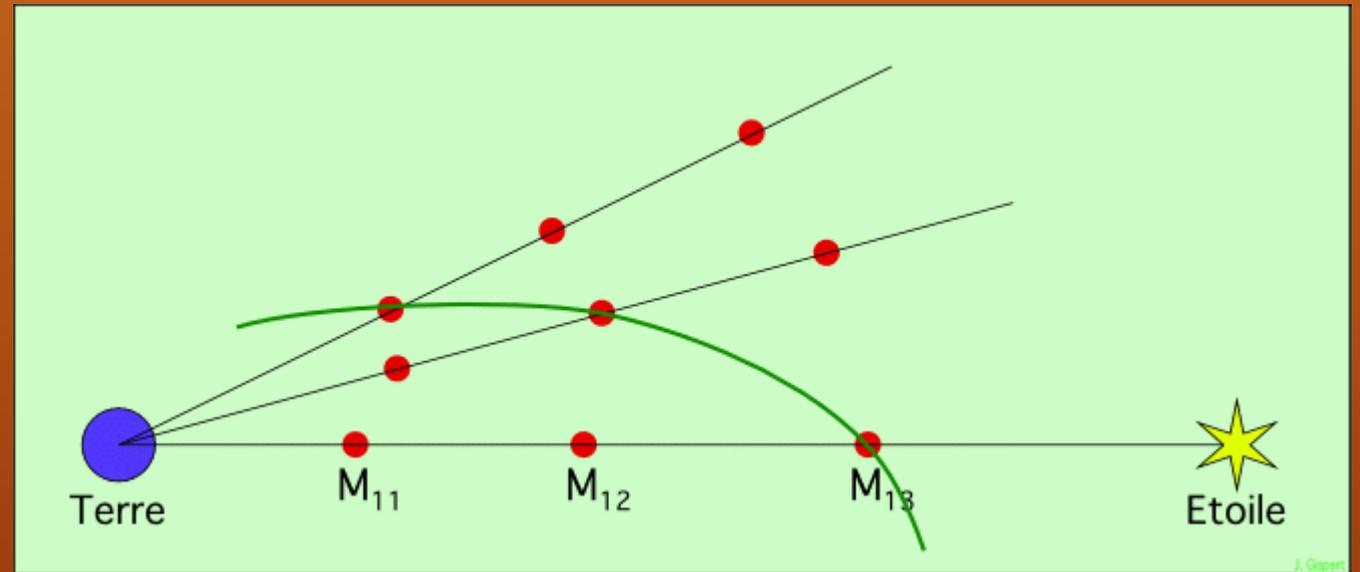
La planète peut être en M_{11} , ou M_{12} , ou M_{13}

Le problème

On trace une orbite :

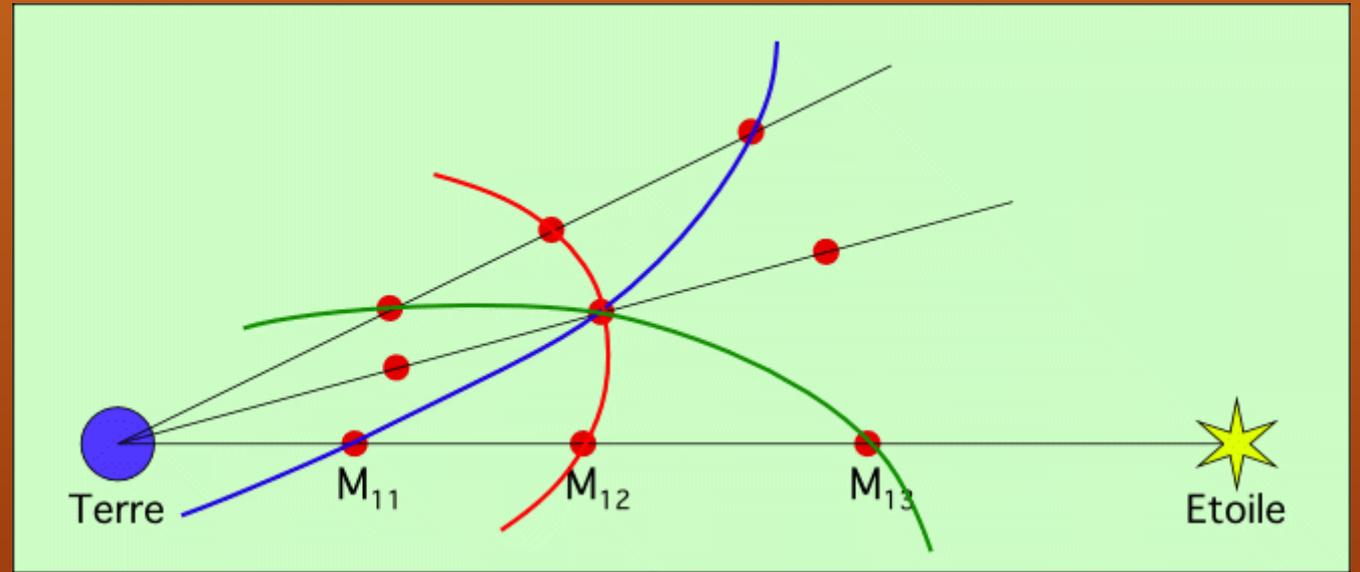
ou une autre :

...une troisième :



Le problème

Laquelle choisir ?



Comment prévoir ?

Dans l'impossibilité de DETERMINER l'orbite,

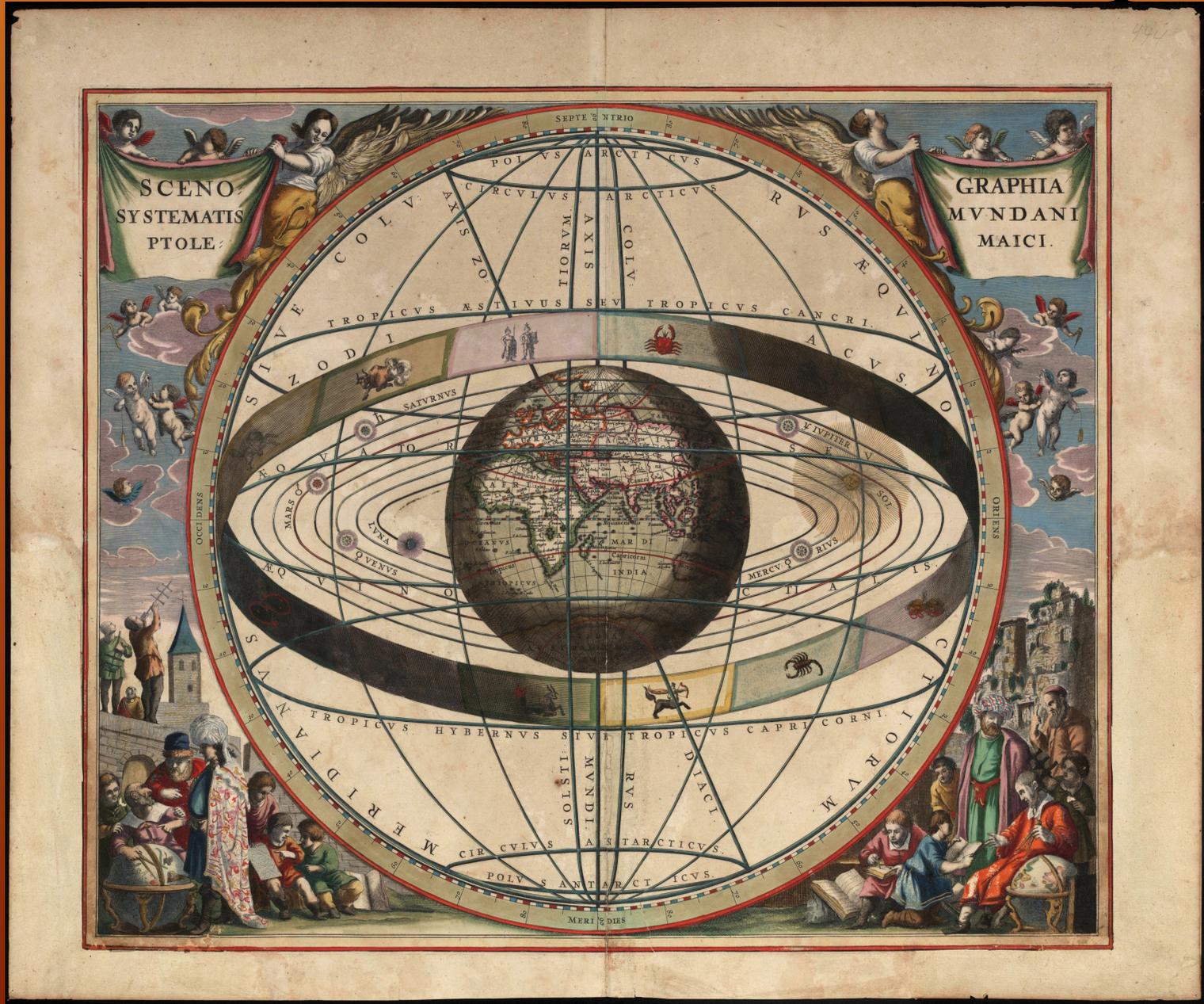
Il faut faire un CHOIX ARBITRAIRE !

Tant qu'à être dans l'arbitraire, autant faire le choix le plus simple :

Orbite circulaire

Parcourue à vitesse constante !

Systeme du Monde avant Copernic



Systeme ptoléméen

Le problème est-il résolu ?

Non !

Les planètes sont parfois en *avance*, parfois en *retard*.

En plaçant les planètes sur des épicycles, on établit un accord !

Cette solution est CINEMATIQUE, et non physique.

*A défaut d'une vraie solution physique,
on la CONSIDERE comme telle !*

Copernic

19 février 1473 – 24 mai
1543

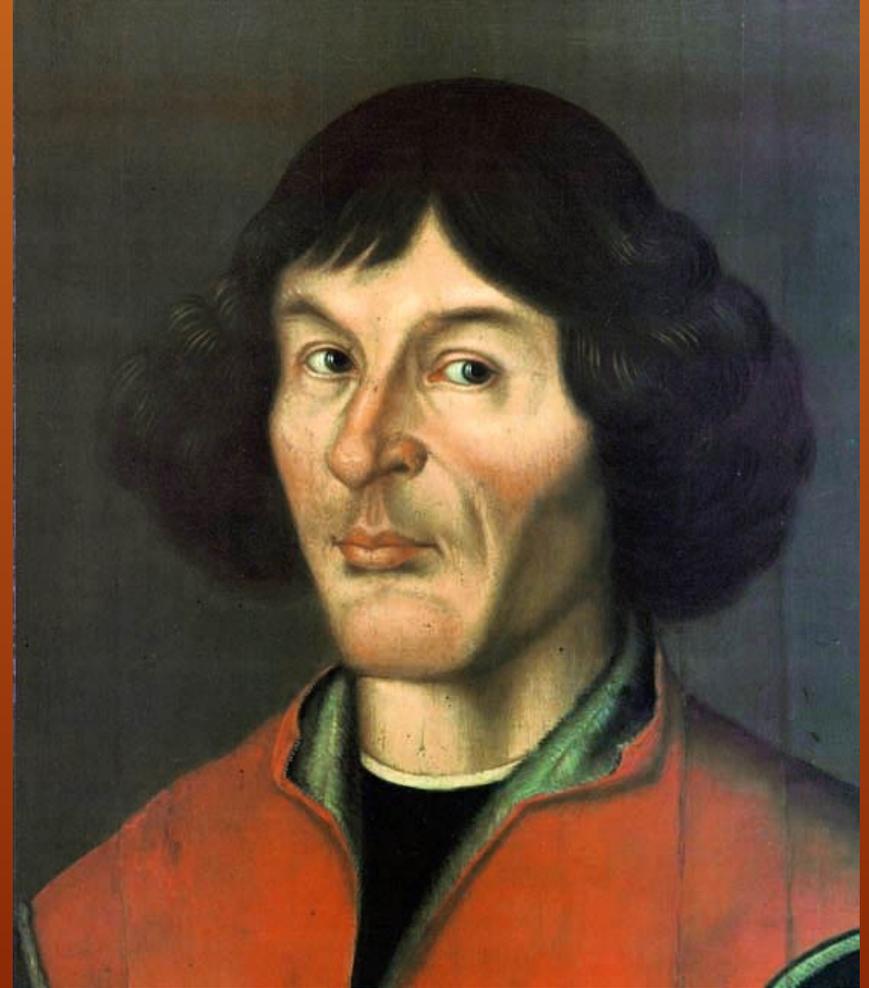
1.500 ans de géocentrisme !

Il fallait tout remettre en question...

Copernic a repris le problème à zéro.

Il REplace le soleil au centre du Monde.

C'est d'un soleil *moyen* qu'il s'agit



Copernic

Cherchez l'erreur !



