

NAVIGATION ASTRONOMIQUE, méthode des DISTANCES LUNAIRES

Diverses lecteurs m'ont contacté et demandé la suite des aventures lunaires parues dans le CRUISING de février 2007, soit une approche des méthode des distances lunaires. Voici donc quelques éléments faisant partie de mon cours de navigation astronomique, dans sa version actuelle.

Introduction

Parmi les méthodes de détermination de la longitude sans chronomètre, celle qui a été le plus poussée et a fait le plus couler d'encre est certainement celle des distances lunaires.

Il semble que le premier qui eut l'idée de cette méthode fut AMERIGO VESPUCCI. D'autres s'y sont attelés, tels FRISUS, KEPLER, MORIN, HALLEY, LA LANDE, sans oublier MASKELYNE qui fut pratiquement son dernier défenseur acharné, luttant contre l'arrivée du chronomètre proposé par HARRISON.

Il est également connu aujourd'hui que les chinois comme les égyptiens connaissaient et utilisaient la méthode, bien avant que l'Europe ne la « redécouvre ».

Nous ne développerons pas ici l'évolution de la méthode au cours des siècles, mais nous contenterons d'en enregistrer le principe et la possibilité d'une application au regard des méthodes de calcul actuelles.

Notre approche se limitera aussi à ne relater que les distances lunaires, mais le principe reste le même si d'autres astres sont utilisés.

Cette méthode a permis au circumnavigateur Joshua SLOCUM comme à Bernard MOITESSIER de réussir de parfaits atterrissages, sans disposer d'un chronomètre. Les distances lunaires ont été utilisées jusqu'au XX^e siècle avec succès.

Un peu de théorie

La lune est l'astre le plus rapproché de notre Terre. La position de notre satellite change de ce fait rapidement par rapport aux étoiles, planètes ou au Soleil.

Nous savons en effet que dame la Lune parcourt la sphère céleste en un petit mois. La distance entre la Lune et une étoile varie ainsi de manière remarquable et significative dans le temps.

En moyenne, la Lune avance de quelques 12° par jour par rapport aux étoiles, soit environ 30' par heure, pratiquement la valeur de son diamètre.

Si nous connaissons les coordonnées célestes (GHA et D) des astres concernés, nous pouvons facilement calculer à l'avance la distance de l'étoile (ou du Soleil) à la Lune pour différentes heures au méridien d'origine (Greenwich actuellement).

En comparant la distance ainsi calculée avec celle que l'on mesure sur le navire, on obtient la différence d'avec la mesure au méridien d'origine, donc la longitude.

Autrement dit, sachant que la distance lunaire mesurée correspond à une heure UT bien précise, on peut obtenir l'heure du bord et résoudre par les méthodes usuelles la position correspondant aux hauteurs respectives des astres concernés, par exemple Lune + Soleil.

On doit donc relever à la fois la hauteur de l'étoile ou du Soleil, celle de la Lune et en plus la distance entre les deux astres. Cela fait beaucoup de mesures à la fois, mais si on ne dispose pas de l'heure exacte ou si le chronomètre s'est arrêté, il faut savoir accepter quelques difficultés supplémentaires. Il est cependant nécessaire d'avoir la possibilité de mesurer des différences de temps (p.ex. avec une montre bracelet, un sablier, etc).

Les difficultés

Aujourd'hui, il n'existe plus de tables éphémérides donnant les distances lunaires de 3 heures en 3 heures, ou les tables du BRITISH MARINER'S GUIDE que proposait MASKELINE à l'Amirauté de sa Gracieuse Majesté. Les CONNAISSANCES DU TEMPS françaises ou espagnoles, tout comme le BOWDITCH outre-atlantique ont également cessé de donner aux marins ce type de renseignements.

Il nous reste cependant les tables HO (ou AP) et c'est ces dernières que je vous propose d'utiliser.

Vient ensuite la difficulté des mesures en elles-mêmes. La précision étant de mise, on s'appliquera à corriger les relevés au maximum des données astronomiques qui figurent dans les éphémérides nautiques :

- Pour la hauteur du Soleil, on prendra les corrections astronomiques en s'assurant que toutes les données relatives à la réfraction et au demi diamètre sont prises.
- Pour la hauteur de la Lune, on veillera à garder la précision maximum en relation à la parallaxe et au demi diamètre.
- On ne prendra pas de mesures de hauteur d'angle inférieur à 10° .

