

# Éphémérides astronomiques et point en mer

Didier Descamps

31 janvier 2005

<b>1</b>	<b>quoi d'original ?</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>les données et les corrections.</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>point vernal de référence.</b>	<b>5</b>
3.1	exemple pour 2003 : . . . . .	6
<b>4</b>	<b>droite de hauteur.</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>distance orthodromique, cap.</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>identification d'étoile.</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>programme HP15 et exemples.</b>	<b>7</b>
7.1	la mémoire de la calculette. . . . .	7
7.2	le programme. . . . .	8
7.3	une droite de hauteur de soleil. . . . .	8
7.4	la lune dans une assiette. . . . .	8
7.5	de la Guadeloupe aux Açores. . . . .	9
7.6	l'étoile mystérieuse. . . . .	9
<b>8</b>	<b>ordinateur portable.</b>	<b>10</b>
8.1	prémacher les données . . . . .	10
8.2	un astre . . . . .	10
8.3	tous les astres . . . . .	11
8.4	on se lève, on se couche... . . . . .	11
8.5	quel est cet astre ? . . . . .	11
<b>9</b>	<b>retour d'expérience.</b>	<b>12</b>

# 1 quoi d'original ?

On ne trouvera pas ici les principes de base de la navigation astronomique. Les sources d'informations sur le sujet sont nombreuses et il n'y a pas besoin de refaire ce qui est déjà fort bien fait ailleurs.

Ailleurs, c'est (entre autres) : <http://navastro.free.fr>, « *Navigation en haute mer* » d'Olivier Stein-Veyrin, « *manuel de navigation astronomique* », de Roger Florent<sup>1</sup>, ou le site du *Bureau des Longitudes* : <http://www.bdl.fr/>. Le *Marin Breton* et le *Bloc Nautique* donnent également des explications simples et claires.

La petite différence avec les méthodes classiques est que je propose de passer systématiquement par le calcul du point vernal. Ca n'est pas l'habitude du marin, c'est celle de l'astronome. Ça permet d'utiliser les tables de données librement disponibles sur internet à la place des éphémérides nautiques volumineuses et souvent coûteuses ou difficiles à se procurer. Ça permet également d'utiliser n'importe quel astre, lune, planète ou étoile, exactement de la même manière et avec les mêmes pro-

grammes que pour le soleil.

Cette *méthode unifiée* étant la seule réelle originalité du présent papier, j'espère ne pas avoir réinventé la roue !

D'autre part, j'ai cherché en vain des explications sur le calcul des corrections de l'angle mesuré (dépression, réfraction, ...). Je propose donc les miennes, qui valent ce qu'elles valent, mais qui sont en accord avec les valeurs communément admises.

Un programme et des exemples sont réalisés sur une calculette *HP15C* révisée XX<sup>ème</sup> siècle, mais qui est celle que je possède et qui répond à la plupart de mes besoins depuis 20 ans<sup>2</sup>. Les données sont donc embarquées sous forme imprimée, la mémoire de la calculette n'étant pas suffisante pour les contenir. Il s'agit donc ici d'une méthode « semi-automatique ».

D'autres programmes sont également proposés pour ceux qui auraient les moyens d'embarquer une Linuxette à bord.

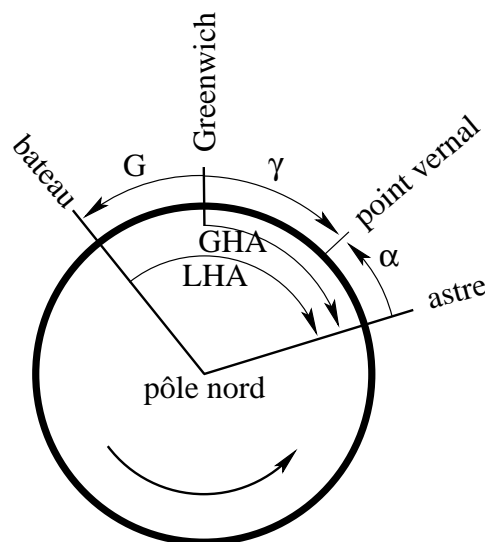


FIG. 1 – les angles de la longitude, vus du pôle nord.