Systeme copernicien

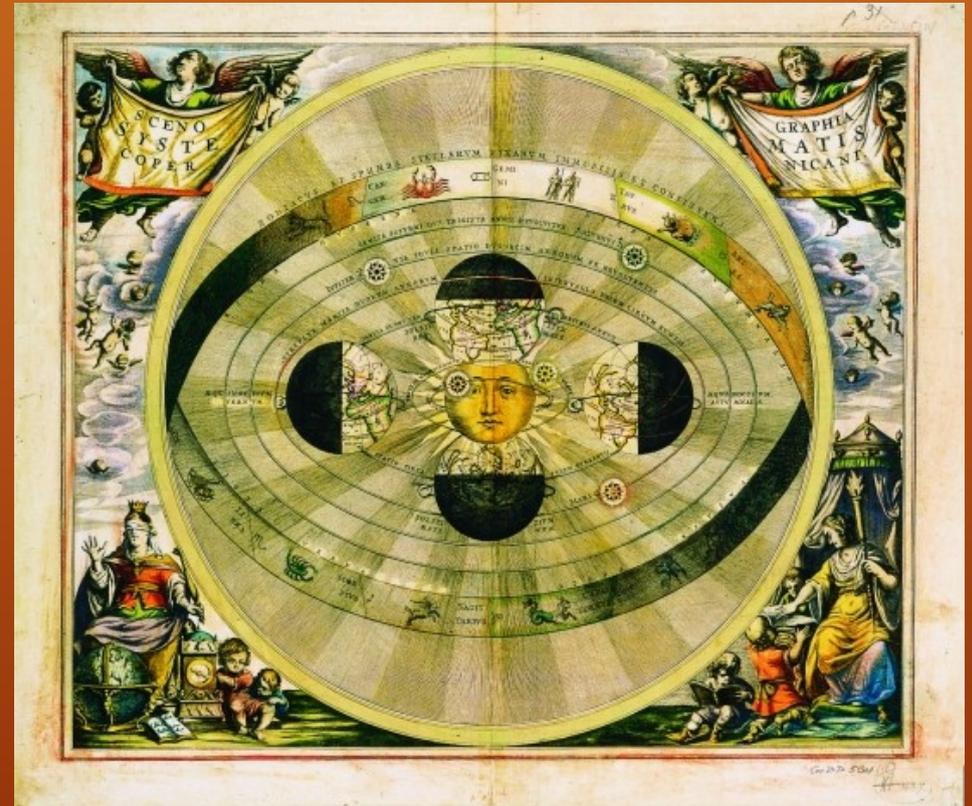
Copernic

Il a fait un progrès immense,

mais il conserve le cercle...

Et par suite les épicycles !

Les idées sont tenaces...



Système héliocentrique

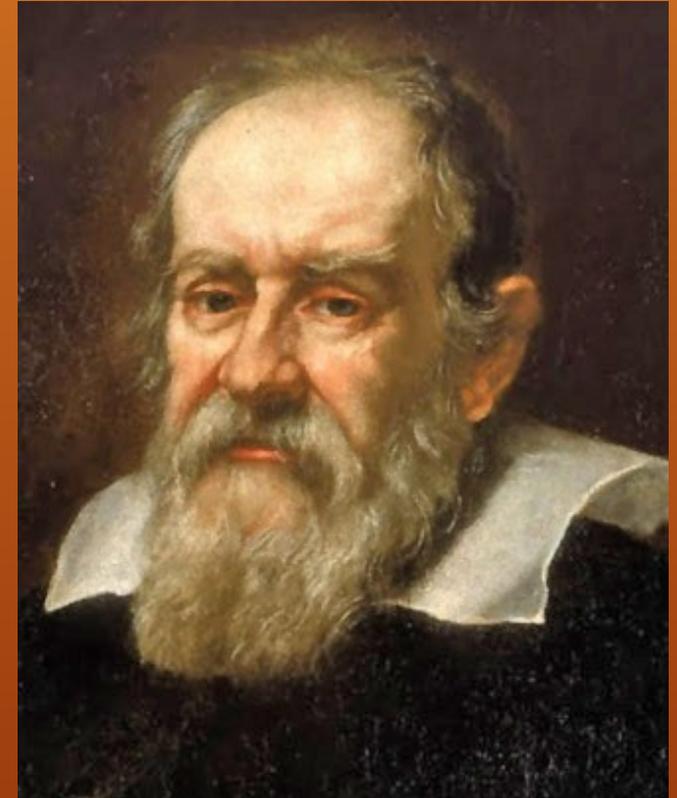
Galilée

15 février 1564 – 8 janvier 1642

les satellites de Jupiter



tout ne tourne pas autour de la Terre !!!



Le dogme sur lequel repose le système de Ptolémée
vole en éclats...

Galilée, la loi de l'inertie

Galilée a étudié la chute des corps.

Il en a déduit la loi de l'inertie.



Plan incliné

*Un corps qui n'est soumis à aucune force est
soit au repos,
soit en mouvement rectiligne uniforme.*

Cette loi est la base de la Mécanique

Tycho Brahé



14 décembre 1546
24 octobre 1601

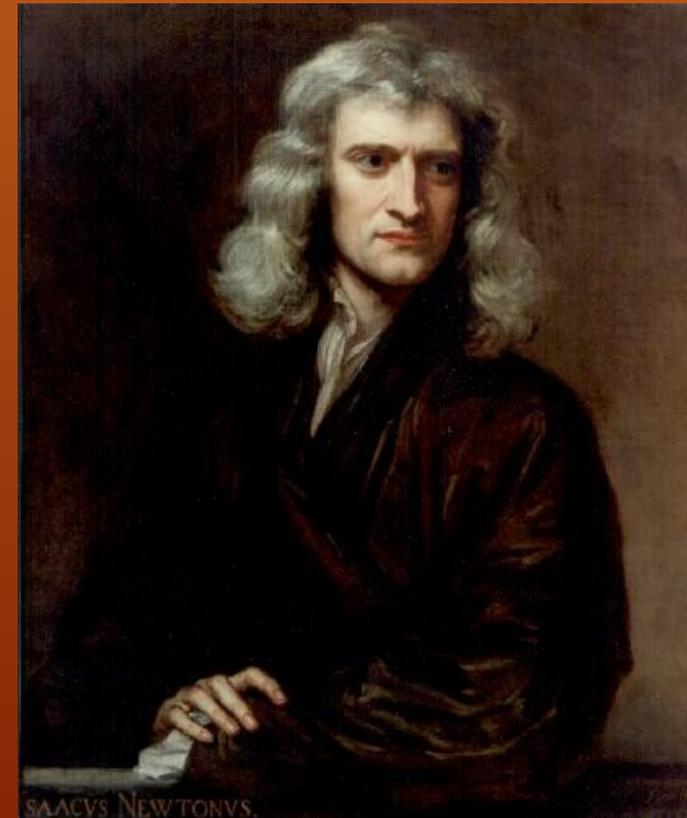
Galerie de portraits

Kepler



27 décembre 1571
15 novembre 1630

Newton



4 janvier 1643
31 mars 1727

Tycho Brahé, l'homme au nez d'or



Astronome danois (14/12/1546 - 24/10/1601)

Il observe une éclipse de lune,
l'interprète astrologiquement,
annonce la mort de Soliman le Magnifique.

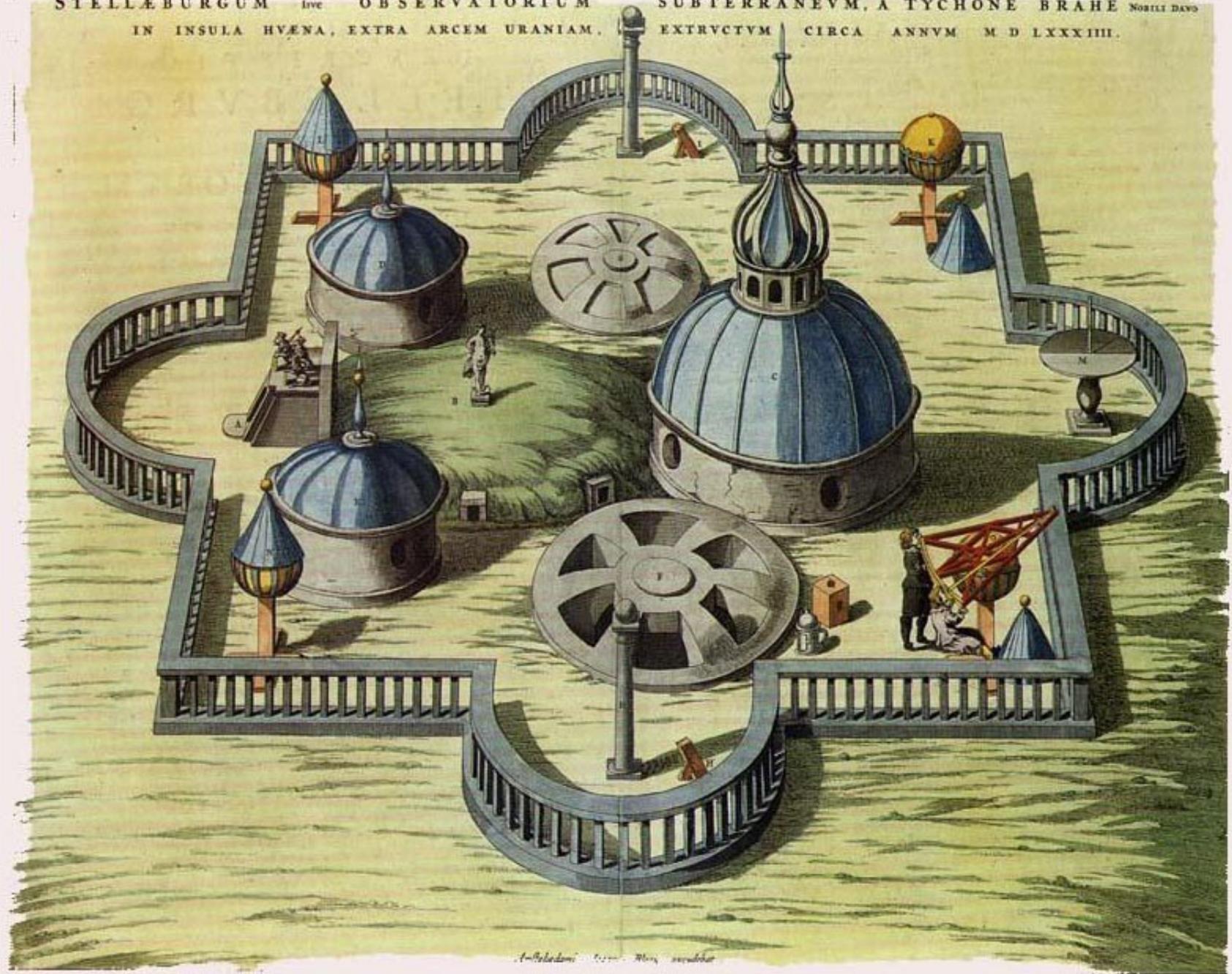
Malheureusement, celui-ci est déjà mort
depuis quelques semaines...

Il s'ensuit un duel avec son cousin,
au cours duquel il perd son nez !

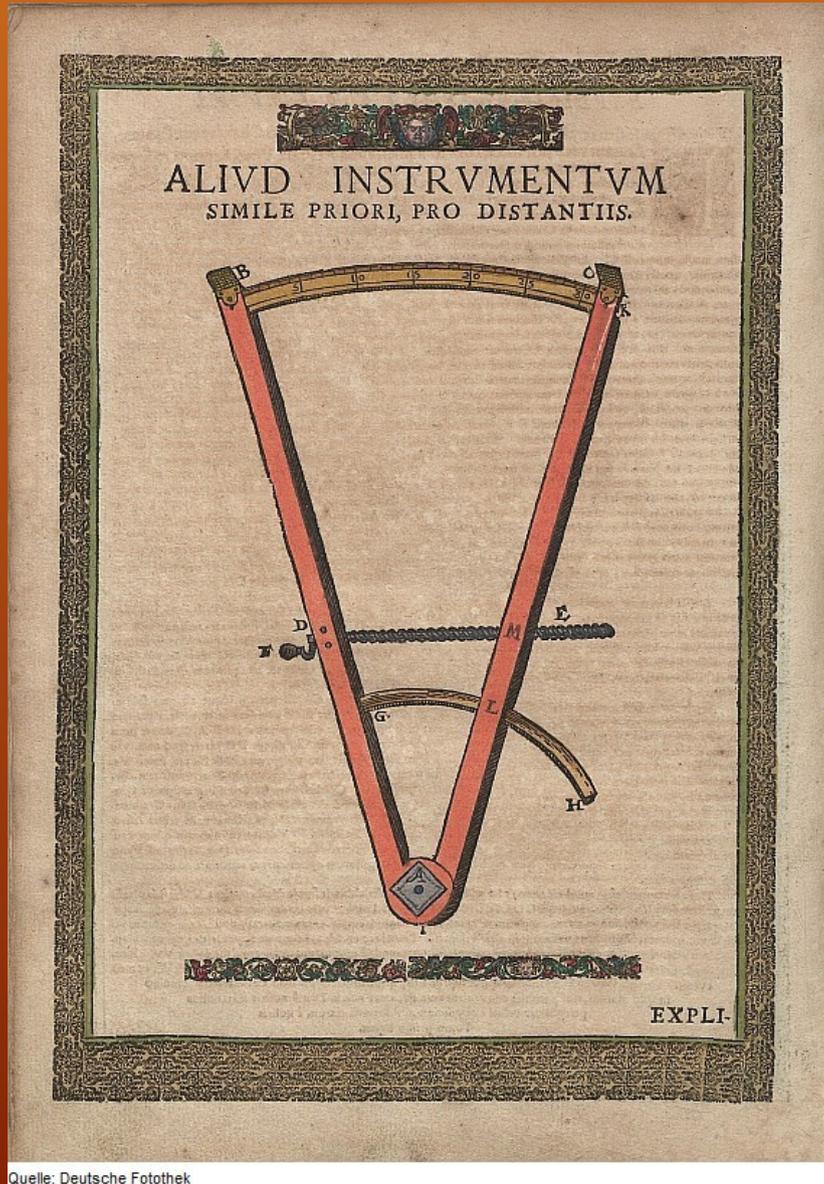


Uraniborg

STELLÆBURGUM sive OBSERVATORIUM SUBTERRANEVM, A TYCHONE BRAHE NOBILIT DANO
IN INSULA HVÆNA, EXTRA ARCEM URANIAM, EXTRVCTVM CIRCA ANNVM M D LXXXIII.



