

O R S T O M



SERVICE HYDROLOGIQUE

ORIENTATION DES ANTENNES D'EMISSION
AUX STATIONS DE TELETRANSMISSION
VIA LES SATELLITES GEOSTATIONNAIRES

p a r

Jacques CALLEDE

O.R.S.T.O.M.

Fonds Documentaire

N° : 81/79/00548

Cote : B-

Date : 12 AOUT 1981

~~29 AVR. 1979~~

~~O. R. S. T. O. M.~~

~~Collection de Référence~~

~~N° 8634 Hydr.~~

~~MARS 1979~~

ORIENTATION DES ANTENNES D'EMISSION
AUX STATIONS DE TELETRANSMISSION
VIA LES SATELLITES GEOSTATIONNAIRES

Les stations terrestres de télétransmission utilisant un satellite géostationnaire sont équipées d'une antenne d'émission (ayant un diagramme de rayonnement très directif) pointée vers le satellite. En effet, le satellite paraissant immobile par rapport à l'observateur au sol, cette particularité permet l'usage de ce type d'antenne, autorisant ainsi à diminuer la puissance à l'émission et, par voie de conséquence, la consommation électrique.

Dans ce qui va suivre, nous allons examiner :

- la détermination des valeurs de calage (en site et azimuth),
- la réalisation pratique du calage de l'antenne.

A. - DETERMINATION DES VALEURS DU CALAGE (figure 1)

Soit la sphère terrestre, avec sa ligne des pôles P'P, une station S et un satellite géostationnaire M.

Le satellite est sur le plan de l'équateur et la droite MO, entre le centre de la terre et le satellite, coupe la terre en E, point caractérisé par la longitude de positionnement du satellite.

Les valeurs constantes admises sont :

$$OE = 6\ 370\ \text{km}, \quad EM = 35\ 790\ \text{km}, \quad OM = 42\ 160\ \text{km}.$$

De même, la valeur de l'arc PS caractérise la colatitude de S (si L = latitude de S, la colatitude est $90^\circ - L$).

Le problème à résoudre consiste à déterminer l'azimut géographique (valeur du trièdre P \hat{S} M) et le site ($90^\circ - \hat{H}$).

