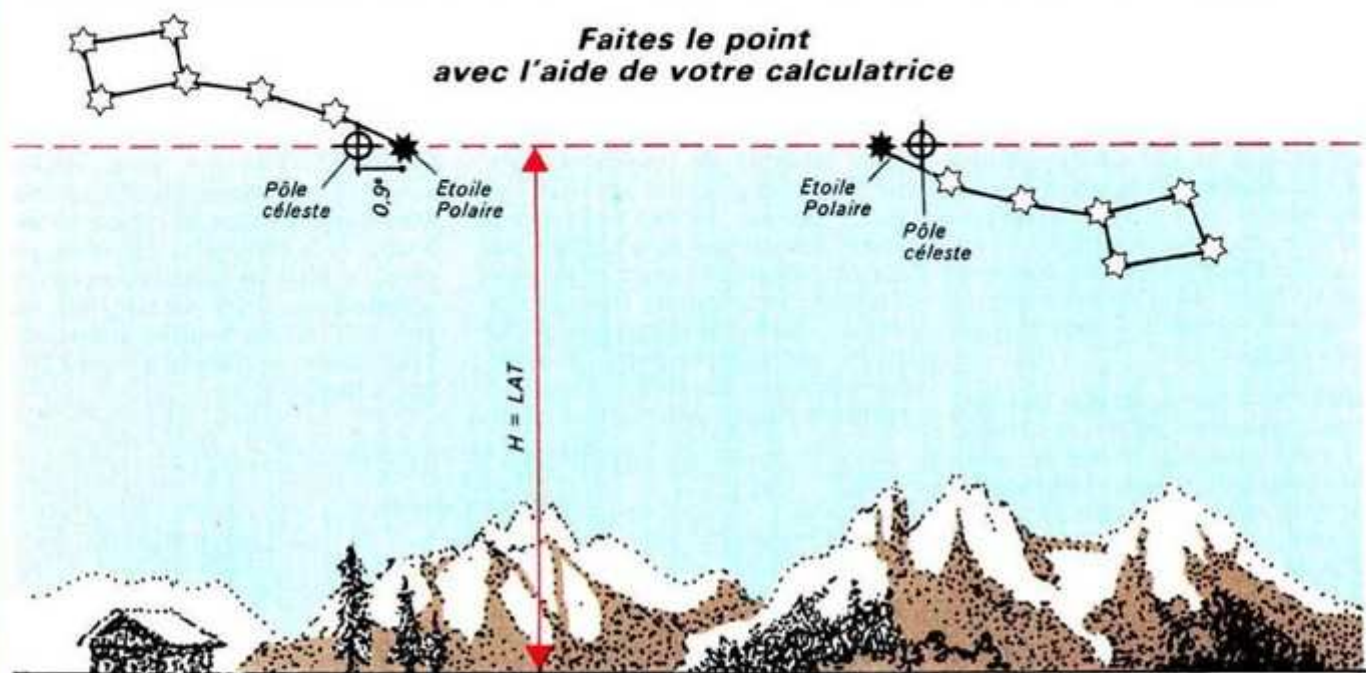


LA CALCULETTE DE L'ASTRONOMIE



**Configurations de la Petite Ourse
pour lesquelles le pôle céleste est à la même hauteur dans le ciel que l'étoile Polaire**

Que l'on soit "randonneur" ou plaisancier, il est une nécessité : celle de se repérer. Dans le premier cas, évidemment, il n'est pas utile de connaître avec précision ses coordonnées géographiques, en latitude et longitude, car il suffit de situer sa position sur une carte détaillée de la région, après s'être convenablement orienté. En pleine mer, par contre, où il n'existe aucun point de repère (à moins de naviguer à vue près des côtes), il est indispensable de "relever" régulièrement sa position géographique. Pour cela, il faut avoir recours aux astres.

