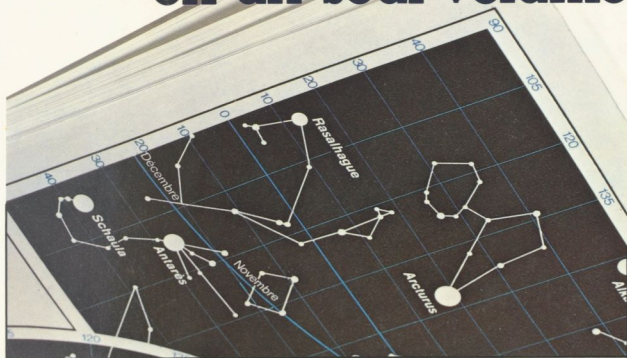


[Retrouver ce titre sur Numilog.com](http://www.numilog.com)

# la navigation astronomique

éphémérides et tables de calcul  
en un seul volume



# la droite de hauteur

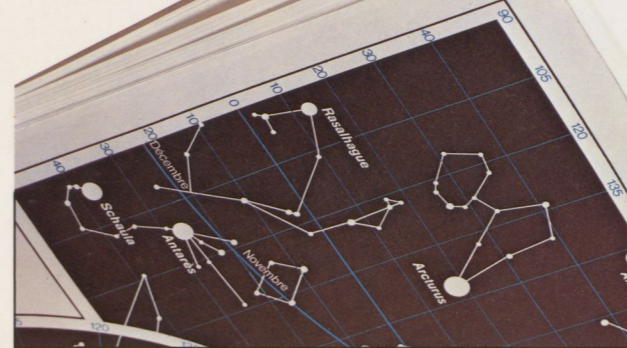


j.e. le soudéer

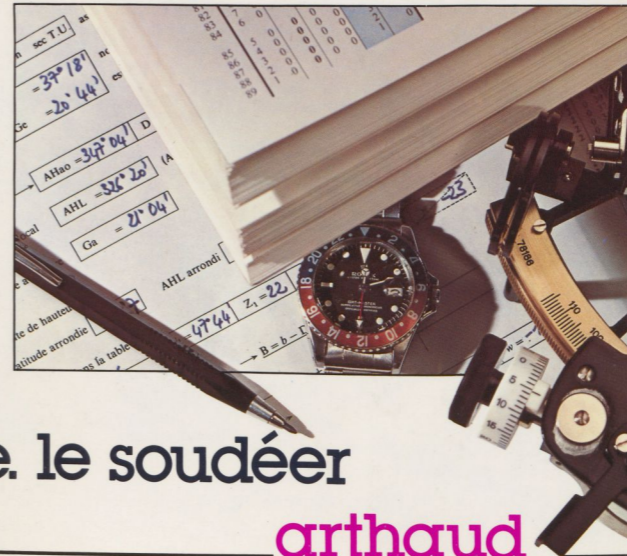
arthaud



# la navigation astronomique éphémérides et tables de calcul en un seul volume



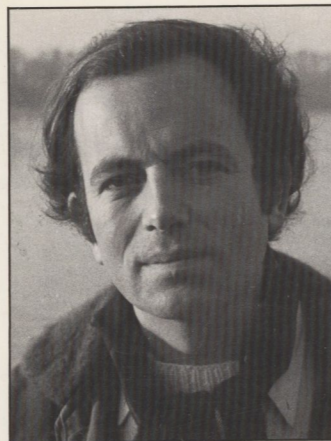
# la droite de hauteur



j.e. le soudéer

arthaud

la droite de hauteur  
j.e. le soudéer  
arthaud



Ingénieur, architecte naval à ses heures, né en 1946 et fils de capitaine au long cours, Jean-Émile Le Soudéer est depuis longtemps confronté aux problèmes de navigation astronomique : en course ou en croisière, c'est à lui que revient toujours de faire la route, tâche ingrate et hors de portée de la plupart quand il s'agit d'utiliser sextant et tables. D'autant plus qu'un bateau en mer est le pire des endroits pour se livrer à des calculs mathématiques relativement compliqués et manipuler des ouvrages volumineux. N'avez-vous jamais été impressionné par la pâleur du navigateur remontant d'une station prolongée à la table à cartes ? En réunissant toutes les données du calcul astronomique en un seul ouvrage et selon une méthode aussi simple qu'originale, Jean-Émile Le Soudéer a rendu un service considérable à la plaisance : il a définitivement vaincu la "navigation-magie".

Dans les pages de cet ouvrage sont rassemblées plusieurs séries de nombres destinées au calcul des éléments de la droite de hauteur (hauteur et azimut).

• Les éphémérides ici présentées sous un volume restreint permettent de déterminer l'angle horaire à Greenwich et la déclinaison du soleil et de 44 étoiles parmi les plus brillantes, à tout instant jusqu'au 31 décembre de l'an 2000. La connaissance de ces données astronomiques et une position estimée de l'observateur conduisent aux 3 clefs d'entrée dans une nouvelle table de calcul de la hauteur et de l'azimut estimés.

• Grâce à une résolution inhabituelle du triangle de position il a été possible d'élaborer une table de calcul compacte (75 pages) et universelle, c'est-à-dire sans limitation en latitude ou déclinaison. Cette nouvelle table est baptisée table LSD. Pour que tous ces chiffres ne restent pas des quantités abstraites, l'auteur a ajouté un rappel des principes de la navigation astronomique et des modes d'emploi aussi clairs et détaillés que possible des divers tableaux rencontrés.

