

Naviguer aux étoiles, à l'heure du GPS

ou

La navigation astronomique sans peine

Patrick Chalmeau Jobert

«Il y a ceux qui regardent les étoiles, d'autres qui regardent leur pieds»

I

Présentation

A l'heure du GPS et des cartes électroniques, utiliser un sextant n'intéresse plus grand monde. Il faut dire que pour une grande majorité de marins cela a toujours semblé complexe. Pourtant, bien expliquée, la navigation astronomique peut se pratiquer facilement. Il faudra certes s'équiper d'un minimum de matériel et de documents, s'entraîner mais on aura la satisfaction d'avoir une alternative pour se positionner en cas de panne électrique ou autre.

Qu'est ce que la navigation astronomique ? C'est le moyen de se positionner, en mer en particulier, à l'aide des astres, soleil, lune, planètes ou étoiles.

Pour ce faire on va utiliser un système de coordonnées terrestres pour l'observateur, célestes pour les astres.

Se situer sur la planète Terre, on connaît : on utilise les coordonnées géographiques, la latitude et la longitude. La latitude à partir de l'équateur vers les pôles, de 0 à 90°, Nord ou Sud, et la longitude à partir d'un méridien d'origine, le méridien de Greenwich, de 0 à 180°, vers l'Est ou l'Ouest.

Pour les étoiles, soleil, lune et planètes, on va faire de même : une déclinaison, à partir de l'équateur vers les pôles, de 0 à 90°, Nord ou Sud, et, ce qu'on va appeler dans un premier temps un angle horaire, ou angle au pôle, à partir d'une origine, le méridien de Greenwich.

A un instant donné (l'heure de notre observation) on aura une position connue pour tous les astres grâce à des Éphémérides Nautiques ou des Tables de navigation: déclinaison et angle horaire.

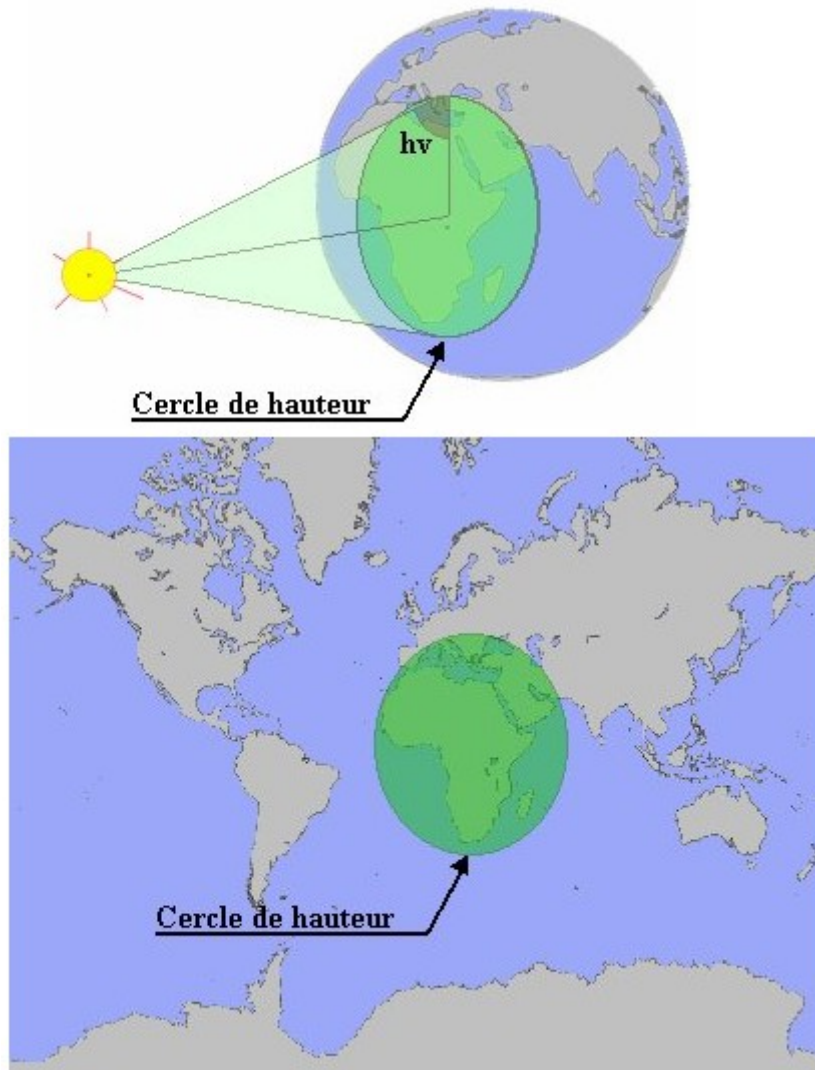
Pour pouvoir nous situer nous, il va falloir quelque chose de plus : la hauteur d'un (ou de plusieurs) astre au dessus de l'horizon, ce que l'on va faire au moyen d'un sextant.

A un instant T, le moment de notre observation, avec la précision de la seconde, on aura donc :

- la hauteur de l'astre, exprimée en °, minutes et secondes (d'arc), lue sur le sextant
- notre position estimée, latitude et longitude (on ne part pas bien sûr de rien, on a quand même une vague idée d'où l'on est.) qui va nous permettre de trouver dans les documents:
- la déclinaison de l'astre, en °, minutes et secondes (d'arc)
- l'angle horaire en °, minutes et secondes (d'arc)

Avec tout ça, on va pouvoir se situer précisément.

A l'instant T, tous les observateurs qui voient l'astre avec la même hauteur, donc le même angle sur le sextant, sont sur un même cercle sur le globe terrestre. Imaginez dans une fête foraine, un grand poteau avec des cordes de même longueur qui partent d'en haut, et des enfants accrochés à ces cordes qui tournent autour : ils décrivent un cercle. Et bien c'est pareil pour votre hauteur de l'astre. Vous êtes donc sur un cercle, sur le globe terrestre.



Documents Navastro

Mais comme le cercle est très grand, on peut l'assimiler à une droite sur une petite distance (comme on voit l'horizon plat, alors qu'il est courbe) : c'est la fameuse droite de hauteur.

Si on a plusieurs hauteurs au même moment venant d'astres différents (cas du point d'étoiles), on a plusieurs droites qui se recoupent : on a un point.

Si on observe toujours le même astre (en l'occurrence le soleil), à des moments différents, on a aussi plusieurs droites (en faisant une petite manipulation, on va "transporter" la 1ère observation)

on a également un point.

On va donc comparer la hauteur, ou droite, déterminée par le calcul - la hauteur estimée - avec la hauteur lue sur le sextant - la hauteur vraie -

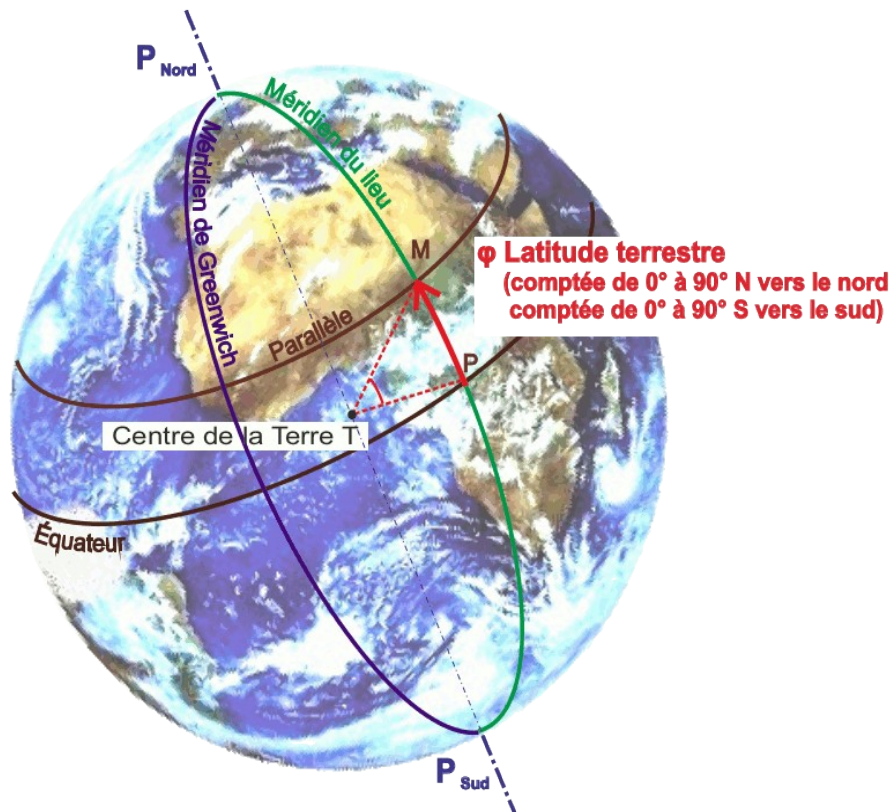
La différence s'appelle l'intercept.

Les coordonnées terrestres:

Les parallèles qui nous donnent la **latitude**, φ , comptée de 0° à 90° , vers le Nord ou vers le Sud

Les méridiens la **longitude**, G , comptée de 0° à 180° , W (ouest) ou E (Est), à partir du méridien de Greenwich.

