

Calculer l'azimut du lever et du coucher du soleil

Pour beaucoup, l'astronomie apparaît comme un domaine réservé aux grands mathématiciens, le moindre calcul paraissant nécessiter des connaissances et des moyens démesurés. Le Verrier, en 1846, n'avait-il pas noirci 250 pages d'équations pour déterminer la position de Neptune à partir des perturbations subies par Uranus ? ! Cette anecdote suffirait à décourager les plus téméraires...

En fait, l'apparition des calculatrices de poche permet maintenant d'effectuer facilement et rapidement des calculs qui auraient naguère nécessité plusieurs journées de travail. En outre, bien des calculs astronomiques ne sont ni longs ni complexes, et un certain nombre d'entre eux peuvent rendre des services aux astronomes amateurs (correction de précession ou détermination du temps sidéral par exemple). Il existe aussi une foule de calculs astronomiques amusants ou instructifs, qui ne manqueraient pas de passionner même ceux qui ne suivent pas de très près les choses du ciel.

Dans le cadre de « Science et Jeux » nous inaugurons ainsi une nouvelle rubrique, dans laquelle nous développerons chaque mois un calcul original, susceptible d'applications pratiques.

Nous avons demandé à Pierre Kohler, astronome à l'Observatoire de Meudon, de détailler dans chaque cas, d'une part un organigramme simplifié, d'autre part 2 programmes complets correspondant aux calculatrices utilisant le système AOS (Texas-Instruments) et à celles qui emploient la notation « polonaise inverse » (Hewlett-Packard). Ceux qui possèdent des modèles performants avec possibilité d'enregistrement des programmes sur carte magnétique (TI-59 et HP par exemple) pourront alors, progressivement, se constituer une véritable bibliothèque de programmes astronomiques.

Nous vous proposons, ce mois-ci, un exercice permettant de calculer l'azimut du soleil à son lever et à son coucher, suivant votre latitude et l'époque de l'année.

Chacun sait qu'aux équinoxes (printemps, automne) l'astre se lève exactement à l'Est et se couche exactement à l'Ouest, mais ce n'est plus le cas aux autres dates de l'année. (voir dessin page de droite). Le programme de calcul qui suit vous permettra donc de déterminer très précisément la direction correspondante. Pour cela il est nécessaire de connaître deux valeurs :

- une constante : votre latitude. Si vous ne la connaissez pas déjà, vous la déterminerez par interpolation sur une carte de l'IGN ou sur un atlas détaillé. Précision

nécessaire : 0,1° ;

- une variable : la déclinaison du Soleil. Cette valeur correspond à la « latitude » de l'astre par rapport à l'équateur céleste, et oscille entre + et - 23° 27' ; telle est, du moins, la valeur indiquée dans la plupart des livres d'astronomie. En fait, elle décroît régulièrement et vaut très exactement 23° 26' 30,8" actuellement, soit 23,44189° en notation décimale ; dans le cas qui nous intéresse, nous pouvons nous contenter de la valeur arrondie 23,442°.

Certaines tables astronomiques indiquent la déclinaison du soleil pour chaque jour de l'année, mais il sera plus commode de la déterminer dans le cours même du programme, car elle prend la forme d'une fonction sinusoïdale.