Généralement, c'est le Soleil qui est utilisé, mais il peut être nécessaire, parfois, de faire le point de nuit, et l'on fait alors appel aux plus brillantes étoiles (il y en a une douzaine de première grandeur visibles depuis l'hémisphère Nord) ou aux quatre planètes facilement repérables à l'œil nu (Vénus, Jupiter, Mars et Saturne).

La "hauteur" de ces astres, c'est-à-dire leur élévation en degrés sur l'horizon, est relevée au sextant et permet de déterminer la latitude du lieu d'observation.

Un peu avant midi (temps local), on note la hauteur du Soleil à intervalles réguliers car celle-ci varie alors très peu. Il faut donc effectuer ces mesures avec une très grande précision et les reporter sur un graphique en fonction du temps. Lorsque le Soleil aura commencé à redescendre, on tracera une courbe moyenne des différents relevés, qui permettra de

trouver facilement l'instant exact de la culmination, c'est-à-dire du passage au méridien.

Quant à la longitude, elle se déduit d'une différence de temps, sachant que la Terre tourne d'ouest en est à raison de 15° par heure, entraînant un mouvement apparent des astres en sens inverse sur la voûte céleste. La longitude correspond ainsi à l'écart (converti en degrés) entre le midi vrai (passage du Soleil au méridien du navigateur) et le midi d'une montre de bord affichant le temps universel (anciennement GMT). La nuit, l'on mesure l'écart entre le passage au méridien de planètes ou d'étoiles brillantes avec l'instant annoncé pour un lieu de référence (Paris, par exemple) dans les tables de navigation et les annuaires astronomiques. Dans ce cas précis, cependant, on obtient l'écart en longitude par rapport au lieu de référence, et il faut alors introduire une correction pour se ramener à la longitude de Greenwich.

Ces déterminations de latitude et longitude sont relativement simples dans leur principe, mais nécessitent des calculs assez fastidieux et imposent de consulter des tables, d'où une certaine perte de temps. C'est pourquoi une calculatrice programmable peut apporter en la circonstance une aide précieuse. Voici un programme permettant de déterminer en quelques secondes votre position à partir de la date, de la hauteur de culmination d'un astre (Soleil ou étoile brillante) et de l'instant de cette

culmination, qui correspond également, nous l'avons vu, au passage au méridien.

Rappelons d'ailleurs que la latitude peut également se déterminer facilement en mesurant la hauteur de l'étoile Polaire à tout moment de la nuit, ces deux valeurs étant égales. A Cannes, par exemple, la Polaire est à $43,5^\circ$ au-dessus de l'horizon nord : telle est la latitude de ce port. Mais attention : l'étoile Polaire n'est pas exactement située à l'emplacement même du pôle céleste et décrit autour de ce dernier un petit cercle de $0,9^\circ$ de rayon. La détermination de latitude par cette méthode doit donc être effectuée lorsque l'étoile se place à gauche ou à droite du pôle céleste (sur le diamètre horizontal du cercle fictif qu'elle décrit) ; dans ce cas la constellation de la Petite Ourse présente la position supérieure ou inférieure, il faut respectivement retrancher ou ajouter $0,9^\circ$ pour obtenir la vraie valeur de la latitude (voir dessin ci-dessus).

Détermination de la latitude

$LAT = 90 - (HV + DD) + DELTA$
avec DD : demi-diamètre apparent du Soleil. Il faut évidemment en tenir compte car sa valeur n'est pas négligeable, et parce que les relevés de hauteur au sextant s'effectuent au **bord inférieur** de l'astre, dont le centre serait difficile à situer avec une bonne précision.

DD = $0,53^\circ$ (nous négligerons sa variation, de l'ordre de $\pm 1\%$ suivant l'époque de l'année).

HV : hauteur vraie de l'astre.
 $HV = HR + P + D - R$.

La hauteur relevée au sextant (HR) doit en effet être corrigée de l'effet de parallaxe (P), de la dépression (D) et de la réfraction atmosphérique (R).

