

Pour changer la date de référence il faut ajuster empiriquement le périhélie et l'écart Solstice/Périhélie.

Calculateurs programmables

Programme de calcul de la position solaire

Le problème est un peu plus compliqué. Du fait de l'orbite elliptique du couple Terre-Lune autour du soleil et de quelques autres phénomènes moins évidents, le passage du soleil au méridien local ne se fait que très rarement à midi juste : l'erreur peut atteindre des valeurs importantes, de l'ordre de + 14 minutes en février et de - 16 minutes fin novembre (fig. 1).

« L'équation du temps » sera résolue par la méthode de Newton et la boucle itérative est une des parties intéressantes de ce programme dont la partie spécifique au calcul des coordonnées solaires commence à la ligne d'instruction 080 et se termine en 185. Ces instructions viendront se loger dans l'espace que vous avez maintenu disponible à cet effet lors de l'article précédent consacré aux calculs stellaires.

La suite du programme (à partir de la ligne 186) fournit l'ascension

droite, α , et la déclinaison, δ , solaires puis le temps sidéral local, TSL. Le calcul des coordonnées solaires s'effectue ensuite comme pour les étoiles, mais en appuyant sur la touche \square (1).

Les calculs ci-dessus font un large emprunt à un article de Gaston Bouchignart qui évoquait lui-même les nouvelles possibilités des machines programmables, à une époque où la Texas TI 59 n'existait pas encore.

« The Nautical Almanac » : utilisation du programme C'

Les navigateurs utilisent souvent les éphémérides anglo-américaines : The Nautical Almanac dont les informations sont données pour chaque heure ronde afin de faciliter les interpolations.

Le module Marine Navigation, de Texas Instruments, possède un certain nombre de programmes internes spécialement conçus pour l'utilisation directe de ces données. Le programme ASTRONAV, par ses possibilités de généralisation en

tous domaines, est un peu moins spécialisé. Il traite cependant, mais d'une façon différente, des calculs relatifs au soleil, à la lune, aux planètes et aux étoiles, à partir des informations du Nautical Almanac.

Ces informations se présentent sous la forme GHA (Angle Horaire de Greenwich) et Declination (Déclinaison), avec indications de v et d , grandeurs facilitant l'interpolation.

Le programme C', qui commence à la ligne 510 et finit à la ligne 556, convertit les informations d'entrée en degrés décimaux, puis reconstitue l'angle horaire local AH. Après quoi on calcule les informations ascension droite et déclinaison locales, plus faciles à intégrer dans la suite d'ASTRONAV. Ces données sont alors aiguillées vers le label CE (à partir de l'instruction GTO-CE, lignes 555 et 556) et non vers EE comme c'est le cas dans les autres branches, car il est inutile d'appliquer ici le programme de correction de nutation/précession. La suite du programme est inchangée, et donne l'angle de site, H, et l'angle d'azimut, Z.

Le tableau 1 indique la nature des données à entrer dans le calculateur en fonction des éléments que l'on veut traiter : Soleil, Lune, Planètes, Étoiles. Ces données sont représentées par un \times lorsqu'elles interviennent dans un calcul (leur valeur étant lue dans les tables du Nautical Almanac) et par 0 lorsqu'elles n'entrent pas en ligne de compte.

On remarquera que pour les calculs concernant les étoiles, ce n'est pas l'Angle Horaire de Greenwich (GHA) de l'étoile considérée que l'on trouve mais celui de la constellation Aries auquel il faut ajouter l'Angle Horaire Sidéral (SHA) de l'étoile considérée. (On utilise la constellation Aries car elle contient le point Vernal, ce qui offre une référence.)

La dernière colonne du tableau indique quelle touche appuyer après l'introduction de chaque donnée.

La mémoire M06 (2) contient le

(1) Voir l'organigramme complet, figure 6, page 112, de la partie précédente de cet article : Micro-Systèmes de septembre-octobre 1979, n° 7.

(2) Dans la première partie de cet article, par suite d'une erreur typographique, il a été donné pour K1 la valeur 0,1459 au lieu de 15, dans le tableau 4, page 115. Il se trouve que cette erreur n'avait aucune influence puisque K1 n'intervenait pas dans cette première partie du programme.

