

Olivier Le Diouris

Naviguer sans électricité



Tenue de l'estime
Calculs de navigation
Navigation côtière
Navigation au large
Navigation astronomique

*Il ne s'agit pas d'archéologie.
Ceci est une approche pragmatique.*

Pour Sky

Table

OBJECTIFS, EN GUISE DE PRÉFACE.....	7
Réhabiliter la navigation à l'estime.....	7
INSTRUMENTS.....	9
Loch.....	9
Compas.....	10
Cartes, rapporteurs, pointes sèches.....	11
Cartes.....	11
Rapporteurs et autres.....	11
Pointes sèches.....	12
Mesurer le temps.....	13
Renard.....	13
Livre de bord.....	14
Sextant.....	15
Tables, Abaques, Almanachs.....	17
Calculs infaisables à bord.....	18
Calculs faisables à bord.....	18
Une petite note : les règles à calcul.....	18
Papier, crayons, loupiotes.....	18
TENUE DE L'ESTIME.....	20
Explication des grandeurs entre le cap compas et la route fond.....	21
Déviation du Compas.....	21
Déclinaison Magnétique.....	22
Dérive.....	23
Courant.....	23
RECALER L'ESTIME.....	26
Point par relèvements.....	26
Alignements.....	27

Relèvement d'un seul amer.....	28
Point par lignes de sonde.....	29
Point par arcs capables.....	30
Point astronomique.....	32
Calculs de marée.....	32
Calcul de la hauteur d'eau.....	32
Prévisions météorologiques.....	34
NAVIGATION ASTRONOMIQUE.....	35
Point par hauteur méridienne.....	37
Latitude par hauteur méridienne, en théorie.....	38
Longitude par hauteur méridienne, en théorie.....	39
Latitude par hauteur méridienne, en pratique.....	40
Longitude par hauteur méridienne, en pratique.....	42
Point par droite(s) de hauteur.....	44
Principe.....	45
En pratique.....	51
Avec des tables de logarithmes.....	53
Avec des tables de navigation.....	71
HO.249, et les autres.....	82
Entorse : avec une calculette dédiée.....	83
Usage de l'informatique.....	83
Un commentaire.....	84
TECHNIQUES ET VIEILLES COMBINES.....	85
Latitude constante.....	85
Kamal.....	85
Distances Lunaires.....	86
APPENDICES.....	89
Résolution de triangles.....	90
Arcs capables.....	91

<u>Mercator et Latitude Croissante.....</u>	93
<u>Équation du temps.....</u>	95
<u>Utilisation simplifiée des tables de logarithmes.....</u>	97
<u>Tables de correction de la hauteur.....</u>	102
<u>Éphémérides des 8 et 9 octobre 2009.....</u>	103
<u>Tables de Dieumegard.....</u>	106
<u>Tables de Bataille.....</u>	106
<u>Liens.....</u>	106

Objectifs, en guise de préface

Il s'agit de pouvoir continuer à naviguer sereinement – à savoir où on est, à savoir où on va, et à savoir ce qu'il faut faire pour aller là où on veut aller – même quand les batteries sont à plat, et que les piles sont mortes.

Et ce même si il fait nuit, qu'on est au près, que la météo répète qu'il y a un avis de coup de vent (qu'on n'entend pas, puisque les piles sont mortes, disais-je), qu'il va bientôt neiger, et que tout le monde a la gerbe.

C'est de toute évidence de la pure fiction, mais on a le droit d'y croire, et on y croit !

Le monde a été découvert à la voile, sans électricité, les techniques à mettre en œuvre sont d'autant mieux connues qu'elles ont longtemps été les seules disponibles. Un des objectifs de ce document est aussi de les préserver, de ne pas les laisser s'oublier, de ne pas les perdre, ce serait vraiment trop bête.

D'autant que la sécurité en mer – comme ailleurs - échappe totalement à la mode et à l'actualité.

On évoquera ici des outils et les techniques qui permettent de les mettre en œuvre, tant en ce qui concerne leur utilisation que la façon d'exploiter les données qu'ils mesurent.

Par contre, on passera rapidement sur la façon d'utiliser un compas de relèvement, on ne parlera guère de la façon dont on se sert d'un sextant... ce document est plus un aide-mémoire quant à la manière d'effectuer les divers calculs qui découlent de l'utilisation des instruments de navigation.

***Ce document n'a pas la prétention d'être un cours de navigation.
C'est tout au plus un aide-mémoire.***

Réhabiliter la navigation à l'estime

Avant de disposer d'aides électroniques à la navigation, on naviguait à l'estime.

Le principe de la navigation à l'estime est le suivant :

On part d'un point connu, et on tâche de tenir compte de tous les facteurs qui déplacent le navire, comme sa vitesse et son cap, sa dérive, le courant, etc.

Ceci permet d'obtenir une position estimée à n'importe quel moment.

À chaque fois que c'est possible, on *recalé* son estime en faisant un *point*. En fonction de l'endroit où on se trouve, à savoir en vue ou hors de vue des côtes, les méthodes de point seront différentes, et évoquées plus avant dans ce document.

Pour faire court, la clef d'une estime correcte tient en deux points :

- La connaissance des facteurs qui déplacent le bateau.
- La qualité des points qu'on fait pour recaler l'estime.

Pour tenir son estime, il faut pouvoir :

- Mesurer la route (sa direction)
- Mesurer la distance parcourue

Pour mesurer la distance parcourue, on a longtemps mesuré la vitesse du bateau, et calculé la distance parcourue d'après le temps passé à une vitesse donnée, ce qui implique de pouvoir aussi mesurer le temps.

On verra – notamment dans la section dédiée à la navigation astronomique – que la mesure du temps est un problème critique et important, mais pas tant pour la tenue de l'estime, que pour la recaler.

On peut répartir les différents instruments de navigation en plusieurs catégories:

- Les cartes et les outils associés
 - cartes
 - canevas
 - rapporteurs
 - pointes sèches
- Les instruments nécessaires pour mesurer la route
 - compas de route
 - lochs
 - tables de courant et de marée
- Les instruments nécessaires pour mesurer le temps
 - sabliers
 - montres & chronomètres
- Les instruments nécessaires pour recaler l'estime
 - compas de relèvement
 - sextant
 - éphémérides, tables et abaques

Instruments

Rien de nouveau ici. Tous les instruments mentionnés ici sont connus depuis cent ans, voire davantage. Certains peuvent être construits avec les moyens du bord. D'autres non. Il demeure cependant probablement intéressant de mentionner de quels instruments il s'agit. Allons-y.

Loch

Loch à bateau, loch à poisson.

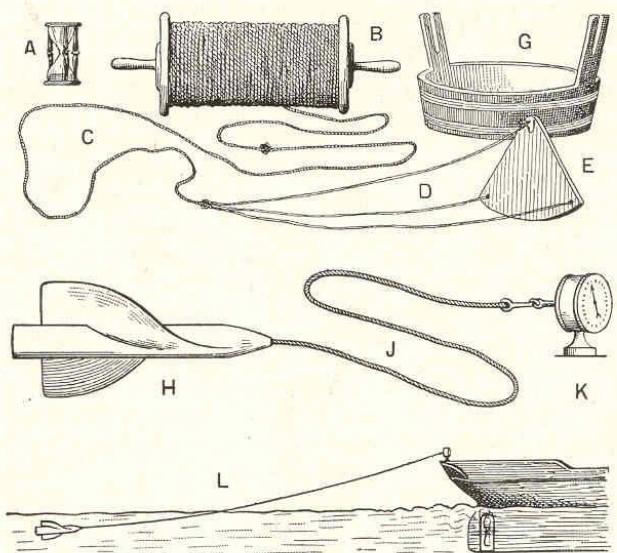
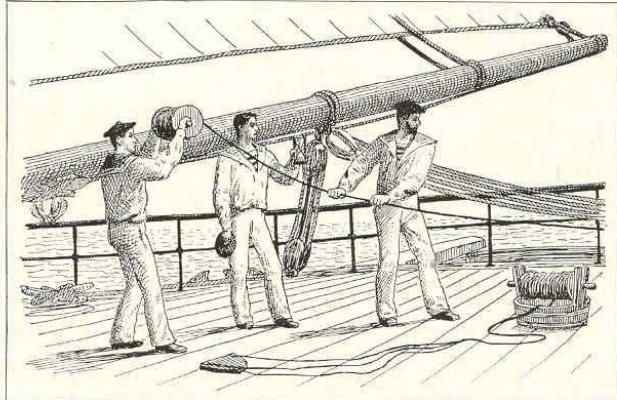


FIG. 294. — LOCHS.

En haut, timoniers filant le loch. (D'après MOREL-FATIO.)
A. ampoulette du loch à bateau; B, tour de loch ou touret;
C, ligne de loch; D, patte-d'oie; E, bateau de loch; G, baillie;
H, hélice du loch-compteur; J, ligne; K, compteur placé à bord;
L, installation du loch-compteur.

Le rôle du loch n'est pas tant d'évaluer la vitesse du bateau, que la distance qu'il a parcourue.

Étymologie du mot « loch ».

Voici une origine supposée – et plausible – du mot « loch », qu'on prononce « *lok* ». Il viendrait du mot anglais « *log* », qui signifie « bûche ». Le navigateur subtilisait une bûche à la cambuse, et la laissait tomber à l'étrave du bateau. Ensuite, marchant sur le pont vers l'arrière en suivant la bûche qui flotte le long du bord, et comptant les secondes en marchant (un..., deux..., trois...), il savait en arrivant à l'arrière le temps que la bûche avait mis à parcourir la longueur du bateau, qu'il connaissait. Une simple règle-de-trois permettait alors de connaître la vitesse du bateau, donnée essentielle à la tenue de l'estime. Cette donnée importante était consignée dans le « *Log Book* », ainsi qu'en nomme le Livre de Bord en anglais.

Le loch à bateau est une bûche, un peu plus élaborée. Il est fait essentiellement

d'une planche de bois – c'est elle le *bateau*, celle qu'on appelle le bateau du loch – à laquelle est amarrée une ligne par une patte d'oie, de façon à ce qu'elle flotte verticalement.

La ligne comporte des nœuds à intervalles réguliers de 15,43 mètres. Elle est en général enroulée sur un touret. Le principe de fonctionnement est le suivant : on mouille le loch en même temps qu'on retourne un sablier de 30 secondes, et on laisse filer la ligne de son touret jusqu'à ce que le sablier soit écoulé, après quoi on compte les nœuds qui sont passés à l'eau, et on remonte le tout à bord.

30 secondes constituent la 120^e partie d'une heure, 15,43 mètres la 120^e partie d'un mille marin.

C'est ainsi qu'on « file cinq nœuds et demi », et non pas qu'on « avance à cinq milles et demi à l'heure ».

On a tous déjà entendu « cinq nœuds à l'heure ». Pas de commentaire !

Le loch à poisson est un instrument mécanique, plus élaboré, qui présente cet avantage d'enregistrer la distance parcourue.

Compas

Probablement inventé en Chine. C'est ce que les terriens appellent une boussole. On utilise des compas de route, et des compas de relèvement.

Le compas de route est fixé au bateau, et posé dans l'axe de la « ligne de foi ».

Le compas de relèvement se tient à la main.

Les compas magnétiques sont basés sur le champ magnétique terrestre. Ils indiquent le nord¹ magnétique, qui se déplace avec le temps, et qui n'est pas situé au même endroit que le nord géographique, qui est celui des cartes.

Le cap compas fait l'objet de deux corrections pour restituer le cap vrai (cap géographique), celui qui s'exprime par rapport au nord de la carte. On verra à ce sujet la section Tenue de l'Estime, page 20.

Le compas de relèvement est utilisé pour connaître l'angle que fait un amer vu du bateau avec le nord magnétique. La correction de déviation n'est pas appliquée au compas de relèvement, on considère (parfois à tord) qu'il n'est pas sujet aux masses magnétiques qui engendrent la déviation appliquée au compas de route. Les bateaux – en général des navires – pour lesquels c'est faux utilisent plutôt un cercle de gisements. Le gisement est l'angle que fait un amer avec l'axe du bateau. On aura le relèvement de l'amer en faisant intervenir le cap du bateau, et les corrections (déclinaison et déviation) qui s'imposent.

Les compas gyroscopiques ne sont pas sujets à ce genre de phénomènes magnétiques, mais ils consomment beaucoup d'énergie.

Les compas étaient autrefois divisés en 32² parties égales appelées « quarts » ; ils sont maintenant gradués en degrés, de 0° à 360°, dans le sens des aiguilles

1 À l'inverse du compas chinois, qui indique le sud.

2 Le compas chinois est divisé en 24 parties.

d'une montre, le nord à 0°, l'est à 90°, le sud à 180° et l'ouest à 270°.

Cartes, rapporteurs, pointes sèches

Cartes

La carte est le plus important de tous les instruments de navigation.

De nombreux logiciels fournissent maintenant des cartes électroniques.

Les cartes en papier présentent cet inconvénient d'être chères et fragiles.

Elles présentent néanmoins l'avantage incontestable de ne jamais tomber en panne.

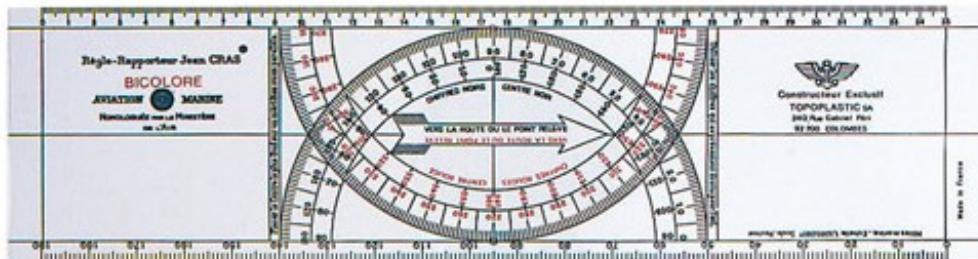
Rapporteurs et autres

Moyennant le fait qu'on sait ce qu'on veut mesurer en matière d'angle, le plus simple des rapporteurs sera suffisant, pourvu qu'il soit gradué en degrés. Certains, plus élaborés, seront plus pratiques. D'autres, plus sophistiqués, seront superflus.

Les Anglo-saxons utilisent des "règles parallèles", les autres des rapporteurs, plus ou moins élaborés. Il n'y a pas lieu de polémiquer, mais les règles parallèles sont faites comme si il était difficile de mesurer un angle avec un rapporteur...

De la même manière, parmi ceux qui utilisent des rapporteurs, on voit fréquemment surgir des multitudes d'accessoires alambiqués qui tournent, pivotent et galipettent, pour s'adresser à des utilisateurs qui ne savent pas ce que c'est que l'angle qu'ils mesurent.

Il **faut** savoir ce qu'on mesure, moyennant quoi - disais-je - un rapporteur est amplement suffisant. La "Règle de Cras" est son avatar le plus élaboré, et fournit toutes les fonctionnalités qu'on est en droit d'attendre d'un tel outil.



Les soi-disant recherches dans ce domaine sont vaines, la clef de voûte, c'est les compétences de l'utilisateur. Au lieu d'essayer d'inventer de nouveaux rapporteurs, il semble plus judicieux d'apprendre à se servir de ceux qui existent. Il ne s'agit **que** de mesurer des angles, en degrés, allant de zéro à trois cent soixante. Si on tient la carte³ correctement, le 0 et le 360 sont en haut, 90 à

³ Il y a des cartes pour lesquelles ce n'est pas vrai. Je sais.

droite, 180 en bas, et 270 à gauche.

Celui qui cherche à mesurer un angle qui part du bas à gauche de la carte et va vers le haut à droite, et qui trouve quelque chose comme 210 présente au moins une des pathologies suivantes:

- Il tient la carte à l'envers
- Il ne sait pas ce qu'il mesure
- Il ne sait pas ce qu'il fait

En plus, les règles parallèles esquinent les cartes, et sont moins précises que les rapporteurs.

Pointes sèches



Le compas à pointes sèches est utilisé pour reporter des distances, de la carte sur l'échelle des distances, et vice-versa. Il est bon de disposer d'un modèle manœuvrable d'un seule main, pour l'ouvrir comme pour le fermer.

À propos des distances, on utilise le mille marin parce qu'il est défini comme étant la représentation d'une minute d'arc prise au centre de la Terre, et projetée à sa surface (c'est donc en toute rigueur un angle, et non pas une distance⁴). Tous les méridiens ont la même longueur, à l'inverse des parallèles. On mesurera donc les distances sur les méridiens, à savoir sur les **côtés verticaux**⁵ de la carte.

En fonction de la projection utilisée sur la carte (Mercator, Lambert, Gnomonique, etc), les échelles diffèrent. Sur une carte Mercator – par exemple – l'unité de longitude se dilate avec la latitude. Plus la latitude est haute, plus la représentation d'un angle donné est grande, à tel point qu'elle est infinie au pôle. Il convient donc dans ce cas de se référer à l'échelle des distances à une latitude voisine de l'endroit où se trouve la distance à mesurer. Voir à ce sujet la section Mercator et Latitude Croissante, page 93.

Dans les films de sous-marins, là où les inondations déclenchent des incendies,

⁴ Et de fait, la longueur du mille marin varie, entre 1843 (à l'équateur) et 1862 mètres (au pôle), en fonction du diamètre de la Terre, qui n'est pas parfaitement sphérique.

⁵ Lorsqu'il s'agit d'une projection de Mercator, laquelle est orthogonale, à l'inverse des projections de Lambert, gnomoniques et autres.

on voit les navigateurs faire avec les pointes-sèches des figures qui s'apparentent au patinage artistique, je n'ai absolument aucune idée de ce qu'il peuvent bien faire...

Mesurer le temps

Sabliers, chronomètres, précision requise.

C'est le point le plus sensible au large, qui a de tout temps posé le plus gros problème ; lequel persiste dans notre cas, qui est de naviguer sans électricité.

En vue des côtes, un réveil ou une montre suffit. Il est nécessaire d'avoir l'heure pour consulter les tables de marée, et pour la tenue de l'estime. La précision de la minute – voire de quelques minutes – est suffisante, et on peut l'attendre de la montre qu'on utilise tous les jours.

Au large, on ne dispose que de l'estime et de la navigation astronomique pour avoir un point. La précision devient ici cruciale, **quatre secondes** d'erreur sur le chronomètre se traduisent par une erreur **d'une minute** de longitude (à savoir un mille à l'équateur). C'est énorme, et ça va vite.

Il existait jusqu'en 1907 (date à laquelle elles ont cessé d'être publiées) des tables permettant de recaler les chronomètres en mesurant – lorsque c'était possible – la distance lune-soleil avec le sextant. Ces tables ne sont plus publiées, mais les calculs qui permettent de les élaborer sont toujours connus⁶. C'est là que l'informatique peut s'avérer un outil précieux, on peut publier ces tables avant de partir, au même titre que les almanachs et éphémérides. On y reviendra plus en détail.

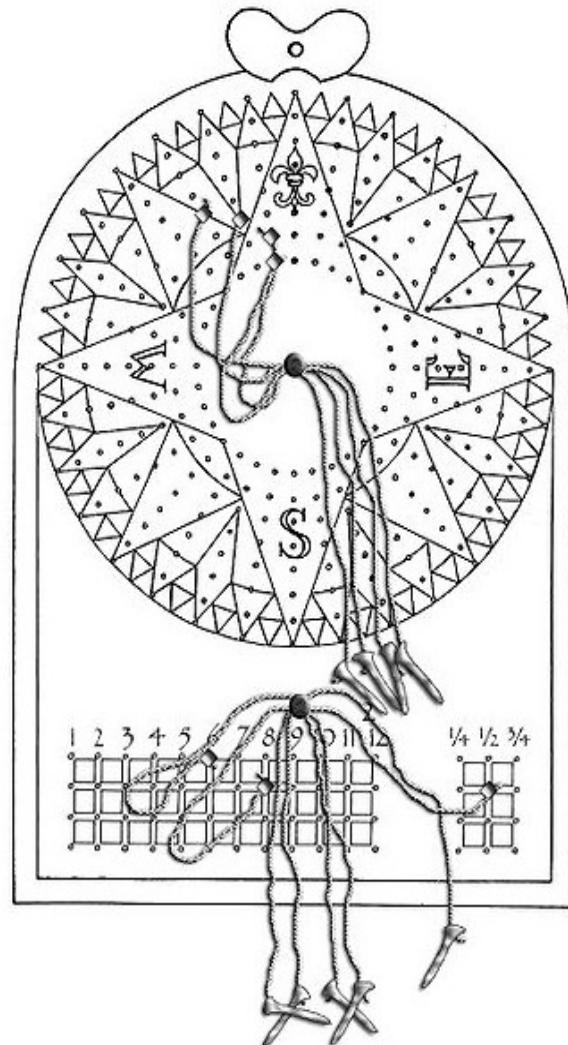
Renard

Le renard est un instrument en bois, utilisé pour la tenue de l'estime.

Sur la figure, on peut voir une rose de compas, divisée en trente-deux quarts (le quart est la trente-deuxième partie d'un cercle). Chaque quart est percé de huit trous, dans lesquels on peut ficher une cheville.

La partie inférieure du renard comporte un tableau, percé de trous pour les chevilles lui aussi.

⁶ Ah ben tant mieux !



Voici comment on s'en sert :

Au début de son quart de quatre heures, l'homme de barre s'assure que le renard est vide, toutes les chevilles ont été retirées par le navigateur, comme on le verra ensuite. Il dispose de huit ficelles, chacune d'elles a une cheville attachée à ses deux extrémités. Il regarde son cap, et connaît sa vitesse. Sur le cercle le plus à l'intérieur, il fiche une cheville dans le quart dans lequel il gouverne, et la cheville à l'autre extrémité de la ficelle va quant à elle dans le tableau du bas, pour indiquer la vitesse courante du navire.

Il procède de même toutes les demi-heures, son quart de quatre heures comportera huit demi-heures, utilisant à chaque fois un cercle plus éloigné du centre du renard que la fois précédente, la dernière cheville sera fichée sur le cercle le plus à l'extérieur de la rose du renard.

À la fin du quart, le navigateur vient consulter le renard, et connaît ainsi de demi-heure en demi-heure le cap et la vitesse du bateau durant les quatre dernières heures, qu'il consigne dans le livre de bord avant de retirer les chevilles du renard. La tenue de l'estime en découle naturellement.

Le temps était en général mesuré à l'aide d'un sablier (qu'on appelait souvent « ampoulette ») d'une demi-heure.

Ceux qui avaient envie d'écourter leur quart⁷ retournaient le sablier avant qu'il soit vide. Ils appelaient ça « manger du sable »...

Livre de bord

On y consigne tous les éléments nécessaires à la tenue de l'estime, ainsi que les éléments susceptibles d'interférer avec le comportement du navire et d'influer sur sa marche.

On y notera l'heure et la date, le cap (un seul cap suffit, les autres en découlent, ils seraient redondants), la valeur du loch (à défaut, la vitesse du bateau).

L'état de la mer va impacter la dérive, il sera noté aussi.

Dans la même veine, les conditions météorologiques vont influer sur la marche du bateau, il est opportun de noter la force et la direction du vent, la valeur indiquée par le baromètre, la visibilité, et le type de nuages observés. Ces informations météorologiques vont permettre le cas échéant d'anticiper le passage ou l'évolution d'une perturbation.

Le livre de bord doit contenir tout ce qui peut permettre de retracer la route du bateau depuis son point de départ.

Pour s'acquitter de cette fonction, le plus simple des cahiers suffit amplement.

La tenue du livre de bord va de paire avec le tracé de la route sur la carte, où les points seront portés, assortis de l'heure, et le cas échéant de la valeur du loch.

⁷ Ce « quart »-là fait quatre heures... Ah c'est pratique !

Sextant

Indispensable au large.

Très utile près des côtes. Dans ce cas, il faut aussi disposer d'un compas (compas-crayon) pour tracer des cercles, on y reviendra quand on parlera d'arcs capables.

Le sextant sert – lui aussi – à mesurer des angles. Il peut le faire avec une précision de l'ordre de la minute d'arc, ce qui est très fin. Le sextant est un instrument de précision avec lequel il faut être soigneux.

Hors de vue des côtes, il sera utilisé pour observer des astres (soleil, lune, planètes, étoiles). On observe en fait dans ce cas l'angle que fait un astre avec l'horizon⁸. Cette donnée est un des paramètres des calculs de la navigation astronomique, évoquée plus loin. La mesure doit être effectuée avec une précision de l'ordre de la minute d'arc, une erreur d'une minute d'arc a pour conséquence une erreur d'un mille sur la carte, puisque c'est la définition du mille marin, et que c'est pour ça qu'on l'utilise. C'est une minute d'arc au centre de la terre, projetée à sa surface⁹.

Pour avoir un ordre de grandeur de la précision requise, si on tend son bras devant soi :

- Entre l'extrémité du pouce et l'extrémité du petit doigt de la main ouverte, il y a environ 18°
- Le poing fermé occupe environ 10°
- Trois doigts (index, majeur, annulaire) environ 4°
- L'extrémité de l'index 1¼°
- L'extrémité du petit doigt 1°

Et une minute d'arc, c'est à peu près l'épaisseur d'un cheveu à bout de bras...

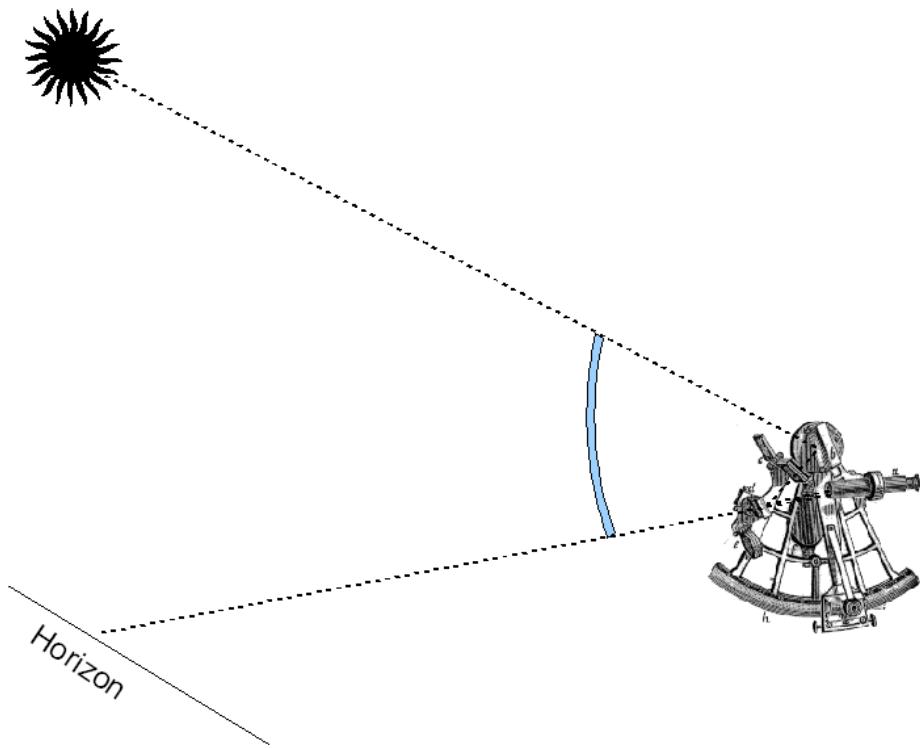
Près des côtes, on tiendra le sextant horizontalement pour mesurer l'angle apparent entre deux amers. C'est très facile, et très précis, une précision de l'ordre du degré est suffisante lors de la mesure.

Voir à ce sujet l'appendice Arcs capables, page 91.

Le sextant utilise un jeu de deux miroirs pour déterminer l'angle entre deux directions, typiquement l'angle entre la direction dans laquelle on voit un astre, et la direction dans laquelle on voit l'horizon.

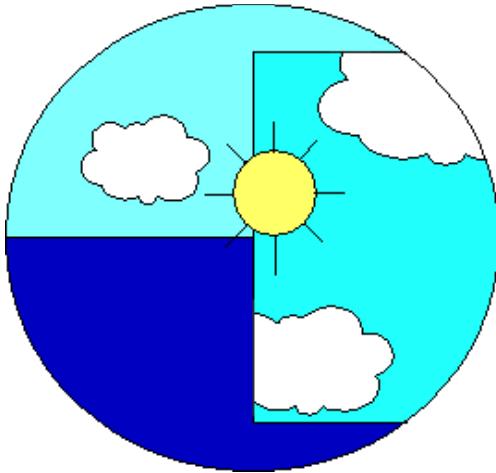
⁸ Ispo-facto, pour utiliser le sextant dans ces conditions, il faut voir l'astre, et l'horizon. Ça a l'air idiot, mais la nuit, on peut voir plein d'astres, mais pas toujours l'horizon de manière assez nette.

⁹ On répète : Le mille est donc un angle, pas une distance. En fonction du diamètre de la Terre – qui n'est pas constant – sa longueur varie entre 1851 et 1853 mètres.



Le fait qu'on utilise un miroir pour amener l'image du soleil sur l'horizon a pour effet de doubler l'angle de l'alidade (partie mobile du sextant, sur laquelle est fixé le grand miroir). Ainsi, pour une hauteur de 90° , l'alidade fera avec sa position originale (0°) un angle de 45° , soit la huitième partie d'un cercle. On s'est longtemps contenté d'octants. Le sextant représente la sixième partie d'un cercle, soit 60° , on peut ainsi mesurer des angles de 0 à 120 degrés. Bien évidemment, ceci est superflu pour les hauteurs (au dessus de 90° , retournez-vous, vous avez l'astre dans le dos, andouille), mais ça peut être utile pour les arcs capables, et pour mesurer des distances lune-soleil.

Voilà ce qu'on voit dans la lunette du sextant, à gauche l'horizon, à droite le miroir :



On peut utiliser le sextant pour observer des amers. Par exemple, en vue de cette côte :



(C) 2000 David Flater. <http://www.flaterco.com/>

On peut utiliser le sextant horizontalement, pour mesurer l'angle entre la balise visible à droite, et le phare :



On utilisera cette technique dans le cas du point par arcs capables.

Tables, Abaques, Almanachs

Nous parlons ici des documents qu'occultent les outils électroniques et informatiques.

Les tables et les abaques servent à minimiser le nombre des étapes d'un calcul, les almanachs à en fournir les paramètres. Les tables et abaques sont des documents permanents, les éphémérides et almanachs sont datés, et donc périssables, ces derniers sont en général publiés tous les ans.

Tous sont conçus pour que les calculs auxquels ils participent puissent être faits à la main, avec un papier et un crayon.

Calculs infaisables à bord

Éphémérides et almanachs. Pas à la main, les calculs sont énormes, tant pour les tables de marée que pour les éphémérides astronomiques.

C'est là qu'on reparle d'informatique. Il est simple de confier ce genre de calculs à un ordinateur, de façon à calculer publier ces almanachs à terre, avant de partir.

Calculs faisables à bord

Tout le reste¹⁰.

On verra dans les sections suivantes les différents calculs à entreprendre. Les plus complexes sont ceux destinés à la navigation astronomique. On verra qu'ils sont faisables de différentes façons, et qu'il existe des manières de se simplifier la vie à leur égard.

Une petite note : les règles à calcul

Avant que les calculettes ne se démocratisent – et aussi avant qu'elles existent – on utilisait des règles à calcul ; j'en ai gardé une de mes brillantes études supérieures, la « Graphoplex trilog 640 », une merveille, un monument...

Il en existe de nombreux modèles. Le plus simple suffit, et peut être fort utile à bord, pour les extrapolations à pratiquer lors des calculs de navigation astronomique, ou tout simplement pour les calculs de marée. Avec un peu de pratique, on extrapole en deux coups de pouce (littéralement), et la précision qu'elle fournissent est tout à fait adaptée aux calculs qui nous concernent. Leur maniement s'apprend aisément, et leur utilisation requiert une connaissance des ordres de grandeurs qu'on manipule, ce qui est toujours une bonne chose, entre autres et en particulier dans le cas qui nous occupe.

Papier, crayons, loupiotes...

Pas de feutre, pas de stylo plume, ça bave dès qu'il fait humide, et à la stupéfaction générale, ça arrive.

On écrit dans le livre de bord au stylo à bille, pour ne pas que ça s'efface.

On écrit sur les cartes au crayon à papier, il faut aussi une bonne gomme, qui n'efface que le crayon.

Il faut en général planquer ses crayons, il y a toujours un membre de l'équipage qui en a besoin, qui vous piquera le vôtre, et qui oubliera de le remettre à sa place.

Il existe différents modèles de lampes de table à cartes, avec ou sans rhéostat, avec ou sans filtre rouge, sensé diminuer l'éblouissement consécutif à l'exposition à la lumière blanche, la nuit. Je n'ai encore jamais eu l'occasion de constater que

10 Ça tombe bien.

ce genre de dispositif avait une influence quelconque sur ma vision,... mais ces filtres présentent cependant l'avantage de moins éblouir ceux qui essaieraient de dormir à proximité de la table à cartes.

Les lampes que je préfère pour l'heure sont les lampes frontales, en général disponibles dans la section « camping » de votre magasin de jouets favori. Elles sont également très efficaces dehors, où elles permettent de se passer des projecteurs de pont qui ont ce déplorable effet collatéral de mettre les batteries à plat en moins de temps qu'il n'en faut à un bêgue pour réciter le Code Civil. Ce qui nous concerne d'autant plus que – je le rappelle – l'objectif est ici de naviguer sans électricité.

Les piles de la lampe frontale constituent une source d'électricité. Si on tient absolument à naviguer sans électricité, ce qui – ne le dites à personne – tutoie l'intégrisme, on n'aura qu'à se démerder avec une lampe à pétrole, et tant pis pour celui qui dort.

À ce sujet, le petit fanal, conçu pour être spécialement faible, destiné à éclairer la rose du compas de route sans éblouir le barreur, s'appelait le **falot**. Ce qui a donné lieu à ce qu'on appelle une « lumière falote »...

Tenue de l'Estime

L'estime se tient à l'aide du livre de bord, et de la (ou des) carte(s).

Dans le livre de bord, on consigne à intervalles réguliers, et à chaque fois que c'est nécessaire, l'heure et la date, le cap du bateau, et la valeur du loch (à défaut, la vitesse du bateau). Avec ces éléments, on est capable – ne serait-ce que graphiquement – de retracer le parcours du bateau ; et moyennant le fait qu'on sait d'où on est parti – ce qui est en général le cas, on peut savoir où on est.

La phrase qui précède est un résumé de la réalité. En effet, le cap du bateau ne suffit pas. Ce qu'il importe de connaître est en fait la Route Fond (Rf), celle qu'on suit sur la carte.

- Le cap dont on dispose à bord est le Cap Compas.
- Entre le Cap Compas et le Cap Magnétique intervient la Déviation du compas notée **d**.
- Entre le Cap Magnétique et le Cap Vrai intervient la Déclinaison, notée **D**.
 - La somme de la Déviation et de la Déclinaison s'appelle la Variation, notée **W**.
- Entre le Cap Vrai et la Route Surface intervient la dérive.
- Entre la Route Surface et la Route Fond intervient le courant.

Le but premier du livre de bord est simple : il est là pour tenir l'estime.

En supplément, il permet de noter des phénomènes météorologiques susceptibles d'interférer avec la conduite du navire (le baromètre s'est pris une baffe de 10 mb durant la dernière heure, le ciel bleu est devenu un tapis de stratus, le vent vire à l'ouest, une houle d'ouest persiste et augmente, etc...). Encore une fois, moyennant le fait qu'on sait à quoi sert un livre de bord, un simple cahier fait *parfaitemen*t l'affaire, à l'inverse de ces publications qui y casent des rubriques comme « Achats à effectuer à la prochaine escale », dont l'aspect indispensable à la tenue de l'estime peut ne pas paraître évident à tout le monde. Ce qu'on écrit dans le livre de bord n'est pas ce qu'on griffonne sur un post-it. Il convient dans ce cas de rédiger plusieurs documents distincts.

Il y a à peu près autant de manières de tenir le livre de bord que de navigateurs... C'est un domaine où s'expriment des convictions d'un ordre quasiment religieux, parfois difficiles à faire remettre en question !

Je note en général dans le livre de bord les données suivantes :

Heure, Cap, Loch, Vent (force et direction), Mer, Visi, Baro, Nuages.

Heure, Cap et Loch sont des données directement utilisées pour la tenue de

l'estime. Le vent et l'état de la mer induisent la valeur de la dérive, nécessaire pour corriger un cap.

L'heure est l'heure locale ou UT, il suffit de savoir quelle référence on utilise. Ça a une importance particulière lorsqu'on doit se reporter à des almanachs (de marée, ou astronomiques).

Le Cap est en général le Cap vrai, dont on saura déduire les caps magnétique et compas. Mais l'inverse est vrai également. On peut noter le cap compas, dont on saura déduire le cap vrai.

Le loch, c'est quand on a un loch enregistreur. Sinon, on notera la vitesse.

Les données qui suivent servent à anticiper les changements de temps.

Vent (force et direction), Mer (état de la mer : calme, belle, peu agitée, agitée, grosse, forte, énorme...) Visibilité (analogique à l'humidité relative), Baromètre, Nuages (en octas, et genre : 1/8 Cu – un huitième de cumulus, 2/8 CiSt – deux huitièmes de Cirro-Stratus, 8/8 St – il fait pas beau, etc).

On note que la position du bateau ne fait pas nécessairement partie des données consignées dans les colonnes du livre de bord. C'est le genre de données qui sont obligatoirement portées sur la carte, laquelle doit être mise à jour en parallèle avec le livre de bord. Le fait de noter la position dans le livre de bord ne nuit certainement pas, mais c'est redondant.

En regard de la page (à gauche) où sont notées ces données, je laisse une page blanche (à droite), disponible pour toute note complémentaire, ou qui peut apporter quoi que ce soit à la tenue de l'estime (...comme les heures de marée, la position du bateau, tiens donc !).

Explication des grandeurs entre le cap compas et la route fond

Déviation du Compas

La déviation est une grandeur corrélée au bateau. Elle dépend des masses magnétiques¹¹ présentes à bord, et qui interagissent avec le compas. Il faut une courbe de déviation par compas. Si on a deux compas, il faut avoir deux courbes.

Sur un bateau en plastique ou en bois, la déviation est souvent de l'ordre de quelques degrés, d'un bord ou de l'autre. *Un haut-parleur peut cependant lui faire faire des bonds de plusieurs dizaines de degrés.* Sans blague.

Un bateau en acier – ou pire encore, en ferro-ciment – peut donner lieu à des déviations qui vont jusqu'à 50 degrés, d'un bord **et** de l'autre.

¹¹On dit bien magnétique, et pas métallique. Magnétique, c'est ce qui fait réagir un aimant. L'aluminium – par exemple – est métallique, il n'est pas magnétique.

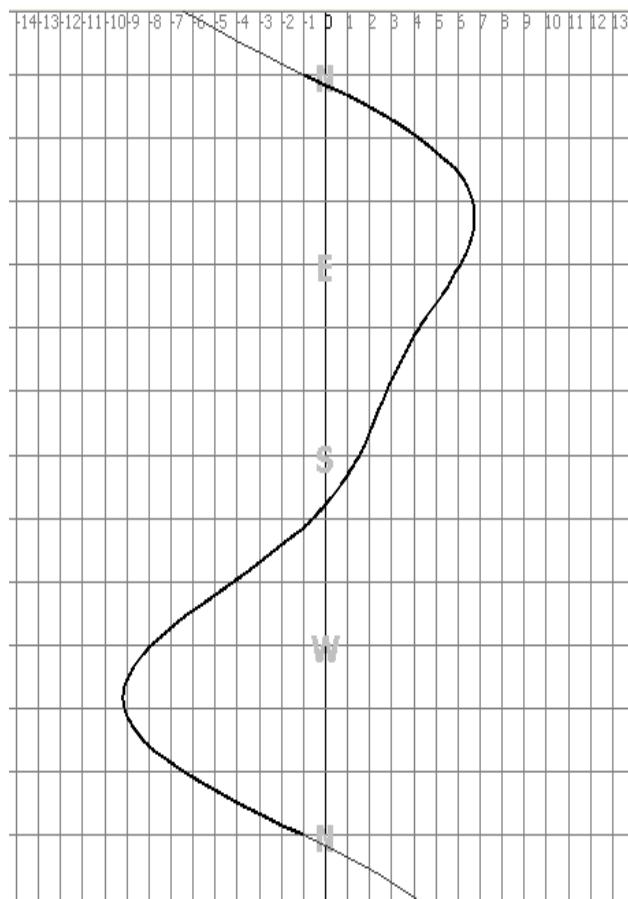
C'est une grandeur à ne pas négliger.

On peut considérer que les courbes de déviation ont une équation générique de la forme suivante:

$$d = a + (b * \cos(R)) + (c * \cos(R)) + (d * \sin(2R)) + (e * \cos(2R))$$

où d représente la déviation pour R , qui est le cap compas.

Si on peut enregistrer les données émises par une station NMEA (dans un endroit abrité, sans courant et sans dérive, mesurer la différence entre HDG ou HDM et COG. RMC donne la déclinaison magnétique, en général) à l'aide d'un ordinateur (ou d'un accessoire dédié), il est très facile d'obtenir les coefficients a , b , c , d et e par la méthode des moindres carrés.



Déclinaison Magnétique

La déclinaison magnétique est une grandeur propre à un lieu, à une date donnée. Elle est donnée par les cartes marines. En Bretagne, elle est en ce moment (A.D. 2009) de l'ordre de 3°W . Vers Terre-Neuve, elle peut atteindre 40°W . À San Francisco, elle est de 15°E .

Elle aussi, est à ne pas négliger. Si on part de San Francisco avec la Déclinaison

de Terre-Neuve, on n'est pas forcément sûr du patois à utiliser à l'arrivée. Ça peut froisser des douaniers susceptibles...

Dérive

La dérive est engendrée par les conditions extérieures, le vent, les vagues (voire par le barreur, qui fait son boulot comme un cochon – c'est loin d'être exceptionnel). Un petit voilier y sera bien évidemment plus sensible qu'un supertanker. Au près dans de la mer, une dérive de l'ordre de 10 degrés n'est pas exceptionnelle. La dérive est positive lorsqu'elle porte à tribord, négative lorsqu'elle porte à bâbord.

