

Newsletter



for the History of Science in Southeastern Europe

Published by the History, Philosophy and Didactics of Science and Technology Programme
Institute of Neohellenic Research, National Hellenic Research Foundation
Sponsored by Hephaestus Project, FP 7 Regpot 1-2008

Le Mécanisme d'Anticythère Le contexte astronomique

Textes de Yaël Nazé

Exposition présentée par l'équipe d'Histoire, Philosophie des Sciences et des Techniques
Institut de Recherches Néohelléniques de la Fondation Nationale de la Recherche
Scientifique

Projet Hephaestus, FP7, RegPot 1-2008, 229825

Hephaestus
Hellenic Philosophy, History and Environmental
Science Teaching Under Scrutiny





Mouvements du Soleil

Pour qui sait regarder, le ciel est une immense horloge... Jour, mois, année, tout y est, et cela n'a pas échappé aux civilisations anciennes qui, toutes, ont utilisé le ciel comme marqueur de temps. Brillant et incontournable, le Soleil est le premier astre à utiliser. Son retour au même endroit du ciel définit ainsi l'unité temporelle de base, le jour. Au cours d'une journée, on voit le Soleil se lever côté est, culminer au sud puis se coucher côté ouest. Comme sa position dans le ciel varie, les ombres qu'il produit changent de direction aussi: c'est le principe du cadran solaire. (Fig1)

Précisons qu'en réalité, ce n'est pas le Soleil qui bouge, mais la Terre qui tourne sur elle-même... Le Soleil en éclaire simplement diverses parties au cours de la journée: il est midi au Japon, alors qu'il est minuit dans l'Atlantique. Lorsque les Européens voient le Soleil se lever, les Américains le voient se coucher. C'est ce qui explique que l'on a défini des fuseaux horaires. (Fig2)

Tous les jours ne sont pas identiques. Au fil des semaines, deux changements se produisent. Tout d'abord, les positions de lever et coucher changent. Ensuite, les positions côté sud où le Soleil culmine à mi-journée varient. Ces changements définissent l'année: en été, le Soleil se lève au nord-est, culmine haut dans le ciel et se couche au nord-ouest; en hiver, il se lève au sud-est, s'élève à peine au-dessus de l'horizon et se couche au sud-ouest. Il suffit donc de repérer la position du Soleil pour savoir, non seulement quelle heure il est, mais en plus à quel moment de l'année l'on se trouve. (Fig3)

Tout cela est dû au fait que la Terre tourne autour du Soleil en étant un peu « penchée ». Du coup, le Soleil éclaire plus l'hémisphère nord à certains moments et l'hémisphère sud à d'autres... Les saisons sont donc inversées: hiver en Australie rime avec été en Belgique. Contrairement à ce que l'on pense souvent, la distance Terre-Soleil ne joue aucun rôle car elle varie très peu. Ainsi, nous sommes au plus près du Soleil en... janvier! (Fig4)

Motions of the Sun

If you carefully watch, the sky is a large clock. Day, month, year, nothing is missing, as the Ancients did note – indeed, all old civilizations have used the sky as a time-marker. The first thing to be used is the bright Sun. Its return at the same place in the sky defines the basic temporal unit: the day. During a day, one sees the Sun rising towards the East, culminating in the South and then setting towards the west. As its position in the sky varies, so do the shadows that it projects: this is how and why a sundial works. (Fig1)

In reality, the Sun doesn't move, but the Earth rotates on itself. The Sun simply lightens different parts of the planet during a day: it is noon in Japan while it is midnight in the Atlantic; when the Europeans see the Sun set, the Americans see it rising. This explains why we have defined time zones. (Fig2)

Days are not identical. As weeks go by, two changes occur.

First, the positions of the sunset and sunrise vary. Second, the height of the Sun at noon changes. These variations define the year. In summer, the Sun rises northeast, culminates high in the sky, and sets in the northwest; in winter, the Sun rises southeast, barely goes over the horizon, and finally sets in the southwest. By knowing where the Sun is, you can deduce not only the time of the day but also the date. (Fig3)

All this is due to the fact that the Earth revolves around the Sun while being a little bit skewed. Therefore, the Sun sometimes lightens more directly the northern hemisphere, while at other times, it is the turn of the southern hemisphere. Seasons are thus reversed between hemispheres: Australian winter means Belgian summer. Contrary to a popular belief, the changing distance between the Sun and the Earth has nothing to do with the seasons, as it doesn't vary much: we are actually closest to the Sun in... January! (Fig4)