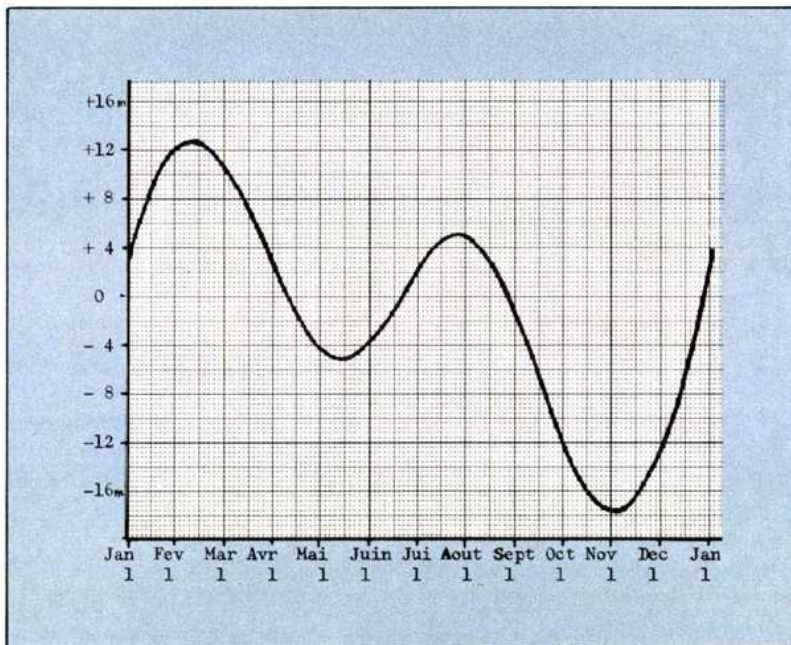


Fig. 1. — Le passage du soleil au méridien local ne se fait que très rarement à midi juste. L'erreur peut atteindre + 14 minutes en février et - 16 minutes fin novembre

nombre 15, correspondant à K1, gradient d'accroissement de l'angle horaire valable pour les calculs relatifs au soleil et aux planètes.

Pour les calculs lunaires, on introduira K1 = 14,31666667 en M06 (STO 06) avant de commencer. De même pour les calculs stellaires, il faudrait introduire K1 = 15,04093333. En fait dans ce dernier cas il est bien plus simple d'utiliser le programme ASTRONAV grâce au traitement des étoiles présélectionnées par la touche D.

Ce nota concerne donc pratiquement les seuls calculs de position de la lune.

Changement de la date de référence

Voyons quelles sont les opérations préliminaires à effectuer :

— Stocker la nouvelle date de référence en M 23.

— Stocker le temps sidéral de Greenwich correspondant en M 22. Ce temps doit être exprimé en degrés décimaux.

— Stocker le périégée de l'année de référence, en jours décimaux, en M 11.

— Stocker en M 27 la valeur de Δ qui s'obtient par la formule :

$$\Delta = - \left[\frac{(\text{Périégée} + \text{Solstice hiver précédent}) \cdot 360}{\text{Année tropique}} - 90^\circ \right]$$

La valeur de l'Année tropique se trouve dans la mémoire M 21.

Exemple d'application :

— Ancienne date de référence : 1^{er} janvier 1975 ;

— Nouvelle date de référence : 1^{er} janvier 1978.

Faire :

$$101,1978 \text{ STO } 23$$

— Temps sidéral de Greenwich le 1^{er} janvier 1978 à 0 heure TS = 6 H 41 m 10,15001 S, ce qui fait, en composant la fonction 2 nd DMS, en heures décimales : TS

Nautical Almanac : nature des données à introduire dans le calculateur					
Format d'entrée : un GHA de 224° 24',4" s'écrit 224°, 24'24" (1/10 de min = 6")					
Nature des données à entrer : toutes les données en DDD, mm ss	Nature de l'élément recherché				Puis appuyer sur la touche
	Soleil	Lune	Planète	Etoile	
Entrer GHA	×	×	×		C'
Entrer GHA (Aries) + SHA				×	C'
Entrer V		×	×		R/S
Entrer V = 0	0			0	R/S
Entrer la déclinaison	×	×	×	×	R/S
Entrer d	×	×	×		R/S
Entrer d = 0				0	R/S

Tableau 1. — Poursuite automatique du programme et calcul du site H et de l'Azimut Z.

= 6,68615278 H ; en multipliant ceci par 15, on obtient un résultat en degrés décimaux TS = 100,2922917°.