A l'aide de ce seul ouvrage, d'un sextant, d'une montre et d'un crayon, il est facile de pratiquer bon nombre de droites de hauteur en attendant le prochain millénaire.

FZ 8505

J. Vignes. La rage de survivre  
L. Lourmais, la mer à bras-le-corps  
J. Villar. Un million d'étoiles  
G. Williams. Sir Thomas Lipton joue et gagne

### Plongée

Histoire de chasser sous la mer. E. Guerrier  
Nouvelles plongées sans câble. P. Tailliez 35° mille  
La plongée. Berry/Gavarry/Hubert/Le Chuiton/Parc  
Profondeurs inviolées. H. Hass  
20 ans de bathyscaphe. G. Houot  
Voyages dans l'abîme. J. Stevens

### Pratique de la mer

Brigantin. J.-M. Barrault  
Cours de navigation. Permis B et C. M. Bourey  
La croisière (Arthaud-Neptune). D. Gilles / M. Malinovsky  
La droite de hauteur. J.-E. Le Soudéer nouveauté  
Guides des côtes, ports et mouillages.

Sardaigne. A. Capitanio / G. Premoselli  
Toscane. A. Capitanio / G. Premoselli nouveauté  
Guide des ports de plaisance, Corse, Ile d'Elbe et Sardaigne.

J.-M. Barrault  
Guide des ports de plaisance, Banyuls-Menton. N. Fassbind  
Initiation au yachting. J.-M. Barrault  
La médecine du bord. J.-Y. Chauve nouveauté  
Les meilleures recettes de bord. M. Abeille  
La mer, son code, ses lois, permis A. J. Leray  
Comment conduire une croisière côtière. J. Harand nouveauté  
Navigation en haute mer. O. Stern-Veyrin  
Nouveau code maritime. P. Baranger  
Vade-Mecum du petit yachtman. J.-M. Barrault  
La voile par l'image. R. Creagh-Osborne

### Techniques de la mer

Éléments de vitesse des coques. La jauge I.O.R. J.-M. Finot  
Technique de la voile. J.-M. Auclair  
Voiliers et vedettes en métal. S. Langevin

### Grands albums.

L'antiquaire de marine. J. Randier  
Bateaux, radeaux, navires. W. Rudolph  
Beauté de la voile (Arthaud Neptune). F. et K. Beken  
Coquillages. T. Abbott  
La course (Arthaud Neptune). Beken of Cowes  
Encyclopédie illustrée des bateaux nouveauté  
Les géants de la voile (Arthaud Neptune). F. et K. Beken  
Gloire de la voile (Arthaud Neptune). F. et K. Beken  
Les grands voiliers. H.-J. Hansen / B. Wundshammer  
L'instrument de marine. J. Randier nouveauté  
Passion de la voile et du large. E. Quéméré / J. M. Barrault  
Voile à tout vent. H.-J. Hansen

Arthaud Mer

### Arthaud Mer

#### Récits et aventures

V. Alsar. Expédition Balsa  
Antoine. Globe-flotteur  
Bord à Bord nouveauté  
P. Auboiron. Seul sur les océans  
M. et M. Bailey. 117 jours à la dérive  
H. Barton. Les aventuriers de l'Atlantique  
K. Beken. Ma vie nouveauté  
M. Berthier. Un grain peut en cacher un autre  
C. Blyth. Le voyage impossible  
A. Bombard. Naufragé volontaire  
C. Borden. Fascination de la mer  
H. Bourdens. Croisière cruelle  
F. Chichester. Défi aux trois caps  
Record en solitaire  
Le tour du monde de Gipsy Moth IV

A. Colas. Un tour du monde pour une victoire 72° mille  
R. Corpel et C. Sellier. Capitaine de la côte  
J. Damour. Trucs et astuces du bord  
M.-C. Fauroux. Première sur l'Atlantique  
C. Francis. Victoire océane  
M. Graveleau. L'embellie sur la mer nouveauté  
J. Grout. Dans le sillage de la fibuste  
W. Hausner. Taboo  
A. Hervé. Au vent d'aventure  
G. Janichon. Damien. 1. Du Spitsberg au Cap Horn 41° mille  
2. Icebergs et mers australes  
3. L'Antarctique à la voile

Y. et E. Jonville. Trois océans pour nous trois  
J. de Kat. Rêve de victoire  
J. Klipffel. Prévoir le temps par les dictons marins  
R. Knox-Johnston. La course du monde  
R. Le Serrec. Autour du monde  
D. Lewis. Ice Bird  
M. Linski. La voile sauvage  
A. Michailof. La course buissonnière  
B. Moitessier. Cap Horn à la voile 67° mille  
La longue route 93° mille  
G. Mowat. Fleur de passion  
F. Pesty. La croisière verte  
La ronde océane nouveauté

W. de Roos. Le passage du Nord-Ouest nouveauté  
A. Rose. Sur les mers rugissantes  
Saint-Loup. La mer n'a pas voulu  
H. Searls. Une femme à la mer nouveauté  
M. Smeeton. Parce que le Horn est là  
Une fois suffit  
O. Stern-Veyrin. Solitaire ou pas  
R. Swale. Les enfants du Cap Horn  
E. Tabarly. Victoire en solitaire 106° mille  
De Pen Duick en Pen Duick 32° mille  
P. Van God. Trismus  
Pour l'aventure  
A. Van de Wiele. Au fil de l'étrave  
Pénélope était du voyage



A

F

V

A

P

M

H

K

N

C

A

C

H

F

A

F

J

M

C

M

S

V

J

C

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

La droite de hauteur

H°V  
35046  
(1)



REVUE-STRASBOURG

**La droite de hauteur**  
**Jean-Émile Le Soudéer**

**arthaud**

DL-19-02-1979-03973

© Librairie Arthaud, Paris 1978.  
ISBN 2-7003-0259-1.  
Achévé d'imprimer le 5 janvier 1979  
sur les presses de l'imprimerie Aubin à Poitiers.  
Photocomposition Imprimerie Nouvelle Orléans  
et Imprimerie Berger-Levrault à Nancy.  
N° d'édition : 1490.  
N° d'impression : P8526.  
Dépôt légal : 1<sup>er</sup> trimestre 1979.  
Imprimé en France.