La parallaxe est un angle très faible équivalent au demi-diamètre de la Terre vue depuis l'astre choisi (Soleil, planète, étoile, etc.). Au pire, il atteint 3/1000°, valeur qui peut donc être négligée dans le cas qui nous intéresse ici. De même nous négligerons la "dépression" qui correspond à une hauteur négative de l'horizon par rapport à l'horizon théorique, par suite de l'altitude de l'observateur. En mer, où cette altitude ne dépasse pas celle du pont du bateau, donc quelques mètres, cet angle reste également négligeable.

La réfraction, en revanche, doit être prise en compte. Sa valeur se détermine par la formule,

$$R = 60.15 \times \frac{\cotan HR}{3600}$$

Satisfaisante pour des hauteurs de relevés supérieures à 20°. De toutes manières, il est déconseillé de choisir des astres trop proches de l'horizon.

DELTA: déclinaison de l'astre choisi; c'est en quelque sorte sa « latitude » céleste. Celle du Soleil varie entre + 23° 26' au solstice d'été, et - 23° 26' au solstice d'hiver. Elle est nulle aux équinoxes. Son évolution prend l'allure d'une sinusoïde; ce serait du moins le cas si l'orbite terrestre était parfaitement circulaire. Si l'on ne fait pas appel à des tables astronomiques, il est possible de la déterminer avec les formules suivantes, qui tiennent compte de cette excentricité de l'orbite terrestre. Il s'agit encore de formules approchées mais l'écart à la réalité peut être considéré comme négligeable.

$DELTA = 23.442 \sin(0.9677 N)$
N: nombre de jours écoulés depuis le 4/3
si $N \geq 187$ faire $n = N - 186$ et utiliser: $DELTA = - 23.442 \sin(1.0056 n)$.

Pour un astre autre que le Soleil, chercher la valeur DELTA (δ) dans des éphémérides nautiques ou astronomiques.

N.B. Notons par ailleurs que dans le cas d'une étoile ou d'une planète on a $DD = 0$.

Détermination de la longitude

1) Utilisation du Soleil (clé 1)

$$LONG = 15 (12 + ET - TU)$$

+ : long. Est
- : long. Ouest

avec ET: équation du temps (déjà rencontrée dans une précédente

$$ET = \frac{460 \sin [0.9863 (N + 78)] - 592 \sin 2 (0.9863 N)}{3600}$$

(N: nombre de jours écoulés depuis le 22 septembre).

TU: instant du relevé (passage au méridien) à convertir en fraction d'heure.

2) Utilisation d'une étoile ou d'une planète (clé 2).

La longitude se détermine en sachant que lors du passage au méridien (hauteur de culmination maximale), l'angle horaire de l'astre est nul, ce qui revient à dire que son ascension droite (dans le système des coordonnées astronomiques dites « équatoriales ») est identique au temps sidéral local. Il suffit donc de déterminer ce dernier, connaissant l'ascension

rubrique à propos des cadrans solaires). C'est l'écart entre l'heure solaire moyenne et l'heure solaire réelle, dû à l'excentricité de l'orbite terrestre autour du Soleil, qui donne à ce dernier une vitesse variable, dans le ciel, suivant l'époque de l'année.

droite de l'astre choisi, pour faire le point. Par comparaison avec l'heure TU de référence (qui peut être conservée avec une excellente précision par une montre à quartz), elle permettra de déterminer l'écart en longitude par rapport au méridien zéro (Greenwich). Nous aurons ainsi:

$$LONG = 360 (\text{ALPHA} - 2.7397 \cdot 10^{-3} N - 1.00273d)$$

avec N: défini précédemment

d: heure de relevé convertie en fraction de jour.