Association Méridienne Nantes

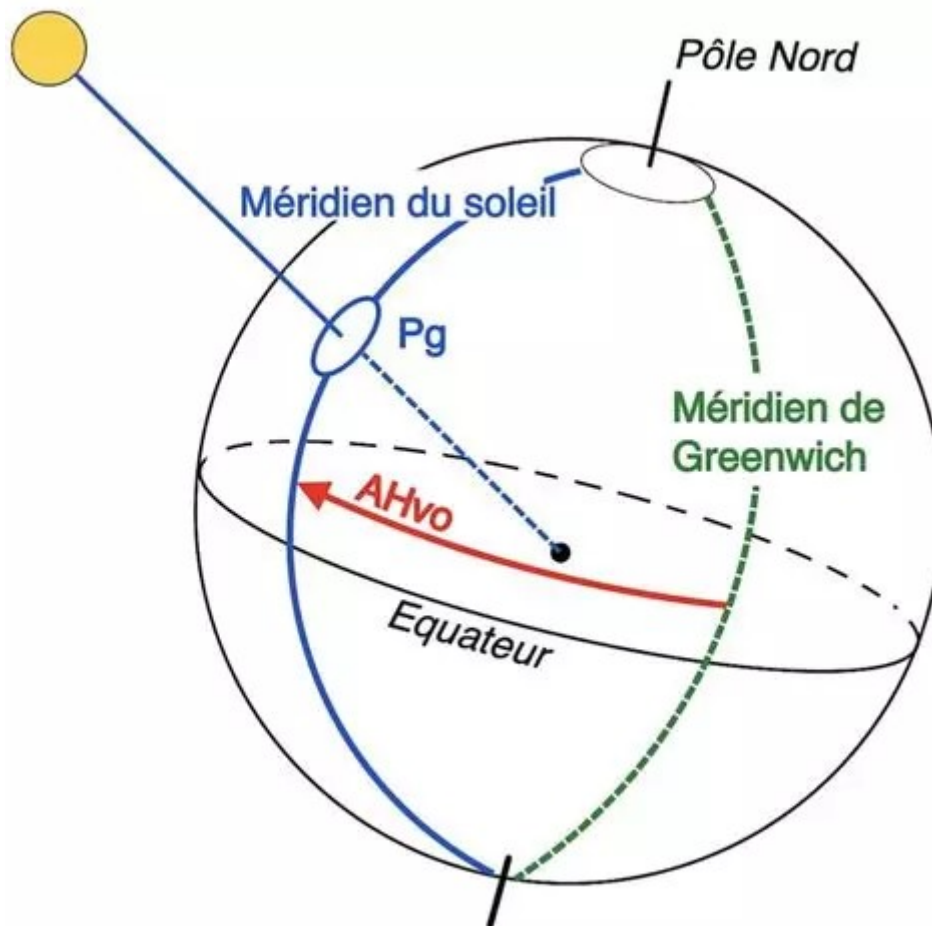


Les coordonnées célestes :

Pour le soleil, la lune et les planètes, on aura :

La **déclinaison**, **D**, est la hauteur de l'astre au dessus de l'équateur, comptée de 0° à 90° , Nord ou Sud.

L'**angle horaire**, **AHvo**, compté de 0° à 360° , vers l'W à partir du méridien de Greenwich

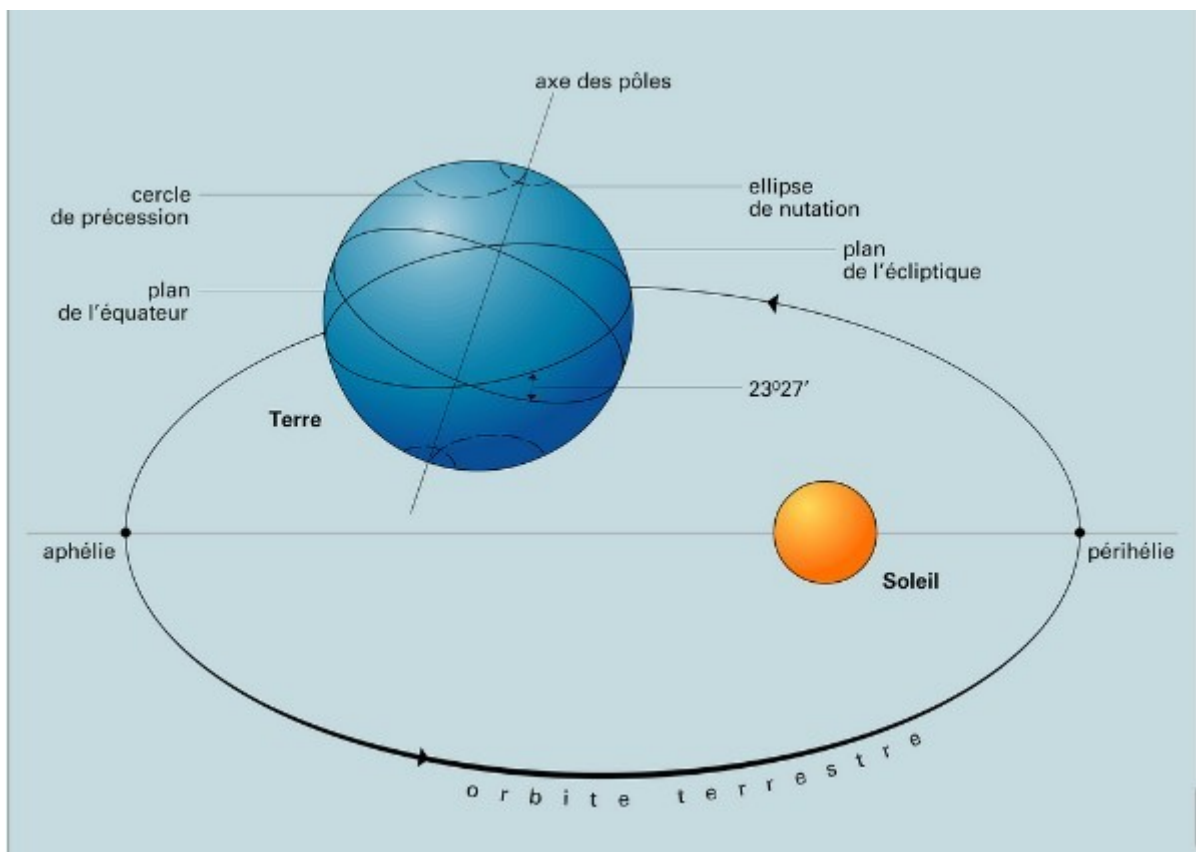
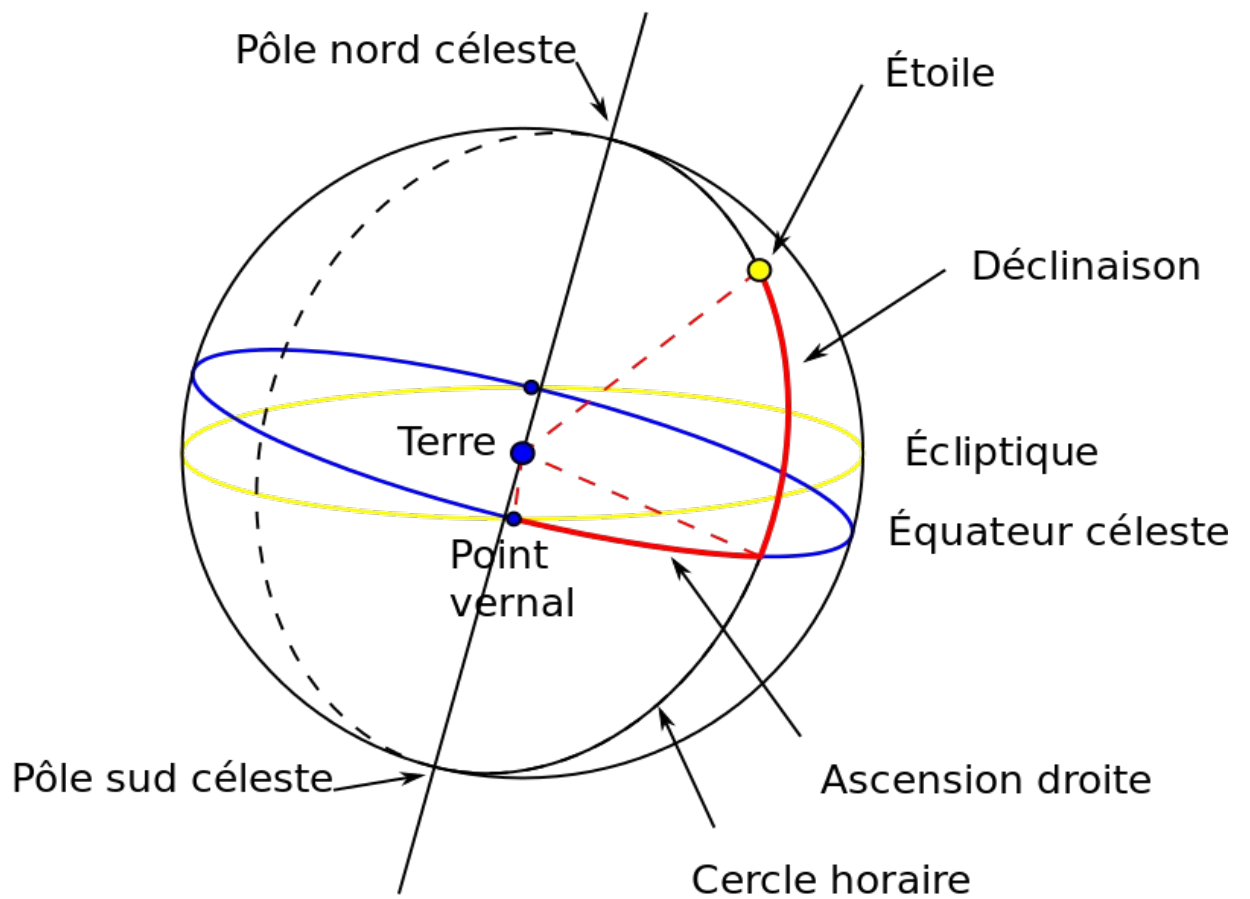


Source Wikipedia

Pour les **étoiles** l'origine de l'angle horaire sera compté à partir du **point vernal**, γ , qui est un des 2 points d'intersection du plan de l'équateur avec le plan de l'écliptique (plan dans laquelle la terre se déplace autour du soleil). En effet l'axe de la terre est incliné de $23^\circ 27'$ (suite à la collision, semble-t-il, d'un astéroïde qui causera en plus la formation de la Lune...et grâce auquel on a des saisons)