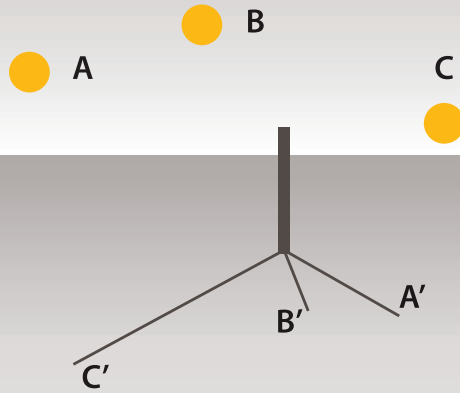


Fig 1: Position (A, B, C) of the shadow of a gnomon at different times of the day (A in the morning, B at noon and C in the evening).
Fig 1: Position (A, B, C) of the shadow of a gnomon enfoncé dans la sol à trois moments de la journée (A en matinée, B à midi et C en fin de journée)

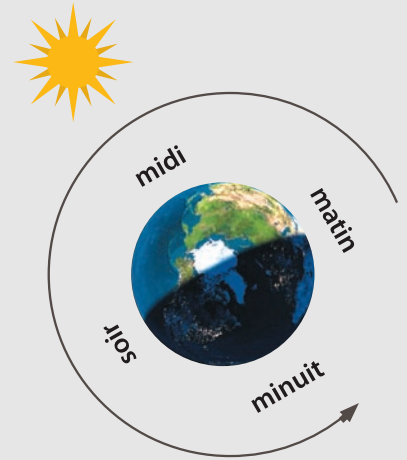
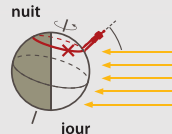
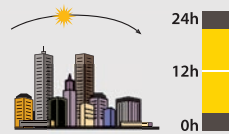


Fig 2: Depending on your position on Earth, the time of the day is different.
Fig 2: Selon l'endroit où l'on se trouve sur Terre, le moment de la journée est différent

Situation A



Situation B

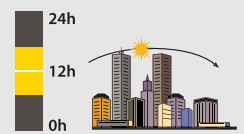
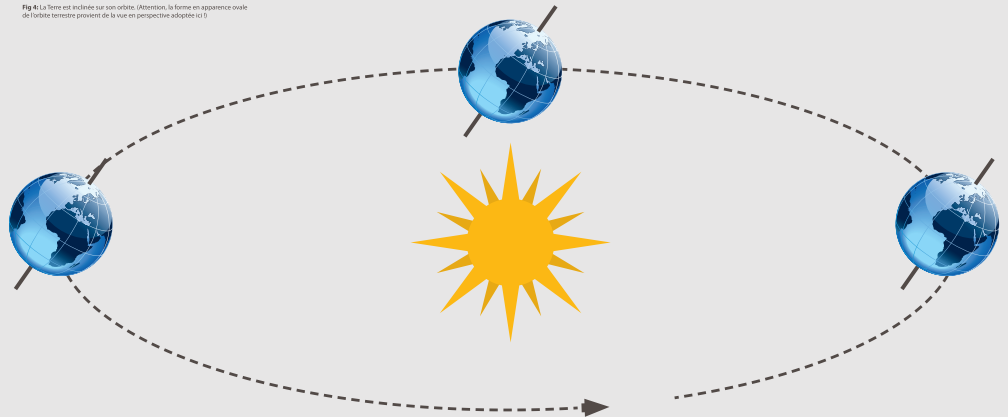


Fig 3: In situation A, the cross passes more time on the dayside than on the nightside: the day is longer, and the Sun appears rather close to the point just above your head (called the zenith) – it is Summer. On the contrary, on situation B, the Sun appears low on the horizon, the cross passes more time on the nightside – it is Winter.

Fig 3: Dans la situation A, la croix repasse plus de temps du côté jour que du côté nuit: le jour est plus long. De plus, le Soleil est assez proche du zénith (le point juste au-dessus de nos têtes), c'est donc l'été. Au contraire, dans la situation B, le Soleil est très bas sur l'horizon, et la croix repasse plus de temps du côté nuit: c'est l'hiver.

Fig 4: The Earth is inclined on its orbit (note however that the oval shape of the terrestrial orbit is only due to the perspective view used here).
Fig 4: La Terre est inclinée sur son orbite. (Attention, la forme en apparence ovale de l'orbite terrestre provient de la vue en perspective adoptée ici.)