- $j$  : jour de la mesure (1 au 1<sup>er</sup> janvier, 33 au 2 février, ...),
- $t$  : heure TU de la mesure,
- $H_i$  : hauteur instrumentale lue au sextant,

1. Il y est proposé entre autres une méthode d'entraînement au sextant chez soi, avec une assiette d'eau comme horizon artificiel.

2. Et j'aime bien les polonaises inverses. À chacun ses perversions, non ? ...

$H_v$  : hauteur vraie corrigée de la collimation et de la réfraction,  
 $H_c$  : hauteur calculée,  
 $Z$  : azimut,  
 $L$  : latitude estimée,  
 $G$  : longitude estimée (>0 si Est, <0 si Ouest),  
 $\delta_0$  : déclinaison tabulée de l'astre avant la mesure (>0 si Nord),  
 $\delta_1$  : déclinaison tabulée après la mesure,  
 $ET_0$  : heure de passage au méridien de Greenwich ce jour,  
 $ET_1$  : heure de passage au méridien le lendemain,  
 $GHA$  : angle des méridiens Greenwich et astre,  
 $\gamma$  : angle des méridiens Greenwich et point vernal,  
 $\alpha$  : ascension droite de l'astre,  
 $LHA$  : angle des méridiens astre et bateau  
 $C$  : collimation du sextant,  
 $R$  : correction de réfraction,  
 $D$  : correction de dépression,  
 $R2$  : correction de demi diamètre,  
 $P$  : correction de parallaxe,  
 $r$  : demi diamètre de la terre ( $6,3662 \cdot 10^6$  m),  
 $d$  : distance terre-lune.

## 2 les données et les corrections.

D'une manière générale, tous les angles sont exprimés en degrés décimaux et les temps en heures décimales.

- Montre :  $t$  corrigée de l'avance et de la marche.
- sextant :  $H_i$ .
- Tables du soleil et d'autres astres pour l'année. Pour le soleil on a par exemple :
  - <ftp://ftp.imcce.fr/pub/ephem/sun/geopos/SUN.Y04> ou
  - <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/TYPE/sun2.html>

Pour passer de l'angle  $H_i$  lu sur le sextant à l'angle réel  $H_v$  mesuré, il faut appliquer des corrections de collimation  $C$ , de réfraction  $R$ , de dépression  $D$  et de demi diamètre  $R2$ . Pour la lune, il faut également appliquer une correction de parallaxe  $P$ , fonction de sa distance à la terre.

Chacune de ces corrections étant faible, on peut en faire simplement la somme en négligeant les termes du second ordre.

Compte tenu des signes des différents termes, on a :

$$H_v = H_i \pm C - R - D + R2 (+P)$$

et pour un horizon artificiel :

$$H_v = (H_i \pm C - R (+P))/2$$

On peut utiliser des tables de correction totale (réfraction + dépression + demi-diamètre) pour le soleil, pour la lune, et pour les étoiles et planètes (par exemple *manuel de navigation astronomique*, Roger Florent). C'est le plus simple si on applique une méthode «semi automatique».

Mais on peut aussi calculer chacun des termes si on peut les programmer.

### réfraction.

Cette correction est négative, un astre paraît toujours plus haut qu'il n'est en réalité.

Les données sont expérimentales et difficilement modélisables, car l'atmosphère n'est pas un milieu homogène. Il semble que les conditions météo (pression, température) soient des facteurs importants pour les faibles hauteurs.

J'ai remarqué que cette correction est relativement bien représentée pour  $H_i > 10^\circ$  par la relation empirique suivante, sans justification théorique :

$$R = 0,01638 / \tan H_i$$

Cette expression est précise à la minute d'angle près tant que  $H_i > 15^\circ$ .

