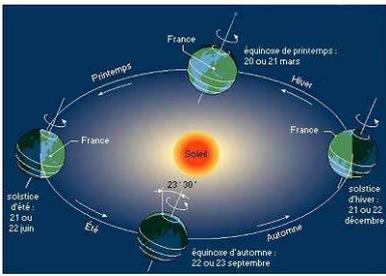


# Le pendule de Foucault et la rotation de la Terre

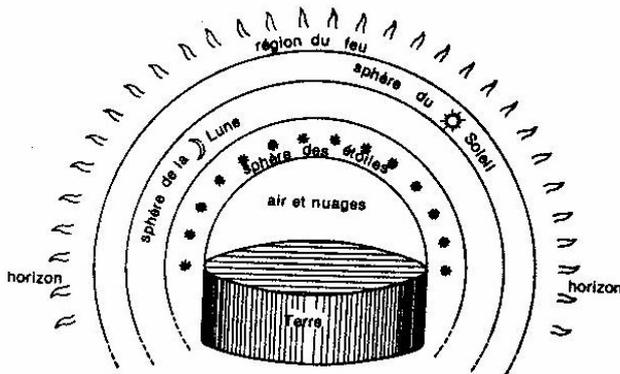


L'histoire commence vers 600 avant J.C avec les Grecs qui ont pour la géométrie un amour, voir une obsession pour cette discipline, ce qui les amena à adopter une approche mathématique de l'univers.



L'expérience du pendule de Léon Foucault au Panthéon de Paris, en 1851

## Plusieurs écoles de pensée s'intéressent aux astres :



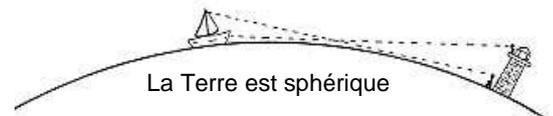
Anaximandre affirme que la Terre ne repose sur rien. Sa forme est un cylindre « dont la hauteur est le tiers de la largeur », et nous vivons sur sa face supérieure.

L'école ionienne (adjectif philosophique), cette école abandonne les superstitions et les mythologies, elle refuse aussi le surnaturel. Cette école philosophique se développe surtout à Millet avec **Thalès**, **Anaximandre**, **Anaximène**, Pour Anaximène la Terre est plate, le Soleil, la Lune et les planètes sont supportées par l'air, alors que les fixes (les étoiles) sont « plantés dans le cristal de la sphère céleste » et à Ephèse avec **Héraclite**, **Pythagore**, et **Xénophane**. Elle fait une étude systématique pour la recherche d'un modèle du ciel. La Terre est isolé dans l'espace, avec la Lune et les planètes elles sont des cailloux éclairés par le Soleil, elle prédit les éclipses de Lune.



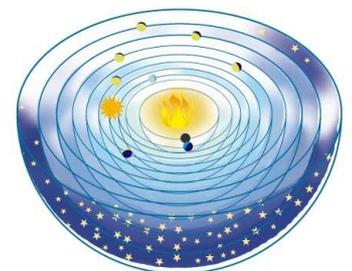
Aristote peint par Raphaël

**Les Pythagoriciens**, pour **Pythagore** (v. 570 – v. 480), la Terre est sphérique. Selon **Théophraste** (372 – 287), l'idée serait de **Parménide d'Elée** (v. 515 – v.440) **Philolaos** (fin du Ve siècle), premier philosophe qui ait attribué à notre globe un mouvement Il admet que la révolution quotidienne du ciel est une illusion due au mouvement propre de la Terre. **Aristote** (384 – 322), énumère des arguments en faveur de la sphéricité de la Terre : l'apparition des mâts des navires lointains avant leur coque, la forme arrondie de l'ombre de la Terre sur la Lune lors des éclipses. Tentative de description des mouvements circulaires uniformes des planètes visibles, et première hypothèse d'un mouvement de la Terre.