Courant

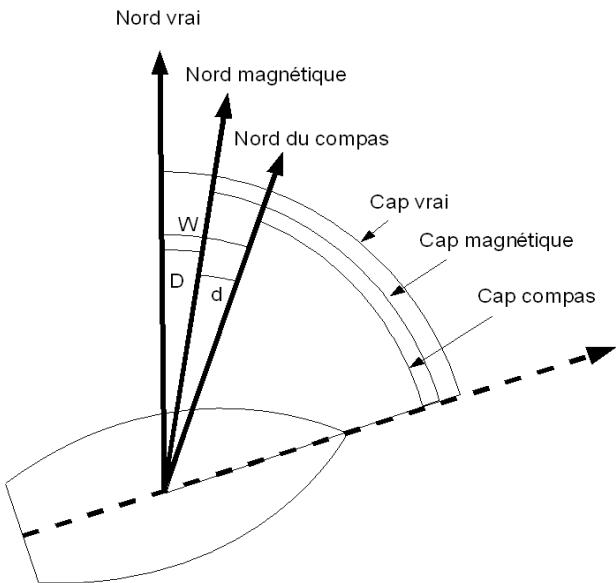
Le courant peut avoir plusieurs origines.

Le vent, la marée, des courants océaniques. Ces trois-là étant combinables à merci.

Les courants de marée sont donnés dans des tables et les atlas.

Les courants océaniques – comme le Gulf Stream – ont leur vitesse et direction données par certaines cartes (comme les Pilot Charts), et d'autres documents (Instructions Nautiques, Coast Pilots, etc).

Le courant généré par le vent est déterminé par le pifomètre du navigateur ! Lequel peut être avantageusement assisté par l'estime tenue dans les heures précédentes.

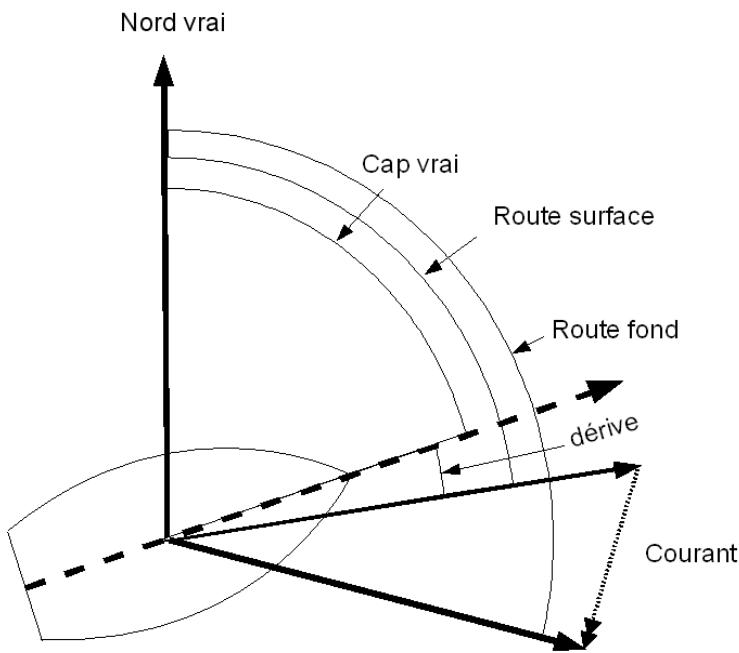


Dans l'illustration ci-dessus, les trois différents caps sont représentés. Cap Compas (Cc), Cap Magnétique (Cm), Cap Vrai (Cv). Il s'agit d'additionner des angles.

On rappelle que les angles portés vers l'est sont positifs, et sont négatifs lorsqu'ils vont vers l'ouest.

De même, les angles ont une valeur positive dans le sens des aiguilles d'une montre (vers la droite), et négative dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (vers la gauche)¹².

Un coup d'œil sur la rose du compas convaincra les plus sceptiques.



La figure précédente illustre les relations entre Cap Vrai (Cv), Route Surface (Rs) et Route Fond (Rf). On y voit que la dérive est un angle, qui s'ajoute au Cap Vrai pour obtenir la Route Surface. Tandis que le courant est un vecteur (caractérisé par une vitesse et une direction), qui s'ajoute (somme vectorielle) au vecteur Route Surface, caractérisé lui aussi par une vitesse et une direction. En général, on se contente largement d'une résolution graphique – effectuée sur la carte – pour cette somme de vecteurs.

L'opération qui consiste à partir du cap compas pour en déduire la route fond s'appelle « Corriger un cap ».

L'opération inverse, qui consiste à donner au barreur le cap à suivre pour maintenir une route donnée s'appelle « Faire valoir la route ».

Pour résumer:

12...À l'inverse de la pratique couramment répandue en trigonométrie, où c'est le contraire.

On dispose du Cap Compas. On veut la Route Fond.

On obtient le Cap Vrai en ajoutant la variation (W) au Cap Compas (Cc).

La variation (W) est la somme algébrique de la déclinaison (D) et de la déviation (d).

La Route Surface (Rs) est la somme algébrique du Cap Vrai (Cv) et de la dérive.

La Route Fond (Rf) est la somme (vectorielle) du vecteur Route Surface (Rs) et du vecteur courant.

$$Cv = Cc + W, \text{ où } W=D+d$$

$$Rs = Cv + \text{dérive}$$

$$Rf = Rs + \text{Courant (vecteurs)}$$

La déclinaison (D) figure sur les cartes.

La déviation (d) provient de la courbe de déviation du compas (*propre au compas, et au bateau*).

La dérive est estimée par le navigateur en fonction des conditions de vent et de mer.

Le courant (direction et vitesse) provient des tables de courant, ou des cartes, ou de ce que le navigateur a su déduire des heures précédentes.

Recaler l'estime

Pour recaler l'estime, on fait le point. En fonction de l'endroit où on est, des informations dont on dispose, les techniques de points sont différentes.

Un point important :

Toutes les techniques de point non-électroniques requièrent une compétence qui fait en majeure partie appel au sens de l'équilibre de l'opérateur. Il s'agit de mesurer un angle précis – haute précision, aussi haute que possible – alors qu'on est en équilibre (dans le meilleur des cas) sur un pont animé de mouvements permanents et potentiellement imprévisibles. L'idéal est de ne bouger ni les mains ni la tête, alors que les jambes se chargent précisément d'encaisser les mouvements du pont, afin de ne pas les transmettre au reste.

C'est un exercice voisin de la bicyclette. Le sens de l'équilibre y est indispensable, ça ne s'apprend *en aucun cas* dans un livre ; mais lorsqu'on y arrive, voilà bien une compétence acquise pour de bon.

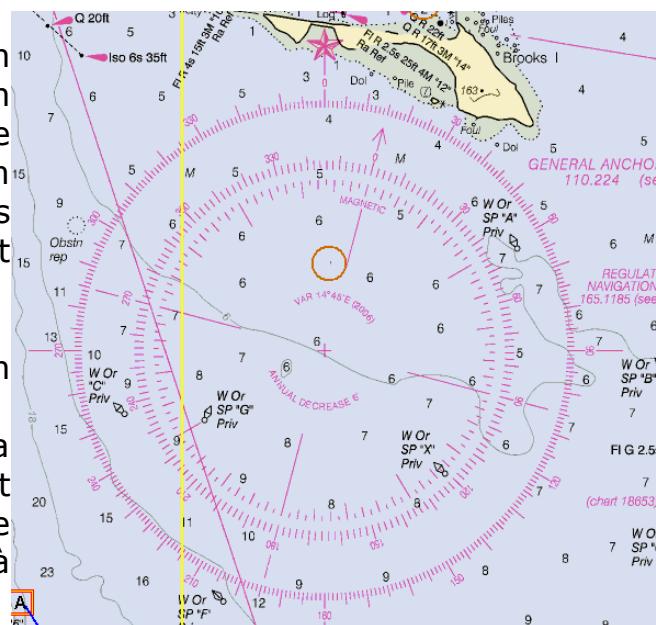
Point par relèvements

S'effectue en vue des côtes, à l'aide d'un compas de relèvement. Il est bon de disposer d'au moins trois amers, idéalement espacés l'un de l'autre d'environ 120 degrés...

On relève les amers au compas, on corrige ce relèvement compas pour en déduire le relèvement vrai, qu'on porte sur la carte. Si l'observateur a fait un bon travail, on obtient à l'intersection des relèvements un petit triangle, qui contient la position du bateau.

On estime d'abord la Déclinaison magnétique :

On voit sur la carte (voir la figure) que la Déclinaison était de $14^{\circ}45'$ E en 2006, et qu'elle diminue de $6'$ par an. En 2009, elle a donc diminué de $18'$, ce qui la ramène à $14^{\circ}27'E$, qu'on arrondira à $14^{\circ}E$.



On effectue ensuite trois relèvements, à l'aide du compas de relèvements.

On observe :

Point Blunt dans le 251° compas.

Little Alcatraz dans le 216° compas.

La tombée de Treasure Island dans le 134° compas.

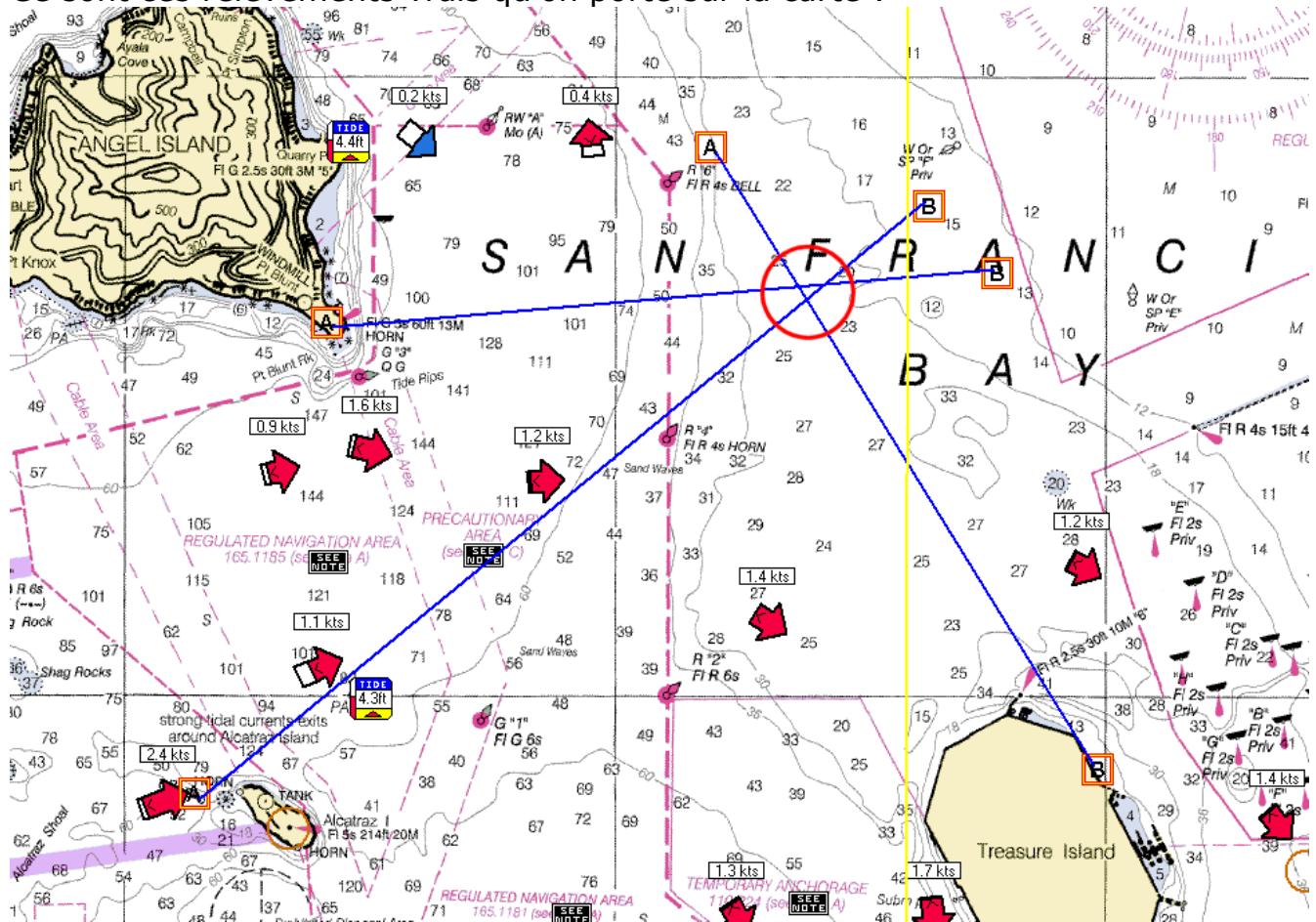
On corrige ces relèvements compas :

Point Blunt : 265° vrai.

Little Alcatraz : 230° vrai.

Tombée de Treasure Island : 148° vrai.

Ce sont ces relèvements vrais qu'on porte sur la carte :



Le point ci-dessus est tout à fait correct. Le bateau se situe – estime-t-on – dans le triangle formé par l'intersection des relèvements. On notera également *sur la carte* l'heure du point, et la valeur du loch à ce moment-là.

Alignements

Il existe une espèce particulière de relèvements, qu'on appelle des alignements.

Un alignement s'obtient lorsqu'on voit un amer *par* un autre. Comme « Le clocher par la balise », « la pointe par le château d'eau », etc. L'alignement présente sur le relèvement deux avantages incontestables et énormes :

- Il est infaillible (quand on voit l'alignement, c'est bon, il n'y a aucun doute ou imprécision possible).

- Il ne fait l'objet d'aucune correction (pour la bonne raison qui ne fait l'objet d'aucune mesure ! On trace sur la carte le trait qui passe par les deux amers, et l'affaire est dans le sac).

En général, quand on est sur le point d'avoir un alignement, on attend de l'avoir, et on l'assortit le moment venu de deux relèvements. On obtient ainsi un point de meilleure qualité, puisqu'on est certain de l'alignement.

Relèvement d'un seul amer

C'est la technique qu'on utilisera lorsque les trois amers nécessaires pour le point évoqué dans la section précédente ne sont pas disponibles.

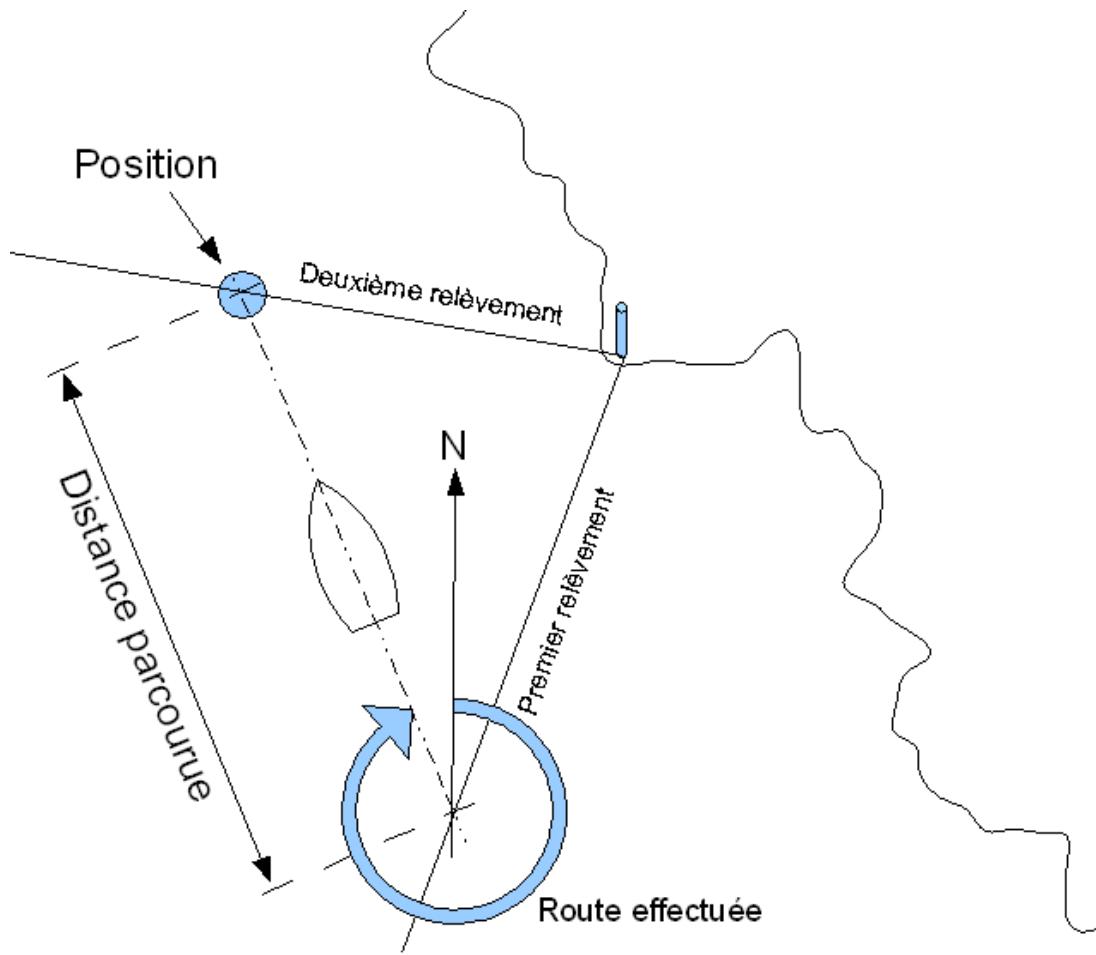
S'effectue en vue des côtes, et fait intervenir le compas de relèvements, la route suivie (route fond), et distance parcourue. Il faut un loch fiable.

Si on ne dispose que d'un amer, on est fait un relèvement, qu'on porte sur la carte (relèvement vrai bien sûr). On note soigneusement le cap et la valeur du loch. Plus tard, on effectue un nouveau relèvement du même amer, en même temps qu'on note la nouvelle valeur du loch.

On porte le nouveau relèvement sur la carte.

On évalue ensuite la distance parcourue entre les deux relèvements, ainsi que la route fond suivie pendant ce temps. Si nécessaire, on corrige cette donnée, en fonction du courant potentiellement subi.

À l'aide de la règle de Cras et du compas à pointes sèches, on case cette distance, sur cette route, entre les deux relèvements.



On se trouve alors à l'intersection de la route ainsi tracée et du deuxième relèvement.

Toute la difficulté de cette méthode réside dans l'évaluation de la route et de la distance parcourue. Le courant et la dérive sont des paramètres fort susceptibles de générer des erreurs.

Point par lignes de sonde

Faut vraiment être perdu..., cette technique n'est pas précise. Mais elle peut néanmoins servir à confirmer ou recaler une estime, ce qui est toujours bienvenu. Cette méthode est particulièrement bienvenue lors d'un atterrissage, après une traversée. La remontée du fond va permettre de savoir à quel moment on aborde le plateau continental. Si la sonde est une sonde à main, il faut avoir quelqu'un dédié à cette fonction ; si on sonde des fonds de plus de 20 mètres, c'est un travail à plein temps !

Néanmoins, cette méthode de point était couramment employée lors des atterrissages. En effet, la navigation astronomique n'ayant pas toujours la précision requise pour enchaîner la navigation au large et la navigation côtière – plus exigeante, précise et difficile, contrairement à ce que croient beaucoup de

gens – le point par lignes de sonde – ou au moins une vigilance renforcée à l'égard des sondes – permettaient de recaler l'estime élaborée à l'aide des méthodes de navigation astronomique. Quand bien même sa précision pourrait faire l'objet de certains reproches, dans un contexte adapté, cette méthode prend tout son sens.

Point par arcs capables

Le plus précis de tous, de loin !

Il s'effectue en vue des côtes, et fait intervenir un sextant tenu horizontalement. Voir à ce sujet l'appendice Arcs capables, page 91. En plus d'être le plus précis, il est aussi facile à mettre en œuvre.

Voici pourquoi ce point est plus précis que le point par relèvements :

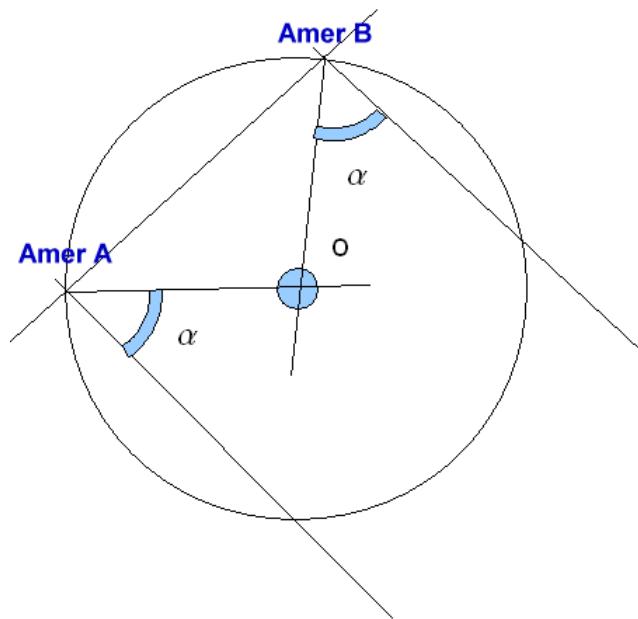
Lorsqu'on fait un point par relèvements, il faut stabiliser la rose du compas, ce qui constitue la principale difficulté de cette technique.

Lorsqu'on fait un point par arcs capables, on utilise le sextant tenu horizontalement. Le sextant s'utilise en navigation astronomique pour abaisser un astre sur l'horizon, en d'autres termes, pour obtenir l'angle que fait un astre avec l'horizon. En tenant le sextant horizontalement, on mesure l'angle que fait un amer avec un autre¹³. Dès qu'on a réussi à aligner les deux amers, la mesure est effectuée, il n'y a pas à attendre que quoi que ce soit se stabilise.

Il s'agit dans ce cas de mesurer l'angle entre deux amers – avec le sextant tenu horizontalement – et de tracer ensuite sur la carte le cercle dont tous les points voient ces deux amers sous le même angle. Voici comment on procède :

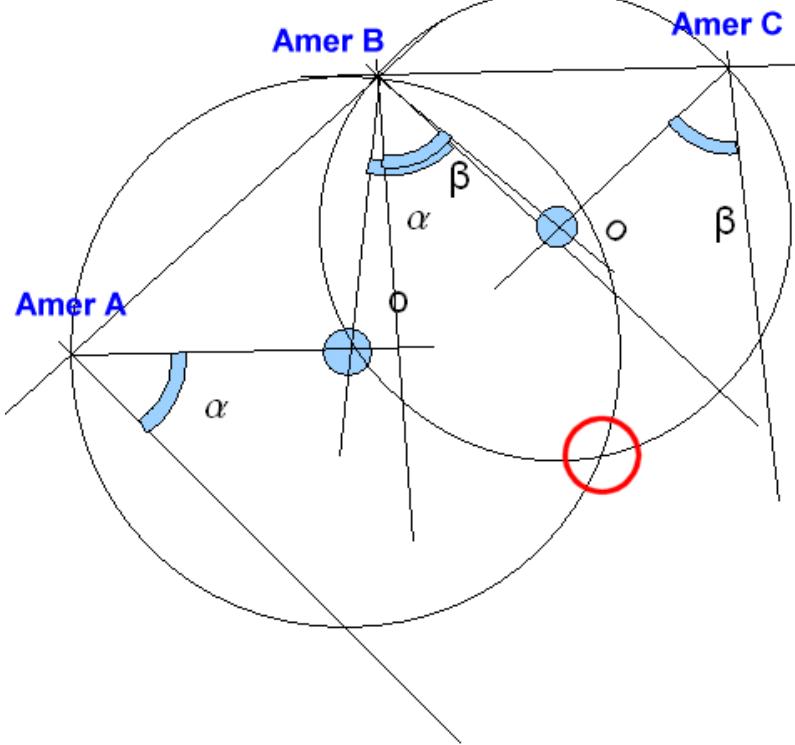
- On a mesuré au sextant un angle α .
- On trace sur la carte le segment passant par les deux amers observés.
- De ce segment, on lève de chaque amer une perpendiculaire au segment précédent.
- De chaque amer, on déduit – dans la direction de l'autre amer – l'angle lu au sextant.
- Le centre du cercle recherché est à l'intersection des deux droites ainsi tracées.
- On sait que les deux amers sont sur le cercle recherché, on a ainsi toutes les données nécessaires pour le tracer.

¹³ Accessoirement, c'est sans doute à cause de cette utilisation possible du sextant que l'octant a perdu de sa popularité. Pour la navigation astronomique, où les angles ne dépassent jamais (sauf dans le cas des distances lunaires et exercices analogues) 90 degrés, l'octant suffit. Le sextant, mesurant des angles jusqu'à 120 degrés permet un usage étendu dans le domaine des arcs capables.



On sait dès lors qu'on est quelque part sur le cercle. Un deuxième cercle produira une intersection, à laquelle on se trouve. À défaut, un relèvement produira lui aussi une intersection avec le cercle.

Voici ce qu'on obtient avec 3 amers, on est à l'intersection des deux cercles :



Point astronomique

Traité en détails dans une prochaine section. C'est de toute évidence la technique qui demande le plus de calculs.

Comme on le verra dans la section qui lui est consacrée, certains aspects de la navigation astronomique requièrent la connaissance du temps, aussi précisément que possible. Il existe des techniques qui permettent de recalculer les chronomètres, à partir de l'observation de la distance (angulaire) qui sépare la Lune des autres astres (Soleil, planètes, étoiles). Cette technique met en œuvre *encore plus* de calculs que le point astronomique proprement dit. Mais ça fonctionne. Les tables qui permettent de connaître cette distance lunaire ont cessé d'être publiées en 1907 (date à laquelle des tops horaires ont commencé à être émis par radio), mais grâce à l'informatique, on est en mesure de re-publier ces tables.

Calculs de marée

La connaissance de l'état de la marée permet de savoir deux choses importantes:

- Si on a assez d'eau pour naviguer.
- Comment est orienté un éventuel courant de marée, et quelle est sa force.

Il existe des nombreux atlas destinés à connaître les courants de marée, qui se réfèrent aux heures de marée d'un port donné (dit « port de référence »).

La hauteur d'eau est un paramètre délicat à obtenir, il dépend de nombreux éléments. Certains peuvent être anticipés et calculés, d'autres non.

Calcul de la hauteur d'eau

À la main, on utilisera la règles des douzièmes. Elle permet une approximation tout à fait satisfaisante de la sinusoïde que suit en fait la hauteur d'eau.

Attention !! Tous les pays (éditeurs des cartes et des almanachs) n'utilisent pas la même référence pour le zéro des cartes !

*Le SHOM (service hydrographique français) utilise comme référence le niveau des plus basses mers possibles. Ce qui fait qu'il n'y a **jamais** moins d'eau¹⁴ que ce qui est indiqué sur la carte, c'est fort pratique.*

D'autres – comme les États-Unis – prennent une référence moyenne (comme la valeur moyenne des basses mers en général..., voyez le genre), à l'égard de laquelle on peut émettre quelques réserves. Mais de toute façon, on n'a pas le choix, il s'agit bel et bien de savoir quelle est la référence utilisée, tant pour les cartes, que pour l'almanach.

¹⁴En fait, ça arrive très exceptionnellement, quelques rares fois par siècle..., en général lors d'une spécialement grande marée, avec un vent qui amplifie le phénomène.

Dans l'ordre des priorités, immédiatement après avoir identifié le zéro des cartes, il convient aussi d'identifier l'unité utilisée. On trouvera des cartes graduées en mètres, en pieds, et en brasses. Une brasse équivaut à six pieds¹⁵, le mètre à un peu plus de trois ; avoir une idée de son tirant d'eau dans chacune de ces trois unités peut sans doute contribuer à une certaine forme de sérénité, si on doit avoir recours à des cartes établies de ces différentes façons... Avec trois brasses d'eau, on n'a pas pied. Avec trois pieds, si, et largement¹⁶.

Sur les cartes *normales*, les sondes et les altitudes sont exprimées en mètres. Sur d'autres cartes, il n'est pas exceptionnel d'avoir les sondes en brasses, et les altitudes en pieds. On ne rit pas.

La marée est décrite par la superposition de plusieurs courbes sinusoïdes, en général au nombre de neuf. Les coefficients à appliquer à chacune de ces courbes sont appelés les coefficients harmoniques, qui varient en fonction du temps, et de l'endroit. La détermination de ces coefficients harmoniques est la clé de l'élaboration des tables et almanachs de marée.

La différence de hauteur entre la marée haute et la marée basse est appelée l' « amplitude », la différence de temps qui sépare l'heure de la marée haute et l'heure de la marée basse est appelée la « durée ».

Il existe plusieurs sortes de marée, de semi-diurne à diurne, en passant par les marées à inégalités diurnes... Néanmoins, lorsqu'il s'agit de calculer la hauteur d'eau, la règle des douzièmes demeure une valeur sûre. D'autant que – répétons-le – la hauteur d'eau n'est malheureusement pas déterminée par les seuls coefficients harmoniques. La pression atmosphérique, le sens et la force du vent ont une influence considérable sur la marée, qui ne saurait malheureusement être prise en compte lors du calcul des almanachs. Les outils dont on dispose à bord pour évaluer cette influence sont pour l'heure de nature pifométrique ou assimilée.

Règle des douzièmes

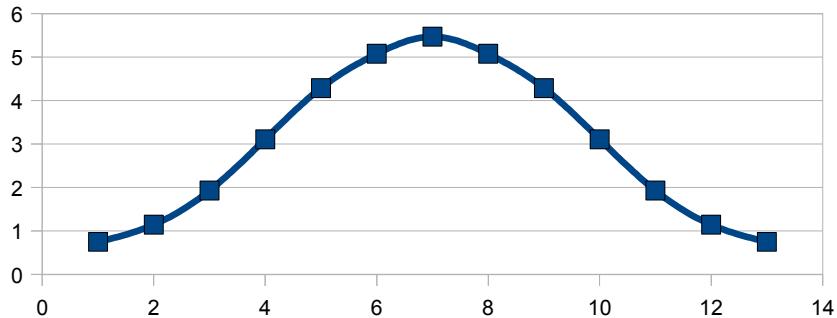
On divise la durée en six périodes égales, l'amplitude en douze parties égales.

- Pendant la première période, la hauteur d'eau varie de **1** douzième
- Pendant la deuxième période, la hauteur d'eau varie de **2** douzièmes
- Pendant la troisième période, la hauteur d'eau varie de **3** douzièmes
- Pendant la quatrième période, la hauteur d'eau varie de **3** douzièmes
- Pendant la cinquième période, la hauteur d'eau varie de **2** douzièmes
- Pendant la sixième période, la hauteur d'eau varie de **1** douzième

15 Et une encablure à 100 brasses. C'est tellement pratique !

16 En anglais, un pied se dit « foot » (« feet » au pluriel). Une brasse se dit « fathom » ; les deux commencent par un « f »... Le « f » est l'abréviation de « fathom », le pied s'écrit à l'aide d'une apostrophe. Ainsi, sur une carte anglophone, « 6f » signifie 6 brasses, alors que « 6' » signifie 6 pieds.

La figure suivante montre que cette règle permet de disposer d'une sinusoïde dans des proportions fort acceptables.



Prévisions météorologiques

Voilà un vaste sujet. Les prévisions qu'on sera capable de produire sans électricité vont être basées sur l'observation, et pas sur la réception de documents (bulletins, fax, GRIBs).

Le livre de bord contribue pour une bonne part à prendre note de ces observations. Vitesse et direction du vent, associées à la pression atmosphérique lue au baromètre seront les données mesurées, la nébulosité (nuages en octas et genre, associés à la visibilité) sera observée. La valeur de la pression lue au baromètre n'est pas aussi importante que la variation dont elle fait l'objet. Le fait que la pression affichée soit de 1010 ou de 1030 n'est guère important. Le fait que cette pression augmente ou diminue de 15 millibars en heure va avoir une importance majeure.

L'évolution de la forme des nuages, de la visibilité, de la pression atmosphérique, de la direction et de la force du vent sont autant de paramètres qui vont permettre d'anticiper l'approche ou l'évolution d'un perturbation. Comme tels, ils seront soigneusement consignés dans le livre de bord.

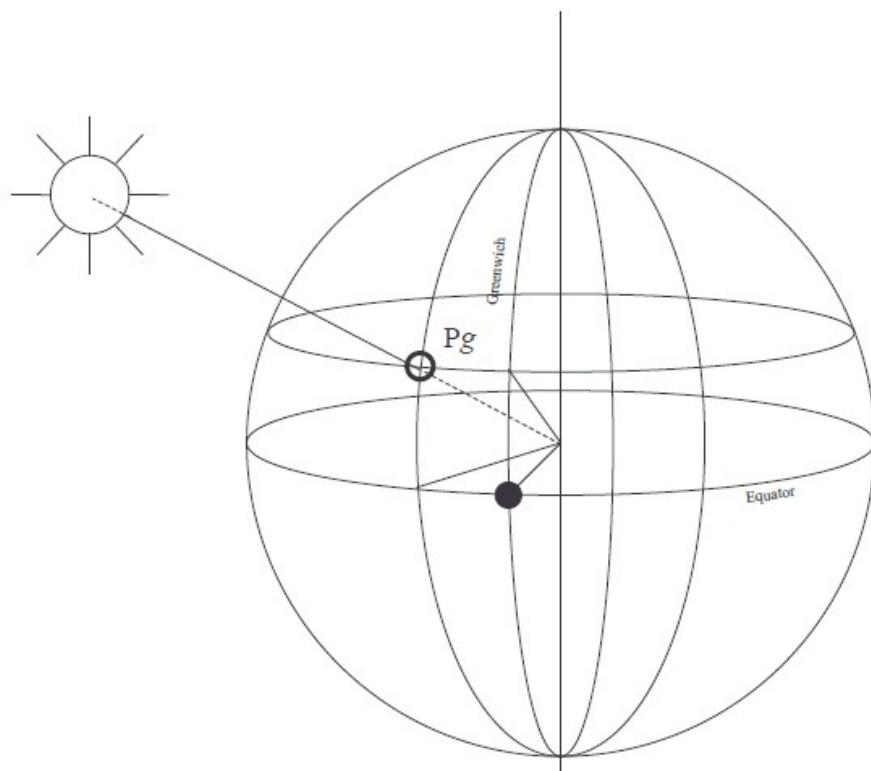
La façon d'interpréter ces paramètres dépasse de beaucoup le cadre de ce document.

Navigation Astronomique

Un petit préambule : habitués qu'ils sont à obtenir un résultat en poussant des boutons, les usagers de l'électronique, des télécommandes et autres zapettes sont en général **effarés** par la navigation astronomique, en particulier par les calculs qu'elle met en œuvre, et peu s'en faut de devoir les rattraper au lasso, d'autant qu'ils s'imaginent souvent avoir entrepris ce qu'il y a de plus complexe après avoir réussi à corriger un cap ou fait valoir une route. C'est incroyable, il faut réfléchir !

La quantité de calculs est de fait considérable (surtout pour quelqu'un qui ne sait pas compter sans calculette), mais ces calculs sont simples, ce sont des additions et des soustractions (il y a bien une ou deux multiplications pour les interpolations, mais rien de dramatique) puisqu'on utilise des tables de logarithmes, voire des tables dédiées à ce calcul.

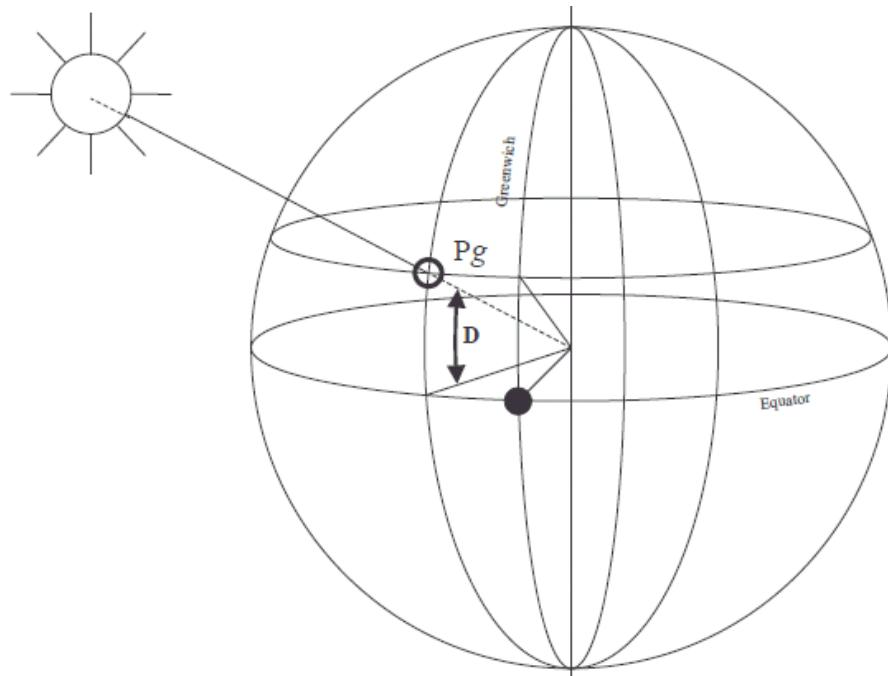
Les calculs impliqués dans la navigation astronomique font intervenir des éphémérides nautiques – ou astronomiques – qui fournissent plusieurs des paramètres nécessaires, concernant le ou les astres observés.



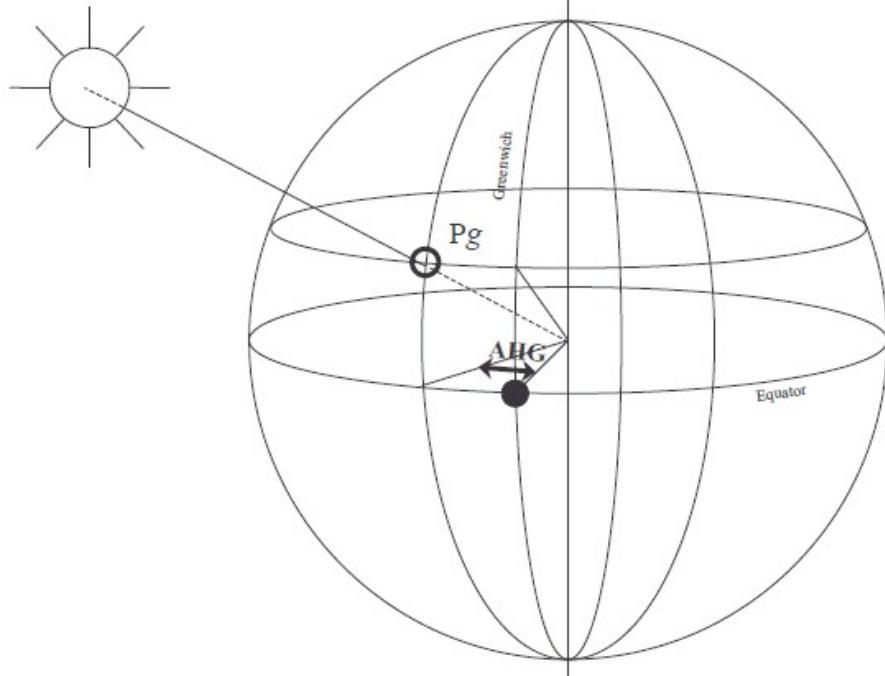
Parmi eux, les éphémérides permettent de connaître à chaque instant ce qu'on appelle la « position géographique instantanée » d'un astre, notée Pg.

La position géographique instantanée d'un astre est le point de la terre où l'astre

est au zénith (à la verticale). Il est unique à un instant donné pour un astre donné.



La latitude de ce point Pg s'appelle la déclinaison¹⁷ de l'astre.



¹⁷Je sais, le terme est déjà utilisé dans un autre contexte, avec une autre signification. C'est bien dommage, mais c'est comme ça.

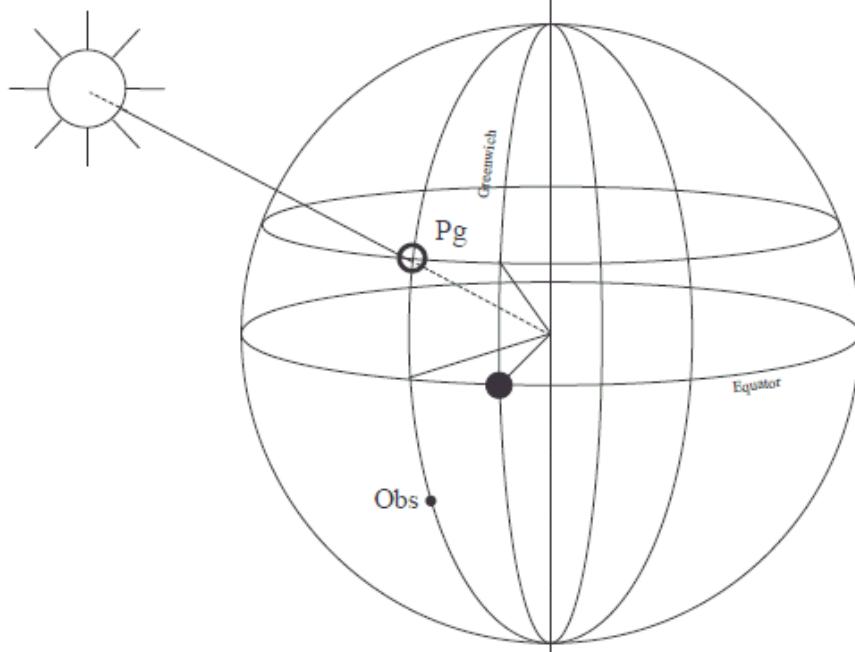
Sa longitude s'appelle l'Angle Horaire à Greenwich, noté AHG, ou AH_{vo}¹⁸.

Point par hauteur méridienne.

Les calculs sont simples. Il va s'agir de quelques additions, et de quelques interpolations. Point n'est besoin de tables trigonométriques ou logarithmiques. Papier et crayon suffisent.

Le point par hauteur méridienne exploite un cas particulier, qui est celui où l'astre et l'observateur sont sur le même méridien. Il est midi¹⁹ au lieu de l'observateur (si tant est que l'astre observé soit le soleil).

Ce cas particulier se produit une fois par jour, et par astre²⁰.