### dépression.

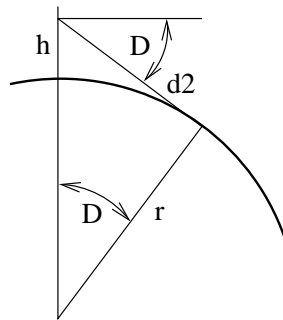


FIG. 2 – correction de dépression.

L'observateur à une hauteur  $h$  au dessus de la surface de la terre voit l'horizon à une distance  $d_2$  telle que :

$$d_2^2 = (r \tan D)^2 = (r + h)^2 - r^2$$
$$\tan^2 D = \frac{h^2}{r^2} + 2\frac{h}{r} \quad \text{avec} \quad \frac{h^2}{r^2} \ll \frac{h}{r}$$

d'où la correction négative :

$$D \simeq \arctan \sqrt{2h/r}$$

### demi diamètre.

Cette correction est positive sauf si on est amené à utiliser le bord supérieur de l'astre, et nulle pour les étoiles et les planètes.

Le soleil présente un diamètre apparent quasi-constant, de  $32'$ .

Par contre la lune a une trajectoire elliptique assez excentrée, et elle voit sa distance  $d$  à la terre varier fortement. Son diamètre étant de 3476 km, elle présente un diamètre apparent  $2 \times R2 = \arcsin(3476/d)$ , variant entre  $29,4'$  et  $33,4'$ .

### parallaxe.

La lune est proche de la terre, et le rapport  $r/d$  n'est plus négligeable. On ne peut donc plus considérer que cet astre est, comme les autres, à l'infini. On évalue la correction de parallaxe  $P$  par :

$$\tan P = \frac{r \cos(H_i + P)}{d - r \sin(H_i + P)}$$

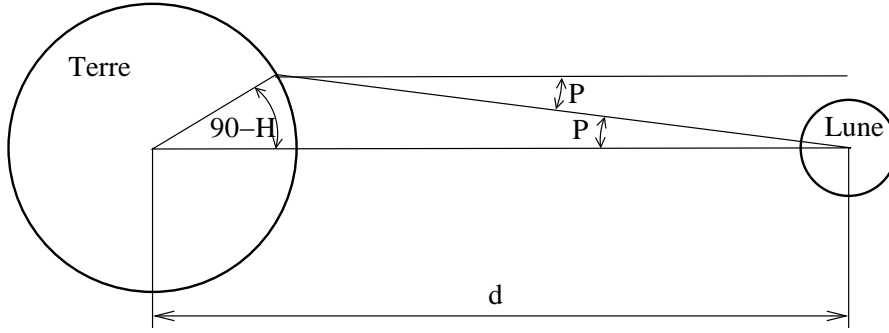


FIG. 3 – correction de parallaxe.

Cette relation implicite est malaisée à résoudre analytiquement, mais deux ou trois itérations en viennent facilement à bout ...

### 3 point vernal de référence.

À faire une fois l'an, à la maison.

Calcul de l'instant  $j, t$  (jour et heure) de l'équinoxe de printemps par interpolation linéaire des données des tables du soleil : c'est par définition l'instant où la déclinaison du soleil est nulle, et le point vernal est défini comme étant dans la direction du soleil à cet instant ( $\alpha = 0$ ).

Calcul de  $GHA$  à cet instant, connaissant les heures de passage au méridien de Greenwich :

$$GHA = \begin{cases} (t - ET_0) \times 15 \left( 1 + \frac{ET_{-1} - ET_0}{24} \right) & \text{si } t < ET_0 \text{ (le matin)} \\ (t - ET_0) \times 15 \left( 1 + \frac{ET_0 - ET_1}{24} \right) & \text{si } t > ET_0 \text{ (le soir)} \end{cases} \quad (1)$$

Calcul de  $\gamma_{ref}$  à une date de référence arbitraire  $t_{ref}$  (j'ai pris le 1er janvier 0h). Entre deux équinoxes de printemps, la terre fait 366,24218967 tours sur elle même, et 1 autour du soleil<sup>3</sup>.