Mouvements de la Lune

Le deuxième objet le plus évident du ciel est la Lune. Moins brillante que le Soleil, elle n'a cependant pas à rougir de son importance: ses changements de forme définissent le mois, base des calendriers antiques. Au fil des jours, la Lune apparaît d'abord comme un fin croissant, puis elle passe à une forme de P (on parle de premier quartier), puis à un disque plein (pleine lune) et enfin à une forme de d (dernier quartier) pour terminer en un fin croissant. Ce sont les phases de la Lune. (Fig5)

Ces changements de forme proviennent de deux choses: premièrement, la Lune tourne autour de la Terre; deuxièmement, le Soleil, seule source de lumière de notre Système solaire, éclaire. Vue depuis le Soleil, la Lune ne présente aucune phase! (Fig6)

Motions of the Moon

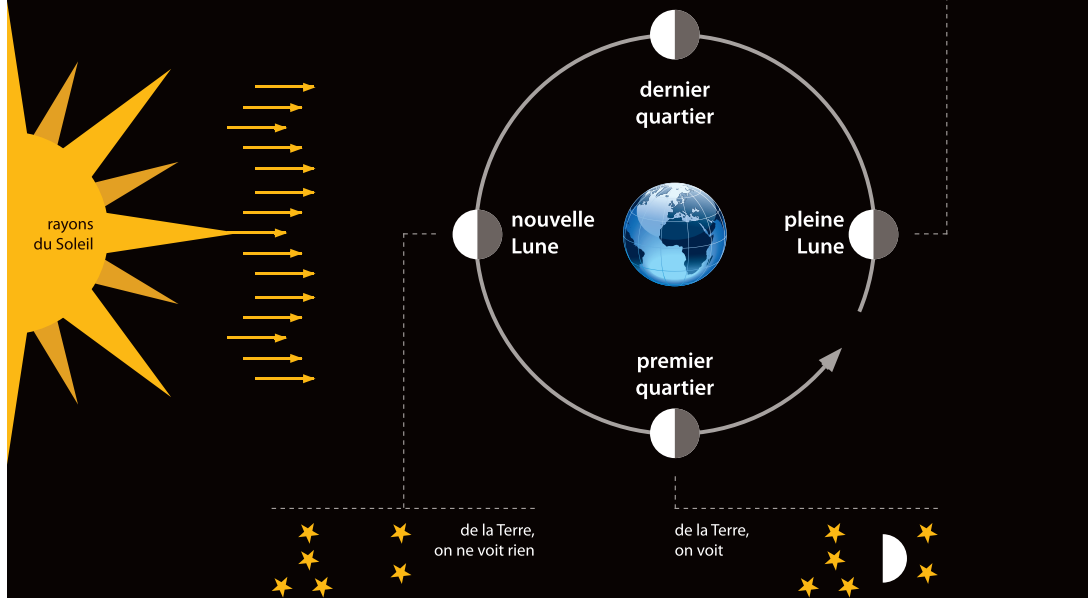
The second most obvious celestial object is the Moon. Less bright than the Sun, it is however as important: its changing shape defines the month and serves as basis for antique calendars. As days go by, the Moon first appears as a thin crescent, then takes a P-shape (this is called "first quarter"), looks like a full disc (full moon), a d-shape (last quarter), and finally a thin reverted crescent. These are the Moon phases. (Fig5)

These shape changes have two causes: first the Moon revolves around the Earth, second the Sun is the only light-source of the Solar System. Indeed, as seen from the Sun, the Moon does not go through phases. (Fig6)



Fig 5: Moon phases
Fig 5: Les différentes phases de la lune

Fig 6: Moon phases depend on the relative positions of Moon and Sun with respect to the Earth. Seen from our distant neighbor, the Sun.
Fig 6: Les phases de la Lune dépendent de la position de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre





Mouvements des étoiles

Comme le Soleil, les étoiles se lèvent côté est et se couchent côté ouest – leur observation permet donc de connaître l'heure durant la nuit, lorsque les cadrans solaires ne fonctionnent plus. Une petite différence avec le Soleil, toutefois : leur horloge ne fonctionne pas sur un rythme de 24 heures mais bien sur un rythme de... 23h56m. C'est ce que l'on appelle le jour sidéral, et les quatre minutes de différence proviennent du fait que la Terre tourne autour du Soleil. (Fig7)

Du coup, les étoiles se lèvent chaque jour quatre minutes plus tôt. À un moment, elles se lèvent en même temps que le Soleil et on ne peut plus les voir, car l'on est aveuglé par la lumière de notre astre du jour. Les constellations visibles la nuit changent donc au cours de l'année – pas besoin de calendrier, il suffit de lever les yeux au ciel... (Fig8)