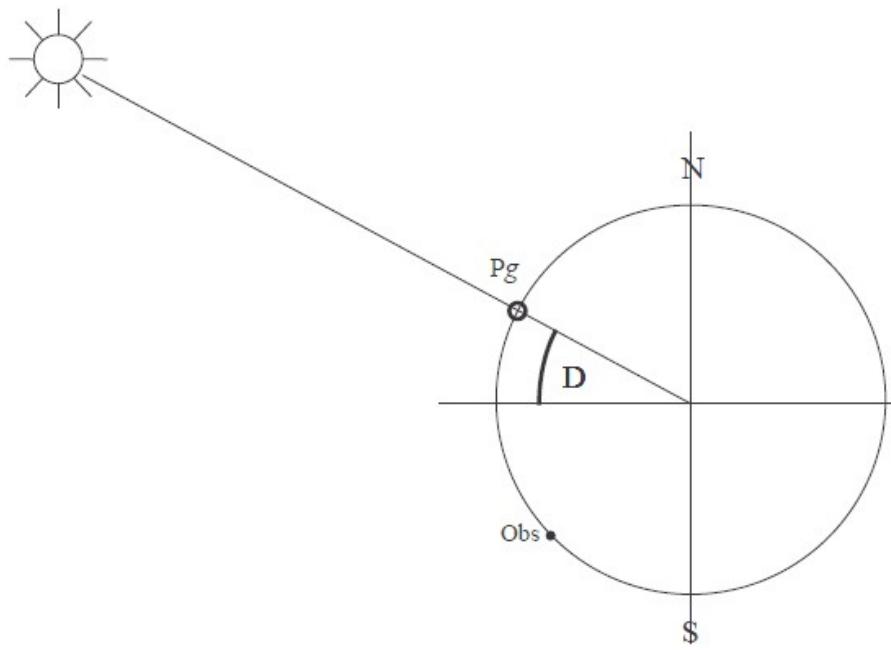


Pour faciliter la lecture des figures qui suivent, on fait pivoter le méridien de l'astre dans la plan de la feuille.

18 Angle Horaire au vrai zéro.

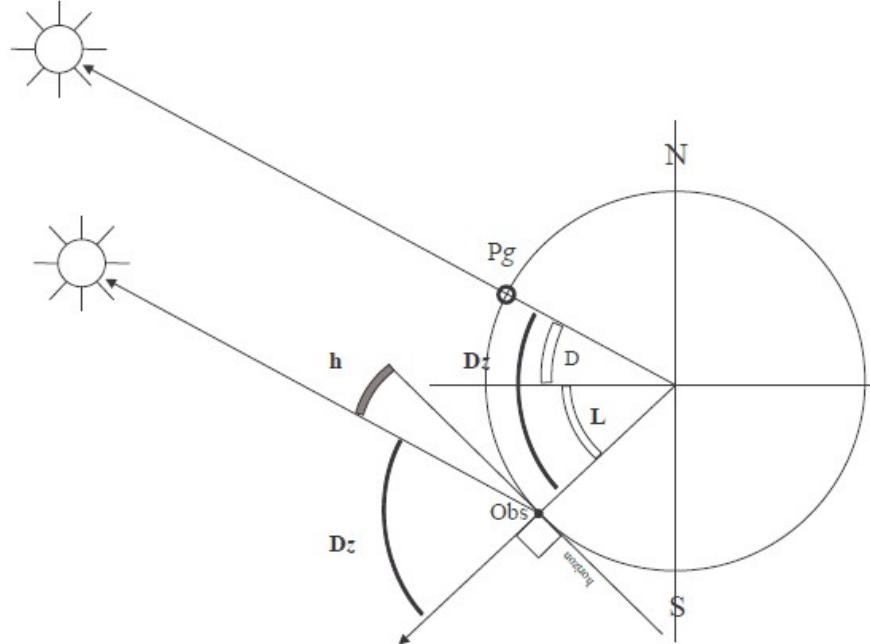
19 Les mots « midi » et « méridien » ont la même racine. Les méridionaux habitent dans le Midi.

20 Le passage au méridien d'un astre est son passage au point le plus haut de sa course dans le ciel. Pour les autres astres que le soleil, on peut aussi exploiter leur passage à leur point le plus bas, on parle alors du passage à l'anti-méridien. En fait, on peut aussi le faire avec le soleil, à condition de pouvoir voir le soleil à minuit. Ce qui arrive en été, au-delà des cercles polaires.

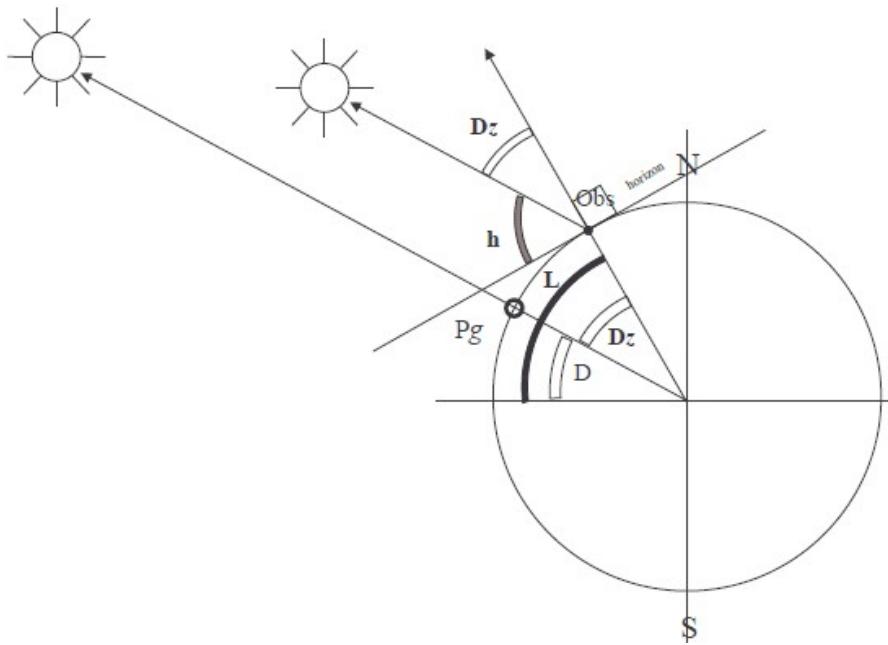


Latitude par hauteur méridienne, en théorie

On introduit ici une nouvelle notion, celle de distance zénithale, notée **Dz**, ou ξ . La distance zénithale est le complément de la hauteur, soit $(90^\circ - \text{hauteur})$.



Si la latitude de l'astre (point Pg) et la latitude de l'observateur sont de signes différents, la distance zénithale est égale à la somme de la latitude et de la déclinaison de l'astre.



Si la latitude de l'astre (point Pg) et la latitude de l'observateur sont de même signe, la latitude est égale à la somme de la distance zénithale et de la déclinaison de l'astre.

Longitude par hauteur méridienne, en théorie

C'est à la fois très simple, et un peu compliqué. La théorie est très simple, la pratique est – à la surprise générale – plus scabreuse.

Le principe repose sur le fait que la terre tourne de 360° sur elle-même en 24 heures. Il existe donc une étroite corrélation entre la longitude et l'heure (il est possible que le terme « angle horaire » vous ait mis la puce à l'oreille). Si un astre passe à un méridien à une heure donnée, il passera exactement une heure plus tard à un méridien situé 15° plus à l'ouest²¹.

Les éphémérides nous permettent de savoir à quelle heure le soleil culmine à Greenwich. Si on arrive à savoir à quelle heure le soleil culmine sur le méridien de l'observateur, alors il suffit d'exprimer cette différence de temps en différence d'angle pour connaître sa longitude.

Ceci requiert cependant un chronomètre précis. En effet, 360° en 24 heures signifie 15° en une heure. Soit $15'$ en une minute (de temps), ce qui représente $1'$ en quatre secondes (de temps). Ainsi donc, une erreur de 4 secondes sur la montre correspond à une erreur d'une minute de longitude. Comme on l'a déjà

²¹Ce serait en fait exact si les astres qu'on observe étaient immobiles ; malheureusement, aucun d'eux ne l'est. Mais 15° demeurent une approximation raisonnable. On le verra dans les exemples numériques commentés.

remarqué, ça va vite !

D'autre part, ainsi qu'on va le voir, l'heure exacte de la culmination n'est pas la donnée la plus facile à obtenir.

Latitude par hauteur méridienne, en pratique

Une fois de plus, il faut disposer de sa position estimée, et de la date.

Il s'agit ici de mettre en œuvre la technique énoncée précédemment.

Pour cet exemple, on considère que l'astre observé est le soleil, mais ceci est valable pour tous les astres observables. Il est même possible pour d'autres astres que le soleil d'utiliser la hauteur anti-méridienne (au minuit de l'astre, et non pas à son midi, c'est-à-dire non pas lorsqu'il culmine, mais lorsqu'il atteint son point le plus bas).

Supposons qu'on soit le jeudi 8 octobre 2009, et que l'estime nous situe par $34^{\circ}04' \text{ N}$ et $127^{\circ}54' \text{ W}$.

La première chose à savoir, c'est à quelle heure cette hauteur méridienne va se produire.

On va procéder ici à une série d'interpolations. On les fait ici à la main, afin d'en détailler le processus. Des tables de conversions destinées à cet usage sont fournies dans un document séparé.

On va donc convertir sa longitude estimée de degrés en heures. Une heure représente 15 degrés (15° en 1 heure = $360^{\circ} / 24$ heures).

Ainsi, $127^{\circ} = (127 / 15) = 8.466$ heures, et $54' = (54/60) / 15 = 0.06$ heure.

Donc $127^{\circ}54'$ équivaut à 8.526 heures. 0.526 heures = (0.526×60) minutes, soit 31.56 minutes, soit encore 31 minutes et 33.6 secondes.

La longitude est **ouest**, ainsi il sera midi à notre longitude estimée 8 heures 31 minutes et 34 secondes (arrondi) **plus tard** qu'à Greenwich.

Attention: Contrairement à une rumeur couramment répandue, il n'est pas midi tous les jours à la même heure ! Ceux pour qui c'est nouveau consulteront avec profit et à ce sujet l'appendice Équation du temps, page 95

Les éphémérides nautiques donnent l'équation du temps. L'équation du temps représente l'intervalle qui sépare 12:00 UT de l'heure de la culmination du soleil (qu'on appelle « temps de passage au méridien »).

Pour le 8 octobre 2009, l'équation du temps à midi UT est de +12m 29s. On doit effectuer une interpolation. Une interpolation linéaire est suffisante ici.

Le 9 octobre 2009, l'équation du temps à midi UT est de +12m 46s, elle augmente donc de 17s en 24 heures. Notre longitude représente comme on l'a déjà calculé 8.526 heures, on doit donc ajouter à l'équation du temps la valeur suivante en secondes $(17 / 24) \times 8.526$, soit 6.06 secondes.

L'équation du temps à l'heure du passage du soleil à notre longitude estimée est donc de **+12m 35s²²**.

Attention, ceci signifie que la culmination (passage au méridien) du soleil à notre longitude estimée se produira 12m 35s avant le midi légal. Soit 8h 31m 34s – 12m 35s, à savoir 20h 18m 59s UT.

Les éphémérides donnent aussi le temps de passage des astres au méridien de Greenwich. On peut aussi procéder à la même interpolation à partir du temps de passage. Équation du temps et temps de passage sont en effet des données redondantes. Dans notre exemple, le temps de passage du soleil à Greenwich le 8 octobre est 11:47:30.113 UT, et le 9 octobre 11:47:13.572 UT. Chacun choisira la méthode qui lui convient le mieux.

On trouverait ainsi un temps de passage à notre méridien estimé de 11:47:24 UT. 11h 47m 24s + 8h 31m 34s = 20h 18m 58s UT. C'est pareil.

On peut également anticiper la hauteur qu'on devrait observer si l'estime était correcte.

À 20 heures UT le 8 octobre 2009, la déclinaison du soleil est S 6°10.09', à 21 heures, elle est S 6°11.04'. Elle augmente donc de 0.95' en une heure. On peut ici interpoler de tête, on arrondi 18m 59s à 20 minutes, soit 1/3 d'heure.

$0.95' / 3 = 0.3166'$. La déclinaison du soleil à l'heure estimée de la culmination sera donc de S 6°10.406', qu'on arrondira à S 6°10.40'.

Latitude et déclinaison sont de signes différents, donc Dz = L + D, à savoir $34^{\circ}04' + 6^{\circ}10.4' = 40^{\circ}14.4'$. Ainsi, la hauteur observée (théoriquement) devient $90^{\circ} - 40^{\circ}14.4'$, soit $49^{\circ}45.6'$.

Reste à savoir si c'est vrai ! On sort le sextant, et on commence à observer. On commence à observer suffisamment longtemps avant l'heure estimée de la culmination, pour être sûr de ne pas la manquer. Cet intervalle de temps dépend de la qualité de l'estime.

On continue ainsi à observer l'astre tant que sa hauteur augmente. Dès lors que l'astre commence à redescendre (que l'astre commence à se mouiller²³), c'est qu'on a atteint la culmination, et qu'on dispose maintenant de la hauteur instrumentale. Pour notre exemple, on a lu sur le sextant $49^{\circ}32'$.

22 Cette interpolation n'a guère d'importance si on ne se préoccupe que de la latitude. Elle devient plus cruciale si on se préoccupe aussi de la longitude.

23 Le sextant permet par son jeu de miroirs de descendre l'astre sur l'horizon. On dit qu'on mouille un astre lorsqu'il trempe dans l'eau dans le miroir du sextant..

C'est pas fini !

La hauteur instrumentale doit être corrigée, pour obtenir la hauteur observée.

Il faut lui apporter quatre corrections:

- semi-diamètre
- dépression de l'horizon
- réfraction
- parallaxe

Le semi-diamètre s'applique au soleil et à la lune, car on abaisse le bord inférieur de l'astre (parfois supérieur dans le cas de la lune) sur l'horizon, et non pas son centre.

La dépression de l'horizon vient de ce que l'observateur n'est pas au niveau de l'eau. Si l'œil est à 2 mètres au-dessus de l'eau, l'horizon est déjà à environ 1.8 mille...

La réfraction vient de ce que les rayons de l'astre passent du vide de l'espace dans l'atmosphère. L'indice de réfraction des deux milieux n'est pas le même²⁴.

L'erreur de parallaxe vient de ce qu'on ne fait pas l'observation à partir du centre de la terre.

Ces corrections sont en général rassemblées dans une seule table.

On trouve ici $0^\circ 12.6'$, qu'on doit donc ajouter à la hauteur instrumentale.

Ce qui donne $49^\circ 32' + 0^\circ 12.6'$, soit $49^\circ 44.6'$ pour la hauteur observée.

Si l'opération s'est passée aux alentours de l'heure estimée pour la culmination, on peut considérer que la déclinaison du soleil telle qu'on l'a calculée est valide pour cette observation, à savoir ici S $6^\circ 10.40'$. Sinon, il faut la ré-interpoler avec de nouveaux paramètres.

La latitude de l'observateur et la déclinaison de l'astre étant de signes contraires, on a $L = Dz - D$. La distance zénithale Dz est $(90^\circ - 49^\circ 44.6')$, soit $40^\circ 15.4'$, à laquelle on soustrait donc la déclinaison pour obtenir la latitude :

$$L = 40^\circ 15.4' - 6^\circ 10.4' = \mathbf{34^\circ 05.0' N}$$

Voilà pour la latitude !

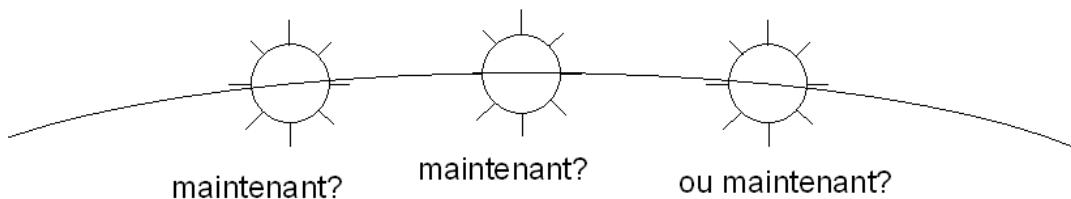
Longitude par hauteur méridienne, en pratique

C'est possible, à condition bien sûr de disposer d'un chronomètre fiable. Ce qu'il faut, c'est avoir l'heure exacte de la culmination, l'ajouter ou la retrancher au temps de passage (midi corrigé de l'équation du temps), de transformer cette grandeur en angle, comme on l'a fait en sens inverse pour savoir à quelle heure commencer à observer, et le tour est joué !

Le problème, c'est qu'à cette heure, le soleil a une course dans le ciel qui tangente l'horizontale, et que le moment où la culmination est effective est

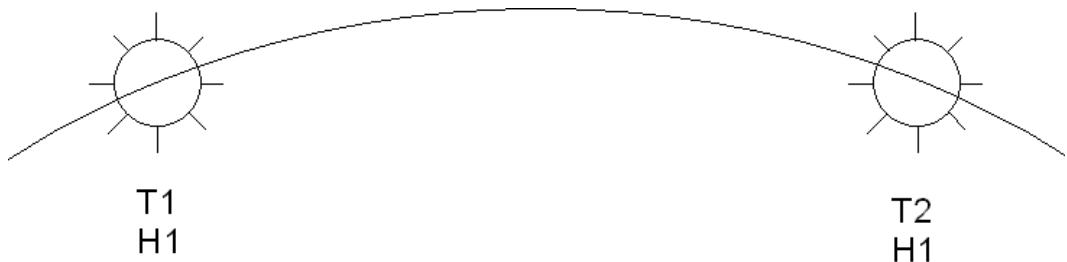
²⁴ Comme lorsqu'on regarde un paille dans un verre d'eau ; on dirait qu'elle est cassée au niveau de la surface de l'eau.

impossible à déterminer avec la précision requise ; on rappelle que 4 secondes de temps représentent une minute de longitude, et que c'est justement la longitude qu'on cherche à déterminer...



On va cependant pouvoir pallier cet inconvénient. On va faire deux mesures, une avant, et une après la culmination, à un moment où la course de l'astre est suffisamment verticale pour qu'une hauteur donnée puisse être associée à un temps précis, et on en fera la moyenne.

On fait une première observation environ 15 minutes **avant** l'heure estimée de la méridienne. On note précisément à quelle heure T1 la hauteur a été prise. On appelle la hauteur H1.



On effectue alors les observations nécessaires à la détermination de la latitude, comme décrit au paragraphe précédent.

Ceci étant fait, on replace ensuite le sextant à la valeur qu'il avait à T1, à savoir H1. On observe à nouveau le soleil, on attend – sans modifier le réglage du sextant – que le soleil repasse par la même hauteur H1, et on note soigneusement le temps T2. Moyennant le fait qu'on ne s'est pas déplacé à des vitesses élevées entre T1 et T2, on peut assumer que l'heure de la culmination est la moyenne de T1 et T2.

Exemple:

On a pris la première hauteur à $T_1 = 20:05:00$ UT.

Le soleil est repassé par la même hauteur H1 à $20:33:10$ UT.

La moyenne de ces deux temps est $20:19:05$ UT.

Le temps de passage à Greenwich a été calculé précédemment, c'est $11:47:24$ UT, ce qui constitue une différence de $8h\ 31m\ 41s$.

$$8h = 8 \times 15^\circ = 120^\circ$$

$$31m = (31 / 60) \times 15^\circ = 7,75^\circ$$

$$41s = (41 / 3600) \times 15^\circ = 0,171^\circ$$

On obtient donc un angle horaire de $120 + 7,75 + 0,171 = 127,921^\circ$ soit une longitude de **127°55,26' W.**

Et voilà pour la longitude.

On est ainsi passé d'une position estimée de $34^\circ 04'$ N et $127^\circ 54'$ W à une position corrigée de $34^\circ 05.0'$ N et $127^\circ 55.26'$ W.

Un premier commentaire:

On remarque que lors de la recherche de la latitude, on n'a besoin de l'heure que pour savoir à quelle heure commencer l'observation ; la précision de la minute (de temps) est fort suffisante.

Par contre, lors de la recherche de la longitude, la précision du chronomètre impacte directement – et considérablement - la précision du calcul de la longitude. À nouveau, quatre secondes sur le chronomètre représentent une minute d'arc en longitude.

Un deuxième commentaire:

Il faut peu de temps de pratique du sextant pour réaliser qu'il est présomptueux de vouloir effectuer des mesures d'une précision plus fine que la minute d'arc, surtout sur un petit bateau.

Les interpolations nécessaires pour le calcul des différentes valeurs issues des éphémérides peuvent en être facilitées. Ainsi, pour le calcul de la déclinaison, on a trouvé une variation horaire de $0.95'$. En pratique, on arrondira à $1'$, et tout ira bien. Il n'y a guère de raisons de s'encombrer de dixièmes de minutes d'arc. Attention cependant aux arrondis, il faut arrondir à la minute la plus proche, et pas se contenter de la partie entière.

Point par droite(s) de hauteur.

Les calculs sont plus compliqués.

Le principe du point par droites de hauteur repose sur les données suivantes :

- La connaissance du temps (autrement dit : « quelle heure il est ? », pas « quel temps il fait²⁵ »...)
- La position de l'astre observé (Pg)
- La position estimée de l'observateur
- La hauteur de l'astre observé

25 Encore que si le ciel est couvert, ça puisse remettre l'observation en question.

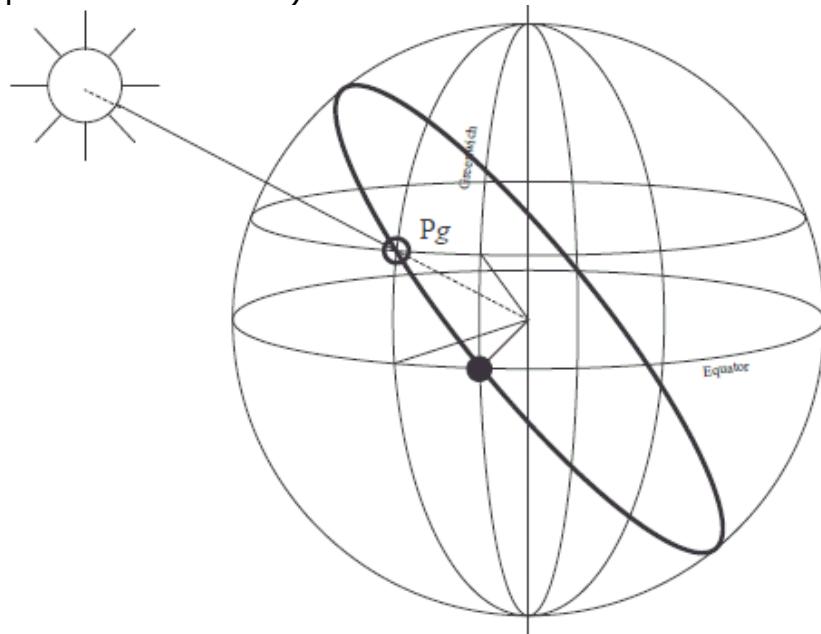
Le principe de base consiste à comparer ce qu'on devrait observer avec le sextant si on était là où on pense être avec ce qu'on observe en réalité, et à corriger son estime en conséquence.

Principe

On a vu dans la section consacrée au point par hauteur méridienne le rapport qu'il existe entre latitude, déclinaison, et distance zénithale.

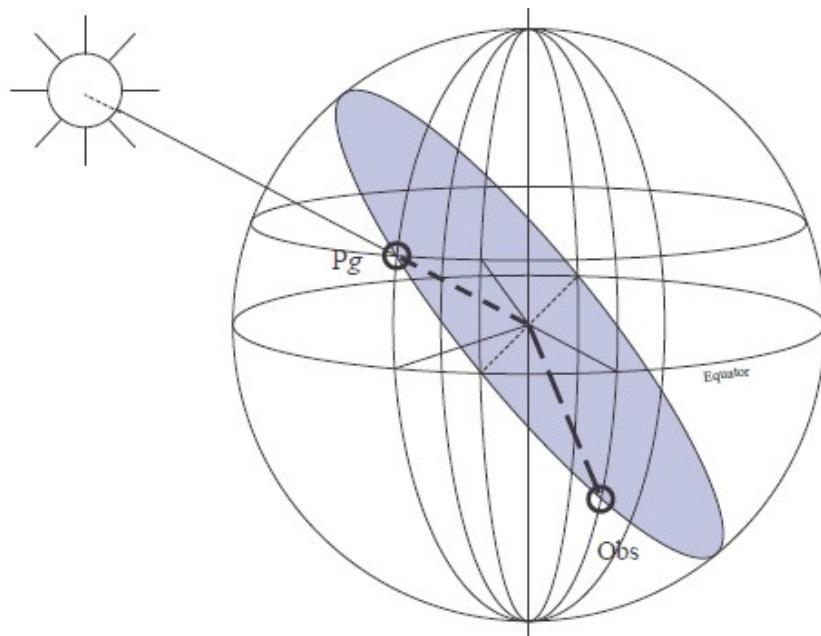
On va introduire ici la notion de « grand cercle ».

- Un grand cercle est un cercle qui partage la terre en deux moitiés égales.
- L'équateur est le seul parallèle qui soit un grand cercle.
- Tous les méridiens sont des grands cercles.
- Par deux points de la terre, il passe un et un seul grand cercle (sauf s'ils sont chacun à l'extrémité du même diamètre).
- Le trajet le plus court d'un point à un autre est un arc de grand cercle (qu'on appelle *orthodromie*).

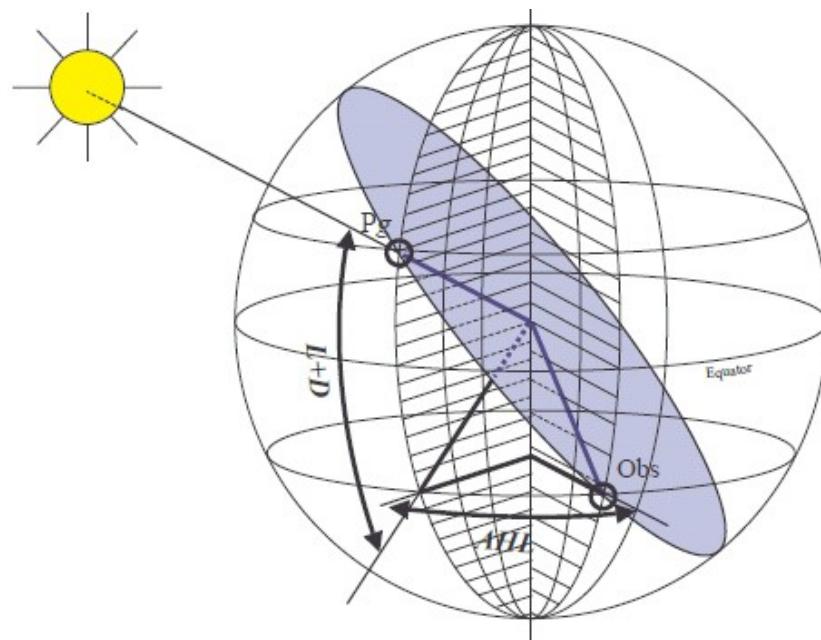


Considérons qu'on est dans le cas fréquent où le point Pg et l'observateur ne sont pas sur le même méridien.

Il y a donc un – et un seul – grand cercle qui passe par ces deux points.



On a vu dans le cas de la hauteur méridienne, où l'observateur et le point Pg **sont** sur le même méridien, le rapport qu'il existe entre les différentes grandeurs. On se trouve ici dans un cas de figure similaire, où Pg et l'observateur sont également sur le même grand cercle (un méridien est un grand cercle). L'astuce du calcul à faire consiste à faire pivoter ce grand cercle dans le plan de la feuille. Ce pivotement ne va bien évidemment pas se faire autour de l'axe des pôles, et c'est ce qui constitue toute la difficulté du problème. Ce pivotement va être déterminé par deux angles principaux : **L'Angle Horaire Local** et **L±D**.

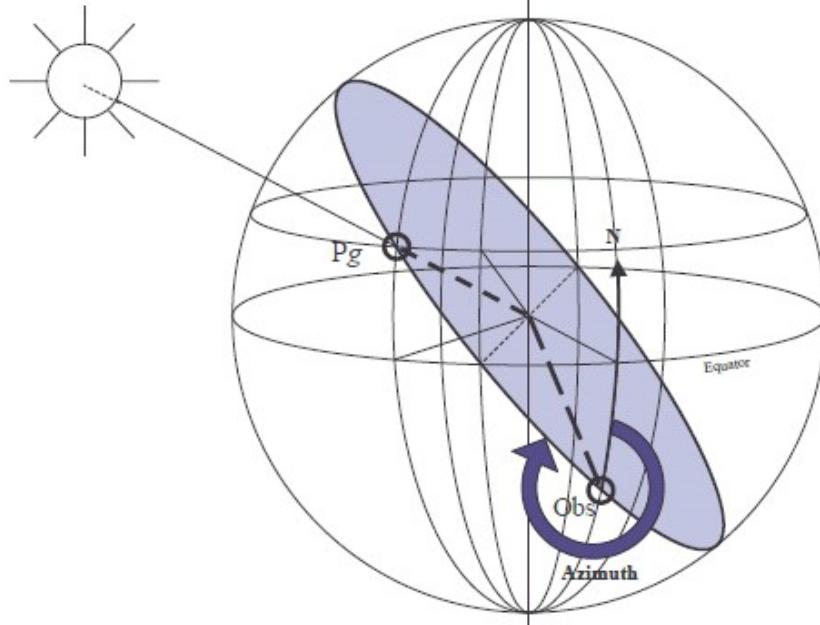


De même que l'Angle Horaire à Greenwich est la différence de longitude entre

Greenwich et le point Pg, l'Angle Horaire Local est la différence de longitude entre l'observateur et le point Pg.

Encore une définition :

L'azimut, noté **Z**, est le relèvement vrai du point Pg, qui sera donc compté de 0° à 360° .



Ce qu'on cherche:

On veut calculer, pour la position estimée de l'observateur, à l'heure exacte de l'observation :

- La hauteur de l'astre, appelée « hauteur estimée ».
- L'azimut de l'astre.

On note **L** pour la latitude, **D** pour la déclinaison de l'astre, et **AHL** pour l'angle horaire local. Cet angle **AHL** est calculé à partir de l'angle horaire à Greenwich, et la longitude estimée de l'observateur. **He** sera la hauteur estimée de l'astre, et **Z** l'azimut de l'astre.

On cherche à résoudre les formules suivantes :

$$He = \sin(L) \cdot \sin(D) + \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL)$$

$$Z = \tan\left(\frac{\sin(AHL)}{(\cos(L) \cdot \tan(D)) - (\sin(L) \cdot \cos(AHL))}\right)$$

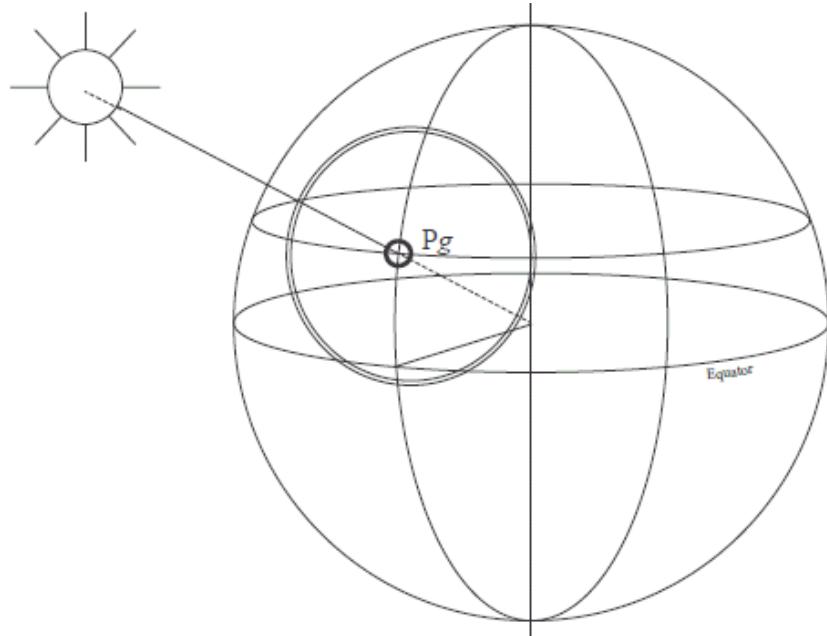
On va ensuite chercher l'*intercept*.

Une fois que ces données sont obtenues, le reste de la résolution s'effectue de

manière graphique, à l'aide d'une carte Mercator, ou bien d'un *canevas* Mercator²⁶.

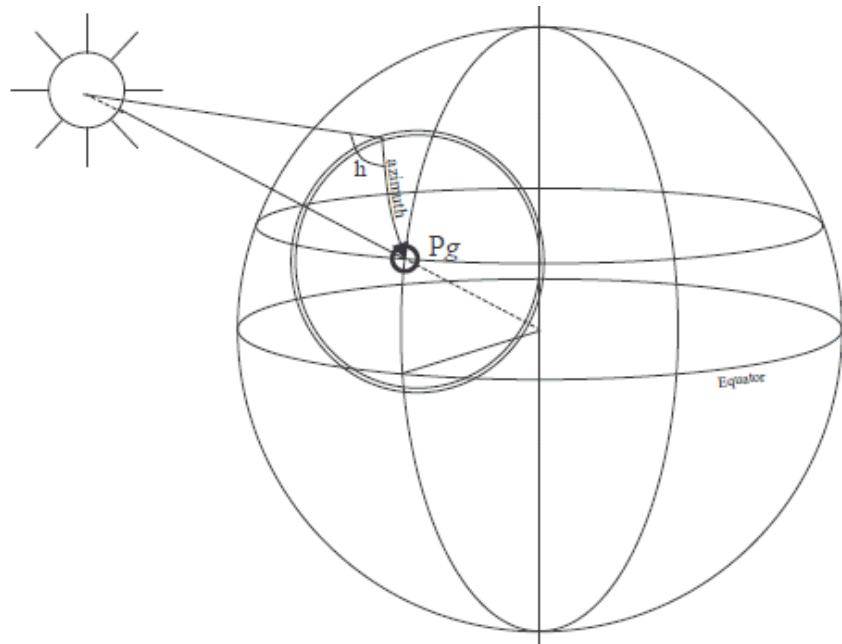
Un canevas Mercator est une carte vide. Et on va voir que ce n'est pas inutile !

Donc, on sait quelle hauteur on devrait observer si on était à notre position estimée. Tous les points d'un cercle centré sur le point Pg voient l'astre observé à la même hauteur.

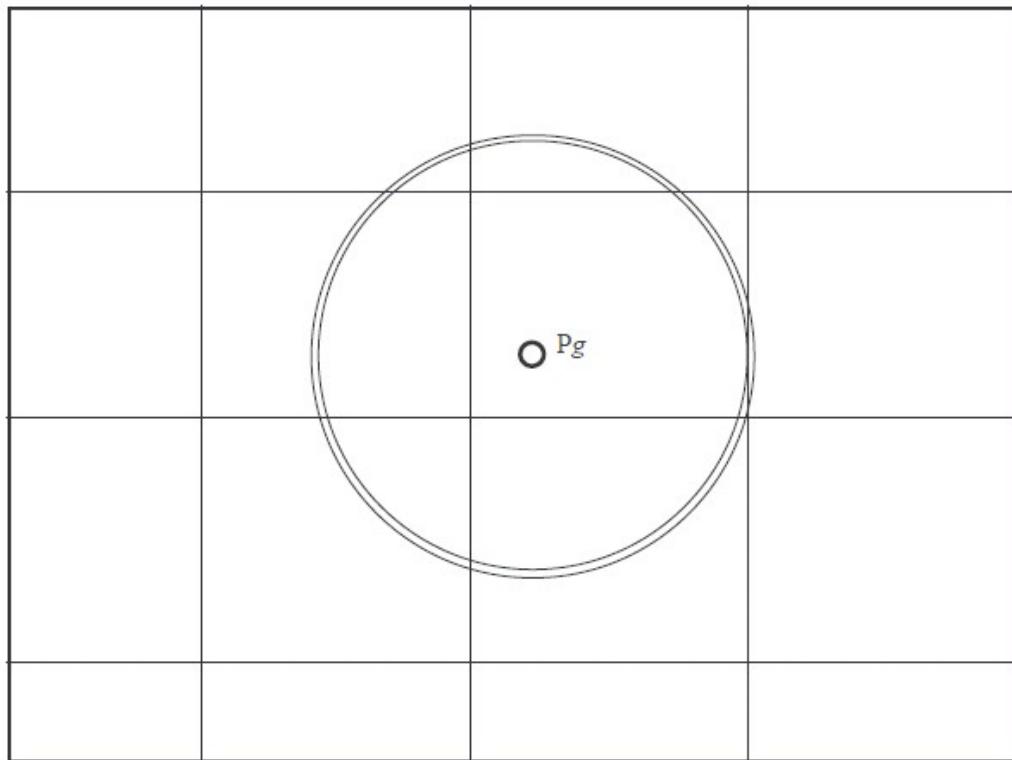


La hauteur s'appelle **h** dans la figure suivante. On y voit également l'azimut, qui est donc la direction dans laquelle on voit l'astre.

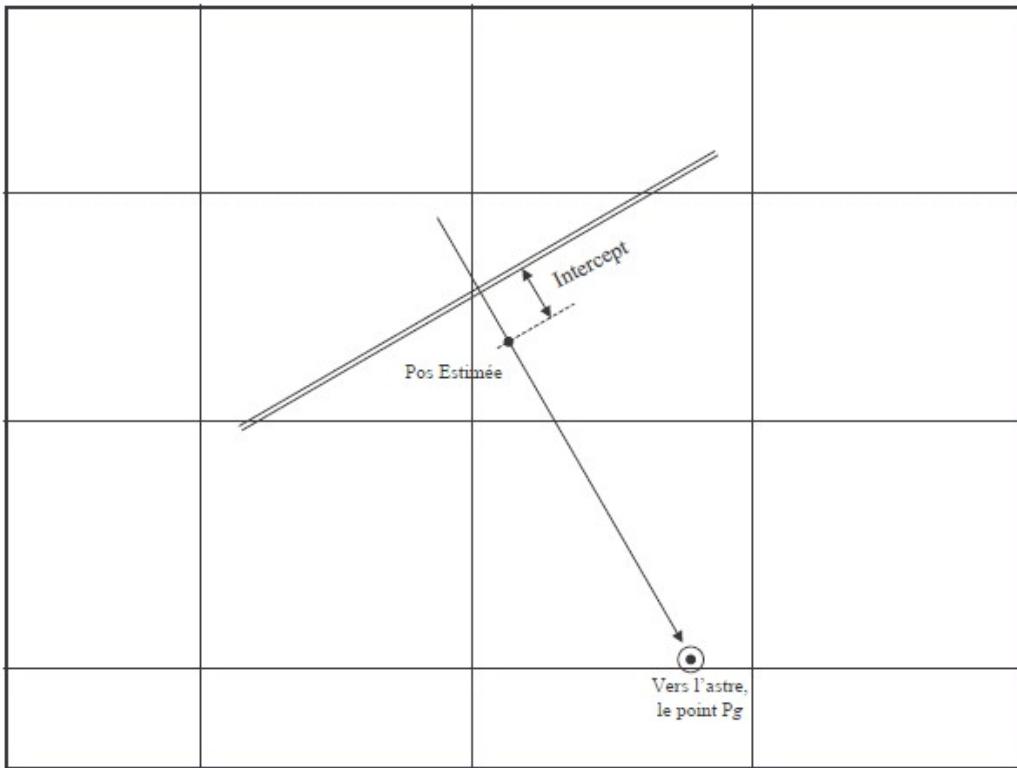
²⁶ Des canevas Mercator sont publiés par le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) français. Les anglo-saxons, ceux-là mêmes qui utilisent des règles parallèles, utilisent des Plotting Sheets, très pratiques, et moins encombrantes. Elles méritent très largement un coup d'œil attentif.



Sur une carte suffisamment grande, ce cercle d'égales hauteurs aurait l'allure suivante.



En fait, à moins d'être très près du point Pg, tant son rayon de courbure est grand, ce cercle est assimilable à une droite sur une distance de trente milles. Et du coup, on l'appelle « droite de hauteur ». *Mais c'est en fait un arc de cercle.*



Et on introduit ici la notion d'*intercept*, évoquée précédemment. L'*intercept* est la différence entre la hauteur estimée et la hauteur observée. Cette différence est de l'ordre de la minute d'arc, sinon... on est vraiment perdu, et une minute d'arc à la surface de la terre, c'est un mille marin. Si la hauteur observée est **plus grande** que la hauteur estimée, c'est qu'on est **plus près** de l'astre que prévu, dans la direction de l'azimut. Sinon, ben on est plus loin.

C'est là qu'interviennent les canevas Mercator. Lorsqu'on est au large, on utilise des routiers (des cartes à petite échelle). La définition de ces cartes ne permet guère de discerner la taille d'un mille marin. Ces canevas sont des cartes de détail de l'océan : elles sont vides (de terre). Le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) publie des canevas Mercator d'une amplitude de 6 degrés de latitude. On fournit en annexe des canevas Mercator, de 3 degrés d'amplitude.

On porte l'azimut, la droite de hauteur et l'*intercept* sur un canevas Mercator. Ce qu'on sait maintenant, d'après la figure, c'est qu'on est sur une droite plus proche de l'astre qu'on ne le pensait.

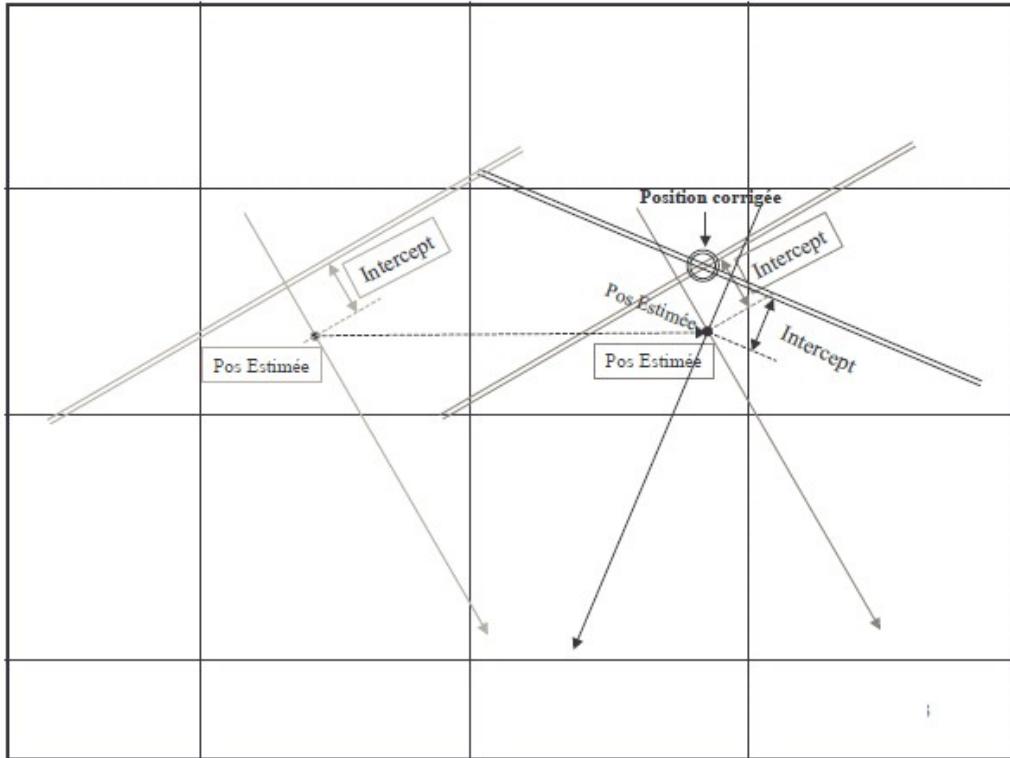
Mais on ne sait pas encore **où** sur cette droite.