La variation horaire du point vernal est donc de

$$15 \times \frac{366,242}{365,242} = 15,04106864 \quad (^\circ/h)$$

La variation par jour est de

$$15,04118 \times 24 = 0,98565 (+360) \quad (^\circ/j)$$

Et donc :

$$\gamma_{ref} = \gamma_{equinoxe} - j \times 0,98565 - t \times 15,041 \quad (2)$$

3. Les sens de rotation de la terre sur elle même et autour du soleil sont les mêmes, il y a donc bien 365,24 jours dans l'année.

### 3.1 exemple pour 2003 :

On lit dans la table des données du soleil :

21 mars 0h00,  $\delta = -0^{\circ}00' 59,67'' = -0,016575^{\circ}$

22 mars 0h00,  $\delta = +0^{\circ}22' 42,07'' = +0,378353^{\circ}$

$\delta$  s'annule à  $t = 1,007273$  h = 1 h 00 min 26 s

On lit dans la même table :

20 mars,  $ET = 12$  h 07 min 36 s = 12,12667 h

21 mars,  $ET = 12$  h 07 min 18 s = 12,12167 h

$$\gamma_{\text{equinoxe}} = -166,7506^{\circ}$$

Et au premier janvier 2003, 00 h 00 :

$$\gamma_{\text{ref}} = \gamma_{\text{equinoxe}} - 79 \times 0,98565 - 1,007273 \times 15,041 = 100,232793^{\circ}$$

## 4 droite de hauteur.

On calcule  $\gamma$  à l'instant  $j, t$  de la mesure ( $\text{ref} = 1$ er janvier) :

$$\gamma_{j,t} = \gamma_{\text{ref}} + j \times 0,98565 + t \times 15,041$$

On interpole la déclinaison et l'ascension droite (convertie en angle) de l'astre :

$$\delta = \delta_0 + \frac{\delta_1 - \delta_0}{t_1 - t_0} t \quad \text{et} \quad \alpha = 15 \times \alpha_0 + \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{t_1 - t_0} t$$

puis :

$$LHA = \gamma - \alpha + G$$

et les relations classiques :

$$\boxed{H_c = \arcsin(\sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos LHA)} \quad (3)$$

$$\boxed{Z_c = \arccos\left(\frac{\sin \delta - \sin L \cdot \sin H_c}{\cos L \cdot \cos H_c}\right)} \quad (4)$$

$$Z = \begin{cases} Z_c & \text{le matin} \\ 360^{\circ} - Z_c & \text{l'après midi} \end{cases}$$

## 5 distance orthodromique, cap.

Sur un voilier, la route la plus rapide n'est souvent pas la plus courte ! Le calcul de l'orthodromie est malgré tout utile, d'autant qu'il est simple et que les « cartes orthodromiques » ne donnent qu'une approximation<sup>4</sup>.

Soient  $L_0$  et  $G_0$  les coordonnées du point de départ, et  $L_1$  et  $G_1$  celles du point d'arrivée. Les équations sont les mêmes que pour la droite de hauteur.

4. exemple : on part de Jacksonville (USA) pour Ouessant. La projection de Mercator indique la loxodromie et un cap au départ de  $73^{\circ}$ , la conforme oblique « orthodromique »  $56^{\circ}$ , et le calcul  $48,6^{\circ}$ .

$$H = \arcsin(\sin L_0 \cdot \sin L_1 + \cos L_0 \cdot \cos L_1 \cdot \cos(G_1 - G_0))$$

$$\text{Distance en miles} = 60 \times (90 - H)$$

$$Z_c = \arccos\left(\frac{\sin L_1 - \sin L_0 \cdot \sin H}{\cos L_0 \cdot \cos H}\right)$$

$$Z = \begin{cases} Z_c & \text{si } G_1 > G_0 \\ 360^\circ - Z_c & \text{si } G_1 < G_0 \end{cases}$$