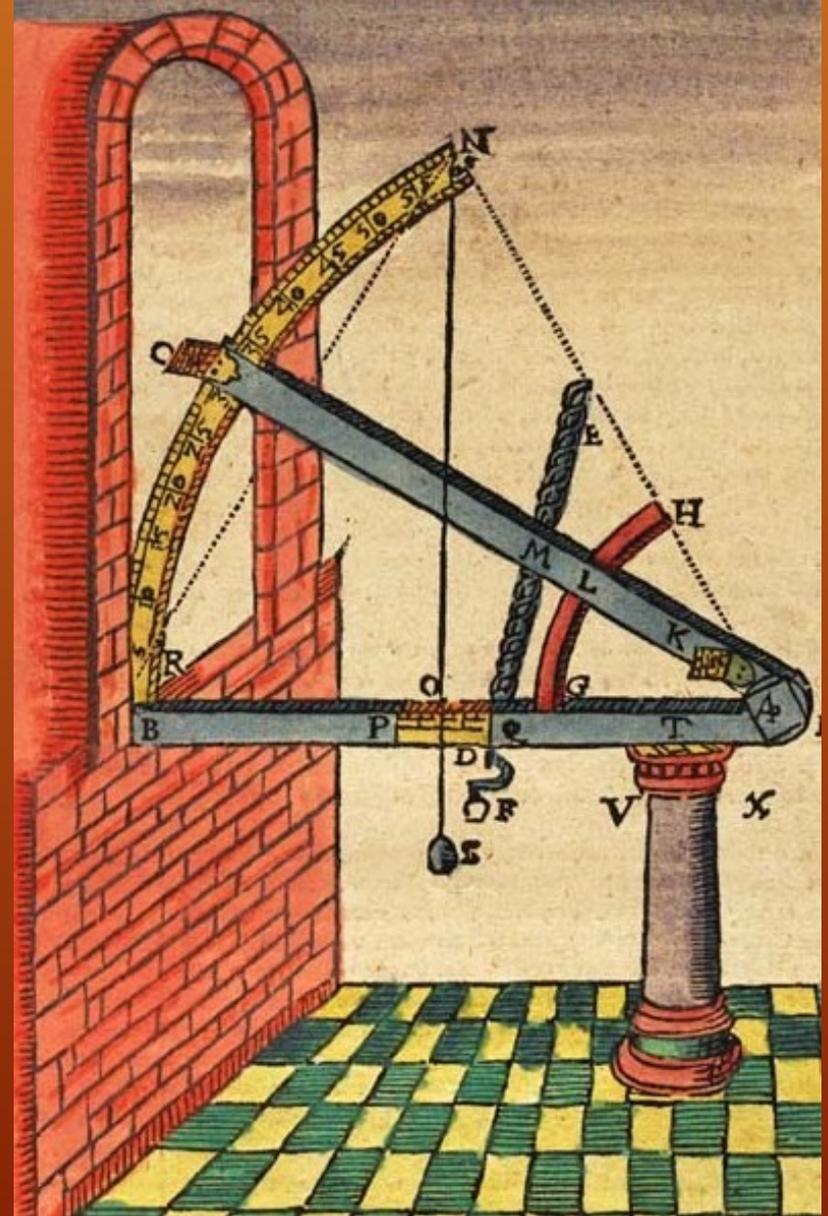
INSTRUMENTS



Instruments

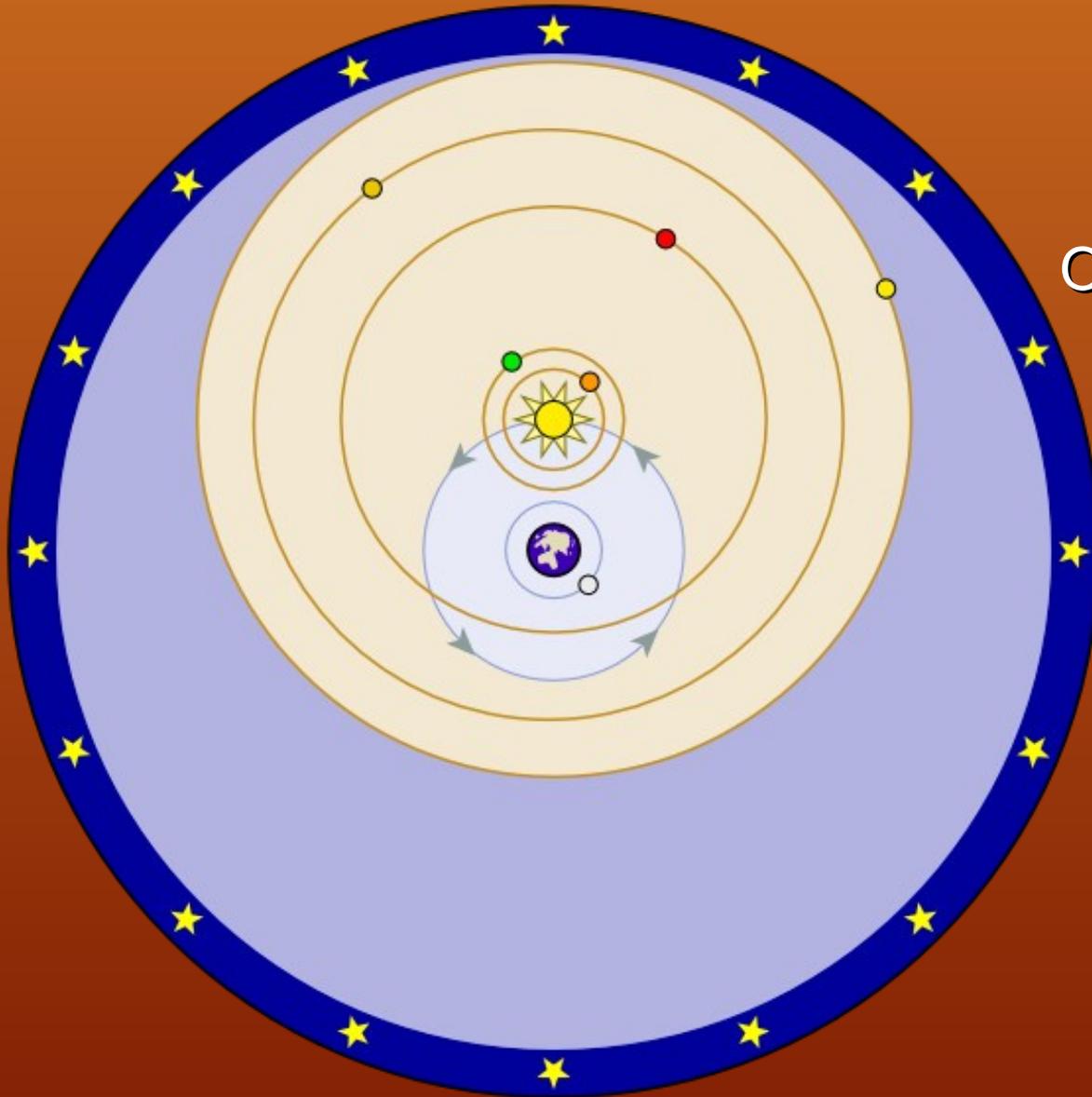


Bâton de Jacob



Sextant

Systeme tychonien



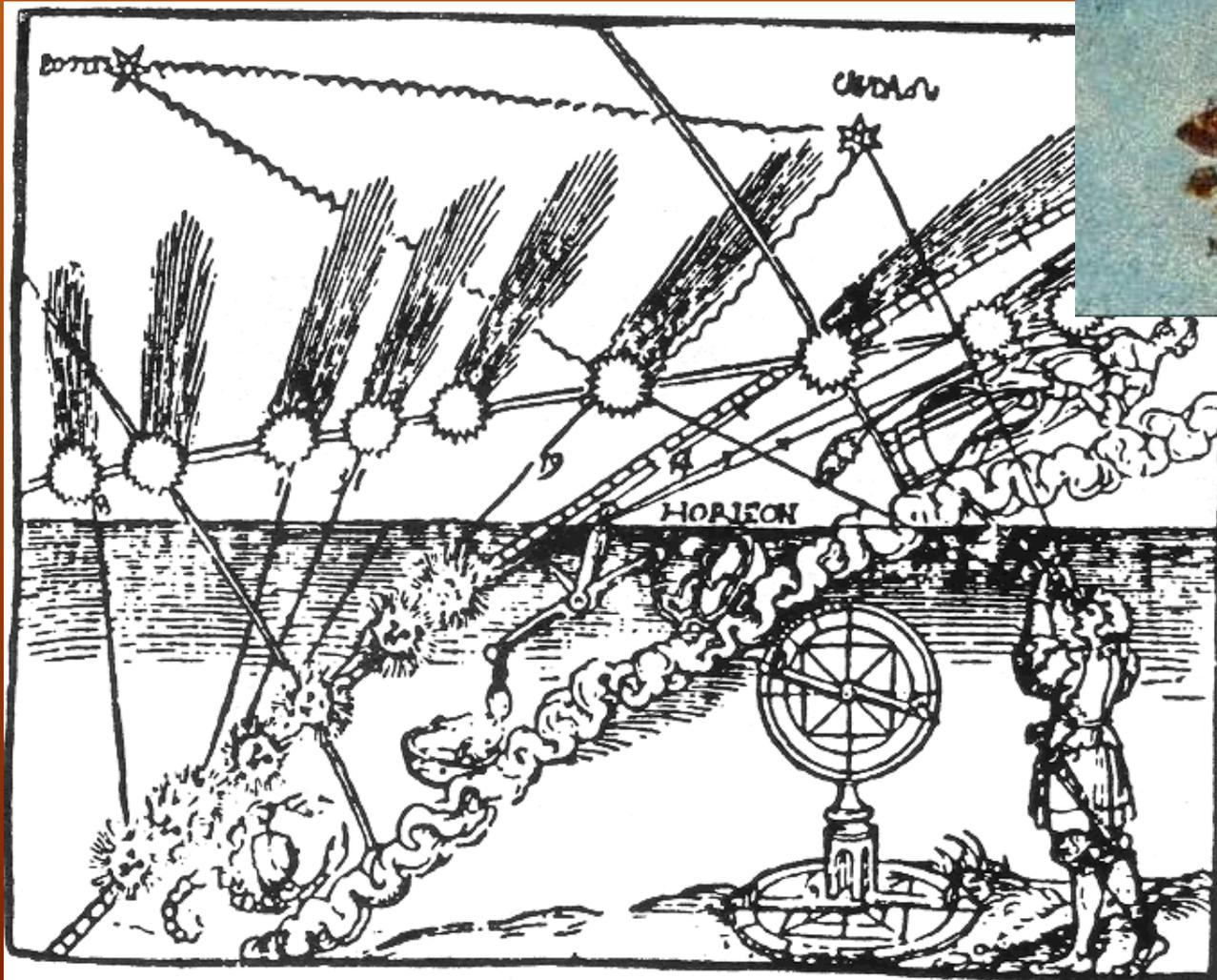
Original !

Un peu compliqué...

Pas très logique.

Les découvertes de Tycho

Tycho Brahé a montré que les comètes suivent des orbites non circulaires !



OBSERVATIONES
ANNI M. D. LXXX. I.
Hiuena.

