

Cours de navigation astronomique.

Sommaire :

- 1) Quelques notions de cosmographie de géographie et de mathématique.
- 2) Matériel nécessaire.
 - 2a) choix d'un sextant.
 - 2b) choix d'une calculatrice.
 - 2c) choix d'un logiciel.
- 3) La collimation , (erreur du sextant).
- 4) Le cercle de hauteur puis la droite de hauteur.
- 5) Deux cas particuliers
 - 4a) la méridienne
 - 4b) La latitude et la variation du compas par l'étoile polaire.
- 6) Calcul de la variation du compas au coucher et au lever de soleil.

Préambule : lors des calculs de navigation astronomique, pour simplifier les calculs, nous considérerons que la terre est fixe dans l'univers et donc que le soleil et les étoiles se déplacent autour de nous.

1) Quelques notions de cosmographie, de géographie et de mathématiques.

Le terre décrit une ellipse autour du soleil, et le soleil est l'un des foyer de cette ellipse. Cette notion explique que le diamètre apparent du soleil varie et doit donc être corrigé lors des calculs.

L'axe de la terre est incliné , c'est ce que l'on nomme l'obliquité. Sa valeur varie très lentement au cours du temps et a l'heure actuelle elle vaut $23^{\circ} 27'$. Cette inclinaison est la cause des quatre saisons et entraîne que chaque jour l'altitude du soleil varie lors de son passage au zénith. Nous appelons cette valeur la déclinaison. Elle varie de $23^{\circ}27'$ Nord lors du solstice d'été à $23^{\circ}27'$ Sud lors du solstice d'hiver. Elle est nulle lors des deux équinoxes.

La position sur la terre est exprimée en latitude et en longitude. De 0° à 90° nord ou sud depuis l'équateur vers les pôles et de 180° est ou 180° ouest pour la longitude. Si le 0 pour la latitude est logique, le choix du 0 de longitude est totalement arbitraire, il a été décidé que ce méridien zéro serait le méridien de Greenwich (Greenwich est un quartier de Londres où se trouvait un observatoire)

Sur internet on trouve beaucoup d'horreurs notamment sur la taille du mille marin (ou nautique). Par convention le mille marin vaut une minute de latitude à la latitude de 45° nord et vaut 1852 mètres partout sur terre. Néanmoins, sur une carte marine construite avec le procédé Mercator, c'est le principe de la latitude croissante qui conditionne la taille du mille et il ne faut pas chercher à le transformer en longueur métrique.

Dans ce cours, j'ai limité le recours aux mathématiques. Malgré tout il faut pouvoir passer du système décimal au système sexagésimal et inversement , car les cartes modernes sont graduées en minutes et dixième de minute tandis que certaines formules de calcul sont en minute et secondes. En clair on peut avoir $L = 45^{\circ}25'30''$ N ou $45^{\circ}25,5'$ N qui valent la même chose. Il y a un rapport de 6 entre les deux :

0,1' (minute) vaut 6 secondes	0,5' vaut 30 secondes
0,2' vaut 12 secondes	0,6' vaut 36 secondes
0,3' vaut 18 secondes	0,7' vaut 42 secondes
0,4' vaut 24 secondes	0,8' vaut 48 secondes
	0,9' vaut 54 secondes

Et inversement : x'' vaut $y' = x/60$, exemple $15''$ vaut $15/60 = 0,25'$

$$40'' \text{ vaut } 40/60=0,67'$$

Vous trouverez un tableau exhaustif de conversion dans les éphémérides ou l'almanach du marin.

De même, les angles horaires des astres et les déclinaisons sont donnés à 00h00, et dans les calculs, il faut utiliser la valeur à l'heure de l'observation, il faut donc faire une proportionnelle par les formules suivantes :

Soit AHv0 l'angle à 00h00 du jour

AHv1 l'angle à 00h00 du lendemain

Ahvg l'angle à l'heure t de l'observation

$$\text{nous aurons : } Ahvg = AHv0 + ((AHv1 - AHv0) \times t / 24)$$

Idem pour la déclinaison :

Soit D0 la déclinaison à 00h00 du jour

D1 la déclinaison à 00h00 du lendemain

D la déclinaison à l'heure t de l'observation

$$\text{nous aurons : } D = D0 + ((D1 - D0) \times t / 24)$$

2) **Matériel nécessaire :**

Autrefois, il était nécessaire d'avoir un sextant, une très bonne montre qui restera à l'heure universelle (TU) c'est l'heure du méridien de Greenwich, des éphémérides, des tables de corrections, une calculatrice scientifique ou des tables de calcul, une carte et un compas à pointe sèche.