## 6 identification d'étoile.

Soit une étoile inconnue, relevée à une hauteur approximative  $H$  et un azimut  $Z$   
De (4) on tire :

$$\delta = \arcsin(\sin L \times \sin H + \cos L \times \cos H \times \cos Z)$$

ce qui suffit souvent à savoir à qui on a affaire. En cas de doute, on tire de (3) :

$$LHA = \pm \arccos\left(\frac{\sin H - \sin L \cdot \sin \delta}{\cos L \cdot \cos \delta}\right)$$

Cette équation a l'inconvénient de ne pas déterminer le signe de  $LHA$ . On peut donc lui préférer celle là :

$$\cot LHA = \frac{\tan H \times \cos L - \sin L \times \cos Z}{\sin Z}$$

enfin :

$$\alpha = \gamma + G + LHA$$

À trouver ensuite l'étoile ou la planète ayant une déclinaison et une ascension droite ressemblantes...

## 7 programme HP15 et exemples.

### 7.1 la mémoire de la calculette.

la *HP15C* a par défaut 20 registres de mémoire contenant chacune un réel sur 10 chiffres. Ils sont repérés de  $\textcircled{.0}$  à  $\textcircled{.9}$  et de  $\textcircled{0}$  à  $\textcircled{9}$ . On entrera avant de lancer le calcul pour un jour et un astre :

registre	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
soleil, lune, planète	j	t	G	L	t0	$\alpha_0$	$\delta_0$	t1	$\alpha_1$	$\delta_1$
étoile	j	t	G	L		$\alpha$	$\delta$		$\alpha$	$\delta$

Ainsi que  $\gamma_{ref}$  en  $\textcircled{.3}$ ; 15,04106864 en  $\textcircled{.8}$  et 0,9856474 en  $\textcircled{.9}$ ; ce sont ici des constantes.

Les autres registres sont modifiés par le calcul. On trouvera par exemple  $\gamma$  en  $\textcircled{.6}$  et  $LHA$  en  $\textcircled{.4}$ .

## 7.2 le programme.

f LBL A, (interpolation de  $\delta$  et  $\alpha$ )  
g7, RCL 1, RCL 4, -, RCL 7, RCL4, -,  $\div$ , STO .0,  
RCL 8, RCL 5, -,  $\times$ , RCL 5, +, 1, 5,  $\times$  STO .1,  
RCL 9, RCL 6, -, RCL .0,  $\times$ , RCL 6, +, STO .2,

f LBL B, (calcul de  $\gamma$  instantané et de  $LHA$ )  
RCL 0, 1-, RCL .9,  $\times$  RCL 1, RCL .8  $\times$ , +,  
RCL .3, +, STO .6, RCL .1, -, RCL 2+ STO .4

f LBL C, (calcul de  $H_c$  et de  $Z_c$ )  
RCL 3, SIN, RCL .2, SIN,  $\times$ ,  
RCL 3, COS, RCL .2, COS,  $\times$ ,  
RCL .4, COS,  $\times$ , +, gSIN-1, STO .5, R/S,  
RCL .5, SIN, RCL 3, SIN,  $\times$ ,  
RCL .2, SIN, -, CHS, RCL 3, COS,  $\div$ ,  
RCL .5, COS,  $\div$ , gCOS-1, R/S

## 7.3 une droite de hauteur de soleil.

Nous sommes le 18 octobre 2003, une hauteur de soleil est effectuée à 13h35min04s, la position estimée est 3°E ; 50°N (Lille).

On lit dans la table :

18 octobre,  $\alpha=13h32m28,085s$ ,  $\delta=-9^\circ 17' 47,18''$

19 octobre,  $\alpha=13h36m13,424s$ ,  $\delta=-10^\circ 01' 23,56''$

La touche  $\boxed{g \rightarrow H}$  convertit les valeurs h, min, s en valeurs décimales. On rentre donc dans les registres :