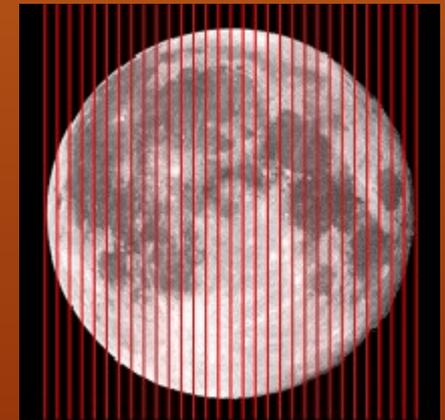
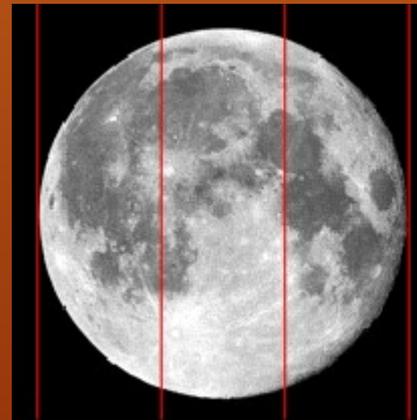
OBSERVATIONES SOLIS

Die.	Altit. ☉ Meditana g. n.	
Ianuarii		
6.	13. 10 $\frac{1}{2}$	Bona.
7.	13. 29.	mediocris.
8.	13. 36	Bona.
9.	13. 46	
10.	14. 0.	
14.	14. 56.	mediocris
Februarii		
4.	21. 6 $\frac{1}{2}$	Et nubes propter raras nubes
16.	25. 26.	Bona
17.	25. 48 $\frac{1}{2}$	
25.	28. 52	
26.	29. 14 $\frac{1}{2}$	non satis serenum.
28.	30. 1.	Et nubes propter nubes.
Martii		
9.	33. 35	satis bona.
14.	35. 33	mediocris.
15.	35. 36 $\frac{1}{2}$	Bona.
16.	36. 19 $\frac{1}{2}$	
20.	37. 53 $\frac{1}{2}$	
21.	38. 15	per Min.
	38. 16.	29. S.
23.	39. 4.	38. S.
	39. 2 $\frac{1}{2}$	per Min.
24.	39. 24 $\frac{1}{2}$	Min.
	39. 25.	ad summum 41. 41.
30.	41. 40 $\frac{1}{4}$	
31.	42. 2	Et nubes propter nubes.

Œuvre de Tycho

20 ans d'observations continues
Les meilleures avant la lunette

1' au lieu de 10' avant lui !



Les erreurs de position antérieures
ne peuvent plus passer inaperçues

Œuvre de Tycho

Avant Tycho, les astres devaient s'adapter aux mouvements prêtés par les hommes.

Tycho Brahé a pensé qu'il fallait d'abord *observer*, et ensuite *trouver* le mouvement qui vérifie ces observations.

Tycho a décidé que ce seraient les hommes qui s'adapteraient aux mouvements réels des astres !

Kepler

Kepler est *Mathematicus*
il doit construire le calendrier



Les questions de Kepler

Pourquoi existe-t-il 6 planètes ?

Pourquoi sont-elles disposées à ces distances du Soleil ?

Pourquoi se déplacent-elles à ces vitesses ?

Sous-entendu :

pourquoi Dieu a-t-il créé EXACTEMENT 6 planètes ?

Mauvaises questions,
Bonnes réponses !

Kepler, héritier du passé...

La musique

La motivation de Kepler est la recherche de *l'Harmonie*.

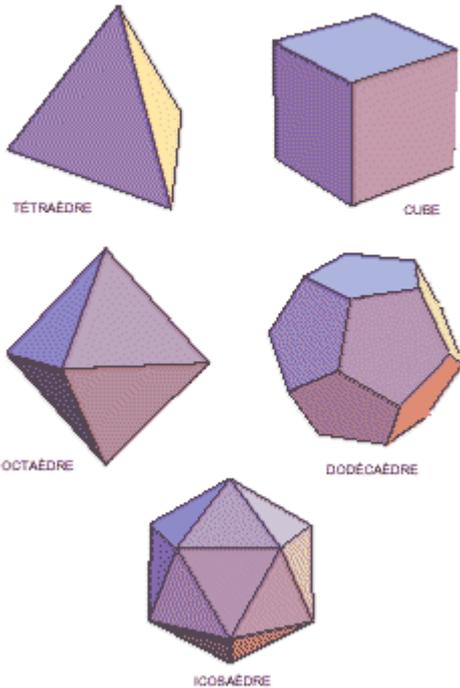
Il associe les planètes à la musique, chacune ayant sa mélodie.



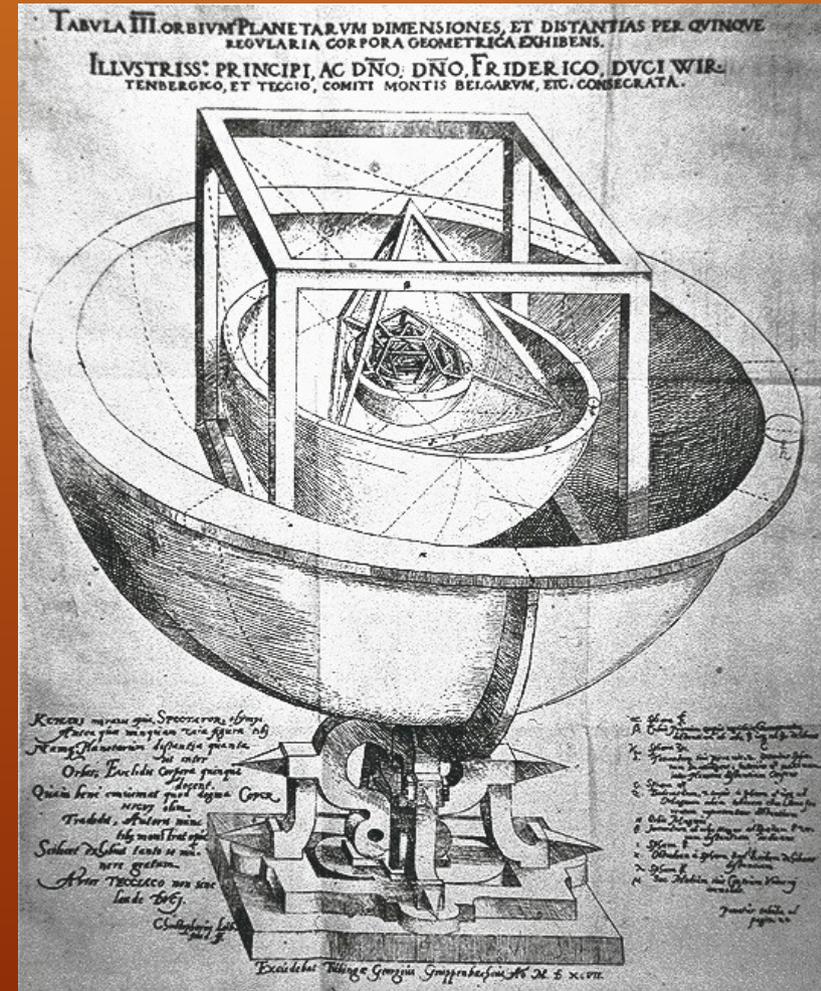
Les solides platoniciens

Entre explications *théologiques*
et explications *scientifiques*

Les Solides de Platon



Saturne
Cube
Jupiter
Tétraèdre
Mars
Dodécaèdre
Terre
Icosaèdre
Vénus
octaèdre
Mercure



... mais tourné vers l'avenir

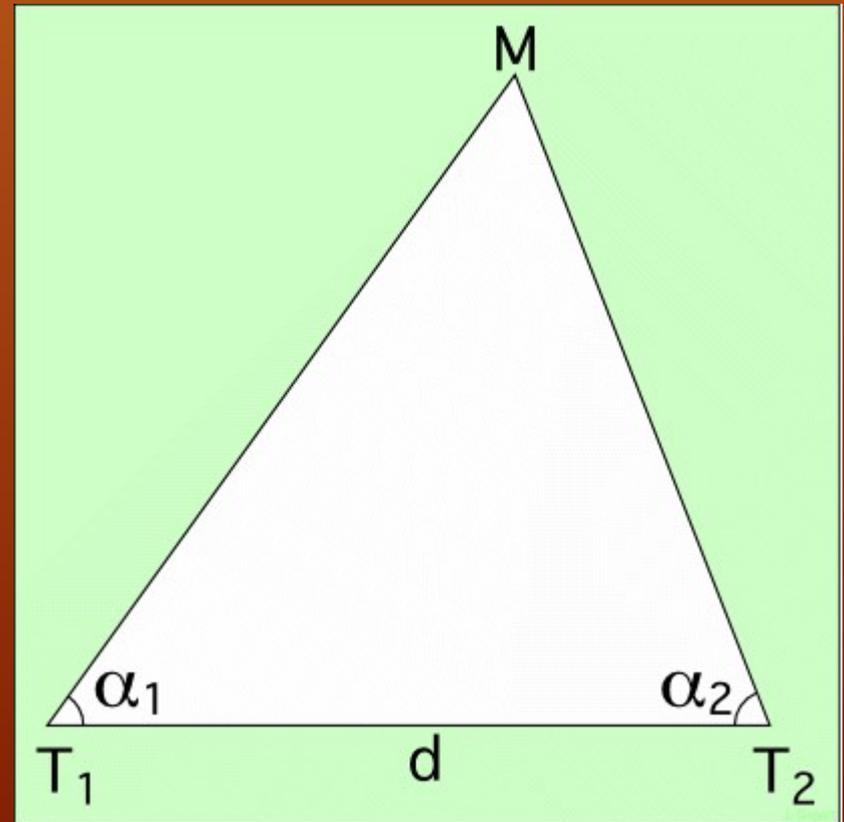
Détermination des distances

Il faut déterminer les distances ;
impossible de *mesurer* ;
nécessité d'opérer à distance.

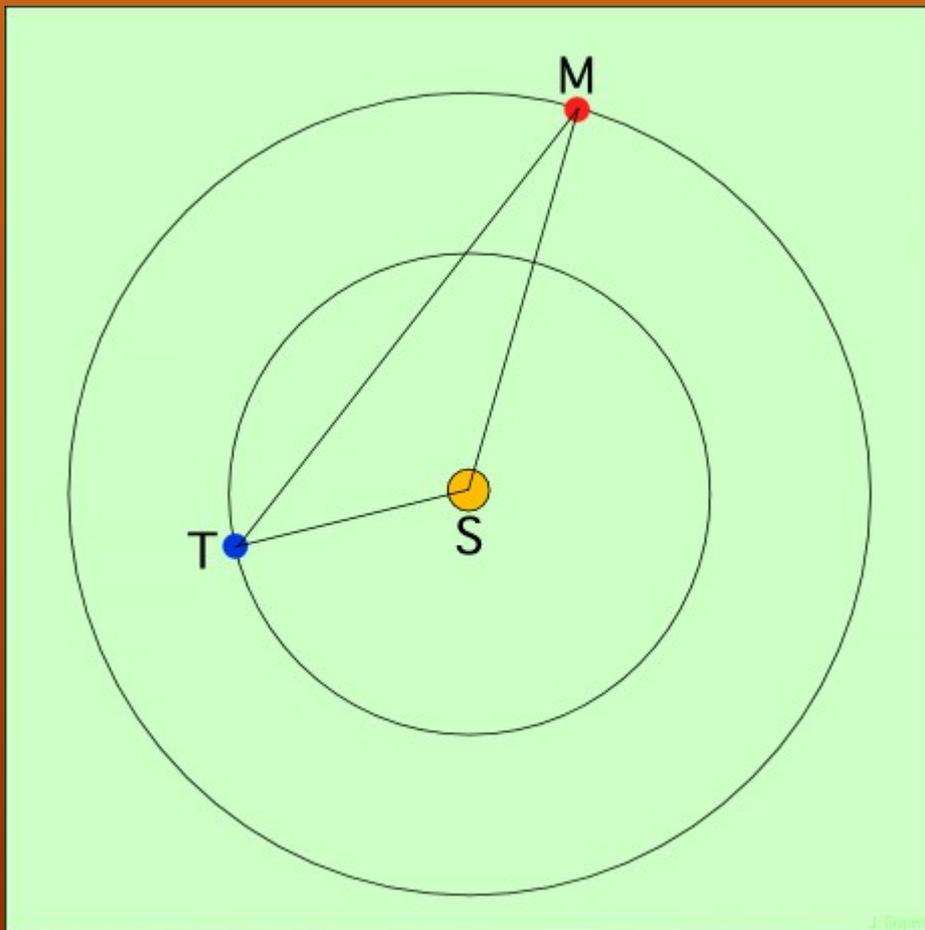
Les mesures de α_1 , α_2 et d
permettent de calculer
Les distances T_1M et T_2M .



Quelle méthode utiliser ?
La triangulation



Positions relatives



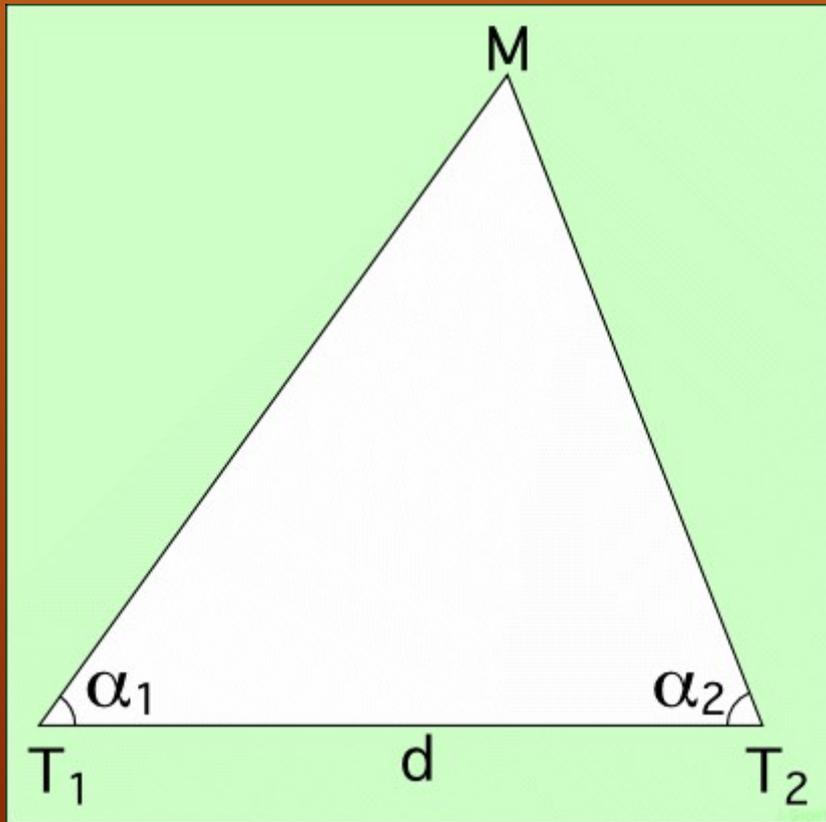
Les angles sont relatifs !