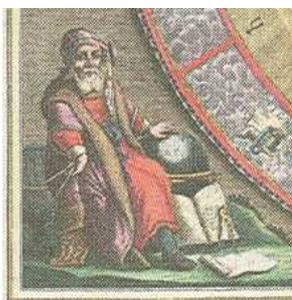


La Terre est sphérique

L'école platonicienne, pour **Platon** (428 – 348), la Terre est sphérique, immobile au centre du monde et les planètes sur des sphères emboîtées la plus éloignée est la sphère des fixes. Première observation de la rétrogradation des planètes (irrégularités inexplicables durant vingt siècles).Hypothèse d'un héliocentrisme partiel pour Mercure et Vénus.



L'école d'Alexandrie, **Aristarque de Samos** (310 – 230), émet l'hypothèse hardie que le Soleil est au centre du système des planètes incluant la Terre (les planètes tournent sur elles mêmes et autour du Soleil). Ses idées révolutionnaires tomberont vite dans l'oubli, car elles s'opposent aux principes du grand maître Aristote (principes qui exigent que la Terre soit au repos).



Représentation du XVIIe siècle d'Aristarque de Samos tirée de l'atlas céleste d'Andreas Cellarius

**Eratosthène** (vers 284 – 192 après J.C), calcule la circonférence de la Terre par une méthode ingénieuse. Il utilisa le parallélisme des rayons solaires, où il mesura la différence d'angle de ces rayons entre deux villes (Alexandrie et Syène) dont la distance était connue.



**Hipparque de Nicée** (194 – 120), cet astronome génial met en évidence la précession des équinoxes. Il est l'inventeur de l'échelle des magnitudes et fondateur de l'astrométrie, où il réalise un catalogue de 1025 étoiles classées selon leur éclats.

**Claude Ptolémée** (IIe siècle après J.C), achève la théorie des planètes commencée par Hipparque, à l'aide du système des équants (*l'équant est un point géométrique qui ne coïncide pas avec la Terre, où celle-ci n'est pas au centre de l'orbite circulaire du Soleil. Par rapport à ce point, les planètes parcourent des angles égaux en des temps égaux*). Il observe le changement de position du Pôle de rotation de la sphère céleste, enfin, il expose dans sa *composition mathématique* toute la science astronomique de son temps. Il fut certainement le dernier grand penseur grec.

Ainsi se termine la période hellénistique (323 av JC – 476 ap JC). La période suivante est le Moyen Age. En Europe occidentale, les seuls qui connaissent le latin et le grec, traduisent les rares exemplaires des œuvres grecques qui leur sont parvenus.

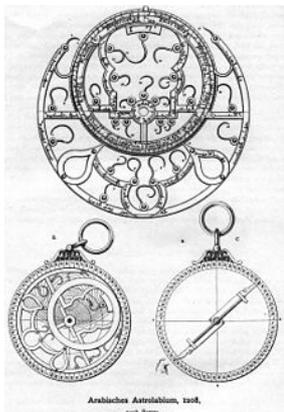
## Le Moyen Age

**Nicolas Oresme** (v. 1320--1382) Originaire de Normandie, fut évêque de Lisieux de 1377 à 1382. Ce philosophe, écrivain et érudit exerça une influence considérable sur le futur Charles V. Il fut son précepteur et conseiller. A sa demande, il traduisit Aristote. Il étudia aussi la physique et l'astronomie, préfigurant les intuitions ou démonstrations relatives à la loi de la chute des corps ou au mouvement de la terre autour du soleil.



Miniature extraite du *Traite de l'esperance*, BNF.

Pendant ce temps, la civilisation arabe se développe et atteint son apogée. Elle précise les observations, et améliore les instruments ; on doit aux Arabes *l'astrolabe, l'application de la trigonométrie à l'astronomie, l'élaboration des Tables tolédanes et plus tard les Tables alphonsines*. Ils traduisent aussi l'œuvre de Ptolémée le Grec. On leur doit également : *des noms d'étoiles, éphémérides de position et de mouvements des astres, invention de la longitude et de la latitude, les mots zénith, nadir, azimut*.



Un astrolabe perse de 1208



Muhammad Al-Khwarizmi, père de l'algèbre, composa le *Zij al-Sindh*, l'une des premières tables astronomiques en langue arabe.