ALPHA: ascension droite de l'étoile (voir tableau ci-dessous) ou de la planète choisies (voir éphémérides astronomiques)

COORDONNÉES D'ÉTOILES BRILLANTES POUVANT ÊTRE UTILISÉES POUR FAIRE LE POINT

| NOM | CONSTELLATION | ASCENSION DROITE (entre parenthèses la valeur en fraction de jour) (ALPHA) | DÉCLINAISON (DELTA) |
|------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Sirius | Grand Chien | 6 h 45 mn (0.2808) | - 16.68° |
| Arcturus | Bouvier | 14 h 15 mn (0.5937) | + 19.29° |
| Véga | Lyre | 18 h 36 mn (0.7752) | + 38.76° |
| Capella | Cocher | 5 h 15 mn (0.2189) | + 46.00° |
| Rigel | Orion | 5 h 14 mn (0.2178) | - 8.23° |
| Procyon | Petit Chien | 7 h 38 mn (0.3183) | + 5.28° |
| Altair | Aigle | 19 h 50 mn (0.8264) | + 8.81° |
| Bételgeuse | Orion | 5 h 54 mn (0.2458) | + 7.40° |
| Aldébaran | Taureau | 4 h 35 mn (0.1909) | + 16.48° |
| Spica | Vierge | 13 h 24 mn (0.5585) | - 11.03° |
| Antares | Scorpion | 16 h 28 mn (0.6861) | - 26.38° |
| Deneb | Cygne | 20 h 41 mn (0.8618) | + 45.21° |

Remarques: La date sera introduite sous la forme HH.MM, en temps universel (heure vraie). HR et, le cas échéant, ALPHA ET DELTA seront introduits en de-

grés décimaux. La latitude et la longitude seront données par la calculatrice également en degrés décimaux, la longitude étant comptée positivement vers l'est.

LA CALCULETTE DE L'ASTRONOME

Nous conseillons un affichage avec deux décimales.

Programme pour TI-58, TI-59

```

000 LBL A
    +
    .
    2
    =
    PGM 20
    A
    R/S
010 LBL B
    D.MS
    STO 05
    R/S
    LBL C
    STO 06
020 R/S
    LBL D
    STO 07
    R/S
    LBL E
    STO 08
030 R/S
    LBL A'
    INV
    St flg 0
    CP
    RCL 04
    -
040 7
    3
    0
    5
    6
    5
    =
    x >= t
    055
050 +
    3
    6
    5
    =
    x = t
    1
    8
    6
    x = t
    x >= t
060 218
    X
    .
    9
    6
    7
    7
    =
070 Deg
    sin
    X
    2
    3
    .
    4
    4
    2
    
```

```

    =
080 STO 08
    .
    5
    3
    + / -
    Deg
    -
    RCL 06
090 +
    RCL 06
    tan
    1/x
    +
    5
    9
    .
    8
100 5
    +
    9
    0
    +
    RCL 08
    =
    R/S
    RCL 04
111 -
    7
    3
    0
    7
    5
    1
    =
    CP
120 x >= t
    128
    +
    3
    6
    5
    =
    STO 10
130 if flg 0
    183
    +
    7
    8
    =
    X
140 .
    9
    8
    6
    3
    STO 09
    =
    sin
    X
    1
150 .
    9
    1
    7
    -
    2
    
```

```

    4
    6
    7
160 X
    (
    RCL 10
    X
    2
    X
    RCL 09
    )
170 sin
    +
    1
    8
    0
    -
    1
    5
    X
    RCL 05
181 =
    R/S
    RCL 07
    X
    3
    6
    0
    -
190 .
    9
    8
    6
    3
    X
    RCL 10
    -
    1
200 5
    .
    0
    4
    1
    X
    RCL 05
    =
    R/S
210 LBL B'
    St flg 0
    CLR
    GTO 086
    -
    x = t
220 =
    X
    1
    .
    0
    0
    5
    6
    + / -
229 GTO 069
    
```

Mode d'emploi

Dans tous les cas, introduire la date sous la forme MMJJ en A,

l'heure en B et l'ascension droite en C.