*Un astronome martien observant la Terre
à la même époque,
aurait obtenu les mêmes résultats*

Orbite de la Terre

Première difficulté

*On veut déterminer l'orbite de Mars...
...mais on ne connaît même pas celle de la Terre !*



*2 positions différentes de la Terre
pour une seule position de Mars !*

Déterminer l'orbite terrestre

En prenant toujours la MEME POSITION de Mars,

Kepler élimine son orbite !

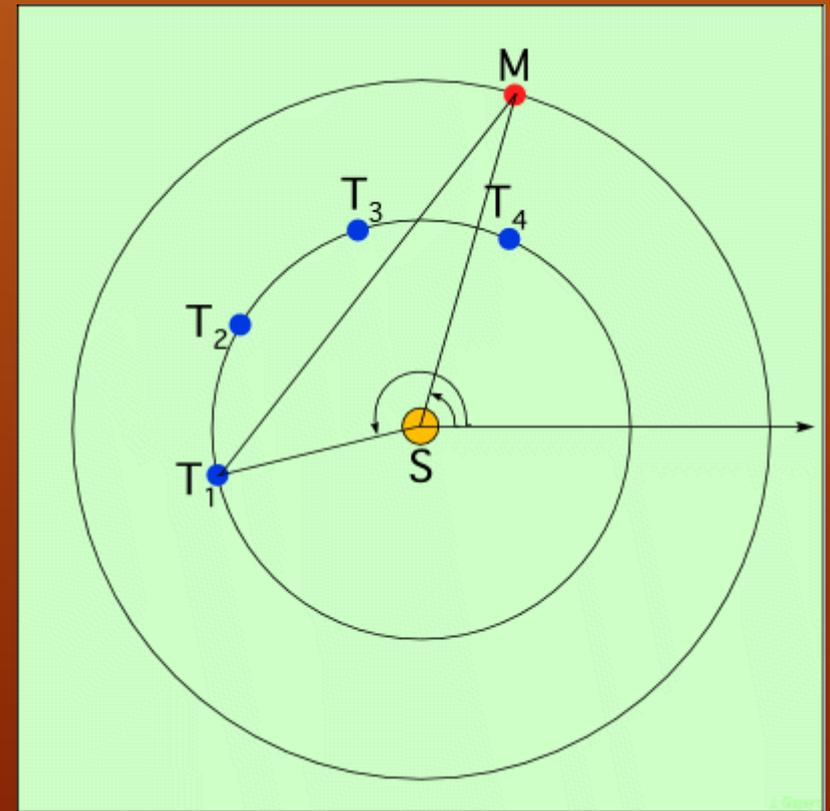
Année sidérale de Mars = 687 jours

Année sidérale de la Terre = 365 jours

1 tour de Mars = 1,88 tours de la Terre

Mars et le Soleil sont des points fixes

Il détermine l'orbite de la Terre



Excentrement

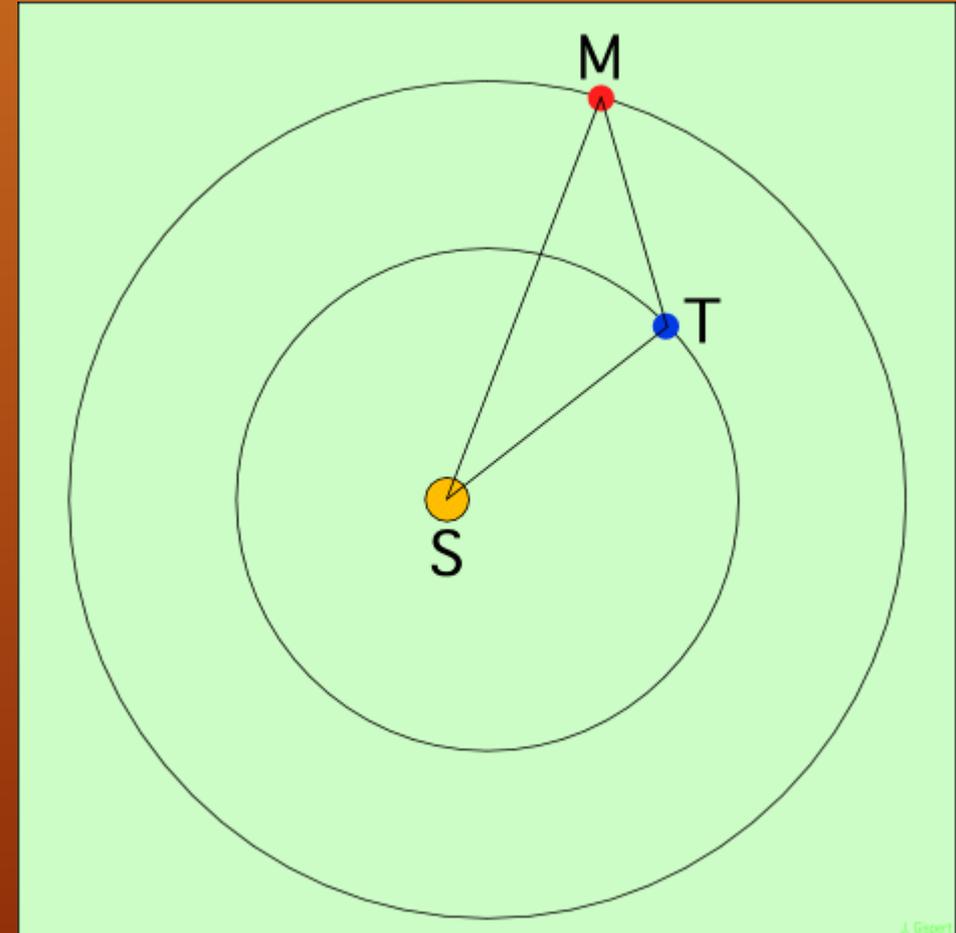
Première démonstration :

L'orbite terrestre est un cercle... mais

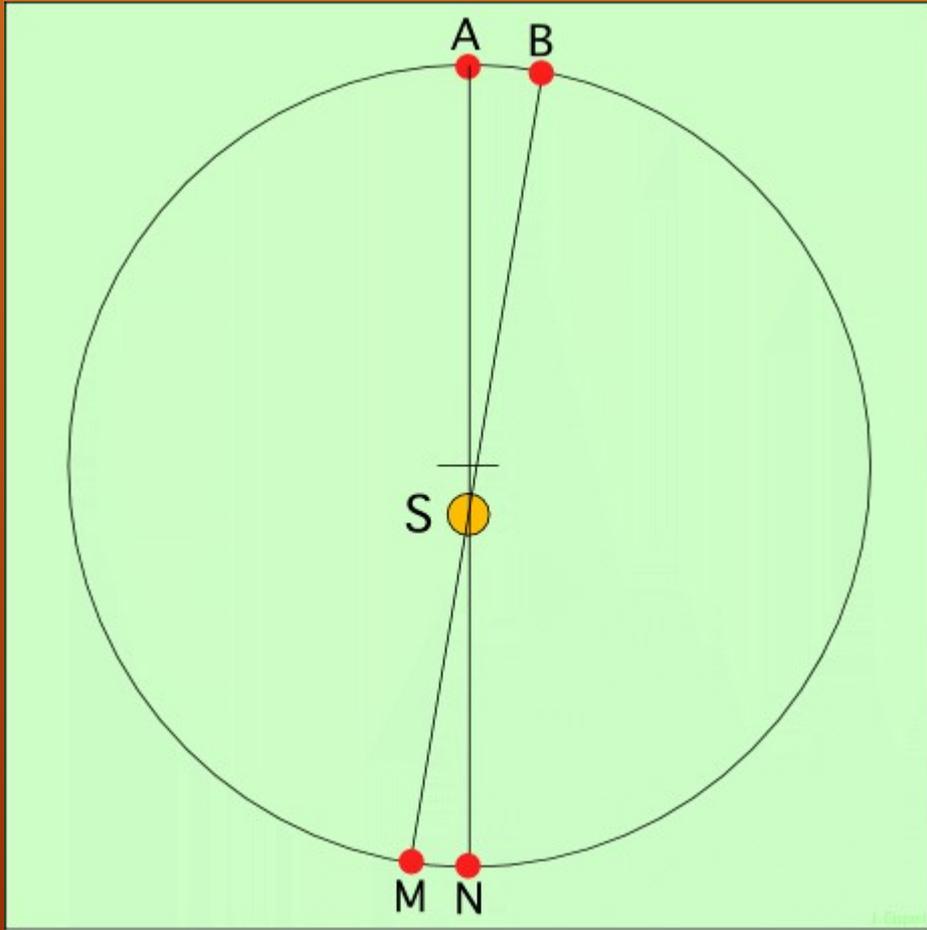
le soleil n'est pas au centre

Il en est éloigné de 3 millions de km

Et la vitesse de la Terre est variable



Loi des aires



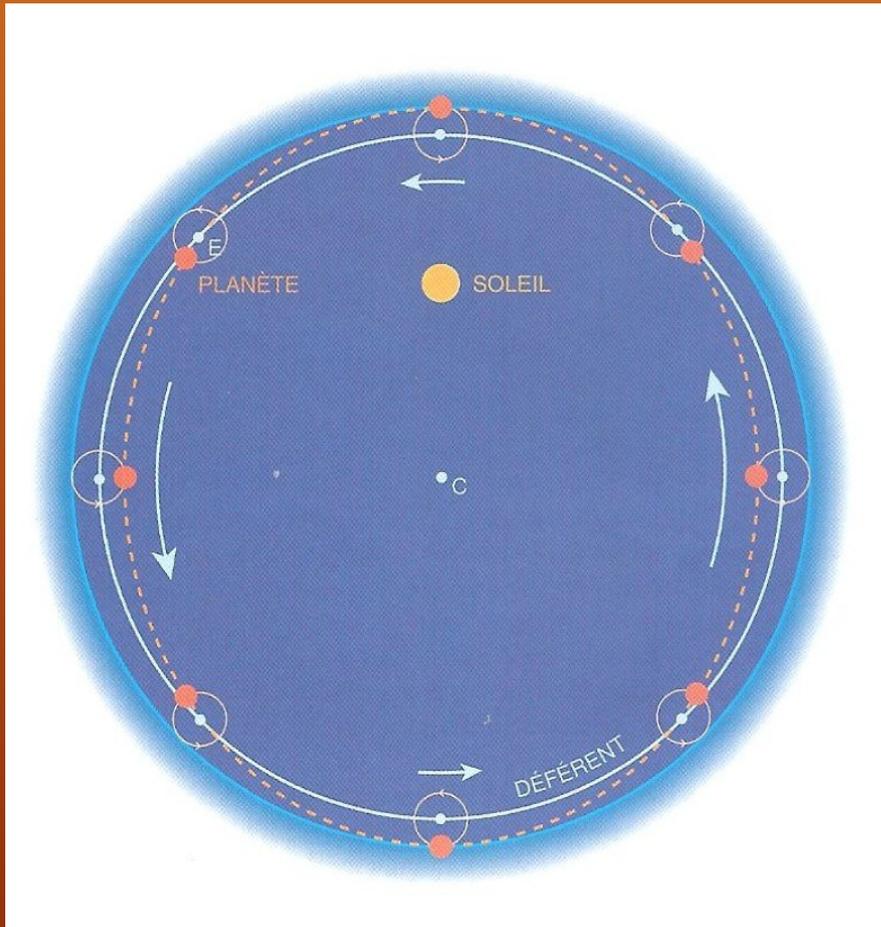
Hypothèse :

Vitesse inv. prop. au rayon vecteur

$$V = \frac{AB}{t} \propto \frac{1}{AS}$$

$$AB \times AS \propto t$$

Construction de l'orbite de Mars



Kepler excentre l'orbite de Mars,
mais conserve cercle et épicycle

Il construit l'orbite point par point

Aucun cercle ne passe par ces points !

Conclusion : l'orbite est une ellipse !