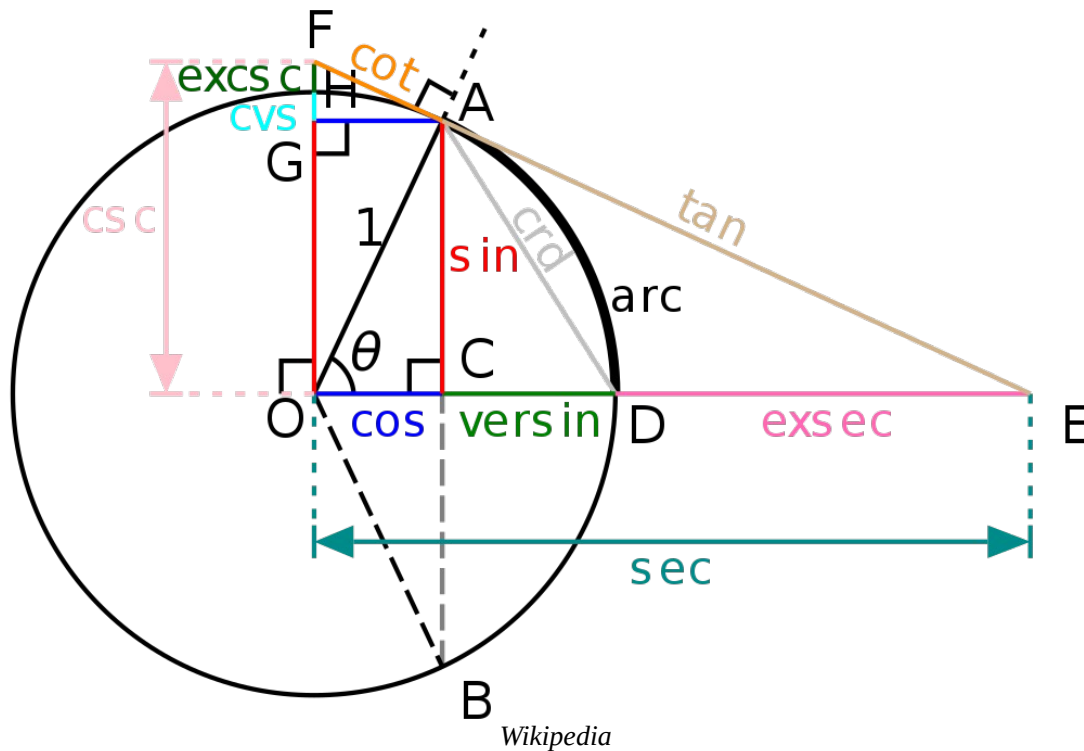
Pas de panique, on ne peut pas se tromper car les tables distinguent l'angle horaire du soleil, des planètes (ce sont les astres errants) de celui des étoiles, astres « fixes »

Source Wikipédia



Quelques notions essentielles:

Trigonométrie plane:



Wikipedia

La figure ci dessus nous montre les sinus, cosinus, tangente, versine, utilisés en navigation astronomique.

Le triangle de position, quelques notions de trigonométrie sphérique.

La trigonométrie sphérique transforme les règles de la trigonométrie plane qui s'appliquent alors à la sphère. C'est grâce à elle que l'on dispose des formules fondamentales utilisées en navigation, en particulier celles qui nous intéressent dans ce cours:

- La hauteur d'un astre

$$\sin H_e = (\sin D \sin \varphi_e + \cos D \cos P \cos \varphi_e)$$

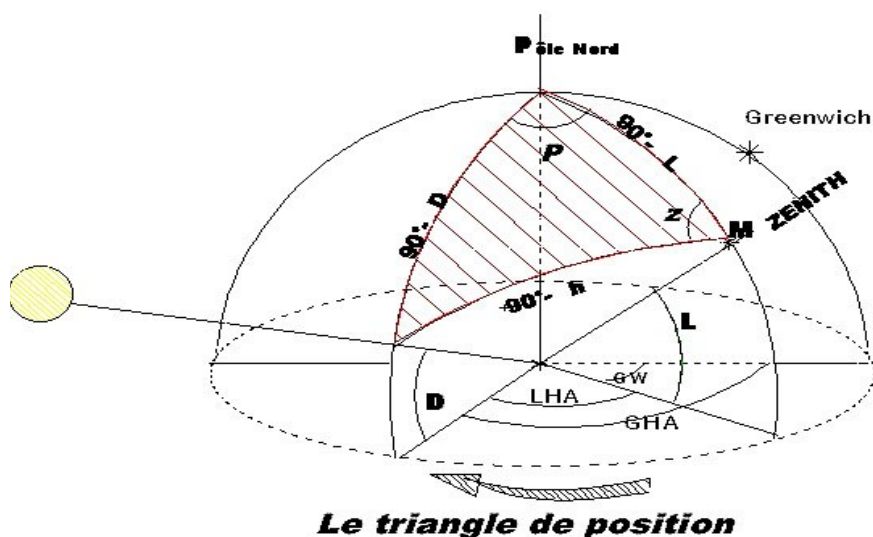
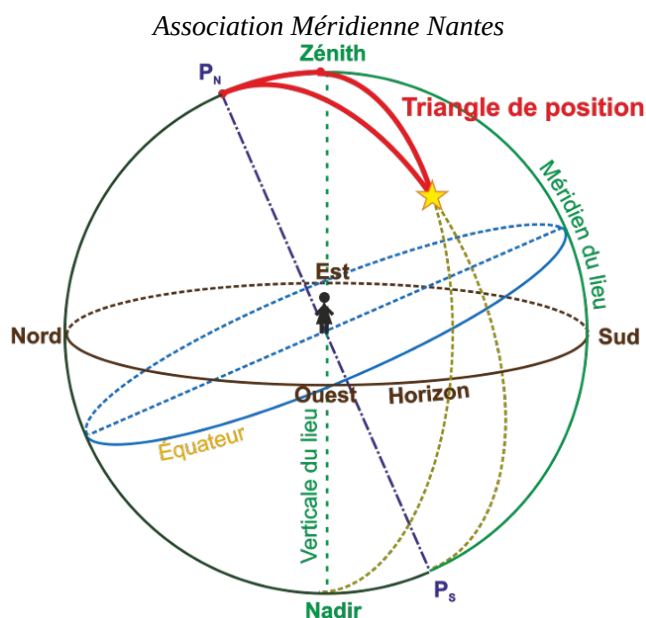
- L'azimut d'un astre (formule utilisée dans les Tables de Bataille)

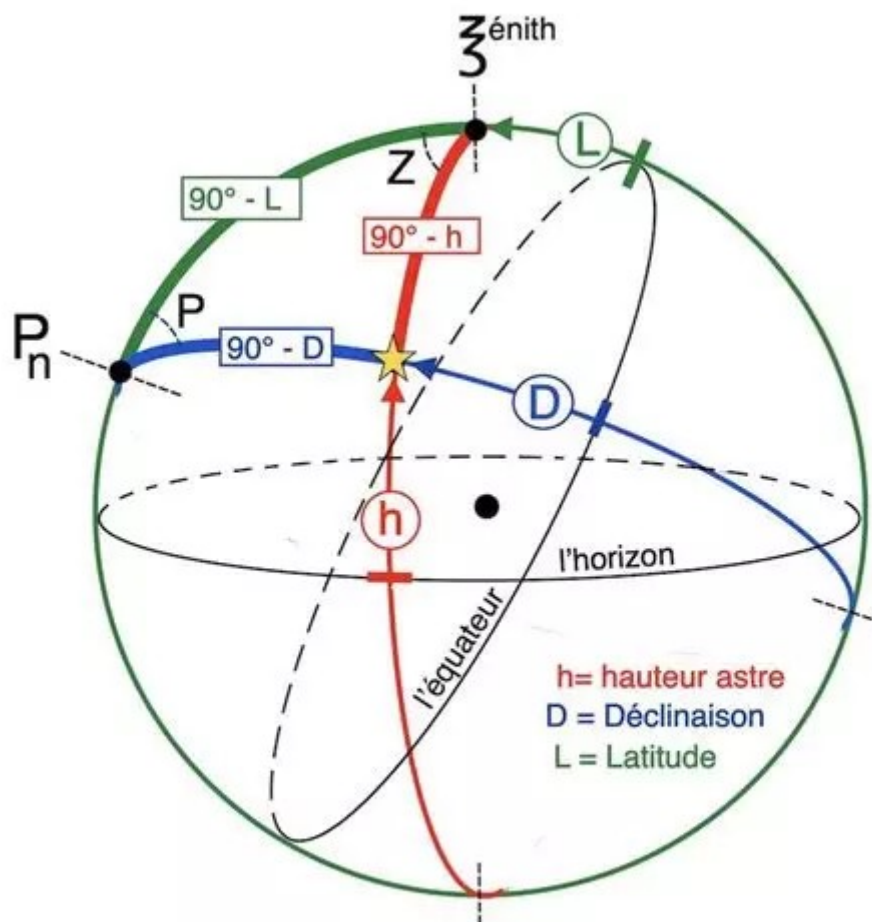
$$\cot Z \sin P = - \cos P \sin \varphi_e \pm \tan D \cos \varphi_e$$

Z = Azimut
e = estimée

Il vous suffit de savoir qu'on utilise ces 2 formules principales dans les calculs, vous n'avez pas à les retenir, mais ces formules vont nous permettre, en utilisant les tables pour un instant donné, de trouver la hauteur et l'azimut de l'astre, de manière estimée, que l'on va pouvoir comparer à la hauteur vraie que l'on a mesuré au sextant, et donc de tracer notre fameuse droite de hauteur.