Idéalement, il faudrait prendre une distance lunaire qui soit sur le chemin céleste de notre satellite. C'est en effet là que le mouvement horaire est le plus rapide, donc la précision la plus grande. Vieux truc, on peut apprécier la trajectoire de la Lune dans le ciel en prenant la bissectrice de l'angle que marque le croissant de l'astre.

Globalement, il est conseillé de prendre une série de mesures et de les porter sur un graphique, pour chacun des relevés effectués. On éliminera ainsi les mesures erronées et on pourra procéder facilement à des interpolations.

L'expérience montre qu'il est préférable de prendre dans l'ordre :

- hauteur de la Lune,
- hauteur du Soleil et
- distance Lune-Soleil.

Il n'était cependant pas inhabituel de prendre toutes ces mesures en même temps, par trois observateurs pourvus chacun d'un sextant !

Pour la méthode proposée, cela signifie, comme déjà relevé, qu'on dispose à bord d'un moyen de mesurer non pas l'heure, mais le temps écoulé entre les mesures. Même un mauvais réveil matin peut faire l'affaire.

A défaut, il faudra compter les secondes entre les mesures, un peu comme on fait pour vérifier la période d'un feu. Le résultat sera simplement un peu moins précis et nous verrons quelles sont les limites de la méthode.

De même, il va de soi que l'on a toujours une idée de la position estimée, comme pour l'approche des autres calculs d'astronavigation.

Recherche de la distance lunaire calculée (éphéméride)

Les tables de distances lunaires n'existant plus, on les reconstituera en raisonnant de la manière suivante :

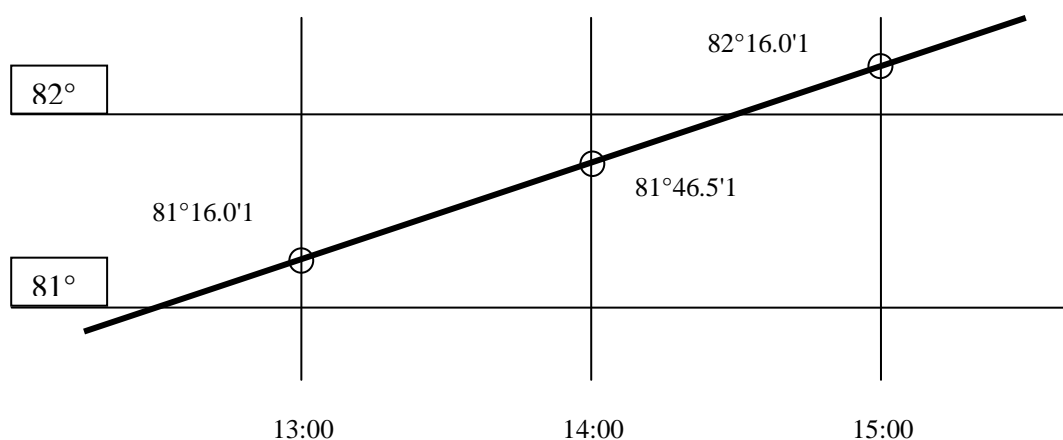
Pour un observateur se situant exactement à la PG du Soleil, il est possible de calculer la distance Lune - Soleil au moyen des tables HO.

En effet, l'observateur ayant le Soleil au zénith, la distance entre les deux astres est égale à « 90° -Hauteur calculée des tables ». On prend donc dans les éphémérides les coordonnées célestes de la Lune et on applique la méthode usuelle avec les tables HO pour obtenir la hauteur de la Lune. On n'a pas besoin de l'azimut.

On retranche cette valeur de 90° et on obtient la distance lunaire vraie entre Soleil et Lune pour une heure UT bien précise, à la date concernée.

En effectuant une démarche similaire pour l'heure suivante, on obtient deux résultats que l'on peut aisément porter sur un graphique. Tout comme pour les marées, plus le graphique est grand, plus on aura de précision.