Les lois de Kepler

les planètes décrivent autour du Soleil des orbites planes elliptiques ;

les aires balayées par le rayon-vecteur en des temps égaux sont égales ; *Loi des aires*

les grands-axes et périodes sont dans la relation $a^3/T^2 = cste$. *Loi harmonique*

La vertu du Soleil diminue comme sa distance

Le Soleil est responsable du mouvement des planètes

Newton

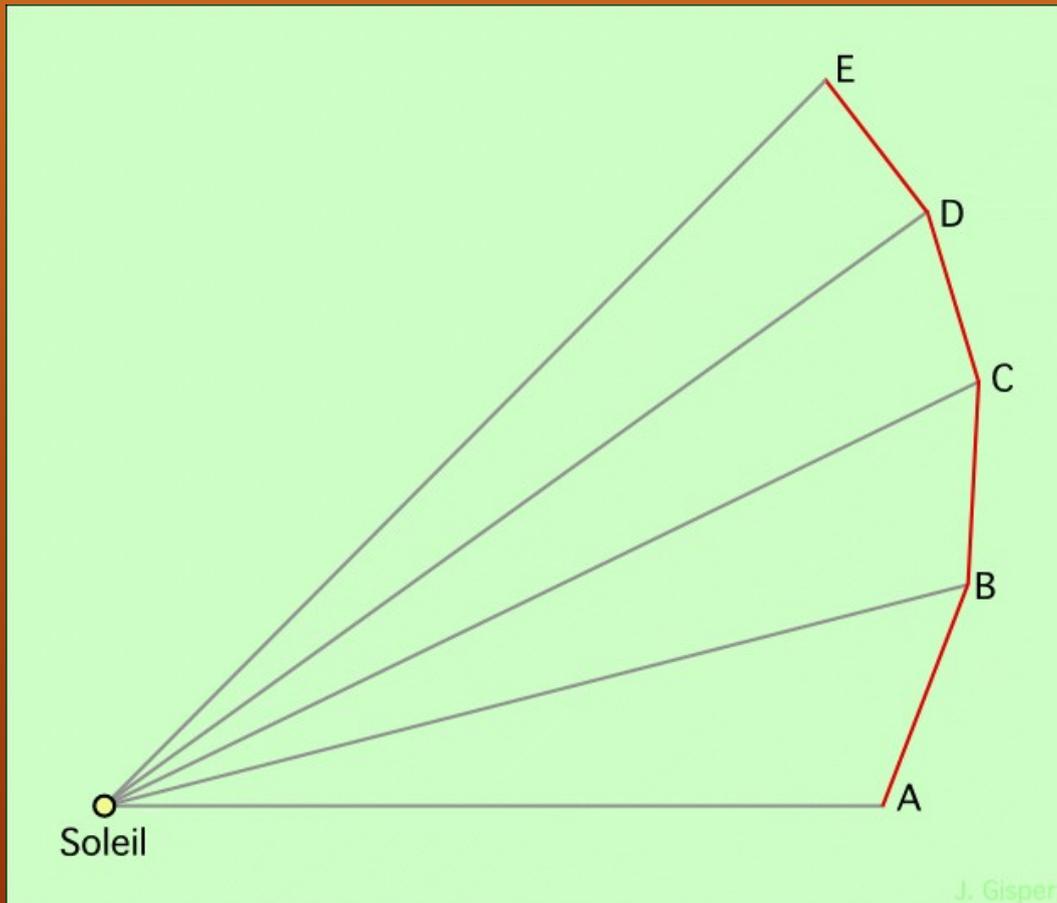
Newton n'avait plus qu'à se baisser
Pour ramasser les fruits de ce travail...

...même pas !



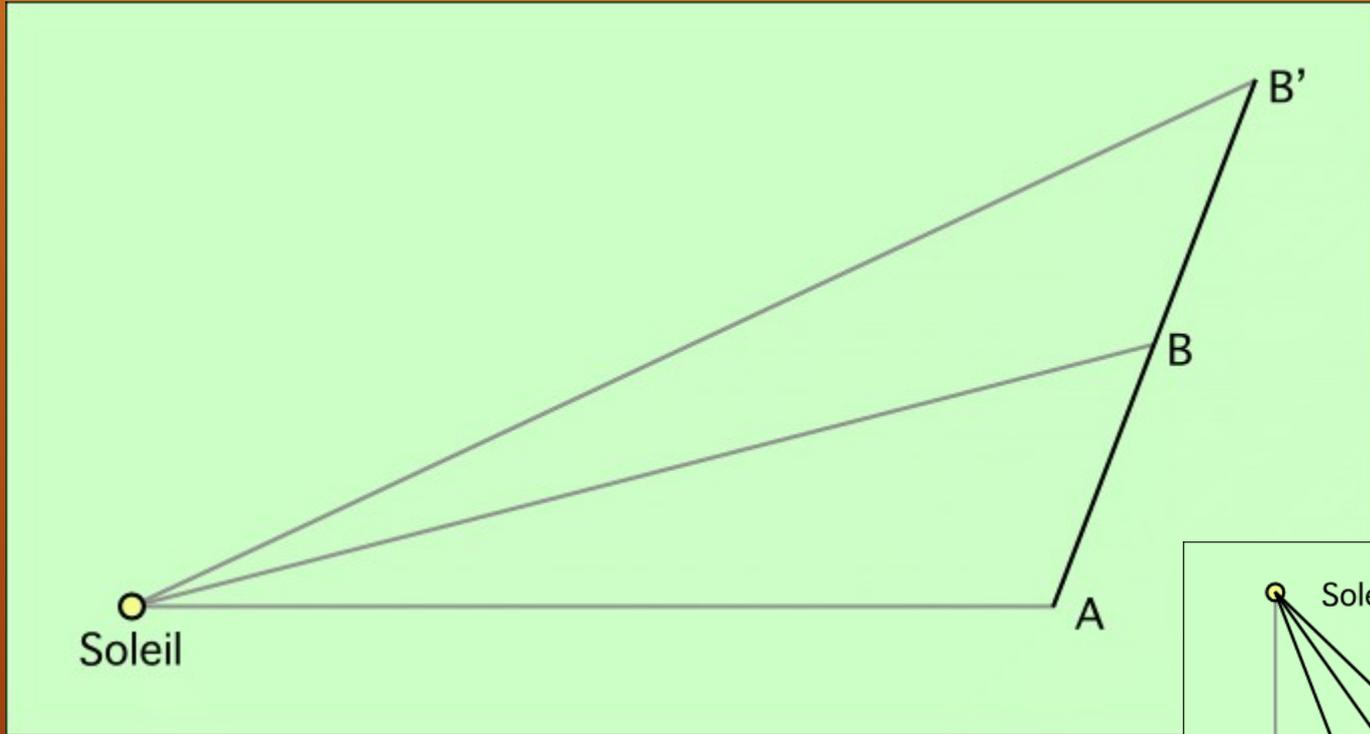
Comment a-t-il trouvé la Gravitation Universelle ?

Point de départ



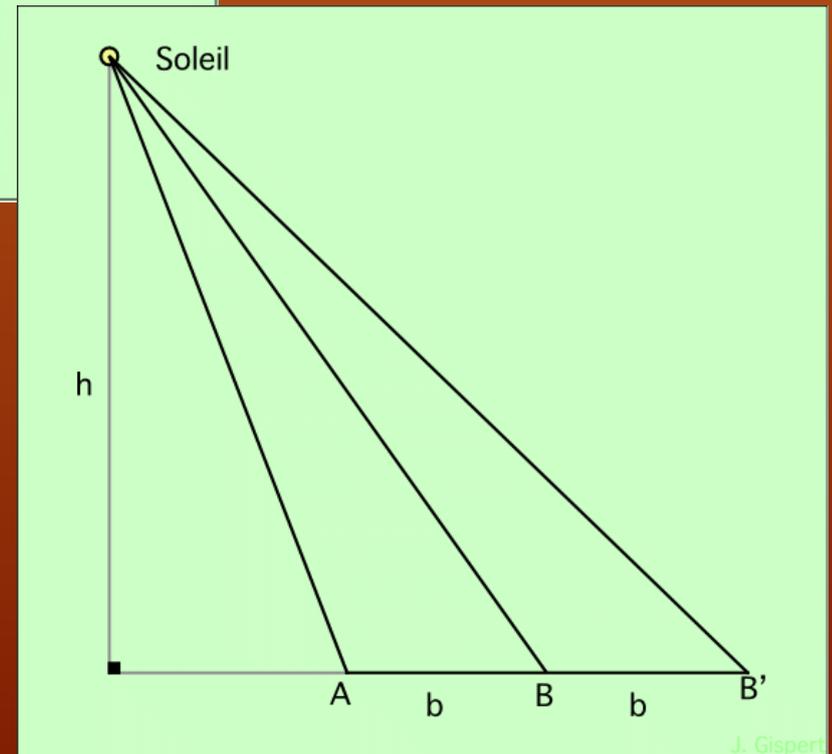
Newton est parti du dessin
de Kepler de l'orbite de Mars

Mouvement sans force



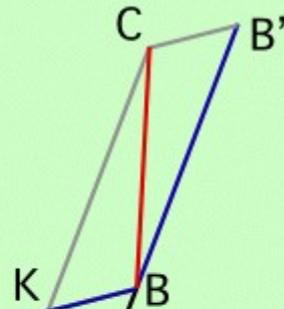
INERTIE

C'est la loi des aires !

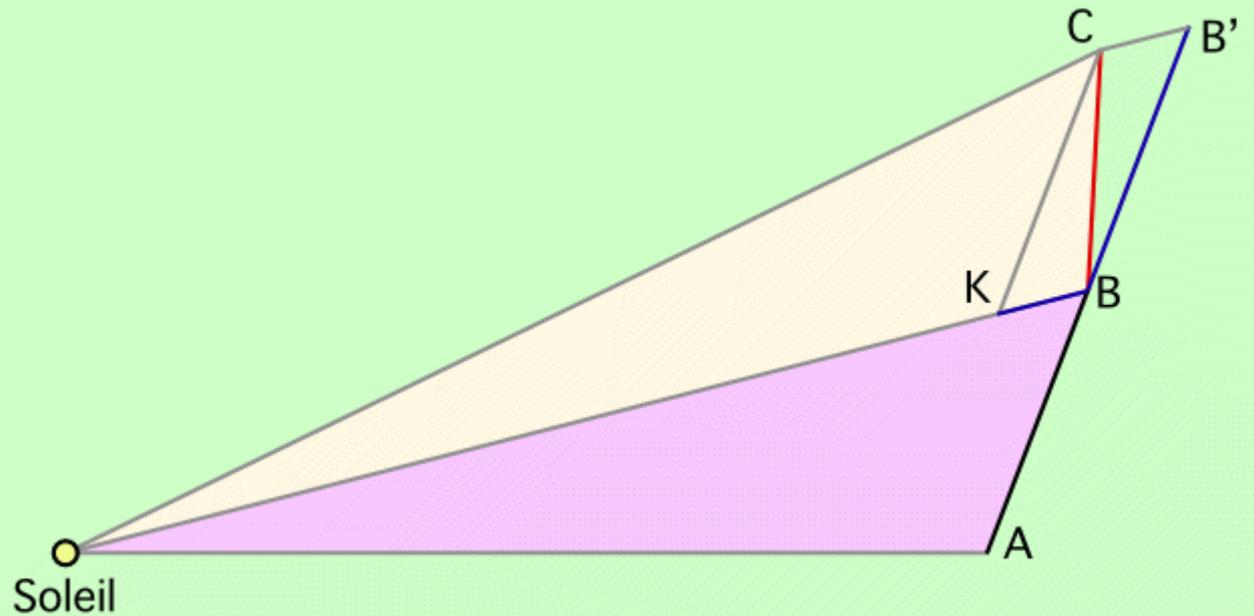


... et avec force

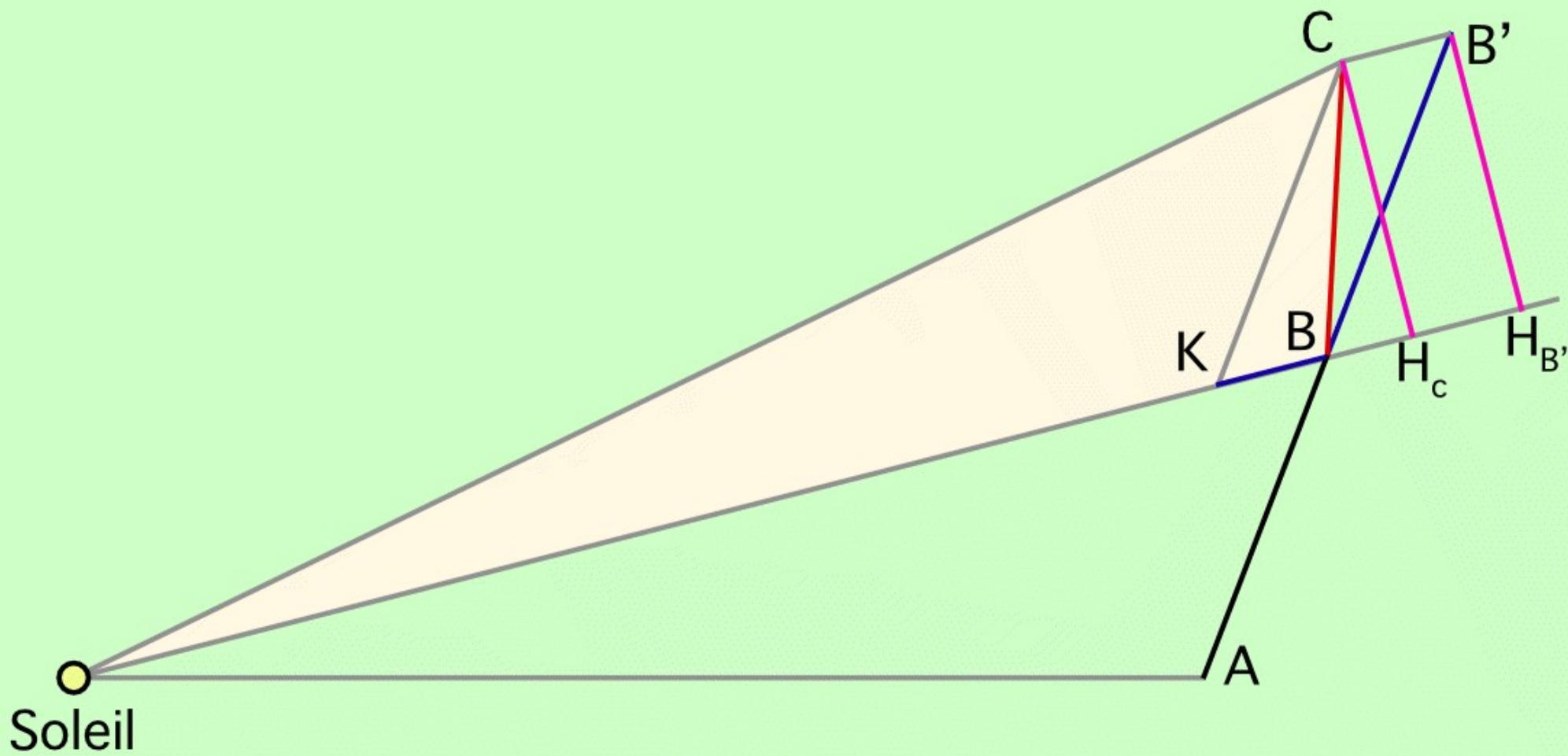
La force dévie la trajectoire inertielle