À présent pour effectuer un point astronomique, il faut un sextant, une calculatrice dédiée ou un logiciel (donc un ordinateur), l'almanach du marin breton ou l'équivalent, une carte et un compas à pointe sèche.

2.1) Choix d'un sextant :

Il existe de nombreux sextants sur le marché, les prix varient d'une centaine d'euros à plus de deux mille euros.

Les marques les plus répandues sont Plastimo, Davis, Freiburger, Tamaya Poulain-Blanchet et Plath & Cassens.

Ils diffèrent par la qualité de fabrication, leur matériau, les optiques et le mode de lecture de la mesure.

Pour ce qui est des matériaux, le plastique a longtemps été décrié, mais cela fait des sextants corrects à prix raisonnable. Ce critère doit rester secondaire.

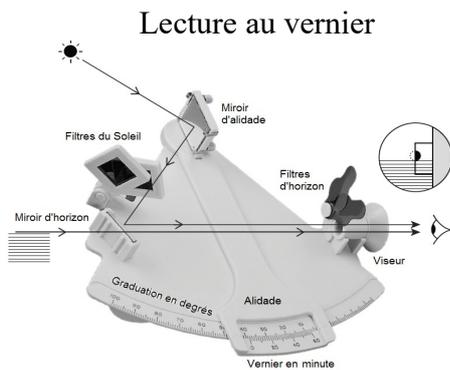
Les bons critères de choix sont :

la prise en main ; les sextants bon marché sont souvent dépourvus de poignée et cela est très gênant pour effectuer les mesures.

Le poids, un sextant trop lourd peut être gênant si la mesure dure, mais un sextant trop léger manque d'inertie dans la main, il faut donc trouver le bon compromis qui est propre à chacun.

Le mode de blocage de l'alidade (le bras mobile) qui peut être inexistant, par vis de serrage ou blocage par mâchoires. C'est ce dernier mode qu'il faut choisir.

Le mode de lecture de la mesure. Elle peut être directe avec interpolation autant dire piffométrique, par vernier (comme sur les pieds à coulisse) ou micrométrique. Il faut privilégier cette dernière car d'une part elle permet une mesure fine en tournant le cylindre pour ajuster l'alignement de l'astre et de l'horizon, mais aussi une lecture des minutes et dixième de minute directe.



Le dernier critère est la qualité de l'optique, c'est celui qui conditionne grandement le prix du sextant. Comme vous ferez toujours des mesures dans des conditions correctes de visibilité, une bonne lunette, trois filtres pour l'horizon et quatre pour le soleil seront suffisants. Le MARK DAVIS 15 a 200/250 euros devrait convenir à la plupart d'entre vous.

2,2) Choix de la calculatrice :

Si vous utilisez la méthode classique, il vous faudra une calculatrice scientifique (avec les fonction géométrique) ou utiliser les tables de Dieumegard ou tables américaines.

A ma connaissance, il existe au moins trois calculatrices sur le marché, une Casio à prix raisonnable (130 euros) une Texas Instrument beaucoup plus cher et une Tamaya qui va avec le sextant de la marque.

Vous pouvez aussi utiliser une calculatrice programmable dans laquelle vous rentrerez un programme dédié. L'almanach du breton, en propose un pour la Texas Instrument.

J'utilise la Casio : elle possède les éphémérides du soleil et de 81 étoiles pour le 21ème siècle.

Permet de calculer une droite de soleil ou d'étoile, la méridienne et de « transporter » les droites.

En revanche, il faut rentrer les corrections manuellement.