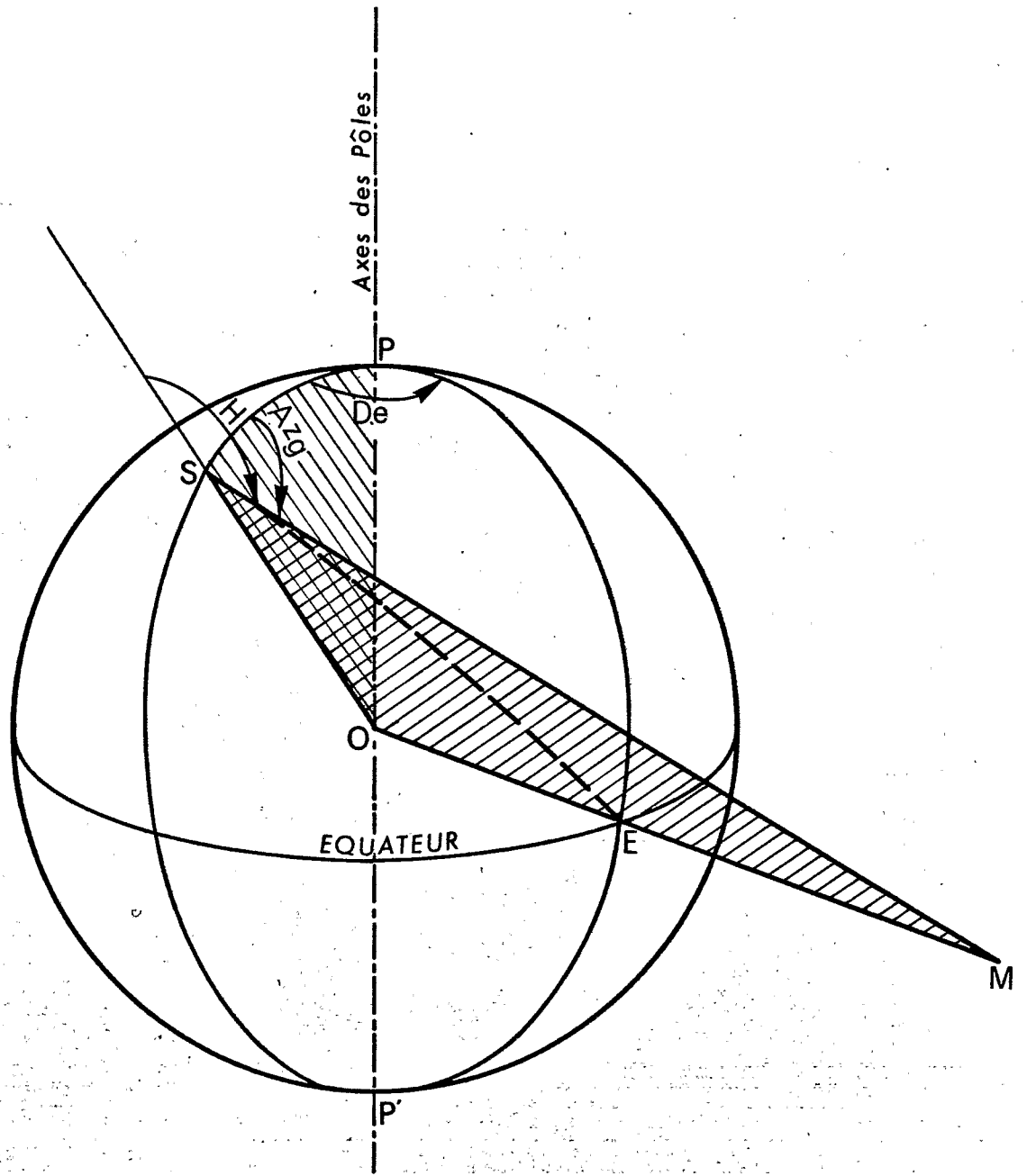


Fig-1. ELEMENTS DE CALAGE

1°/ - Calcul de l'Azimut géographique

Soit le triangle sphérique P S E .

La formule de base est :

$$\cos SE = \cos 90^\circ \cos (90^\circ - L) + \sin 90^\circ \sin (90^\circ - L) \cos De$$

qui devient

$$\cos SE = \cos L \cdot \cos De \quad (1)$$

ayant calculé SE, nous employons la relation :

$$\frac{\sin SE}{\sin De} = \frac{\sin PE}{\sin Azg}, \quad \text{ce qui donne}$$

$$\sin Azg = \frac{\sin De}{\sin SE} \quad (2)$$

2°/ - Calcul du Site

Nous travaillons dans le plan SOM ,

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} H &= \frac{OM \sin SE}{OM \cos SE - OS} = \frac{\sin SE}{\cos SE - \frac{OS}{OM}} \\ &= \frac{\sin SE}{\cos SE - 0,15109} \quad (3) \end{aligned}$$

H représente la distance zénithale, c'est-à-dire l'angle vertical compté depuis le zénith.

3°/ - Programmation sur calculateur HEWLETT - PACKARD

(voir Annexe n° 1)

B. - CALAGE DE L'ANTENNE

Une fois la station installée, l'antenne doit être calée correctement en direction du satellite.

La précision requise n'est pas très importante, le lobe de rayonnement ayant une ouverture d'une dizaine de degrés. Néanmoins, afin d'obtenir les

meilleures performances possibles, il conviendra de caler l'antenne à 1 ou 2 degrés près.

1°/ - Calage du Site

Le système le plus astucieux, imaginé par le Service Hydrologique Québécois, consiste à employer un gabarit en contreplaqué. En forme de triangle rectangle, ce gabarit est taillé en fonction de l'angle de site. La référence est soit un niveau de maçon, soit un fil à plomb (figure 2).

2°/ - Calage en Azimut

On peut utiliser :

- la boussole,
- les procédés astronomiques,
- le gyroscope.

a) - La Boussole

C'est le procédé le plus simple, mais qui risque de donner des erreurs souvent importantes.

Il est nécessaire d'employer un instrument de bonne qualité, si possible un compas (c'est-à-dire un instrument où la rose des vents, mobile, porte l'aimant), ou un théodolite muni d'un déclinateur.

