



Principes basiques de navigation astronomique et évolution de ses instruments

Voici un extrait d'un livre en édition bilingue français-espagnol, document richement illustré, publié en Espagne aux éditions Alderabán de Cuenca.

La brochure porte le no ISBN 978-84-95414-95-3 et a été publiée en 2012.
Elle est vendue 15 € dans les librairies.

Dans cette approche, on retrouve les chapitres suivants :

- Principes basiques de navigation astronomique et définitions
- Le Soleil
- Les étoiles
- La Lune
- Les Planètes
- Evolution des instruments de mesure
- Planches
- Feuilles de calculs

Biographie:

P.-A. Reymond est né à Lausanne, 1943. Tout jeune il se tourne vers la mer et embrasse l'aventure maritime qui le conduira à l'obtention d'un brevet d'Officier de Marine Marchande.

Lorsqu'il pose son sac à terre, c'est pour des études d'architecture navale qui le mènent vers une carrière d'expert en navigation de plaisance.

Cet homme de mer consacre parallèlement plus de 35 années à l'enseignement de diverses branches du domaine de la navigation maritime, à la formation des apprentis constructeurs de bateaux ainsi qu'à la rédaction de nombreux articles et autres documents nautiques.

Dans ce livre, il nous invite à survoler le monde fascinant de la navigation astronomique, de son évolution, des instruments et de leur usage maritime.



0.- Avertissement en guise d'introduction

Ce modeste document est une approche simple de quelques connaissances de la mécanique céleste et des méthodes de positionnement astronomique, vues par un navigateur.

Le texte et les dessins sont basés sur ceux d'un support de cours de navigation astronomique établi dans les années quatre-vingt-dix et fruit de mes années de navigation au long cours en qualité d'officier de marine marchande et de skipper de plaisance.

Ce document ne remplace donc nullement le cours précité et n'a d'autre prétention que celle de permettre à ceux que cela intéresse de mieux cerner les problèmes de navigation astronomique et de voir l'évolution des méthodes et instruments au cours du temps.

L'astronavigation étant une science appliquée, elle diffère de ce fait de l'astronomie des scientifiques en divers points. Que les astronomes nous pardonnent certaines infidélités !

Dans un premier chapitre sont décrits les principes rudimentaires de la navigation astronomique en fin de XXe siècle.

On y retrouvera aussi diverses définitions de cette matière.

A la suite seront décrites certaines particularités des astres les plus utilisés.

Nous suivrons plus loin l'évolution dans le temps des connaissances et des instruments.

La Terre daterait de quelque 4.6 milliards d'années, l'Univers de beaucoup plus longtemps selon les derniers calculs des astrophysiciens actuels.

Les premiers primates auraient vu le jour il y a 65 millions d'années et la position verticale remonte à environ 13 millions d'années. Il faut encore attendre une dizaine de millions d'années pour voir les premiers bipèdes et les outils primitifs auraient 2.5 millions d'années.

Pour se faire une meilleure idée de ces chiffres, on peut s'imaginer que si la Terre datait aujourd'hui d'une de nos années, il a fallu attendre le dernier jour du dernier mois, soit le 31 décembre pour que les premiers hominoïdes prennent la position verticale. Selon cette même échelle, les premiers outils susmentionnés ne remontent qu'à cinq heures et le Christ est né il y a moins de 15 secondes.

Pourtant il y avait déjà des étoiles dans le ciel et les diverses civilisations ont eu des milliers d'années pour en observer les mouvements, y dessiner des constellations et découvrir petit à petit les cycles et évolutions des astres fixes comme errants. Ces derniers ont assez tôt été domptés pour servir à l'homme de repère géographique, puis de moyen de se situer sur Terre. Combien de générations d'observation intelligente ont été nécessaires à ces êtres pour avoir le génie de planter un bâton en terre pour observer, puis prévoir le retour des saisons en mesurant la longueur de l'ombre portée? L'homme découvre ici la notion du temps et des cycles.

Hormis la découverte de la verticalité qu'impose la gravité, l'homme a aussi déterminé que le plan de l'horizon était l'autre axe qui lui permettrait de mesurer le monde.

Pour la détermination de la rotondité de la Terre, des orbites des astres et la notion des distances astronomiques il faudra encore quelques secondes sur notre échelle annuelle de l'âge de la Planète Bleue.