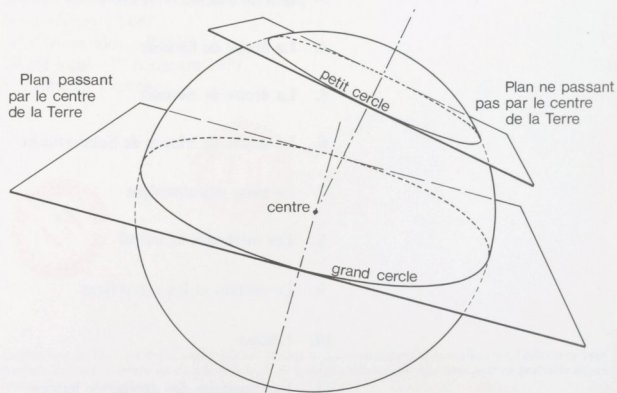
# I. Rappel des principes de la navigation astronomique

1. Quelques définitions
2. Le problème de la position
3. Le repérage de la direction des astres
4. La droite de hauteur
5. La droite de Sumner
6. La droite de Marcq de Saint-Hilaire
7. Le point astronomique
8. Les méthodes de calcul
9. Le sextant et les corrections
10. L'heure
11. Les formules des droites de hauteur





Fig. 1. Petit cercle et grand cercle.



## 1. Quelques définitions

### La sphère terrestre

Chacun sait aujourd'hui que la Terre est ronde et qu'elle tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles. La surface de la Terre est si irrégulière qu'elle n'est susceptible d'aucune description géométrique simple. Mais les irrégularités de la surface du globe sont toujours très petites par rapport à leurs distances au centre de ce globe : les plus hautes montagnes (mont Everest : 8 882 m) et les fosses marines les plus profondes (10 793 m à l'est des Philippines) atteignent ou dépassent tout juste 10 km, alors que le rayon terrestre est proche de 6 400 km. En faisant abstraction de ces irrégularités de relief, on convient de prendre comme surface de la Terre le lieu des points situés au niveau moyen des mers et d'admettre que la Terre est une sphère de rayon égal à 6 370 km.

La Terre tourne donc autour de l'un de ses diamètres appelé **ligne des pôles**. On appelle pôle Nord ou boréal (Pn) celui qui est dirigé vers l'Étoile polaire; l'autre est le pôle Sud ou austral (Ps). Ces deux points très particuliers de notre planète sont situés dans des régions si inhospitalières que c'est seulement au  $xx^e$  siècle que des explorateurs peu frileux ont pu s'y rendre. En avril 1909, l'Américain Peary fut le premier homme à poser le pied sur le pôle Nord. S'il avait pu y rester immobile en lévitation, il aurait vu la Terre tourner sous lui dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Aux antipodes de ce lieu, deux années plus tard, en décembre 1911, le norvégien Amundsen précéda d'un mois le britannique Scott au terme de leur course pour planter un drapeau sur le pôle Sud. Loin de ces régions glacées, l'équateur terrestre est le grand cercle que l'on obtient en coupant la Terre par un plan passant par son centre et perpendiculaire à la ligne des pôles. Cet équateur terrestre, ligne imaginaire, partage le globe en deux parties égales appelées hémisphères : celui qui contient le pôle boréal est l'hémisphère Nord, l'autre est l'hémisphère Sud.

### Latitude et longitude

Ce sont des mots familiers à l'oreille du marin. En navigation côtière, domaine de prédilection du plaisancier, il est rare d'avoir à s'y référer, car, sur la carte marine, la position et l'estime s'entretiennent en général de façon graphique, à l'aide de la règle de Cras et du compas à pointes sèches. Mais avec la navigation astronomique on entre dans le domaine plus abstrait des nombres, et il est bon de rappeler les définitions précises de ces deux mots. La Terre est une sphère, et, comme toute sphère, par quelque côté qu'on la prenne, par quelque plan qu'on la coupe, l'intersection est toujours un cercle. Si l'on découpe une petite calotte, l'intersection sera un **petit cercle**; si on la coupe en deux en passant par le centre, l'intersection sera un **grand cercle** (fig. 1).

La sphère terrestre possède un diamètre privilégié : l'axe des pôles.

Les éléments de définitions s'articulent sur cet axe : ce sont les méridiens. On appelle **méridien** l'intersection de la surface terrestre par un plan passant par les pôles. Si ce plan passe par les pôles, il passe aussi par le centre de la sphère terrestre : un méridien est donc un grand cercle. Le demi-méridien contenant le point A, et limité par les pôles Pn et Ps, est appelé méridien du point A; l'autre moitié est l'**anti-méridien** du point A. Dans le plan méridien du point A, il est deux directions particulières :

- La trace du plan de l'équateur perpendiculaire à la ligne des pôles;
- La droite qui joint le centre de la Terre au point A, et qui n'est autre que la direction de la verticale au point A, direction matérialisée par le fil à plomb, résultante de l'attraction de la Terre sur le morceau de plomb qui pend, immobile, au bout du fil.