P (pôle), Z (Zénit), A (Astre)





$P =$ l'angle au pôle ; $Z =$ l'angle au zénith

II

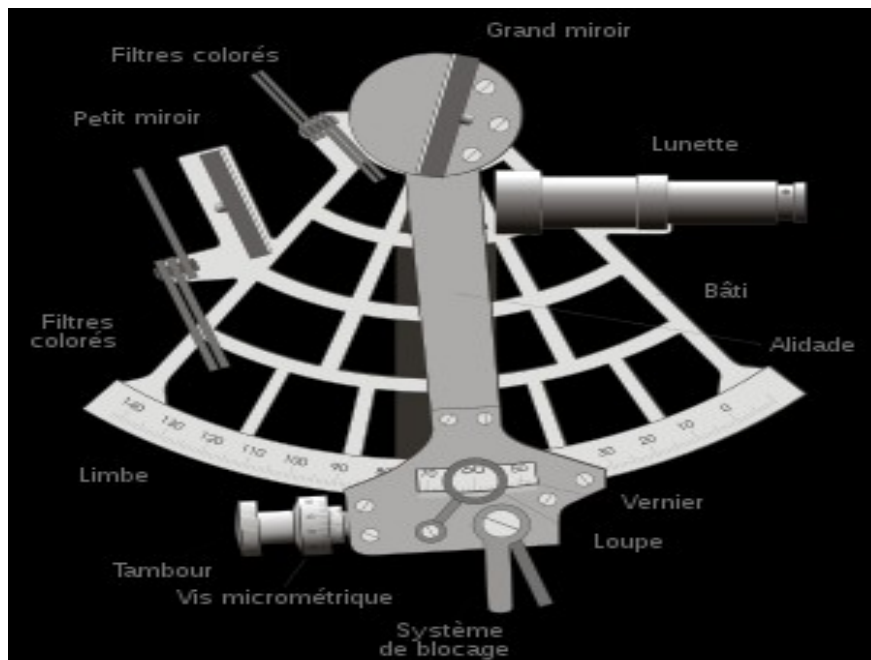
INSTRUMENTS ET DOCUMENTS

LES INSTRUMENTS

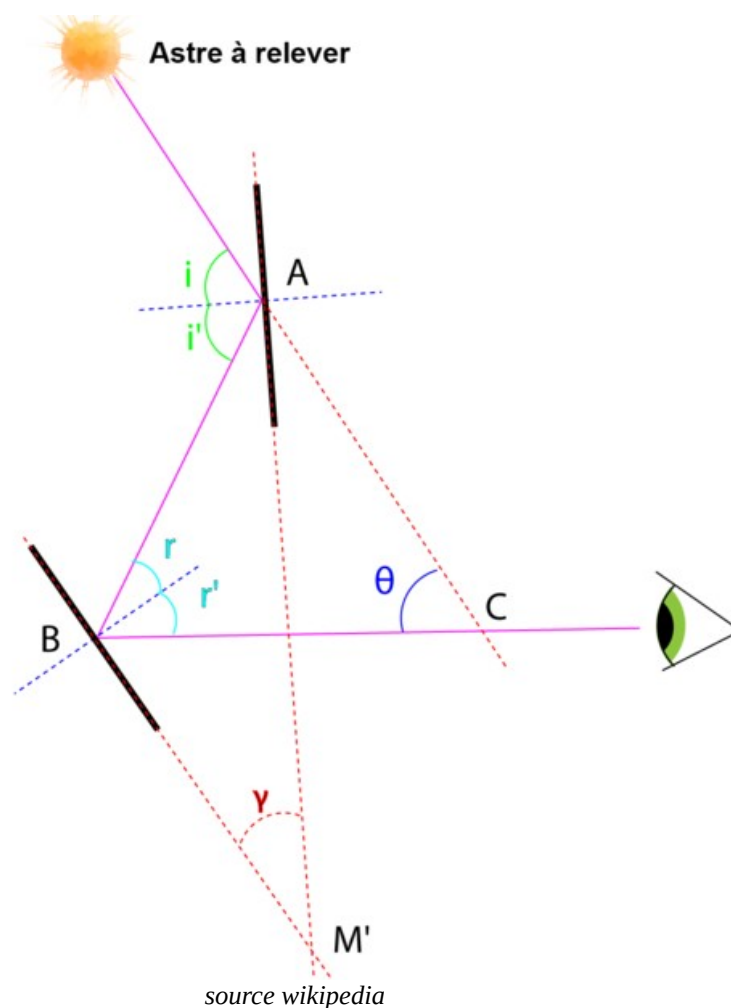
Les instruments nécessaires sont bien sur un sextant, pour prendre les hauteurs d'astres, une montre précise, autrefois appelée chronomètre de marine et un compas de relèvement;

Le **sextant** a des ancêtres, l'octant similaire au sextant mais avec un limbe plus court, l'astrolabe encore avant, le bâton de Jacob, l'arbalète...La mesure de la hauteur des astres remonte à l'antiquité, les premiers étant certainement les indiens ou les chinois, qui l'ont enseigné aux arabes, en méditerranée les traversées hauturières se faisaient également en «suivant les étoiles», les égyptiens étaient de grands astronomes et quant aux peuples du Pacifique qui ont colonisé toutes les îles des centaines d'années avant notre ère, ils avaient donné un nom à toutes les étoiles et savaient où les trouver en fonction des saisons. Le gnomon, utilisé dans l'antiquité, permettait ,lui, de définir la latitude d'un lieu, les équinoxes et solstices...

Le sextant moderne, celui que vous utiliserez, est à tambour, ce qui facilite la lecture de la hauteur. Sa précision est de l'ordre du 1/10ème de minute et la lunette permet une observation facile des étoiles comme du soleil.



source wikipedia



Le sextant utilise la propriété des miroirs de réfléchir un rayon lumineux avec le même angle de sortie que celui d'entrée. Le Grand miroir est solidaire du bras mobile et le Petit miroir lui est solidaire du limbe. On peut ainsi lire l'angle précis sur le vernier du limbe. Le petit miroir est clair sur une moitié pour permettre la vue de horizon, donc de faire la mesure.

Pour qu'il n'y ait pas d'erreur le Grand miroir doit être parfaitement vertical, le Petit miroir également et les 2 miroirs parallèles au zéro. Le résidu du réglage sera l'erreur instrumentale.

Les filtres colorés servent à atténuer les rayons du soleil - **ne jamais regarder dans la lunette sans filtre, au risque de se brûler la rétine** - et de l'horizon. Les 2 images, soleil et horizon, doivent être de la même intensité.

Pour la bonne utilisation du sextant et ses différents réglages voir l'annexe Sextant (Profmarine)

Pour mesurer le temps cela a été beaucoup plus difficile. Car si on peut mesurer facilement la hauteur d'un astre au passage au méridien, donc la latitude (c'est la fameuse «méridienne» pour le soleil) - et qu'on n'a pas besoin pour cela de la mesure du temps - pour utiliser les astres en dehors de ce moment précis il nous faut une mesure du temps tout aussi précise. Les sabliers ne suffisaient pas, et jusqu'à l'invention du premier chronomètre de marine par John Harrison en 1735 les erreurs sur le temps, donc sur la mesure de la longitude, étaient la règle et source de naufrages.

4 secondes de temps = 1 mille de longitude

Jusqu'à l'époque contemporaine on a utilisé des chronomètres de marine dont on relevait la «marche», c'est à dire l'écart avec le temps universel, grâce un «top» donné par radio. De nos jours, une bonne montre électronique dont on connaît l'erreur suffit largement.

Le compas de relèvement:

Indispensable pour les points d'étoiles. Choisir un modèle avec éclairage intégré, genre IRIS de Plastimo

LES DOCUMENTS

Les documents nécessaires, au minimum, sont:

- Des tables permanentes, donnant les corrections à apporter aux observations...
- Des tables annuelles, appelées Éphémérides Nautiques en France, Nautical Almanach dans les pays anglophones, qui donnent pour chaque jour, à la seconde près, les positions des astres, soleil, lune, planètes, étoiles, donc leur Déclinaison et leur Angle horaire (on verra plus loin les définitions exactes du temps et ce qu'il faut entendre par là).

En fonction de la méthode de calcul choisie il faudra parfois ajouter d'autres documents, ou une calculatrice, programmable, programmée ou non, ou des logiciels pour utilisation sur ordinateur de bord.

La solution de secours que représente la navigation astronomique nécessite donc du matériel, parfois cher et encombrant, il faut en être bien persuadé. On verra malgré tout qu'il est possible d'allier sécurité et minimum de matériel.

Les EPHEMERIDES NAUTIQUES publiées annuellement par le Bureau des longitudes

Elles comportent une partie permanente et une partie annuelle. C'est la référence, l'outil utilisé par les marins professionnels français, complet, permet les observations de tous les astres pour une année ainsi que différentes tables de navigation.

LONG TERM ALMANACH 2000-2050

Ouvrage américain, USA, donne avec une précision acceptable les éphémérides du soleil et des étoiles pour 50 ans ! Permet d'alléger sa bibliothèque embarquée et son porte monnaie.

Il faut noter qu'on peut, avec une précision suffisante, utiliser les éphémérides (y compris les Ephémérides Nautiques, les Nautical Almanach...) de 4 années auparavant.

Ainsi celles de 2017 = 2021, 2018 = 2022, etc...ce qui explique en partie la publication du «LONG TERM ALMANACH»

EPHEMERIDES NAUTIQUES Fichier informatique

Presque une copie des Éphémérides Nautiques publiées par le Bureau des Longitudes, avec une précision moindre, mais très acceptable, et valables jusqu'en 2100!

HO 249 Volume 1

Sight Reduction Tables for Air Navigation Selected Stars

Elles permettent de préparer et faire les points d'étoiles et ne nécessitent pas d'Éphémérides nautiques ni autre tables. Valables 10 ans. C'est un des documents de base.

LA MESURE DE L'ANGLE HORAIRE

On a vu que dans les éphémérides, ou ce qui en tient lieu, on parle de l'angle horaire.

L'angle horaire du soleil, **AHvo**, nous donne la position horaire du soleil à chaque instant.