On voit que tôt dans l'Antiquité il a été possible d'établir la latitude des lieux et tout marin peut la déterminer sans trop de difficulté, que ce soit par la longueur du jour ou par la position des étoiles (Soleil compris) au-dessus de l'horizon.

Par contre, la mesure de la longitude se fait en fonction du temps, car ladite longitude n'est autre qu'une expression de différence de temps entre deux lieux. Avec la technologie et la réalisation du chronomètre, la détermination de la longitude deviendra pratiquement un jeu d'enfant.

Alors, bienvenue à bord, largons les amarres et jouons !

Et pour débiter...

Le principe du tire-bouchon

Pour ouvrir une bouteille de vin, il y a deux possibilités :

- Faire tourner le tire-bouchon dans le sens des aiguilles de la montre sans que la bouteille ne bouge.
- Tourner la bouteille dans le sens contraire des aiguilles de la montre, en maintenant le tire-bouchon bien fixement.

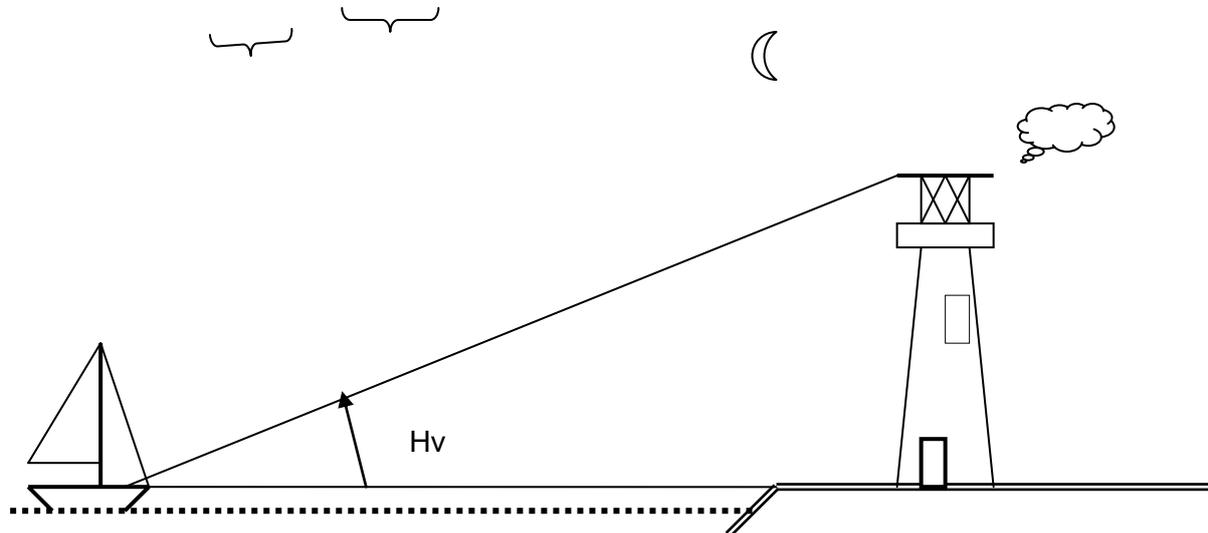
Ces deux solutions conduisent au même résultat et une fois la bouteille ouverte on ne peut savoir laquelle des deux méthodes a été utilisée.

De la même manière, avec les astres et les étoiles, on peut concevoir la situation de deux façons : ou les astres tournent au tour d'une Terre fixe, ou notre planète se déplace dans une voûte céleste d'étoiles fixes.