- 291 en  $\textcircled{0}$  (c'est le 291<sup>ème</sup> jour de l'année) ;
- 13,5844 en  $\textcircled{1}$  (l'heure décimale) ;
- 3 en  $\textcircled{2}$  (longitude estimée) et 50 en  $\textcircled{3}$  (latitude) ;
- 0 en  $\textcircled{4}$  ; 13,5411347 en  $\textcircled{5}$  et -9,296439 en  $\textcircled{6}$  ;
- 24 en  $\textcircled{7}$  ; 13,603729 en  $\textcircled{8}$  et -10,02321 en  $\textcircled{9}$

La touche  $\boxed{fA}$  lance le calcul,

puis  $H_c$  s'affiche et se stocke dans le registre  $\textcircled{.5}$ .

$$H_c = 24,89277^\circ = 24^\circ 53' 34''$$

La touche  $\boxed{R/S}$  lance la suite du calcul,  $Z_c$  s'affiche.

$$Z_c = 147,4$$

Bien entendu,  $Z = 360 - Z_c = 212,6^\circ$

## 7.4 la lune dans une assiette.

Nous sommes le 5 novembre 2003, à Lille, et on fait un relevé de lune avec un «horizon artificiel» constitué d'un plat rempli d'eau.



À 20h31m48s on relève  $H_i=74^\circ 41'$ .

La table des données de la lune sont :

05 18h ; 0h30m054,50s ;  $-0^\circ 44' 41,61''$  ; 399277,9964 km

06 00h ; 0h40m57,073s ;  $+0^\circ 38' 39,04''$  ; 399986,8168 km

Son diamètre étant de 3476 km, la lune présente un diamètre apparent  $2 \times R2$  égal à  $\arcsin(3476/399278) = 0,498^\circ$  soit  $29,5'$ . La table des corrections pour la lune en horizon artificiel donne alors  $+82,4'^5$  et l'erreur de collimation du sextant est nulle.

$$H_v = \frac{H_i + \text{correct.}}{2} = 38,028^\circ$$

On rentre 309 dans le registre (0) ; 20,5300 en (1) ; 18 en (4) ; 24 en (7) ; 0,5150 en (5) ; 0,6825 en (8) ;  $-0,744722$  en (6) et  $+0,644166$  en (9).

[fA] nous donne  $H_c=38,00$  ; soit un intercept de 1,7 miles<sup>6</sup>. [R/S] donne ensuite l'azimut...

## 7.5 de la Guadeloupe aux Açores.

Point de départ, la Guadeloupe,  $64^\circ\text{O}$ ,  $16^\circ\text{N}$  ; Arrivée aux Açores,  $28,5^\circ\text{O}$ ,  $38,5^\circ\text{N}$ .

On rentre la latitude du point de départ (16) dans le registre (3), celle de l'arrivée (38,5) dans le registre (2), la différence des longitudes<sup>7</sup> ( $64-28,5=35,5$ ) en .4.

[fC] donne 51,63, d'où une distance de  $(90-51,63) \times 60 = 2300$  nautiques.

[R/S] donne ensuite le cap au départ,  $47^\circ$ .

En inversant les contenus des registres (3) et (2), on peut calculer le cap au départ des Açores. Le programme donne bien entendu la même distance, et un cap au  $115^\circ$ . Il faut bien sûr comprendre  $360-115=244^\circ$ .

## 7.6 l'étoile mystérieuse.

Nous sommes le 10 novembre 2003, à Lille toujours, et on remarque au dessus de l'éclairage public et de la pollution une étoile. La hauteur très approximative est de  $30^\circ$ , l'azimut d'environ  $95^\circ$ . Il est 23h TU.

On pianote<sup>8</sup> :

$$\sin \delta = \sin 30 \times \sin 50,6 + \cos 30 \times \cos 50,6 \times \cos 95 \quad \text{d'où} \quad \delta = +19,8^\circ$$

Ensuite :

$$LHA = \arctan \left( \frac{\sin 95}{\tan 30 \times \cos 50,6 - \sin 50,6 \times \cos 95} \right) = -77^\circ$$

Après une exécution du programme à la bonne date (registres 0 et 1), le registre .6 contient la valeur de  $\gamma$ , soit  $754,68^\circ$ .

$$\alpha = -77 + 754,68 + 3 = 320,7^\circ (\pm 360), \text{ soit } 21\text{h } 22$$

5. La lune est un cas particulier, la correction est grande à cause de la parallaxe.

6. J'ai du avoir de la chance aussi ...

7. Sans se soucier du signe, le calcul (un arc cosinus) donnera un cap toujours compris entre 0 et  $180^\circ$ , le «bon sens» dira s'il faut plutôt aller vers l'ouest.