Pour la lune et les planètes c'est **Ahao**

Pour les étoiles, c'est un peu plus compliqué, étant donné le nombre d'étoiles observables (une soixantaine au moins). On va donc se servir de la position du point vernal γ qui se trouve à l'intersection du plan de l'écliptique avec l'équateur céleste. On va l'appeler **Ahso**. Pour chaque étoile on se servira donc de l'angle horaire du point vernal auquel on ajoutera un angle, appelé **Ascension verse**, qui donne la position de l'étoile par rapport au point vernal. Cela paraît plus compliqué qu'il n'y paraît, et si vous vous servez des Tables H0 249, vous n'aurez pas à vous en préoccuper.

Tous ces angles horaires, AHvo, AHao, Ahso, sont donnés pour le méridien de Greenwich. En fonction de notre longitude G il faudra donc les corriger selon la formule (à retenir absolument celle là) :

AHvg = Ahvo + G, avec G négatif si West, positif si Est

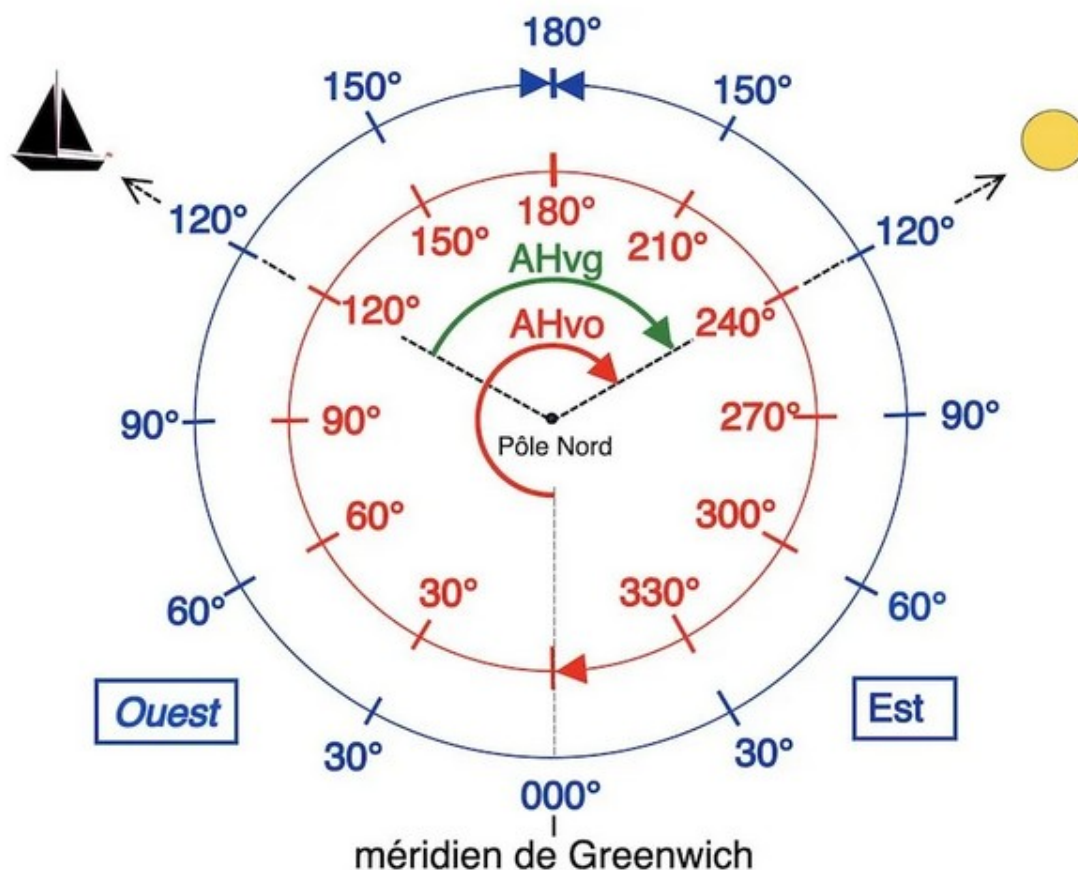
Ahag = Ahao + G

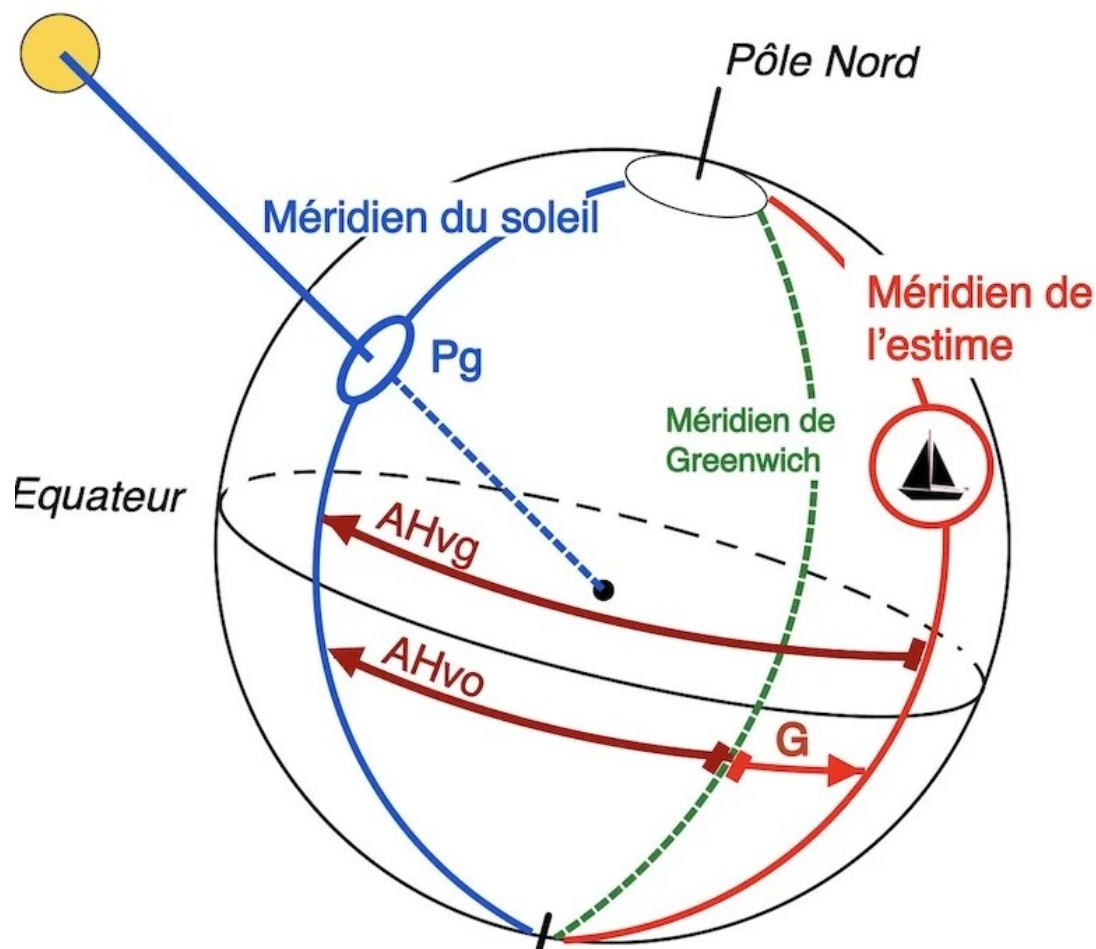
Ahsg = Ahso + G

dans lequel g = local, o = Greenwich, G = longitude

En anglais : **LHA = GHA + Longitude**

Source : ladroitedehauteur.com





L'angle horaire se compte de 0° à 360°, vers l'W, à partir de Greenwich

L'angle au pôle se compte de 0° à 180°, vers l'E ou l'W, à partir de Greenwich

Malgré tout si comme moi vous n'avez pas l'esprit mathématique... il vous suffit de considérer votre position par rapport à Greenwich pour savoir si vous devez ajouter ou retrancher la longitude. Si votre longitude est W le soleil, ou un autre astre, ou le point vernal, passera plus tard chez vous qu'à Greenwich (et plus tôt si votre longitude est Est)...

III

LES DIFFÉRENTES MÉTHODES

Pour mémoire: Les Tables de Friocourt

Ce sont de tables de logarithmes, pour les maniaques ou les masos...

Tables de Dieumegard et Bataille

Ces tables de conception française permettent le calcul de la Hauteur estimée et de l'Azimut, nécessaires pour une droite de hauteur. Elles sont utilisables pour tous les astres dont la déclinaison n'excède pas 76° (Soleil, Lune, Planètes, et la quasi totalité des étoiles observables). Elles ont l'avantage d'être très compactes, tout en étant relativement simple d'emploi.

Tables de Navigation HO-229

Nota : Ces tables sont les mêmes que les NP401 anglaises.

Les tables HO229 sont les véritables tables américaines de calcul des droites de hauteur destinées à la marine. Elles donnent des résultats légèrement plus précis que les HO249 (une décimale de plus), elles sont utilisables pour tous les astres, indéfiniment. Mais elles sont nettement plus encombrantes que les HO249. La collection complète comporte 6 volumes, parmi lesquels vous choisirez en fonction de la latitude où vous naviguez.

Leur usage est très comparable à celui des HO249, seule la présentation diffère légèrement et le calcul des corrections, plus précis, est un peu plus complexe.

Tables de Navigation HO-249

Nota : Ces tables sont les mêmes que les AP3270 / NP303 anglaises.



Les tables HO249 ont été initialement conçues pour les aviateurs, comme une réduction des tables HO229 trop encombrantes dans un avion. Elles ont été "mises à la mode" par les navigateurs des années 60-70, Moitessier, Antoine... etc, qui ont apprécié à juste titre leur relative facilité d'emploi, comparée aux autres méthodes. Auparavant ce sont les marins embarqués sur les Liberty Ships, durant la seconde guerre mondiale, qui les utilisaient. Beaucoup de ces marins ne connaissaient pas grand-chose à la navigation...