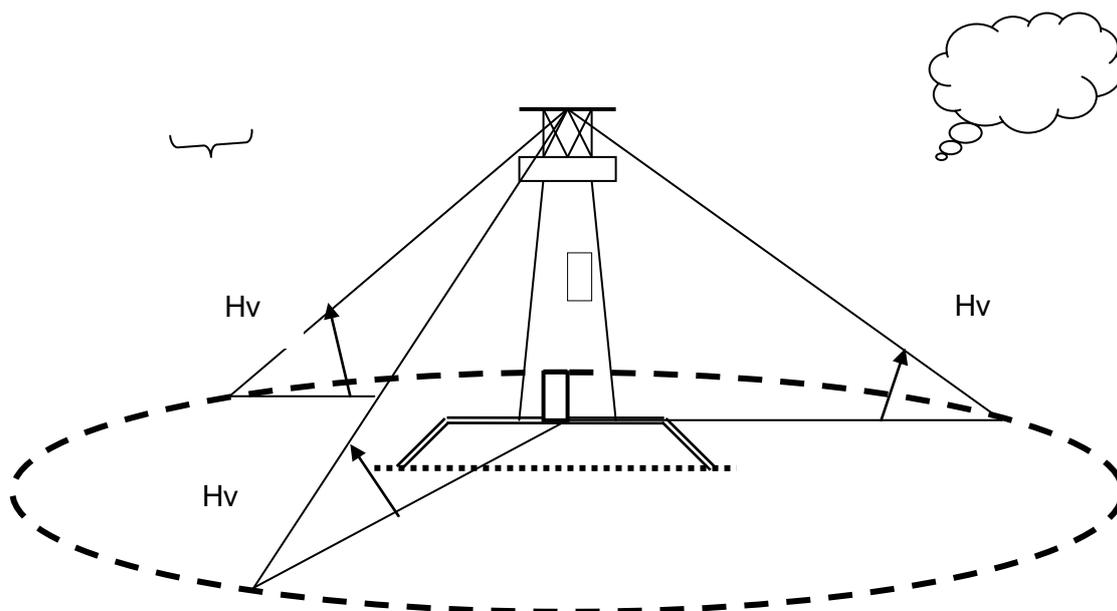
Principes basiques de la navigation astronomique et définitions

1.- Hauteur vraie (Hv)



La « hauteur » d'un objet ou d'un astre est l'angle vertical entre cet objet et l'horizon. Il peut être dit que plus on s'approche d'un phare, plus l'angle augmente et plus on s'éloigne dudit phare, plus l'angle (ou la hauteur) diminue. La hauteur vraie correspond pratiquement à l'éloignement de l'objet.

2.- Cercle d'égaies hauteurs



Tous les observateurs qui voient le phare à la même hauteur en dessus de l'horizon sont situés sur un « cercle d'égaies hauteurs ». Le centre de ce cercle est la base du phare....



Le soleil

1.- L'astre

Cette étoile est l'astre le plus utilisé en navigation astronomique. La Terre fait le tour du Soleil en un peu plus de 365 jours. En un an le Soleil semble se déplacer au travers des constellations du zodiac sur une trajectoire appelée "écliptique".

Le mot "année" vient du latin *annulus*, l'anneau. L'année est l'intervalle de temps qui nous ramène les saisons et la notion est connue depuis la préhistoire. Initialement, les égyptiens n'accordaient que 360 jours à l'année. Cette notion passe à 365 jours 4000 ans avant notre ère.

Le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil sur l'équinoxe du printemps, l'année tropique, représente 365,2422 jours. C'est elle qui ramène les saisons. Il y a aussi l'année sidérale de 365,25636 jours, mais pour la navigation astronomique nous nous contenterons de cette approche simple.

L'orbite décrite par la Terre est elliptique. Elle se situe entre 150'000'000 km (aphélie le 04-juillet) et 147'000'000 km (périhélie le 01 janvier). De ce fait nous voyons le diamètre du Soleil plus petit en été qu'en hiver, la moyenne étant de 32' d'angle.

Le Soleil permet de déterminer des droites de hauteur à divers moments de la journée. Depuis l'antiquité on a utilisé le Soleil dans le but de déterminer la latitude, sans chronomètre.

En disposant de l'heure TU, nous allons pouvoir calculer des droites de hauteur qui nous situeront également en longitude. Procédons par ordre de simplicité.

2.- La méridienne

Le calcul de la latitude par l'observation de la hauteur de la méridienne est très simple et rapide. Pratiquement, seul le soleil est utilisé pour ce genre d'observation car il est visible en même temps que l'horizon. C'est la plus ancienne méthode de positionnement, déjà utilisée depuis de nombreux siècles.

Au moment du passage au méridien d'un astre, l'azimut de ce dernier est de 000° ou 180° car à cet instant l'observateur et l'astre se trouvent sur le même méridien.

Bien qu'au point de vue astronomique il y ait une différence entre "passage au méridien" et "culmination" du soleil, le navigateur peut admettre que les deux événements se confondent. Aussi accepterons nous que la hauteur méridienne du soleil est la hauteur de cet astre au dessus de l'horizon au moment où il est au plus haut, soit à sa culmination. La connaissance exacte de l'heure n'est pas indispensable au calcul puisque seule la déclinaison est utilisée.

Si nous prenons des hauteurs égales du soleil avant et après son passage au méridien, la culmination se trouve pratiquement au milieu, que ce soit en ce qui concerne le temps ou qu'il s'agisse du trajet effectué par l'astre.....