Soleil



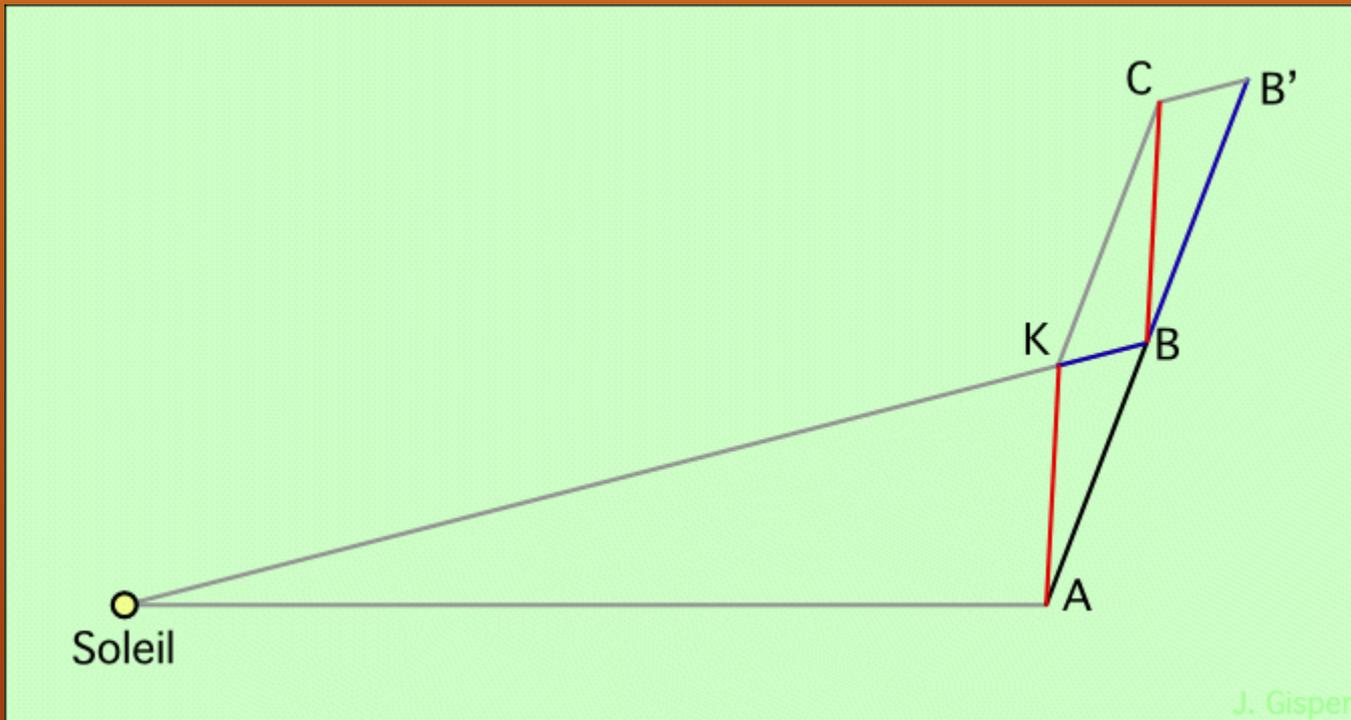
Soleil



J. Gispert

La loi des aires est démontrée !

La loi fondamentale



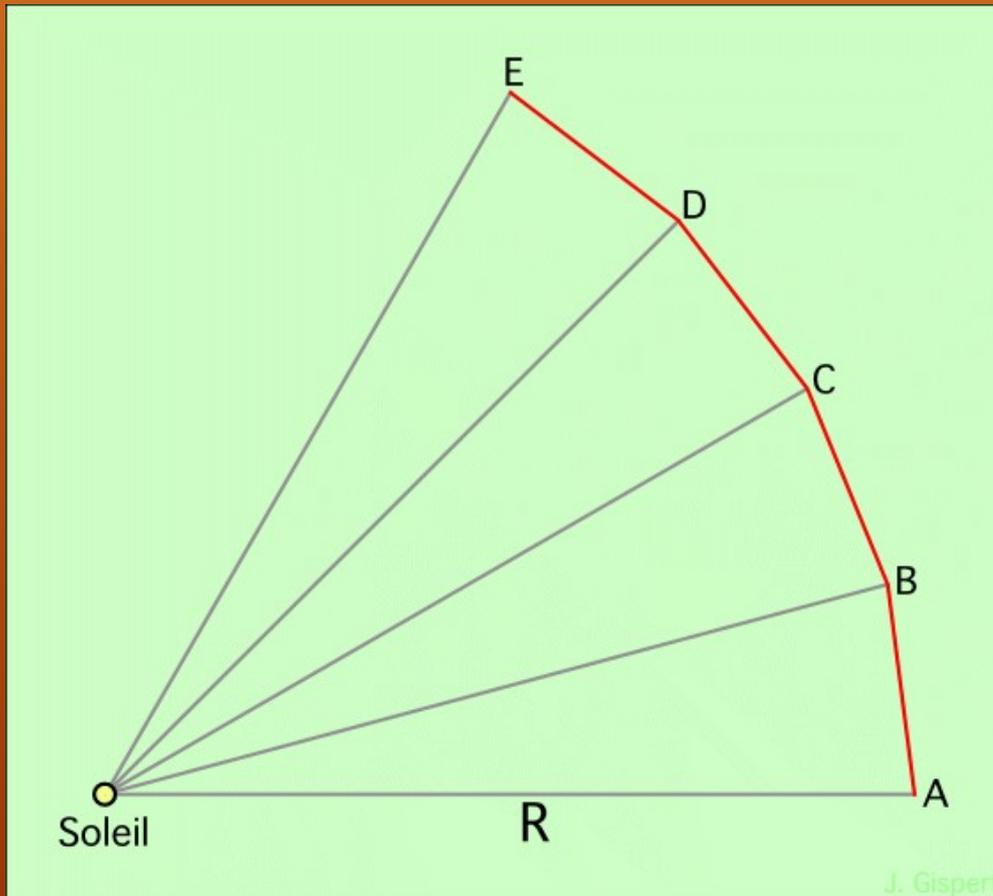
$$\vec{AB} + \vec{BK} = \vec{AK}$$

$$\vec{BK} = \vec{AK} - \vec{AB}$$

La force est proportionnelle à l'accélération

$$\vec{F} = m \vec{A}$$

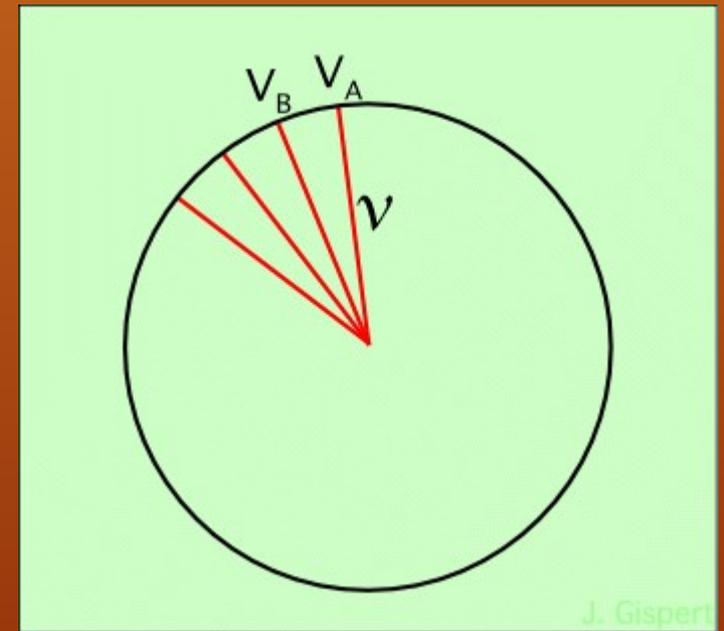
La Gravitation



$$v = 2 \pi R / T$$

$$F \propto 4 \pi^2 R / T^2$$

La force ne dépend pas de la forme de l'orbite



$2 \pi \nu$ pendant le temps T
Donc $F \propto 2 \pi \nu / T$

La Gravitation

$$F \propto R / T^2$$

$$R^3 \propto T^2$$

$$F \propto R / R^3 = 1 / R^2$$

$$F = G M m / R^2$$

Fin de l'épopée !

Tycho → Kepler → Newton

Sans oublier Galilée, Copernic...

Coopération exemplaire...

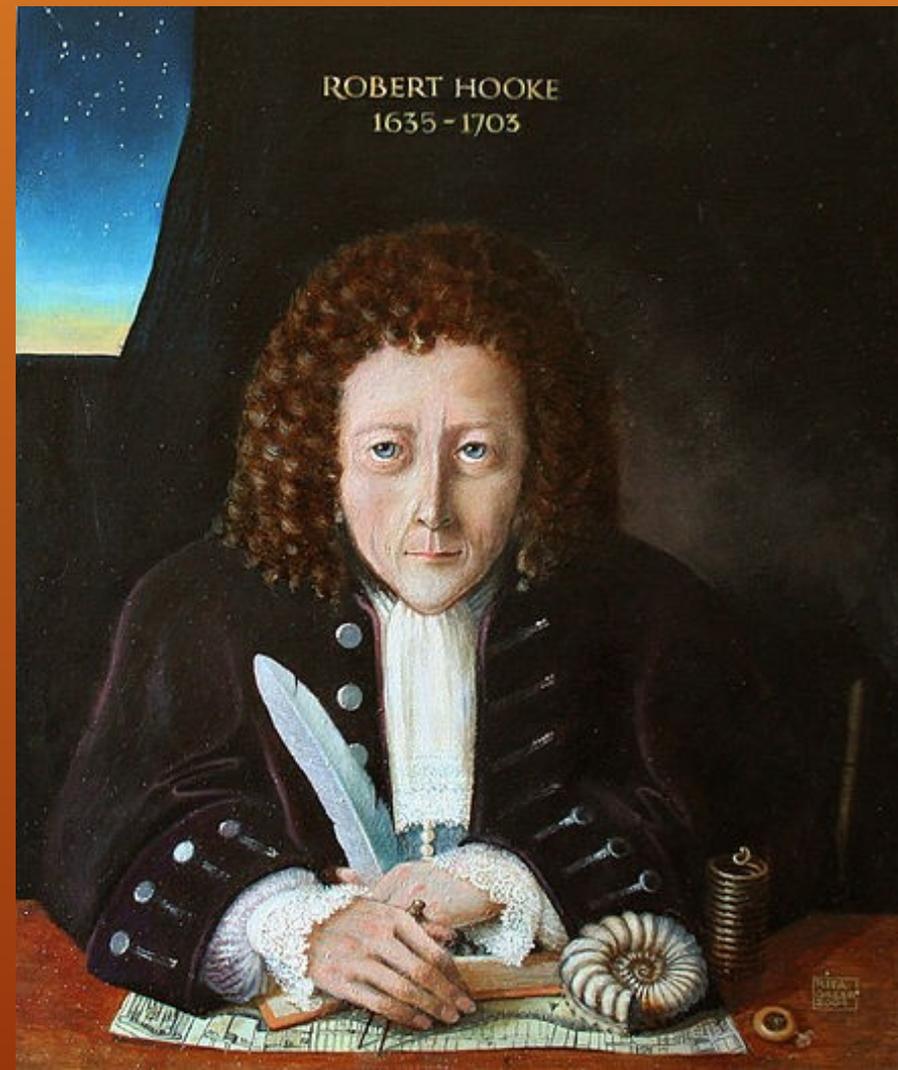
FIN ?