Faire :

$$100,2922917 \text{ STO } 22$$

— Périégée 1978 au 1^{er} janvier à 23 h, soit en jours décimaux 23/24 = 0,9583333337. Stocker cette

— Ce qui donne :

$$\Delta = - \left[\frac{10,98 \cdot 360}{365,24211916} - 90 \right]$$

$$\Delta = 79,1729$$

Stocker ce résultat en M 27 en faisant :

$$\text{STO } 27$$

A partir de ces bases les résultats bruts sont erronés, l'erreur pouvant dépasser $\pm 1^\circ$. Il faut ajuster **empiriquement** les paramètres suivants :

● L'anomalie moyenne M est fonction directe du périégée (M 11).

● Δ intervient directement dans le calcul de la longitude moyenne (M 27).

C'est en jouant sur les valeurs de ces deux grandeurs que l'on réussira à retrouver la précision initiale. Faire d'abord varier M 11 et M 27 de la même petite quantité, en sens inverse du signe de l'erreur. La vérification se dégrossira plus facilement en traçant une courbe de l'erreur de passage au méridien, annuelle, en trois points. On prendra par exemple le 1^{er} janvier le 1^{er} juillet et le 1^{er} janvier suivant. L'étape suivante consistera à

Sauf sur le méridien 0° le midi vrai du lieu ne correspond pas au midi légal.

Calculateurs programmables

faire varier différentiellement les deux valeurs pour « annuler la bosse » positive ou négative que présentera presque inévitablement la courbe.

Mais ce n'est qu'après de fines retouches sur les **décimales lointaines** et au vu de la courbe **complète** portant au moins sur **deux ans**, que l'on pourra valider le programme pour les années à venir...

A l'issue de ces différents réglages empiriques, les coefficients initialement retenus sont devenus respectivement :

- pour une date de référence qui est passé du 1^{er} janvier 1975 au 1^{er} janvier 1978 :

$$(101,1978 \text{ [ST0] [23]})$$

- le périégée est devenu 2,245 :

$$\text{[ST0] [11]}$$

- l'écart Solstice/Périégée est passé à :

$$\Delta = 77,5 : \text{[ST0] [27]}$$

Remarquons qu'il peut arriver que le programme « se boucle » au niveau de l'itération de l'équation du temps (LBL \sqrt{x}) C'est **extrêmement rare**, mais si cela se produisait, il suffirait d'ajouter 1/1000^e de seconde à l'heure introduite en B pour que tout rentre dans l'ordre, sans influence sur le résultat.

On effectuera enfin la mise à jour des étoiles de référence, mémoires N° 28 à 49 de la banque de données. Les valeurs des éphémérides seront converties en degrés décimaux avant stockage.

Dans le **tableau 2**, nous reproduisons les données pour la date de référence du **1^{er} janvier 1978**.

Les résultats sont excellents. Une vérification rétrograde, portant sur les 1^{er} de chaque mois de l'**année 1957** (soit sur plus de vingt ans...) donne une erreur de passage du soleil au méridien toujours **inférieure à ± 1 minute d'arc**.

L'extrapolation vers les années

80 reste bien dans les limites de précisions fixées.

Calcul d'un cadran solaire... en Temps Universel

Des cadrans solaires et de leurs faiblesses

Découvrir un cadran solaire dans la cour d'une ferme ancienne, sur une église ou un bâtiment public, constitue l'un des charmes secrets de la visite attentive de nos villes et de nos campagnes. Les inscriptions qui souvent les encadrent sont même parfois touchantes dans leur grandiloquente concision.

Tableau 2. — Calcul pour le passage du Soleil au méridien de Paris le 1^{er} janvier 1980.