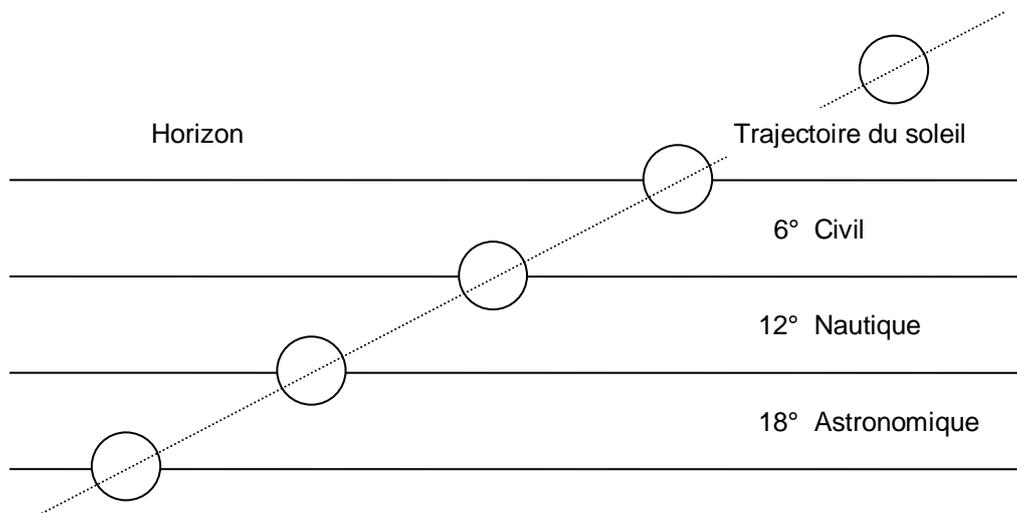
Les étoiles

Le gros avantage des étoiles, c'est que nous pouvons prendre diverses mesures de hauteur, pratiquement simultanément. Nous évitons ainsi tous les problèmes en relation avec le transport de point.

Les mesures au sextant doivent être prises alors que les étoiles utilisées sont visibles et qu'il en est de même avec l'horizon. Cela signifie qu'il est possible d'effectuer des mesures entre le début de l'aube et le lever du Soleil, ou entre son coucher et la fin du crépuscule.

De nuit, il ne faut pas utiliser l'horizon éclairé par la Lune, car la lumière de cette dernière fausse les mesures.

En astronomie nous distinguons le crépuscule civil (Soleil à 6° sous l'horizon) du crépuscule nautique (Soleil 12° sous l'horizon) et finalement du crépuscule astronomique (Soleil 18° sous l'horizon, soit la nuit noire). Il est évident que si le Soleil se lève ou se couche "verticalement", comme sous les tropiques, la diminution de luminosité est rapide. Par contre, dans les latitudes plus élevées, la trajectoire du Soleil est de plus en plus oblique et l'aube ou le crépuscule sont plus long, voire très long près des pôles, pouvant aller jusqu'à une période de 24 heures !



Bien que les étoiles se déplacent les unes par rapport aux autres à des vitesses vertigineuses, l'image de la voûte céleste peut être considérée comme constante pendant toute une année. Cela revient à dire que le GHA et la Déclinaison des étoiles reste constante entre le premier et le dernier jour de l'année. Cela revient aussi à dire qu'elles ne bougent pas les unes par rapport aux autres. Dès lors, connaissant la Pg d'une étoile ou d'un point de la voûte, nous sommes en mesure de pouvoir retrouver la Pg de toutes les autres étoiles utilisées en navigation astronomique.....