1° Si l'on utilise le soleil, faire A'. La latitude, puis la longitude apparaissent.

2° Si l'on utilise une étoile, mettre ALPHA en D et DELTA en E, puis appuyer sur B': la latitude et la longitude apparaissent.

Remarque : Toutes les données initiales restent dans la machine après le calcul.

Programme pour HP-34 C

```

001 LBL A
    CF 1
    GTO 0
    LBL B
    SF 1
    LBL 0
    DEG
    STO 7
    R↓
010 - H
    STO 2
    R↓
    STO 1
    R↓
    STO 0
    .
    9
    8
    6
020 3
    STO 3
    F? 1
    GTO 1
    .
    5
    3
    STO 6
    RCL 0
030 1
    8
    6
    x ≤ y
    GTO 3
    x = y
    .
    9
    6
    7
    7
040 LBL 4
    X
    sin
    2
    3
    .
    4
    4
    2
    X
050 LBL 2
    STO 4
    RCL 7
    tan
    1/x
    5

```

```

9
.
8
5
060 +
    RCL 7
    -
    RCL 6
    -
    9
    0
    +
    RCL 4
    +
070 R/S
    F? 1
    GTO 5
    RCL 1
    7
    8
    +
    RCL 3
    X
    sin
080 1
    .
    9
    1
    7
    X
    RCL Σ +
    X
    2
    X
090 sin
    2
    .
    4
    6
    7
    X
    -
    1
    2
100 RCL 2
    -
    1
    5
    X
    +
    R/S
    LBL 5
    RCL 5
    3
110 6
    0
    X
    RCL 3
    RCL 1
    X
    -
    RCL 2
    1
    5
120 .
    0
    4
    1
    X

```

```

.
R/S
LBL 1
R/S
STO 5
130 CLX
    STO 6
    R↓
    GTO 2
    LBL 3
    -
    CHS
    1
    .
    0
140 0
    5
    6
143 GTO 4

```

Mode d'emploi

Introduire le nombre de jours écoulés depuis le 21 mars dernier, faire ENTER puis écrire le nombre de jours écoulés depuis le 22 septembre dernier, faire ENTER, écrire l'heure d'observation puis, après ENTER, la hauteur HR.

1° Si l'on utilise le Soleil, faire A : la latitude, puis la longitude apparaissent (faire R/S).

2° Si l'on utilise une étoile, faire B. A l'arrêt de la machine, introduire DELTA, puis, après ENTER, ALPHA, et faire R/S: la latitude, puis la longitude apparaissent.

Exemple

1° Utilisation du Soleil

Le 2 septembre 1980 à 13 h 45 TU sur l'horloge de bord, la hauteur du Soleil est relevée lors de son passage au méridien : HR = 59.8°.

2° Utilisation d'une étoile

Le 2 septembre 1980, à 22 h 54 TU, la culmination d'Altaïr s'effectue pour HR = 61°.

Sur TI:

1° Exécuter la séquence : 902 A, 13.45 B, 59.8 C, A' : LAT = 37.82° nord. LONG = -23.02° = 23.02° W

2° Faire 902 A, 22.54 B, 61 C, 0.8264 D, 8.81 E, B'. LAT = 37.82° N, LONG = -386.22°, soit -26.22°, ou 26.22° W

Sur HP:

1° Faire 165 ENTER, 344 ENTER, 13.45 ENTER, 59.8 A : apparaît LAT = 37.82°, puis LONG = -23.02° = 23.02° W

2° Faire 165 ENTER, 344 ENTER, 22.54 ENTER, 61 B; puis 8.81 ENTER et 0.8264 R/S. LAT = 37.82° N, LONG = -386.22°, soit -26.22° ou 26.22° W.

Pierre KOHLER

Programmation Daniel FERRO □