Miniature ottomane de l'étude de la lune et des étoiles - XVII<sup>e</sup> siècle

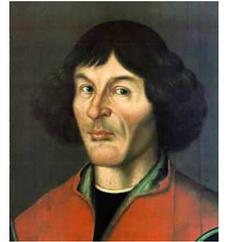
A l'aube des temps modernes l'héritage est essentiellement un système géocentrique. L'imprimerie vient d'être inventée (vers 1440), alors les successeurs de **Nicolas de Cues** mettent tout en œuvre pour égaler les sciences grecque et arabe en traduisant notamment « L'Almageste » de Ptolémée par **Gérard de Crémone**, remontant à 1175 traduit et publié en latin d'une version arabe (Venise, 1515). Enfin l'astronomie traditionnelle est atteinte, avec le système des sphères homocentriques de **Fracastoro** (1478 – 1553) et d'**Anici** (? – 1536) Ils rejettent l'emploi des excentriques et des épicycles.

# La renaissance et la révolution copernicienne.

**Nicolas de Cues** (1401 – 1446), il publie en 1440 *De docta ignorantia* le seul adepte est Léonard de Vinci. Il nie l'existence de directions et même de lieux privilégiés dans l'espace ; le haut et le bas sont des notions subjectives. Il affirme que la Terre tourne sur elle-même en 24 heures et qu'elle n'est pas au centre du monde.

**Nicolas Copernic** (1473 – 1543), il est chanoine et administrateur au sein de l'église catholique romaine, grâce à sa culture étendue, où il connaissait l'œuvre des grecs et les ouvrages des arabes l'amènent à reformuler la vision du cosmos. Ainsi le monde peut lire dans *De Revolutionibus Orbium Coelestium Libri VI*

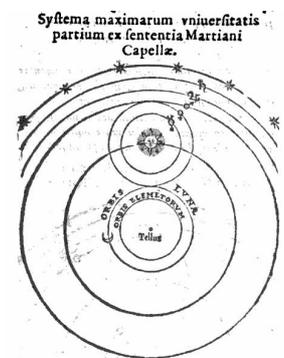
« ... Comme assis sur un trône royal, le Soleil règne sur la famille des planètes qui tournent autour ».



**Giordano Bruno** (1548 – 1600), il étend les conceptions de Copernic et prône un univers infini avec une ardeur qu'il payera de sa vie : arrêté par l'inquisition en 1592, il fut emprisonné pendant huit ans et brûlé vif, comme hérétique et violateur de ses vœux, le 17 février 1600 à Rome. *« Aussi la Terre, pas plus qu'aucun autre monde, n'est-elle au centre de l'Univers ; ... et ceci est vrai pour tous les autres corps. De points de vue différents ils peuvent, tous, être regardés comme centres, ou comme points de la circonférence, comme pôles, ou comme zéniths et ainsi de suite. Ainsi donc, la Terre n'est pas le centre de l'Univers ; elle n'est centrale que par rapport à notre propre espace environnant. »*



**Tycho Brahe** (1546 – 1601), il refuse le système de Copernic toute sa vie. Pour lui la Terre est immobile, la Lune et le Soleil tournent autour de la Terre alors que les cinq planètes connues tournent autour du Soleil.



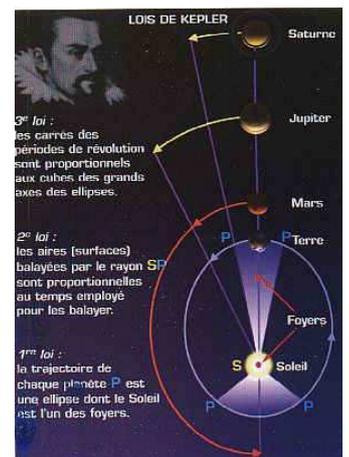
**Johannes Kepler** (1571 – 1630), il hérite de l'imposante documentation accumulée par son maître. Elle contient tout ce dont il aura besoin pour formuler sa théorie des orbites elliptiques des planètes, dans son ouvrage *Harmonici mundi* (L'Armonie du monde).



**Première loi** : les planètes décrivent une ellipse dont le Soleil est le foyer.

**Deuxième loi** : (la loi des aires) le rayon Soleil-planète balaie des aires égales pendant des intervalles de temps égaux.