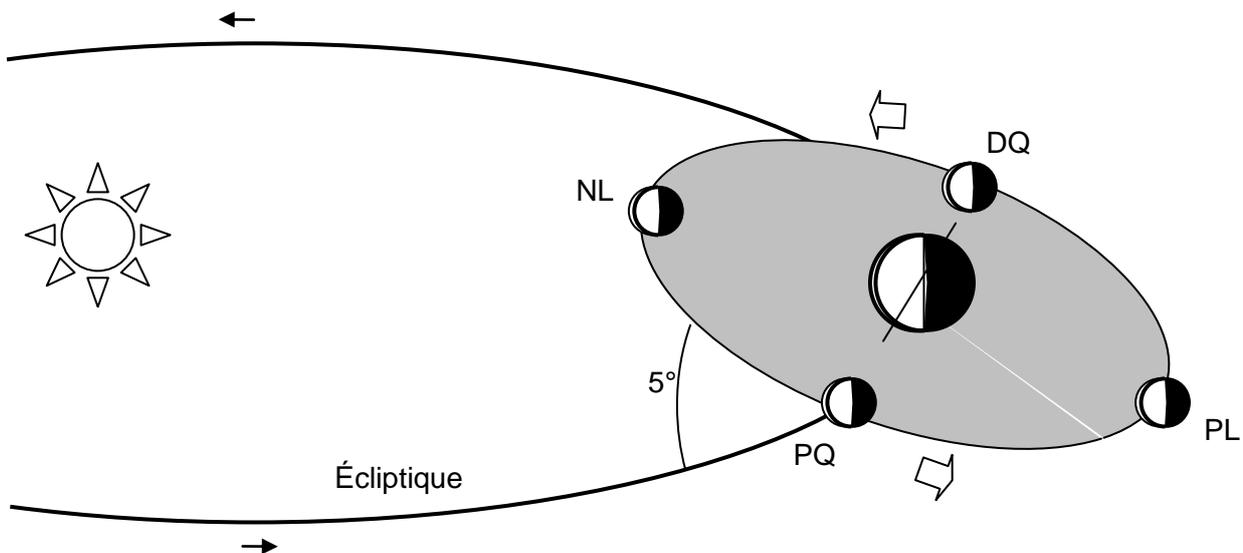
La lune

1.- L'astre

Quelques mots au sujet de Dame la Lune. Elle a un diamètre de 3476 Km (près d'un quart de celui notre planète) et tourne autour de la Terre sur une orbite elliptique de 356'000 Km en périgée et 406'000 Km en apogée.

Le plan de cette orbite lunaire fait avec celui de la Terre un angle d'environ 5° . Le passage de notre satellite sur le plan de l'orbite terrestre se nomme un **noeud** (ascendant ou descendant), une notion bien utilisée en agriculture par exemple.

La Lune met 27 jours, 7 heures, 43 minutes et 12 secondes pour effectuer sa rotation autour de la Terre, ce qui est appelé sa **période sidérale**. Pour l'observateur terrestre, la Lune aura parcouru sur son chemin toutes les constellations zodiacales. Chaque jour, elle se lève quelques 50 minutes plus tard, modifiant d'autant l'heure des marées, comme le savent les marins.



Écliptique et plan de rotation de la lune

NL = nouvelle lune
PQ = premier quartier
PL = pleine lune
DQ = dernier quartier

La combinaison du mouvement de la Lune autour de la Terre et du chemin parcouru par notre planète sur son orbite autour du Soleil font que le temps nécessaire à ce que les trois astres se retrouvent sur la même phase (p. ex. pleine lune) est de 29 jours, 12 heures, 44 minutes et 3 secondes, ce qui se nomme la **période synodique** de la lune...



Les planètes

1.- Généralités

Les planètes sont des astres qui comme la Terre gravitent autour de la même étoile, le Soleil.

Ces astres ne scintillent pas, sauf dans des circonstances atmosphériques exceptionnelles.

Les planètes se déplacent sur la sphère céleste, d'où leur nom d'astres errants. On les observe toujours dans la zone de l'écliptique, passant d'une constellation zodiacale à l'autre.

On distingue les planètes dites inférieures des planètes supérieures. Les premières ont des orbites intérieures à celle de la Terre. Ce sont Vénus et Mercure.

Parmi les planètes extérieures, seules Jupiter et Saturne s'utilisent en navigation astronomique, les autres étant trop peu visibles, voire invisibles dans la lunette d'un sextant.

La magnitude (brillance) de Vénus et de Jupiter est importante et en fait les deux planètes les plus utilisées en navigation astronomique. Vénus a un éclat plus brillant que les étoiles les plus lumineuses.

Mars, avec sa couleur rougeâtre est facilement identifiable et vient en troisième position.

Vénus est une planète intérieure. De ce fait, elle se lève ou se couche peu avant ou après le Soleil. Vénus avance ou rétrograde selon la saison et se retrouve de ce fait pendant 10 mois comme astre du matin, puis reste inobservable pendant 3-4 mois avant de devenir pour 10 nouveaux mois un astre errant du soir.

On l'appelle aussi « l'étoile du berger »....