On le saura lorsqu'on disposera de l'intersection avec... une autre droite.

Si on dispose de plusieurs astres (si il fait nuit par exemple, la lune, les planètes, les étoiles...), il suffit de faire plusieurs droites consécutives.

Sinon, on attend, et on en refait une sur le même astre. Son azimut ayant varié, on aura alors une intersection. Il faut cependant translater la première droite, de

la distance parcourue dans l'intervalle, dans la direction de la route fond, ça s'appelle un « transfert de droite ». Le point corrigé se situe à l'intersection des droites corrigées de l'intercept.



Et voilà, on sait où on est. Avec une troisième droite, on sera vraiment sûr de son coup. Ça marche très bien. On note au passage que la canevas Mercator permet d'évaluer plus précisément les coordonnées du point corrigé, de façon à le reporter sur le routier.

On note également que cette méthode rappelle fort la méthode de point par relèvements. Il est un fait que ces deux méthodes sont également aussi fiables que saura l'être l'observateur..., ce qui nous ramène à notre histoire de bicyclette.

On peut aussi résoudre ce genre de figures de manière algébrique ou arithmétique. Mais pourquoi faire ? Au-delà du nombre d'étapes de calcul que cette résolution implique (il s'agit de trigonométrie sphérique), les éventuelles erreurs seront probablement plus évidentes dans le contexte de la résolution graphique. Et encore une fois, la précision du trait sur la carte est clairement supérieure à la précision de la mesure effectuée avec le sextant, voire avec le chronomètre. Il convient sans doute de garder cet ordre de grandeur en tête...

En pratique

On suppose pour l'exemple qu'on est le jeudi 8 octobre 2009, à 20 heures 47 minutes et 38 secondes UT, et que l'estime nous situe par $37^{\circ}46'$ N et $122^{\circ}37'$ W. On observe le soleil, et on a lu sur le sextant une hauteur de $44^{\circ}20'$.

Qu'on procède avec des tables de logarithmes ou avec des tables plus élaborées, il va falloir obtenir les coordonnées du point Pg de l'astre observé, à avoir le soleil.

Ceci s'obtient dans les éphémérides.

Thursday, October the 8th, 2009 (page 1)

UT	Sun ☉		Moon ☽			Aries ♈	UT
	GHA	Dec	GHA	Dec	hp	GHA	
00	183°05.36'	S 5°51.05'	318°32.53'	N 24°27.92'	58.1916'	16°45.67'	00
01	198°05.54'	S 5°52.00'	332°57.81'	N 24°33.37'	58.2079'	31°48.14'	01
02	213°05.72'	S 5°52.95'	347°23.02'	N 24°38.66'	58.2241'	46°50.60'	02
03	228°05.89'	S 5°53.91'	1°48.16'	N 24°43.80'	58.2402'	61°53.07'	03
04	243°06.07'	S 5°54.86'	16°13.23'	N 24°48.79'	58.2561'	76°55.53'	04
05	258°06.24'	S 5°55.81'	30°38.24'	N 24°53.62'	58.2720'	91°57.99'	05
06	273°06.42'	S 5°56.76'	45°03.18'	N 24°58.31'	58.2878'	107°00.46'	06
07	288°06.60'	S 5°57.72'	59°28.05'	N 25°02.83'	58.3035'	122°02.92'	07
08	303°06.77'	S 5°58.67'	73°52.86'	N 25°07.20'	58.3191'	137°05.39'	08
09	318°06.95'	S 5°59.62'	88°17.61'	N 25°11.41'	58.3346'	152°07.85'	09
10	333°07.12'	S 6°00.57'	102°42.30'	N 25°15.47'	58.3500'	167°10.32'	10
11	348°07.30'	S 6°01.53'	117°06.93'	N 25°19.37'	58.3654'	182°12.78'	11
12	3°07.47'	S 6°02.48'	131°31.51'	N 25°23.10'	58.3806'	197°15.24'	12
13	18°07.65'	S 6°03.43'	145°56.03'	N 25°26.68'	58.3957'	212°17.71'	13
14	33°07.82'	S 6°04.38'	160°20.49'	N 25°30.09'	58.4107'	227°20.17'	14
15	48°07.99'	S 6°05.33'	174°44.91'	N 25°33.34'	58.4257'	242°22.64'	15
16	63°08.17'	S 6°06.29'	189°09.27'	N 25°36.43'	58.4405'	257°25.10'	16
17	78°08.34'	S 6°07.24'	203°33.58'	N 25°39.36'	58.4552'	272°27.56'	17
18	93°08.52'	S 6°08.19'	217°57.85'	N 25°42.12'	58.4699'	287°30.03'	18
19	108°08.69'	S 6°09.14'	232°22.08'	N 25°44.71'	58.4844'	302°32.49'	19
20	123°08.86'	S 6°10.09'	246°46.26'	N 25°47.14'	58.4989'	317°34.96'	20
21	138°09.04'	S 6°11.04'	261°10.39'	N 25°49.41'	58.5132'	332°37.42'	21
22	153°09.21'	S 6°11.99'	275°34.49'	N 25°51.50'	58.5275'	347°39.89'	22
23	168°09.38'	S 6°12.94'	289°58.55'	N 25°53.43'	58.5417'	2°42.35'	23
24	183°09.55'	S 6°13.89'	304°22.58'	N 25°55.19'	58.5557'	17°44.81'	24
	sd 16.0089'	hp 0.1467'	sd 15.9076'	80.2%	-gib		
	Eq. of Time @ 1200 :+12m 29s		Phase @ 1200 :232.81°				
	Mer. Pass. Time:11:47:30.113		Age:18.1 day(s)				

On rappelle que l'heure de l'observation est 20 h 47 m 38 s UT.

Recherche de l'Angle Horaire à Greenwich (AHG)

À l'heure ronde inférieure, à savoir 20 heures, on lit AHG=123°08.86'.

Il est 47m 38s plus tard, quelle partie décimale d'une heure ceci représente-t-il ?

$$47m = 47 \times 60 s = 2820 s.$$

$$47m 38s = 2820 s + 38 s = 2858 s.$$

En heures, ceci représente $2858 / 3600 = 0.793888$ heure.

Entre 20 et 21 heures, l'AHG a varié de 123°08.86' à 138°09.04', soit une augmentation de 15°00.18¹²⁷.

127 Là, on chipote. On peut très bien se contenter de dire que l'Angle Horaire varie de 15° par

On interpole cette variation de façon linéaire, et on considère qu'en 47m 38s (0.793888 h), l'AHG a augmenté de $15^{\circ}00.18' \times 0.793888 = 11^{\circ}54.64'$. L'AHG à l'heure de l'observation sera donc $123^{\circ}08.86' + 11^{\circ}54.64' = 135^{\circ}03.5'$.

Recherche de la Déclinaison

De même, la déclinaison du soleil à 20 heures est S $6^{\circ}10.09'$. À 21 heures, elle est de S $6^{\circ}11.04'$, elle augmente donc de $0.95'$ en une heure.

En 47m 38s, elle aura donc augmenté de $0.95' \times 0.793888 = 0.75419'$, ce qui la porte ainsi à S $6^{\circ}10.84'$.

On a donc les coordonnées de Pg:

AHG : $135^{\circ}03.5'$

D : S $6^{\circ}10.84'$

Reste à calculer l'Angle Horaire Local. La longitude est ouest, on la retranche de AHG:

AHL = $135^{\circ}03.5' - 122^{\circ}37' = 12^{\circ}26.5'$.

La dernière étape est de corriger la hauteur instrumentale, pour en faire une hauteur observée. La même table que celle qu'on a utilisé pour la hauteur méridienne donne une correction positive de ($12.59' + 0.1'$). Ce qui porte la hauteur observée à **44°32.69'**.

On dispose maintenant de tous les éléments nécessaires au calcul.

Avec des tables de logarithmes

La méthode la plus longue puisqu'elle résout littéralement la formule, mais qui marche partout avec un minimum de matériel.

Ceux qui ne veulent pas s'encombrer avec des logarithmes peuvent aller directement à la section Avec des tables de navigation, page 71.

Avec une table de logarithmes, le calcul d'une hauteur comporte 12 étapes, et le calcul de l'azimut en comporte 15.

Allons-y.

On cherche donc à résoudre les formules suivantes :

$$He = \text{asin}(\sin(L) \cdot \sin(D) + \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL))$$

$$Z = \text{atan}\left(\frac{\sin(AHL)}{(\cos(L) \cdot \tan(D)) - (\sin(L) \cdot \cos(AHL))}\right)$$

heure.

Afin de permettre à tout le monde de suivre les calculs, on utilise ici des tables de logarithme américaines, disponibles sur <http://books.google.com>. Voir à leur sujet l'appendice Utilisation simplifiée des tables de logarithmes, page 97.

Je préfère personnellement utiliser les tables de Bouvart et Ratinet, malheureusement pas encore disponibles sur Google Books²⁸.

Calcul de la hauteur estimée

Donc, $He = \text{asin}(\sin(L) \cdot \sin(D) + \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL))$.

On va donc rechercher les logarithmes de

$$\sin(L) = \sin(37^\circ 46')$$

$$\sin(D) = \sin(-6^\circ 10.84') \text{ arrondi à } \sin(-6^\circ 11')$$

$$\cos(L) = \cos(37^\circ 46')$$

$$\cos(D) = \cos(-6^\circ 10.84') \text{ arrondi à } \cos(-6^\circ 11')$$

$$\cos(AHL) = \cos(12^\circ 26.5') \text{ arrondi à } \cos(12^\circ 26')$$

La façon d'effectuer ce calcul avec les tables de logarithmes est détaillée dans les pages qui suivent.

On va procéder comme suit :

$$\log \sin(37^\circ 46') = -0.21293$$

$$\log \sin(6^\circ 11') = -0.96734$$

$$\log \cos(37^\circ 46') = -0.10209$$

$$\log \cos(6^\circ 11') = -0.00253$$

$$\log \cos(12^\circ 26') = -0.01031$$

$$\log (\sin(L) \cdot \sin(D)) = -0.21293 - 0.96734 = -1.18027$$

$$\sin(L) \cdot \sin(D) = 0.065795$$

$$\log(\cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL)) = -0.10209 - 0.00253 - 0.01031 = -0.11493$$

$$\cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL) = 0.7675$$

$$\sin(L) \cdot \sin(D) + \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL) = 0.701705$$

$$\log(0.701705) = \log(7.01705 \cdot 10^{-1}) = \log(7.01705) - 1 = 0.846192 \cdot 10^{-1}$$

$$\mathbf{He = 44^\circ 33.5'}$$

²⁸ Il existe une version de ces tables sur Google Books, mais les angles n'y sont exprimés qu'en grades, ce qui rend les tables impropres à l'usage recherché ici.

Recherche de $\log(\sin(37^\circ 46'))$

III] 37° — Logarithms of Trigonometric Functions 83

	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos	d		Prop. Pts.
0	9.77 946		9.87 711		0.12 289	9.90 235		60	
1	9.77 963	17	9.87 738	27	0.12 262	9.90 225	10	59	
2	9.77 980	17	9.87 764	26	0.12 236	9.90 216	9	58	
3	9.77 997	17	9.87 790	26	0.12 210	9.90 206	10	57	
4	9.78 013	16	9.87 817	27	0.12 183	9.90 197	9	56	
5	9.78 030	17	9.87 843	26	0.12 157	9.90 187	10	55	
6	9.78 047	16	9.87 869	26	0.12 131	9.90 178	9	54	
7	9.78 063	16	9.87 895	26	0.12 105	9.90 168	10	53	
8	9.78 080	17	9.87 922	27	0.12 078	9.90 159	9	52	
9	9.78 097	17	9.87 948	26	0.12 052	9.90 149	10	51	
10	9.78 113	16	9.87 974	26	0.12 026	9.90 139	10	50	
11	9.78 130	17	9.88 000	26	0.12 000	9.90 130	9	49	2 5.4 5.2 3.4
12	9.78 147	17	9.88 027	27	0.11 973	9.90 120	10	48	3 8.1 7.8 5.1
13	9.78 163	16	9.88 053	26	0.11 947	9.90 111	9	47	4 10.8 10.4 6.8
14	9.78 180	17	9.88 079	26	0.11 921	9.90 101	10	46	5 13.5 13.0 8.5
15	9.78 197	16	9.88 105	26	0.11 895	9.90 091	9	45	6 16.2 15.6 10.2
16	9.78 213	16	9.88 131	26	0.11 869	9.90 082	9	44	7 18.9 18.2 11.9
17	9.78 230	17	9.88 158	27	0.11 842	9.90 072	10	43	8 21.6 20.8 13.6
18	9.78 246	16	9.88 184	26	0.11 816	9.90 063	9	42	9 24.3 23.4 15.3
19	9.78 263	17	9.88 210	26	0.11 790	9.90 053	10	41	
20	9.78 280	16	9.88 236	26	0.11 764	9.90 043	9	40	
21	9.78 296	16	9.88 262	26	0.11 738	9.90 034	9	39	
22	9.78 313	17	9.88 289	27	0.11 711	9.90 024	10	38	
23	9.78 329	16	9.88 315	26	0.11 685	9.90 014	10	37	16 10 9
24	9.78 346	17	9.88 341	26	0.11 659	9.90 005	9	36	2 3.2 2.0 1.8
25	9.78 362	16	9.88 367	26	0.11 633	9.89 995	10	35	3 4.8 3.0 2.7
26	9.78 379	17	9.88 393	26	0.11 607	9.89 985	10	34	4 6.4 4.0 3.6
27	9.78 395	16	9.88 420	27	0.11 580	9.89 976	9	33	5 8.0 5.0 4.5
28	9.78 412	17	9.88 446	26	0.11 554	9.89 966	10	32	6 9.6 6.0 5.4
29	9.78 428	16	9.88 472	26	0.11 528	9.89 956	10	31	7 11.2 7.0 6.3
30	9.78 445	17	9.88 498	26	0.11 502	9.89 947	9	30	8 12.8 8.0 7.2
31	9.78 461	16	9.88 524	26	0.11 476	9.89 937	10	29	9 14.4 9.0 8.1
32	9.78 478	16	9.88 550	26	0.11 450	9.89 927	10	28	
33	9.78 494	16	9.88 577	27	0.11 423	9.89 918	9	27	
34	9.78 510	16	9.88 603	26	0.11 397	9.89 908	10	26	
35	9.78 527	17	9.88 629	26	0.11 371	9.89 898	10	25	
36	9.78 543	16	9.88 655	26	0.11 345	9.89 888	10	24	
37	9.78 560	17	9.88 681	26	0.11 319	9.89 879	9	23	
38	9.78 576	16	9.88 707	26	0.11 293	9.89 869	10	22	
39	9.78 592	16	9.88 733	26	0.11 267	9.89 859	10	21	
40	9.78 609	17	9.88 759	26	0.11 241	9.89 849	9	20	
41	9.78 625	16	9.88 786	27	0.11 214	9.89 840	9	19	
42	9.78 642	17	9.88 812	26	0.11 188	9.89 830	10	18	
43	9.78 658	16	9.88 838	26	0.11 162	9.89 820	10	17	
44	9.78 674	16	9.88 864	26	0.11 136	9.89 810	10	16	
45	9.78 691	16	9.88 890	26	0.11 110	9.89 801	9	15	
46	9.78 707	16	9.88 916	26	0.11 084	9.89 791	10	14	
47	9.78 723	16	9.88 942	26	0.11 058	9.89 781	10	13	
48	9.78 739	16	9.88 968	26	0.11 032	9.89 771	10	12	
49	9.78 756	17	9.88 994	26	0.11 006	9.89 761	9	11	
50	9.78 772	16	9.89 020	26	0.10 980	9.89 752	9	10	
51	9.78 788	16	9.89 046	26	0.10 954	9.89 742	10	9	
52	9.78 805	17	9.89 073	27	0.10 927	9.89 732	10	8	
53	9.78 821	16	9.89 099	26	0.10 901	9.89 722	10	7	
54	9.78 837	16	9.89 125	26	0.10 875	9.89 712	10	6	
55	9.78 853	16	9.89 151	26	0.10 849	9.89 702	9	5	
56	9.78 869	16	9.89 177	26	0.10 823	9.89 693	10	4	
57	9.78 886	17	9.89 203	26	0.10 797	9.89 683	10	3	
58	9.78 902	16	9.89 229	26	0.10 771	9.89 673	10	2	
59	9.78 918	16	9.89 255	26	0.10 745	9.89 663	10	1	
60	9.78 934	16	9.89 281	26	0.10 719	9.89 653	10	0	
	L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	d	/	Prop. Pts.

52° — Logarithms of Trigonometric Functions

Digitized by Google

On trouve : $\log(\sin(37^\circ 46')) = 9.78707$ soit $9.78707 - 10 = -0.21293$

Recherche de $\log(\sin(6^\circ 11'))$

52 6° -- Logarithms of Trigonometric Functions (III)

	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos		Prop. Pts.				
0	9.01 923		9.02 162	121	0.97 838	9.99 761	60					
1	9.02 043	120	9.02 283	121	0.97 717	9.99 760	59					
2	9.02 163	120	9.02 404	121	0.97 596	9.99 739	58					
3	9.02 283	120	9.02 525	121	0.97 475	9.99 757	57					
4	9.02 402	119	9.02 645	120	0.97 355	9.99 756	56					
5	9.02 520	119	9.02 766	121	0.97 234	9.99 755	55	121	120	119	118	
6	9.02 639	119	9.02 885	119	0.97 115	9.99 753	54	2	24.2	24.0	23.8	23.6
7	9.02 757	118	9.03 005	120	0.96 995	9.99 752	53	3	36.3	36.0	35.7	35.4
8	9.02 874	117	9.03 124	119	0.96 876	9.99 751	52	4	48.4	48.0	47.6	47.2
9	9.02 992	118	9.03 242	118	0.96 758	9.99 749	51	5	60.5	60.0	59.5	59.0
10	9.03 109	117	9.03 361	119	0.96 639	9.99 748	50	6	72.6	72.0	71.4	70.8
11	9.03 226	117	9.03 479	118	0.96 521	9.99 747	49	7	84.7	84.0	83.3	82.6
12	9.03 342	116	9.03 597	118	0.96 403	9.99 745	48	8	96.8	96.0	95.2	94.4
13	9.03 458	116	9.03 714	117	0.96 288	9.99 744	47	9	108.9	108.0	107.1	106.2
14	9.03 574	116	9.03 832	118	0.96 168	9.99 742	46					
15	9.03 690	116	9.03 948	116	0.96 052	9.99 741	45	2	23.4	23.2	23.0	22.8
16	9.03 805	115	9.04 065	117	0.95 935	9.99 740	44	3	35.1	34.8	34.5	34.2
17	9.03 920	115	9.04 181	116	0.95 819	9.99 738	43	4	46.8	46.4	46.0	45.6
18	9.04 034	114	9.04 297	116	0.95 703	9.99 737	42	5	58.5	58.0	57.5	57.0
19	9.04 149	115	9.04 413	116	0.95 587	9.99 736	41	6	70.2	69.6	69.0	68.4
20	9.04 262	114	9.04 528	115	0.95 472	9.99 734	40	7	81.9	81.2	80.5	79.8
21	9.04 376	114	9.04 643	115	0.95 357	9.99 733	39	8	93.6	92.8	92.0	91.2
22	9.04 490	114	9.04 758	115	0.95 242	9.99 731	38	9	105.3	104.4	103.5	102.6
23	9.04 603	113	9.04 873	115	0.95 127	9.99 730	37					
24	9.04 715	112	9.04 987	114	0.95 013	9.99 728	36					
25	9.04 828	113	9.05 101	114	0.94 899	9.99 727	35	1	57.8	57.2	56.6	56.0
26	9.04 940	112	9.05 214	113	0.94 786	9.99 726	34	2	79.1	78.4	77.7	77.0
27	9.05 052	112	9.05 328	114	0.94 672	9.99 724	33	3	90.4	89.6	88.8	88.0
28	9.05 164	111	9.05 441	113	0.94 559	9.99 723	32	4	101.7	100.8	99.9	99.0
29	9.05 275	111	9.05 553	112	0.94 447	9.99 721	31	5	109	108	107	106
30	9.05 386	111	9.05 666	113	0.94 334	9.99 720	30	6	21.8	21.6	21.4	21.2
31	9.05 497	111	9.05 778	112	0.94 222	9.99 718	29	7	32.7	32.4	32.1	31.8
32	9.05 607	110	9.05 890	112	0.94 110	9.99 717	28	8	43.6	43.2	42.8	42.4
33	9.05 717	110	9.06 002	112	0.93 998	9.99 716	27	9	54.5	54.0	53.5	53.0
34	9.05 827	110	9.06 113	111	0.93 887	9.99 714	26	10	65.4	64.8	64.2	63.6
35	9.05 937	109	9.06 224	111	0.93 776	9.99 713	25	11	76.3	75.6	74.9	74.2
36	9.06 046	109	9.06 335	111	0.93 665	9.99 711	24	12	87.2	86.4	85.6	84.8
37	9.06 155	109	9.06 445	110	0.93 555	9.99 710	23	13	98.1	97.3	96.3	95.4
38	9.06 264	108	9.06 556	111	0.93 444	9.99 708	22					
39	9.06 372	109	9.06 666	110	0.93 334	9.99 707	21					
40	9.06 481	108	9.06 775	110	0.93 225	9.99 705	20					
41	9.06 589	107	9.06 885	109	0.93 115	9.99 704	19					
42	9.06 696	107	9.06 994	109	0.93 006	9.99 702	18					
43	9.06 804	108	9.07 103	109	0.92 897	9.99 701	17					
44	9.06 911	107	9.07 211	108	0.92 789	9.99 699	16					
45	9.07 018	107	9.07 320	108	0.92 680	9.99 698	15					
46	9.07 124	107	9.07 428	108	0.92 572	9.99 696	14					
47	9.07 231	107	9.07 536	108	0.92 464	9.99 695	13					
48	9.07 337	106	9.07 643	107	0.92 357	9.99 693	12					
49	9.07 442	106	9.07 751	108	0.92 249	9.99 692	11					
50	9.07 548	105	9.07 858	106	0.92 142	9.99 690	10					
51	9.07 653	105	9.07 964	106	0.92 036	9.99 689	9					
52	9.07 758	105	9.08 071	107	0.91 929	9.99 687	8					
53	9.07 863	105	9.08 177	106	0.91 823	9.99 686	7					
54	9.07 968	104	9.08 283	106	0.91 717	9.99 684	6					
55	9.08 072	104	9.08 389	106	0.91 611	9.99 683	5					
56	9.08 176	104	9.08 495	106	0.91 505	9.99 681	4					
57	9.08 280	104	9.08 600	105	0.91 400	9.99 680	3					
58	9.08 383	103	9.08 705	105	0.91 295	9.99 678	2					
59	9.08 486	103	9.08 810	104	0.91 190	9.99 677	1					
60	9.08 589	103	9.08 914	104	0.91 086	9.99 675	0					
	L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	/					Prop. Pts.

83° -- Logarithms of Trigonometric Functions

On trouve : $\log(\sin(6^\circ 11')) = 9.03226$ soit $9.03226 - 10 = -0.96734$

From the top:

For $6^\circ+$ or $186^\circ+$,
read as printed; for
 $96^\circ+$ or $276^\circ+$, read
co-function.

From the bottom:

For $83^\circ+$ or $263^\circ+$,
read as printed; for
 $173^\circ+$ or $353^\circ+$, read
co-function.

III] **37° — Logarithms of Trigonometric Functions** 83

	L Sin	d	L Tan	cd	L Ctn	L Cos	d		Prop. Pts.		
0	9.77 946	17	9.87 711	27	0.12 289	9.90 235	10	60			
1	9.77 963	17	9.87 738	26	0.12 262	9.90 225	9	59			
2	9.77 980	17	9.87 764	26	0.12 236	9.90 216	9	58			
3	9.77 997	17	9.87 790	26	0.12 210	9.90 206	10	57			
4	9.78 013	16	9.87 817	27	0.12 183	9.90 197	9	56			
5	9.78 030	17	9.87 843	26	0.12 157	9.90 187	9	55			
6	9.78 047	17	9.87 869	26	0.12 131	9.90 178	9	54			
7	9.78 063	16	9.87 895	26	0.12 105	9.90 168	10	53			
8	9.78 080	17	9.87 922	27	0.12 078	9.90 159	9	52			
9	9.78 097	17	9.87 948	26	0.12 052	9.90 149	10	51			
10	9.78 113	16	9.87 974	26	0.12 026	9.90 139	10	50	27	26	17
11	9.78 130	17	9.88 000	26	0.12 000	9.90 130	9	49	2	5.4	5.2
12	9.78 147	17	9.88 027	27	0.11 973	9.90 120	10	48	3	8.1	7.8
13	9.78 163	16	9.88 053	26	0.11 947	9.90 111	9	47	4	10.8	10.4
14	9.78 180	17	9.88 079	26	0.11 921	9.90 101	10	46	5	13.5	13.0
15	9.78 197	16	9.88 105	26	0.11 895	9.90 091	9	45	6	16.2	15.6
16	9.78 213	16	9.88 131	27	0.11 869	9.90 082	9	44	7	18.9	18.2
17	9.78 230	17	9.88 158	27	0.11 842	9.90 072	10	43	8	21.6	20.8
18	9.78 246	16	9.88 184	26	0.11 816	9.90 063	9	42	9	24.3	23.4
19	9.78 263	17	9.88 210	26	0.11 790	9.90 053	10	41			
20	9.78 280	16	9.88 236	26	0.11 764	9.90 043	10	40			
21	9.78 296	16	9.88 262	26	0.11 738	9.90 034	9	39			
22	9.78 313	17	9.88 289	27	0.11 711	9.90 024	10	38	16	10	9
23	9.78 329	16	9.88 316	26	0.11 685	9.90 014	10	37			
24	9.78 346	17	9.88 341	26	0.11 659	9.90 005	9	36	2	3.2	2.0
25	9.78 362	16	9.88 367	26	0.11 633	9.89 995	10	35	3	4.8	3.0
26	9.78 379	17	9.88 393	26	0.11 607	9.89 985	10	34	4	6.4	4.0
27	9.78 395	16	9.88 420	27	0.11 580	9.89 976	9	33	5	8.0	5.0
28	9.78 412	17	9.88 446	26	0.11 554	9.89 966	10	32	6	9.6	6.0
29	9.78 428	17	9.88 472	26	0.11 528	9.89 956	10	31	7	11.2	7.0
30	9.78 445	16	9.88 498	26	0.11 502	9.89 947	9	30	8	12.8	8.0
31	9.78 461	16	9.88 524	26	0.11 476	9.89 937	10	29	9	14.4	9.0
32	9.78 478	17	9.88 550	26	0.11 450	9.89 927	10	28			
33	9.78 494	16	9.88 577	27	0.11 423	9.89 918	9	27			
34	9.78 510	17	9.88 603	26	0.11 397	9.89 908	10	26			
35	9.78 527	16	9.88 629	26	0.11 371	9.89 898	10	25			
36	9.78 543	16	9.88 655	26	0.11 345	9.89 888	10	24	From the top :		
37	9.78 560	17	9.88 681	26	0.11 319	9.89 879	9	23	For 37°+ or 217°+, read as printed; for 127°+ or 307°+, read co-function.		
38	9.78 576	16	9.88 707	26	0.11 293	9.89 869	10	22			
39	9.78 592	16	9.88 733	26	0.11 267	9.89 859	10	21			
40	9.78 609	17	9.88 759	27	0.11 241	9.89 849	9	20	From the bottom :		
41	9.78 625	16	9.88 786	27	0.11 214	9.89 840	9	19	For 52°+ or 232°+, read as printed; for 142°+ or 322°+, read co-function.		
42	9.78 642	16	9.88 812	26	0.11 188	9.89 830	10	18			
43	9.78 658	16	9.88 838	26	0.11 162	9.89 820	10	17			
44	9.78 674	17	9.88 864	26	0.11 136	9.89 810	10	16			
45	9.78 691	16	9.88 890	26	0.11 110	9.89 801	9	15			
46	9.78 707	16	9.88 916	26	0.11 084	9.89 791	10	14	From the top :		
47	9.78 723	16	9.88 942	26	0.11 058	9.89 781	10	13	For 52°+ or 232°+, read as printed; for 142°+ or 322°+, read co-function.		
48	9.78 739	16	9.88 968	26	0.11 032	9.89 771	10	12			
49	9.78 756	16	9.88 994	26	0.11 006	9.89 761	9	11			
50	9.78 772	16	9.89 020	26	0.10 980	9.89 752	10	10			
51	9.78 788	17	9.89 046	27	0.10 954	9.89 742	10	9			
52	9.78 805	16	9.89 073	27	0.10 927	9.89 732	10	8			
53	9.78 821	16	9.89 099	26	0.10 901	9.89 722	10	7			
54	9.78 837	16	9.89 125	26	0.10 875	9.89 712	10	6			
55	9.78 853	16	9.89 151	26	0.10 849	9.89 702	10	5			
56	9.78 869	17	9.89 177	26	0.10 823	9.89 693	9	4			
57	9.78 886	17	9.89 203	26	0.10 797	9.89 683	10	3			
58	9.78 902	16	9.89 229	26	0.10 771	9.89 673	10	2			
59	9.78 918	16	9.89 255	26	0.10 745	9.89 663	10	1			
60	9.78 934	16	9.89 281	26	0.10 719	9.89 653	10	0			
	L Cos	d	L Ctn	cd	L Tan	L Sin	d	'	Prop. Pts.		

52° — Logarithms of Trigonometric Functions

Digitized by Google

Recherche de $\log(\cos(37^\circ 46'))$

On trouve : $\log(\cos(37^\circ 46')) = 9.89791$ soit $9.89791 - 10 = -0.10209$

Recherche de $\log(\cos(6^\circ 11'))$

52 6° -- Logarithms of Trigonometric Functions [III]

/	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos		Prop. Pts.
0	9.01 923		9.02 162		0.97 838	9.99 761	60	
1	9.02 043	120	9.02 283	121	0.97 717	9.99 780	59	
2	9.02 163	120	9.02 404	121	0.97 596	9.99 759	58	
3	9.02 283	120	9.02 525	121	0.97 475	9.99 757	57	
4	9.02 402	119	9.02 645	120	0.97 355	9.99 756	56	
5	9.02 520	118	9.02 766	121	0.97 234	9.99 755	55	121 120 119 118
6	9.02 639	119	9.02 885	119	0.97 115	9.99 753	54	2 24.2 24.0 23.8 23.6
7	9.02 757	118	9.03 005	120	0.96 995	9.99 752	53	3 36.3 36.0 35.7 35.4
8	9.02 874	117	9.03 124	119	0.96 876	9.99 751	52	4 48.4 48.0 47.6 47.2
9	9.02 992	118	9.03 242	118	0.96 758	9.99 749	51	5 60.5 60.0 59.5 59.0
10	9.03 109	117	9.03 361	119	0.96 639	9.99 748	50	6 72.6 72.0 71.4 70.8
11	9.03 226	117	9.03 479	118	0.96 521	9.99 747	49	7 84.7 84.0 83.3 82.6
12	9.03 342	116	9.03 597	118	0.96 403	9.99 745	48	8 96.8 96.0 95.2 94.4
13	9.03 458	116	9.03 714	117	0.96 286	9.99 744	47	9 108.9 108.0 107.1 106.2
14	9.03 574	116	9.03 832	118	0.96 168	9.99 742	46	
15	9.03 690	116	9.03 948	116	0.96 052	9.99 741	45	2 23.4 23.2 23.0 22.8
16	9.03 805	115	9.04 065	117	0.95 935	9.99 740	44	3 35.1 34.8 34.5 34.2
17	9.03 920	115	9.04 181	116	0.95 819	9.99 738	43	4 46.8 46.4 46.0 45.6
18	9.04 034	114	9.04 297	116	0.95 703	9.99 737	42	5 58.5 58.0 57.5 57.0
19	9.04 149	115	9.04 413	116	0.95 587	9.99 736	41	6 70.2 69.6 69.0 68.4
20	9.04 262	114	9.04 528	115	0.95 472	9.99 734	40	7 81.9 81.2 80.5 79.8
21	9.04 376	114	9.04 643	115	0.95 357	9.99 733	39	8 93.6 92.8 92.0 91.2
22	9.04 490	114	9.04 758	115	0.95 242	9.99 731	38	9 105.3 104.4 103.5 102.6
23	9.04 603	113	9.04 873	115	0.95 127	9.99 730	37	
24	9.04 715	112	9.04 987	114	0.95 013	9.99 728	36	2 22.6 22.4 22.2 22.0
25	9.04 828	113	9.05 101	114	0.94 899	9.99 727	35	3 33.9 33.6 33.3 33.0
26	9.04 940	112	9.05 214	113	0.94 786	9.99 726	34	4 45.2 44.8 44.4 44.0
27	9.05 052	112	9.05 328	114	0.94 672	9.99 724	33	5 56.5 56.0 55.5 55.0
28	9.05 164	112	9.05 441	113	0.94 559	9.99 723	32	6 67.8 67.2 66.6 66.0
29	9.05 275	111	9.05 553	112	0.94 447	9.99 721	31	7 79.1 78.4 77.7 77.0
30	9.05 386	111	9.05 666	113	0.94 334	9.99 720	30	8 90.4 89.6 88.8 88.0
31	9.05 497	111	9.05 778	112	0.94 222	9.99 718	29	9 101.7 100.8 99.9 99.0
32	9.05 607	110	9.05 890	112	0.94 110	9.99 717	28	
33	9.05 717	110	9.06 002	112	0.93 998	9.99 716	27	2 21.8 21.6 21.4 21.2
34	9.05 827	110	9.06 113	111	0.93 887	9.99 714	26	3 32.7 32.4 32.1 31.8
35	9.05 937	109	9.06 224	111	0.93 776	9.99 713	25	4 43.6 43.2 42.8 42.4
36	9.06 046	109	9.06 335	111	0.93 665	9.99 711	24	5 54.5 54.0 53.5 53.0
37	9.06 155	109	9.06 445	110	0.93 555	9.99 710	23	6 65.4 64.8 64.2 63.6
38	9.06 264	108	9.06 556	111	0.93 444	9.99 708	22	7 76.3 75.6 74.9 74.2
39	9.06 372	109	9.06 666	110	0.93 334	9.99 707	21	8 87.2 86.4 85.6 84.8
40	9.06 481	108	9.06 775	109	0.93 225	9.99 705	20	9 98.1 97.2 96.3 95.4
41	9.06 589	107	9.06 885	110	0.93 115	9.99 704	19	
42	9.06 696	107	9.06 994	109	0.93 006	9.99 702	18	
43	9.06 804	108	9.07 103	109	0.92 897	9.99 701	17	
44	9.06 911	107	9.07 211	108	0.92 789	9.99 699	16	
45	9.07 018	107	9.07 320	108	0.92 680	9.99 698	15	
46	9.07 124	108	9.07 428	108	0.92 572	9.99 696	14	
47	9.07 231	106	9.07 536	107	0.92 464	9.99 695	13	
48	9.07 337	106	9.07 643	107	0.92 357	9.99 693	12	
49	9.07 442	106	9.07 751	108	0.92 249	9.99 692	11	
50	9.07 548	105	9.07 858	106	0.92 142	9.99 690	10	
51	9.07 653	105	9.07 964	106	0.92 036	9.99 689	9	
52	9.07 758	105	9.08 071	107	0.91 929	9.99 687	8	
53	9.07 863	105	9.08 177	106	0.91 823	9.99 686	7	
54	9.07 968	104	9.08 283	106	0.91 717	9.99 684	6	
55	9.08 072	104	9.08 389	106	0.91 611	9.99 683	5	
56	9.08 176	104	9.08 495	106	0.91 505	9.99 681	4	
57	9.08 280	104	9.08 600	105	0.91 400	9.99 680	3	
58	9.08 383	103	9.08 705	105	0.91 295	9.99 678	2	
59	9.08 486	103	9.08 810	106	0.91 190	9.99 677	1	
60	9.08 589	103	9.08 914	104	0.91 086	9.99 675	0	
	L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	/	Prop. Pts.

83° — Logarithms of Trigonometric Functions

On trouve : $\log(\cos(6^\circ 11')) = 9.99747$ soit $9.99747 - 10 = -0.00253$

Recherche de $\log(\cos(12^\circ 26'))$

58 12° — Logarithms of Trigonometric Functions [II]

/	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos	d	Prop. Pts.		
0	9.31 788	59	9.32 747	63	0.67 263	9.99 040	2	60	\checkmark	
1	9.31 847	60	9.32 810	62	0.67 190	9.99 038	3	59	63	
2	9.31 907	60	9.32 872	62	0.67 128	9.99 035	3	58	62	
3	9.31 966	59	9.32 933	61	0.67 067	9.99 032	2	57	12.6	
4	9.32 025	59	9.32 995	62	0.67 005	9.99 030	2	56	12.4	
5	9.32 084	59	9.33 057	62	0.66 943	9.99 027	3	55	18.6	
6	9.32 143	59	9.33 119	62	0.66 881	9.99 024	3	54	24.8	
7	9.32 202	59	9.33 180	61	0.66 820	9.99 022	2	53	30.5	
8	9.32 261	59	9.33 242	62	0.66 758	9.99 019	3	52	36.6	
9	9.32 319	58	9.33 303	61	0.66 697	9.99 016	3	51	42.7	
10	9.32 378	58	9.33 365	62	0.66 635	9.99 013	3	50	48.8	
11	9.32 437	59	9.33 426	61	0.66 574	9.99 011	2	49	54.9	
12	9.32 495	58	9.33 487	61	0.66 513	9.99 008	3	48	59	
13	9.32 553	59	9.33 548	61	0.66 452	9.99 005	3	47	58	
14	9.32 612	59	9.33 609	61	0.66 391	9.99 002	3	46	11.6	
15	9.32 670	58	9.33 670	61	0.66 330	9.99 000	2	45	17.7	
16	9.32 728	58	9.33 731	61	0.66 269	9.98 997	3	44	23.6	
17	9.32 786	58	9.33 792	61	0.66 208	9.98 994	3	43	29.5	
18	9.32 844	58	9.33 883	60	0.66 147	9.98 991	3	42	35.4	
19	9.32 902	58	9.33 913	60	0.66 087	9.98 989	2	41	41.3	
20	9.32 960	58	9.33 974	61	0.66 026	9.98 986	3	40	47.2	
21	9.33 018	58	9.34 034	60	0.65 966	9.98 983	3	39	52.2	
22	9.33 075	57	9.34 095	61	0.65 905	9.98 980	3	38	57	
23	9.33 133	58	9.34 155	60	0.65 845	9.98 978	2	37	56	
24	9.33 190	57	9.34 215	60	0.65 785	9.98 975	3	36	11.2	
25	9.33 248	58	9.34 276	61	0.65 724	9.98 972	3	35	16.8	
26	9.33 305	57	9.34 336	60	0.65 664	9.98 969	3	34	22.8	
27	9.33 362	57	9.34 396	60	0.65 604	9.98 967	2	33	28.0	
28	9.33 420	58	9.34 456	60	0.65 544	9.98 964	3	32	33.6	
29	9.33 477	57	9.34 516	60	0.65 484	9.98 961	3	31	39.2	
30	9.33 534	57	9.34 576	60	0.65 424	9.98 958	3	30	45.6	
31	9.33 591	57	9.34 635	59	0.65 365	9.98 955	3	29	50.4	
32	9.33 647	56	9.34 695	60	0.65 305	9.98 953	2	28	54.2	
33	9.33 704	57	9.34 755	60	0.65 245	9.98 950	3	27	59.2	
34	9.33 761	57	9.34 814	59	0.65 186	9.98 947	3	26	5.6	
35	9.33 818	56	9.34 874	59	0.65 126	9.98 944	3	25	0.6	
36	9.33 874	56	9.34 933	59	0.65 067	9.98 941	3	24	16.5	
37	9.33 931	57	9.34 992	59	0.65 008	9.98 938	2	23	1.2	
38	9.33 987	56	9.35 051	59	0.64 949	9.98 936	2	22	1.5	
39	9.34 043	56	9.35 111	60	0.64 889	9.98 933	3	21	33.0	
40	9.34 100	56	9.35 170	59	0.64 830	9.98 930	2	20	2.1	
41	9.34 156	56	9.35 229	59	0.64 771	9.98 927	3	19	38.5	
42	9.34 212	56	9.35 288	59	0.64 712	9.98 924	3	18	44.0	
43	9.34 268	56	9.35 347	59	0.64 653	9.98 921	3	17	50.5	
44	9.34 324	56	9.35 405	58	0.64 593	9.98 919	2	16	55.6	
45	9.34 380	55	9.35 464	58	0.64 536	9.98 916	3	15	From the top :	
46	9.34 436	55	9.35 523	59	0.64 477	9.98 913	3	14	For 12°+ or 192°+,	
47	9.34 491	55	9.35 581	58	0.64 419	9.98 910	3	13	read as printed; for	
48	9.34 547	55	9.35 640	59	0.64 360	9.98 907	3	12	102°+ or 282°+, read	
49	9.34 602	55	9.35 698	58	0.64 302	9.98 904	3	11	co-function.	
50	9.34 658	55	9.35 757	58	0.64 243	9.98 901	3	10	From the bottom :	
51	9.34 713	55	9.35 815	58	0.64 185	9.98 898	2	9	For 77° or 257°,	
52	9.34 769	55	9.35 873	58	0.64 127	9.98 896	3	8	read as printed; for	
53	9.34 824	55	9.35 931	58	0.64 069	9.98 893	3	7	167° or 347°, read	
54	9.34 879	55	9.35 989	58	0.64 011	9.98 890	3	6	co-function.	
55	9.34 934	55	9.36 047	58	0.63 953	9.98 887	3	5	For 77° or 257°,	
56	9.34 989	55	9.36 105	58	0.63 895	9.98 884	3	4	read as printed; for	
57	9.35 044	55	9.36 163	58	0.63 837	9.98 881	3	3	167° or 347°, read	
58	9.35 099	55	9.36 221	58	0.63 779	9.98 878	3	2	co-function.	
59	9.35 154	55	9.36 279	58	0.63 721	9.98 875	3	1		
60	9.35 209	55	9.36 336	57	0.63 664	9.98 872	3	0		
	L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	d	/	Prop. Pts.	