8. Presque toute la mémoire de la HP15 est utilisée, je n'ai pas pu programmer ces équations.

L'étoile dont les coordonnées sont les plus proches est **Hamal** dans le Belier :  
 $\alpha^{\circ}=328^{\circ}25'$  ;  $\delta=+23^{\circ}24'$

Le calcul inverse confirme l'hypothèse Hamal :  $H_c=30,8^{\circ}$  et  $Z_c=89,8^{\circ}$ .

## 8 ordinateur portable.

J'ai tapoté quelques programmes embarquables sur un ordinateur portable. Ils ont été écrits et compilés sur un PC Linux, évidemment, mais sont utilisables sans difficultés avec d'autres matériels ou systèmes. Leur interface est frustrante, et je ne suis pas compétent pour leur donner un «look plus mode» qui utiliserait la souris, par exemple. Si le lecteur a envie de proposer ses améliorations, qu'il ne s'en prive pas !

Je propose des sources utilisables avec un compilateur c ou c++. J'ai mis les fichiers sources en vrac là : <http://didierdescamps.free.fr/bateau/>

Avec mon Linux, la commande «`g++ pipo.cpp -o pipo`» génère un fichier «*pipo*» exécutable.

Remarque : «*divastro.cpp*» ne se compile pas seul, il est appelé par les autres fichiers sources et il contient tous les sous-programmes communs.

### 8.1 prémacher les données

Cela peut se faire à la maison, il n'est pas nécessaire d'embarquer ce programme. Il sert à relire les tables fournies par le *Bureau des longitudes* (en degrés, minutes, seconde), et de les traduire en fichiers «propres», en degrés décimaux, moins lisibles par un humain mais plus lisibles par les programmes qui suivront.

Il y a deux programmes, «*table\_astre.cpp*» pour tous les astres sauf la lune, et «*table\_lune.cpp*» pour cette seule dernière<sup>10</sup>.

Mode d'emploi :

1. Récupérer le fichier (SUN.Y04 par exemple) sur le site du bureau des longitudes<sup>11</sup>.
2. Exécuter «`tous_astres SUN.Y04 > soleil.2004`».
3. Supprimer l'éventuelle ligne absurde en fin du fichier «*soleil.2004*».
4. Refaire de même pour les autres astres.

On aura donc produit six fichiers, *soleil.2004*, *lune.2004*, *jupiter.2004*, *mars.2004*, *venus.2004* et *saturne.2004*<sup>12</sup>.

### 8.2 un astre

C'est le programme «*un\_astre.cpp*».

Il commence par rappeler le  $\gamma_{ref}$  de l'année, la collimation du sextant et la hauteur de l'observation au dessus de l'horizon. Ces valeurs, supposées constantes, sont stockées dans le fichier «*bricoles.dat*» que vous modifierez en fonction de votre sextant.

---

9. souvent noté *SHA*.

10. La coquine a des mouvements rapides qui nécessitent une donnée toutes les six heures, au lieu d'une par vingt-quatre heures pour les autres astres.

11. Si vous préférez celui de la NASA, vous vous débrouillerez comme des grands. . .

12. seules ces quatre planètes sont visibles à l'œil nu et donc utilisables en mer.

On saisit ensuite la latitude et la longitude estimées, en degrés décimaux ou en degrés et minutes décimales<sup>13</sup>. Les valeurs du calcul précédent sont proposées par défaut (une touche non numérique quelconque pour accepter le défaut).