PROGRAMME DE CALCUL DES DIRECTIONS DE LEVER ET COUCHER DU SOLEIL

Formule de calcul

$$\text{Azimut coucher} = A + \frac{0,6}{\text{tg}(90 - \varphi + \delta)}$$

$$\text{avec } \cos A = - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$$

φ : latitude du lieu choisi

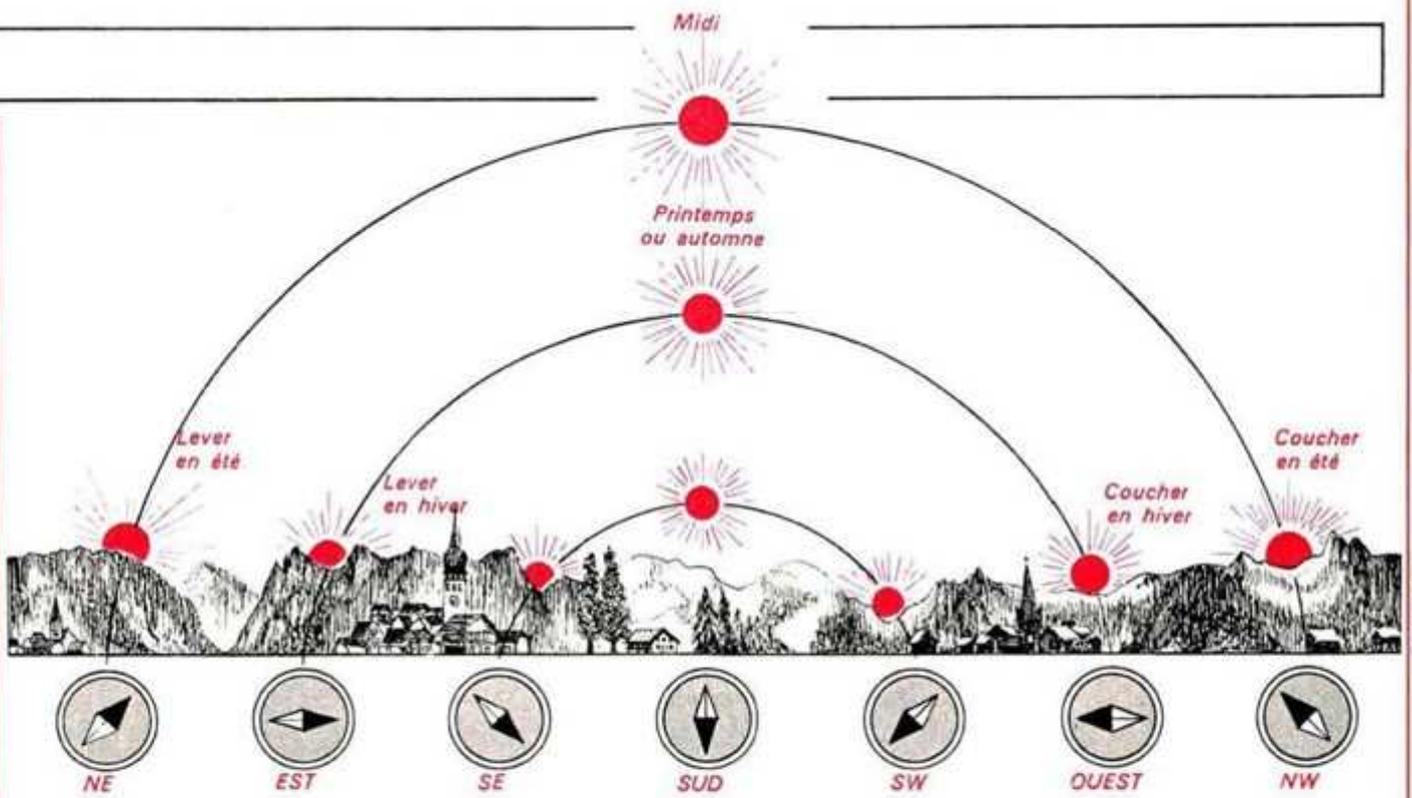
δ : déclinaison du Soleil

$$\delta = 23,442 \sin \left(\frac{360 n}{n'} \right)$$

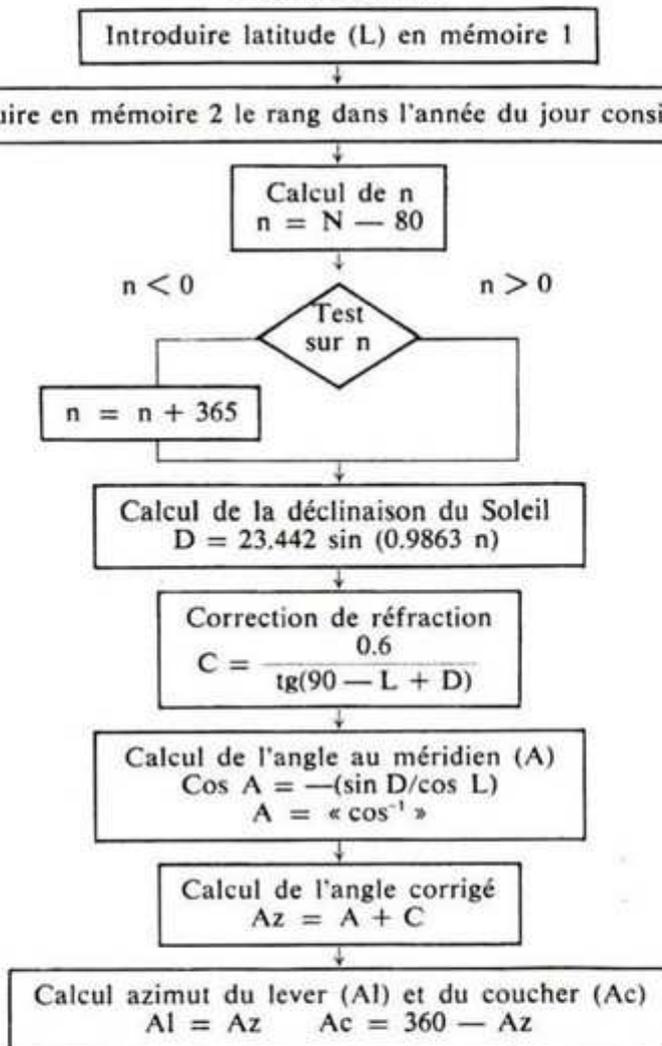
n : nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps (où $\delta = 0$)

n' : nombre de jours dans l'année (365 ou 366)

Nota : Comme les calculatrices, nous sacrifions à l'usage anglo-saxon remplaçant dans l'écriture des nombres la virgule par un point.