Par définition, la **latitude** est l'angle de la verticale et du plan de l'équateur. Elle est comptée positive de 0 à 90° de l'équateur vers le pôle Nord, et négative de 0 à - 90° vers le pôle Sud. De façon moins abstraite, on parle plus communément de latitude nord pour un point situé dans l'hémisphère Nord (latitude positive) et de latitude sud pour un point situé dans l'hémisphère austral (latitude négative) (fig. 2).

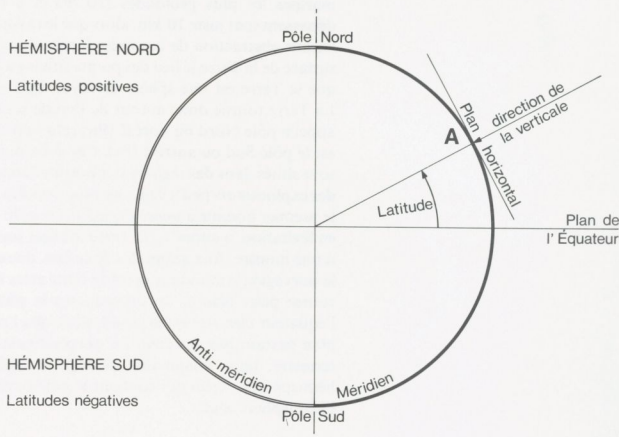


Fig. 2. Définition de la latitude.

La position d'un point quelconque sur un méridien est parfaitement définie par sa latitude; il ne reste plus qu'à repérer chaque méridien sans ambiguïté pour que la description complète de la position soit achevée. Mais la nature n'en particulierise aucun : alors, l'humanité va s'en charger. Elle appelle **premier méridien** un méridien choisi comme origine. Par suite d'un accord international, le méridien origine ou méridien international est celui de l'Observatoire royal de Greenwich, point situé à quelques kilomètres en aval de Londres, près de la Tamise. On appelle **longitude** d'un lieu la portion de l'équateur comprise entre le pied du premier méridien et le pied du méridien du lieu. La longitude se compte de 0 à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre vue du pôle Nord, c'est-à-dire vers l'ouest du premier méridien.

Par définition, tous les points d'un méridien ont même longitude. Il apparaît rapidement que tous les points qui ont la même latitude sont situés sur un petit cercle perpendiculaire à l'axe des pôles et parallèle à l'équateur : pour cette dernière propriété, un tel petit cercle est appelé un **parallèle**. Tout cela est schématisé sur la fig. 3.

En d'autres termes, on peut dire que la position d'un point sur la sphère terrestre est définie comme l'intersection de deux lignes : un méridien et un parallèle. Sur le quadrillage de la carte marine, les traces des méridiens sont des lignes nord-sud, celles des parallèles des lignes est-ouest.

L'unanimité ne règne pas toujours, et, sur certaines cartes marines françaises du Service Hydrographique, le quadrillage des longitudes est rapporté au méridien de Paris. Toutefois, dans ce cas, l'échelle des longitudes par rapport à Greenwich est ajoutée en bas de carte.



La position d'un méridien par rapport à Greenwich ne change pas si l'on ajoute ou retranche  $360^\circ$  (c'est-à-dire un tour de la Terre) à sa longitude. Il est agréable de compter des angles dont la valeur absolue est inférieure à  $180^\circ$ , aussi, lorsque la longitude d'un méridien est supérieure à  $180^\circ$ , il lui est retranché  $360^\circ$ . La nouvelle valeur devient négative : on parle alors de longitude est.

Exemple : la longitude d'un point est  $221^\circ$  :

$$221^\circ - 360^\circ = -139^\circ$$

La longitude de ce point est alors dite :  $139^\circ$  est (la schématisation de cet exemple numérique est portée sur la fig. 4). Si la longitude est inférieure à  $180^\circ$ , elle est dite ouest.

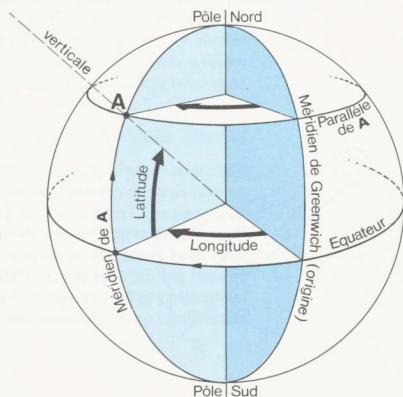


Fig. 3. Latitude et longitude, méridien et parallèle.

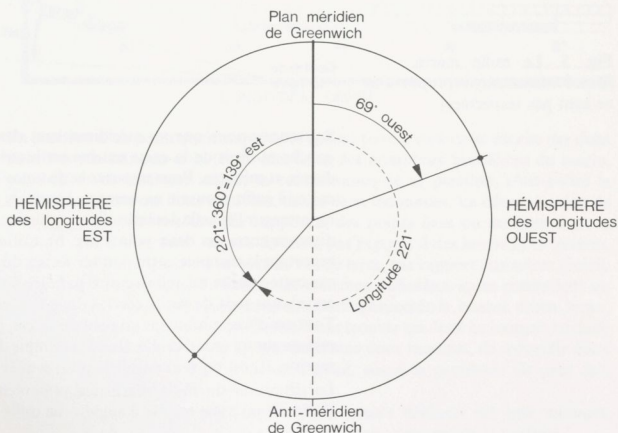


Fig. 4. Vue du pôle Nord : schématisation des méridiens et des longitudes.