Elles se présentent en 3 volumes, de grand format (21x27cm) de presque 1 kg chacun. C'est donc assez encombrant.

- Le volume 1 est uniquement consacré aux étoiles, pour lesquelles il présente une méthode assez particulière et vraiment très simple d'emploi. mais ce volume 1 a une durée de vie limitée à 10 ans.

Le volume vendu actuellement (Epoch 2025) est valable jusqu'en 2029 inclus.

- Les volumes 2 et 3 sont utilisables pour tous les astres dont la déclinaison n'excède pas 29° N ou S : soleil, lune, planètes, et de nombreuses étoiles. Ils sont valables indéfiniment. Vous les choisirez en fonction de la latitude où vous naviguez : entre l'équateur et 40° N ou S pour le volume 2, et entre 39° N ou S et les pôles pour le volume 3.

Norie's Nautical Tables

Ces fameuses tables de navigation très anciennes ont été modernisées et leur édition 2007 contient de nouvelles tables de corrections pour le soleil, la lune et les étoiles.

Elles utilisent la méthode anglaise des cosines-haversines qui permet d'atteindre une plus grande précision que les autres tables (HO249, HO229, Dieumegard et Bataille).

De plus elles permettent d'effectuer les calculs sur tous les astres, au contraire des autres tables qui présentent chacune des limitations.

Puisque les éphémérides donnent désormais les positions avec une très grande précision et que les sextants métalliques actuels permettent des mesures avec la même précision, il paraît logique d'utiliser des tables qui, sans grandes difficultés, maintiennent ce niveau de précision dans leurs résultats.

Validité permanente.

The Reeds Astro navigation tables

Tables annuelles anglaises, d'utilisation facile, similaires aux Norie's Tables, utilisent également les versines

Tables annuelles

Les calculatrices types Hewlett Packard, Casio

Ces calculatrices sont programmées avec les éphémérides complètes, ce qui rend leur utilisation particulièrement simple. Il suffit en effet d'entrer la hauteur lue, la position estimée pour avoir « l'intercept et l'azimut de l'astre.

Les calculatrices scientifiques

Il suffit d'entrer les formules de hauteur et d'azimut.

Les logiciels:

Navastro: Logiciel gratuit à télécharger, permettant tous types d'observations.

Open Cpn: Logiciel libre de navigation, le plugin «Navigation astronomique» (ou Celestial Navigation) permet de faire apparaître directement sur la carte les droites de hauteur prises avec le sextant.

Sea, Sextant and Sun: Logiciel gratuit, pas toujours facile à installer.



Note: Les documents, papier ou informatiques, surlignés en **jaune** sont ceux que je considère comme indispensables, et largement suffisants, pour naviguer au sextant.

Pour ma part j'utilise une calculatrice programmée Casio de Navastro ou le plugin Navigation Astronomique d'Open Cpn pour les hauteurs du soleil, les Tables HO 249 pour les points d'étoiles, Dieumegard et Bataille et le Long Term Almanach en secours.

IV LA MÉRIDIENNE

La Latitude à la Méridienne

Pour ce calcul, on utilise **la hauteur vraie (Hv)** du soleil à la culmination.

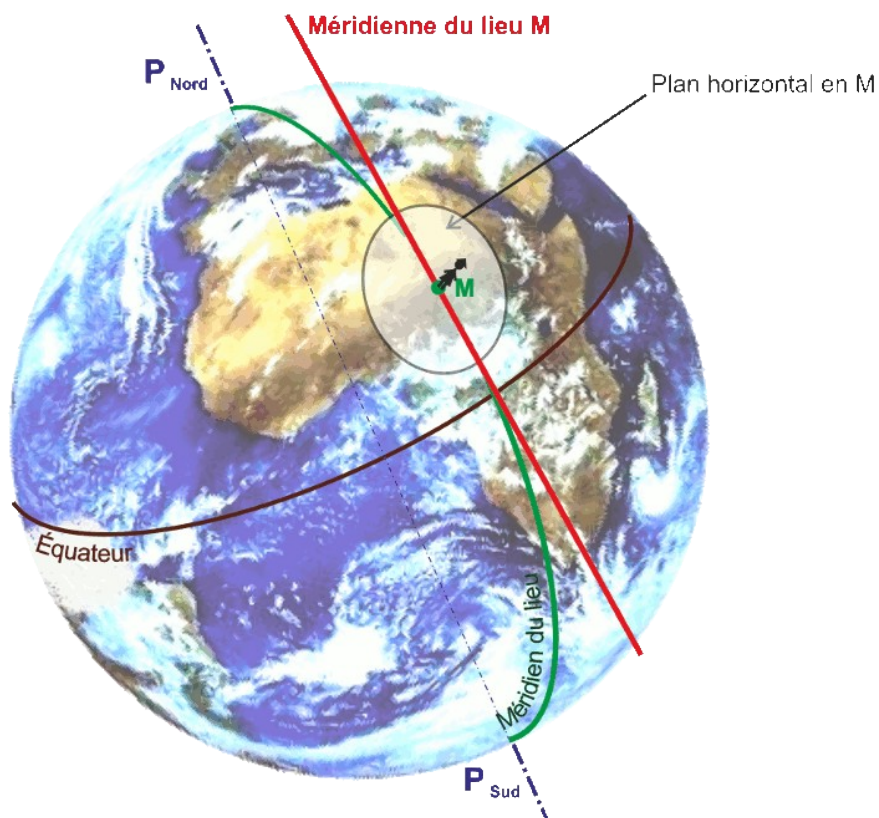
Pour obtenir cette hauteur, visez le soleil avec votre sextant une dizaine de minutes avant l'heure approximative de la culmination déterminée en fonction de votre longitude estimée (à partir de la page « Passages au méridien de Greenwich » dans les Éphémérides nautiques ou assimilées)

Quelques instants plus tard, visez de nouveau le soleil. Il aura sans doute "monté". Ramenez-le alors sur l'horizon. Recommencez cette opération plusieurs fois, tant que le soleil "monte". A un moment, le soleil ne montera plus, voire même commencera à descendre. Ne touchez plus alors au réglage de votre sextant. La dernière mesure qu'il indique est celle du point le plus haut : la culmination.

Corrigez cette hauteur exactement comme pour une droite de hauteur, en intégrant la valeur de l'erreur instrumentale (collimation) et celle donnée par les tables de corrections.

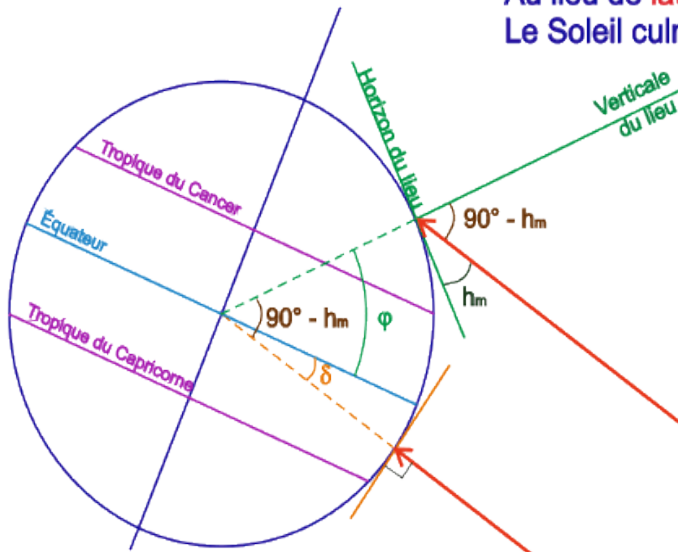
Le problème est qu'aux environs de la culmination la hauteur du soleil varie très lentement - surtout si la hauteur est petite - et souvent il est impossible de repérer son instant précis. Il faudra alors se tourner vers la méthode de la **circumméridienne**, qui impose de faire une route constante le temps de l'opération qui peut durer quelque temps... mais qui peut permettre de calculer sa **longitude** également. Très utile pour s'entraîner, et si l'on n'a rien d'autre pour se positionner. (Voir Fichier Méridienne de Navastro)

Association Méridienne Nantes



Un jour d'automne ou d'hiver dans l'hémisphère Nord

Au lieu de latitude φ (phi) Nord il est midi solaire*.
Le Soleil culmine à la hauteur méridienne h_m .



$$\varphi_{\text{Nord}} = 90^\circ - h_m - |\delta|$$

Au lieu de latitude δ (delta) Sud il est midi solaire*.
Le Soleil est au zénith.
 δ est la déclinaison du Soleil (δ a une valeur négative)

* Sur tous les points d'un même méridien l'heure solaire est la même.

V

LA DROITE DE HAUTEUR

Il vaut mieux observer le soleil quand il est suffisamment haut sur l'horizon, de toutes façons pas moins de 30° si possible, en pratique 2 heures avant et après l'heure du passage au méridien, variable selon la latitude.

Comme le soleil «monte» le matin, il faut faire mordre l'horizon par le soleil, ne plus toucher au réglage et balancer le sextant jusqu'à ce qu'il tangente l'horizon. On prend le top de l'observation à ce moment. A l'inverse l'après midi il faut décoller le soleil de l'horizon et attendre qu'il tangente pour prendre le top.

Autre point intéressant: quand l'astre est dans la direction de la route (devant ou derrière) la droite que l'on observera nous donnera instantanément une idée de la progression sur notre route. C'est ce qu'on appelle une «droite de vitesse».

De même quand l'astre est par le travers on aura une «droite de dérive». (Voir Fichier Droite de hauteur Navastro)

ZENITH

SUR LE TERRAIN ...

Position estimée



H_e



H_v

Position réelle



ET SUR LA CARTE

L_e
 G_e

AZIMUTH

Z

INTERCEPT

DROITE DE HAUTEUR



Amaury.dufay.free.fr

VI

LE POINT D'ÉTOILES

Avec le point d'étoiles on va pouvoir obtenir une position précise, en relevant les hauteurs de plusieurs étoiles dans un délai très bref (quelques minutes).