Entrer	Nature	Touche	Résultats	Nature	Touche
48,5024	Latitude	[A]	18,0857	Site : H	[C]
- 2,201382	Longitude	[B]	179,5960	Azimut : Z	[E]
101,1980	Date (1 ^{er} janvier 1980)	[A]			
11,5355159	Heure en Temps Universel T.U	[B]			
Contenu des mémoires					
Valeur	Nature	Mémoire	Valeur	Nature	Mémoire
15	K1	M 06	0,01674	Excentricité	M 17
0,998115	K2	M 07	- 2,337172222	Longitude décimale	M 18
48,84	Latitude décimale	M 08	2,000031196	Année décimale	M 19
0,0056	K3	M 09	281,1170502	Temps Sidéral Local : TSL	M 20
359,999963	A.H. Angle Horaire	M 10	365,2421916	Année Tropicale	M 21
2,245	Périégée	M 11	100,2922917	Temps Sidéral de Greenwich : réf	M 22
360	K4	M 12	101,1978	Date de référence	M 23
730,4957773	Jours décimaux	M 13	281,1170872	Ascension : α	M 24
360,9856426	Facteur de conversion TM/TS	M 14	- 23,05857399	Déclinaison : δ	M 25
0,9173917625	Cos ϵ : ϵ obliquité = 23°27'08"	M 15	0,017202045	2 π /Année Tropicale	M 26
57,29577951	Facteur de conversion Radian/Degré	M 16	77,5	Ecart Δ	M 27

Ces dizaines de milliers de cadrans solaires ont tous deux caractéristiques communes : le soleil leur est nécessaire pour fonctionner..., et secondo, ils sont faux, toujours faux (3), abominablement faux... Un simple coup d'œil sur une montre permet de s'en convaincre immédiatement. Il ne s'agit pas de l'erreur « légale » de une ou deux heures rondes, celle-là est facile à compenser. Non, il s'agit d'une erreur dont l'amplitude atteint facilement un quart d'heure en plus ou en moins.

Cette erreur a deux origines :

- Le midi vrai du lieu ne correspond pas au midi légal. (Il faudrait être situé sur le méridien 0° de Greenwich. Ce qui se trouve réalisé pour certaines villes de l'Ouest et du Sud-Ouest, puisque celui-ci traverse la France par Le Havre, Saumur, Angoulême et Tarbes.) En dehors de cette ligne, il faut corriger l'erreur de longitude.

- L'équation du temps, conjugaison des erreurs dues à l'excentricité de l'orbite terrestre et à l'obliquité du plan équatorial par rapport à cette orbite.

Pour étudier un cadran solaire « juste », il convient d'effectuer ces deux corrections et le programme ASTRONAV est prévu spécialement pour cela...

Nous proposons donc un exemple de cadran solaire mural, donnant l'heure avec précision : un cadran solaire gradué en Temps Universel (TU).

Réalisation

Pour le réaliser, nous avons retenu la solution la plus facile : un cadran sur un mur vertical non-déclinant, c'est-à-dire orienté au sud (4). Il restait à choisir le mode de représentation des corrections afin que ce cadran soit parfaitement compréhensible et lisible pour l'ensemble des utilisateurs. Nous avons choisi et adapté la méthode de Kearns comme l'une des plus évidentes et des plus esthétiques.