Je ne connais pas les autres modèles, mais cela doit être un peu pareil.

2,3) choix du logiciel :

Sur internet, il existe plusieurs logiciels gratuits ou payants. J'en ai testé quelques uns, et NAVASTRO m'a semblé très correct. Gratuit, simple et pratique, le seul ennui est qu'il faut un ordinateur sous Windows.

Il existait Almicantaratus mais il n'est plus édité pour le moment et Celestia pour Apple.

3) la Collimation

Quelle que soit la marque du sextant, c'est un instrument de mesure donc il n'est pas parfait et possède une erreur souvenvariable avec la mesure. Les sextant professionnels sont vendus avec une table de corrections. Pour les autres, la mesure de l'erreur est simple, aligné l'horizon direct et l'horizon réfléchi, vous trouverez une valeur proche de zéro, notez la c'est la collimation elle est à soustraire à la mesure. Notez qu'il est plus aisé de la faire à terre sur un toit car au moins ça ne bouge pas.

Par ailleurs, il existe plusieurs vis de réglage au niveau des miroirs, si vous souhaitez rendre votre sextant inutilisable amusez vous avec. Ces réglages demandent une habileté et une expérience que vous avez peu de chance d'acquérir.

4) La mesure, le calcul et le tracé :

Mesurer la hauteur d'un astre se fait toujours par rapport à l'horizon. Contrairement aux scènes de cinéma, on n'abaisse pas le soleil sur l'horizon, mais on monte l'horizon vers le soleil, faites l'essai vous comprendrez tout de suite pourquoi.

De la même manière, nous ne mesurons pas la hauteur d'une étoile choisie, c'est impossible à faire. Nous utilisons un « star finder » dans la calculatrice ou bien dans des tables qui nous donnent une

hauteur un un azimut proche de la réalité pour cette étoile , nous réglons le sextant a cette valeur, déterminons la direction a l'aide du compas et ajustons la valeur . Malgré cela il arrive que l'on se trompe d'étoile. (on s'en rend compte a cause du calcul de l'intercepte incohérent). Pour les points d'étoile l'astuce consiste au coucher de soleil a commencer a mesurer les étoiles situées a l'est pour finir a l'ouest , et l'inverse le matin, ainsi en allant vite l'horizon reste correct.

Dans la pratique, le mieux est d'être a deux, vous vous installez comme vous vous sentez le mieux, il n'y a pas de regle, le tout est de pouvoir synchroniser les mouvements du bateau et vos mouvements propres. Ensuite, effectuez la mesure en commençant comme expliqué ci dessus, puis balancé le sextant pour faire tangenter l'astre sur l'horizon ajuster la mesure et dites « attention pour un top » et au moment où vous pensez que la mesure est la meilleure dites « top », votre partenaire note l'heure a la seconde. Si vous êtes seul, compter les secondes comme pour les feux, par A1, A2,,,,, jusqu'à noter l'heure.

Le principe de la droite de hauteur est que tout les observateurs situé sur un cercle donné voit un astre à la même hauteur. Donc la droite de hauteur est une segment de cercle tellement grand qu'il peut être assimilé a une droite. Ce qui distingue chaque observateur est la direction dans laquelle il voit l'astre.

Pour tracer la droite de hauteur, il faut tout d'abord une position estimée, tout les calculs se font a partir de celle ci. La premiere action est donc de calculer le point estimé au moment de l'observation.

Dans la calculatrice, vous rentrez les éléments : position estimée, date et heure TU, hauteur de l'astre et corrections (voir ci dessous) et vous obtenez une distance en mille, c'est l'intercepte (noté i) et un angle c'est l'azimut (ou relèvement) de l'astre. Sur la carte, vous reportez ces deux valeurs et tracez un segment perpendiculaire a l'azimut , c'est la droite de hauteur.

Cette droite est un lieu de position. Pour obtenir une position (un point) il faudra une ou plusieurs observations pour obtenir des droites sécantes et donc un point. Pour chaque nouvelle mesure il faudra « transporter » la droite précédente au point estimé de cette deuxième mesure. Notons que si vous faites trois droites vous obtiendrez un triangle plus ou moins grand selon la précision des mesures.