En admettant que la progression est linéaire, on peut alors indiquer pour chaque instant entre ces deux heures quelle est la valeur de la distance lunaire et vice-versa. Mathématiquement et pratiquement, il est démontré que l'on peut considérer que cette progression est linéaire avec une précision bien suffisante.



Correction des mesures instrumentales de la distance lunaire

Comme toujours, il faut tout d'abord corriger le sextant de la collimation et de la scolaire et très éventuelle excentricité.

Puis il faut tenir compte des demi diamètres respectifs, selon les éphémérides, mais pas de la dépression due à la hauteur de l'œil, l'horizon n'intervenant pas dans cette mesure.

On peut alors prendre en compte la correction pour la réfraction et pour la parallaxe. Cette dernière n'est cependant plus horizontale, comme dans le calcul d'une droite de hauteur de Lune.

Nous savons que la parallaxe est la correction à apporter pour que nos mesures soient rapportées en un point au centre de la Terre. L'angle correspond au rayon que représenterait la Terre depuis l'astre observé (Soleil, Lune, etc). Cette valeur dépend de la hauteur de l'astre au dessus de l'horizon, maximale à une hauteur nulle, nulle lorsque l'astre est au zénith.

On rappellera ici que la correction pour la réfraction est toujours négative, la réfraction des rayons lumineux à travers les couches de l'atmosphère fait que l'astre semble toujours plus haut qu'il n'est en réalité. Pensez au coucher du Soleil dont le centre se trouve sur l'horizon alors que l'astre est encore approximativement avec un tiers de son diamètre au dessus de l'horizon.

La parallaxe, elle est toujours positive et peut atteindre jusqu'à 1° pour la Lune

La formule pour la parallaxe dans une mesure de distance lunaire est certes un peu compliquée, car nous devons tenir compte de passablement d'éléments comme vu ci dessus. Les tables usuelles, pour des corrections de hauteurs (verticales), ne sont en effet plus valables.

Il y a diverses formules, dont celles de Young, de John S. Letcher, de Merrifield ou de Borda. La formule que je vous propose se présente comme suit :

$$\text{Parallaxe} = \text{HP} \{y + 0.000145 \text{HP} \cot D_l [(\cos h \text{lune})^2 - y^2]\}$$

$$\text{Avec : } y = [(\cos D_l \sin h \text{lune}) - \sin h \text{soleil}] / \sin D_l$$

HP = parallaxe horizontale, selon éphémérides du jour

D_l = distance lunaire, corrigée des demi diamètres

$h \text{ lune}$ = hauteur de la Lune, corrigée du demi diamètre

$h \text{ soleil}$ = hauteur du Soleil, corrigée du demi diamètre

Cette formule étant en elle-même une simplification des données que l'on retrouve dans le précis d'astronomie de CHAUVENET, il n'est pas conseillé de la simplifier plus encore. En effet, il y va de la précision du résultat final de la longitude trouvée par cette méthode. A relever que les navigateurs espagnols disposaient des TABLES DE MENDOZA, un document qui facilitait grandement les calculs.

Avec une bonne calculatrice ou un peu de temps, on arrive assez facilement à de bons résultats.

Interpolation linéaire

Par une simple règle de trois, ou au moyen d'un graphique, on est maintenant en mesure de déterminer l'heure UT à laquelle correspond la distance lunaire D_i mesurée et corrigée.

On peut alors passer à l'astro conventionnelle et déterminer la position en utilisant les hauteurs relevées pour la Lune et pour le Soleil et en déterminant les deux droites de hauteur concernées.

Exemple de calcul de distance lunaire

Pour illustrer la méthode, reprenons ici une situation dans laquelle nous disposons des éléments suivants :

En date du 23 avril 2007, un peu après la méridienne, nous nous situons en une position estimée de $L_e = 49^\circ$ N, avec une longitude supposée d'environ $G_e = 008^\circ$ W, sans chronomètre.