Robert Hooke

18 juillet 1635 – 3 mars 1703

1684 : Robert Hooke publie une étude
sur les orbites planétaires

« l'ellipse est la conséquence de la variation
en inverse du carré de la distance »



Les « Principia » de Newton ne seront publiés qu'en avril 1687...

Evolution de la prévision

Tables de Ptolémée

Tables de Tolède (1080)

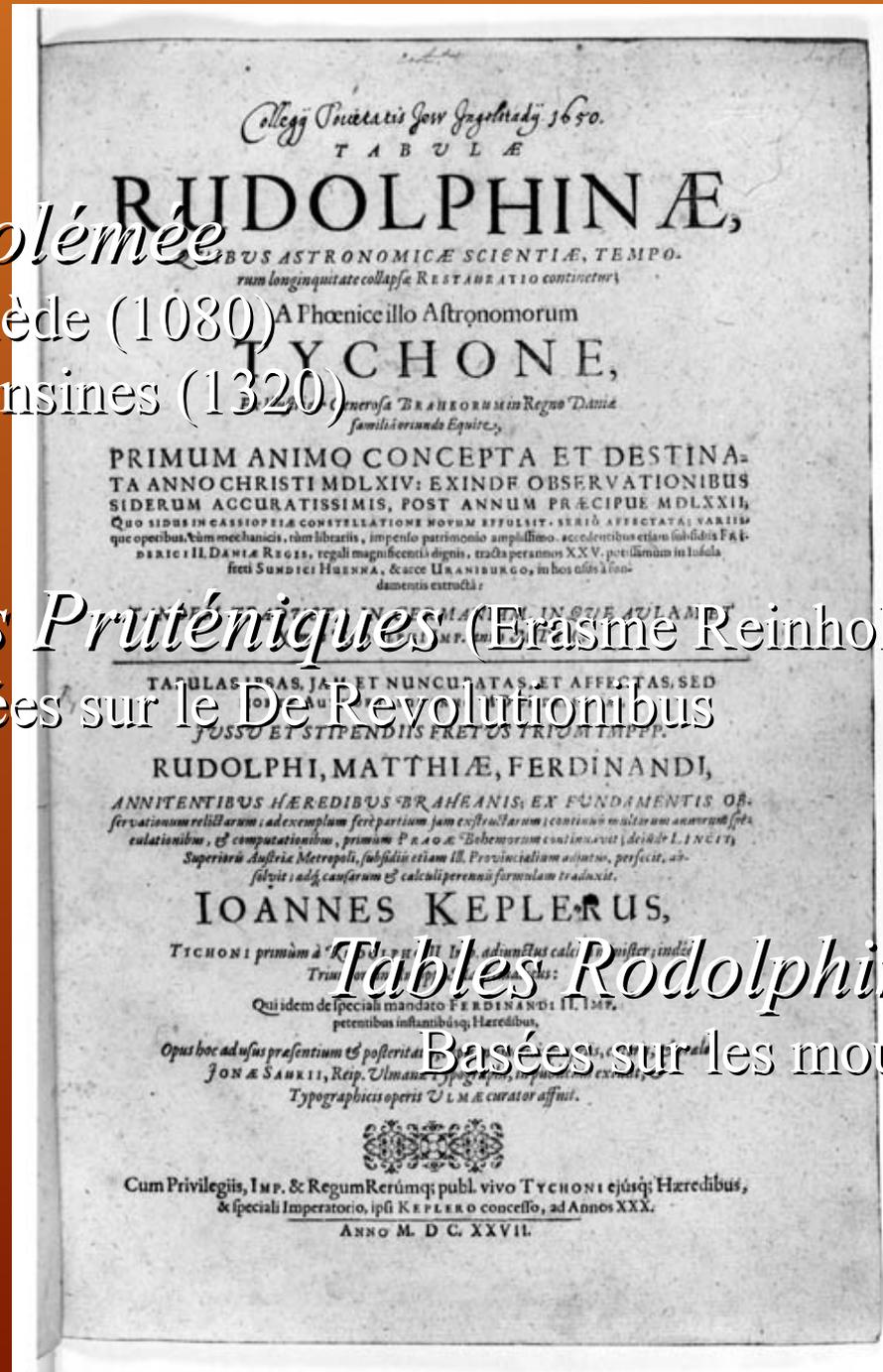
Tables Alphonsines (1320)

Tables Pruteniques (Erasmus Reinhold)

Basées sur le De Revolutionibus

Tables Rodolphines (1627)

Basées sur les mouvements elliptiques



Souvenir du 19 Mai 1910.
Fin du Monde

Aéro - Ceintures
de Sauvetage
Force d'ascension incomparable
Frs 60- par piece.
On accepte des Pneus
d'Automobile usagés en
paiement.!

Aujourd'hui
dernier jour
10cts.

Conférence
par le
Professeur
Loucheur.
La Comète
de Halley
vue de près.

Vers le Mars

La
rappel

Mon
Testament

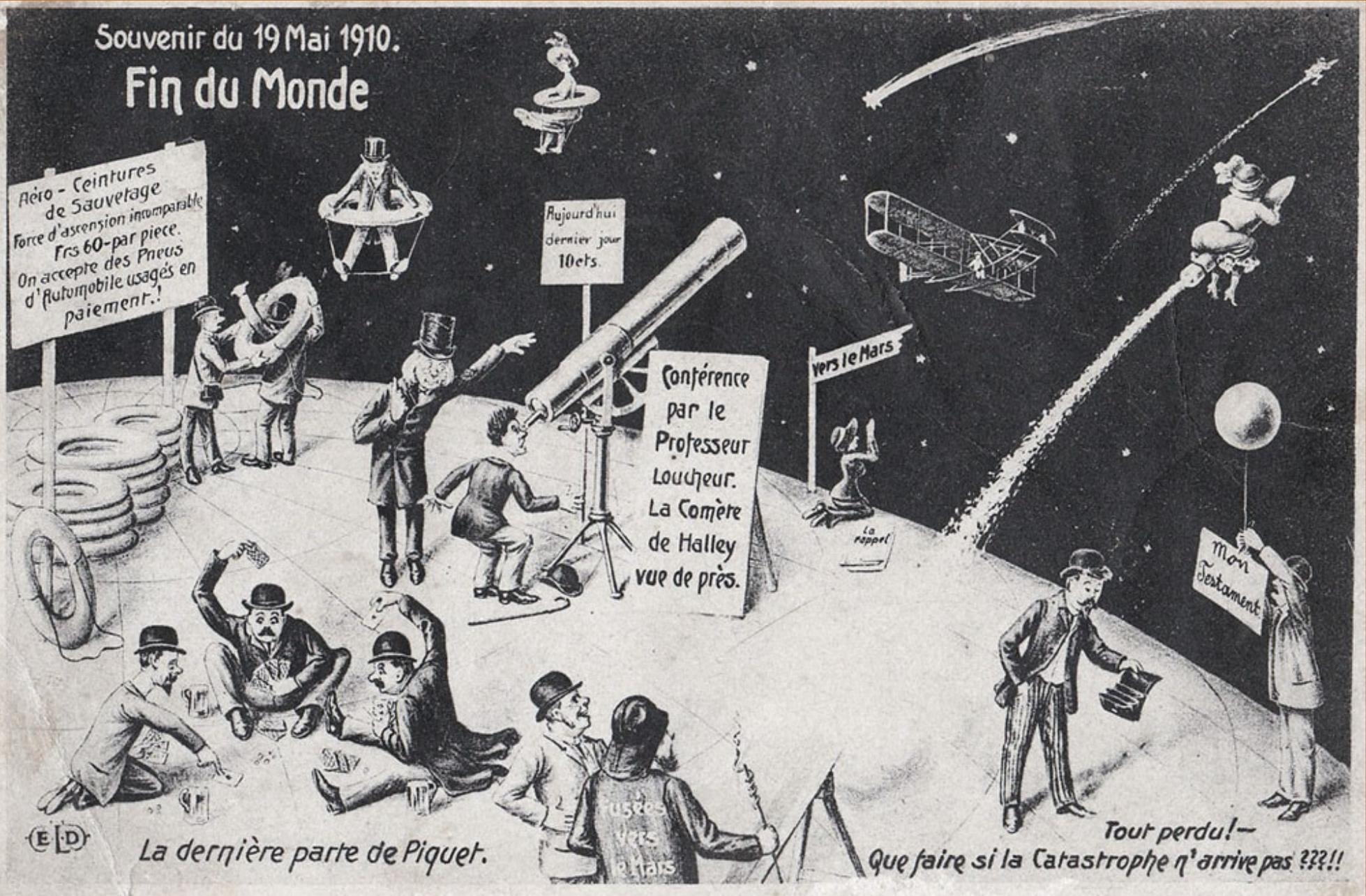
usées
vers
Mars

E.D.

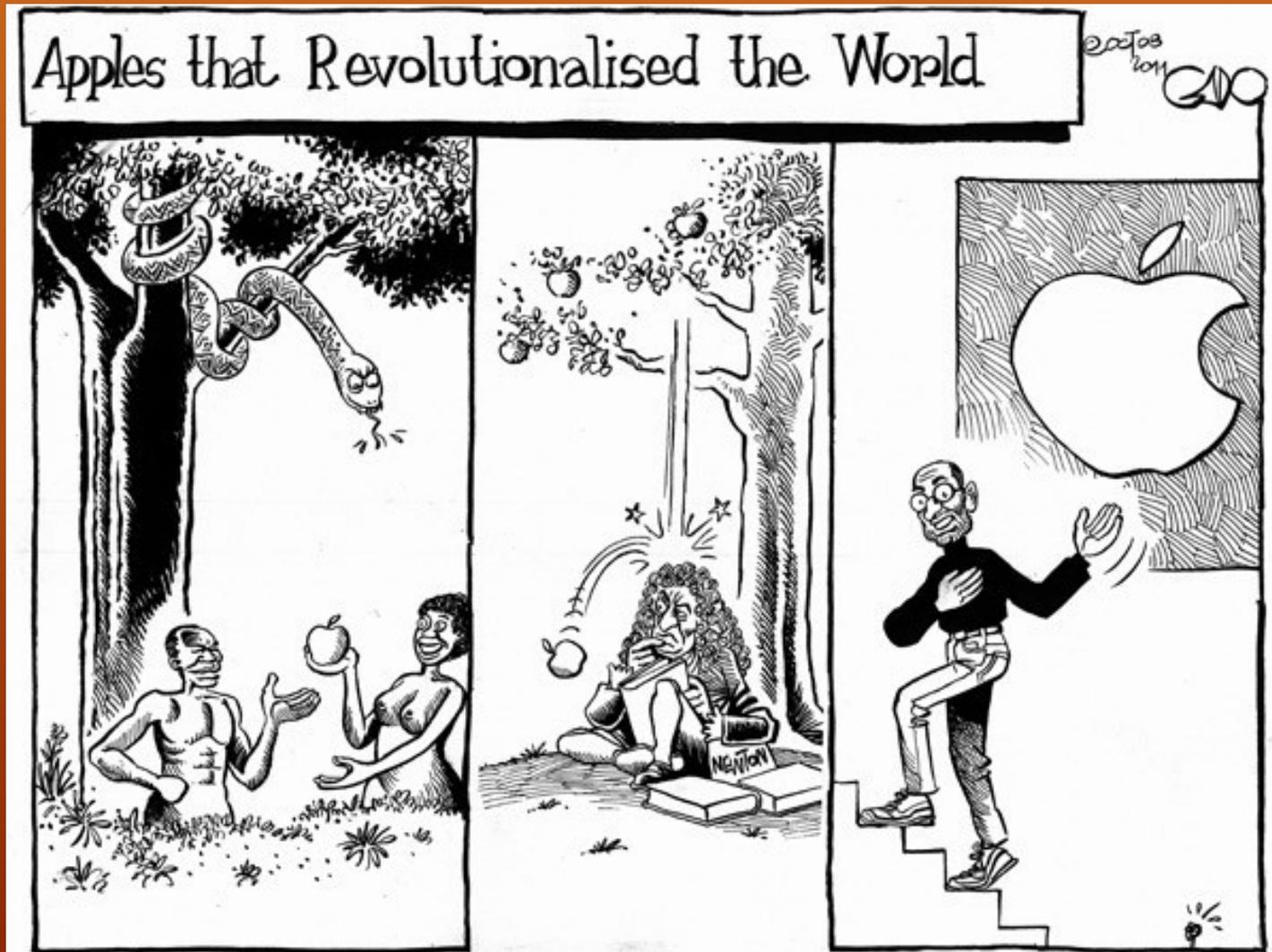
La dernière partie de Piquet.

Tout perdu!—

Que faire si la Catastrophe n'arrive pas ???!!



Conclusion



cosmologie

gravitation

simulations

Bibliographie

J.P. Luminet

les bâtisseurs du ciel

Anna-Maria Lombardi

Kepler, le musicien du ciel

Richard Feynman

le mouvement des planètes autour du soleil

Laure Manueddu

Astronomie, Bulletin de la Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences, n° 36, Sept. 2008

W. Donahue

Kepler's Astronomia Nova

J. Gispert

astronomia.fr