Les étoiles situées au nord sont un peu particulières: elles ne se couchent ni ne se lèvent. Elles semblent toutes tourner autour d'une étoile, appelée l'étoile polaire. Cet astre apparaît fixe car l'axe de rotation de la Terre pointe vers lui – tout se passe comme lorsque l'on fait tourner un parapluie : on voit la toile et les balais bouger mais pas le sommet du parapluie, situé sur l'axe. Le ballet des étoiles boréales autour de la polaire, réglé sur le jour sidéral, permet de trouver l'heure. Cependant, on peut aller plus loin encore. En effet, la position de l'étoile polaire donne immédiatement la latitude du lieu où l'on se trouve. Les étoiles sont donc extrêmement utiles tant en géographie qu'en horlogerie! (Fig9)

Motions of the stars

Like the Sun, stars rise towards the East and set towards the West. Observing them enables us to know the time during the night, when sundials do not work anymore. A small change, however: their clock is not set on a 24h cycle, but on a rhythm of 23h56m – this is called the sidereal day, and the 4 min difference comes from the fact that Earth revolves around the Sun. (Fig7)

Stars thus rise 4m earlier each day. At one point, they will rise at the same time as the Sun and be unobservable, lost in the solar glare. Night constellations therefore change throughout the year. No need of a calendar to know the date, just look above, to the sky! (Fig8)

The stars situated to the north are a little bit peculiar: they never set or rise. They appear to revolve around one star, called the Pole Star. This star appears fixed as the rotation axis of the Earth points directly at it. It is a little bit like a rotating umbrella: you'll see the skeleton move, but not the top of the umbrella, as it is situated exactly on the axis. The stellar dance around the Pole Star is rythmed by the sidereal day – it can thus also be used to find the time. You can go further: the height of the Pole Star above the horizon gives the latitude. Stars are thus very useful for clocks as far geography questions. (Fig9)

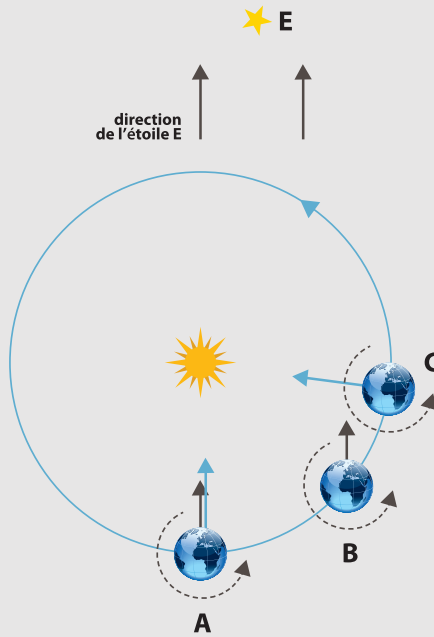


Fig 7: As the Earth rotates, it needs 23h56m after this time, the arrow again points towards the distant star E. As it rotates, the Earth has revolved around the Sun, passing from position A to position B. The second arrow faced the Sun while in A, but not anymore in B. To have the arrow pointing again towards the Sun (as in C), the Earth has to rotate a little bit more, which takes 4m.

Fig 8: Lorsque la Terre fait un tour sur elle-même, il lui faut 23h56min après ce laps de temps, la flèche repointe le point polaire du noyau dans la direction de l'étoile lointaine E. Mais alors qu'elle effectuait cette rotation, la Terre se déplaçait aussi sur son orbite, passant de A en B. Si la deuxième flèche repointe à nouveau vers le Soleil lorsque la Terre était en A, ce n'est plus le cas en B. Pour retrouver le Soleil en face du deuxième repère comme en C, la Terre doit tourner encore un peu, ce qui lui prend quatre minutes. Notez que les dimensions ne sont pas représentées à l'échelle sur ce schéma.

Fig 9: Not all zodiacal constellations are visible at a given time of the year as the Sun hides some of them. Fig 9: On ne voit pas toute l'année les mêmes constellations du zodiaque car le Soleil nous en cache certaines.