77° — Logarithms of Trigonometric Functions

On trouve : $\log(\cos(12^\circ 26')) = 9.98969$ soit $9.98969 - 10 = -0.01031$

Donc :

$$\log(L \sin(D) \cdot L \cos(D)) = -0.21293 - 0.96734 = -1.18027.$$

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.
650	812	1	298	305	311	318	325	331	338	345	351
51	358	365	371	378	385	391	398	405	411	418	
52	425	431	438	445	451	458	465	471	478	485	
53	491	498	505	511	518	525	531	538	544	551	
54	558	564	571	578	584	591	598	604	611	617	
55	624	631	637	644	651	657	664	671	677	684	
56	690	697	704	710	717	723	730	737	743	750	
57	757	763	770	776	783	790	796	803	809	816	
58	823	829	836	842	849	856	862	869	875	882	
59	889	895	902	908	915	921	928	935	941	948	
660	954	961	968	974	981	987	994	*000	*007	*014	
61	82020	027	033	040	046	053	060	066	073	079	
62	086	092	099	105	112	119	125	132	138	145	
63	151	158	164	171	178	184	191	197	204	210	
64	217	223	230	236	243	249	256	263	269	276	
65	282	289	295	302	308	315	321	328	334	341	
66	347	354	360	367	373	380	387	393	400	406	
67	413	419	426	432	439	445	452	458	465	471	
68	478	484	491	497	504	510	517	523	530	536	
69	543	549	556	562	569	575	582	588	595	601	
670	607	614	620	627	633	640	646	653	659	666	
71	672	679	685	692	698	705	711	718	724	730	
72	737	743	750	756	763	769	776	782	789	795	
73	802	808	814	821	827	834	840	847	853	860	
74	866	872	879	885	892	898	905	911	918	924	
75	930	937	943	950	956	963	969	975	982	988	
76	995	*001	*008	*014	*020	*027	*033	*040	*046	*052	
77	83059	065	072	078	085	091	097	104	110	117	
78	123	129	136	142	149	155	161	168	174	181	
79	187	193	200	206	213	219	225	232	238	245	
680	251	257	264	270	276	283	289	296	302	308	
81	315	321	327	334	340	347	353	359	366	372	
82	378	385	391	398	404	410	417	423	429	436	
83	442	448	455	461	467	474	480	487	493	499	
84	506	512	518	525	531	537	544	550	556	563	
85	569	575	582	588	594	601	607	613	620	626	
86	632	639	645	651	658	664	670	677	683	689	
87	696	702	708	715	721	727	734	740	746	753	
88	759	765	771	778	784	790	797	803	809	816	
89	822	828	835	841	847	853	860	866	872	879	
690	885	891	897	904	910	916	923	929	935	942	
91	948	954	960	967	973	979	985	992	998	*004	
92	84011	017	023	029	036	042	048	055	061	067	
93	073	080	086	092	098	105	111	117	123	130	
94	136	142	148	155	161	167	173	180	186	192	
95	198	205	211	217	223	230	236	242	248	255	
96	261	267	273	280	286	292	298	305	311	317	
97	323	330	336	342	348	354	361	367	373	379	
98	386	392	398	404	410	417	423	429	435	442	
99	448	454	460	466	473	479	485	491	497	504	
700	510	516	522	528	535	541	547	553	559	566	
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.

1	0.7	0.6
2	1.4	1.2
3	2.1	1.8
4	2.8	2.4
5	3.5	3.0
6	4.2	3.6
7	4.9	4.2
8	5.6	4.8
9	6.3	5.4

$$\text{Ainsi } \sin(L) \cdot \sin(D) = 10^{(-1.18027)} = 10^{(0.81973 - 2)} = 6.5795 \cdot 10^{-2} = 0.065795$$

Attention, la déclinaison est négative (S), son sinus est donc négatif. On a donc $\sin(L) \cdot \sin(D) = -0.065795$.

De même :

$$\log(\cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL)) = -0.10209 - 0.00253 - 0.01031 = -0.11493$$

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.
750	87 506	512	518	523	529	535	541	547	553	558	
51	564	570	576	581	587	593	599	604	610	616	
52	622	628	633	639	645	651	656	662	668	674	
53	679	685	691	697	703	708	714	720	726	731	
54	737	743	749	754	760	766	772	777	783	789	
55	795	800	806	812	818	823	829	835	841	846	
56	852	858	864	869	875	881	887	892	898	904	
57	910	915	921	927	933	938	944	960	965	961	
58	967	973	978	984	990	996	*001	*007	*013	*018	
59	88 014	030	036	041	047	053	058	064	070	076	
760	081	087	093	098	104	110	116	121	127	133	
61	138	144	150	156	161	167	173	178	184	190	
62	196	201	207	213	218	224	230	236	241	247	
63	252	258	264	270	275	281	287	293	298	304	
64	309	315	321	326	332	338	343	349	355	360	
65	366	372	377	383	389	395	400	406	412	417	
66	423	429	434	440	446	451	457	463	468	474	
67	480	485	491	497	502	508	513	519	525	530	
68	536	542	547	553	559	564	570	576	581	587	
69	593	598	604	610	615	621	627	632	638	643	
770	649	655	660	666	672	677	683	689	694	700	
71	705	711	717	723	728	734	739	745	750	756	
72	762	767	773	779	784	790	795	801	807	812	
73	818	824	829	835	840	846	852	857	863	868	
74	874	880	885	891	897	902	908	913	919	925	
75	930	936	941	947	953	958	964	969	975	981	
76	986	992	997	*003	*009	*014	*020	*025	*031	*037	
77	89 042	048	053	059	064	070	076	081	087	092	
78	98	104	109	115	120	126	131	137	143	148	
79	154	159	165	170	176	182	187	193	198	204	
780	209	215	221	226	232	237	243	248	254	260	
81	265	271	276	282	287	293	298	304	310	315	
82	321	326	332	337	343	348	354	360	365	371	
83	376	382	387	393	398	404	409	415	421	426	
84	432	437	443	448	454	459	465	470	476	481	
85	487	492	498	504	509	515	520	526	531	537	
86	542	548	553	559	564	570	575	581	586	592	
87	597	603	609	614	620	625	631	636	642	647	
88	653	658	664	669	675	680	686	691	697	702	
89	708	713	719	724	730	735	741	746	752	757	
790	763	768	774	779	785	790	796	801	807	812	
91	818	823	829	834	840	845	851	856	862	867	
92	873	878	883	889	894	900	905	911	916	922	
93	927	933	938	944	949	955	960	966	971	977	
94	982	988	993	998	*004	*009	*015	*020	*026	*031	
95	90 037	042	048	053	069	064	069	075	080	086	
96	091	097	102	108	113	119	124	129	135	140	
97	146	151	157	162	168	173	179	184	189	195	
98	200	206	211	217	222	227	233	238	244	249	
99	255	260	266	271	276	282	287	293	298	304	
800	309	314	320	325	331	336	342	347	352	358	
I.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.

	6	5
1	0.6	0.5
2	1.2	1.0
3	1.8	1.5
4	2.4	2.0
5	3.0	2.5
6	3.6	3.0
7	4.2	3.5
8	4.8	4.0
9	5.4	4.5

$$\text{Ainsi } \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL) = 10^{(-0.11493)} = 10^{(0.88507 - 1)} = 7.675 \cdot 10^{-1} = 0.7675$$

Le fait que la déclinaison soit négative n'affecte pas le signe du cosinus.

Avec les valeurs ainsi calculées, on détermine que

$$\sin(L) \cdot \sin(D) + \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL) = -0.065795 + 0.7675 = 0.701705.$$

Ensuite, $\log(0.701705) = \log(7.01705 \cdot 10^{-1}) = \log(7.01705) - 1$.

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pta.
700	84 51	516	522	528	535	541	547	553	559	566	
01	572	578	584	590	597	603	609	615	621	628	
02	634	640	646	652	658	665	671	677	683	689	
03	696	702	708	714	720	726	732	738	745	751	log 7 = .84509 80400
04	757	763	770	776	782	788	794	800	807	813	
05	819	825	831	837	844	850	856	862	868	874	
06	880	887	893	899	905	911	917	924	930	936	
07	942	948	954	960	967	973	979	985	991	997	
08	85 003	009	016	022	028	034	040	046	052	058	
09	065	071	077	083	089	095	101	107	114	120	
710	126	132	138	144	150	156	163	169	175	181	
11	187	193	199	205	211	217	224	230	236	242	
12	248	254	260	266	272	278	285	291	297	303	
13	309	315	321	327	333	339	345	352	358	364	
14	370	376	382	388	394	400	406	412	418	425	
15	431	437	443	449	455	461	467	473	479	485	
16	491	497	503	509	516	522	528	534	540	546	
17	552	558	564	570	576	582	588	594	600	606	
18	612	618	625	631	637	643	649	655	661	667	
19	673	679	685	691	697	703	709	715	721	727	
720	733	739	745	751	757	763	769	775	781	788	
21	794	800	806	812	818	824	830	836	842	848	
22	854	860	866	872	878	884	890	896	902	908	1 0.7 0.6 0.5
23	914	920	926	932	938	944	950	956	962	968	2 1.4 1.2 1.0
24	974	980	986	992	998	*004	*010	*016	*022	*028	3 2.1 1.8 1.5
25	86 034	040	046	052	058	064	070	076	082	088	4 2.8 2.4 2.0
26	094	100	106	112	118	124	130	136	141	147	5 3.5 3.0 2.5
27	153	159	165	171	177	183	189	195	201	207	6 4.2 3.6 3.0
28	213	219	225	231	237	243	249	255	261	267	7 4.9 4.2 3.5
29	273	279	285	291	297	303	308	314	320	326	8 5.6 4.8 4.0
730	332	338	344	350	356	362	368	374	380	386	9 6.3 5.4 4.5
31	392	398	404	410	415	421	427	433	439	445	
32	451	457	463	469	475	481	487	493	499	504	
33	510	516	522	528	534	540	546	552	558	564	
34	570	576	581	587	593	599	605	611	617	623	
35	629	635	641	646	652	658	664	670	676	682	
36	688	694	700	706	711	717	723	729	735	741	
37	747	753	759	764	770	776	782	788	794	800	
38	806	812	817	823	829	835	841	847	853	859	
39	864	870	876	882	888	894	900	906	911	917	
740	923	929	935	941	947	953	958	964	970	976	
41	982	988	994	999	*005	*011	*017	*023	*029	*035	
42	87 040	046	052	058	064	070	075	081	087	093	
43	099	105	111	116	123	128	134	140	146	151	
44	157	163	169	175	181	186	192	198	204	210	
45	216	221	227	233	239	245	251	256	262	268	
46	274	280	286	291	297	303	309	315	320	326	
47	332	338	344	349	355	361	367	373	379	384	
48	390	396	402	408	413	419	425	431	437	442	
49	448	454	460	466	471	477	483	489	495	500	
750	506	512	518	523	529	535	541	547	552	558	Prop. Pta.
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

On trouve $0.846192 \cdot 10^{-1}$, noté 9.846192 pour la trigonométrie.

On cherche ce nombre dans la partie de la table consacrée à la trigonométrie, dans la colonne « sinus ».

90 **44° - Logarithms of Trigonometric Functions** [III]

/	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos	d		Prop. Pts.		
0	9.84 177		9.98 484		0.01 516	9.85 693	12	60			
1	9.84 190	13	9.98 509	25	0.01 491	9.85 681	12	59			
2	9.84 203	13	9.98 534	25	0.01 466	9.85 660	12	58			
3	9.84 216	13	9.98 560	25	0.01 440	9.85 657	12	57			
4	9.84 229	13	9.98 585	25	0.01 415	9.85 645	12	56			
5	9.84 242	13	9.98 610	25	0.01 390	9.85 632	12	55			
6	9.84 255	13	9.98 635	25	0.01 365	9.85 620	12	54			
7	9.84 269	14	9.98 661	25	0.01 339	9.85 608	12	53			
8	9.84 282	13	9.98 686	25	0.01 314	9.85 596	12	52			
9	9.84 295	13	9.98 711	25	0.01 289	9.85 583	13	51			
10	9.84 308	13	9.98 737	25	0.01 263	9.85 571	12	50	26	25	14
11	9.84 321	13	9.98 762	25	0.01 238	9.85 559	12	49	2	5.2	5.0
12	9.84 334	13	9.98 787	25	0.01 213	9.85 547	12	48	3	7.8	7.5
13	9.84 347	13	9.98 812	25	0.01 188	9.85 534	13	47	4	10.4	10.0
14	9.84 360	13	9.98 838	25	0.01 162	9.85 522	12	46	5	13.0	12.5
15	9.84 373	13	9.98 863	25	0.01 137	9.85 510	12	45	6	15.6	15.0
16	9.84 385	12	9.98 888	25	0.01 112	9.85 497	13	44	7	18.2	17.5
17	9.84 398	13	9.98 913	25	0.01 087	9.85 485	12	43	8	20.8	20.0
18	9.84 411	13	9.98 939	25	0.01 061	9.85 473	12	42	9	23.4	22.5
19	9.84 424	13	9.98 964	25	0.01 036	9.85 460	13	41			
20	9.84 437	13	9.98 989	25	0.01 011	9.85 448	12	40			
21	9.84 450	13	9.99 015	26	0.00 985	9.85 436	12	39			
22	9.84 463	13	9.99 040	25	0.00 990	9.85 423	13	38		18	12
23	9.84 476	13	9.99 065	25	0.00 995	9.85 411	12	37	2	2.6	2.4
24	9.84 489	13	9.99 090	25	0.00 910	9.85 399	13	36	3	3.9	3.6
25	9.84 502	13	9.99 116	25	0.00 884	9.85 386	13	35	4	5.2	4.8
26	9.84 515	13	9.99 141	25	0.00 859	9.85 374	12	34	5	6.5	6.0
27	9.84 528	13	9.99 166	25	0.00 834	9.85 361	13	33	6	7.8	7.2
28	9.84 540	12	9.99 191	25	0.00 809	9.85 349	12	32	7	9.1	8.4
29	9.84 553	13	9.99 217	26	0.00 783	9.85 337	12	31	8	10.4	9.6
30	9.84 566	13	9.99 242	25	0.00 758	9.85 324	13	30	9	11.7	10.8
31	9.84 579	13	9.99 267	25	0.00 733	9.85 312	12	29			
32	9.84 592	13	9.99 293	26	0.00 707	9.85 299	13	28			
33	9.84 605	13	9.99 318	25	0.00 682	9.85 287	12	27			
34	9.84 618	12	9.99 343	25	0.00 657	9.85 274	13	26			
35	9.84 630	13	9.99 368	25	0.00 632	9.85 262	12	25			
36	9.84 643	13	9.99 394	26	0.00 606	9.85 250	12	24			
37	9.84 656	13	9.99 419	25	0.00 581	9.85 237	13	23			
38	9.84 669	13	9.99 444	25	0.00 556	9.85 225	12	22			
39	9.84 682	12	9.99 469	25	0.00 531	9.85 212	13	21			
40	9.84 694	13	9.99 495	25	0.00 505	9.85 200	12	20			
41	9.84 707	13	9.99 520	25	0.00 480	9.85 187	13	19			
42	9.84 720	13	9.99 545	25	0.00 455	9.85 175	12	18			
43	9.84 733	13	9.99 570	26	0.00 430	9.85 162	12	17			
44	9.84 745	13	9.99 596	25	0.00 404	9.85 150	12	16			
45	9.84 758	13	9.99 621	25	0.00 379	9.85 137	13	15			
46	9.84 771	13	9.99 646	25	0.00 354	9.85 125	12	14			
47	9.84 784	13	9.99 672	26	0.00 328	9.85 112	13	13			
48	9.84 796	13	9.99 697	25	0.00 303	9.85 100	12	12			
49	9.84 809	13	9.99 723	25	0.00 278	9.85 087	13	11			
50	9.84 822	13	9.99 747	25	0.00 253	9.85 074	12	10			
51	9.84 835	13	9.99 773	26	0.00 227	9.85 062	12	9			
52	9.84 847	13	9.99 798	25	0.00 202	9.85 049	13	8			
53	9.84 860	13	9.99 823	25	0.00 177	9.85 037	12	7			
54	9.84 873	12	9.99 848	25	0.00 152	9.85 024	13	6			
55	9.84 885	13	9.99 874	25	0.00 126	9.85 012	12	5			
56	9.84 898	13	9.99 899	25	0.00 101	9.84 999	13	4			
57	9.84 911	13	9.99 924	25	0.00 076	9.84 986	13	3			
58	9.84 923	12	9.99 949	25	0.00 051	9.84 974	12	2			
59	9.84 936	13	9.99 975	26	0.00 025	9.84 961	13	1			
60	9.84 949		0.00 000		0.00 000	9.84 949	12	0			
	L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	d		Prop. Pts.		

45° — Logarithms of Trigonometric Functions

On trouve ainsi la hauteur estimée **He 44°33.5'**.

La hauteur observée étant de 44°32.69', ça nous fait un intercept d'une minute d'arc (arrondi), *plus loin* de l'astre.

From the top :

For 44°+ or 234°+,

read as printed; for

134°+ or 314°+, read

co-function.

From the bottom :

For 45°+ or 225°+,

read as printed; for

135°+ or 315°+, read

co-function.

Calcul de l'azimut

Donc, on cherche à résoudre $Z = \text{atan}\left(\frac{\sin(AHL)}{(\cos(L) \cdot \tan(D)) - (\sin(L) \cdot \cos(AHL))}\right)$

On a calculé auparavant $\cos(L)$, $\sin(L)$, et $\cos(AHL)$.

Reste $\tan(D)$ et $\sin(AHL)$.

On a :

$$\log(\cos(L)) = \log(\cos(37^\circ 46')) = 9.89791 \text{ soit } 9.89791 - 10 = -0.10209$$

$$\log(\sin(L)) = \log(\sin(37^\circ 46')) = 9.78707 \text{ soit } 9.78707 - 10 = -0.21293$$

$$\log(\cos(AHL)) = \log(\cos(12^\circ 26')) = 9.98969 \text{ soit } 9.98969 - 10 = -0.01031$$

Recherche de $\log(\tan(-6^\circ 11'))$

52 6° -- Logarithms of Trigonometric Functions [III]

/	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos		Prop. Pts.
0	9.01 923	120	9.02 162	121	0.97 838	9.99 761	60	
1	9.02 043	120	9.02 283	121	0.97 717	9.99 760	59	
2	9.02 163	120	9.02 404	121	0.97 596	9.99 759	58	
3	9.02 283	120	9.02 525	121	0.97 475	9.99 757	57	
4	9.02 402	119	9.02 645	120	0.97 355	9.99 756	56	
5	9.02 520	119	9.02 766	121	0.97 234	9.99 755	55	
6	9.02 639	119	9.02 885	119	0.97 115	9.99 753	54	
7	9.02 757	118	9.03 005	120	0.96 985	9.99 752	53	
8	9.02 874	117	9.03 124	119	0.96 876	9.99 751	52	
9	9.02 992	118	9.03 242	118	0.96 758	9.99 749	51	
10	9.03 109	117	9.03 361	119	0.96 639	9.99 748	50	
11	9.03 226	117	9.03 479	118	0.96 521	9.99 747	49	
12	9.03 342	116	9.03 597	118	0.96 403	9.99 745	48	
13	9.03 458	116	9.03 714	117	0.96 286	9.99 744	47	
14	9.03 574	116	9.03 832	118	0.96 168	9.99 742	46	
15	9.03 690	116	9.03 948	116	0.96 052	9.99 741	45	
16	9.03 805	115	9.04 065	117	0.95 935	9.99 740	44	
17	9.03 920	115	9.04 181	116	0.95 819	9.99 738	43	
18	9.04 034	114	9.04 297	116	0.95 703	9.99 737	42	
19	9.04 149	115	9.04 413	116	0.95 587	9.99 736	41	
20	9.04 263	114	9.04 528	115	0.95 472	9.99 734	40	
21	9.04 376	114	9.04 643	115	0.95 357	9.99 733	39	
22	9.04 490	114	9.04 758	115	0.95 243	9.99 731	38	
23	9.04 603	113	9.04 873	115	0.95 127	9.99 730	37	
24	9.04 715	112	9.04 987	114	0.95 013	9.99 728	36	
25	9.04 828	113	9.05 101	114	0.94 899	9.99 727	35	
26	9.04 940	112	9.05 214	113	0.94 786	9.99 726	34	
27	9.05 052	112	9.05 328	114	0.94 672	9.99 724	33	
28	9.05 164	112	9.05 441	113	0.94 559	9.99 723	32	
29	9.05 275	111	9.05 553	112	0.94 447	9.99 721	31	
30	9.05 386	111	9.05 666	113	0.94 334	9.99 720	30	
31	9.05 497	110	9.05 778	112	0.94 222	9.99 718	29	
32	9.05 607	110	9.05 890	112	0.94 110	9.99 717	28	
33	9.05 717	110	9.06 002	112	0.93 996	9.99 716	27	
34	9.05 827	110	9.06 113	111	0.93 887	9.99 714	26	
35	9.05 937	109	9.06 224	111	0.93 776	9.99 713	25	
36	9.06 046	109	9.06 335	111	0.93 665	9.99 711	24	
37	9.06 155	109	9.06 445	110	0.93 555	9.99 710	23	
38	9.06 264	108	9.06 556	111	0.93 444	9.99 708	22	
39	9.06 372	109	9.06 666	110	0.93 334	9.99 707	21	
40	9.06 481	108	9.06 775	110	0.93 225	9.99 705	20	
41	9.06 589	107	9.06 885	110	0.93 115	9.99 704	19	
42	9.06 696	107	9.06 994	109	0.93 006	9.99 702	18	
43	9.06 804	108	9.07 103	109	0.92 897	9.99 701	17	
44	9.06 911	107	9.07 211	108	0.92 789	9.99 699	16	
45	9.07 018	107	9.07 320	109	0.92 680	9.99 698	15	
46	9.07 124	108	9.07 428	108	0.92 572	9.99 696	14	
47	9.07 231	107	9.07 536	108	0.92 464	9.99 695	13	
48	9.07 337	108	9.07 643	107	0.92 357	9.99 693	12	
49	9.07 442	106	9.07 751	108	0.92 249	9.99 692	11	
50	9.07 548	105	9.07 858	106	0.92 142	9.99 690	10	
51	9.07 653	105	9.07 964	106	0.92 036	9.99 689	9	
52	9.07 758	105	9.08 071	107	0.91 929	9.99 687	8	
53	9.07 863	105	9.08 177	106	0.91 823	9.99 686	7	
54	9.07 968	104	9.08 283	106	0.91 717	9.99 684	6	
55	9.08 072	104	9.08 389	106	0.91 611	9.99 683	5	
56	9.08 176	104	9.08 495	106	0.91 505	9.99 681	4	
57	9.08 280	104	9.08 600	105	0.91 400	9.99 680	3	
58	9.08 383	103	9.08 705	105	0.91 295	9.99 678	2	
59	9.08 486	103	9.08 810	105	0.91 190	9.99 677	1	
60	9.08 589	103	9.08 914	104	0.91 086	9.99 675	0	
	L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	/	Prop. Pts.

83° -- Logarithms of Trigonometric Functions

On prend la valeur absolue de la déclinaison. On trouve : $\log(\tan(6^\circ 11')) = 9.03479$ soit $9.03479 - 10 = -0.96521$

Recherche de $\log(\sin(12^\circ 26'))$

58 12° — Logarithms of Trigonometric Functions [III]

/	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos	d		Prop. Pts.		
0	9.31 788	59	9.32 747	63	0.67 253	9.99 040	2	60	✓		
1	9.31 847	59	9.32 810	63	0.67 190	9.99 038	3	59	63		
2	9.31 907	60	9.32 872	62	0.67 128	9.99 035	3	58	62		
3	9.31 966	59	9.32 933	61	0.67 067	9.99 032	3	57	2	12.6	12.4
4	9.32 025	59	9.32 995	62	0.67 006	9.99 030	2	56	3	18.9	18.6
5	9.32 084	59	9.33 057	62	0.66 943	9.99 027	3	55	4	25.2	24.8
6	9.32 143	59	9.33 119	62	0.66 881	9.99 024	3	54	5	31.5	31.0
7	9.32 202	59	9.33 180	61	0.66 820	9.99 022	2	53	6	37.8	37.2
8	9.32 261	59	9.33 242	62	0.66 758	9.99 019	3	52	7	44.1	43.4
9	9.32 319	58	9.33 303	61	0.66 697	9.99 016	3	51	8	50.4	49.6
10	9.32 378	58	9.33 365	61	0.66 635	9.99 013	2	50	9	56.7	55.8
11	9.32 437	59	9.33 426	61	0.66 574	9.99 011	3	49	60		
12	9.32 495	58	9.33 487	61	0.66 513	9.99 008	3	48	59		
13	9.32 553	58	9.33 548	61	0.66 452	9.99 005	3	47	2	12.0	11.8
14	9.32 612	59	9.33 609	61	0.66 391	9.99 002	3	46	3	18.0	17.7
15	9.32 670	58	9.33 670	61	0.66 330	9.99 000	2	45	4	24.0	23.6
16	9.32 728	58	9.33 731	61	0.66 269	9.98 967	3	44	5	30.0	29.5
17	9.32 786	58	9.33 792	61	0.66 208	9.98 994	3	43	6	36.0	35.4
18	9.32 844	58	9.33 853	61	0.66 147	9.98 991	3	42	7	42.0	41.3
19	9.32 902	58	9.33 913	60	0.66 087	9.98 989	2	41	8	48.0	47.2
20	9.32 960	58	9.33 974	60	0.66 026	9.98 986	3	40	9	54.0	53.1
21	9.33 018	58	9.34 034	60	0.65 966	9.98 983	3	39	53.2		
22	9.33 075	57	9.34 085	61	0.65 905	9.98 980	2	38	57		
23	9.33 133	58	9.34 155	60	0.65 845	9.98 978	3	37	56		
24	9.33 190	58	9.34 215	61	0.65 785	9.98 975	3	36	2	11.4	11.2
25	9.33 248	58	9.34 276	60	0.65 724	9.98 972	3	35	3	17.1	16.8
26	9.33 305	57	9.34 336	60	0.65 664	9.98 969	3	34	4	22.8	22.4
27	9.33 362	57	9.34 396	60	0.65 604	9.98 967	2	33	5	28.5	28.0
28	9.33 420	58	9.34 456	60	0.65 544	9.98 964	3	32	6	34.2	33.6
29	9.33 477	57	9.34 516	60	0.65 484	9.98 961	3	31	7	39.9	39.2
30	9.33 534	57	9.34 576	60	0.65 424	9.98 958	3	30	8	45.6	44.8
31	9.33 591	57	9.34 635	59	0.65 365	9.98 955	3	29	9	51.3	50.4
32	9.33 647	56	9.34 695	60	0.65 305	9.98 953	2	28	50.4		
33	9.33 704	57	9.34 755	60	0.65 245	9.98 950	3	27	55		
34	9.33 761	57	9.34 814	60	0.65 186	9.98 947	3	26	2	11.0	0.6
35	9.33 818	57	9.34 874	60	0.65 126	9.98 944	3	25	3	16.5	0.9
36	9.33 874	56	9.34 933	59	0.65 067	9.98 941	3	24	4	22.0	1.2
37	9.33 931	57	9.34 992	59	0.65 008	9.98 938	2	23	5	27.5	1.5
38	9.33 987	56	9.35 051	59	0.64 949	9.98 936	2	22	6	33.0	1.8
39	9.34 043	56	9.35 111	60	0.64 889	9.98 933	3	21	7	38.5	2.1
40	9.34 100	57	9.35 170	59	0.64 830	9.98 930	2	20	8	44.0	2.4
41	9.34 156	56	9.35 229	59	0.64 771	9.98 927	3	19	9	49.5	2.7
42	9.34 212	56	9.35 288	59	0.64 712	9.98 924	3	18	From the top :		
43	9.34 268	56	9.35 347	59	0.64 653	9.98 921	3	17	For 12°+ or 192°+, read as printed; for 102°+ or 282°+, read co-function.		
44	9.34 324	56	9.35 405	58	0.64 595	9.98 919	3	16	From the bottom :		
45	9.34 380	56	9.35 464	59	0.64 536	9.98 916	3	15	For 77° or 257°, read as printed; for 167° or 347°, read co-function.		
46	9.34 436	55	9.35 523	58	0.64 477	9.98 913	3	14	From the top :		
47	9.34 491	55	9.35 581	58	0.64 419	9.98 910	3	13	For 12°+ or 192°+, read as printed; for 102°+ or 282°+, read co-function.		
48	9.34 547	55	9.35 640	58	0.64 360	9.98 907	3	12	From the bottom :		
49	9.34 602	55	9.35 698	58	0.64 302	9.98 904	3	11	For 77° or 257°, read as printed; for 167° or 347°, read co-function.		
50	9.34 658	55	9.35 757	58	0.64 243	9.98 901	3	10	From the top :		
51	9.34 713	55	9.35 815	58	0.64 185	9.98 898	2	9	For 12°+ or 192°+, read as printed; for 102°+ or 282°+, read co-function.		
52	9.34 769	55	9.35 873	58	0.64 127	9.98 896	3	8	From the bottom :		
53	9.34 824	55	9.35 931	58	0.64 069	9.98 893	3	7	For 77° or 257°, read as printed; for 167° or 347°, read co-function.		
54	9.34 879	55	9.35 989	58	0.64 011	9.98 890	3	6	From the top :		
55	9.34 934	55	9.36 047	58	0.63 953	9.98 887	3	5	For 12°+ or 192°+, read as printed; for 102°+ or 282°+, read co-function.		
56	9.34 989	55	9.36 105	58	0.63 895	9.98 884	3	4	From the bottom :		
57	9.35 044	55	9.36 163	58	0.63 837	9.98 881	3	3	For 77° or 257°, read as printed; for 167° or 347°, read co-function.		
58	9.35 099	55	9.36 221	58	0.63 779	9.98 878	3	2	From the top :		
59	9.35 154	55	9.36 279	58	0.63 721	9.98 875	3	1	For 12°+ or 192°+, read as printed; for 102°+ or 282°+, read co-function.		
60	9.35 209	55	9.36 336	57	0.63 684	9.98 872	3	0	From the bottom :		
			L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	d	'	Prop. Pts.

77° — Logarithms of Trigonometric Functions

On trouve : $\log(\sin(12^\circ 26')) = 9.33305$ soit $9.33305 - 10 = -0.66695$

Donc, $\log(\cos(L).\tan(D)) = -0.10209 - 0.96521 = -1.06730 = 0.93270 - 2$.

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.
850	92 942	947	952	957	962	967	973	978	983	988	
51	993	998	*003	*008	*013	*018	*024	*029	*034	*039	
52	93 44	049	054	059	064	069	075	080	085	090	
53	095	100	105	110	115	120	125	131	136	141	
54	146	151	156	161	166	171	176	181	186	192	
55	197	202	207	212	217	222	227	232	237	242	
56	247	252	258	263	268	273	278	283	288	293	
57	298	303	308	313	318	323	328	334	339	344	
58	349	354	359	364	369	374	379	384	389	394	
59	399	404	409	414	420	425	430	435	440	445	
860	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	
61	500	505	510	515	520	525	531	536	541	546	
62	551	556	561	566	571	576	581	586	591	596	
63	601	606	611	616	621	626	631	636	641	646	
64	651	656	661	666	671	676	682	687	692	697	
65	702	707	712	717	722	727	732	737	742	747	
66	752	757	762	767	772	777	782	787	792	797	
67	802	807	812	817	822	827	832	837	842	847	
68	852	857	862	867	872	877	882	887	892	897	
69	902	907	912	917	922	927	932	937	942	947	
870	952	957	962	967	972	977	982	987	992	997	
71	94 002	007	012	017	022	027	032	037	042	047	
72	052	057	062	067	072	077	082	086	091	096	
73	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146	
74	151	156	161	166	171	176	181	186	191	196	
75	201	206	211	216	221	226	231	236	240	245	
76	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	
77	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	
78	349	354	359	364	369	374	379	384	389	394	
79	399	404	409	414	419	424	429	433	438	443	
880	448	453	458	463	468	473	478	483	488	493	
81	498	503	507	512	517	522	527	532	537	542	
82	547	552	557	562	567	571	576	581	586	591	
83	596	601	606	611	616	621	626	630	635	640	
84	645	650	655	660	665	670	675	680	685	690	
85	694	699	704	709	714	719	724	729	734	738	
86	743	748	753	758	763	768	773	778	783	787	
87	792	797	802	807	812	817	822	827	832	836	
88	841	846	851	856	861	866	871	876	880	885	
89	890	895	900	905	910	915	919	924	929	934	
890	939	944	949	954	959	963	968	973	978	983	
91	988	993	998	*002	*007	*012	*017	*022	*027	*032	
92	95 036	041	046	051	056	061	066	071	075	080	
93	085	090	095	100	105	109	114	119	124	129	
94	134	139	143	148	153	158	163	168	173	177	
95	182	187	192	197	202	207	211	216	221	226	
96	231	236	240	245	250	255	260	265	270	274	
97	279	284	289	294	299	303	308	313	318	323	
98	328	332	337	342	347	352	357	361	366	371	
99	376	381	386	390	395	400	405	410	415	419	
900	424	429	434	439	444	448	453	458	463	468	
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.

6	5	4
1	0.6	0.5
2	1.2	1.0
3	1.8	1.5
4	2.4	2.0
5	3.0	2.5
6	3.6	3.0
7	4.2	3.5
8	4.8	4.0
9	5.4	4.5
		3.6

$$\cos(L) \cdot \tan(D) = 10 (0.93270 - 2) = 10^{0.93270} \cdot 10^{-2} = 8.5645 \cdot 10^{-2} = 0.085645.$$

Attention : D est Sud, et notre latitude estimée est Nord. Il faut garder ce détail en tête, on s'en servira pour tracer l'azimut. La valeur trouvée sera comprise entre 0° et 90°, il s'agira de savoir si on la porte à partir du nord ou à partir du sud, vers l'est ou vers l'ouest.

De même, $\log(\sin(L) \cdot \cos(AHL)) = -0.21293 - 0.01031 = -0.22324 = 0.77676 - 1$.

II 550—Logarithms of Numbers—600

11

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.
550	74 036	044	052	060	068	076	084	092	099	107	
51	115	123	131	139	147	155	163	170	178	186	
52	194	202	210	218	225	233	241	249	257	265	
53	273	280	288	296	304	312	320	327	335	343	
54	351	359	367	374	382	390	398	406	414	421	
55	429	437	445	453	461	468	476	484	492	500	
56	507	515	523	531	539	547	554	562	570	578	
57	586	593	601	609	617	624	632	640	648	656	
58	663	671	679	687	695	702	710	718	726	733	
59	741	749	757	764	772	780	788	796	803	811	
560	819	827	834	842	850	858	865	873	881	889	
61	896	904	912	920	927	935	943	950	958	966	
62	974	981	989	997	*005	*012	*020	*028	*035	*043	
63	75 051	059	066	074	082	089	097	105	113	120	
64	128	136	143	151	159	166	174	182	189	197	
65	205	213	220	228	236	243	251	259	266	274	
66	282	289	297	306	312	320	328	335	343	351	
67	368	366	374	381	389	397	404	412	420	427	
68	436	442	450	458	465	473	481	488	496	504	
69	511	519	526	534	542	549	557	565	572	580	
570	587	595	603	610	618	626	633	641	648	656	
71	604	671	679	686	694	702	709	717	724	732	
72	740	747	755	762	770	778	785	793	800	808	
73	815	823	831	838	846	853	861	868	876	884	
74	891	899	906	914	921	929	937	944	952	960	
75	967	974	982	989	997	*005	*012	*020	*027	*035	
76	76 042	050	057	065	072	080	087	095	103	110	
77	118	125	133	140	148	155	163	170	178	185	
78	193	200	208	215	223	230	238	245	253	260	
79	268	275	283	290	298	305	313	320	328	335	
580	343	350	358	365	373	380	388	395	403	410	
81	418	425	433	440	448	455	462	470	477	485	
82	492	500	507	515	522	530	537	545	552	559	
83	567	574	582	589	597	604	612	619	626	634	
84	641	649	656	664	671	678	686	693	701	708	
85	716	723	730	738	745	753	760	768	775	782	
86	790	797	805	812	819	827	834	842	849	856	
87	864	871	879	886	893	901	908	916	923	930	
88	938	945	953	960	967	975	982	989	997	*004	
89	77 012	019	026	034	041	048	056	063	070	078	
590	085	093	100	107	115	122	129	137	144	151	
91	159	166	173	181	188	195	203	210	217	225	
92	232	240	247	254	262	269	276	283	291	298	
93	305	313	320	327	335	342	349	357	364	371	
94	379	386	393	401	408	415	422	430	437	444	
95	452	459	466	474	481	488	495	503	510	517	
96	525	532	539	546	554	561	568	576	583	590	
97	597	604	612	619	627	634	641	648	656	663	
98	670	677	685	692	699	706	714	721	728	735	
99	743	750	757	764	772	779	786	793	801	808	
600	815	822	830	837	844	851	859	866	873	880	
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.

$$\text{Donc } \sin(L) \cdot \cos(AHL) = 10^{(0.77676 - 1)} = 10^{0.77676} \cdot 10^{-1} = 5.9810 \cdot 10^{-1} = 0.59810$$

Le dénominateur devient alors $(-0.085645 - 0.59810) = -0.683745$.

Reste à résoudre $\tan(\frac{\sin(AHL)}{-0.683745})$

$$\log(\sin(AHL)) = -0.66695$$

650 — Logarithms of Numbers — 700

13

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.
650	81 291	298	305	311	318	325	331	338	345	351	
51	358	365	371	378	385	391	398	405	411	418	
53	425	431	438	445	451	458	465	471	478	485	
53	491	498	505	511	518	525	531	538	544	551	
54	558	564	571	578	584	591	598	604	611	617	
55	624	631	637	644	651	657	664	671	677	684	
56	690	697	704	710	717	723	730	737	743	750	
57	767	763	770	776	783	790	796	803	809	816	
58	823	829	836	842	849	856	862	869	875	882	
59	889	895	902	908	915	921	928	935	941	948	
660	954	961	968	974	981	987	994	*000	*007	*014	
61	82 020	027	033	040	046	053	060	066	073	079	
63	086	092	099	105	112	119	125	132	138	145	
63	151	158	164	171	178	184	191	197	204	210	
64	217	223	230	236	243	249	256	263	269	276	
65	282	289	295	302	308	315	321	328	334	341	
66	347	354	360	367	373	380	387	393	400	406	
67	419	426	432	439	445	452	458	465	471		
68	478	484	491	497	504	510	517	523	530	536	
69	543	549	556	562	569	575	582	588	595	601	
670	607	614	620	627	633	640	646	653	659	666	
71	672	679	685	692	698	705	711	718	724	730	7, 6,
73	737	743	750	756	763	769	776	783	789	795	1 0.7 0.6
73	802	808	814	821	827	834	840	847	853	860	2 1.4 1.2
74	866	872	879	885	892	898	905	911	918	924	3 2.1 1.8
75	930	937	943	950	956	963	969	975	982	988	4 2.8 2.4
76	995	*001	*008	*014	*020	*027	*033	*040	*046	*052	5 3.5 3.0
77	83 099	065	072	078	085	091	097	104	110	117	6 4.2
78	123	129	136	142	149	155	161	168	174	181	7 4.9 4.2
79	187	193	200	206	213	219	225	232	238	245	8 5.6 4.8
79											9 6.3 5.4
680	251	257	264	270	276	283	289	296	302	308	
81	315	321	327	334	340	347	353	359	366	372	
82	378	385	391	398	404	410	417	423	429	436	
83	442	448	455	461	467	474	480	487	493	499	
84	506	513	518	525	531	537	544	550	556	563	
85	569	575	582	588	594	601	607	613	620	626	
86	632	638	645	651	658	664	670	677	683	689	
87	696	702	708	715	721	727	734	740	746	753	
88	759	765	771	778	784	790	797	803	809	816	
89	823	828	835	841	847	853	860	866	872	879	
690	885	891	897	904	910	916	923	929	935	942	
91	948	954	960	967	973	979	985	992	998	*004	
92	84 011	017	023	029	035	042	048	055	061	067	
93	073	080	086	092	098	105	111	117	123	130	
94	136	142	148	155	161	167	173	180	186	192	
95	198	205	211	217	223	230	236	242	248	255	
96	261	267	273	280	286	292	298	305	311	317	
97	323	330	336	342	348	354	361	367	373	379	
98	386	392	398	404	410	417	423	429	435	442	
99	448	454	460	466	473	479	485	491	497	504	
700	510	516	522	528	535	541	547	553	559	566	
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prop. Pts.

1	0.7	0.6
2	1.4	1.2
3	2.1	1.8
4	2.8	2.4
5	3.5	3.0
6	4.2	3.6

$$\log(0.683745) = \log(6.83745 \cdot 10^{-1}) = 0.834900 - 1 = -0.16510.$$

$$\log\left(\frac{\sin(AHL)}{-0.683745}\right) = -0.66695 - (-0.16510) = -0.50185 = 0.49815 - 1.$$

On a donc $\log(\tan(Z)) = 0.49815 - 1$, noté 9.49815 pour la partie des tables consacrée à la trigonométrie.