Nous effectuons une série de mesures :

- Soleil H_i	50° 00.5'	temps	00m 00s
- Soleil H_i	49° 56.5'		01m 24s
- Lune H_i	32° 50.0'		02m 50s
- Soleil H_i	49° 42.0'		03m 10s
- Distance lunaire D_i	82° 49.5'		03m 40s
- Lune H_i	33° 06.0'		04m 20s
- Soleil H_i	49° 38.0'		04m 40s
- Lune H_i	33° 13.0'		05m 07s

Dans un premier pas nous allons calculer les distances Lune-Soleil (D_i) en prenant les éphémérides et en recréant une table de distances lunaires.

On peut aussi trouver ces distances sur internet sous <www.staf.science.uu.nl/tables_lunar_distance>

Sur une longitude de quelques 8° W, le Soleil passe sur le méridien un peu plus de 30 minutes après son passage à Greenwich.

En prenant une bonne marge, on peut estimer qu'on doit être entre 13h et 15h UT.

Point 1, distance lunaire vraie D_i à 13h UT.

Pour cette heure, les éphémérides donnent une PG du Soleil de $15^\circ 24.3'W / 12^\circ 30.9'N$, alors que la Lune se trouve au zénith d'une PG $289^\circ 16.1' / 025^\circ 11.8'N$.

Les tables HO / AP nous permettent de déterminer la hauteur de la Lune pour un observateur situé sur la PG du Soleil.

En reprenant tout le processus habituel, on trouve un LHA de 274° , une D_a de la Lune de 25° et une L_a de 12° N. Les tables nous indiquent une H_c de $8^\circ 21'$ à la P_a . Au moyen du graphique de carte Mercator, on arrive à relever que sur la PG on est $5'$ plus près, ce qui revient à dire que la Z_d est plus petite de $5'$, la distance lunaire vraie à 13h 00m 00s est donc de $81^\circ 16.0'$.

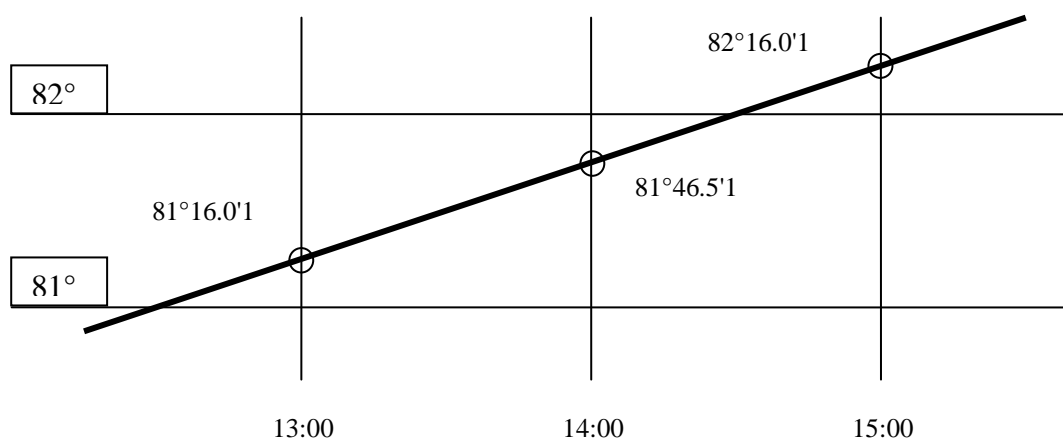
Point 2, distance lunaire vraie D_i à 14h UT.

En reprenant le processus ci-dessus on arrive à calculer que la distance lunaire vraie, à 14h UT est de $81^\circ 46.5'$.

Point 3, distance lunaire vraie D_l à 15h UT.
 Enfin, pour 15h, on arrive par le même procédé à $82^\circ 16.0'$.