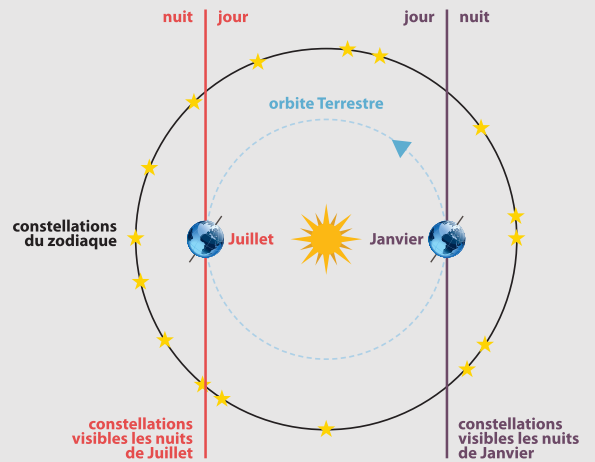
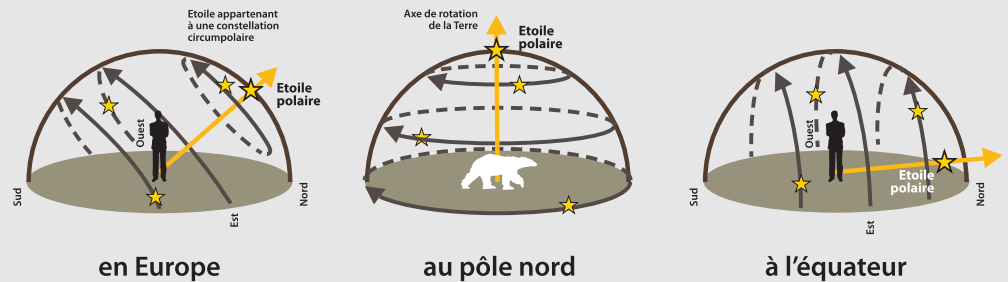


Fig 9: The apparent motion of the stars changes with the position on the Earth. Fig 9: Le mouvement des étoiles dans le ciel diffère selon l'endroit où l'on se trouve sur Terre.





Mouvements des étoiles

Le Soleil constitue le cœur du Système solaire, mais il n'en est pas la seule composante. Autour de lui tournent huit planètes : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune (par ordre croissant d'éloignement). C'est ce mouvement que montrent les planétaires. (Fig10)

Embarqués sur le vaisseau Terre, nous ne voyons pas le mouvement de nos collègues autour du Soleil. Ce que l'on voit semble parfois un peu bizarre. Ainsi, Mercure et Vénus ne s'éloignent jamais du Soleil, parce que ces deux planètes orbitent plus près du Soleil que la Terre. (Fig11)

À certains moments, les planètes font même... demi-tour: elles se déplacent « en sens inverse » parmi les étoiles! Cette illusion d'optique – les planètes tournent toutes dans le même sens, sans jamais en changer – provient juste du fait que chacune tourne à son rythme. La lente Mars retourne ainsi sur ses pas lorsque la rapide Terre la « dépasse ». (Fig12)

Motions of the planets

The Sun is the main part of the Solar System, but not its only component. Around the Sun revolve eight planets: Mercury, Venus, Earth, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune (in order of increasing distance from the Sun). This motion is shown in oratories. (Fig10)

Located on the Earth, we do not see the planetary motions around the Sun. What we see is much more complex: Mercury and Venus do not get far from the Sun, since these two planets revolve closer to the Sun than the Earth. (Fig11)

Sometimes, planets even do U-turns: they move "in the other way" amongst the stars! This optic illusion – planets all revolve in the same way around the Sun, without ever changing – comes from the fact that each planet revolves at a different speed. The slow Mars can thus appear to go back as the rapid Earth overcomes it. (Fig12)