	L Sin	d	L Tan	c d	L Ctn	L Cos	d		Prop. Pts.		
0	9.46 594	41	9.48 534	45	0.51 468	9.98 060		60			
1	9.46 635	41	9.48 579	45	0.51 421	9.98 056	4	59			
2	9.46 676	41	9.48 624	45	0.51 376	9.98 052	4	58			
3	9.46 717	41	9.48 669	45	0.51 331	9.98 048	4	57	2	9.0	8.8
4	9.46 758	41	9.48 714	45	0.51 286	9.98 044	4	56	3	13.5	13.2
5	9.46 800	42	9.48 759	45	0.51 241	9.98 040	4	55	4	18.0	17.6
6	9.46 841	41	9.48 804	45	0.51 196	9.98 036	4	54	5	22.5	22.0
7	9.46 882	41	9.48 849	45	0.51 151	9.98 032	4	53	6	27.0	26.4
8	9.46 923	41	9.48 894	45	0.51 106	9.98 029	3	52	7	31.5	30.8
9	9.46 964	41	9.48 939	45	0.51 061	9.98 025	4	51	8	36.0	35.2
10	9.47 005	40	9.48 984	45	0.51 016	9.98 021	4	50	9	40.5	39.6
11	9.47 045	40	9.49 029	45	0.50 971	9.98 017	4	49			
12	9.47 086	41	9.49 073	44	0.50 927	9.98 013	4	48			
13	9.47 127	41	9.49 118	45	0.50 882	9.98 009	4	47			
14	9.47 168	41	9.49 163	45	0.50 837	9.98 005	4	46	2	8.4	8.2
15	9.47 209	41	9.49 207	44	0.50 793	9.98 001	4	45	4	16.8	16.4
16	9.47 249	40	9.49 252	45	0.50 748	9.97 997	4	44	5	21.0	20.5
17	9.47 290	41	9.49 296	44	0.50 704	9.97 993	4	43	6	25.2	24.6
18	9.47 330	41	9.49 341	45	0.50 659	9.97 989	4	42	7	29.4	28.7
19	9.47 371	40	9.49 385	44	0.50 615	9.97 986	4	41	8	33.6	32.8
20	9.47 411	41	9.49 430	45	0.50 570	9.97 982	4	40	9	37.8	36.9
21	9.47 452	41	9.49 474	44	0.50 526	9.97 978	4	39			
22	9.47 492	40	9.49 519	45	0.50 481	9.97 974	4	38			
23	9.47 533	41	9.49 563	44	0.50 437	9.97 970	4	37			
24	9.47 573	40	9.49 607	44	0.50 393	9.97 966	4	36			
25	9.47 613	41	9.49 652	45	0.50 348	9.97 962	4	35	3	11.7	1.5
26	9.47 654	41	9.49 696	44	0.50 304	9.97 958	4	34	4	15.6	2.0
27	9.47 694	40	9.49 740	44	0.50 260	9.97 954	4	33	5	19.5	2.5
28	9.47 734	40	9.49 784	44	0.50 216	9.97 950	4	32	6	23.4	3.0
29	9.47 774	40	9.49 828	44	0.50 172	9.97 946	4	31	7	27.3	3.5
30	9.47 814	40	9.49 877	44	0.50 128	9.97 942	4	30	8	31.2	4.0
31	9.47 854	40	9.49 916	44	0.50 084	9.97 938	4	29	9	35.1	4.5
32	9.47 894	40	9.49 960	44	0.50 040	9.97 934	4	28			
33	9.47 934	40	9.50 004	44	0.49 996	9.97 930	4	27			
34	9.47 974	40	9.50 048	44	0.49 952	9.97 926	4	26			
35	9.48 014	40	9.50 092	44	0.49 908	9.97 922	4	25	2	0.8	0.6
36	9.48 054	40	9.50 136	44	0.49 864	9.97 918	4	24	3	1.2	0.9
37	9.48 094	40	9.50 180	44	0.49 820	9.97 914	4	23	4	1.6	1.2
38	9.48 133	39	9.50 223	43	0.49 777	9.97 910	4	22	5	2.0	1.5
39	9.48 173	40	9.50 267	44	0.49 733	9.97 906	4	21	6	2.4	1.8
40	9.48 213	39	9.50 311	44	0.49 689	9.97 902	4	20	7	2.8	2.1
41	9.48 252	39	9.50 355	44	0.49 645	9.97 898	4	19	8	3.2	2.4
42	9.48 292	40	9.50 398	43	0.49 602	9.97 894	4	18	9	3.6	2.7
43	9.48 332	39	9.50 442	44	0.49 558	9.97 890	4	17			
44	9.48 371	39	9.50 485	43	0.49 515	9.97 886	4	16			
45	9.48 411	39	9.50 529	44	0.49 471	9.97 882	4	15	From the top :		
46	9.48 450	40	9.50 572	43	0.49 428	9.97 878	4	14	For 17°+ or 197°+, read as printed ; for 107°+ or 287°+, read co-function.		
47	9.48 490	40	9.50 616	43	0.49 384	9.97 874	4	13			
48	9.48 529	39	9.50 659	43	0.49 341	9.97 870	4	12			
49	9.48 568	39	9.50 703	44	0.49 297	9.97 866	5	11			
50	9.48 607	40	9.50 746	43	0.49 254	9.97 861	4	10			
51	9.48 647	40	9.50 789	43	0.49 211	9.97 857	4	9			
52	9.48 686	39	9.50 833	44	0.49 167	9.97 853	4	8			
53	9.48 725	39	9.50 876	43	0.49 124	9.97 849	4	7			
54	9.48 764	39	9.50 919	43	0.49 081	9.97 845	4	6			
55	9.48 803	39	9.50 962	43	0.49 038	9.97 841	4	5	For 72°+ or 252°+, read as printed ; for 162°+ or 342°+, read co-function.		
56	9.48 842	39	9.51 005	43	0.48 995	9.97 837	4	4			
57	9.48 881	39	9.51 048	43	0.48 952	9.97 833	4	3			
58	9.48 920	39	9.51 092	44	0.48 908	9.97 829	4	2			
59	9.48 959	39	9.51 135	43	0.48 865	9.97 825	4	1			
60	9.48 998	39	9.51 178	43	0.48 822	9.97 821	4	0			
	L Cos	d	L Ctn	c d	L Tan	L Sin	d		Prop. Pts.		

72° — Logarithms of Trigonometric Functions

On trouve ainsi 17°29', qu'on arrondit à 17°.

L et D sont de signes différents, donc l'azimut est à porter à partir du pôle abaissé, donc Sud puisque notre latitude en Nord.

L'astre est déjà passé au méridien, l'azimut est donc à porter vers l'ouest. L'azimut Z se lit donc **S 17 W²⁹**, soit **197°**.

De même que dans le cas de la hauteur méridienne, on constate qu'il n'y a pas lieu de s'emporter sur la précision du calcul, celle de la minute suffit largement

29 Ça se lit : à partir du S, 17° vers l'W.

(ce qui simplifie les accès à la table de logarithmes), puisqu'encore une fois, la mesure effectuée au sextant ne peut pas prétendre aller au-delà.

Avec des tables de navigation

Elles facilitent le calcul, en minimisant le nombre d'étapes, et par là même le nombre de sources d'erreur.

Avec les tables de Dieumegard, le calcul de la hauteur se réduit à 8 étapes, et avec les tables de Bataille, le calcul de l'azimut est fait en 5 étapes.

Il est aussi commode de se préparer des grilles, comme des formulaires, à remplir au fur et à mesure du calcul, qui fournissent un minimum d'explication sur leur enchainement.

Il faut toujours se rappeler que si ce genre de calculs va tout seul dans la chaleur de son salon à côté de la cheminée, mais qu'il en va parfois différemment en mer... Aucune assistance n'est superflue dans ce domaine.

Encore un fois, on veut résoudre ces formules :

$$He = \text{asin}(\sin(L) \cdot \sin(D) + \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL))$$

$$Z = \text{atan}\left(\frac{\sin(AHL)}{(\cos(L) \cdot \tan(D)) - (\sin(L) \cdot \cos(AHL))}\right)$$

Donc, les tables de Dieumegard sont utilisées pour résoudre le calcul de la hauteur, celles de Bataille celui de l'azimut.

Tables de Dieumegard

Voici comment ces tables fonctionnent. Elles parcourent le même chemin que le procédé décrit auparavant, celui qui ne met en œuvre que les table de logarithmes. Ces tables permettent de réaliser plus vite les mêmes opérations.

Les tables de Dieumegard se composent en fait de 4 tables : **1, 2, 3, A.**

La table **1** résout la formule : $\text{colog}(1 - \cos(a))$

La table **2** résout la formule : $\text{colog}(\cos(a))$

La table **3** résout la formule : $\text{colog}(n)$

Et la table **A** résout la formule : $1 - \cos(a)$

Le recours aux cologarithmes permet de n'avoir (sauf exceptions, caractéristiques surlignées) à manipuler que des valeurs positives.

Voici d'abord un formulaire, qui guide l'utilisateur dans l'usage des tables de Dieumegard. Les étapes sont détaillées ensuite.

Détermination de la hauteur estimée du soleil par les tables de Dieumegard

Date	Position Estimée		Heure GMT	Hauteur Instrumentale
	Latitude	Longitude		
8 Oct 2009	37°46' N	122°37' W	20 h 47 m 38 s	45°20'
Éphémérides Nautiques				
Recherche de AHag - LHA				
AHvo-GHA à l'heure ronde inférieure	123°03.86'		Entrer table 1 avec AHag - LHA nombre a	1.6298
minutes * 60	2820		Entrer table 2 avec L nombre b	0.1021
secondes	38		Entrer table 2 avec D nombre c	0.0025
total: (minutes * 60) + secondes	2858			
total / 3600	0.793888		Total a+b+c, nombre d	1.7344
(total / 3600) * 15	11.90832			
Partie entière	11		Entrer table 3 avec d (à l'intérieur) en haut d'abord, à gauche ensuite nombre e	0.01845
Partie décimale * 60	54.50		Entrer table A avec L±D, en haut et à gauche nombre f	0.2801
À ajouter à AHvo-GHA heure ronde inférieure	11°54.5			
AHvo - GHA	135°03.36		Total e+f nombre g	0.29855
Ajouter G si G est EST, retrancher G si G est OUEST	-122°37'			
AHag - LHA	12°26.36'		Entrer table A avec g à l'intérieur Lire Hauteur estimée en bas & à droite, hv	44°33'
Recherche de D				
D à l'heure ronde inférieure	5 6°10.09'			
Delta D (sur une heure)	0.95'		hv	44°32.69'
Delta D * (((minutes * 60) + secondes) / 3600)	0.95' * 0.793888 = 0.754'			
D	5 6°11'		Différence: Intercept	0.31'
Recherche de L±D				
L	37°46'			
Ajouter L & D s'ils sont de noms contraires, retrancher s'ils sont de mêmes noms	+ 6°11'			
L±D	43°57'			
Recherche de la Hauteur Vraie hv				
Hauteur Instrumentale	44°20'			
Correction	+ 12.69'			
hv	44°32.69'			

On entre table 1 avec l'angle horaire local, pour trouver le nombre a :

Table 1

	345°	346°	347°	348°	349°	350°	351°	352°	353°	354°	355°	356°	357°	358°	359°	
00'	1.4676	1.5272	1.5913	1.6605	1.7358	1.8184	1.9097	2.0118	2.1276	2.2614	2.4196	2.6133	2.8631	3.2153	3.8173	60°
01'	1.4685	1.5282	1.5924	1.6617	1.7371	1.8198	1.9113	2.0136	2.1297	2.2638	2.4225	2.6170	2.8680	3.2225	3.8319	59°
02'	1.4695	1.5292	1.5935	1.6629	1.7385	1.8213	1.9129	2.0154	2.1318	2.2662	2.4254	2.6206	2.8728	3.2299	3.8467	58°
03'	1.4705	1.5303	1.5946	1.6641	1.7395	1.8227	1.9145	2.0172	2.1338	2.2686	2.4283	2.6243	2.8777	3.2372	3.8618	57°
04'	1.4714	1.5313	1.5957	1.6653	1.7411	1.8242	1.9161	2.0191	2.1359	2.2711	2.4313	2.6279	2.8826	3.2447	3.8772	56°
05'	1.4724	1.5323	1.5968	1.6665	1.7424	1.8256	1.9177	2.0209	2.1380	2.2735	2.4342	2.6316	2.8876	3.2522	3.8929	55°
06'	1.4734	1.5334	1.5979	1.6677	1.7437	1.8271	1.9194	2.0227	2.1401	2.2760	2.4371	2.6353	2.8926	3.2598	3.9088	54°
07'	1.4743	1.5344	1.5990	1.6690	1.7451	1.8285	1.9210	2.0245	2.1422	2.2784	2.4401	2.6390	2.8976	3.2675	3.9250	53°
08'	1.4753	1.5355	1.6002	1.6702	1.7464	1.8300	1.9226	2.0264	2.1443	2.2809	2.4431	2.6428	2.9026	3.2752	3.9416	52°
09'	1.4763	1.5365	1.6013	1.6714	1.7477	1.8315	1.9243	2.0282	2.1464	2.2833	2.4461	2.6465	2.9077	3.2830	3.9584	51°
10'	1.4772	1.5375	1.6024	1.6726	1.7490	1.8329	1.9259	2.0301	2.1485	2.2858	2.4490	2.6503	2.9128	3.2908	3.9756	50°
11'	1.4782	1.5386	1.6035	1.6738	1.7504	1.8344	1.9275	2.0319	2.1506	2.2883	2.4520	2.6541	2.9179	3.2988	3.9932	49°
12'	1.4792	1.5396	1.6047	1.6750	1.7517	1.8359	1.9292	2.0338	2.1528	2.2908	2.4550	2.6579	2.9230	3.3068	4.0111	48°
13'	1.4801	1.5407	1.6058	1.6763	1.7531	1.8374	1.9308	2.0356	2.1549	2.2933	2.4581	2.6617	2.9282	3.3148	4.0294	47°
14'	1.4811	1.5417	1.6069	1.6775	1.7544	1.8388	1.9325	2.0375	2.1570	2.2958	2.4611	2.6655	2.9334	3.3230	4.0481	46°
15'	1.4821	1.5428	1.6080	1.6787	1.7557	1.8403	1.9341	2.0393	2.1592	2.2983	2.4641	2.6694	2.9387	3.3312	4.0672	45°
16'	1.4831	1.5438	1.6092	1.6800	1.7571	1.8418	1.9358	2.0412	2.1613	2.3008	2.4672	2.6732	2.9440	3.3395	4.0867	44°
17'	1.4840	1.5449	1.6103	1.6812	1.7584	1.8433	1.9374	2.0431	2.1635	2.3033	2.4703	2.6771	2.9493	3.3479	4.1066	43°
18'	1.4850	1.5459	1.6114	1.6824	1.7598	1.8448	1.9391	2.0449	2.1656	2.3059	2.4733	2.6810	2.9546	3.3564	4.1271	42°
19'	1.4860	1.5470	1.6126	1.6836	1.7611	1.8463	1.9407	2.0468	2.1678	2.3084	2.4764	2.6849	2.9600	3.3650	4.1480	41°
20'	1.4870	1.5480	1.6137	1.6849	1.7625	1.8478	1.9424	2.0487	2.1699	2.3110	2.4795	2.6889	2.9654	3.3736	4.1695	40°
21'	1.4880	1.5491	1.6149	1.6861	1.7638	1.8492	1.9441	2.0506	2.1721	2.3135	2.4826	2.6928	2.9709	3.3823	4.1915	39°
22'	1.4890	1.5501	1.6160	1.6874	1.7652	1.8507	1.9457	2.0525	2.1743	2.3161	2.4857	2.6968	2.9763	3.3912	4.2140	38°
23'	1.4899	1.5512	1.6171	1.6886	1.7665	1.8522	1.9474	2.0544	2.1765	2.3187	2.4889	2.7008	2.9819	3.4001	4.2372	37°
24'	1.4909	1.5522	1.6183	1.6898	1.7679	1.8537	1.9491	2.0563	2.1787	2.3212	2.4920	2.7048	2.9874	3.4091	4.2610	36°
25'	1.4919	1.5533	1.6194	1.6911	1.7693	1.8553	1.9508	2.0582	2.1809	2.3238	2.4951	2.7088	2.9930	3.4182	4.2854	35°
26'	1.4929	1.5544	1.6206	1.6923	1.7706	1.8568	1.9525	2.0601	2.1831	2.3264	2.4983	2.7129	2.9986	3.4273	4.3106	34°
27'	1.4939	1.5554	1.6217	1.6936	1.7720	1.8583	1.9541	2.0620	2.1853	2.3290	2.5015	2.7170	3.0043	3.4366	4.3366	33°
28'	1.4949	1.5565	1.6229	1.6948	1.7734	1.8598	1.9558	2.0639	2.1875	2.3316	2.5047	2.7210	3.0100	3.4460	4.3633	32°
29'	1.4959	1.5576	1.6240	1.6961	1.7747	1.8613	1.9575	2.0658	2.1897	2.3343	2.5079	2.7251	3.0157	3.4555	4.3909	31°
30'	1.4969	1.5586	1.6252	1.6973	1.7761	1.8628	1.9592	2.0678	2.1919	2.3369	2.5111	2.7293	3.0215	3.4651	4.4193	30°
31'	1.4979	1.5597	1.6263	1.6986	1.7775	1.8643	1.9609	2.0697	2.1941	2.3395	2.5143	2.7334	3.0273	3.4748	4.4488	29°
32'	1.4988	1.5608	1.6275	1.6999	1.7789	1.8659	1.9626	2.0716	2.1964	2.3422	2.5175	2.7376	3.0331	3.4846	4.4793	28°
33'	1.4998	1.5618	1.6288	1.7011	1.7803	1.8674	1.9643	2.0736	2.1984	2.3448	2.5208	2.7418	3.0390	3.4946	4.5109	27°
34'	1.5008	1.5629	1.6298	1.7024	1.7818	1.8683	1.9681	2.0755	2.2003	2.3475	2.5240	2.7480	3.0443	3.5048	4.5456	26°
35'	1.5018	1.5640	1.6310	1.7036	1.7830	1.8705	1.9678	2.0775	2.2031	2.3501	2.5273	2.7502	3.0509	3.5148	4.5777	25°
36'	1.5028	1.5650	1.6321	1.7049	1.7844	1.8720	1.9695	2.0794	2.2054	2.3528	2.5306	2.7544	3.0569	3.5250	4.6132	24°
37'	1.5038	1.5661	1.6333	1.7062	1.7858	1.8735	1.9712	2.0814	2.2076	2.3555	2.5339	2.7587	3.0630	3.5354	4.6501	23°
38'	1.5048	1.5672	1.6345	1.7074	1.7872	1.8751	1.9729	2.0833	2.2099	2.3582	2.5372	2.7630	3.0691	3.5460	4.6887	22°
39'	1.5058	1.5683	1.6356	1.7087	1.7886	1.8766	1.9747	2.0853	2.2128	2.3609	2.5405	2.7673	3.0752	3.5566	4.7291	21°
40'	1.5068	1.5694	1.6368	1.7100	1.7900	1.8782	1.9764	2.0873	2.2145	2.3636	2.5438	2.7716	3.0814	3.5674	4.7715	20°
41'	1.5079	1.5704	1.6380	1.7113	1.7914	1.8797	1.9781	2.0892	2.2167	2.3663	2.5472	2.7760	3.0876	3.5783	4.8161	19°
42'	1.5089	1.5715	1.6391	1.7125	1.7928	1.8813	1.9799	2.0912	2.2190	2.3690	2.5505	2.7804	3.0939	3.5894	4.8630	18°
43'	1.5099	1.5726	1.6403	1.7138	1.7942	1.8828	1.9816	2.0932	2.2213	2.3718	2.5539	2.7848	3.1002	3.6006	4.9127	17°
44'	1.5109	1.5737	1.6415	1.7151	1.7956	1.8844	1.9834	2.0952	2.2236	2.3745	2.5573	2.7892	3.1066	3.6120	4.9653	16°
45'	1.5119	1.5748	1.6427	1.7164	1.7970	1.8859	1.9851	2.0972	2.2259	2.3773	2.5607	2.7936	3.1130	3.6235	5.0214	15°
46'	1.5129	1.5759	1.6438	1.7176	1.7984	1.8875	1.9869	2.0992	2.2283	2.3800	2.5641	2.7981	3.1194	3.6351	5.0813	14°
47'	1.5139	1.5770	1.6450	1.7189	1.7998	1.8891	1.9886	2.1012	2.2306	2.3828	2.5675	2.8026	3.1259	3.6469	5.1457	13°
48'	1.5149	1.5780	1.6462	1.7202	1.8012	1.8906	1.9904	2.1032	2.2329	2.3856	2.5710	2.8071	3.1325	3.6589	5.2152	12°
49'	1.5159	1.5791	1.6474	1.7215	1.8026	1.8922	1.9922	2.1052	2.2353	2.3884	2.5744	2.8116	3.1391	3.6711	5.2908	11°
50'	1.5170	1.5802	1.6486	1.7228	1.8041	1.8938	1.9939	2.1072	2.2376	2.3911	2.5779	2.8162	3.1457	3.6834	5.3736	10°
51'	1.5180	1.5813	1.6498	1.7241	1.8055	1.8954	1.9957	2.1092	2.2399	2.3940	2.5814	2.8208	3.1524	3.6959	5.4651	9°
52'	1.5190	1.5824	1.6509	1.7254	1.8069	1.8969	1.9975	2.1113	2.2423	2.3968	2.5849	2.8254	3.1592	3.7086	5.5674	8°
53'	1.5200	1.5835	1.6521	1.7267	1.8083	1.8985	1.9992	2.1133	2.2447	2.3996	2.5884	2.8300	3.1660	3.7214	5.6834	7°
54'	1.5210	1.5846	1.6533	1.7280	1.8098	1.9001	2.0010	2.1153	2.2470	2.4024	2.5919	2.8347	3.1729	3.7345	5.8173	6°
55'	1.5221	1.5857	1.6545	1.7293	1.8112	1.9017	2.0028	2.1174	2.2494	2.4053	2.5954	2.8393	3.1798	3.7478	5.9756	5°
56'	1.5231	1.5868	1.6557	1.7306	1.8126	1.9033	2.0046	2.1194	2.2518	2.4081	2.5990	2.8440	3.1868	3.7612	6.1695	4°
57'	1.5241	1.5879	1.6569	1.7319	1.8141	1.9049	2.0064	2.1214	2.2542	2.4110	2.6025	2.8488	3.1938	3.7749	6.4193	3°
58'	1.5251	1.5890	1.6581	1.7332	1.8155	1.9065	2.0082	2.1235	2.2566	2.4138</						

On entre table 2 avec **L** pour trouver le nombre **b** :

Table 2

030°	031°	032°	033°	034°	035°	036°	037°	038°	039°	040°	041°	042°	043°	044°	
00'	0.0625	0.0669	0.0716	0.0764	0.0814	0.0866	0.0920	0.0977	0.1035	0.1095	0.1157	0.1222	0.1289	0.1359	0.1431
01'	0.0625	0.0670	0.0717	0.0765	0.0815	0.0867	0.0921	0.0977	0.1036	0.1096	0.1159	0.1223	0.1290	0.1360	0.1432
02'	0.0626	0.0671	0.0717	0.0766	0.0816	0.0868	0.0922	0.0978	0.1037	0.1097	0.1160	0.1224	0.1292	0.1361	0.1433
03'	0.0627	0.0672	0.0718	0.0767	0.0817	0.0869	0.0923	0.0979	0.1038	0.1098	0.1161	0.1225	0.1293	0.1362	0.1434
04'	0.0628	0.0672	0.0719	0.0767	0.0818	0.0870	0.0924	0.0980	0.1039	0.1099	0.1162	0.1227	0.1294	0.1363	0.1436
05'	0.0628	0.0673	0.0720	0.0768	0.0819	0.0871	0.0925	0.0981	0.1040	0.1100	0.1163	0.1228	0.1295	0.1365	0.1437
06'	0.0629	0.0674	0.0721	0.0769	0.0819	0.0872	0.0926	0.0982	0.1041	0.1101	0.1164	0.1229	0.1296	0.1366	0.1438
07'	0.0630	0.0675	0.0721	0.0770	0.0820	0.0873	0.0927	0.0983	0.1042	0.1102	0.1165	0.1230	0.1297	0.1367	0.1439
08'	0.0631	0.0675	0.0722	0.0771	0.0821	0.0873	0.0928	0.0984	0.1043	0.1103	0.1166	0.1231	0.1298	0.1368	0.1440
09'	0.0631	0.0676	0.0723	0.0771	0.0822	0.0874	0.0929	0.0985	0.1044	0.1104	0.1167	0.1232	0.1300	0.1369	0.1442
10'	0.0632	0.0677	0.0724	0.0772	0.0823	0.0875	0.0930	0.0986	0.1045	0.1105	0.1168	0.1233	0.1301	0.1371	0.1443
11'	0.0633	0.0678	0.0725	0.0773	0.0824	0.0876	0.0931	0.0987	0.1046	0.1106	0.1169	0.1234	0.1302	0.1372	0.1444
12'	0.0633	0.0678	0.0725	0.0774	0.0825	0.0877	0.0931	0.0988	0.1047	0.1107	0.1170	0.1235	0.1303	0.1373	0.1445
13'	0.0634	0.0679	0.0726	0.0775	0.0825	0.0878	0.0932	0.0989	0.1048	0.1108	0.1171	0.1237	0.1304	0.1374	0.1447
14'	0.0635	0.0680	0.0727	0.0776	0.0826	0.0879	0.0933	0.0990	0.1049	0.1109	0.1172	0.1238	0.1305	0.1375	0.1448
15'	0.0636	0.0681	0.0728	0.0776	0.0827	0.0880	0.0934	0.0991	0.1050	0.1110	0.1173	0.1239	0.1306	0.1376	0.1449
16'	0.0636	0.0682	0.0728	0.0777	0.0828	0.0881	0.0935	0.0992	0.1051	0.1111	0.1175	0.1240	0.1308	0.1378	0.1450
17'	0.0637	0.0682	0.0729	0.0778	0.0829	0.0881	0.0936	0.0993	0.1052	0.1112	0.1176	0.1241	0.1309	0.1379	0.1452
18'	0.0638	0.0683	0.0730	0.0779	0.0830	0.0882	0.0937	0.0994	0.1053	0.1113	0.1177	0.1242	0.1310	0.1380	0.1453
19'	0.0639	0.0684	0.0731	0.0780	0.0831	0.0883	0.0938	0.0995	0.1054	0.1115	0.1178	0.1243	0.1311	0.1381	0.1454
20'	0.0639	0.0685	0.0732	0.0781	0.0831	0.0884	0.0939	0.0996	0.1055	0.1116	0.1179	0.1244	0.1312	0.1382	0.1455
21'	0.0640	0.0685	0.0732	0.0781	0.0832	0.0885	0.0940	0.0997	0.1056	0.1117	0.1180	0.1245	0.1313	0.1384	0.1456
22'	0.0641	0.0686	0.0733	0.0782	0.0833	0.0886	0.0941	0.0998	0.1057	0.1118	0.1181	0.1247	0.1314	0.1385	0.1458
23'	0.0642	0.0687	0.0734	0.0783	0.0834	0.0887	0.0942	0.0999	0.1058	0.1119	0.1182	0.1248	0.1316	0.1386	0.1459
24'	0.0642	0.0688	0.0735	0.0784	0.0835	0.0888	0.0943	0.1000	0.1059	0.1120	0.1183	0.1249	0.1317	0.1387	0.1460
25'	0.0643	0.0688	0.0736	0.0785	0.0836	0.0889	0.0944	0.1000	0.1060	0.1121	0.1184	0.1250	0.1318	0.1388	0.1461
26'	0.0644	0.0689	0.0736	0.0786	0.0837	0.0890	0.0944	0.1001	0.1061	0.1122	0.1185	0.1251	0.1319	0.1390	0.1463
27'	0.0645	0.0690	0.0737	0.0786	0.0837	0.0890	0.0945	0.1002	0.1062	0.1123	0.1186	0.1252	0.1320	0.1391	0.1464
28'	0.0645	0.0691	0.0738	0.0787	0.0838	0.0891	0.0946	0.1003	0.1063	0.1124	0.1187	0.1253	0.1321	0.1392	0.1465
29'	0.0646	0.0692	0.0739	0.0788	0.0839	0.0892	0.0947	0.1004	0.1064	0.1125	0.1188	0.1254	0.1323	0.1393	0.1466
30'	0.0647	0.0692	0.0740	0.0789	0.0840	0.0893	0.0948	0.1005	0.1065	0.1126	0.1190	0.1255	0.1324	0.1394	0.1468
31'	0.0648	0.0693	0.0741	0.0790	0.0841	0.0894	0.0949	0.1006	0.1066	0.1127	0.1191	0.1257	0.1325	0.1396	0.1469
32'	0.0648	0.0694	0.0741	0.0791	0.0842	0.0895	0.0950	0.1007	0.1067	0.1128	0.1192	0.1258	0.1326	0.1397	0.1470
33'	0.0649	0.0695	0.0742	0.0791	0.0843	0.0896	0.0951	0.1008	0.1068	0.1129	0.1193	0.1259	0.1327	0.1398	0.1471
34'	0.0650	0.0695	0.0743	0.0792	0.0844	0.0897	0.0952	0.1009	0.1069	0.1130	0.1194	0.1260	0.1328	0.1399	0.1473
35'	0.0651	0.0696	0.0744	0.0793	0.0844	0.0898	0.0953	0.1010	0.1070	0.1131	0.1195	0.1261	0.1329	0.1400	0.1474
36'	0.0651	0.0697	0.0745	0.0794	0.0845	0.0899	0.0954	0.1011	0.1071	0.1132	0.1196	0.1262	0.1331	0.1402	0.1475
37'	0.0652	0.0698	0.0745	0.0795	0.0846	0.0899	0.0955	0.1012	0.1072	0.1133	0.1197	0.1263	0.1332	0.1403	0.1476
38'	0.0653	0.0699	0.0746	0.0796	0.0847	0.0900	0.0956	0.1013	0.1073	0.1134	0.1198	0.1264	0.1333	0.1404	0.1478
39'	0.0654	0.0699	0.0747	0.0796	0.0848	0.0901	0.0957	0.1014	0.1074	0.1135	0.1199	0.1266	0.1334	0.1405	0.1479
40'	0.0654	0.0700	0.0748	0.0797	0.0849	0.0902	0.0958	0.1015	0.1075	0.1136	0.1200	0.1267	0.1335	0.1406	0.1480
41'	0.0655	0.0701	0.0749	0.0798	0.0850	0.0903	0.0959	0.1016	0.1076	0.1137	0.1201	0.1268	0.1336	0.1408	0.1481
42'	0.0656	0.0702	0.0749	0.0799	0.0851	0.0904	0.0959	0.1017	0.1077	0.1138	0.1203	0.1269	0.1338	0.1409	0.1483
43'	0.0657	0.0702	0.0750	0.0800	0.0851	0.0905	0.0960	0.1018	0.1078	0.1140	0.1204	0.1270	0.1339	0.1410	0.1484
44'	0.0657	0.0703	0.0751	0.0801	0.0852	0.0906	0.0961	0.1019	0.1079	0.1141	0.1205	0.1271	0.1340	0.1411	0.1485
45'	0.0658	0.0704	0.0752	0.0802	0.0853	0.0907	0.0962	0.1020	0.1080	0.1142	0.1206	0.1272	0.1341	0.1412	0.1486
46'	0.0659	0.0705	0.0753	0.0802	0.0854	0.0908	0.0963	0.1021	0.1081	0.1143	0.1207	0.1273	0.1342	0.1414	0.1488
47'	0.0660	0.0706	0.0753	0.0803	0.0855	0.0909	0.0964	0.1022	0.1082	0.1144	0.1208	0.1275	0.1343	0.1415	0.1489
48'	0.0660	0.0706	0.0754	0.0804	0.0856	0.0909	0.0965	0.1023	0.1083	0.1145	0.1209	0.1276	0.1345	0.1416	0.1490
49'	0.0661	0.0707	0.0755	0.0805	0.0857	0.0910	0.0966	0.1024	0.1084	0.1146	0.1210	0.1277	0.1346	0.1417	0.1491
50'	0.0662	0.0708	0.0756	0.0806	0.0858	0.0911	0.0967	0.1025	0.1085	0.1147	0.1211	0.1278	0.1347	0.1418	0.1493
51'	0.0663	0.0709	0.0757	0.0807	0.0858	0.0912	0.0968	0.1026	0.1086	0.1148	0.1212	0.1279	0.1348	0.1420	0.1494
52'	0.0663	0.0709	0.0758	0.0807	0.0859	0.0913	0.0969	0.1027	0.1087	0.1149	0.1213	0.1280	0.1349	0.1421	0.1495
53'	0.0664	0.0710	0.0758	0.0808	0.0860	0.0914	0.0970	0.1028	0.1088	0.1150	0.1215	0.1281	0.1350	0.1422	0.1496
54'	0.0665	0.0711	0.0759	0.0809	0.0861	0.0915	0.0971	0.1029	0.1089	0.1151	0.1216	0.1282	0.1352	0.1423	0.1498
55'	0.0666	0.0712	0.0760	0.0810	0.0862	0.0916	0.0972	0.1030	0.1090	0.1152	0.1217	0.1284	0.1353	0.1425	0.1499
56'	0.0666	0.0713	0.0761	0.0811	0.0863	0.0917	0.0973	0.1031	0.1091	0.1153	0.1218	0.1285	0.1354	0.1426	0.1500
57'	0.0667	0.0713	0.0762	0.0812	0.0864	0.0918	0.0974	0.1032	0.1092	0.1154	0.1219	0.1286	0.1355	0.1427	0.1501
58'	0.0668	0.0714	0.0762	0.0813	0.0865	0.0919	0.0975	0.1033	0.1093	0.1155	0.1220	0.1287	0.1356	0.1428	0.1503
59'	0.0669	0.0715	0.0763	0.0813	0.0865	0.0920	0.0976	0.1034	0.1094	0.1156	0.1221	0.1288	0.1358	0.1429	0.1504
60'	0.0669	0.0716	0.0764	0.0814	0.0866	0.0920	0.0977	0.1035	0.1095	0.1157	0.1222	0.1289	0.1359	0.1431	0.1505

b = 0.1021

On entre table 2 avec **D** pour trouver le nombre **c** :

Table 2

c = 0.0025

On calcule ensuite $d = a + b + c = 1.7344$

On entre ensuite à l'intérieur de la table 3 avec le nombre **d**, pour trouver **e**, en haut d'abord, à gauche ensuite :

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
00	?	2.0000	1.6990	1.5229	1.3979	1.3010	1.2218	1.1549	1.0969	1.0458	1.0000	0.9586	0.9208	0.8861	0.8539
01	4.0000	1.9957	1.6968	1.5214	1.3969	1.3002	1.2211	1.1543	1.0964	1.0453	0.9996	0.9582	0.9205	0.8857	0.8536
02	3.6990	1.9914	1.6946	1.5200	1.3958	1.2993	1.2204	1.1537	1.0958	1.0448	0.9991	0.9578	0.9201	0.8854	0.8533
03	3.5229	1.9972	1.6925	1.5186	1.3947	1.2984	1.2197	1.1530	1.0953	1.0443	0.9987	0.9574	0.9197	0.8851	0.8529
04	3.3979	1.9830	1.6904	1.5171	1.3936	1.2976	1.2190	1.1524	1.0947	1.0438	0.9983	0.9570	0.9194	0.8847	0.8526
05	3.3010	1.9788	1.6882	1.5157	1.3925	1.2967	1.2182	1.1518	1.0942	1.0434	0.9978	0.9566	0.9190	0.8844	0.8523
06	3.2218	1.9747	1.6861	1.5143	1.3915	1.2958	1.2175	1.1512	1.0937	1.0429	0.9974	0.9562	0.9187	0.8841	0.8520
07	3.1549	1.9706	1.6840	1.5129	1.3904	1.2950	1.2168	1.1506	1.0931	1.0424	0.9970	0.9559	0.9183	0.8837	0.8517
08	3.0969	1.9566	1.6819	1.5114	1.3893	1.2941	1.2161	1.1500	1.0926	1.0419	0.9965	0.9555	0.9179	0.8834	0.8514
09	3.0458	1.9526	1.6799	1.5100	1.3883	1.2933	1.2154	1.1494	1.0921	1.0414	0.9961	0.9551	0.9176	0.8831	0.8511
10	3.0000	1.9586	1.6778	1.5086	1.3872	1.2924	1.2147	1.1487	1.0915	1.0410	0.9957	0.9547	0.9172	0.8827	0.8508
11	2.9586	1.9547	1.6757	1.5072	1.3862	1.2916	1.2140	1.1481	1.0910	1.0405	0.9952	0.9543	0.9169	0.8824	0.8505
12	2.9208	1.9508	1.6737	1.5058	1.3851	1.2907	1.2132	1.1475	1.0904	1.0400	0.9948	0.9539	0.9165	0.8821	0.8502
13	2.8861	1.9469	1.6716	1.5045	1.3840	1.2899	1.2125	1.1469	1.0899	1.0395	0.9944	0.9535	0.9161	0.8817	0.8499
14	2.8539	1.9431	1.6696	1.5031	1.3830	1.2890	1.2118	1.1463	1.0894	1.0391	0.9940	0.9531	0.9158	0.8814	0.8496
15	2.8239	1.9393	1.6676	1.5017	1.3820	1.2882	1.2111	1.1457	1.0888	1.0386	0.9935	0.9527	0.9154	0.8811	0.8492
16	2.7959	1.9355	1.6655	1.5003	1.3809	1.2874	1.2104	1.1451	1.0883	1.0381	0.9931	0.9523	0.9151	0.8807	0.8489
17	2.7696	1.9318	1.6635	1.4989	1.3799	1.2865	1.2097	1.1445	1.0878	1.0376	0.9927	0.9519	0.9147	0.8804	0.8486
18	2.7447	1.9281	1.6615	1.4976	1.3788	1.2857	1.2090	1.1439	1.0872	1.0372	0.9923	0.9516	0.9144	0.8801	0.8483
19	2.7212	1.9245	1.6596	1.4962	1.3778	1.2848	1.2083	1.1433	1.0867	1.0367	0.9918	0.9512	0.9140	0.8798	0.8480
20	2.6990	1.9208	1.6576	1.4949	1.3768	1.2840	1.2076	1.1427	1.0862	1.0362	0.9914	0.9508	0.9136	0.8794	0.8477
21	2.6778	1.9172	1.6555	1.4935	1.3757	1.2832	1.2069	1.1421	1.0857	1.0357	0.9910	0.9504	0.9133	0.8791	0.8474
22	2.6576	1.9136	1.6536	1.4921	1.3747	1.2823	1.2062	1.1415	1.0851	1.0353	0.9905	0.9500	0.9129	0.8788	0.8471
23	2.6383	1.9101	1.6517	1.4908	1.3737	1.2815	1.2055	1.1409	1.0846	1.0348	0.9901	0.9496	0.9126	0.8784	0.8468
24	2.6198	1.9066	1.6498	1.4895	1.3726	1.2807	1.2048	1.1403	1.0841	1.0343	0.9897	0.9492	0.9122	0.8781	0.8465
25	2.6021	1.9031	1.6478	1.4881	1.3716	1.2798	1.2041	1.1397	1.0835	1.0339	0.9893	0.9488	0.9119	0.8778	0.8462
26	2.5850	1.8996	1.6459	1.4868	1.3706	1.2790	1.2034	1.1391	1.0830	1.0334	0.9889	0.9485	0.9115	0.8775	0.8459
27	2.5666	1.8962	1.6440	1.4855	1.3696	1.2782	1.2027	1.1385	1.0825	1.0329	0.9884	0.9481	0.9112	0.8771	0.8456
28	2.5528	1.8928	1.6421	1.4841	1.3686	1.2774	1.2020	1.1379	1.0820	1.0325	0.9880	0.9477	0.9108	0.8768	0.8453
29	2.5376	1.8894	1.6402	1.4828	1.3675	1.2765	1.2013	1.1373	1.0814	1.0320	0.9876	0.9473	0.9104	0.8765	0.8450
30	2.5229	1.8861	1.6383	1.4815	1.3665	1.2757	1.2007	1.1367	1.0809	1.0315	0.9872	0.9469	0.9101	0.8761	0.8447
31	2.5086	1.8827	1.6364	1.4802	1.3655	1.2749	1.2000	1.1361	1.0804	1.0311	0.9867	0.9465	0.9097	0.8758	0.8444
32	2.4949	1.8794	1.6345	1.4789	1.3645	1.2741	1.1993	1.1355	1.0799	1.0306	0.9863	0.9462	0.9094	0.8755	0.8441
33	2.4815	1.8761	1.6326	1.4776	1.3635	1.2733	1.1986	1.1349	1.0794	1.0301	0.9859	0.9458	0.9090	0.8752	0.8438
34	2.4685	1.8729	1.6308	1.4763	1.3625	1.2725	1.1979	1.1343	1.0788	1.0297	0.9855	0.9454	0.9087	0.8748	0.8435
35	2.4559	1.8597	1.6289	1.4750	1.3615	1.2716	1.1972	1.1337	1.0783	1.0292	0.9851	0.9450	0.9083	0.8745	0.8431
36	2.4437	1.8565	1.6271	1.4737	1.3605	1.2708	1.1965	1.1331	1.0778	1.0287	0.9846	0.9446	0.9080	0.8742	0.8428
37	2.4318	1.8533	1.6253	1.4724	1.3595	1.2700	1.1959	1.1325	1.0773	1.0283	0.9842	0.9442	0.9076	0.8739	0.8425
38	2.4202	1.8501	1.6234	1.4711	1.3585	1.2692	1.1952	1.1319	1.0768	1.0278	0.9838	0.9439	0.9073	0.8735	0.8422
39	2.4089	1.8570	1.6216	1.4698	1.3575	1.2684	1.1945	1.1314	1.0762	1.0273	0.9834	0.9435	0.9069	0.8732	0.8419
40	2.3979	1.8539	1.6198	1.4685	1.3565	1.2676	1.1938	1.1308	1.0757	1.0269	0.9830	0.9431	0.9066	0.8729	0.8416
41	2.3872	1.8508	1.6180	1.4672	1.3556	1.2668	1.1931	1.1302	1.0752	1.0264	0.9825	0.9427	0.9062	0.8726	0.8413
42	2.3768	1.8477	1.6162	1.4660	1.3546	1.2660	1.1925	1.1296	1.0747	1.0259	0.9821	0.9423	0.9059	0.8722	0.8410
43	2.3665	1.8447	1.6144	1.4647	1.3536	1.2652	1.1918	1.1290	1.0742	1.0255	0.9817	0.9420	0.9055	0.8719	0.8407
44	2.3565	1.8416	1.6126	1.4634	1.3526	1.2644	1.1911	1.1284	1.0737	1.0250	0.9813	0.9416	0.9052	0.8716	0.8404
45	2.3468	1.8386	1.6108	1.4622	1.3516	1.2636	1.1904	1.1278	1.0731	1.0246	0.9809	0.9412	0.9048	0.8713	0.8401
46	2.3372	1.8356	1.6091	1.4609	1.3507	1.2628	1.1898	1.1273	1.0726	1.0241	0.9805	0.9408	0.9045	0.8710	0.8398
47	2.3279	1.8327	1.6073	1.4597	1.3497	1.2620	1.1891	1.1267	1.0721	1.0237	0.9801	0.9404	0.9041	0.8706	0.8395
48	2.3188	1.8297	1.6055	1.4584	1.3487	1.2612	1.1884	1.1261	1.0716	1.0232	0.9796	0.9401	0.9038	0.8703	0.8392
49	2.3098	1.8268	1.6038	1.4572	1.3478	1.2604	1.1878	1.1255	1.0711	1.0227	0.9792	0.9397	0.9034	0.8700	0.8389
50	2.3010	1.8239	1.6021	1.4559	1.3468	1.2596	1.1871	1.1249	1.0706	1.0223	0.9788	0.9393	0.9031	0.8697	0.8386
51	2.2924	1.8210	1.6003	1.4547	1.3458	1.2588	1.1864	1.1244	1.0701	1.0218	0.9784	0.9389	0.9027	0.8693	0.8383
52	2.2840	1.8182	1.5986	1.4535	1.3449	1.2581	1.1858	1.1238	1.0696	1.0214	0.9780	0.9385	0.9024	0.8690	0.8380
53	2.2757	1.8153	1.5969	1.4522	1.3439	1.2573	1.1851	1.1232	1.0691	1.0209	0.9776	0.9382	0.9020	0.8687	0.8377
54	2.2676	1.8125	1.5952	1.4510	1.3429	1.2565	1.1844	1.1226	1.0685	1.0205	0.9772	0.9378	0.9017	0.8684	0.8374
55	2.2596	1.8097	1.5935	1.4498	1.3420	1.2557	1.1838	1.1221	1.0680	1.0200	0.9767	0.9374	0.9014	0.8681	0.8371
56	2.2518	1.8069	1.5918	1.4486	1.3410	1.2549	1.1831	1.1215	1.0675	1.0195	0.9763	0.9370	0.9010	0.8677	0.8368
57	2.2441	1.8041	1.5901	1.4473	1.3401	1.2541	1.1824	1.1209	1.0670	1.0191	0.9759	0.9367	0.9007	0.8674	0.8365
58	2.2366	1.8013	1.5884	1.4461	1.3391	1.2534	1.1818	1.1203	1.0665	1.0186	0.9755	0.9363	0.9003	0.8671	0.8362
59	2.2291	1.7986	1.5867	1.4449	1.3382	1.2526	1.1811	1.1198	1.0660	1.0182	0.9751	0.9359	0.9000	0.8668	0.8359
60	2.2218	1.7959	1.5850	1.4437	1.3372	1.2518	1.1805	1.1192	1.0655	1.0177	0.9747	0.9355	0.8996	0.8665	0.8356
61	2.2147	1.7932	1.5834	1.4425	1.3363	1.2472	1.1798	1.1186	1.0650	1.0173	0.9743	0.9352	0.8993	0.8661	0.8353
62	2.2076	1.7905													