Vénus



Mars



Jupiter



Saturne



Évolution des instruments de mesures

1.- Généralités

Nous avons vu que pour faire le point, il faut trouver sa latitude et sa longitude. La première est assez aisée à déterminer, même avec des instruments simples. Mais il n'en est pas de même avec la longitude qui nécessite une liaison avec le méridien d'origine.

En 1600, PHILIPPE III d'Espagne fut le premier à proposer une prime à celui qui trouverait une solution pratique au problème de la détermination de la longitude en mer. Il fut suivi par la Hollande, la France et surtout l'Angleterre qui proposa, en 1714, une prime de 20'000 Livres (soit plus d'un million de US\$ de nos jours) à qui trouverait une méthode permettant de calculer la longitude à 30 milles près.

Dans son ouvrage intitulé « Astronomie », LA LANDE, écrivait en 1771 qu'il était de première importance de pouvoir trouver, en pleine mer, le degré de longitude où on se trouve. Il continuait en rappelant qu'il n'est pas difficile de trouver l'heure qu'il est sur un bateau en observant la hauteur d'un astre. Pour LA LANDE, le problème se réduit dès lors à savoir en tout temps l'heure qu'il est au méridien d'origine, soit Paris pour cet astronome français.

En Espagne, de grands navigateurs tels Pedro de Medina, Martin Cortés et beaucoup d'autres ont publié des quantités importantes de livres et tables, lesquels ont été traduits dans de nombreuses langues entre le XV^e et le XVII^e siècle en particulier. De ce fait le directeur du musée naval de Madrid écrivait à juste titre que l'Europe a appris à naviguer avec des livres espagnole.

Les instruments capables de mesurer le temps et de donner l'heure ont marqué l'humanité depuis la nuit des temps. Dans le chapitre qui suit, nous allons mentionner quelques-uns de ces instruments, mais le thème reste très vaste, tout comme la littérature y relative. Nous ne saurions que vous inciter à consulter les quelques titres mentionnés ci-dessous.