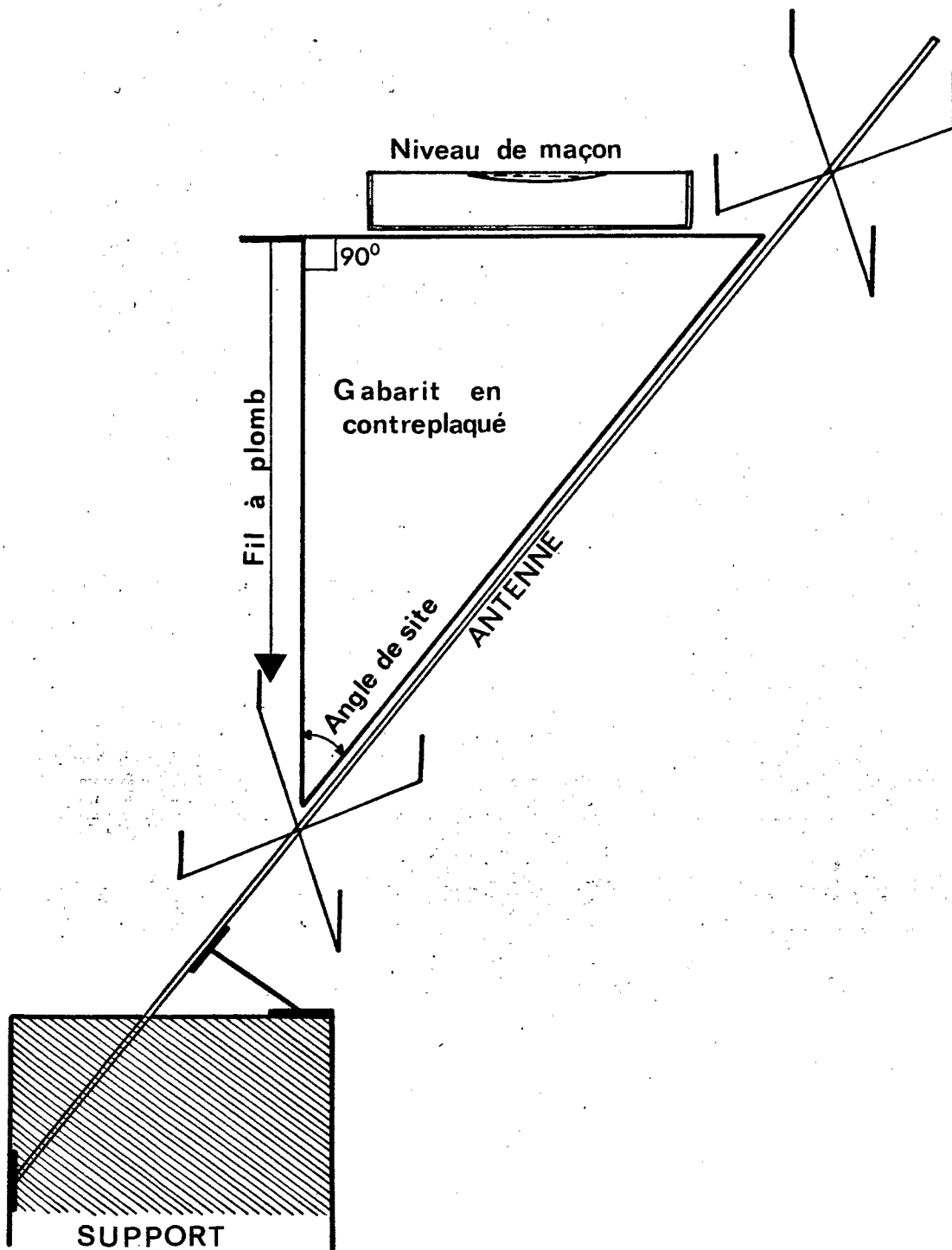
Un contrôle préalable de l'instrument s'impose, en effectuant un "tour d'horizon" sur des points éloignés dont on connaît l'azimut géographique (mesuré graphiquement sur une carte, par exemple). Ce contrôle est obligatoire si l'on utilise un théodolite avec déclinateur.