Alors que la détermination de la latitude est simple, celle de la longitude est associée à l'histoire du progrès technologique, plus précisément à la réalisation de chronomètres fidèles et précis. C'est au XVIII<sup>e</sup> siècle, alors que l'Occident part à la conquête du monde et que ses navires commencent à drainer vers les ports d'Europe les richesses exotiques, c'est à cette époque que devient urgente la nécessité pour les navigateurs d'une méthode de détermination précise de la longitude.

En Angleterre, par exemple, les recherches et expériences furent stimulées par un Acte du Parlement offrant une importante récompense en argent à qui construirait un chronomètre de marine suffisamment fiable. La technologie de l'époque le permettait; l'ingéniosité des horlogers y parvint. Ces chronomètres nécessitaient à bord une manipulation très soignée. Il était également indispensable de les contrôler de temps en temps par des observations lunaires suivies de fastidieux calculs. Ces temps sont révolus. Un récepteur de radio à transistors et une bonne montre donnent aujourd'hui à tout navigateur une exactitude de l'heure largement suffisante pour ses besoins.

### Le mille marin

Chacun sait que la plus courte distance entre deux points est la ligne droite. Cela est vrai si, entre ces deux points, il n'y a pas d'obstacle. Or le plus gros obstacle qu'il y ait sur Terre, c'est... la Terre elle-même.

Pour aller d'un point à un autre, il faut la contourner. Le chemin le plus court qui joint deux points de la surface de la sphère terrestre est l'arc de grand cercle passant par ces deux points. Cette propriété est à l'origine de l'unité de distance manipulée par les navigateurs : le mille marin est la longueur d'un arc de grand cercle dont l'ouverture angulaire est égale à une minute, soit  $1/60^{\circ}$  de degré (fig. 5).

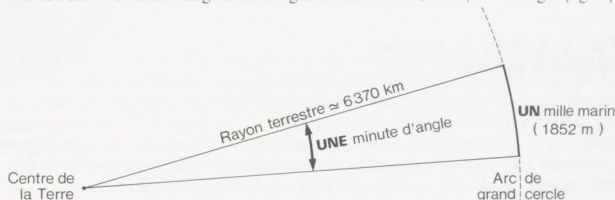


Fig. 5. Le mille marin.  
(Bien évidemment, les proportions ne sont pas respectées).

Souvenons-nous que les méridiens sont des demi-grands cercles. Sur les côtés gauche et droit de la carte marine est inscrite l'échelle des latitudes graduée en degrés et minutes. Pour mesurer la distance nautique séparant deux points de la carte, il suffit d'ouvrir un compas à pointes sèches entre deux points, puis de le reporter sur l'échelle des latitudes pour lire en minutes, et donc en milles marins, la distance entre ces deux points (fig. 6). Cette opération ne doit pas être faite en reportant la distance entre pointes sèches du compas sur l'échelle des longitudes, car cette échelle est relative aux parallèles (lignes horizontales est-ouest sur la carte), qui sont de petits cercles de la sphère terrestre.

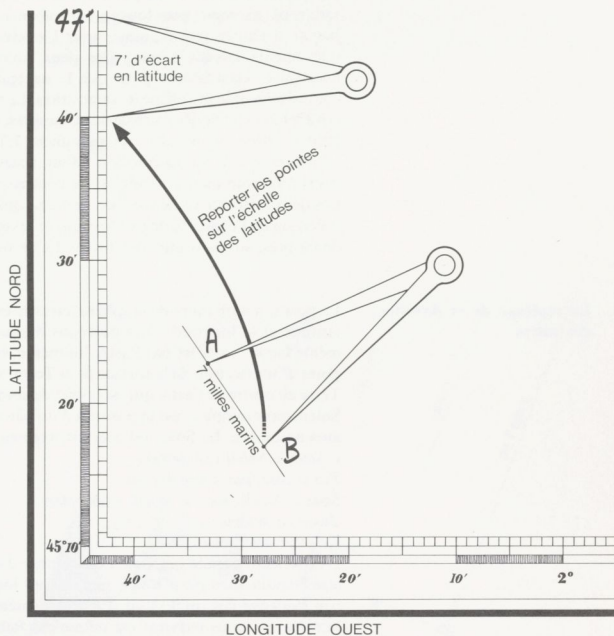
Tout arc d'une minute sur un petit cercle est, par nature, plus petit qu'un arc d'une minute sur un grand cercle. Il est fort simple de vérifier cette inégalité sur une carte marine. (Il est un seul parallèle pour lequel l'égalité a lieu : c'est l'équateur.)

La définition du mille marin est présentée sous cette forme pour introduire l'association : **une minute d'angle = un mille marin**, dont l'utilité se révélera plus tard.

Pour conclure ce paragraphe, on peut dire que l'unité de mesure du navigateur est le mille marin. Cette distance représente aussi l'ordre de grandeur de la précision qu'il peut espérer avec les moyens dont il dispose.

Autrement dit, loin de repères immédiats, la position d'un bateau est connue, au mieux, à un mille marin près.

Fig. 6. Mesure des distances sur la carte marine.