2.- Les instruments de mesure du temps

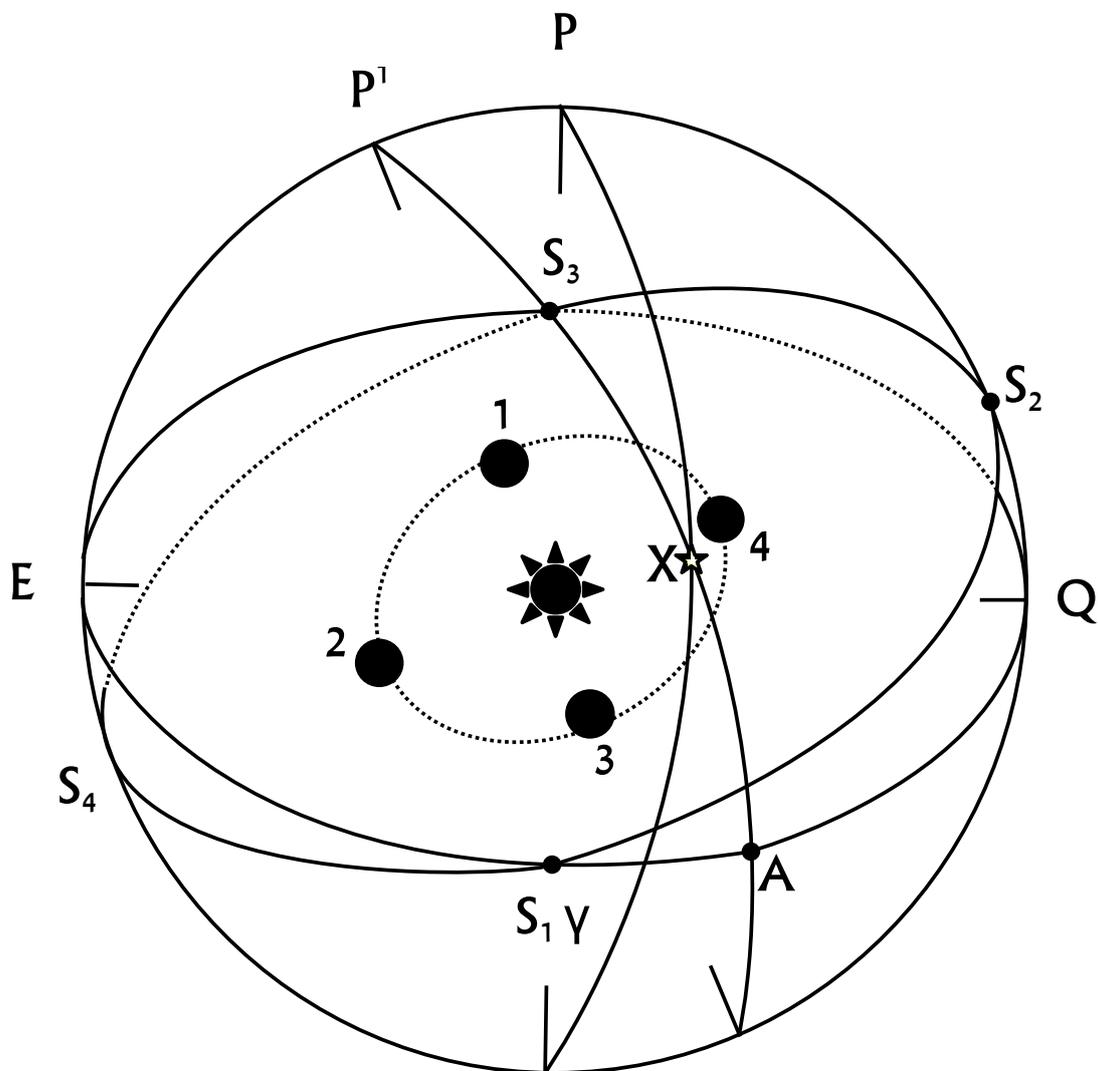
2.1 Le Gnomon

Ce mot vient du grec et signifie « l'indicateur ». Simple bâton planté en terre, cet instrument peut servir à mesurer l'heure, mais aussi la latitude d'un lieu.

Introduit dans la Grèce antique par Anaximandre, l'instrument babylonien était cependant connu depuis le 24^e siècle avant notre ère par les Chinois qui l'utilisaient déjà du temps de Yao....



MOUVEMENT APPARENT DES ASTRES



E, S₁, Q, S₃ représente le plan de l'équateur céleste,
S₁, S₂, S₃, S₄ représente le plan de l'écliptique.

P, pôle céleste
P', pôle de l'écliptique

- 1, position de la Terre le 21-03, équinoxe du printemps
- 2, position de la Terre le 21-06, solstice d'été
- 3, position de la Terre le 22-09, équinoxe d'automne
- 4, position de la Terre le 22-12, solstice d'hiver

- D = 0°
- D = 23,5°N
- D = 0°
- D = 23,5°S

X, étoile

Y-A, son ascension droite

X-A sa déclinaison (....)



| LATITUDE PAR LA HAUTEUR MERIDIENNE | |
|--|--|
| Date : _____ | Élévation de l'oeil: _____ |
| Position estimée, Pe : Le = _____° _____' N S / Ge = _____° _____' E W | |
| HEURE DU PASSAGE AU MERIDIEN DU LIEU | |
| T. pass. à Greenwich _____ h _____ m _____ s | Ge _____° = _____ h _____ m |
| Ge (E - W +) ± _____ h _____ m _____ s | _____ ' = _____ m _____ s |
| T. pass. au Méridien de la Pe | (UT) _____ h _____ m _____ s = _____ h _____ m _____ s |
| DECLINAISON | |
| T. pass. (UT) _____ h | D _____° _____' N S d = _____ |
| Pp. d _____ m | ± _____° _____' |
| D = _____° _____' N S | |
| HAUTEUR VRAIE | |
| Hauteur instrumentale = _____° _____' | |
| Correction instrumentale ± _____ | |
| Ho _____° _____' | |
| Cor. 1 _____ | |
| Cor. 2 _____ | |
| Hauteur vraie | Hv = _____° _____' |
| LATITUDE | |
| | 89° 60' 90° - Hv + DN = LN |
| Hauteur vraie, Hv - _____° _____' | + DS = LS |
| _____ | - DN = LS |
| Distance zénithale, Zd _____° _____' | - DS = LN |
| Déclinaison D ± _____° _____' | |
| Latitude = _____° _____' N S | |