Point 4, graphique

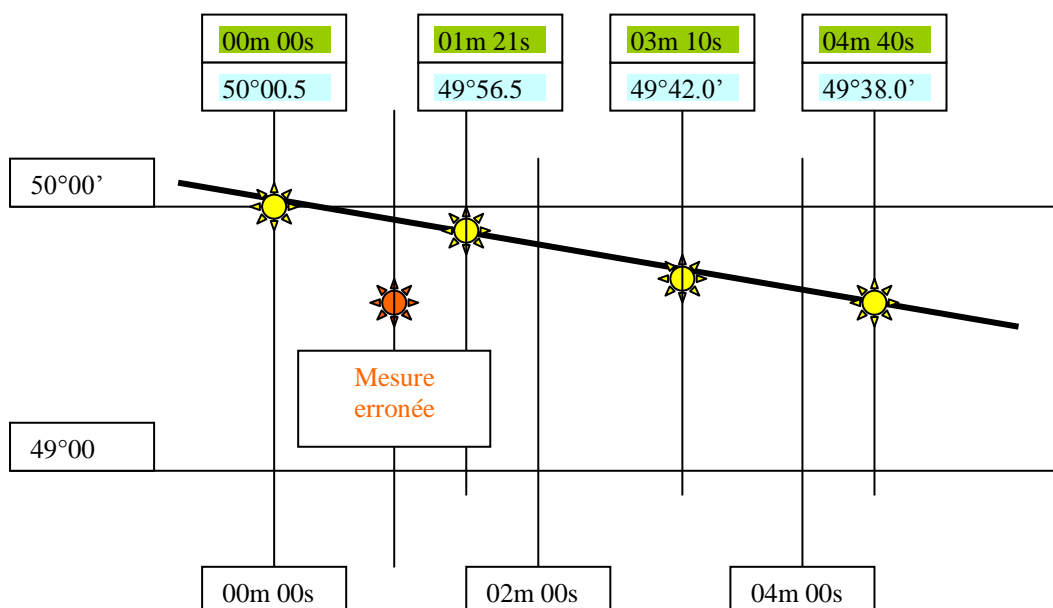
On peut alors poser cette évolution de la D_l sur un graphique qui sera au moins d'un format A4 pour avoir une bonne précision.



On voit tout de suite que l'augmentation de la D_l est effectivement linéaire et représente, à la date du 23 avril 2007, une valeur de $30.0'$ à l'heure.

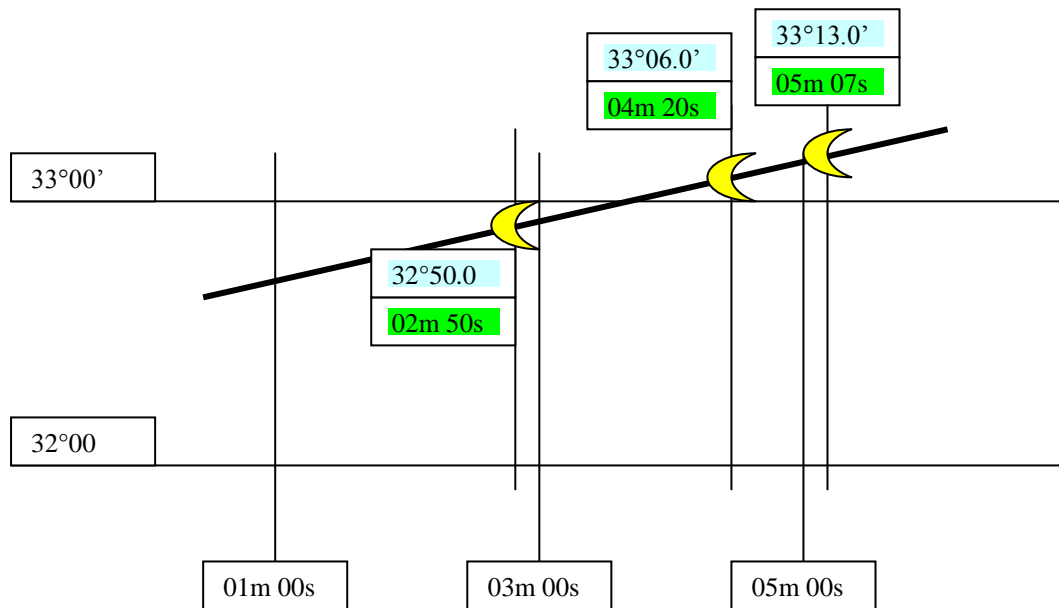
Point 5, hauteurs de Soleil

Les hauteurs relevées sont également à reporter sous forme d'un graphique. On constate que la diminution de hauteur du soleil sur les quelques minutes concernées est elle aussi linéaire. Le cas échéant, on pourra éliminer à vue des mesures manifestement erronées.