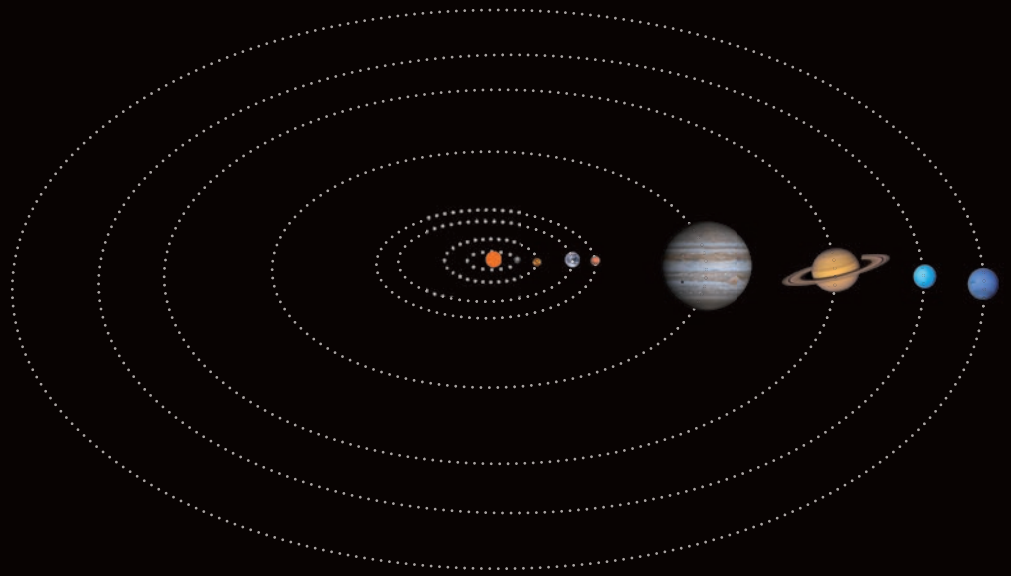


Fig 10 The eight planets: Mercury, Venus, Earth, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune. Note that even and distances are not to scale.

Fig 10 Les huit planètes du Système solaire : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Notez que les tailles et distances relatives ne sont pas à l'échelle.

Mercury
Venus
Earth
Mars
Jupiter
Saturne
Uranus
Neptune

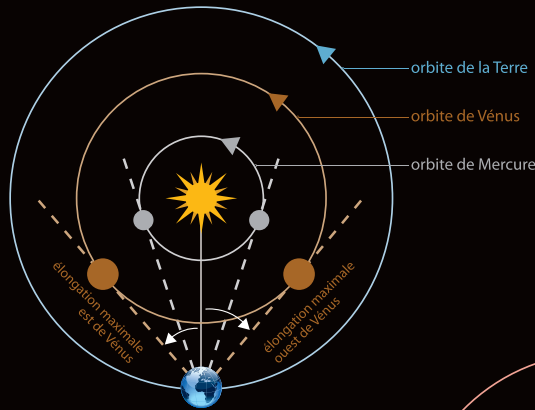
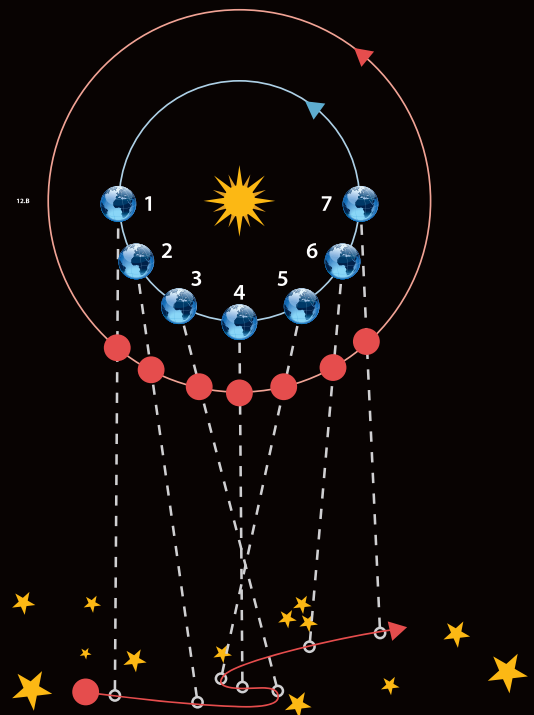
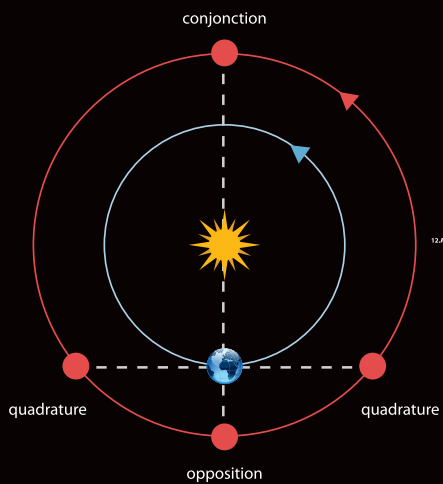


Fig 11 Seen from Earth, Mercury and Venus doesn't get far from the Sun.

Fig 11 Vus depuis la Terre, les planètes Mercure et Vénus ne s'éloignent jamais du Soleil.