## 2. Le problème de la position

La position d'un point quelconque de la sphère terrestre est donc décrite par deux nombres : la latitude et la longitude. L'un des nombreux problèmes du marin, celui qui nous intéresse ici, est la connaissance de sa position, c'est-à-dire la détermination de ces deux nombres, de ces deux inconnues. La détermination de la position se fait toujours par rapport à des points fixes ou mobiles dont la position est bien connue : en vue de terre, par rapport à des amers fixes (phares, clochers, balises, caps, etc.) et, hors de vue de terre, par rapport aux astres (Soleil, Lune, planètes, étoiles). De même, les systèmes radioélectriques permettent un repérage par rapport à des émetteurs fixes (radiogoniométrie, consol, decca, loran, oméga) ou mobiles (satellites artificiels). Pour trouver ces deux inconnues, latitude et longitude, il est nécessaire de faire au moins deux mesures, de recueillir deux informations indépendantes l'une de l'autre, sinon le problème ne peut être complètement résolu.

Relever, au compas de relèvement, deux amers distincts est une méthode couramment pratiquée en navigation côtière pour déterminer la position.



Ces deux angles permettent de résoudre complètement le problème. Il est conseillé, lorsque cela est possible, de faire trois relèvements, mais cette mesure supplémentaire n'est destinée qu'à tester la précision du résultat : c'est le fameux chapeau qu'il est agréable de voir le plus petit possible. S'il n'y a qu'un amer en vue, le problème de la position ne peut être résolu de façon complète. Le navigateur sait seulement que la position de son bateau est sur une droite : il n'est pas perdu, mais il ne sait pas exactement où il est. Dans cette circonstance, un radar, par exemple, peut fournir une information supplémentaire : la distance du bateau à l'amer visé et, ainsi, lever l'indétermination que la seule mesure des relèvements laissait planer. Ces deux nombres, l'angle et la distance, sont nécessaires et suffisants pour que le navigateur puisse, dans ce cas, résoudre complètement le problème de sa position. Le radar n'a été mentionné ici que pour rendre concrète la nécessité de deux mesures, car cet appareil n'équipe qu'un très petit nombre de bateaux de plaisance. L'immense majorité des navigateurs amateurs n'a à sa disposition, d'un accès simple et économique, que des instruments de mesure d'angles : le compas de relèvement et le sextant.

Ces deux instruments ne sont pas de même qualité : le compas de relèvement a une précision de l'ordre du degré alors que le sextant mesure des angles à la minute de degré près, soit soixante fois mieux. Ils ne sont pas destinés aux mêmes usages.

### 3. Le repérage de la direction des astres

La position d'un point de la sphère terrestre est décrite par un couple d'angles : la latitude et la longitude. Les positions des astres sont repérées quasiment de la même façon. Ce n'est pas l'astre lui-même, évidemment hors d'atteinte, mais le point d'intersection de la surface de la Terre et de la droite qui joint le centre de la Terre au centre de l'astre qui est l'objet de soins de la part des astronomes. Pour le Soleil, par exemple, c'est la position d'un bâton tenu verticalement qui ne projette aucune ombre. Le Soleil est alors strictement à son zénith.

*« Sous le Soleil exactement*

*Pas à côté, pas n'importe où,*

*Sous le Soleil, sous le Soleil, exactement*

*Juste en dessous... »*

Comme dit la chanson...

L'expérience banale que l'on a de l'ombre d'un objet par rapport au Soleil peut être étendue sans peine à la Lune, surtout lorsqu'elle est pleine, mais perd toute son évidence dès qu'il s'agit d'autres planètes et, *a fortiori*, des étoiles dont la lumière qui nous parvient est infiniment faible. Mais il est intéressant, pour la commodité de l'exposé, de conserver cette appellation de **point sans ombre**, quel que soit l'astre observé (fig. 7).

Les latitude et longitude de ce point sans ombre sont respectivement appelées **déclinaison** et **angle horaire**.

Les points sans ombre des planètes, des étoiles, du Soleil, se déplacent en longitude au gré des heures, d'est en ouest, faisant un tour de la Terre en vingt-quatre heures environ.

La déclinaison des planètes est lentement variable. Pour le Soleil, le point sans ombre se déplace du tropique du Cancer (23°27' nord) le jour de l'été, au tropique du Capricorne (23°27' sud) le jour de l'hiver. Les déclinaisons des étoiles, par contre, sont pratiquement invariables.

Le mouvement du Soleil dans le ciel paraît quasi suspendu. Sur les cadrans solaires, l'ombre tourne très lentement. Les heures s'égrenent sans hâte. Cette sensation rend paradoxale la vitesse de déplacement du point sans ombre à la surface de notre globe. Sa vitesse, de l'est vers l'ouest, est légèrement supérieure à 1 500 km/h (il fait le tour de la Terre, environ 40 000 km, en vingt-quatre heures).

La vitesse de l'avion supersonique Concorde, voisine de 2000 km/h, est plus élevée que celle du point sans ombre du Soleil, ce qui a fait écrire aux journalistes en mal de sensationnel que ce cher avion allait plus vite que le Soleil.

La valeur élevée de cette vitesse (1 500 km/h, soit 420 m/sec), laisse entrevoir qu'il sera très important de connaître l'heure avec précision.

L'expression **angle horaire** donnée à la longitude d'un point sans ombre contient deux mots, et donc deux notions, deux informations :

- le mot **angle** rappelle tout simplement que la longitude est un angle ;
- l'adjectif **horaire** exprime que la valeur de cet angle dépend de l'heure, qu'elle est une fonction du temps.