Saisir ensuite le jour<sup>14</sup> et l'heure de la mesure. Le temps UTC de l'ordinateur est proposé par défaut (touche non numérique pour accepter).

Choisir ensuite l'astre. Si c'est une étoile, il faut aussi entrer son ascension et sa déclinaison.

Le programme renvoie alors la hauteur calculée et l'azimut. Celui-ci est le «vrai», évalué de 0 à 360°.

Entrer la valeur lue au sextant, décimale ou non, et s'affichent la hauteur vraie corrigée et l'intercept.

### **8.3 tous les astres**

C'est le programme « tous.cpp » qui s'en charge.

On saisit la latitude et la longitude estimées, en degrés décimaux ou non. Sont proposées par défaut les valeurs du calcul précédent.

Saisir ensuite l'heure de la mesure, l'heure UTC est proposée par défaut.

Le programme renvoie alors les hauteurs calculée et les azimuts des différents astres. Entrer éventuellement l'ascension et la déclinaison d'une étoile.

### **8.4 on se lève, on se couche...**

Calcul des heures de lever et coucher du soleil.

« lever.cpp » calcule l'heure de l'aube et du crépuscule «nautiques» (quand le soleil est 12° sous l'horizon qui devient alors visible), et du lever et coucher théoriques (le soleil est alors déjà ou encore visible à cause des corrections). Les cas spéciaux (Artique en été ou en hiver, ...) et les autres astres ne sont pas encore traités. À suivre !

### **8.5 quel est cet astre ?**

Calcul de l'ascension droite et de la déclinaison d'un astre vu à telle hauteur et tel azimut. C'est le programme « qui » qui s'en charge. Son mode d'emploi est évident, identique à celui de « tous » ou de « un\_astre ».

---

13. Si une valeur non entière est rentrée, le logiciel s'en tiendra là. Si la valeur est ronde, il demandera également de saisir les minutes.

14. Astuce : la commande «date +%j» renvoie le n° du jour courant dans l'année, «date --date '15 Mar' +%j» celui du 15 mars, ...

## 9 retour d'expérience.

J'ai traversé un bout de l'Atlantique au printemps 2004, de Guadeloupe à St Malo en passant par les Açores. L'équipage était trop fasciné par le GPS pour que je puisse faire comme s'il n'existait pas. Mais j'ai pu comparer et valider les observations astro.

Je n'avais pas d'ordinateur à bord, mais les calculettes ont bien calculé. J'en avais deux, ma vieille HP15 et un TI83+ toute neuve. En cas de panne mais aussi par confort, parce que je n'avais à faire qu'une fois la partie fastidieuse du calcul, c'est à dire la saisie des données journalières de chaque astre. J'en utilisais donc une pour le soleil, et l'autre pour les autres astres.

Tant que les conditions étaient correctes, les observations du soleil et de la lune étaient en bon accord avec le GPS, souvent moins de 2 miles nautiques d'écart. La précision se dégradait avec l'état de la mer (horizon peu visible, observateur trop secoué, etc.) sans dépasser 15 miles.

Il est important de faire une bonne estime entre

les observations, sinon trois hauteurs de soleil très précises peuvent engendrer après transport un grand chapeau !

La lune est très peu lumineuse le jour, je n'ai su la prendre qu'à des moments proches du lever ou du coucher du soleil. Je calculais d'abord sa hauteur et son azimut approximatifs pour la trouver ensuite plus facilement dans le sextant pré-réglé. Par son bord supérieur le plus souvent.

Je n'ai pas pu faire de mesures avec les planètes ou les étoiles. Plusieurs raisons à cela :

- nous avons eu des nuits magnifiques et étoilées, mais les moments de lever et de coucher du soleil étaient souvent couverts,
- les sextants n'avaient peut-être pas la qualité requise : nous pouvions encore voir l'horizon à l'œil nu, mais plus dans la lunette,
- j'ai une très mauvaise vue, et particulièrement de nuit et au crépuscule.

mais les planètes et les étoiles étaient bien où la calculette le prédisait. . .