Point 6, hauteurs de Lune

On procède de même avec les hauteurs de Lune qui se révèlent, elles aussi, être une progression linéaire.



A ce stade du processus, nous pouvons relever qu'au moment de la mesure de la distance lunaire D_l , soit au temps 03m 40s de notre chrono, sablier ou montre bracelet, les hauteurs étaient respectivement de :

- H_0 32° 57.0' pour la Lune
- H_0 49° 42.5' pour le Soleil
- Avec D_0 81° 49.5' pour la distance lunaire

Point 7, corrections des hauteurs

L'élévation de l'œil étant donnée à 4 m, nous corrigeons les hauteurs Lune et Soleil pour la dépression, les $\frac{1}{2}$ diamètres et réfraction :

- H_i Soleil 49° 42.5' + corr. 11.6 = $H_v = 49° 54.1'$
- H_i Lune 32° 57.0' + corr. 58.9 = $H_v = 33° 55.9'$

A relever ici que la parallaxe de la Lune étant toujours supérieure à la réfraction, on verra cet astre toujours plus « bas » qu'en réalité. Pour le Soleil, c'est le cas contraire et son centre apparent est « plus haut ».

Point 8, corrections de la distance lunaire

On doit tout d'abord tenir compte des demi-diamètres respectifs des deux astres, soit 15.7' et 15.9' selon les éphémérides. Ainsi la D_l passe de 81° 49.5' à 82° 21.1'.

En ce qui concerne la parallaxe nous avons à utiliser la formule:

$$\text{Parallaxe} = \text{HP} \{y + 0.000145 \text{ HP} \cot D_l [(\cos h \text{ lune})^2 - y^2]\}$$

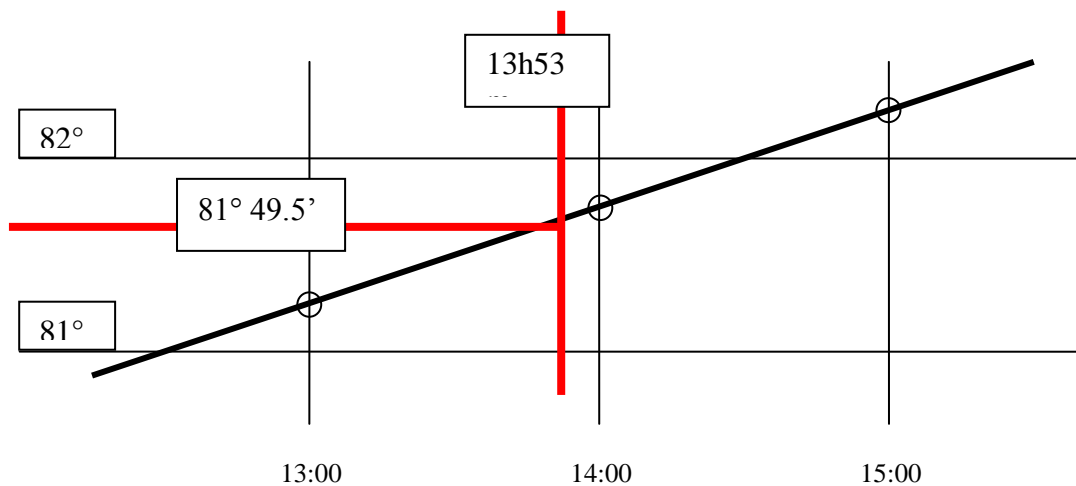
Avec $y = \cos 82° 21' \sin 33° 56' - \sin 49° 54' / \sin 82° 21'$

Un coup de calelette et nous obtenons une parallaxe $P = - 39.5'$

En introduisant cette correction, nous obtenons une distance lunaire vraie de :
 $D_1 = 81^\circ 41.6'$.

Point 9, détermination de l'heure UT

Il nous reste à déterminer à quelle heure UT exacte correspond cette distance lunaire vraie, en reprenant le graphique élaboré au point 4 ci-dessus. Nous sommes un peu avant 14h UT, plus exactement à 13h 53m.