Le passage de l'azimut géographique Azg à l'azimut magnétique Azm se fait par la relation :

$$Azm = Azg - D \quad \text{où}$$

D représente la déclinaison (écart angulaire entre Nord magnétique et Nord géographique à l'emplacement de la station). Par convention D est de signe + si le Nord magnétique est, à la station, à droite du Nord géographique. D est de signe - en cas contraire (en FRANCE, par exemple).

Fig-2. CALAGE DE L'ANTENNE EN SITE



Il y a lieu de se méfier des perturbations que peuvent amener les masses magnétiques ou les courants électriques.

Il importe de connaître la valeur exacte de la déclinaison, qui varie dans le temps (variations annuelle, journalière et horaire) et dans l'espace. Ces renseignements sont donnés avec précision sur les cartes aéronautiques au 1/1.000.000 type OACI.

b) - Les procédés astronomiques

La mise en route d'une station de télétransmission utilisant un géostationnaire implique le réglage d'une horloge interne à quelques secondes près. Dans ces conditions, il est intéressant d'utiliser la méthode de l'azimut par l'heure pour, en visant le soleil, connaître le nord géographique.

La figure 3 représente la sphère céleste sur laquelle nous devons résoudre le triangle de position PZS.

Nous connaissons :

- l'arc PZ = 90° - Latitude (L)
- l'arc PS = 90° - Déclinaison du soleil (D)
- l'angle AH = angle horaire du soleil

Nous cherchons à déterminer l'angle Az

La formule de base est :

$$\operatorname{tg} Az = \frac{\cos D \sin AH}{-\cos L \sin D + \sin L \cos D \cos AH} \quad (4)$$

qui peut se transformer en

$$\operatorname{ctg} Az = \frac{\sin L \cos AH - \operatorname{tg} D \cos L}{\sin AH} \quad (5)$$

La déclinaison D (à ne pas confondre, bien sûr, avec la déclinaison magnétique) du soleil se trouve dans des tables astronomiques, valables pour l'année :

- Annuaire du Bureau des longitudes
- Ephémérides nautiques
- etc.....

Dans l'hémisphère Nord, D a le signe indiqué dans la table (et le signe opposé dans l'hémisphère Sud).