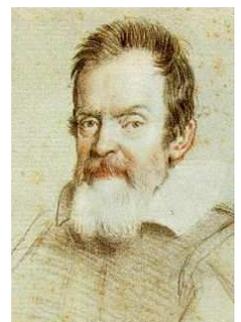
**Troisième loi** : le carré de la période de révolution est proportionnel au cube du demi grand-axe de l'orbite.



**Il faut attendre Isaac Newton avec sa théorie de la gravitation pour expliquer les orbites elliptiques.**

**Galilée** (1564 – 1642), il nie l'immuabilité du ciel d'Aristote. A 19 ans, en 1583 Galilée observe l'isochronisme du pendule constitué par un lustre massif qui pend à une longue chaîne de la cathédrale de Pise. Il applique ce mouvement pendulaire à la mesure du temps. Il s'ingénie à chercher des preuves expérimentales à invoquer en faveur du mouvement de la Terre.

Galilée, se distingue par ses observations, il étudie la nova de 1604, il déduit que cet objet nouveau appartient à la sphère des fixes, ce qui lui permet de déclencher sa première polémique en niant l'immuabilité du ciel d'Aristote.



En 1609 il observe le ciel avec une lunette de sa fabrication, ce qu'il observe est en faveur du système de Copernic : Jupiter possède quatre satellites, il remarque les phases de Vénus (argument en faveur de la rotation de la terre autour du Soleil). Il observe aussi les taches sur le Soleil ce qui lui permet de dire que celui-ci tourne sur lui-même en 25 jours, ceci est un argument en faveur de la rotation de la Terre car si le Soleil tourne, pourquoi la Terre ne tournerait elle pas ?

L'idée que la Terre puisse être en mouvement sans que nous nous en rendions compte est liée à un principe fondamental de la physique dû à Galilée : le principe d'inertie, principe décrit dans un ouvrage (dialogue sur les deux principaux systèmes du monde, celui de Ptolémée et celui de Copernic), publié en 1632, et qui déclenche l'année suivante la tragédie du Procès. Déjà en 1616 l'héliocentrisme avait été déclaré faux et impie par le Saint Office.

Malgré cela Galilée maintient la polémique en publiant des ouvrages en italien, accessible au grand public. Le 22 juin 1633 un tribunal de sept cardinaux déclare « Soutenir que le Soleil, immobile et sans mouvement local, occupe le centre du monde, est une proposition absurde, fausse en philosophie, et hérétique, puisqu'elle est contraire au témoignage de l'écriture. Il est également absurde et faux en philosophie de dire que la Terre n'est point immobile au centre du monde ; et cette proposition, considérée théologiquement, est au moins erronée dans la foi ». Galilée est ensuite obligé de signer une formule d'abjuration pour être ensuite condamné à la réclusion dans sa maison d'Arcetri. Il devient aveugle, et meurt le 8 janvier 1642.



Enfin la diffusion des idées de Galilée peu à peu s'impose l'idée que la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil et où le ciel commence à livrer ses secrets conduit à la fondation de grands observatoires : Paris en 1667 et Greenwich en 1672.

Dans son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, en 1632, il défend le modèle héliocentrique de Copernic. L'Eglise l'a condamné pour ses idées et il fut forcé de se rétracter en public. L'Eglise le réhabilita en 1992.

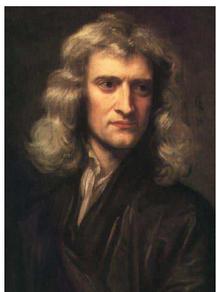
Dialogue sur les deux systèmes du monde (*Dialogo sopra i duo sistemi del mondo*) 1632

**En 1661 les académiciens del Cimento** à Florence firent sur le pendule de nombreuses observations ils constatent la déviation du plan des oscillations. Sur un manuscrit de Vincent Viviani nous lisons :

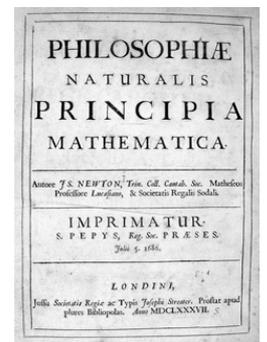
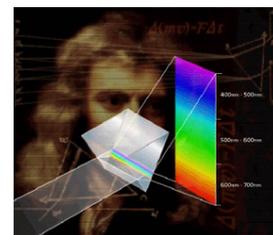
***Nous observons que tous les pendules dévient du premier plan vertical constamment dans la même direction de la droite à la gauche des parties antérieures.***