Comme il faut, en plus des étoiles, voir l'horizon pour relever les hauteurs, ce point se fera au crépuscule, soit le matin, soit le soir.

Il est possible de traiter les observations de manière classique mais en utilisant les fameuses tables HO 249, ou assimilées, le calcul sera très rapide, au prix il est vrai d'une précision un peu moins grande, mais c'est négligeable par rapport à l'avantage d'avoir un point quasi immédiatement.

De plus l'utilisation de ces tables permet de préparer son point à l'avance, donc de prérégler son sextant sur l'étoile choisie. Le gain est augmenté dans le sens où non seulement on n'a pas à rechercher l'étoile, mais on peut l'observer plus tôt, donc avec un meilleur horizon, d'où une plus grande précision.

Le point d'étoiles est sans conteste le «must» de la navigation astronomique.

Il faut commencer par calculer l'heure de l'observation, qui se fait en général 20 minutes avant le lever du soleil ou 20 minutes après le coucher (cela dépend en particulier de la latitude). Il faut donc connaître l'heure du coucher ou du lever du soleil, on trouve ça dans les éphémérides.

Ensuite, pour bénéficier du meilleur horizon possible on commencera par prendre les hauteurs des astres situés à l'Est, que se soit le matin ou le soir. Comme on peut caler le sextant sur l'étoile choisie grâce aux tables, on peut gagner jusqu'à 10-15 minutes sur le temps de l'observation. Le soir on cherche l'étoile, le matin on cherche l'horizon...

On prend en général 4 étoiles différentes, c'est bien assez.

Il n'est pas pratique de prendre la hauteur d'une planète lorsqu'on utilise les HO 249, mais on peut toujours prendre une hauteur et la calculer à si besoin est.

CANEVAS POINT D' ÉTOILES

Première partie : Préparation de l'observation

Nota : Pour faciliter les choses on utilisera l'heure TU pendant toute la phase de préparation et d'observation, cela sera plus simple. Donc affichez sur votre montre l'heure TU pour faire un point d'étoiles, et même pour d'autres observations astronomiques.

Latitude estimée

Arrondie au ° le plus proche

Longitude estimée

Dans les Éphémérides nautiques, à la page du jour, relever l'heure du coucher du soleil, au du lever, fonction de la latitude estimée

Ajouter l'intervalle de temps correspondant à la longitude estimée, utiliser la table :

Transformation de la longitude en intervalle de temps,

dans Éphémérides Nautiques, partie permanente, page suivante

+ si longitude W

- si longitude E

Heure TU du coucher

ou du lever (à la longitude de l'observation) :

Heure de l'observation : Heure TU du coucher + 20 mn ou Heure TU du lever – 30 mn

Il faut maintenant déterminer l'**angle horaire local du point vernal au moment de l'observation.**

Pour cela, 2 possibilités :

On utilise les Éphémérides nautiques, feuilles journalières + Tables générales d'interpolation

On utilise les Tables HO 249, méthode décrite ci dessous :

A la fin de l'ouvrage :

On fait la somme de toutes les corrections suivantes :

TABLE 4 – GHA FOR THE YEARS

Entrer en fonction de l'année et du 1^{er} du mois (a)

Entrer en fonction du jour et de l'heure (b)

Puis enfin en fonction des minutes (c)

GHA_y

On a donc le GHA_{γ} , c'est à dire l'angle horaire du point vernal à Greenwich à l'heure de l'observation prévue. Pour avoir le LHA, angle horaire du point vernal correspondant à notre longitude, il suffit d'ajouter la longitude estimée, en degré et minutes

+ Longitude en ° '(-si W)

= LHA_{γ}

On arrondi ce LHA au degré le plus proche.

On va maintenant à la page correspondant à la latitude estimée, arrondie au degré le plus proche
On conservera cette latitude comme la **latitude estimée** tout au long des calculs.

On entre dans la colonne de gauche LHA_{γ} avec l'angle horaire que l'on vient de calculer, on a donc ainsi les hauteurs et azimuts des étoiles au moment choisi pour l'observation, sur une même ligne.

Par exemple :

LAT 47°N

LHA °	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn
0	*CAPPELLA	ALDEBARAN	Hamel	*Deneb	ALDNR	*VEGA	Kochab							
1	37°45'060	28°05'093	53°17'121	24°21'168	25°24'255	33°02'293	34°32'347							
2	38°21'060	26°46'094	53°52'123	24°29'169	24°45'256	32°25'294	34°18'347							
3	38°56'061	27°27'095	56°26'124	24°36'170	24°05'257	31°47'295	34°00'348							
4	39°32'061	28°08'096	57°00'125	24°42'171	23°25'257	31°10'295	34°00'348							
5	40°08'062	28°48'096	57°33'126	24°48'173	22°45'258	30°33'296	33°52'348							
6	40°44'062	29°29'097	58°06'128	24°53'174	22°05'259	29°56'296	33°43'348							
7	41°20'062	30°10'098	58°38'129	24°57'175	21°25'260	29°20'297	33°35'349							
8	41°56'063	30°50'099	59°09'131	25°01'176	20°45'261	28°43'297	33°27'349							
9	42°33'063	31°30'100	59°40'132	25°04'177	20°04'261	28°07'298	33°19'349							
10	43°10'064	32°11'100	60°10'134	25°06'178	19°24'262	27°31'299	33°12'350							
11	43°46'064	32°51'101	60°39'135	25°07'179	18°43'263	26°55'299	33°05'350							
12	44°23'065	33°31'102	61°07'137	25°07'180	18°02'264	26°20'300	32°57'350							
13	45°00'065	34°11'103	61°35'139	25°07'181	17°22'264	25°44'300	32°51'350							
14	45°38'066	34°51'104	62°01'140	25°06'182	16°41'265	25°09'301	32°44'351							
15	46°15'066	35°30'105	62°27'142	25°04'183	16°00'266	24°34'301	32°37'351							

LAT 47°N

LHA °	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn
16	*CAPPELLA	ALDEBARAN	Hamel	*Deneb	ALDEBARAN	*Deneb	Kochab							
17	46°52'067	36°10'105	62°52'144	25°02'184	15°19'267	24°07'299	32°31'351							
18	47°30'067	36°49'106	63°15'146	24°58'185	14°38'268	23°25'299	32°25'352							
19	48°08'068	37°28'107	63°38'148	24°54'186	13°57'269	22°45'299	32°19'352							
20	48°46'068	38°07'108	63°59'149	24°50'187	13°16'270	22°05'299	32°13'352							
21	49°24'068	38°46'109	64°19'151	24°44'188	12°35'271	21°25'299	32°07'353							
22	50°02'069	39°25'110	64°38'153	24°38'189	11°54'272	20°45'299	32°01'353							
23	50°40'069	40°04'111	64°56'155	24°31'190	11°13'273	20°05'299	31°55'353							
24	51°18'070	40°43'112	65°12'158	24°23'191	10°32'274	19°25'299	31°49'354							
25	51°57'070	41°19'113	65°27'160	24°15'192	9°51'275	18°45'299	31°43'354							
26	52°35'070	41°57'114	65°41'162	24°06'193	9°10'276	18°05'299	31°37'354							
27	53°14'071	42°34'115	65°55'164	23°56'194	8°29'277	17°25'299	31°31'354							
28	53°52'071	43°11'116	66°03'165	23°45'195	7°48'278	16°45'299	31°25'355							
29	54°31'072	43°48'117	66°12'166	23°34'196	7°07'279	16°05'299	31°19'355							
30	55°10'073	44°24'118	66°20'167	23°22'197	6°26'280	15°25'299	31°13'355							

On commence par les étoiles se trouvant à l'Est, que ce soit au coucher ou au lever.

Toutes les 4 minutes on baissera d'une ligne pour se recalculer, l'angle horaire LHA augmentant d'un ° toutes les 4 minutes

Deuxième partie, observation

	Heure TU	Hauteur observée
Étoile 1		
Étoile 2		
Étoile 3		

Troisième partie, calcul des intercepts

On va calculer, comme on l'a fait pour l'heure de l'observation l'angle horaire du point vernal correspondant à chaque observation d'étoile (en général pas plus de 4 mn entre chaque observation)

	Etoile 1	Etoile 2	Etoile 3
Tables 4			
année, mois, jour, heure			
minutes secondes			
Total = GHA			
+ Longitude estimée (- si W)			
ajustée pour LHA			
Total = LHA (arrondi au °)			
Hauteur relevée			
Collimation			
Réfraction			
Correction hauteur œil			
Hauteur observée			
Hauteur calculée pour LHA correspondant			
Intercept			
Azimut			

Il ne reste plus qu'à tracer les droites, à partir de la latitude estimée (arrondie au °) et de la longitude estimée propre à chaque étoile, en tenant compte du signe de l'intercept (vers l'étoile si l'angle observé est plus grand que l'angle calculé)

Si la vitesse du navire est faible, de l'ordre de 5/6 nds, on peut sans trop perdre de précision, et si l'on a fait les observations à pas plus de 4 mn d'intervalle, se servir de la droite intermédiaire comme référence (avec la longitude estimée correspondante)

Enfin on appliquera la correction pour Précession et Nutation, Table 5, au point donné par l'intersection des droites.

Et voilà !