Fig 12a Particular configurations of the Sun-Mars-Earth system (12.A)

Fig 12b Particular configurations of the Sun-Mars-Earth system (12.B)





Astrolabes

L'astrolabe peut être considéré comme un ordinateur antique. Cette merveille technologique est multitaillée : l'astronome Al-Sufi en recense ainsi un millier d'utilisations possibles. Par exemple, il permet de déterminer l'heure (en journée comme de nuit), le moment de l'année, les constellations observables en n'importe quel jour... (Fig13)

Cet appareil consiste en une matrice qui accueille différentes plaques fines (chacune correspondant à une latitude donnée). Elle est surmontée du rete (araignée), qui est en fait une carte du ciel, et d'un marqueur mobile. Sur la face opposée, la matrice comporte diverses gravures – il s'agit de tables de conversion (position du Soleil-moment de l'année, par exemple) et de graduations. Grâce à ces dernières, l'alidade, un autre marqueur mobile, permet de relever la position du Soleil ou des étoiles. (Fig14)

Les premiers astrolabes furent construits dans le monde grec antique, quelques siècles avant notre ère. Grandement améliorés dans le monde arabo-musulman au cours du Moyen-âge, ils devinrent des « musts » pour les navigateurs et les astronomes, y compris dans les pays occidentaux qui en héritèrent aux alentours du 10^e siècle et l'utilisèrent jusqu'au 18^e siècle. Les premiers horloges astronomiques – et peut-être la machine d'Anticythère – s'inspirèrent de cette vedette technologique.

Astrolabes

An astrolabe is an ancient computer. This technological marvel can do many things: a medieval astronomer called Al-Sufi had counted about a thousand ways of using an astrolabe. For example, an astrolabe help finding the hour (during both daytime and nighttime), the date, which constellations are visible on a given day... (Fig13)

This device consists in a "mother" that contains a set of thin plates (each one made for a given latitude). On it is added the rete ("spider"), which actually is a sky chart, and a mobile marker. On the reverse side appear several engravings (which help converting solar position into date, for example) and graduations. Using these, another mobile marker called alidade helps finding the solar or stellar height above the horizon. (Fig14)

The first astrolabes were built a few centuries before Christ by ancient Greeks. However, their design was greatly improved by Arab-Muslim astronomers in Middle Ages. These "new" astrolabes become a "must" for sailors and astronomers, including in Occident that inherited the device around the 10th century and used it until the 18th century. The first astronomical clocks – and maybe the Antikythera mechanism – were inspired by this technological "star".



Fig 13: An example of astrolabe
Fig 13: Exemple d'astrolabe



Fig 14: The components of an astrolabe
Fig 14: Les composants d'un astrolabe

Rete (= araignée) ou carte du ciel

Matrice ou mère

Plaques ou tympan

Alidade

Marqueur mobile



Pour les as de la géométrie

Au premier abord, les plaques de l'astrolabe (ou tympan) semblent incompréhensibles, avec toutes ces lignes qui s'entrecroisent. C'est pourtant grâce à elles que l'astrolabe devient un véritable instrument astronomique. On y trouve en fait deux groupes de lignes: l'une associée aux parallèles terrestres/célestes (équateur, tropiques), l'autre associée à l'endroit où l'on se trouve (zénith, horizon). Le tout est dessiné par projection stéréographique.

Comment construire une plaque?
(Fig 15 et 16 ABC)

For the geometry fans

At first, the astrolabe plates appear difficult to understand with all these lines crossing here and there. However, these lines are the tools with which the astrolabe becomes an astronomical computer. There are two sets of lines: one associated to the main (geographical as well as celestial) parallels, such as the equator and tropics, while the other set is linked to your location (zenith, horizon). Both sets are drawn using the stereographic projection.

How is a plate built? (Fig 17 to 21)

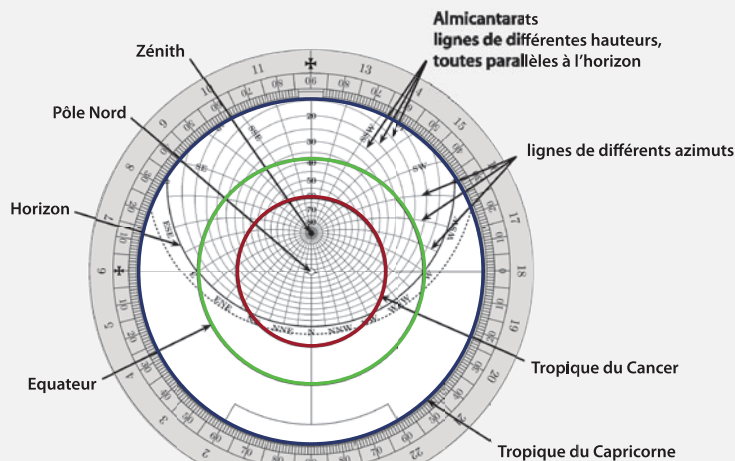


Fig 15: What can be found on a plate?
Fig 15: Que trouve-t-on sur une plaque?