*Cette note ne fut exhumée que fin avril 1851 après les travaux de Foucault sur son pendule.*

**Isaac Newton** (1642 – 1727), il propose les lois de la mécanique, où il met en évidence la gravitation, puis Newton expose dans ses principes mathématiques de philosophie naturelle (1687) fondée sur trois principes :



1. Principe d'inertie
2. Proportionnalité de la force à l'accélération
3. L'égalité de l'action et de la réaction.

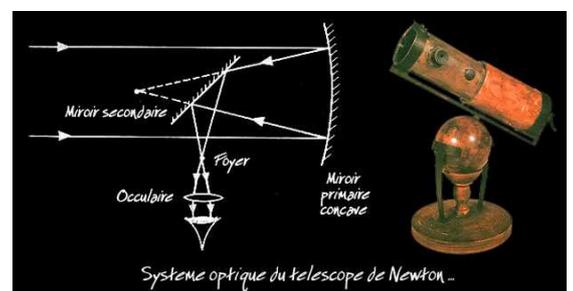


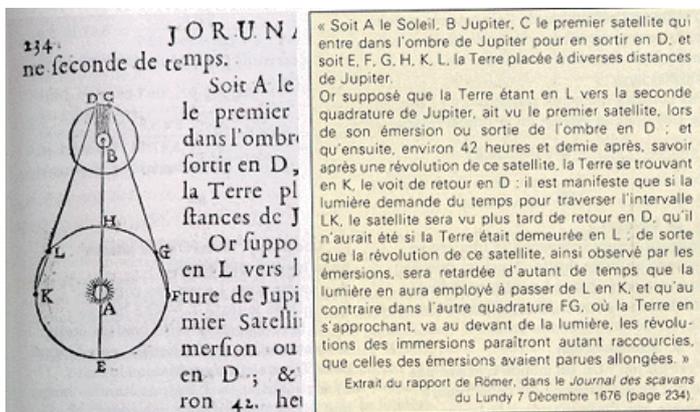
- Il explique les mouvements des planètes
- Il met au point un télescope réflecteur en 1671 dit télescope de Newton
- Il met en évidence la théorie des couleurs par la dispersion de la lumière blanche à travers un prisme en 1704.

**La gravitation universelle (Ou loi d'attraction universelle)**

Deux corps quelconques de masses **m** et **m'** placés à une distance **d** l'un de l'autre s'attirent mutuellement avec une force :

$$F = \frac{G \times m \times m'}{d^2}$$





**Ole Roemer (1644-1710)**, assistant de Jean-Dominique Cassini à l'observatoire de Paris, trouva une explication aux retards observés des phénomènes des satellites de Jupiter : la transmission de la lumière n'est pas instantanée mais se fait avec une vitesse finie.



**James Bradley (1693-1762)**, astronome anglais, découvre en 1728 l'aberration annuelle des fixes déplaçant les étoiles est due à la vitesse finie de la lumière. Cela lui permit de faire une détermination de la vitesse de la lumière plus exacte que celle de Roemer.



**Ici ce termine l'histoire de la rotation de la Terre, souvent controversée pour finalement aboutir à un système héliocentrique avec des planètes qui tournent sur elles mêmes et autour du Soleil mais à quel prix !**

**Léon Foucault**, prouve la rotation de la Terre par l'expérience de son pendule.

Né à Paris le 18 septembre 1819. Après des études de médecine, il s'oriente vers la physique expérimentale. Il mena parallèlement à ses activités de chercheur une carrière de journaliste scientifique.

Avec le physicien Hippolyte Fizeau (1819 – 1896) il réalisa une série d'études sur la chaleur et la lumière. En 1845 avec Fizeau ils obtiennent le premier « daguerréotype » du Soleil (procédé photographique). En 1850 il mesura la vitesse de la lumière avec une précision meilleur de un pour cent. Il met également en évidence que la lumière se propage plus vite dans l'air que dans l'eau.