Organigramme



Nota : certaines calculatrices donnent directement N à partir du jour et du mois, à l'aide d'un programme interne. Sinon l'on trouvera cette valeur sur certains agendas. « n » est le nombre de

jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps. Pour les années bissextiles on aura ainsi $n = N - 81$, et plus loin, dans le calcul de D :
 $D = 23.442 \sin (0.9836 n)$

Programme sur Texas-59



Mettre en mode programme :
touche LRN

- (2nd)
- 0 Lbl
- 1 A
- 2 STO
- 3 01
- 4 R/S
- (2nd)
- 5 Lbl
- 6 B
- 7 STO
- 8 02
- 9 R/S
- 10 RCL
- 11 02
- 12 —

13 80 (81 si année bissextile)
 15 =
 16 STO
 17 03
 18 0
 19 (x ⇒ t)
 20 RCL
 21 03
 (2nd)
 22 $x \geq t$
 23 34
 25 RCL
 26 03
 27 +
 28 365 (366 si année bissextile)
 31 =
 32 STO
 33 03
 34 .
 35 9 863 (9 836 les années bissex-
 les)
 39 ×
 40 RCL
 41 03
 42 =
 (2nd)
 43 sin
 44 ×
 45 23
 47 .
 48 442
 51 =
 52 STO
 53 04
 54 90
 56 —
 57 RCL
 58 01
 59 +
 60 RCL
 61 04
 62 =
 (2nd)
 63 tan
 64 1/x
 65 ×
 66 .
 67 06
 68 =
 69 STO
 70 05
 71 RCL
 72 04
 (2nd)
 73 sin
 74 +/-
 75 STO
 76 06
 77 RCL
 78 01
 (2nd)
 79 cos
 80 STO
 81 07
 82 RCL
 83 06
 84 ÷
 85 RCL
 86 07
 87 =
 88 INV
 (2nd)
 89 cos

90 +
 91 RCL
 92 05
 93 =
 94 STO
 95 08
 96 R/S (1^{er} résultat)
 97 95 360
 100 —
 101 RCL
 102 08
 103 =
 104 R/S (2^e résultat)
 LRN

Après quoi il suffit d'entrer la valeur de L (latitude) en A, celle de N (rang du jour dans l'année) en B.

Faire R/S : affichage 1^{er} résultat (azimut coucher du soleil).

Faire R/S : affichage 2^e résultat (azimut lever du soleil).

Programme sur HP 33 E



PRGM
 f PRGM
 1 80 (81 les années bissextiles)
 3 —
 4 ENTER ↑
 5 . 9 863 (, 9 836 les années bis-
 sextiles)
 10 ×
 11 f sin
 12 ENTER ↑
 13 23.442
 19 X
 20 STO
 21 RCL 1
 22 CHS
 23 ENTER ↑
 24 90
 26 +
 27 ENTER ↑
 28 RCL 2
 29 +
 30 f tan

31 g 1/x
 32 ENTER ↑
 33 . 6
 36 STO 3
 37 RCL 2
 38 f sin
 39 CHS
 40 ENTER ↑
 41 RCL 1
 42 f cos
 43 ÷
 44 g cos⁻¹
 45 ENTER ↑
 46 RCL 3
 47 +
 RUN

Pour démarrer le calcul :

1) Introduire la *latitude* du lieu en mémoire 1.

2) Se replacer en début de programme par GTO 00.

3) Introduire la *latitude* du lieu en mémoire 1.

(L) STO 1.

4) Introduire le *rang* dans l'année du jour considéré, dans le programme.

(N) ENTER 1.

5) Appeler le résultat par la touche R/S.

Ce résultat correspond à l'azimut du Soleil à son *coucher*. L'azimut du lever est symétrique par rapport au Sud et s'obtient donc en retranchant l'azimut coucher de 360.

Azimut lever = 360 — azimut coucher.

Précisons que les azimuts astronomiques sont comptés positivement vers l'ouest. Nous avons ainsi 90° pour l'ouest et 270° pour l'est ; le sud-ouest correspond à 45°, le sud-est à 215°, etc.

Notre programme de calcul tient compte de l'effet de réfraction atmosphérique ; le fait de la négliger introduirait une erreur de 0,3" en été et 1,9" en hiver, pour Paris, sur la direction des azimuts ainsi déterminés.

On remarquera qu'au-delà du cercle polaire (L = 66,6") le calcul est impossible lors des solstices, car l'on a $\cos A = 1$. C'est tout à fait conforme à la réalité puisqu'il n'y a alors ni lever ni coucher du Soleil (jour ou nuit polaires).

Une fois cet organigramme programmé, vous pourrez calculer rapidement les directions du Soleil à son lever ou à son coucher, pour différentes époques ou différents lieux de la Terre. Contrôle : pour Paris (48,9" de latitude), coucher par 127,5" d'azimut le 21 juin (N = 172"), ce qui correspond, à 8" près, à la direction du nord-ouest.

Pierre KOHLER □