ANNEXES

(Documents profmarine et Association méridienne Nantes)

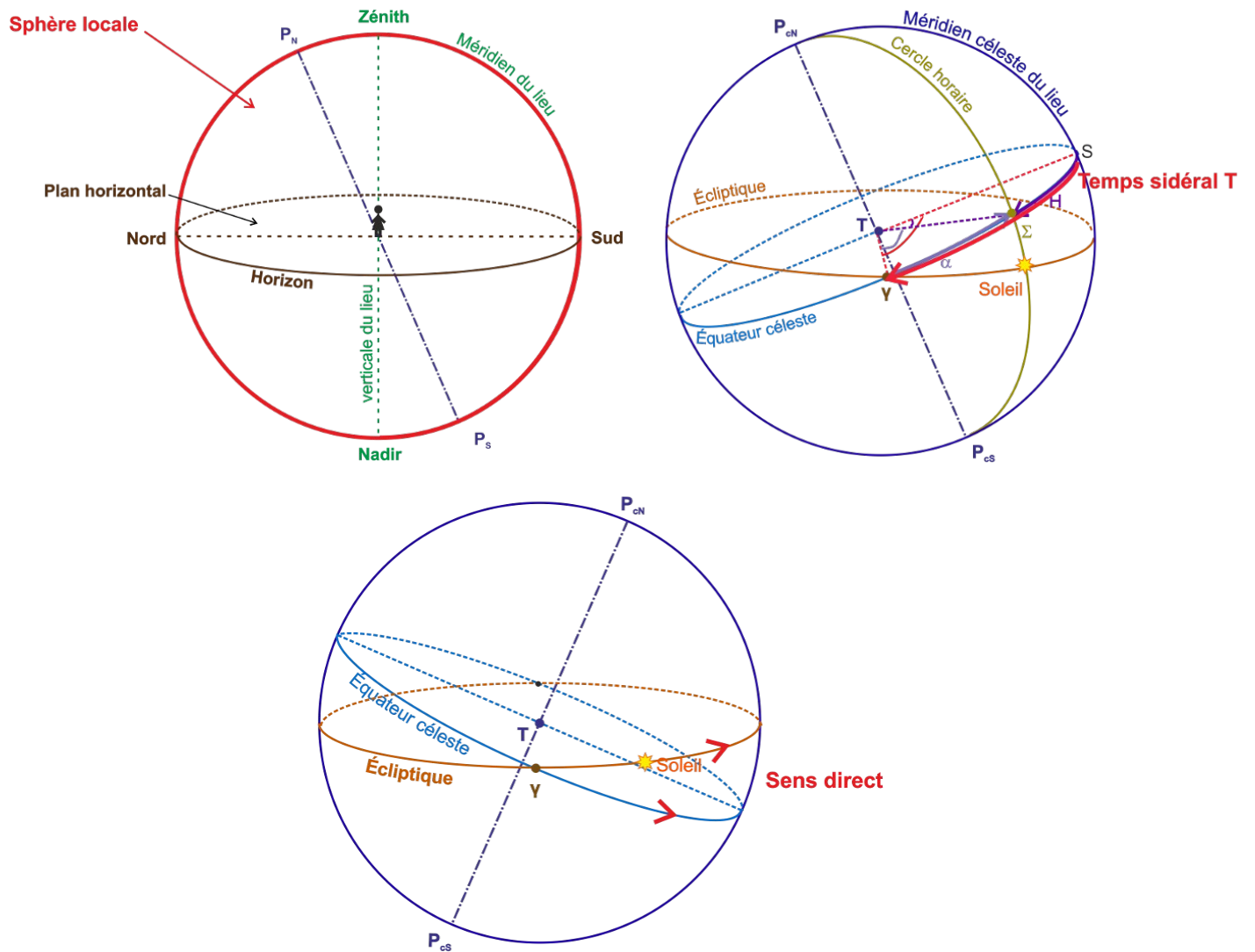
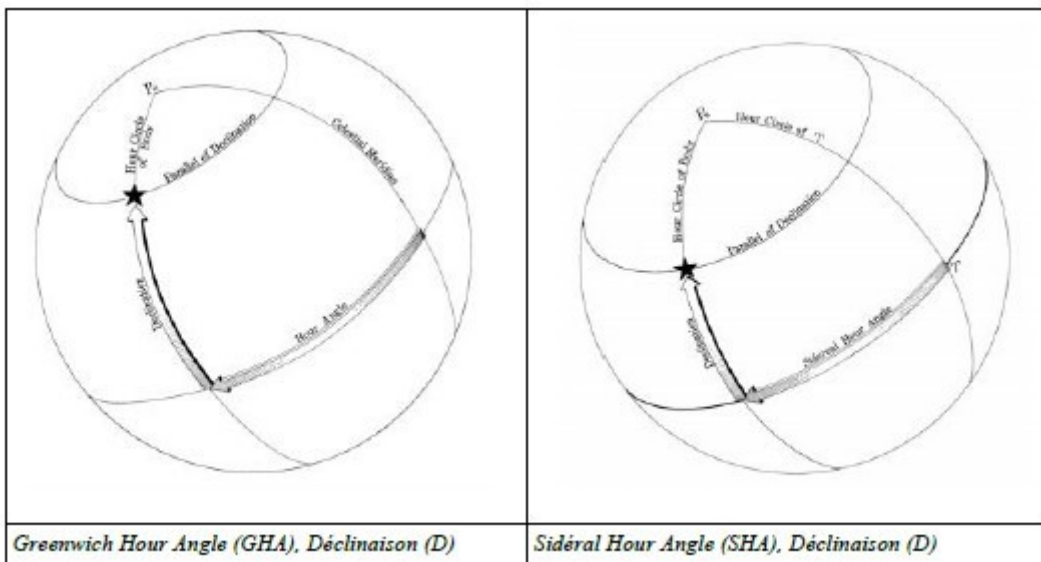
RAPPELS ET TERMINOLOGIE

Terminologie

Terminologie française		Terminologie anglo-saxonne	
Angle horaire du Soleil à Greenwich	AHvo	GHA	Greenwich Hour Angle
Angle horaire local du Soleil	AHvg	LHA	Local Hour Angle
Angle horaire d'un astre	AHao	GHA	Greenwich Hour Angle
Angle local d'un astre	AHag	LHA	Local Hour Angle
Angle horaire sidéral	AHso	SHA	Sideral Hour angle
Hauteur instrumentale	Hi	Hs	Sextant Altitude
Erreur de collimation	c	Ie	Index error
Élévation de l'oeil		HE	Height of Eye
Dépression apparente de l'horizon	-da	Dip	Dip
Hauteur apparente	Ha	Ha	Apparent altitude
Parallaxe	+p		Horizontal Parallax
Demi diamètre	d		Semidiameter
Réfraction	R	Ro	Refraction
Hauteur observée	Ho	Ho	Observed Altitude
Point vernal	γ	γ	Airies

Les formules

Anglosaxonnes	Françaises
$\sin H = \sin L \sin d + \cos L \cos D \cos LHA$ $\tan Z = \cos d \sin LHA / \cos H$	$\sin He = \sin \varphi_e \sin D + \cos \varphi_e \cos D \cos P$ $\cos Z = (\sin D - \sin \varphi_e \sin He) / (\cos \varphi_e \cos He)$
<i>H</i> = hauteur calculée <i>L</i> = latitude <i>d</i> = déclinaisons <i>LHA</i> = angle local horaire <i>Z</i> = azimut	<i>He</i> = hauteur calculée <i>Z</i> azimuth <i>D</i>) déclinaison



VII

LATITUDE PAR LA POLAIRE

Voir ci joint les 2 pages de Navastro, la méthode approchée décrite en (2) est particulièrement intéressante.

Malgré tout cela reste réservé à l'hémisphère Nord, et l'étoile polaire n'est pas une des plus brillante. Donc pour les nuits de très beau temps clair...

VIII

ET PLUS ENCORE

Par la suite vous pourrez utiliser la Lune et ses tables spéciales. Il faut se méfier la nuit, même si l'horizon vous paraît net. La lune a comme spécialité de nous tromper avec ses faux horizons...

Vous pouvez également utiliser les planètes, qui elles aussi ont des tables dédiées (pour l'angle horaire et la déclinaison). Elles ont l'avantage, pour les plus brillantes, d'apparaître plus tôt ou plus tard, donc de bénéficier d'un meilleur horizon.



Pour des raisons pratiques l'ensemble de ce cours et de ses annexes ne sera disponible que sous forme informatique, à vous d'imprimer ce qui vous semble important.

Sites conseillés:

- **stellarium.org**, «Stellarium» à installer sur votre ordi pour reconnaître les étoiles, et bien plus...
- **Navastro.fr**, pour le matériel, les méthodes...
- **Celestaire.com**, site américain pour le matériel, mais livraisons sujettes à taxes de douane...
- Le logiciel **Éphémérides Nautiques de StrassGrauerMarina** comporte une partie Didacticiel très bien faite, utilisable sous windows uniquement....
- Le site www.ressources.profmarine.fr de l'ENSM du Havre, très bien fait, enseignement professionnel
- <https://thenauticalalmanac.com/> Le site du Nautical Almanach, les Éphémérides Nautiques anglaises, téléchargeables, ainsi que les tables HO 249...et plein d'autres choses
- <https://www.navigare-necesses-est.ch/files/1753194143-15-principes-de-nav-astro-et-evol-2013-406.pdf> Cours de navigation astronomique très bien fait.
- <http://nauticalfree.free.fr> : Accès libre Cartes marines gratuites et ouvrages nautiques en ligne

- **<https://skoiern.com/> : Accès à ce cours ainsi que ses annexes en téléchargeant sous l'onglet :**

« La navigation astronomique sans peine »

Sources: Pour l'établissement de ce cours je me suis inspiré notamment :

du site Navastro.fr

du site de l'Association Méridienne Nantes www.meridienne.org

de l'Encyclopédie en ligne Wikipédia

du site de Amaury.dufray.free.fr

de mes Cours reçus à l'École Nationale de la Marine Marchande du Havre, de 1969 à 1972

Ce cours n'est en aucun cas destiné à être commercialisé mais au contraire largement diffusé, gratuitement!

Maintenant pratiquez, pratiquez, levez le nez, admirez le ciel étoilé!

Patrick Chalmeau Jobert
SKØIERN
Saint Pierre et Miquelon
2020/2021
Douarnenez
2026

Ce cours est dédié à Claudio, Claude PERON