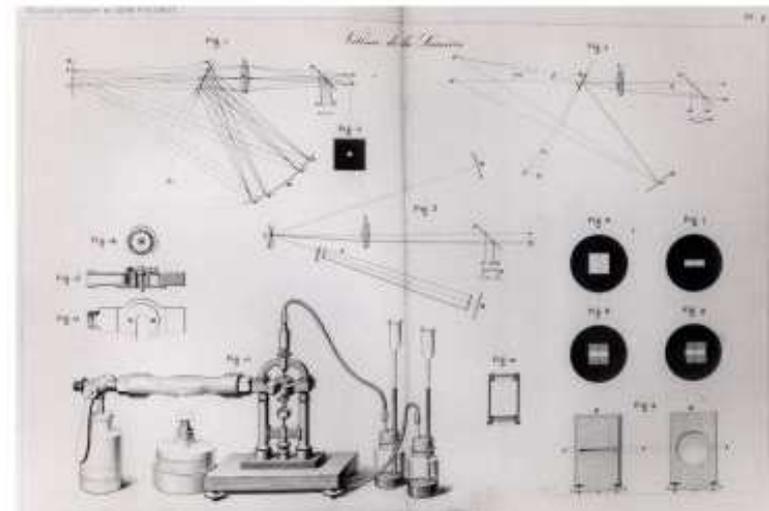
Foucault note également la coïncidence exacte de longueur d'onde entre la lumière jaune émise par un arc électrique et la raie sombre du spectre du Soleil (raie D de Fraunhofer, opticien et physicien allemand), il savait malheureusement pas que la lumière jaune de l'arc était due à la contamination par le sodium, cette expérience ne lui permet pas de faire apparaître la présence de sodium dans l'atmosphère du Soleil.

En 1851 il démontrait la rotation de la Terre avec son pendule, puis une autre démonstration faite à l'aide d'un gyroscope, d'où il reçut la médaille Copley de la Royal Society de Londres en 1855. Cet alors qu'il est nommé assistant à l'observatoire de Paris sous la direction tyrannique du découvreur de Neptune, Urbain Le Verrier (1811 – 1877).



Sur une suggestion de Foucault, le gyroscope sera utilisé comme indicateur de direction qui deviendra un « gyrocompas ». Cette application verra le jour en 1910 sur un vaisseau de guerre allemand. Cet instrument de guidage a de multiples utilisations, depuis les missiles, les avions les sous marins mais aussi pour les tâches de pointages du télescope spatial Hubble.

Léon Foucault s'intéresse également à l'électricité. Il mit notamment ces courants en évidence dans un champ magnétique intense. Enfin les astronomes doivent à Léon Foucault une méthode pour mesurer les défauts des pièces optiques, méthode toujours utilisée. Il imagina également de modifier la forme des miroirs pour tenir compte et corriger les défauts des oculaires. A cette époque les miroirs des télescopes étaient faits de lourds disques de