| POINT PAR LES ETOILES | | | | | | | | | | | |
|---|--|----|--|----------------------|--|-------------------------------------|--|----------------------|-------------------------|-----------|--|
| Date : <u>11-10-2007</u> Matin / Soir | | | | | | Elévation de l'œil : <u>4</u> m | | | | | |
| Position estimée, Pe : Le = <u>37° 35'</u> N S | | | | | | Ge = <u>020° 20'</u> E W | | | | | |
| CALCUL PREPARATOIRE | | | | | | | | | | | |
| Heure TU lever / coucher du ☉ à Greenwich | | | | | | <u>17_h_30_m</u> | | | HA γ <u>259°_51.9'</u> | | |
| Crépuscule moyen (lever - ; coucher +) | | | | | | <u>15 m</u> | | | p.p. ± <u>6°_01.0'</u> | | |
| Heure d'observation à Greenwich | | | | | | <u>17_h_45_m</u> | | | | | |
| Ge <u>20°</u> = <u>1_h_20_m</u> | | | | | | | | | GHA γ <u>265°_52.9'</u> | | |
| Ge <u>20'</u> = <u>1_m</u> | | | | | | | | | Ga ± <u>020°_20.0'</u> | | |
| Ge (E -, W +) | | | | | | ± <u>1_h_21_m</u> | | | LHA γ <u>286°_12.9'</u> | | |
| Heure prévue de l'observation à la Pe | | | | | | TU <u>16_h_24_m</u> | | | Etoiles sélectionnées : | | |
| Hc | | Zn | | Hc | | Zn | | Hc | | Zn | |
| | | | | | | | | | | | |
| HAUTEURS CALCULEES | | | | Altair | | Arcturus | | Kochab | | | |
| Etoiles observées | | | | | | | | | | | |
| Heure observation TU | | | | 16 h 20 m 44 s | | 16 h 24 m 18 s | | 16 h 27 m 08 s | | h m s | |
| HA γ | | | | 259 ° 51.9 ' | | 259 ° 51.9 ' | | 259 ° 51.9 ' | | ° ' | |
| p.p. + | | | | 5 ° 11.9 ' | | 6 ° 05.5 ' | | 6 ° 46.4 ' | | | |
| GHA γ = | | | | 265 ° 03.8 ' | | 265 ° 57.4 ' | | 266 ° 38.3 ' | | | |
| (+ E, - W) Ga ± | | | | 20 ° 56.2 ' | | 20 ° 02.6 ' | | 20 ° 21.7 ' | | | |
| LHA γ = | | | | 286 ° ----- | | 286 ° ----- | | 287 ° ----- | | ° ----- | |
| HO 249 La <u> </u> ° N S | | | | Hc Zv 59 56 156 | | Hc Zv 25 29 276 | | Hc Zv 42 20 341 | | Hc Zv | |
| HAUTEURS VRAIES | | | | 59 ° 21.5 ' | | 25 ° 24.5 ' | | 42 ° 47.0 ' | | | |
| Hauteur instrumentale, Hi | | | | | | | | | | | |
| Cor. Instrumentales ± | | | | + 2.6 ' | | + 2.6 ' | | + 2.6 ' | | | |
| Hauteur observée, Ho = | | | | 59 ° 24.1 ' | | 25 ° 27.1 ' | | 42 ° 49.6 ' | | | |
| Cor. Astronomique ± | | | | - 4.1 ' | | - 5.6 ' | | - 4.6 ' | | | |
| Hauteur vraie, Hv = | | | | 59 ° 20.0 ' | | 25 ° 21.5 ' | | 42 ° 45.0 ' | | | |
| INTERCEPTS | | | | 59 ° 20.0 ' | | 25 ° 21.5 ' | | 42 ° 45.0 ' | | ° ' | |
| Hauteur vraie Hv | | | | | | | | | | | |
| Hauteur calculée Hc | | | | 59 ° 56.0 ' | | 25 ° 29.0 ' | | 42 ° 20.0 ' | | | |
| Intercept | | | | 36.0 M | | 7.5 M | | 25.0 M | | M | |
| Azimut | | | | 156 ° | | 276 ° | | 341 ° | | ° | |
| Plus près loin | | | | près loin | | près loin | | près loin | | près loin | |
| Longitude auxiliaire | | | | 20 ° 56.2 ' | | 20 ° 02.6 ' | | 20 ° 21.7 ' | | ° ' | |
| Latitude auxiliaire | | | | 37 ° ----- | | 37 ° ----- | | 37 ° ----- | | ° ----- | |
| Hv < Hc Plus loin | | | | | | | | | | | |
| Hv > Hc Plus près | | | | | | | | | | | |
| Précession, Nutation : <u>1</u> M au <u>085</u> ° | | | | | | | | | | | |
| Position : L = <u>37°_25'_N</u> / G = <u>020°_14'_E</u> | | | | | | | | | | | |