Lors du calcul il est nécessaire d'introduire des corrections : correction liée a la hauteur de l'oeil de l'observateur et l'erreur de réfraction directement lié a la hauteur de mesure.(on les trouve dans l'almanach de marin breton).

L'erreur du sextant (normalement donné par le fabricant) . Sinon, nous la mesurons en visant l'horizon et en alignant l'horizon sur les deux miroirs, la valeur lue est la collimation pensez bien a sa valeur négative ou positive..

L'obtention d'un point astronomique est donc assez contraignant et long, c'est pour cela que beaucoup de navigateur ne pratique que la méridienne expliqué maintenant.

5) Deux cas particuliers.

5.1) la meridiene :

Cette méthode est plébiscitée parce qu'elle est simple rapide et demande peu de calculs.

Son principe est de mesurer la hauteur du soleil au moment du passage au zenith , c'est a dire au méridien du lieu.

Ainsi, avec la montre vous avez votre longitude et avec la hauteur observée la latitude aux corrections près.

La méthode est, toujours avec votre position estimée, calculez l'heure probable du passage du soleil au zénith. Dans les éphémérides, vous trouvez l'heure du passage de l'astre a Greenwich, ensuite sachant que le soleil « parcourt » 15° de longitude toute les heures , divisez votre longitude (en degrés) estimée par 15 pour obtenir une heure approchée de passage.

Exemple : vous êtes par $27^\circ 35,8'$ ouest, cela donne : $27^\circ 35,8' / 15^\circ = 1\text{h}50\text{min}23\text{sec}$

Si les éphémérides donnent un passage a Greenwich a 12h03, le passage a votre méridien sera a 12h03' +1h50' 23" soit 13 h 53' 23".

Vous avez naviguez durant 1 h 50min donc pour plus de précision, refaites ce calcul pour cette

heure.

Sur un voilier peu rapide se double calcul est suffisant.

Ensuite, une demi heure avant l'heure calculée, commencez vos mesure et faites en toutes les dix minutes.

Aux alentours de l'heure calculée commencez l'observation jusqu'au moment où vous mesurez la plus grande valeur (la culmination). Notez cette valeur.

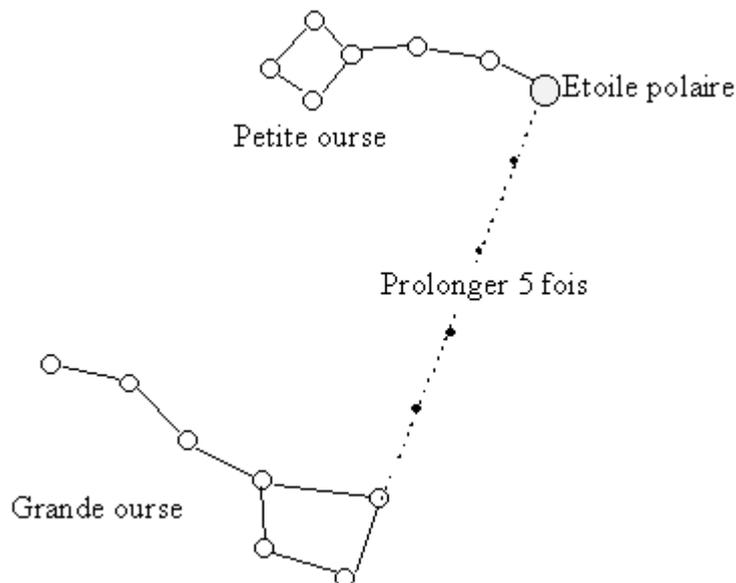
Recommencez a mesurer la hauteur pour retrouver une valeur identique a celles prisent avant la culmination. Notez l'heure et faire la moyenne avec l'heure de la précédente mesure identique, transformez cette heure en longitude, voilà vous avez votre position, latitude par le soleil, sa hauteur mesurée et sa déclinaison, et votre longitude par l'heure de la culmination.

L'intérêt de faire plusieurs mesures en amont de la culmination est la possibilité de sa rattraper en cas d'erreur. Avec de l'expérience, vous pourrez diminuer le nombre de mesures.