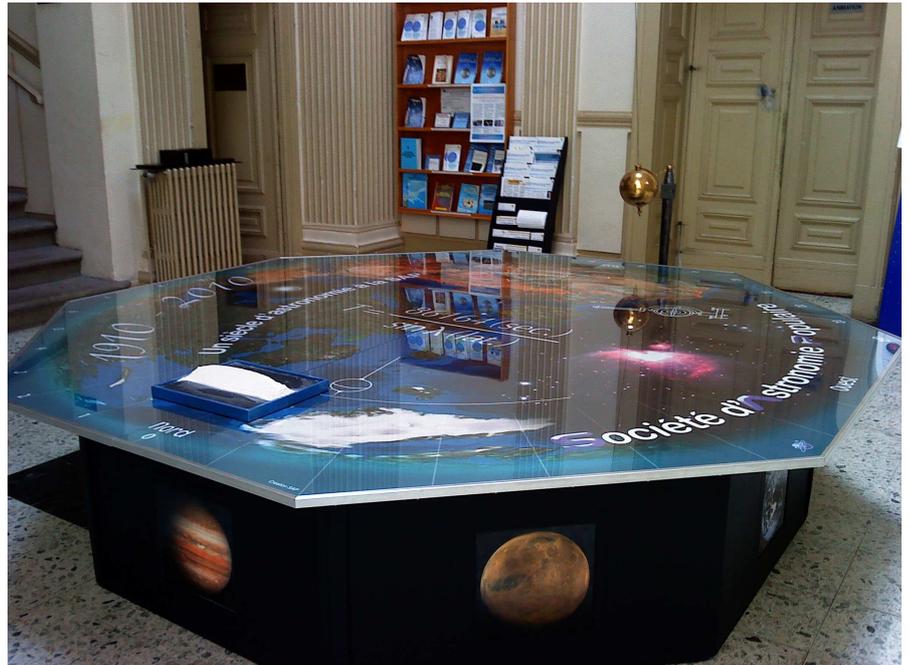
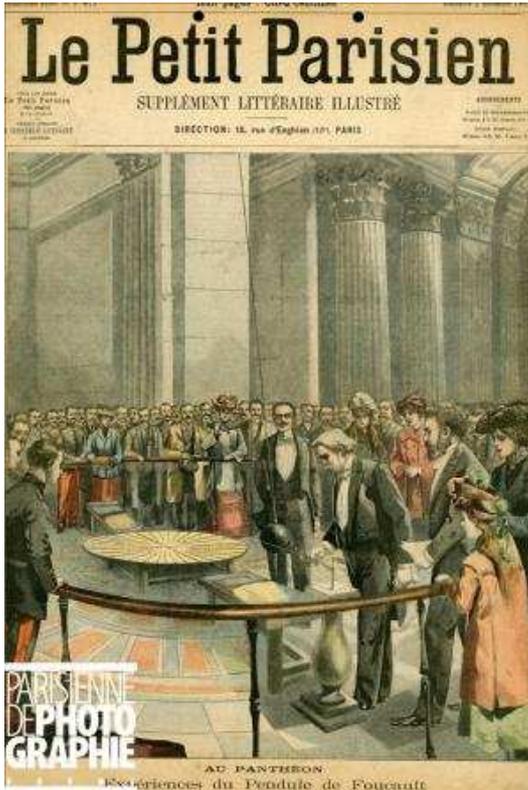


En 1862 Léon Foucault détermine la vitesse de la lumière à l'aide du miroir tournant

bronze où la mise en forme était difficile, et les variations de température modifiaient leur forme. Foucault utilisera des pièces de verre où le coefficient de dilatation est beaucoup moins important ainsi il suffira de déposer une pellicule d'argent pour rendre les miroirs parfaitement réfléchissants.

Foucault perfectionna l'« héliostat » (invention de Gambey), il le modifia pour en faire un « sidérost » instrument muni d'un grand miroir mobile qui renvoie la lumière vers un télescope fixe. Cet instrument, encore utilisé de nos jours, le sidérost ou coelostat voit par exemple son application dans la physique solaire. La lumière intense du Soleil ne permet pas des observations directes, Galilée en perdit la vue. Foucault réussit à rejeter le majeur parti de la lumière du Soleil en argentant la face antérieure de l'objectif d'une lunette (on dit aussi télescope réfracteur). Enfin il améliore le régulateur à boule de Watt (ingénieur britannique 1736 – 1819), il met également au point des régulateurs, où l'un d'entre eux deviendra les gyroscopes du Space Telescope.

Seule l'expérience de Léon Foucault, permet par un simple pendule, de nous voir tourner sur nous même, à la vitesse étourdissante de 1600 kilomètres heures environ.



Le pendule de Foucault de la Société d'Astronomie Populaire (Observatoire de Jolimont Toulouse)

L'expérience est reprise par Camille Flammarion en 1902. Le ministre de l'Instruction publique Joseph Chaumié brûlant le fil de retenue. Gravure d'Andrieux d'après un dessin de Carrey. "Le Petit Parisien", 2 novembre 1902.



Pendule de Foucault du Musée des arts et métiers de Paris



Pendule de Foucault du Panthéon de Paris

Société d'Astronomie Populaire de Toulouse  
 1 Avenue Camille Flammarion  
 31500 Toulouse  
 Tél : 05.67.22.60.58  
 Fax : 05.61.58.42.01  
[www.saptoulouse.net](http://www.saptoulouse.net)  
[Sap@saptoulouse.net](mailto:Sap@saptoulouse.net)

Association agréée jeunesse et éducation populaire N°3109JEP009