Manifestement la méthode graphique ne permet pas de préciser les secondes, ce que pourrait faire le calcul.

A relever parallèlement que la précision des tables HO /AP ne peut excéder la demi-minute, tout comme la performance de l'œil de l'observateur dans sa mesure au sextant.

N'essayons donc pas d'aller plus loin dans la précision.

Point 10, position

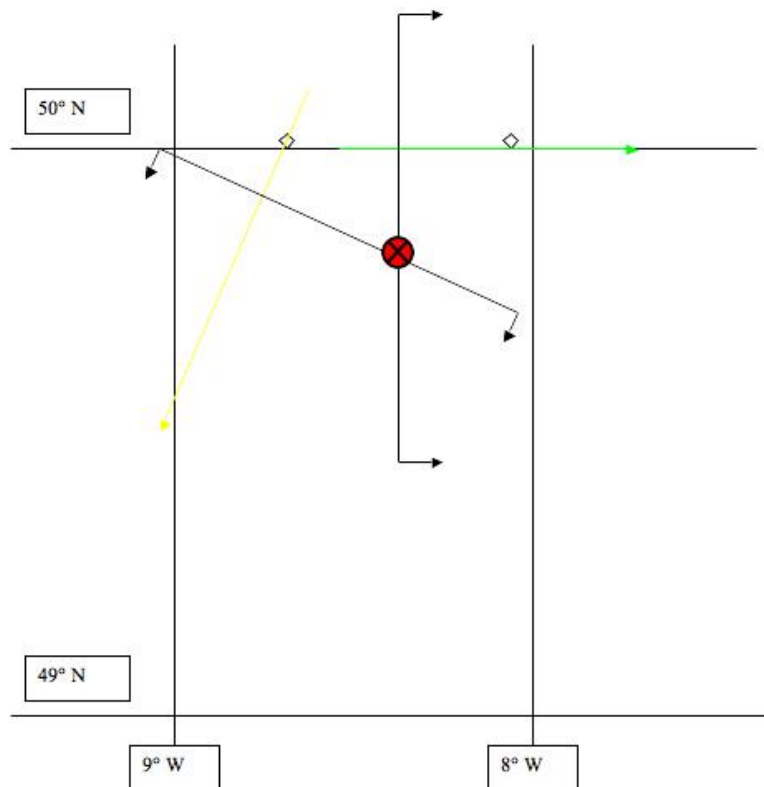
Prenons maintenant les hauteurs Soleil et Lune pour l'heure commune correspondant à la D_1 mesurée, soit 13h 53m, correspondant à 03m 40s de nos mesures.

Pour le Soleil nous avons $H_i 49^\circ 42.5'$, soit une $H_v = 49^\circ 54.0'$

Pour la Lune, la mesure est $H_i 32^\circ 57.0'$, soit une $H_v = 33^\circ 55.4'$

Par les méthodes usuelles, on obtient :

- Pour le Soleil, un intercept de 7.5 M plus près, avec une G_a de $008^\circ 39.3$ et un Z_v de 211° .
- Pour la Lune, un intercept de 14.5 M plus loin, avec une G_a de $008^\circ 02.4$ et un Z_v de 090° .



En guise de conclusion, on voit que les résultats ne sont évidemment pas de la précision que l'on peut espérer avec les méthodes classiques actuelles et avec un chronomètre de qualité. Par ailleurs, la méthode est assez compliquée et chronophage.

L'intérêt culturel reste cependant des plus intéressants et permet de voir que les navigateurs de l'époque avaient plus d'un tour dans leur sac. Parallèlement, il faut se rappeler qu'au XVII^e et au XVIII^e siècle les instruments de mesure n'offraient pas la précision des sextants d'aujourd'hui. La méthode avait donc toute sa valeur.

P.-A. Reymond

Lausanne, 28-03-2008

Bibliographie et crédit divers :

- Musée de la Marine, Madrid
- Chambre suisse de l'horlogerie
- Nathaniel Bowdich
- Ma.-I. Goni-Picher
- Astronomia Nautica, Cadiz
- Navegación astronómica, Luis Mederos
- CMKCI
- Cours d'astronavigation, Mongenet & Reymond