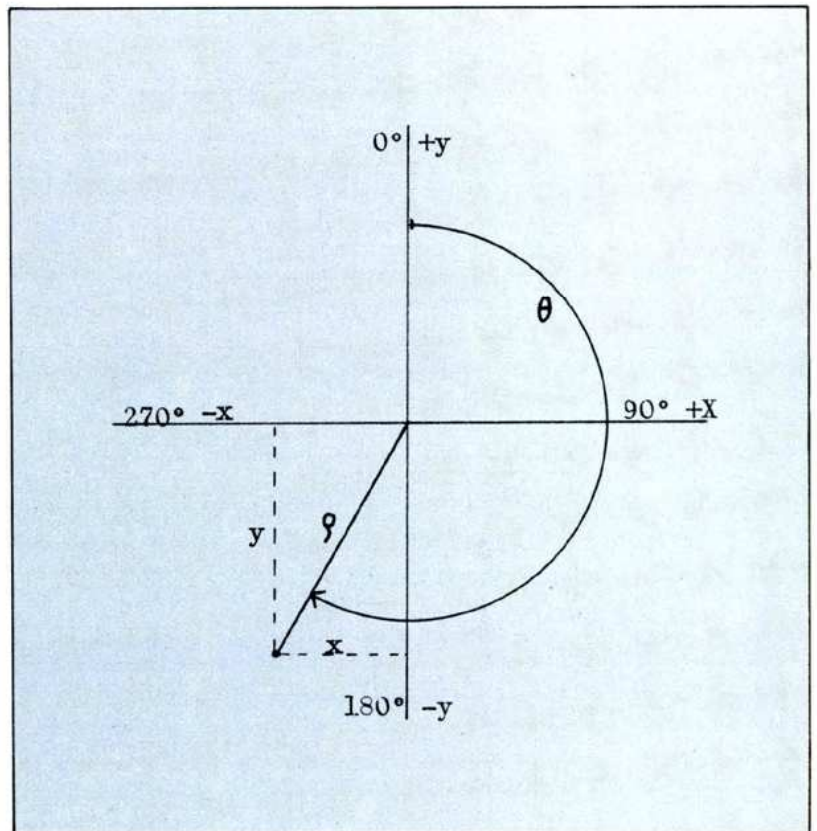


Fig. 2. — Un coefficient de dimension permet de sortir les informations sous la forme X et Y, dans un format correspondant à la taille réelle du cadran.

Modification du programme ASTRONAV

Il faut entrer, tout d'abord, le programme ASTRONAV normal, puis « faire de la place » en supprimant tous les sous-programmes relatifs aux calculs stellaires. Pour cela, nous devons supprimer les labels suivants :

- LBL - E de la ligne 387 à 435
- LBL - D' de la ligne 436 à 445
- LBL - D de la ligne 476 à 498
- LBL - SBR de la ligne 499 à 509
- LBL - C' de la ligne 510 à 556

Par l'instruction INSERT (touches 2^{nd} INS) nous libérons les lignes 022 et 023 pour venir y placer l'instruction ST0 46 juste après LBL A.

Faisons de même à présent en 047 et 048 et inscrivons ST0 45 juste après LBL B. Après l'instruction LBL - LNX (lignes 318 et

319) et l'instruction ST0-10 (lignes 320 et 321), il faut insérer l'instruction GT0-● en 322 et 323 puis entrer le sous-programme du cadran solaire. Vous pourrez le loger entre la ligne 345 et la ligne 443 par exemple, ainsi le sous-programme relatif au « Nautical Almanac » restera intact puisqu'il ne commence qu'en [510].

D'autre part les instructions qui pourraient subsister entre la ligne 323 et le début du sous-programme « Cadran solaire » (qui se fait par l'instruction LBL ●) ne génèrent absolument pas puisqu'elles seront occultées par l'instruction [GT0●].

Cette modification permet d'obtenir les informations θ et ρ de la direction de l'ombre après introduction du rayon ρ de chaque mois.

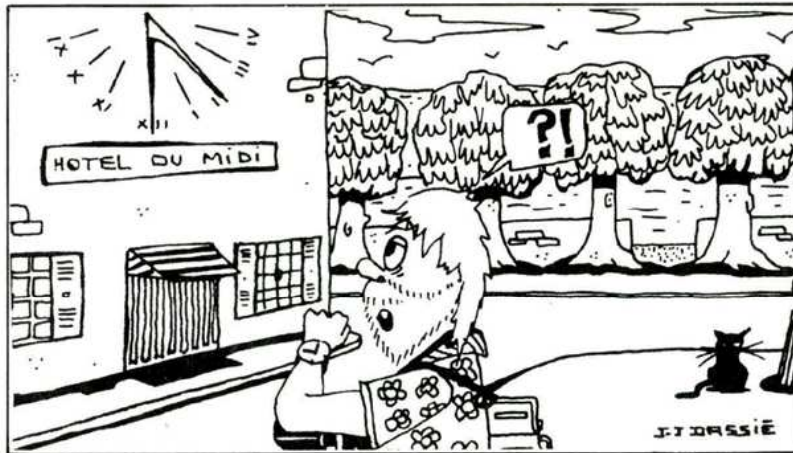
Ce rayon commande l'espacement entre les arcs de cercle mensuels, et joue sur l'esthétique générale de la figure. Un coefficient de

(3) Sauf exception rarissime. Voir Midi au soleil.

(4) Pour une autre orientation du mur, se reporter à Bourges et Fulcrand.

Le passage du soleil au méridien local ne se fait que très rarement à midi juste...

Calculateurs programmables



Les cadrans solaires sont faux, toujours faux, abominablement faux...

dimension permet d'obtenir les informations sous la forme x et y, dans un format correspondant à la taille réelle du cadran (fig. 2)

Ce programme effectue des calculs enchaînés fournissant automatiquement le listing complet annuel des points horaires. Si l'on ne dispose pas de l'imprimante, il est nécessaire de remplacer dans le LBL• les instructions PRT par R/S.