5,2) latitude et variation du compas par la polaire :

Pour ce calcul , il faut les éphémérides nautiques pour le calcul des corrections.

La polaire actuellement **Alpha Ursae Minoris** a pour particularité d'être dans l'alignement de l'axe de rotation de la terre. La nuit, si vous observez le ciel, toutes les étoiles se déplacent sauf une , la polaire. Pour la retrouver, il suffit de trouver la grande ourse et de mesurer cinq fois la distance de la branche externe pour avoir la polaire. (voir schéma)



Avec le compas de relèvement, notez le relèvement de cette étoile. Il y a une correction à apporter, elle est faible et nous ne la trouvons que dans les éphémérides nautiques.

Une fois cette valeur corrigée, la variation est la valeur mesurée en négatif ou bien 360° moins la mesure.

La latitude est directement la valeur mesurée affectée des corrections d'erreur du sextant , de la parallaxe et de la diffraction et dépression.

Hélas, ce calcul ne permet pas d'établir la longitude.

Il existe un point exceptionnel, il ne nécessite aucun calcul sinon la transformation de l'heure en longitude, la latitude vaut la déclinaison du soleil.. C'est la circumzenithale ; lorsque le soleil passe à la verticale de l'observateur. Il faut être un bon moment au bon endroit, autant dire que cela a peu de chance de vous arriver.

6) Calcul de la variation du compas au coucher et au lever de soleil.

C'est une obligation légale qu'aucun plaisancier ne respecte, mais le calcul de la variation du compas est très importante en cas de perte du GPS . Imaginez l'erreur de navigation au bout de 500 milles avec une erreur du compas de quelques degrés.

Chaque jour , selon la météo, vous pouvez évaluez assez précisément la variation du compas au lever et au coucher du soleil.

Nous savons tous que le soleil se lève a l'est puis se couche a l'ouest. Mais en fonction de la déclinaison et de la latitude de l'observateur cette valeur varie mais est bien connue.

Dans les éphémérides, elle se calcule avec « l'amplitude » qui est donnée dans un tableau en fonction de ces deux variables. Une fois cette valeur déterminée, elle s'ajoute ou se retranche selon les règles suivantes :

Au printemps et en été, la déclinaison du soleil est sud

- au lever, retrancher l'amplitude de 90°.
- au coucher, ajouter l'amplitude de 270°.

En hiver et en automne, la déclinaison du soleil est nord :

- au lever ajouter l'amplitude a 90°
- au coucher retrancher l'amplitude a 270°.

Pour briller au bistrot :

le **zenith**, est le point où culmine un astre, l'inverse est le **nadir**.

De même l'inverse de l'*apogée* est le *périgée* (le plus éloigné et le plus pres de la terre)

l'aphélie a son opposé la *périhélie* (la terre est la plus loin ou la plus proche du soleil)

Le vrai nom du point d'étoile est le **point crépusculaire**.

La **syzygie** est l'alignement de la terre du soleil et de la lune. (marées de grand coefficient)

Le *point vernal* est l'intersection entre l'équateur céleste et l'ecliptique (trajectoire de la terre autour du soleil).

Le système solaire est héliocentrique, les planètes décrivent chacune une ellipse autour du soleil.

La terre n'est pas une sphère (mais presque), c'est une ellipsoïde de révolution.

Quelques marques de sextant par prix décroissant :

Plath and Cassens (la Bentley des sextant)

Freiberger

Tamaya

Poulain-Blanchet

Mark

Plastimo

Quelques ouvrages utiles :

L'incontournable Almanach du marin breton,

Navigation en haute mer de Olivier Stern-Veyrin aux éditions Arhau

Grande traversée et point astro 2 de Alain Grée chez Voiles Gallimard

Navigation astro par Claude Asken.

Petit guide du ciel de Bernard Pellequier aux éditions Sciences du Point.

Coté internet NAVASTRO est a mon sens le seul site qui tienne la route pour les explications et NAUTIC WAY pour la vente de matériel.

A vos sextants et bonnes navigations.