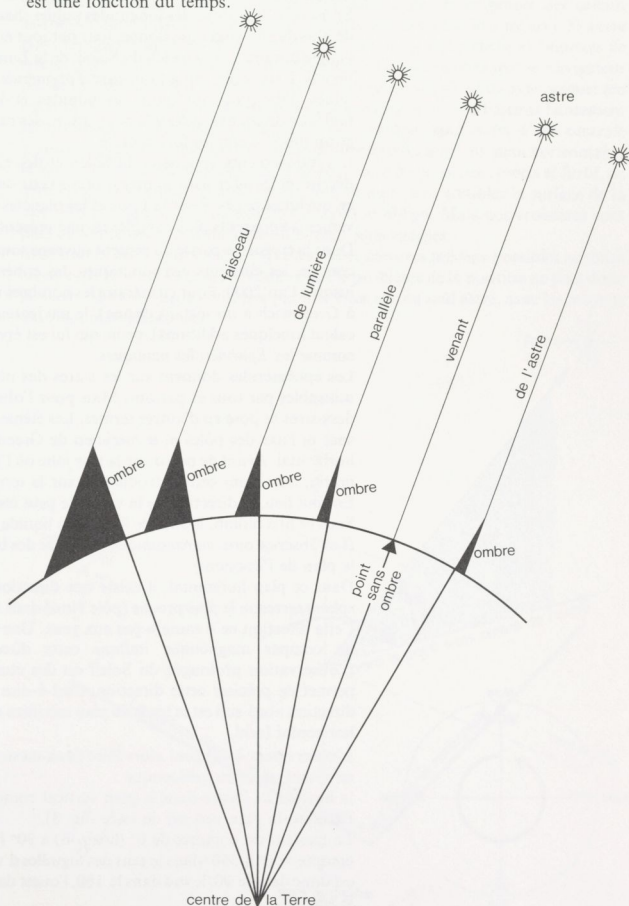


Fig. 7. Le point sans ombre.

Grâce à l'inimaginable quantité d'heures passées par des hommes, au cours des siècles, le nez dans les étoiles, grâce au génie des savants qui ont su découvrir petit à petit les lois qui gouvernent les révolutions silencieuses des planètes autour du Soleil, grâce aux progrès incessants de la technologie qui ont permis d'effectuer des mesures de plus en plus fines, grâce à l'élaboration d'outils mathématiques et à l'apparition d'ordinateurs qui ont augmenté la précision des calculs, l'astronome sait maintenant prévoir avec une très grande exactitude les mouvements apparents des corps célestes, en particulier de ceux qui peuvent rendre service aux marins. A cet usage, il a dressé des tables qui décrivent les positions de la Lune et du Soleil, des planètes et des étoiles, ce sont les **éphémérides**.

En France, le Bureau des longitudes publie chaque année un volumineux ouvrage de plus de 365 pages qui donne, jour par jour et heure par heure, la déclinaison et l'angle horaire à Greenwich du Soleil, de la Lune, des planètes visibles et du point vernal. L'ouvrage, qui a pour titre *Éphémérides nautiques*, contient, de plus, des tables d'interpolation (pour les minutes et les secondes de temps), d'autres tableaux de chiffres utiles à la navigation, des cartes du ciel, un catalogue d'étoiles et un mode d'emploi fort détaillé.

Les mouvements apparents du Soleil et des étoiles sont relativement simples à décrire, et les informations nécessaires à cette description peuvent être condensées en quelques pages. Pour la Lune et les planètes (Vénus, Jupiter, Mars) aux mouvements apparents plus complexes, une présentation réduite n'est guère possible. Dans la troisième partie du présent ouvrage sont donc rassemblés, sous une forme concise, les éléments astronomiques des éphémérides du Soleil et de 44 étoiles jusqu'à l'an 2000. Pour en extraire les nombres utiles (déclinaison et angle horaire à Greenwich à un instant donné), le navigateur doit fournir un petit travail de calcul (quelques additions), peine qui lui est épargnée dans les grands almanachs comme les *Éphémérides nautiques*.

Les éphémérides donnent sur les astres des informations à caractère universel, utilisables par tous et partout. Mais pour l'observateur individuel l'observation des astres se pose en d'autres termes. Les éléments de référence dont il dispose ne sont ni l'axe des pôles ni le méridien de Greenwich, mais la verticale et le plan horizontal. Avant de partir sur la mer jolie où l'un et l'autre sont instables pour le marin, terminons cette introduction sur la terre ferme.

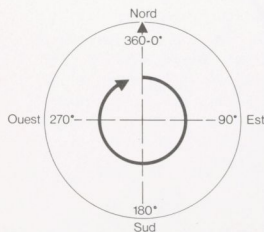
En tout lieu, la direction de la verticale peut être matérialisée par un fil à plomb. Sous ce fil à plomb, la surface libre d'un liquide au repos est plane et horizontale. (Les observatoires astronomiques utilisent des bains de mercure pour matérialiser le plan de l'horizon.)

Dans ce plan horizontal, il existe une direction privilégiée : celle du pôle de la sphère terrestre le plus proche (pôle Nord dans l'hémisphère Nord, par exemple). Cette direction ne « saute » pas aux yeux. Une boussole ou, en termes de marin, un compas magnétique indique cette direction à quelques degrés près. L'observation prolongée du Soleil ou des étoiles (Étoile polaire par exemple) permet de préciser cette direction, c'est-à-dire la ligne nord-sud du lieu. Cette direction nord-sud est la trace du plan méridien du lieu de l'observation sur le plan horizontal local.