Application

- Entrer le rayon maximum en M 48.

- Entrer l'incrément ou le décré- ment du rayon, par 1/2 mois, en M 44.

- Entrer en M 49 le coefficient de dimension. S'il n'y en a pas, entrer 1.

- Entrer la latitude en [A'] et la longitude en [B'].

- Entrer la date du 1^{er} du mois correspondant au mois de rayon maximum, faire [A].

- Entrer l'heure du premier point horaire, faire [B]

A partir de là, le programme va se dérouler **automatiquement** et calculer les coordonnées de l'ombre du style pour **toutes les**

heures de la journée, pour les 1^{er} et 15 de chaque mois, pendant un an.

Le tableau 3 donne la procédure de mise en œuvre du calcul et reproduit partiellement les résultats.

Lorsque l'on aura atteint le cercle mensuel intérieur de la moitié externe du cadran, correspondant au 31 octobre, on recommencera ces opérations en prenant pour R_{max} le rayon maximum de la moitié interne du cadran, correspondant au 1^{er} novembre.

L'espace ainsi ménagé permettra d'inscrire les heures.

Il est important de noter que les calculs automatiques fonctionnent de 6 heures à 18 heures. On ne retiendra pour le tracé que les heures correspondant à une ombre effective sur le plan du cadran : azimut de l'ombre supérieur à 90° et inférieur à 270°, site supérieur à 0°.

Pour obtenir la position des points pour les 1/2 heures intercalaires, il suffit de recommencer la même procédure mais en rentrant, pour l'heure du premier point horaire, 6 h 30 (faire 6.30 [B]).

Résultats

La figure 3 montre le tracé d'un cadran conçu pour la région de Royan. Les mois sont disposés

Tableau 3. — Calcul d'un cadran solaire en Temps Universel.

Données d'entrée			Résultats						Données d'entrée		
Nature des données	Valeurs à introduire	Appuyer sur les touches	MOIS	MAI		NOVEMBRE		Appuyer sur les touches	Valeurs à introduire		
				Chgt auto du mois — oct.		Chgt auto du mois — avril					
			Date	7 H	17 H	7 H	17 H				
Rayon maximum	140	[STO] [48]	1	Angle	249°	110,9°	Angle	223,8°	261,3°	[STO] [48]	77
Incr. ou décré- ment	- 3,5	[STO] [44]		Rayon	140	140	Rayon	77,0	77,0	[STO] [44]	- 3,5
Coeff. de dimension	1,5	[STO] [49]		X	- 196,0	196,2	X	- 80	- 114,2	[STO] [49]	1,5
				Y	- 75,3	- 74,8	Y	- 83,3	- 17,4		
			Date	6 H	7 H	6 H	7 H				
Latitude	45,34	[A']	15	Angle	269,6°	248,7°	Angle	241,4°	224,1°	[A']	45,34
Longitude	0,3943	[B']		Rayon	136,5	136,5	Rayon	73,5	73,5	[B']	0,3943
Date = R _{max} (1 ^{er} mai 79)	501,1979	[A]		X	- 204,7	- 190,8	X	- 96,8	- 76,7	[A]	1101,1979
Heure 1 ^{er} point (7 H)	7	[B]		Y	- 1,4	- 74,4	Y	- 52,8	- 79,2	[B]	7

Programme ASTRONAV : Listing

(suite et fin)