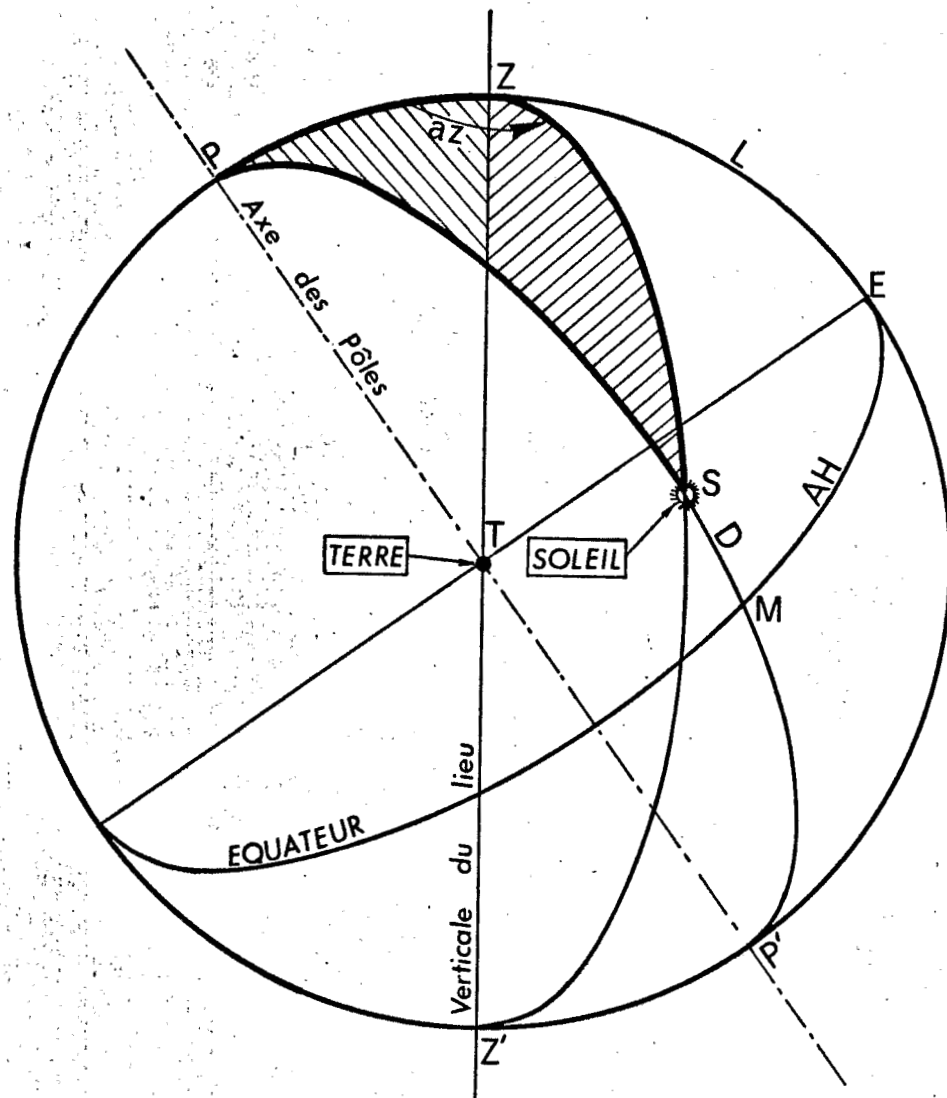


Fig-3. LA SPHERE CELESTE

La latitude de la station se détermine sur la carte (+ dans l'hémisphère Nord, - dans l'hémisphère Sud).

L'angle AH est un peu plus compliqué à déterminer car l'origine est l'heure de passage du soleil au méridien de la station (midi "vrai").

L'heure (TU) du passage du soleil au méridien de GREENWICH est indiquée également dans les tables astronomiques (les mêmes, d'ailleurs, que celles utilisées pour la déclinaison du soleil).

$$\text{où} \quad \text{AH} = \text{H}_0 - \text{M} - \text{T} \quad (6)$$

AH = angle horaire

H₀ = heure de l'observation

M = longitude de la station (prise sur une carte)

T = heure du passage du soleil au méridien de GREENWICH

Attention : il faut convertir les heures en degrés et vice versa, sachant que 1 heure = 15 degrés. Le plus commode : transformer la longitude en temps, appliquer la formule et retransformer AH en degrés.

Conventions de signe :

M est de signe + pour une longitude Ouest

M est de signe - pour une longitude Est

L'application de la formule (5) ne pose pas de difficulté, mais il faut respecter les consignes suivantes :

- l'azimut, Az est compté par rapport au Sud,
- dans l'hémisphère Nord :

Az = 180° + az si le soleil est à l'Est.

Az = 180° - az si le soleil est à l'Ouest

avec az = angle calculé par la formule (5)

- dans l'hémisphère Sud :

Az = 360° - az si le soleil est à l'Est

Az = az si le soleil est à l'Ouest

Observation du soleil :

Elle s'effectue normalement au théodolite, mais ATTENTION, ne pas observer directement le soleil sous risque de se brûler la rétine.

Il faut :

- soit employer un verre fumé fourni par le constructeur,
- soit projeter l'image du soleil (et celle du réticule) sur un carton situé à 3 ou 4 cm de l'oculaire.

Le tour d'horizon s'effectue de la manière suivante :

- viser un repère lointain qui servira de référence,
- viser le soleil en faisant tangenter un bord du soleil par le fil vertical. Noter l'heure. Noter l'angle horizontal,
- viser l'autre bord du soleil avec le fil vertical. Noter l'heure et l'angle,
- viser le repère pour fermer le tour d'horizon.

Les moyennes des observations angulaires et la moyenne des heures détermineront l'heure moyenne de l'observation et l'angle soleil-repère (voir annexe 4).

Un procédé simplifié consiste à repérer la direction station-soleil avec deux fils à plomb (l'un sur la station, l'autre, que l'on déplace, à une dizaine de mètres de la station).

La détermination gagne en précision lorsque le soleil est bas sur l'horizon (moins de 45° d'inclinaison).