On entre table **A** avec $L \pm D$, en haut à gauche, pour trouver **f** :

Table A

	030°	031°	032°	033°	034°	035°	036°	037°	038°	039°	040°	041°	042°	043°	044°	
00°	0.1340	0.1428	0.1520	0.1613	0.1710	0.1808	0.1910	0.2014	0.2120	0.2229	0.2340	0.2453	0.2569	0.2686	0.2807	60°
01°	0.1341	0.1430	0.1521	0.1615	0.1711	0.1810	0.1912	0.2015	0.2122	0.2230	0.2341	0.2455	0.2570	0.2688	0.2809	59°
02°	0.1343	0.1431	0.1523	0.1616	0.1713	0.1812	0.1913	0.2017	0.2123	0.2232	0.2343	0.2457	0.2572	0.2690	0.2811	58°
03°	0.1344	0.1433	0.1524	0.1618	0.1715	0.1813	0.1915	0.2019	0.2125	0.2234	0.2345	0.2459	0.2574	0.2692	0.2813	57°
04°	0.1346	0.1434	0.1526	0.1620	0.1716	0.1815	0.1917	0.2021	0.2127	0.2236	0.2347	0.2461	0.2576	0.2694	0.2815	56°
05°	0.1347	0.1436	0.1527	0.1621	0.1718	0.1817	0.1918	0.2022	0.2129	0.2238	0.2349	0.2462	0.2578	0.2696	0.2817	55°
06°	0.1348	0.1437	0.1529	0.1623	0.1719	0.1819	0.1920	0.2024	0.2131	0.2240	0.2351	0.2464	0.2580	0.2698	0.2819	54°
07°	0.1350	0.1439	0.1530	0.1624	0.1721	0.1820	0.1922	0.2026	0.2132	0.2241	0.2353	0.2466	0.2582	0.2700	0.2821	53°
08°	0.1351	0.1440	0.1532	0.1626	0.1723	0.1822	0.1924	0.2028	0.2134	0.2243	0.2355	0.2468	0.2584	0.2702	0.2823	52°
09°	0.1353	0.1442	0.1533	0.1628	0.1724	0.1824	0.1925	0.2029	0.2136	0.2245	0.2356	0.2470	0.2586	0.2704	0.2825	51°
10°	0.1354	0.1443	0.1535	0.1629	0.1726	0.1825	0.1927	0.2031	0.2138	0.2247	0.2358	0.2472	0.2588	0.2706	0.2827	50°
11°	0.1356	0.1445	0.1537	0.1631	0.1728	0.1827	0.1929	0.2033	0.2140	0.2249	0.2360	0.2474	0.2590	0.2708	0.2829	49°
12°	0.1357	0.1446	0.1538	0.1632	0.1729	0.1829	0.1930	0.2035	0.2141	0.2251	0.2362	0.2476	0.2592	0.2710	0.2831	48°
13°	0.1359	0.1448	0.1540	0.1634	0.1731	0.1830	0.1932	0.2036	0.2143	0.2252	0.2364	0.2478	0.2594	0.2712	0.2833	47°
14°	0.1360	0.1449	0.1541	0.1636	0.1732	0.1832	0.1934	0.2038	0.2145	0.2254	0.2366	0.2480	0.2596	0.2714	0.2835	46°
15°	0.1362	0.1451	0.1543	0.1637	0.1734	0.1834	0.1936	0.2040	0.2147	0.2256	0.2368	0.2482	0.2598	0.2716	0.2837	45°
16°	0.1363	0.1452	0.1544	0.1639	0.1736	0.1835	0.1937	0.2042	0.2149	0.2258	0.2370	0.2484	0.2600	0.2718	0.2839	44°
17°	0.1365	0.1454	0.1546	0.1640	0.1737	0.1837	0.1939	0.2044	0.2150	0.2260	0.2371	0.2485	0.2602	0.2720	0.2841	43°
18°	0.1366	0.1455	0.1547	0.1642	0.1739	0.1839	0.1941	0.2045	0.2152	0.2262	0.2373	0.2487	0.2604	0.2722	0.2843	42°
19°	0.1368	0.1457	0.1549	0.1644	0.1741	0.1840	0.1942	0.2047	0.2154	0.2263	0.2375	0.2489	0.2606	0.2724	0.2845	41°
20°	0.1369	0.1458	0.1550	0.1645	0.1742	0.1842	0.1944	0.2049	0.2156	0.2265	0.2377	0.2491	0.2608	0.2726	0.2847	40°
21°	0.1370	0.1460	0.1552	0.1647	0.1744	0.1844	0.1946	0.2051	0.2158	0.2267	0.2379	0.2493	0.2610	0.2728	0.2849	39°
22°	0.1372	0.1461	0.1554	0.1648	0.1746	0.1845	0.1948	0.2052	0.2159	0.2269	0.2381	0.2495	0.2612	0.2730	0.2851	38°
23°	0.1373	0.1463	0.1555	0.1650	0.1747	0.1847	0.1949	0.2054	0.2161	0.2271	0.2383	0.2497	0.2613	0.2732	0.2853	37°
24°	0.1375	0.1464	0.1557	0.1652	0.1749	0.1849	0.1951	0.2056	0.2163	0.2273	0.2385	0.2499	0.2615	0.2734	0.2855	36°
25°	0.1376	0.1466	0.1558	0.1653	0.1751	0.1850	0.1953	0.2058	0.2165	0.2275	0.2387	0.2501	0.2617	0.2736	0.2857	35°
26°	0.1378	0.1468	0.1560	0.1655	0.1752	0.1852	0.1955	0.2059	0.2167	0.2276	0.2388	0.2503	0.2619	0.2738	0.2859	34°
27°	0.1379	0.1469	0.1561	0.1656	0.1754	0.1854	0.1956	0.2061	0.2168	0.2278	0.2390	0.2505	0.2621	0.2740	0.2861	33°
28°	0.1381	0.1471	0.1563	0.1658	0.1755	0.1855	0.1958	0.2063	0.2170	0.2280	0.2392	0.2507	0.2623	0.2742	0.2863	32°
29°	0.1382	0.1472	0.1565	0.1660	0.1757	0.1857	0.1960	0.2065	0.2172	0.2282	0.2394	0.2509	0.2625	0.2744	0.2865	31°
30°	0.1384	0.1474	0.1566	0.1661	0.1759	0.1859	0.1961	0.2066	0.2174	0.2284	0.2396	0.2510	0.2627	0.2746	0.2867	30°
31°	0.1385	0.1475	0.1568	0.1663	0.1760	0.1861	0.1963	0.2068	0.2176	0.2286	0.2398	0.2512	0.2629	0.2748	0.2870	29°
32°	0.1387	0.1477	0.1569	0.1664	0.1762	0.1862	0.1965	0.2070	0.2178	0.2287	0.2400	0.2514	0.2631	0.2750	0.2872	28°
33°	0.1388	0.1478	0.1571	0.1666	0.1764	0.1864	0.1967	0.2072	0.2179	0.2289	0.2402	0.2516	0.2633	0.2752	0.2874	27°
34°	0.1390	0.1480	0.1572	0.1668	0.1765	0.1866	0.1968	0.2074	0.2181	0.2291	0.2404	0.2518	0.2635	0.2754	0.2876	26°
35°	0.1391	0.1481	0.1574	0.1669	0.1767	0.1867	0.1970	0.2075	0.2183	0.2293	0.2405	0.2520	0.2637	0.2756	0.2878	25°
36°	0.1393	0.1483	0.1575	0.1671	0.1769	0.1869	0.1972	0.2077	0.2185	0.2295	0.2407	0.2522	0.2639	0.2758	0.2880	24°
37°	0.1394	0.1484	0.1577	0.1672	0.1770	0.1871	0.1974	0.2079	0.2187	0.2297	0.2409	0.2524	0.2641	0.2760	0.2882	23°
38°	0.1396	0.1486	0.1579	0.1674	0.1772	0.1872	0.1975	0.2081	0.2188	0.2299	0.2411	0.2526	0.2643	0.2762	0.2884	22°
39°	0.1397	0.1487	0.1580	0.1676	0.1774	0.1874	0.1977	0.2082	0.2190	0.2300	0.2413	0.2528	0.2645	0.2764	0.2886	21°
40°	0.1399	0.1489	0.1582	0.1677	0.1775	0.1876	0.1979	0.2084	0.2192	0.2302	0.2415	0.2530	0.2647	0.2766	0.2888	20°
41°	0.1400	0.1490	0.1583	0.1679	0.1777	0.1877	0.1981	0.2086	0.2194	0.2304	0.2417	0.2532	0.2649	0.2768	0.2890	19°
42°	0.1401	0.1492	0.1585	0.1680	0.1779	0.1879	0.1982	0.2088	0.2196	0.2306	0.2419	0.2534	0.2651	0.2770	0.2892	18°
43°	0.1403	0.1493	0.1586	0.1682	0.1780	0.1881	0.1984	0.2090	0.2198	0.2308	0.2421	0.2536	0.2653	0.2772	0.2894	17°
44°	0.1404	0.1495	0.1588	0.1684	0.1782	0.1883	0.1986	0.2091	0.2199	0.2310	0.2422	0.2537	0.2655	0.2774	0.2896	16°
45°	0.1406	0.1496	0.1590	0.1685	0.1784	0.1884	0.1987	0.2093	0.2201	0.2312	0.2424	0.2539	0.2657	0.2776	0.2898	15°
46°	0.1407	0.1498	0.1591	0.1687	0.1785	0.1886	0.1989	0.2095	0.2203	0.2313	0.2426	0.2541	0.2659	0.2778	0.2900	14°
47°	0.1409	0.1500	0.1593	0.1689	0.1787	0.1888	0.1991	0.2097	0.2205	0.2315	0.2428	0.2543	0.2661	0.2780	0.2902	13°
48°	0.1410	0.1501	0.1594	0.1690	0.1789	0.1889	0.1993	0.2098	0.2207	0.2317	0.2430	0.2545	0.2663	0.2782	0.2904	12°
49°	0.1412	0.1503	0.1596	0.1692	0.1790	0.1891	0.1994	0.2100	0.2208	0.2319	0.2432	0.2547	0.2665	0.2784	0.2906	11°
50°	0.1413	0.1504	0.1597	0.1693	0.1792	0.1893	0.1996	0.2102	0.2210	0.2321	0.2434	0.2549	0.2667	0.2786	0.2908	10°
51°	0.1415	0.1506	0.1599	0.1695	0.1793	0.1894	0.1998	0.2104	0.2212	0.2323	0.2436	0.2551	0.2669	0.2788	0.2910	9°
52°	0.1416	0.1507	0.1601	0.1697	0.1795	0.1896	0.2000	0.2106	0.2214	0.2325	0.2438	0.2553	0.2671	0.2790	0.2912	8°
53°	0.1418	0.1509	0.1602	0.1698	0.1797	0.1898	0.2001	0.2107	0.2216	0.2326	0.2440	0.2555	0.2673	0.2792	0.2915	7°
54°	0.1419	0.1510	0.1604	0.1700	0.1798	0.1900	0.2003	0.2109	0.2218	0.2328	0.2441	0.2557	0.2675	0.2794	0.2917	6°
55°	0.1421	0.1512	0.1605	0.1701	0.1800	0.1901	0.2005	0.2111	0.2219	0.2330	0.2443	0.2559	0.2677	0.2797	0.2919	5°
56°	0.1422	0.1513	0.1607	0.1703	0.1802	0.1903	0.2007	0.2113	0.2221	0.2332	0.2445	0.2561	0.2679	0.2799	0.2921	4°
57°	0.1424	0.1515	0.1609	0.1705	0.1803	0.1905	0.2008	0.2115	0.2233	0.2344	0.2452	0.2563	0.2681	0.2801	0.2923	3°
58°	0.1425	0.1516	0.1610													

Table A

	045°	046°	047°	048°	049°	050°	051°	052°	053°	054°	055°	056°	057°	058°	059°	
00'	0.2929	0.3053	0.3180	0.3309	0.3439	0.3572	0.3707	0.3843	0.3982	0.4122	0.4264	0.4408	0.4554	0.4701	0.4850	60'
01'	0.2931	0.3056	0.3182	0.3311	0.3442	0.3574	0.3709	0.3846	0.3984	0.4125	0.4267	0.4410	0.4556	0.4703	0.4852	59'
02'	0.2933	0.3058	0.3184	0.3313	0.3444	0.3577	0.3711	0.3848	0.3986	0.4127	0.4269	0.4413	0.4558	0.4706	0.4855	58'
03'	0.2935	0.3060	0.3186	0.3315	0.3446	0.3579	0.3714	0.3850	0.3989	0.4129	0.4271	0.4415	0.4561	0.4708	0.4857	57'
04'	0.2937	0.3062	0.3189	0.3317	0.3448	0.3581	0.3716	0.3853	0.3991	0.4132	0.4274	0.4418	0.4563	0.4711	0.4860	56'
05'	0.2939	0.3064	0.3191	0.3320	0.3450	0.3583	0.3718	0.3855	0.3993	0.4134	0.4276	0.4420	0.4566	0.4713	0.4862	55'
06'	0.2941	0.3066	0.3193	0.3322	0.3453	0.3586	0.3720	0.3857	0.3996	0.4136	0.4279	0.4423	0.4568	0.4716	0.4865	54'
07'	0.2943	0.3068	0.3195	0.3324	0.3455	0.3588	0.3723	0.3859	0.3998	0.4139	0.4281	0.4425	0.4571	0.4718	0.4867	53'
08'	0.2945	0.3070	0.3197	0.3326	0.3457	0.3590	0.3725	0.3862	0.4000	0.4141	0.4283	0.4427	0.4573	0.4721	0.4870	52'
09'	0.2947	0.3072	0.3199	0.3328	0.3459	0.3592	0.3727	0.3864	0.4003	0.4143	0.4286	0.4430	0.4576	0.4723	0.4872	51'
10'	0.2950	0.3074	0.3201	0.3330	0.3461	0.3594	0.3729	0.3866	0.4005	0.4146	0.4288	0.4432	0.4578	0.4725	0.4875	50'
11'	0.2952	0.3076	0.3203	0.3333	0.3464	0.3597	0.3732	0.3869	0.4007	0.4148	0.4290	0.4435	0.4580	0.4728	0.4877	49'
12'	0.2954	0.3079	0.3206	0.3335	0.3466	0.3599	0.3734	0.3871	0.4010	0.4150	0.4293	0.4437	0.4583	0.4730	0.4880	48'
13'	0.2956	0.3081	0.3208	0.3337	0.3468	0.3601	0.3736	0.3873	0.4012	0.4153	0.4295	0.4439	0.4585	0.4733	0.4882	47'
14'	0.2958	0.3083	0.3210	0.3339	0.3470	0.3603	0.3738	0.3876	0.4014	0.4155	0.4298	0.4442	0.4588	0.4735	0.4885	46'
15'	0.2960	0.3085	0.3212	0.3341	0.3472	0.3606	0.3741	0.3878	0.4017	0.4158	0.4300	0.4444	0.4590	0.4738	0.4887	45'
16'	0.2962	0.3087	0.3214	0.3343	0.3475	0.3608	0.3743	0.3880	0.4019	0.4160	0.4302	0.4447	0.4593	0.4740	0.4890	44'
17'	0.2964	0.3089	0.3216	0.3346	0.3477	0.3610	0.3745	0.3882	0.4021	0.4162	0.4305	0.4449	0.4595	0.4743	0.4892	43'
18'	0.2966	0.3091	0.3218	0.3348	0.3479	0.3612	0.3748	0.3885	0.4024	0.4165	0.4307	0.4452	0.4598	0.4745	0.4895	42'
19'	0.2968	0.3093	0.3221	0.3350	0.3481	0.3615	0.3750	0.3887	0.4026	0.4167	0.4310	0.4454	0.4600	0.4748	0.4897	41'
20'	0.2970	0.3095	0.3223	0.3352	0.3483	0.3617	0.3752	0.3889	0.4028	0.4169	0.4312	0.4456	0.4602	0.4750	0.4900	40'
21'	0.2972	0.3097	0.3225	0.3354	0.3486	0.3619	0.3754	0.3892	0.4031	0.4172	0.4314	0.4459	0.4605	0.4753	0.4902	39'
22'	0.2974	0.3100	0.3227	0.3356	0.3488	0.3621	0.3757	0.3894	0.4033	0.4174	0.4317	0.4461	0.4607	0.4755	0.4905	38'
23'	0.2976	0.3102	0.3229	0.3359	0.3490	0.3624	0.3759	0.3896	0.4035	0.4176	0.4319	0.4464	0.4610	0.4758	0.4907	37'
24'	0.2978	0.3104	0.3231	0.3361	0.3492	0.3626	0.3761	0.3899	0.4038	0.4179	0.4322	0.4466	0.4612	0.4760	0.4910	36'
25'	0.2981	0.3106	0.3233	0.3363	0.3494	0.3628	0.3763	0.3901	0.4040	0.4181	0.4324	0.4469	0.4615	0.4763	0.4912	35'
26'	0.2983	0.3108	0.3236	0.3365	0.3497	0.3630	0.3766	0.3903	0.4042	0.4184	0.4326	0.4471	0.4617	0.4765	0.4915	34'
27'	0.2985	0.3110	0.3238	0.3367	0.3499	0.3633	0.3768	0.3906	0.4045	0.4186	0.4329	0.4473	0.4650	0.4768	0.4917	33'
28'	0.2987	0.3112	0.3240	0.3369	0.3501	0.3635	0.3770	0.3908	0.4047	0.4188	0.4331	0.4476	0.4622	0.4770	0.4920	32'
29'	0.2989	0.3114	0.3242	0.3372	0.3503	0.3637	0.3773	0.3910	0.4049	0.4191	0.4334	0.4478	0.4625	0.4773	0.4922	31'
30'	0.2991	0.3116	0.3244	0.3374	0.3506	0.3639	0.3775	0.3912	0.4052	0.4193	0.4336	0.4481	0.4627	0.4775	0.4925	30'
31'	0.2993	0.3119	0.3246	0.3376	0.3508	0.3641	0.3777	0.3915	0.4054	0.4195	0.4338	0.4483	0.4629	0.4777	0.4927	29'
32'	0.2995	0.3121	0.3248	0.3378	0.3510	0.3644	0.3779	0.3917	0.4056	0.4198	0.4341	0.4485	0.4632	0.4780	0.4930	28'
33'	0.2997	0.3123	0.3251	0.3380	0.3512	0.3646	0.3782	0.3919	0.4059	0.4200	0.4343	0.4488	0.4634	0.4782	0.4932	27'
34'	0.2999	0.3125	0.3253	0.3383	0.3514	0.3648	0.3784	0.3922	0.4061	0.4202	0.4346	0.4490	0.4637	0.4785	0.4935	26'
35'	0.0001	0.3127	0.3255	0.3385	0.3517	0.3650	0.3786	0.3924	0.4063	0.4205	0.4348	0.4493	0.4639	0.4787	0.4937	25'
36'	0.0003	0.3129	0.3257	0.3387	0.3519	0.3653	0.3789	0.3926	0.4066	0.4207	0.4350	0.4495	0.4642	0.4790	0.4940	24'
37'	0.0005	0.3131	0.3259	0.3389	0.3521	0.3655	0.3791	0.3929	0.4068	0.4210	0.4353	0.4498	0.4644	0.4792	0.4942	23'
38'	0.0008	0.3133	0.3261	0.3391	0.3523	0.3657	0.3793	0.3931	0.4070	0.4212	0.4355	0.4500	0.4647	0.4795	0.4945	22'
39'	0.0010	0.3135	0.3263	0.3393	0.3525	0.3659	0.3795	0.3933	0.4073	0.4214	0.4358	0.4502	0.4649	0.4797	0.4947	21'
40'	0.0012	0.3138	0.3266	0.3396	0.3528	0.3662	0.3798	0.3935	0.4075	0.4217	0.4360	0.4505	0.4652	0.4800	0.4950	20'
41'	0.0014	0.3140	0.3268	0.3398	0.3530	0.3664	0.3800	0.3938	0.4078	0.4219	0.4362	0.4507	0.4654	0.4802	0.4952	19'
42'	0.0016	0.3142	0.3270	0.3400	0.3532	0.3666	0.3802	0.3940	0.4080	0.4221	0.4365	0.4510	0.4656	0.4805	0.4955	18'
43'	0.0018	0.3144	0.3272	0.3402	0.3534	0.3668	0.3804	0.3942	0.4082	0.4224	0.4367	0.4512	0.4659	0.4807	0.4957	17'
44'	0.0020	0.3146	0.3274	0.3404	0.3537	0.3671	0.3807	0.3945	0.4085	0.4226	0.4370	0.4515	0.4661	0.4810	0.4960	16'
45'	0.0022	0.3148	0.3276	0.3407	0.3539	0.3673	0.3809	0.3947	0.4087	0.4229	0.4372	0.4517	0.4664	0.4812	0.4962	15'
46'	0.0024	0.3150	0.3278	0.3409	0.3541	0.3675	0.3811	0.3949	0.4089	0.4231	0.4374	0.4520	0.4666	0.4815	0.4965	14'
47'	0.0026	0.3152	0.3281	0.3411	0.3543	0.3677	0.3814	0.3952	0.4092	0.4233	0.4377	0.4522	0.4669	0.4817	0.4967	13'
48'	0.0028	0.3155	0.3283	0.3413	0.3545	0.3680	0.3816	0.3954	0.4094	0.4236	0.4379	0.4524	0.4671	0.4820	0.4970	12'
49'	0.0030	0.3157	0.3285	0.3415	0.3548	0.3682	0.3818	0.3956	0.4096	0.4238	0.4382	0.4527	0.4674	0.4822	0.4972	11'
50'	0.0033	0.3159	0.3287	0.3417	0.3550	0.3684	0.3820	0.3959	0.4099	0.4240	0.4384	0.4529	0.4676	0.4825	0.4975	10'
51'	0.0035	0.3161	0.3289	0.3420	0.3552	0.3686	0.3823	0.3961	0.4101	0.4243	0.4386	0.4532	0.4679	0.4827	0.4977	9'
52'	0.0037	0.3163	0.3291	0.3422	0.3554	0.3689	0.3825	0.3963	0.4103	0.4245	0.4389	0.4534	0.4681	0.4830	0.4980	8'
53'	0.0039	0.3165	0.3294	0.3424	0.3557	0.3691	0.3827	0.3966	0.4106	0.4248	0.4391	0.4537	0.4684	0.4832	0.4982	7'
54'	0.0041	0.3167	0.3296	0.3426	0.3559	0.3693	0.3830	0.3968	0.4108	0.4250	0.4394	0.4539	0.4686	0.4835	0.4985	6'
55'	0.0043	0.3169	0.3298	0.3428	0.3561	0.3695	0.3832	0.3970	0.4110	0.4252	0.4396	0.4541	0.4688	0.4837	0.4987	5'
56'	0.0045	0.3172	0.3300	0.3431	0.3563	0.3698	0.3834	0.3973	0.4113	0.4255	0.4398	0.4544	0.4691	0.4840	0.4990	4'
57'	0.0047	0.3174	0.3302	0.3433	0.3565	0.3700	0.3837	0.3975	0.4115	0.4257	0.4401	0.4546	0.4693	0.4842	0.4992	3'
58'	0.0049	0.3176	0.3304	0.3435	0.3568	0.3702	0.3839	0.3977	0.4117	0.4259	0.4403	0.4549	0.4696	0.4845	0.4995	2'
59'	0.0051	0.3178	0.3307													

Détermination de l'Azimuth par les tables de Bataille

Valeurs arrondies au degré le plus proche pour AHag, Latitude et Déclinaison

Date	AHag	Latitude	Déclinaison
8 Oct 2009	12°	38° N	5 6°

Tables de Bataille

Recherche de l'angle au Pôle P

Si AHag < 180°, P = AHag

Si AHag > 180°, P = 360° - AHag

AHag -		360°	
		P en degrés	12°
		P en heures (table 1)	0h 48m

Recherche de l'Azimuth Z

Entrer table 1 avec P & L, en haut et à gauche.

chiffre m

Si P > 90°, m est positif

Si P < 90°, m est négatif

Entrer table 2 avec L & D, en haut et à gauche.

chiffre n

Si L & D sont de même nom, n est positif

Si L & D sont de noms contraires, n est négatif

Somme algébrique m+n

Entrer table 2 avec P à droite en heures, valeur absolue de (m+n) à l'intérieur.

Lire Z en bas.

-0,61

-0,08

-0,69

17°

Important:

Z est compté de 0 à 90°, à partir du pôle élevé si (m+n) est positif, à partir du pôle abaissé si (m+n) est négatif.

Si l'astre n'est pas passé au méridien supérieur (c-à-d si AHga est compris entre 180 & 360°), Z est porté vers l'EST.

Si l'astre est déjà passé au méridien supérieur (c-à-d si AHga est compris entre 0 & 180°), Z est porté vers l'OUEST.

Z =

197°

On recherche l'angle au pôle en table I.

Table I.

00h00	00h20	00h40	01h00	01h20	01h36	01h48	02h00	02h08	02h16	02h24	02h32	02h40	02h48	02h56	03h00
0°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90°
1°	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	89°
2°	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	88°
3°	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	87°
4°	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	86°
5°	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	85°
6°	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	84°
7°	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	83°
8°	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	82°
9°	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	81°
10°	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	80°
11°	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	79°

12°, soit 0h 48m.

Toujours table I, à la ligne de la latitude (colonne de gauche), on trouve 0,61.

Comme P est inférieur à 90°, le nombre trouvé est négatif.

Table I.

	00h00	00h20	00h40	01h00	01h20	01h36	01h48	02h00	02h08	02h16	02h24	02h32	02h40	02h48	02h56	03h00
	0°	5°	10°	15°	20°	24°	27°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	45°
0°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2°	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
3°	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
4°	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5°	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
6°	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
7°	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
8°	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
9°	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
10°	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
11°	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13
12°	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
13°	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16
14°	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17
15°	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18
16°	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19
17°	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21
18°	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22
19°	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23
20°	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24
21°	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25
22°	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26
23°	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28
24°	0.41	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29
25°	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30
26°	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31
27°	0.45	0.45	0.45	0.44	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
28°	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
29°	0.48	0.48	0.48	0.47	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34
30°	0.50	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35
31°	0.52	0.51	0.51	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36
32°	0.53	0.53	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37
33°	0.54	0.54	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.40	0.39	0.39
34°	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.40	0.40
35°	0.57	0.57	0.56	0.55	0.54	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.41	0.41
36°	0.59	0.59	0.58	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.44	0.42	0.42
37°	0.60	0.60	0.59	0.58	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.43	0.43
38°	0.62	0.62	0.61	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47	0.46	0.44
39°	0.63	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44
40°	0.64	0.64	0.63	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.46	0.45
41°	0.66	0.65	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46
42°	0.67	0.67	0.66	0.65	0.64	0.61	0.60	0.58	0.57	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.47

Même opération en table II, avec la latitude et la déclinaison, on trouve 0,08. Comme L et D sont de signes contraires, le nombre trouvé est négatif.

Table II.

Lat.	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	Angle au Pôle
0°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	06h00 06h00
1°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	05h56 06h04
2°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	05h52 06h08
3°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	05h48 06h12
4°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	05h44 06h16
5°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	05h40 06h20
6°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	05h36 06h24
7°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	05h32 06h28
8°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	05h28 06h32
9°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	05h24 06h36
10°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	05h20 06h40
11°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.23	0.24	05h16 06h44
12°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.24	05h12 06h48
13°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.24	05h08 06h52
14°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.24	05h04 06h56
15°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.24	05h00 07h00
16°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24	04h56 07h04
17°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24	04h52 07h08
18°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.24	04h48 07h12
19°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.24	04h44 07h16
20°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.23	04h40 07h20
21°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.22	0.23	04h36 07h24
22°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23	04h32 07h28
23°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23	04h28 07h32
24°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	04h24 07h36
25°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	04h20 07h40
26°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.22	04h16 07h44
27°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.22	04h12 07h48
28°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	04h08 07h52
29°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.20	0.22	04h04 07h56
30°	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	04h00 08h00
31°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.21	03h56 08h04	
32°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	03h52 08h08	
33°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	03h48 08h12	
34°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	03h44 08h16	
35°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20	03h40 08h20	
36°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20	03h36 08h24	
37°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.20	03h32 08h28	
38°	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	03h28 08h32	
39°	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19	03h24 08h36	
40°	n.n	n.n														

La somme des deux termes est égale à -0.69, qu'on cherche à l'intérieur de la table II, avec l'angle au pôle à droite.

71°	0.56	0.59	0.61	0.64	0.67	0.70	0.73	0.77	0.81	0.85	0.89	0.95	1.00	1.06	1.14	U1h16 10h44
72°	0.54	0.56	0.58	0.61	0.63	0.66	0.73	0.76	0.81	0.85	0.90	0.95	1.01	1.08	01h12 10h48	
73°	0.51	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.66	0.69	0.72	0.76	0.80	0.85	0.90	0.96	1.02	01h08 10h52
74°	0.48	0.50	0.52	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.76	0.80	0.85	0.90	0.96	01h04 10h56
75°	0.45	0.47	0.49	0.51	0.53	0.56	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.75	0.80	0.85	0.90	01h00 11h00
76°	0.42	0.44	0.45	0.47	0.50	0.52	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.79	0.84	00h56 11h04
77°	0.39	0.41	0.42	0.44	0.46	0.48	0.51	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.74	0.78	00h52 11h08
78°	0.36	0.38	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.54	0.57	0.60	0.64	0.68	0.73	00h48 11h12
79°	0.33	0.34	0.36	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.50	0.52	0.55	0.59	0.62	0.67	00h44 11h16
80°	0.30	0.31	0.33	0.34	0.36	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.48	0.50	0.53	0.57	0.61	00h40 11h20
81°	0.27	0.28	0.29	0.31	0.32	0.34	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.48	0.51	0.55	00h36 11h24
82°	0.24	0.25	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.33	0.34	0.36	0.38	0.40	0.43	0.46	0.49	00h32 11h28
83°	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.38	0.40	0.43	00h28 11h32
84°	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.25	0.26	0.27	0.29	0.30	0.32	0.34	0.36	00h24 11h36
85°	0.15	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.30	00h20 11h40
86°	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	00h16 11h44
87°	0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18	00h12 11h48
88°	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	00h08 11h52
89°	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	00h04 11h56
90°	29°	28°	27°	26°	25°	24°	23°	22°	21°	20°	19°	18°	17°	16°	-	-

On trouve l'azimut en bas, soit 17°.

(m+n) est négatif, on compte à partir du pôle abaissé. L'angle horaire local est compris entre 0° et 180°, on porte donc l'azimut vers l'ouest. On lit donc **S 17° W**, soit **197°**.

HO.249, et les autres...

Les tables HO249 ont été conçues pour l'aéronautique. C'est l'équivalent américain des AP3720 britanniques. Elles permettent en une fois d'obtenir la

hauteur estimée et l'azimut. Elles sont composées de 3 gros volumes.

Elles doivent cependant utiliser une position estimée différente de la position réellement estimée.

Et il existe de nombreuses autres tables et abaques, de toutes origines, et dans toutes les langues. Elles ont toutes le même but, et sont toutes aussi fiables, pour peu qu'on sache s'en servir. Le tout, c'est de trouver celles qu'on préfère, et avec lesquelles on est le plus à l'aise.

Entorse : avec une calculette dédiée.

Une calculette est électrique..., mais il existe des calculettes qui remplacent les éphémérides et autres almanachs. La très fameuse Tamaya a eu son heure de gloire. Je ne suis pas sûr cependant que les programmes qui y tournent prennent en compte les secondes intercalaires... À vérifier.

Usage de l'informatique

Il existe nombre de programmes pour éditer les almanachs et éphémérides, ainsi que pour résoudre les calculs nécessaires pour la navigation astronomique, on en fournira une liste en annexe.

Dans le cadre de ce document, l'aspect qui nous concerne est l'édition des éphémérides.

On fournit sur le site (<http://navigation.ledouris.net>) des classes Java, basées sur les algorithmes astronomiques de Jean Meeus et le travail remarquable de Hening Umland. Ces classes permettent de calculer les données de l'almanach pour le Soleil, la Lune, quatre planètes (Vénus, Mars, Jupiter et Saturne), ainsi que pour une bonne cinquantaine d'étoiles. On peut aussi par la même occasion calculer les distances entre les astres, en particulier les distances lunaires.

On utilise Java³⁰ pour générer un fichier XML (eXtensible Markup Language) qu'on transforme ensuite en pdf³¹ en utilisant XSL (eXtensible Stylesheet Language) et FOP (Formatting Object Processor), ce qui apporte une grande souplesse à la démarche. On peut éditer ce qu'on veut, dans le format qu'on souhaite. Plusieurs exemples sont donc – disait-on – disponibles sur le site.

30 Voir <http://java.sun.com>

31 Portable Document Format. Propriété d'Acrobat. Les lecteurs sont gratuits, et disponibles sur de nombreuses plate-formes.

On peut aussi générer les tables de calcul (Dieumegard & Bataille), ainsi que les tables d'interpolation, très pratiques. Ces dernières peuvent être générées en quelques clics dans un tableur, c'est réellement spectaculaire. C'est d'autant plus commode qu'il est possible de se réaliser ses propres tables d'interpolation, en fonction de ses besoins.

Un commentaire

Les calculs nécessaires pour la navigation astronomique sont longs, c'est le moins qu'on puisse dire. Ils ne sont cependant pas difficiles, et avec *un peu de pratique*, c'est très facile, et on acquiert très vite une forme de routine. Il ne faut pas hésiter à la pratiquer – à terre et en mer - autant que possible, il est essentiel de ne pas avoir à apprendre cette technique sur le tas, quand le GPS se met en botte... Il convient de ne pas rendre cette routine trop automatique, il convient de persister à savoir ce qu'on fait, afin de pouvoir détecter les erreurs et les aberrations.

Et surtout, c'est sans doute la technique de navigation la plus gratifiante. Quand au terme d'une traversée on dit à l'équipage « On devrait voir une terre devant nous dans environ trente minutes », ils ont tous cet air entendu, sur le mode « Mais bien sûr ! ». Mais quand trente minutes plus tard, la terre apparaît, ils sont sciés, et c'est bien normal.

Techniques et vieilles combines

Latitude constante

La donnée la plus difficile à obtenir, c'est l'heure exacte, dont dépend directement le calcul de la longitude.

Lorsqu'elle était encore impossible à obtenir d'un manière fiable, il était courant lors d'un long voyage – et lorsque c'était possible - de se caler dès que possible sur la latitude d'arrivée. Le reste du trajet s'effectuait alors d'est en ouest, ou d'ouest en est. La latitude est comme on l'a vu facile à obtenir, même lorsqu'on ne dispose pas d'un chronomètre suffisamment fiable.

De nombreux voyages entre les Amériques et l'Europe ont été effectués de cette façon.

Kamal

C'est une idée Arabe, dont Tim Severin parle dans la relation qu'il fait de son « Voyage de Simbad ». Le Kamal est un instrument rudimentaire, utilisé pour évaluer la hauteur d'un astre – des étoiles en particulier – lorsqu'il passe à son point le plus bas.



C'est particulièrement adapté à cette technique de latitude constante, évoquée ci-avant. En fonction de la navigation à envisager, et la période de l'année, les

Nacudas avaient à leur disposition plusieurs kamals, chacun correspondant à la hauteur minimale ou maximale d'un astre donné durant la traversée à effectuer. Il est intéressant de constater que la grande majorité de noms qu'on donne aux étoiles sont des noms Arabes.

Distances Lunaires

Plus qu'une méthode de détermination de la longitude, c'est en fait une façon de recaler le chronomètre, ce qui mène à la détermination de la longitude.

Joshua Slocum y fait référence.

Le principe est simple, il exploite le mouvement très particulier de la Lune par rapport aux autres astres visibles. Elle est en effet l'astre visible dont le mouvement propre est le plus flagrant³².

Un autre aspect important de cette méthode – si ce n'est la raison pour laquelle elle existe, c'est que – une fois corrigée - l'observation faite d'une distance entre deux astres **ne dépend pas** de la position géographique de l'observateur.

Dans la voûte céleste, les astres visibles (Soleil, planètes, étoiles) seront considérés comme les chiffres d'une grande pendule, où la Lune jouerait le rôle de la grande aiguille.

Le problème, c'est que les chiffres bougent aussi. Mais ça fonctionne.

On utilise alors le sextant, non plus pour mesurer une hauteur sur l'horizon, mais une distance entre deux astres.

On choisira pour mesurer cette distance des astres situés au voisinage du trajet de la Lune dans le ciel, de façon à ce que la distance qui nous intéresse varie de manière substantielle avec le temps. Par exemple, l'étoile Polaire ne sera daucune utilité...

Ça marche, mais il faut savoir quel crédit accorder à cette méthode.

Si on considère par exemple la mesure de la distance Lune-Soleil, cette distance varie par heure d'environ 30'. Une erreur d'une minute d'arc sur le sextant – et cette mesure est plus difficile à obtenir que dans le cas d'une hauteur sur l'horizon – correspond à une erreur de temps de l'ordre deux minutes... On fait en général plusieurs observations, dont on calcule ensuite une moyenne.

Il faut pouvoir mesurer la distance lunaire avec une précision inférieure à une minute d'arc.

C'est une méthode délicate, qui requiert beaucoup de précision, et beaucoup de calculs. Mais encore une fois, ça marche. On n'en attendra pas cependant la précision qu'on peut obtenir avec un droite de hauteur. La fourchette d'erreur est de l'ordre de plusieurs dizaines minutes de longitude... Mais à nouveau, cette

32 La Lune a de nombreuses caractéristiques uniques, son mouvement propre fait qu'on a l'impression qu'elle se déplace à l'envers dans le ciel... Son mouvement propre est précisément ce qui constitue son intérêt ici.

méthode a été développée alors que les chronomètres n'étaient pas disponibles. Et une longitude qui comporte une erreur de 30 minutes vaut mieux que pas de longitude du tout.

Une étape importante de la mesure d'une distance lunaire (au même titre qu'une distance entre deux astres, qu'il s'agisse de la Lune ou pas), c'est la correction de la mesure effectuée avec le sextant. À l'inverse d'une hauteur qui se prend sur l'horizon, la correction de dépression de l'horizon ne s'applique pas à une distance lunaire³³. La correction de réfraction demeure, la correction de parallaxe aussi, et les corrections de demi-diamètre plus que jamais, puisque on a ici deux astres, qui ont potentiellement chacun un diamètre, qui sont combinables : on peut prendre les bords les plus proches, les plus éloignés, ou le bord éloigné de l'un avec le bord proche de l'autre, et vice-versa ; en particulier quand la Lune n'est pas pleine, ses deux bords peuvent ne pas être disponibles.

Les corrections de réfraction et de parallaxe sont calculées à partir de la hauteur d'un astre au dessus de l'horizon. On assortira donc la mesure d'une distance lunaire avec la mesure de la hauteur de chacun des astres observés, ce qui fera – au moins – trois mesures avec le sextant³⁴.

Cette correction de la distance mesurée constitue l'essentiel des calculs à effectuer. Ensuite, on calculera à l'aide des éphémérides et almanachs la distance théorique à l'instant de l'observation, puis on en déduira par interpolation, de la différence de mesure, la différence de temps et/ou de longitude.

À partir des données de l'almanach (Déclinaison et Angle Horaire), on peut à tout moment calculer la distance entre deux corps célestes en utilisant la formule suivante :

$$\text{Dist} = \arccos[\sin(\text{Dec}_1) \times \sin(\text{Dec}_2) + \cos(\text{Dec}_1) \times \cos(\text{Dec}_2) \times \cos(\text{GHA}_2 - \text{GHA}_1)]$$

Il est certainement plus commode d'effectuer ce genre de calculs lors de la publication de l'almanach. On fournit en annexe un tel document. Il a été publié séparément de l'almanach, ça fait carrément doubler son volume...

La correction de cette fameuse distance est effectuée à l'aide de la formule de Young :

33 On parle ici de distance lunaire, mais ceci s'applique à toute distance entre deux astres, quels qu'ils soient. Sauf précision explicite, tout ce qu'on dira dorénavant sur les distances lunaires s'applique de même à une distance entre deux astres, encore que ceci ne présente guère d'intérêt ici. La Lune est l'astre du ciel qui se déplace le plus vite, d'où son intérêt unique dans cette méthode.

34 La mesure des hauteurs ne requiert pas la même précision que celle de la distance. Elle n'est là que pour calculer la valeur des corrections (réfraction, parallaxe) à apporter à la distance. Ça tombe bien, parce qu'il n'est pas possible d'effectuer les trois mesures en même temps. L'ordre des mesures n'a guère d'importance. Le plus important est de mesurer la distance lunaire avec le plus de précision possible.

$$\cos D = \frac{\cos Hm \cdot \cos Hb}{\cos Hmapp \cdot \cos Hbapp} \cdot [\cos Dapp + \cos(Hmapp + Hbapp)] - \cos(Hm + Hb)$$

Où :

Hm est la hauteur de la Lune (Height Moon)

Hb est la hauteur de l'autre corps céleste (Height Body)

Dapp est la distance apparente

Hmapp est la hauteur apparente de la Lune

Hbapp est le hauteur apparente de l'autre corps céleste

Une hauteur apparente est une hauteur corrigée de la dépression de l'horizon et du demi-diamètre de l'astre observé (ce qui implique de savoir quel bord de l'astre on a posé sur l'horizon, inférieur ou supérieur).