Calcul des coordonnées solaire	150 32 X:T	538 04 04	378 43 RCL
	151 43 RCL	539 95 =	379 49 49
	152 01 01	540 71 SBR	380 54 >
	153 77 GE	541 60 DEG	381 99 PRT
	154 79 X	542 42 STD	382 32 X:T
	155 43 RCL	543 24 24	383 65 X
080 76 LBL	156 00 00	544 91 R/S	384 43 RCL
081 13 C	157 61 GTD	545 10 E'	385 49 49
082 43 RCL	158 44 SUM	546 85 +	386 54 >
083 13 13	159 76 LBL	547 91 R/S	387 99 PRT
084 75 -	160 79 X	548 10 E'	388 22 INV
085 43 RCL	161 43 RCL	549 65 X	389 58 FIX
086 11 11	162 12 12	550 43 RCL	390 98 DIV
087 54 >	163 75 -	551 04 04	391 01 1
088 65 X	164 43 RCL	552 95 =	392 08 8
089 43 RCL	165 00 00	553 42 STD	393 32 X:T
090 26 26	166 54 >	554 25 25	394 43 RCL
091 54 >	167 76 LBL	555 61 GTD	395 45 45
092 42 STD	168 44 SUM	556 24 CE	396 77 GE
093 01 01	169 75 -		397 85 +
094 70 RAD	170 43 RCL	Programme de modification pour calcul d'un cadran solaire	398 01 1
095 76 LBL	171 27 27		399 44 SUM
096 34 FX	172 54 >		400 45 45
097 38 SIN	173 71 SBR		401 86 STF
098 65 X	174 60 DEG		402 08 08
099 43 RCL	175 42 STD		403 43 RCL
100 17 17	176 00 00		404 45 45
101 85 +	177 29 CF		405 61 GTD
102 43 RCL	178 77 GE	020 76 LBL	406 12 B
103 01 01	179 45 YX	021 11 A	407 76 LBL
104 54 >	180 43 RCL	022 42 STD	408 85 +
105 48 EXC	181 12 12	023 46 46	409 43 RCL
106 03 03	182 44 SUM	045 76 LBL	410 44 44
107 32 X:T	183 00 00	046 12 B	411 44 SUM
108 43 RCL	184 43 RCL	047 42 STD	412 48 48
109 03 03	185 00 00	048 45 45	413 87 IFF
110 67 EQ			414 01 01
111 35 1/X	Utilisation des données du « NAUTICAL ALMANAC »	314 76 LBL	415 75 -
112 61 GTD		315 23 LNX	416 86 STF
113 34 FX		316 42 STD	417 01 01
114 76 LBL		317 10 10	418 01 1
115 35 1/X		318 61 GTD	419 04 4
116 65 X		319 93 .	420 44 SUM
117 43 RCL		345 76 LBL	421 46 46
118 16 16		346 93 .	422 76 LBL
119 54 >	* Soleil, planètes, lune et étoiles	347 65 X	423 65 X
120 60 DEG		348 01 1	424 43 RCL
121 71 SBR		349 94 +/-	425 46 46
122 60 DEG	510 76 LBL	350 85 +	426 71 SBR
123 42 STD	511 18 C'	351 03 3	427 11 A
124 01 01	512 10 E'	352 06 6	428 06 6
125 39 CDS	513 32 X:T	353 00 0	429 42 STD
126 42 STD	514 43 RCL	354 54 >	430 45 45
127 00 00	515 20 20	355 30 TAN	431 61 GTD
128 75 -	516 75 -	356 65 X	432 12 B
129 43 RCL	517 53 (	357 43 RCL	433 76 LBL
130 17 17	518 32 X:T	358 08 08	434 75 -
131 54 >	519 75 -	359 39 CDS	435 08 8
132 55 +	520 43 RCL	360 54 >	436 06 6
133 53 (	521 18 18	361 22 INV	437 44 SUM
134 01 1	522 85 +	362 30 TAN	438 46 46
135 75 -	523 53 (	363 85 +	439 22 INV
136 53 (	524 91 R/S	364 01 1	440 86 STF
137 43 RCL	525 10 E'	365 08 8	441 01 01
138 17 17	526 65 X	366 00 0	442 61 GTD
139 65 X	527 43 RCL	367 54 >	443 65 X
140 43 RCL	528 04 04	368 58 FIX	
141 00 00	529 22 INV	369 01 01	
142 95 =	530 59 INT	370 99 PRT	
143 22 INV	531 42 STD	371 32 X:T	
144 39 CDS	532 04 04	372 43 RCL	
145 42 STD	533 85 +	373 48 48	
146 00 00	534 43 RCL	374 99 PRT	
147 01 1	535 06 06	375 32 X:T	
148 08 8	536 65 X	376 37 P/R	
149 00 0	537 43 RCL	377 65 X	

Valeurs de k,
gradient horaire
du GHA :

Soleil = 15°/heure
Planètes = 15°/heure
Lune = 14,3166667°/h
Etoiles = 15,0409333°/h
(d'après The Nautical
Almanac)

En écrivant à la rédaction de Micro-Systèmes, vous pourrez obtenir une bibliographie complète (prévoir une enveloppe timbrée à votre adresse pour le retour).