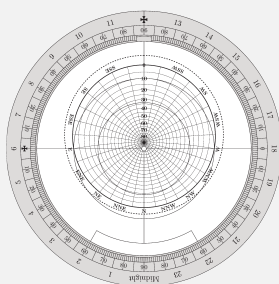


Fig 16A: 00° North
Fig 16A: 00° Nord

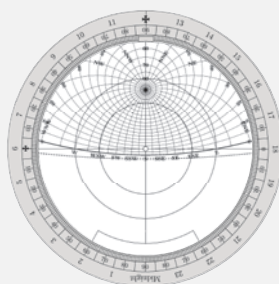


Fig 16B: 10° South
Fig 16B: 10° Sud

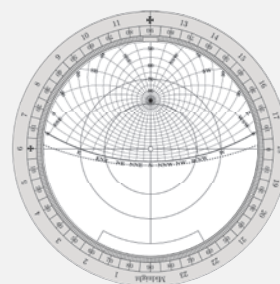


Fig 16C: 20° North
Fig 16C: 20° Nord

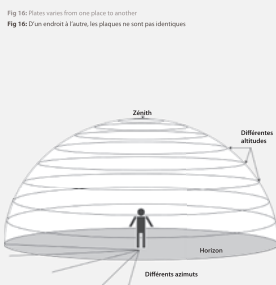


Fig 17: At any given place on Earth, one can draw on the sky (as be exact, on the celestial sphere) the horizon circle, the zenith, and circles at different heights above the horizon and in different directions (also called azimuths).

Fig 17: Depuis un endroit donné, on peut dessiner sur le ciel (ce que l'on appelle la sphère céleste) l'horizon, le zénith, des cercles à différentes altitudes et dans différentes directions (azimuts).

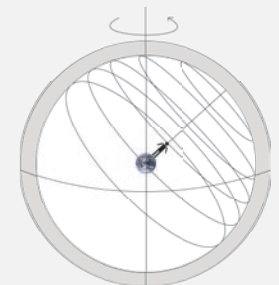


Fig 18: In a global view, the observer in Ligeia seems to be straight but tilted.

Fig 18: Sur une vue globale, l'observateur ligéon semble incliné par rapport à la Terre.

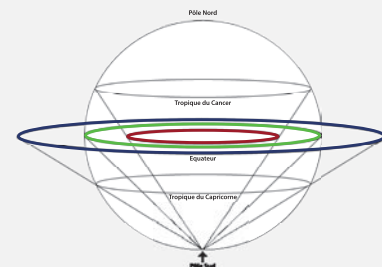


Fig 19: Let's do the stereographic projection. To do this you must imagine to be at South Pole and looking towards the Equator and circles parallel on the equatorial plane.

Fig 19: Faisons un schéma de la projection stéréographique. Pour ce faire, il faut s'imaginer au pôle Sud en train de regarder l'Equateur et les Tropiques qui sont sur le plan équatorial.

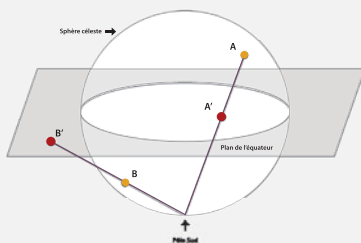


Fig 20: In the same way, one can also project the positions of the horizon and zenith.

Fig 20: De la même manière, on peut également projeter les positions des horizons et zéniths.

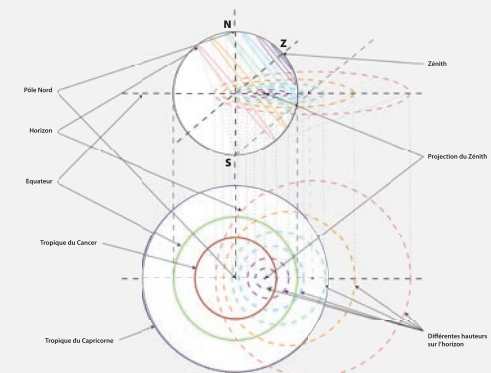


Fig 21: and the altitude circles, the zenith and horizon for a given location. An astrolabe plate used for that location is then obtained.

Fig 21: L'ensemble des cercles d'altitude, le zénith et l'horizon. On obtient ainsi le schéma de l'astrolabe utilisable pour un endroit donné. Pour les autres positions sur Terre, il faut recommencer le processus en changeant la latitude.