L'observateur local peut alors faire deux mesures indépendantes l'une de l'autre en visant un astre quelconque :

la **hauteur** de l'astre dans le plan vertical contenant cet astre ;  
l'**azimut** du plan vertical de visée (fig. 8).

La hauteur est comptée de 0° (horizon) à 90° (verticale ou zénith). L'azimut est compté de 0° à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du nord. L'est est donc dans le 90, le sud dans le 180, l'ouest dans le 270 et le nord dans le 360 ou le zéro.





Les compas de route et de relèvement sont gradués de cette façon. Dans les observatoires, ces mesures sont faites à l'aide d'un théodolite, appareil que l'on rencontre quelquefois dans la rue manipulé par des géomètres en même temps que de longs bâtons rayés blanc et rouge. Cet appareil nécessite un support stable, car son plan de travail est rigoureusement horizontal et réglé par des niveaux à bulle.

Mais revenons à nos moutons : sur la mer, toutes ces conditions favorables ne sont pas réunies. Le marin ne dispose d'aucun plan horizontal stable. Il peut déterminer la direction du nord avec une précision suffisante pour la tenue du cap (environ un degré), mais beaucoup trop faible pour les exigences des calculs astronomiques (environ une minute d'angle, soit soixante fois mieux). D'autre part, lorsqu'un astre est bien haut dans le ciel, il est fort difficile et imprécis de relever son azimut au compas de relèvement. La seule chose que le navigateur puisse obtenir au prix d'un peu de gymnastique et de souplesse dans le poignet (en balançant le sextant), c'est la direction de la verticale. Certains bateaux hautement sophistiqués, les sous-marins nucléaires par exemple, sont dotés d'une centrale gyroscopique qui donne à tout instant la direction du nord, un plan horizontal et la verticale. Tout cela leur permet, d'un seul coup de périscope, précis et furtif, de déterminer la position complètement, jour et nuit, sans troubler la surface de la mer plus longtemps que nécessaire : discrétion oblige. Mais nos croisières sont plus débonnaires et nos moyens infiniment plus simples.

Bref, tout ce laïus pour conclure que les seules mesures précises possibles sont des mesures de hauteur faites au sextant et que le problème de la position ne peut donc pas être résolu de façon complète par une visée sur un seul astre, avec les moyens d'un honnête plaisancier.

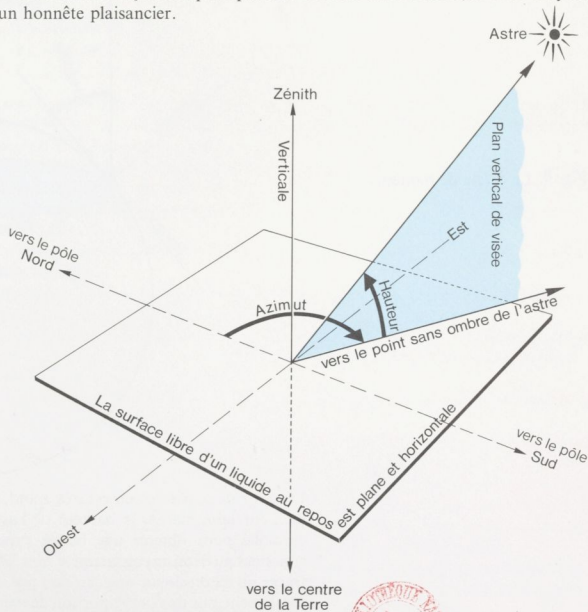


Fig. 8. Les coordonnées d'un astre : la hauteur et l'azimut.



# Table des matières

## I. Rappel des principes de la navigation astronomique /7

1. Quelques définitions/9
2. Le problème de la position/13
3. Le repérage de la direction des astres/14
4. La droite de hauteur/18
5. La droite de Sumner/19
6. La droite de Marcq de Saint-Hilaire/21
7. Le point astronomique/25
8. Les méthodes de calcul/26
9. Le sextant et les corrections/27
10. L'heure/29
11. Les formules des droites de hauteur/33

## II. Une nouvelle méthode/35

12. La méthode de calcul de la table LSD/37
13. La constitution de la table LSD/39
14. Exemple commenté d'utilisation de la table LSD/42

## III. Les tables de calcul/47

15. La table LSD/48
16. Table d'interpolation/120
17. Corrections de hauteur/122

## IV. Les éphémérides/123

18. Éphémérides du Soleil/125
19. Méridienne de Soleil/134
20. Éphémérides des étoiles/137
21. Cartes du ciel/163



Participant d'une démarche de transmission de fictions ou de savoirs rendus difficiles d'accès par le temps, cette édition numérique redonne vie à une œuvre existant jusqu'alors uniquement sur un support imprimé, conformément à la loi n° 2012-287 du 1<sup>er</sup> mars 2012 relative à l'exploitation des Livres Indisponibles du XX<sup>e</sup> siècle.

Cette édition numérique a été réalisée à partir d'un support physique parfois ancien conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal. Elle peut donc reproduire, au-delà du texte lui-même, des éléments propres à l'exemplaire qui a servi à la numérisation.

Cette édition numérique a été fabriquée par la société FeniXX au format PDF.

La couverture reproduit celle du livre original conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal.

\*

La société FeniXX diffuse cette édition numérique en accord avec l'éditeur du livre original, qui dispose d'une licence exclusive confiée par la Sofia – Société Française des Intérêts des Auteurs de l'Écrit – dans le cadre de la loi n° 2012-287 du 1<sup>er</sup> mars 2012.

Avec le soutien du