On passe de la hauteur apparente à la hauteur observée en y appliquant les corrections de réfraction et de parallaxe.

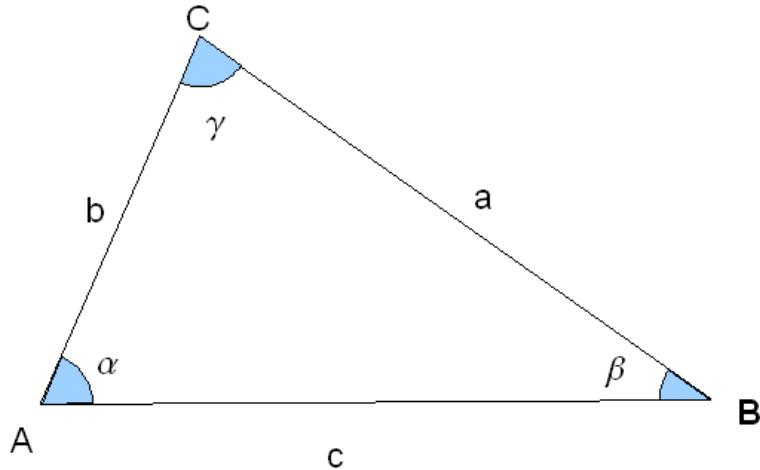
La distance apparente est la distance corrigée des demi-diamètres des astres respectifs. Elle sera corrigée par la réfraction qui modifie le demi-diamètre en fonction de la hauteur, et de la parallaxe.

Il est indispensable pour atteindre la précision requise de recourir aux logarithmes. Ce qui complique notoirement la procédure.

Bruce Stark a conçu de nouvelles tables destinées à corriger la distance observée. Avec les almanachs qu'on trouvera en annexe, on pourra diviser la quantité de calculs par deux, puisqu'on y fournit les distances lunaires pour plusieurs astres, assorties de différences tabulaires. Et pendant qu'on y était, on a aussi ajouté la parallaxe horizontale lorsqu'elle a un sens, à savoir pour la Lune, le Soleil, Vénus et Mars.

Appendices

Résolution de triangles



a, b, et c sont connus, on cherche α , β et γ .

$$\alpha = \arccos\left(\frac{b^2+c^2-a^2}{2\times b\times c}\right)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{c^2+a^2-b^2}{2\times c\times a}\right)$$

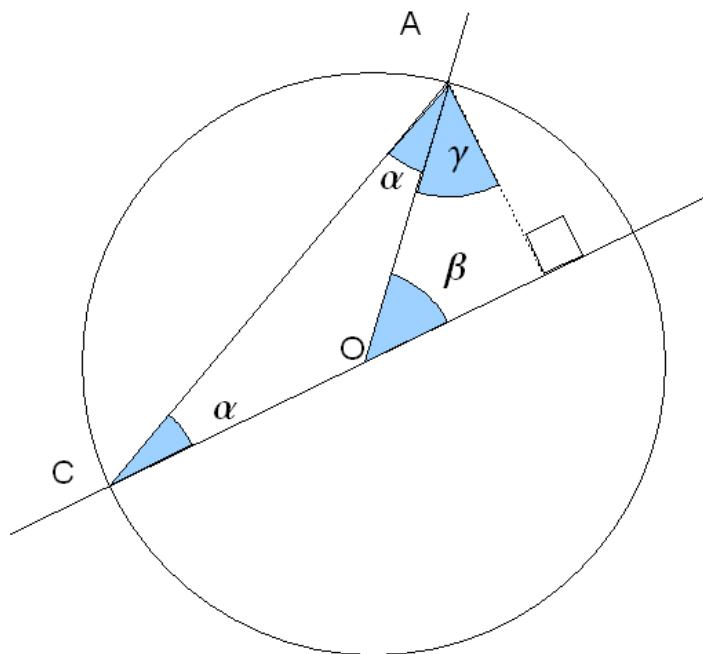
$$\gamma = \arccos\left(\frac{a^2+b^2-c^2}{2\times a\times b}\right)$$

Arcs capables

Il s'agit de démontrer que le lieu des points qui interceptent un segment sous le même angle est un cercle.

On procède en deux étapes.

On veut d'abord démontrer que $\beta = 2 \times \alpha$.



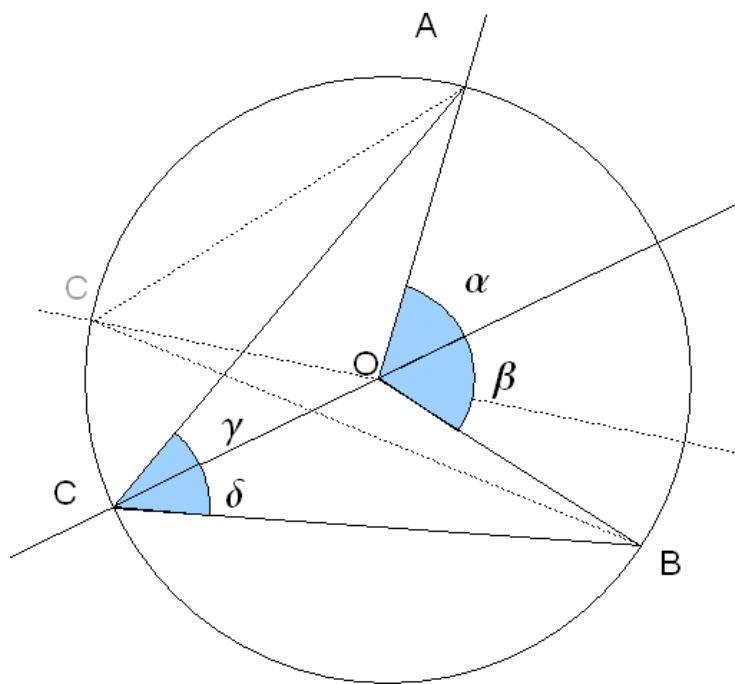
O est le centre du cercle, donc la longueur OC est égale à la longueur OA, donc le triangle OAC est isocèle. Donc l'angle en C est égal à l'angle en A.

$$\gamma = 180^\circ - 90^\circ - 2\alpha = 90^\circ - 2\alpha.$$

$$\beta + \gamma = 90^\circ$$

$$\beta + 90^\circ - 2\alpha = 90^\circ \text{ donc } \beta = 2\alpha$$

Ceci étant acquis, on passe à la figure suivante. Si le segment AB est constant, l'angle $\alpha + \beta$ est invariant.



Ainsi, où que soit situé le point C sur le cercle, la somme $\gamma + \delta$ est égale à la moitié de $(\alpha + \beta)$. $(\alpha + \beta)$ étant invariant, $(\gamma + \delta)$ l'est aussi.
Et voilà.

Mercator et Latitude Croissante

La « Latitude Croissante » est le fondement de la construction des cartes Mercator.

Pour la latitude φ , λ est la latitude croissante de φ , exprimée en radians.

$$\lambda = \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Attention: On utilise ici les logarithmes népériens (\ln), et la valeur trouvée est exprimée en radians.

On rappelle que $\pi/4$ radians = 45° .

C'est donc la formule qu'on utilise pour construire les cartes Mercator.

Ces cartes présentent l'intérêt majeur de représenter les loxodromies par des lignes droites. Quand bien même le problème serait simple, la solution n'est pas complètement triviale !

À l'aide de cette formule, il est possible de réaliser des canevas Mercator, fort commodes lorsqu'on fait un point par droites de hauteur. De tels canevas, réalisés à l'aide de cette formule sont fournis dans un document séparé.

Les cartes de Mercator ne peuvent pas représenter les pôles, qui ont du fait de la formule utilisée une latitude croissante infinie ($\tan(90^\circ)=\infty$). La latitude croissante exprime en fait l'échelle à considérer – le rapport entre un degré de latitude et un degré de longitude – à une latitude donnée.

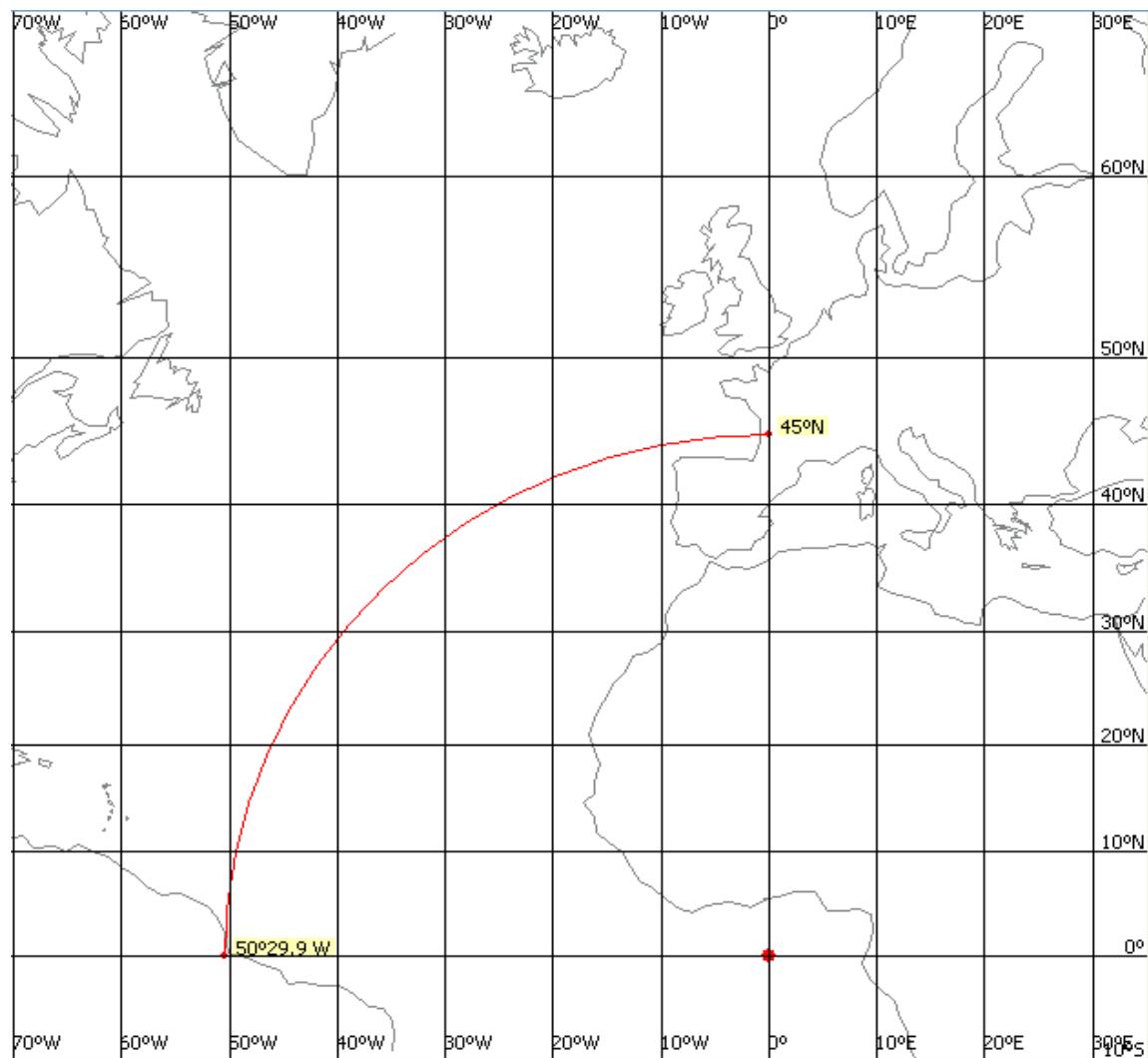
Exemple :

Latitude croissante de 45° . Dans la formule ci-dessus, on a donc $\varphi=45^\circ$. On cherche d'abord $\tan(67.5^\circ)$, on trouve 2.41421. Le logarithme népérien de cette valeur est 0.88137, qu'on convertit de radians en degrés pour trouver 50.498986° , soit **50°29.94'**.

Ceci signifie qu'à une latitude de 45° , la représentation sur une carte Mercator de cette valeur à la taille de $50^\circ29.94'$ de longitude.

La figure suivante illustre le calcul précédent.

Notez aussi la dilatation de l'échelle de latitudes au fur et à mesure qu'on s'approche du pôle.



L'arc de cercle représenté sur la carte est centré sur le point de coordonnées 0,0.
On voit que la même distance correspond à 45°N, et à 50°29,9'W.

Équation du temps

Comme on l'a vu, c'est une donnée corrélée au temps de passage au méridien. On verra aussi pourquoi on continue de parler de temps de passage au méridien **et** d'équation du temps.

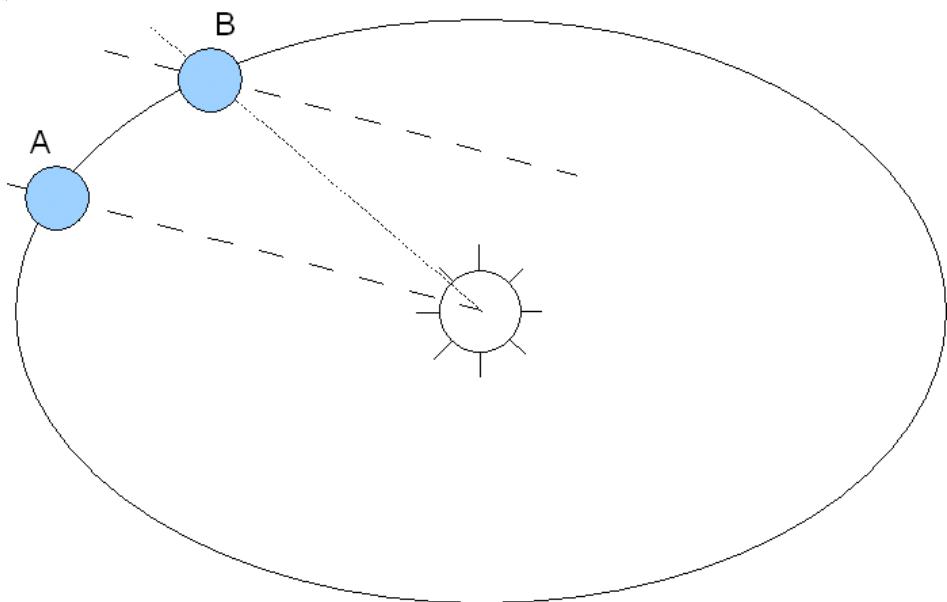
Le fait est que le soleil ne passe pas au méridien à midi, alors qu'on serait tenté de penser que c'est pourtant la définition de ce que midi devrait être.

Voici pourquoi :

La terre tourne sur elle-même de 360 degrés en 24 heures.

En outre, elle se déplace autour du soleil, dont elle fait le tour en quelque chose comme 365,25 jours. Et c'est là que c'est intéressant.

Un petit dessin vaut mieux qu'un long discours, d'autant mieux qu'on exagère l'échelle du problème.



On considère la terre, en **A**. Le soleil se trouve dans la direction du trait en pointillés longs.

24 heures après, la terre est en **B**. Le trait en pointillés longs rappelle la direction que le soleil avait la veille. On constate cependant – avec le trait en pointillés fins – que le soleil est déjà passé au méridien. De midi à midi, il s'est passé moins de 24 heures.

Le temps de passage à Greenwich est donné dans les éphémérides. Ce temps de passage évolue d'un jour à l'autre, et nécessite une interpolation si on cherche le temps de passage d'un astre à une autre longitude que celle de Greenwich.

L'équation du temps est en fait la différence qu'il existe entre le midi local et le temps de passage d'un astre. Cette équation du temps peut être interpolée, tandis que le temps de passage à Greenwich ne saurait être autre chose que le

temps de passage... à Greenwich. En effet, le temps de passage à Greenwich évolue de jour en jour. La grandeur qui change – de manière continue – est appelée l'« équation du temps ».

Pour formuler le problème autrement, essayez de répondre à cette question : « Comment est-ce que le temps de passage à Greenwich pourrait bien varier en fonction de la longitude ? »

C'est pourquoi cette notion d'équation du temps a été introduite, pour lever cette ambiguïté engendrée par l'interpolation du temps de passage à Greenwich.

Utilisation simplifiée des tables de logarithmes

Les tables donnent les logarithmes décimaux.

$$\forall x \in \mathbb{R}_+^*, \exists n \in \mathbb{Z} / x = 10^n \cdot x', x' \in \mathbb{R} \cap [1, 10[$$

$$\log(x) = \log(x') + \log(10^n) = \log(x') + n$$

Traduction pour les autres :

Pour tout réel positif non nul x , il existe un seul nombre relatif n pour lequel $x = x' \cdot 10^n$, où x' est un réel supérieur ou égal à 1, et inférieur à 10.

$\log(x')$ s'appelle la mantisse de $\log(X)$, $\log(x') \in \mathbb{R} \cap [0, 1[$ puisque $1 \leq x' < 10$, et que $\log(1) = 0$, et $\log(10) = 1$, car $1 = 10^0$, et $10 = 10^1$.

n s'appelle la caractéristique de $\log(X)$, $n \in \mathbb{Z}$.

Donc,

$$x' \in \mathbb{R} \cap [1, 10[$$

$$\log(x') \in \mathbb{R} \cap [0, 1[$$

$$n \in \mathbb{Z}$$

en conséquence :

$$\log(X) = n + \text{mantisse}$$

$$\log(X) = n + 0, \dots$$

si $n \geq 0$ alors $\log(X) = n + 0,xxxxx$

si $n < 0$ alors $\log(X) = -n + 0,xxxxx$ noté $\bar{n},xxxxx$ (caractéristique négative, mantisse toujours positive)³⁵.

À propos des caractéristiques soulignées :

Cette notation n'est pas adoptée universellement.

Ainsi qu'on va le voir, la partie de la table qui sert à chercher le logarithme d'un nombre le fait pour des nombres compris entre 1 et 10. Ceci a pour conséquence de ne produire que des valeurs de logarithme positives ou nulles.

Cependant, la partie de la table qui va donner les logarithmes des lignes trigonométriques va devoir faire entre autres pour des nombres compris entre -1 et +1 (comme les sinus et cosinus). C'est là qu'on verra potentiellement apparaître cette notation où la caractéristique est soulignée.

De nombreuses tables utilisent un autre type de notation pour ces mêmes

35 C'est très pratique, quand on additionne plus de deux chiffres (deux logarithmes), on additionne les mantisses, et on n'a de soustraction à faire qu'avec les caractéristiques.

valeurs.

Prenons le cas de **log(sin(30°))**. Sin(30°) est égal à 1/2, son logarithme est donc inférieur à zéro.

Les tables françaises de Bouvart et Ratinet indiquent **1,69897**, qui signifie d'après ce qu'on a dit plus haut (-1 + 0,69897), soit -0,30103.

D'autres tables – anglaises ou américaines – vont indiquer **9,69897**, pour signifier la même chose. Dans ce cas, on trouve la valeur à utiliser en soustrayant 10 à la valeur de la table. Il convient d'être prévenu...

La table donne les logarithmes de nombres de 1 à 10.

Ce qu'on cherche – et qu'on trouvera dans la table – est le **logarithme de x'**.

On est en log décimaux, donc

$$\log 10^1 = 1$$

$$\log 10^2 = 2$$

$$\log 10^3 = 3$$

etc.

Avant de procéder, afin de pouvoir utiliser la table, il est donc nécessaire de réduire le nombre dont on cherche le logarithme à un nombre compris entre 1 et 10, et d'en préserver la caractéristique.

Exemple :

Recherche du logarithme d'un nombre à 4 chiffres : $\log(2745)$.

$$2745 = 2,745 \cdot 10^3$$

$$\text{donc } \log(2745) = 3 + \log(2,745)$$

LOGARITHMS.

5

N.	L. o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P. P.
250	39 794	811	829	846	863	881	898	915	933	950	
251	967	985	*002	*019	*037	*054	*071	*088	*106	*123	18
252	40 140	157	175	192	209	226	243	261	278	295	
253	312	329	346	364	381	398	415	432	449	466	1 1.8 2 3.6 3 5.4 4 7.2 5 9.0 6 10.8 7 12.6 8 14.4 9 16.2
254	483	500	518	535	552	569	586	603	620	637	
255	654	671	688	705	722	739	756	773	790	807	
256	824	841	858	875	892	909	926	943	960	976	
257	993	*010	*027	*044	*061	*078	*095	*111	*128	*145	
258	41 162	179	196	212	229	246	263	280	296	313	
259	330	347	363	380	397	414	430	447	464	481	
260	497	514	531	547	564	581	597	614	631	647	
261	664	681	697	714	731	747	764	780	797	814	17
262	830	847	863	880	896	913	929	946	963	979	
263	996	*012	*029	*045	*062	*078	*095	*111	*127	*144	1 1.7 2 3.4 3 5.1 4 6.8 5 8.5 6 10.2 7 11.9 8 13.6 9 15.3
264	42 160	177	193	210	226	243	259	275	292	308	
265	325	341	357	374	390	406	423	439	455	472	
266	488	504	521	537	553	570	586	602	619	635	
267	651	667	684	700	716	732	749	765	781	797	
268	813	830	846	862	878	894	911	927	943	959	
269	975	991	*008	*024	*040	*056	*072	*088	*104	*120	
270	43 136	152	169	185	201	217	233	249	265	281	
271	297	313	329	345	361	377	393	409	425	441	18
272	457	473	489	505	521	537	553	569	584	600	
273	616	632	648	664	680	696	712	727	743	759	1 1.6 2 3.2 3 4.8 4 6.4 5 8.0
274	775	791	807	823	838	854	870	886	902	917	
275	933	949	965	981	990	*012	*028	*044	*059	*075	

On cherche donc dans la table, non pas 2,745, mais 2745.

274 dans la colonne de gauche, et le dernier chiffre – 5 – dans une colonne de la table.

Le log de 2,745 est à l'intersection de la ligne 274 et de la colonne 5.

$$\log(2,745) = 0,43854.$$

Donc $\log(2745) = 3,43854$.

De la même manière, on cherche le logarithme de 0,2745.

$0,2745 = 2,745 \cdot 10^{-1}$, la valeur à chercher dans la table demeure la même.

Donc $\log(0,2745) = -1 + \log(2,745)$, soit $0,43854 - 1$, soit $-0,56146$.

Autre exemple :

$$\log(2,517) = ?$$

N.	L. o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P. P.
250	39 794	811	829	846	863	881	898	915	933	950	
251	967	985	*002	*019	*037	*054	*071	*088	*106	*123	18
252	40 140	157	175	192	209	226	243	261	278	295	1 1.8
253	312	329	346	364	381	398	415	432	449	466	2 3.6
254	483	500	518	535	552	569	586	603	620	637	3 5.4
255	654	671	688	705	722	739	756	773	790	807	4 7.2
256	824	841	858	875	892	909	926	943	960	976	5 9.0
257	993	*010	*027	*044	*061	*078	*095	*111	*128	*145	6 10.8
258	41 162	179	196	212	229	246	263	280	296	313	7 12.6
259	330	347	363	380	397	414	430	447	464	481	8 14.4
											9 16.2

On note ici que la valeur est précédée d'une étoile (*). Ceci signifie que cette valeur se réfère (2 premiers chiffres de la mantisse) à la ligne suivante, à savoir 0,40088, et non pas 0,39088.

Logarithme d'un nombre à cinq chiffres

Exemple :

Recherche de la valeur de $\log(28,864)$.

Comme précédemment, on réduit à un nombre situé entre 1 et 10 :

$$\log(28,864) = \log(2,8864 \cdot 10^1)$$

Ensuite on situe ce nombre entre deux valeurs à 4 chiffres :

$$2,886 < 2,8864 < 2,887$$

De la table, on détermine :

$$\log(2,886) = 0,46030$$

$$\log(2,887) = 0,46045$$

La différence entre les deux valeurs des logarithmes est 0,00015, soit 15 cent-millièmes.

280	716	731	747	762	778	793	809	824	840	855	15
281	871	886	902	917	932	948	963	979	994	*010	
282	45 025	040	056	071	086	102	117	133	148	163	
283	179	194	209	225	240	255	271	286	301	317	1 1.5
284	332	347	362	378	393	408	423	439	454	469	2 3.0
285	484	500	515	530	545	561	576	591	606	621	3 4.5
286	637	652	667	682	697	712	728	743	758	773	4 6.0
287	788	803	818	834	849	864	879	894	909	924	5 7.5
288	939	954	969	984	*000	*015	*030	*045	*060	*075	6 9.0
289	46 090	105	120	135	150	165	180	195	210	225	7 10.5

15

1 | 1.5

2 | 3.0

3 | 4.5

4 | 6.0

5 | 7.5

6 | 9.0

7 | 10.5

8 | 12.0

9 | 13.5

Dans la colonne de l'extrême droite, on cherche la table intitulée 15, c'est la différence tabulaire (notée ici³⁶ P.P., Partial Part). On cherche la valeur du $\log(2,8864)$, on a celle de $\log(2,886)$. On a donc une différence de 0,0004, soit **4** dix-millièmes. La ligne **4** de la différence tabulaire donne une valeur de **6,0** (cent-millièmes), qu'on ajoute alors à la valeur du $\log(2,886)$:

$$\log(2,8864) = 0,46030 + 0,000060 = 0,460360.$$

Posé autrement:

$$\begin{array}{r}
 0,46030 \\
 + \quad \quad \quad 6,0 \\
 \hline
 0,46036
 \end{array}$$

Ainsi, $\log(28,864) = 1,46036$.

36 Il s'agit d'une table américaine.

Logarithme des fonctions trigonométriques :

Il n'est pas nécessaire ici de réduire la valeur du nombre à chercher. La table donne la valeur des fonctions trigonométriques usuelles pour des valeurs d'angles pré-définis. La précision est en général de l'ordre de la minute d'arc, certaines tables vont jusqu'à la seconde d'arc.

Ce dont il convient de se préoccuper en priorité, c'est du système de notation employé, caractéristique surlignée, ou 10 à soustraire de de la valeur.

Il est facile de discerner le système de notation utilisé, si on se souvient que les sinus et cosinus sont forcément compris entre -1 et +1. Un coup d'œil suffit pour savoir si dans leurs cas, la caractéristique est surlignée, ou supérieure à 1.

Tables de correction de la hauteur

Disponibles dans un document séparé³⁷.

37 Sur <http://navigation.lediouris.net>

Éphémérides des 8 et 9 octobre 2009

Thursday, October the 8th, 2009 (page 1)

UT	Sun ☽		Moon ☾			Aries ♈	UT
	GHA	Dec	GHA	Dec	hp	GHA	
00	183°05.36'	S 5°51.05'	318°32.53'	N 24°27.92'	58.1916'	16°45.67'	00
01	198°05.54'	S 5°52.00'	332°57.81'	N 24°33.37'	58.2079'	31°48.14'	01
02	213°05.72'	S 5°52.95'	347°23.02'	N 24°38.66'	58.2241'	46°50.60'	02
03	228°05.89'	S 5°53.91'	1°48.16'	N 24°43.80'	58.2402'	61°53.07'	03
04	243°06.07'	S 5°54.86'	16°13.23'	N 24°48.79'	58.2561'	76°55.53'	04
05	258°06.24'	S 5°55.81'	30°38.24'	N 24°53.62'	58.2720'	91°57.99'	05
06	273°06.42'	S 5°56.76'	45°03.18'	N 24°58.31'	58.2878'	107°00.46'	06
07	288°06.60'	S 5°57.72'	59°28.05'	N 25°02.83'	58.3035'	122°02.92'	07
08	303°06.77'	S 5°58.67'	73°52.86'	N 25°07.20'	58.3191'	137°05.39'	08
09	318°06.95'	S 5°59.62'	88°17.61'	N 25°11.41'	58.3346'	152°07.85'	09
10	333°07.12'	S 6°00.57'	102°42.30'	N 25°15.47'	58.3500'	167°10.32'	10
11	348°07.30'	S 6°01.53'	117°06.93'	N 25°19.37'	58.3654'	182°12.78'	11
12	3°07.47'	S 6°02.48'	131°31.51'	N 25°23.10'	58.3806'	197°15.24'	12
13	18°07.65'	S 6°03.43'	145°56.03'	N 25°26.68'	58.3957'	212°17.71'	13
14	33°07.82'	S 6°04.38'	160°20.49'	N 25°30.09'	58.4107'	227°20.17'	14
15	48°07.99'	S 6°05.33'	174°44.91'	N 25°33.34'	58.4257'	242°22.64'	15
16	63°08.17'	S 6°06.29'	189°09.27'	N 25°36.43'	58.4405'	257°25.10'	16
17	78°08.34'	S 6°07.24'	203°33.58'	N 25°39.36'	58.4552'	272°27.56'	17
18	93°08.52'	S 6°08.19'	217°57.85'	N 25°42.12'	58.4699'	287°30.03'	18
19	108°08.69'	S 6°09.14'	232°22.08'	N 25°44.71'	58.4844'	302°32.49'	19
20	123°08.86'	S 6°10.09'	246°46.26'	N 25°47.14'	58.4989'	317°34.96'	20
21	138°09.04'	S 6°11.04'	261°10.39'	N 25°49.41'	58.5132'	332°37.42'	21
22	153°09.21'	S 6°11.99'	275°34.49'	N 25°51.50'	58.5275'	347°39.89'	22
23	168°09.38'	S 6°12.94'	289°58.55'	N 25°53.43'	58.5417'	2°42.35'	23
24	183°09.55'	S 6°13.89'	304°22.58'	N 25°55.19'	58.5557'	17°44.81'	24
	sd 16.0089'	hp 0.1467'	sd 15.9076'	80.2% -gib			
	Eq. of Time @ 1200::+12m 29s		Phase @ 1200:232.81°				
	Mer. Pass. Time:11:47:30.113		Age:18.1 day (s)				

UT	Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄		UT
	GHA	Dec	GHA	Dec	GHA	Dec	GHA	Dec	
00	204°05.63'	N 4°41.99'	259°05.04'	N 21°56.13'	56°46.17'	S 16°41.97'	198°15.54'	N 2°49.41'	00
01	219°05.23'	N 4°40.81'	274°06.08'	N 21°55.94'	71°48.68'	S 16°41.98'	213°17.73'	N 2°49.29'	01
02	234°04.83'	N 4°39.64'	289°07.13'	N 21°55.75'	86°51.19'	S 16°41.99'	228°19.91'	N 2°49.18'	02
03	249°04.43'	N 4°38.46'	304°08.17'	N 21°55.56'	101°53.69'	S 16°42.00'	243°22.10'	N 2°49.06'	03
04	264°04.03'	N 4°37.28'	319°09.21'	N 21°55.37'	116°56.20'	S 16°42.01'	258°24.28'	N 2°48.94'	04
05	279°03.63'	N 4°36.11'	334°10.26'	N 21°55.18'	131°58.71'	S 16°42.02'	273°26.47'	N 2°48.83'	05
06	294°03.24'	N 4°34.93'	349°11.30'	N 21°54.99'	147°01.21'	S 16°42.02'	288°28.65'	N 2°48.71'	06
07	309°02.84'	N 4°33.75'	4°12.35'	N 21°54.79'	162°03.72'	S 16°42.03'	303°30.84'	N 2°48.60'	07
08	324°02.44'	N 4°32.57'	19°13.39'	N 21°54.60'	177°06.22'	S 16°42.04'	318°33.02'	N 2°48.48'	08
09	339°02.04'	N 4°31.39'	34°14.44'	N 21°54.41'	192°08.73'	S 16°42.05'	333°35.21'	N 2°48.36'	09
10	354°01.64'	N 4°30.22'	49°15.49'	N 21°54.22'	207°11.23'	S 16°42.06'	348°37.39'	N 2°48.25'	10
11	9°01.24'	N 4°29.04'	64°16.53'	N 21°54.03'	222°13.74'	S 16°42.06'	3°39.58'	N 2°48.13'	11
12	24°00.85'	N 4°27.86'	79°17.58'	N 21°53.83'	237°16.24'	S 16°42.07'	18°41.76'	N 2°48.01'	12
13	39°00.45'	N 4°26.68'	94°18.63'	N 21°53.64'	252°18.75'	S 16°42.08'	33°43.95'	N 2°47.90'	13
14	54°00.05'	N 4°25.50'	109°19.68'	N 21°53.45'	267°21.25'	S 16°42.09'	48°46.13'	N 2°47.78'	14
15	68°59.65'	N 4°24.32'	124°20.73'	N 21°53.26'	282°23.75'	S 16°42.10'	63°48.32'	N 2°47.66'	15
16	83°59.26'	N 4°23.14'	139°21.77'	N 21°53.06'	297°26.26'	S 16°42.10'	78°50.50'	N 2°47.55'	16
17	98°58.86'	N 4°21.96'	154°22.82'	N 21°52.87'	312°28.76'	S 16°42.11'	93°52.65'	N 2°47.43'	17
18	113°58.46'	N 4°20.78'	169°23.87'	N 21°52.68'	327°31.26'	S 16°42.12'	108°54.87'	N 2°47.32'	18
19	128°58.06'	N 4°19.60'	184°24.92'	N 21°52.48'	342°33.76'	S 16°42.12'	123°57.06'	N 2°47.20'	19
20	143°57.67'	N 4°18.41'	199°25.98'	N 21°52.29'	357°36.26'	S 16°42.13'	138°59.25'	N 2°47.08'	20
21	158°57.27'	N 4°17.23'	214°27.03'	N 21°52.10'	12°38.77'	S 16°42.14'	154°01.43'	N 2°46.97'	21
22	173°56.87'	N 4°16.05'	229°28.08'	N 21°51.90'	27°41.27'	S 16°42.15'	169°03.62'	N 2°46.85'	22
23	188°56.47'	N 4°14.87'	244°29.13'	N 21°51.71'	42°43.77'	S 16°42.15'	184°05.80'	N 2°46.74'	23
24	203°56.08'	N 4°13.69'	259°30.18'	N 21°51.52'	57°46.27'	S 16°42.16'	199°07.99'	N 2°46.62'	24

Friday, October the 9th, 2009 (page 1)

UT	Sun ☽		Moon ☾			Aries ♈	UT
	GHA	Dec	GHA	Dec	hp	GHA	
00	183°09.55'	S 6°13.89'	304°22.58'	N 25°55.19'	58.5557'	17°44.81'	00
01	198°09.73'	S 6°14.84'	318°46.57'	N 25°56.79'	58.5697'	32°47.28'	01
02	213°09.90'	S 6°15.79'	333°10.53'	N 25°58.21'	58.5836'	47°49.74'	02
03	228°10.07'	S 6°16.74'	347°34.46'	N 25°59.46'	58.5974'	62°52.21'	03
04	243°10.24'	S 6°17.69'	1°58.36'	N 26°00.55'	58.6111'	77°54.67'	04
05	258°10.41'	S 6°18.64'	16°22.23'	N 26°01.46'	58.6246'	92°57.13'	05
06	273°10.58'	S 6°19.59'	30°46.08'	N 26°02.20'	58.6381'	107°59.60'	06
07	288°10.75'	S 6°20.54'	45°09.91'	N 26°02.77'	58.6515'	123°02.06'	07
08	303°10.93'	S 6°21.49'	59°33.73'	N 26°03.17'	58.6648'	138°04.53'	08
09	318°11.10'	S 6°22.44'	73°57.50'	N 26°03.40'	58.6780'	153°06.99'	09
10	333°11.27'	S 6°23.39'	88°21.27'	N 26°03.45'	58.6911'	168°09.46'	10
11	348°11.44'	S 6°24.34'	102°45.03'	N 26°03.34'	58.7041'	183°11.92'	11
12	3°11.61'	S 6°25.29'	117°08.77'	N 26°03.05'	58.7170'	198°14.38'	12
13	18°11.78'	S 6°26.24'	131°32.50'	N 26°02.59'	58.7298'	213°16.85'	13
14	33°11.95'	S 6°27.18'	145°56.23'	N 26°01.95'	58.7425'	228°19.31'	14
15	48°12.12'	S 6°28.13'	160°19.95'	N 26°01.15'	58.7552'	243°21.78'	15
16	63°12.28'	S 6°29.08'	174°43.66'	N 26°00.17'	58.7677'	258°24.24'	16
17	78°12.45'	S 6°30.03'	189°07.37'	N 25°59.02'	58.7801'	273°26.70'	17
18	93°12.62'	S 6°30.98'	203°31.08'	N 25°57.69'	58.7924'	288°29.17'	18
19	108°12.79'	S 6°31.92'	217°54.79'	N 25°56.20'	58.8046'	303°31.63'	19
20	123°12.96'	S 6°32.87'	232°18.51'	N 25°54.53'	58.8167'	318°34.10'	20
21	138°13.13'	S 6°33.82'	246°42.23'	N 25°52.69'	58.8287'	333°36.56'	21
22	153°13.30'	S 6°34.77'	261°05.95'	N 25°50.67'	58.8407'	348°39.03'	22
23	168°13.46'	S 6°35.71'	275°29.69'	N 25°48.49'	58.8525'	3°41.49'	23
24	183°13.63'	S 6°36.66'	289°53.44'	N 25°46.13'	58.8642'	18°43.95'	24
	sd 16.0134'	hp 0.1467'	sd 15.9993'	70.7% -gib			
	Eq. of Time @ 1200 :+12m 46s		Phase @ 1200 :245.66°				
	Mer. Pass. Time:11:47:13.572		Age:19.1 day(s)				

UT	Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♀		Saturn ♃		UT
	GHA	Dec	GHA	Dec	GHA	Dec	GHA	Dec	
00	203°56.08'	N 4°13.69'	259°30.18'	N 21°51.52'	57°46.27'	S 16°42.16'	199°07.99'	N 2°46.62'	00
01	218°55.68'	N 4°12.50'	274°31.23'	N 21°51.32'	72°48.77'	S 16°42.17'	214°10.17'	N 2°46.50'	01
02	233°55.28'	N 4°11.32'	289°32.29'	N 21°51.13'	87°51.27'	S 16°42.17'	229°12.36'	N 2°46.39'	02
03	248°54.89'	N 4°10.14'	304°33.34'	N 21°50.93'	102°53.76'	S 16°42.18'	244°14.55'	N 2°46.27'	03
04	263°54.49'	N 4°08.95'	319°34.40'	N 21°50.74'	117°56.26'	S 16°42.18'	259°16.73'	N 2°46.15'	04
05	278°54.09'	N 4°07.77'	334°35.45'	N 21°50.54'	132°58.76'	S 16°42.19'	274°18.92'	N 2°46.04'	05
06	293°53.70'	N 4°06.59'	349°36.51'	N 21°50.35'	148°01.26'	S 16°42.20'	289°21.10'	N 2°45.92'	06
07	308°53.30'	N 4°05.40'	4°37.56'	N 21°50.16'	163°03.76'	S 16°42.20'	304°23.29'	N 2°45.81'	07
08	323°52.91'	N 4°04.22'	19°38.62'	N 21°49.96'	178°06.26'	S 16°42.21'	319°25.47'	N 2°45.69'	08
09	338°52.51'	N 4°03.03'	34°39.67'	N 21°49.77'	193°08.75'	S 16°42.21'	334°27.66'	N 2°45.58'	09
10	353°52.11'	N 4°01.85'	49°40.73'	N 21°49.57'	208°11.25'	S 16°42.22'	349°29.85'	N 2°45.46'	10
11	8°51.72'	N 4°00.66'	64°41.79'	N 21°49.38'	223°13.75'	S 16°42.22'	4°32.03'	N 2°45.34'	11
12	23°51.32'	N 3°59.48'	79°42.84'	N 21°49.18'	238°16.24'	S 16°42.23'	19°34.22'	N 2°45.23'	12
13	38°50.93'	N 3°58.29'	94°43.90'	N 21°48.99'	253°18.74'	S 16°42.24'	34°36.40'	N 2°45.11'	13
14	53°50.53'	N 3°57.11'	109°44.96'	N 21°48.79'	268°21.23'	S 16°42.24'	49°38.59'	N 2°45.00'	14
15	68°50.14'	N 3°55.92'	124°46.02'	N 21°48.60'	283°23.73'	S 16°42.25'	64°40.78'	N 2°44.88'	15
16	83°49.74'	N 3°54.73'	139°47.08'	N 21°48.40'	298°26.22'	S 16°42.25'	79°42.96'	N 2°44.76'	16
17	98°49.34'	N 3°53.55'	154°49.14'	N 21°48.20'	313°29.72'	S 16°42.25'	94°45.15'	N 2°44.65'	17
18	113°48.95'	N 3°52.36'	169°49.20'	N 21°48.01'	328°31.21'	S 16°42.26'	109°47.34'	N 2°44.53'	18
19	128°48.55'	N 3°51.17'	184°50.26'	N 21°47.81'	343°33.70'	S 16°42.26'	124°49.52'	N 2°44.42'	19
20	143°48.16'	N 3°49.98'	199°51.32'	N 21°47.62'	358°36.20'	S 16°42.27'	139°51.71'	N 2°44.30'	20
21	158°47.76'	N 3°48.80'	214°52.38'	N 21°47.42'	13°39.69'	S 16°42.27'	154°53.89'	N 2°44.19'	21
22	173°47.37'	N 3°47.61'	229°53.44'	N 21°47.22'	28°41.18'	S 16°42.28'	169°56.08'	N 2°44.07'	22
23	188°46.97'	N 3°46.42'	244°54.50'	N 21°47.03'	43°43.67'	S 16°42.28'	184°58.27'	N 2°43.95'	23
24	203°46.58'	N 3°45.23'	259°55.57'	N 21°46.83'	58°46.17'	S 16°42.29'	200°00.45'	N 2°43.84'	24

Tables de Dieumegard

Disponibles dans un document séparé³⁸.

Tables de Bataille

Disponibles dans un document séparé³⁹.

Liens

Tous les documents assortis de la mention « Disponibles dans un document séparé » sont disponibles sur <http://navigation.ledouris.net>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Navigation_%C3%A0_l%27estime

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Loxodromie>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Route_%28navigation%29

http://en.wikipedia.org/wiki/Traverse_board

http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Featured_picture_candidates/Using_the_s_extant

Google Books a numérisé de nombreux livres traitant de la théorie de la navigation, certains datent du XVIII^e siècle, et valent le détour.

38 Sur <http://navigation.ledouris.net>

39 Sur <http://navigation.ledouris.net>

*Rédigé en 2009-2010.
Illustration de couverture par Arthur Le Diouris.*