Dans les régions de haute altitude, un excellent procédé consiste à attendre le passage du soleil au méridien du lieu, en calculant l'heure du passage avec la formule (6) où $AH = 0$. Ceci à condition que le soleil reste assez bas sur l'horizon... et qu'il soit visible.

Calculs :

L'annexe n° 3 et l'annexe n°5 donnent un exemple de calcul et la programmation utilisée pour une calculatrice HP 25.

c) - Le Gyroscope

Je citerai, pour mémoire, l'emploi du gyroscope WILD GAK 1, associé à un théodolite T1, T2 ou T16. Ce matériel, très précis, consiste en un gyroscope qui précessionne en fonction du vecteur rotation terrestre; c'est-à-dire qu'au bout de quelques minutes l'instrument s'aligne parallèlement à l'axe des pôles.

Commode d'emploi, le GAK 1 n'a que l'inconvénient d'un prix hors de proportion avec la précision demandée pour le calage de l'antenne.

C O N C L U S I O N

Il ne faudra surtout pas s'obnubiler sur un calage extrêmement précis des antennes. L'expérience a prouvé que plusieurs degrés, voire une bonne dizaine de degrés d'erreur n'empêchaient aucunement la liaison. Néanmoins, il faudra quand même s'attacher à réaliser le calage à $\pm 1^\circ$ de façon à se situer à l'optimum du diagramme de l'antenne : ceci est une bonne précaution vu la faible puissance rayonnée et les 36 000 km qui séparent l'émetteur du récepteur.

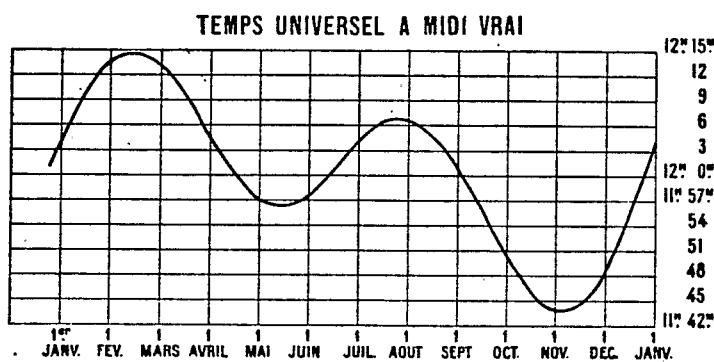
J. CALLEDE

FEUILLE DE PROGRAMMATION POUR LE HP-25

Titre Calcul des éléments de cote de l'antenne Page 1Appuyez sur **EST** en mode RUN, passez en mode PRGM, puis introduisez votre programme.

AFFICHAGE		TOUCHES	X	Y	Z	T	COMMENTAIRES	REGISTRES
PAS	CODE							
00								
01	23 00	STO 0					longitude Satellite	R ₀ Longitude Satellite
02	24 00	RCL 0						
03	74	R/S					longitude Station	R ₁ A
04	15 00	g H						Longit
05	41	-						
06	23 01	STO 1						R ₂ cos SE
07	14 05	f cos						
08	74	R/S					latitude Station	
09	15 00	g H						R ₃ sin SE
10	14 05	f cos						
11	61	X						
12	23 02	STO 2						R ₄
13	15 05	g cos						
14	14 04	f sin						
15	23 03	STO 3						R ₅
16	24 01	RCL 1						
17	14 04	f sin						
18	24 03	RCL 3						R ₆
19	71	÷						
20	15 04	g sin						
21	01	1						R ₇
22	08	8						
23	00	0						
24	41	-						
25	15 03	g ABS						
26	74	R/S					Lecture de A3	
27	24 03	RCL 3						
28	15 03	g ABS						
29	31	↑						
30	24 02	RCL 2						
31	15 03	g ABS						
32	73	.						
33	01	1						
34	05	5						
35	01	1						
36	00	0						
37	09	9						
38	41	-						
39	71	÷						
40	15 06	g Tan						
41	74	R/S					Lecture de Dz	
42	13 02	GTO 02						
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								

GRAPHIQUE DONNANT L'HEURE TU DE PASSAGE DU SOLEIL
 AU MERIDIEN ("Midi vrai")



B.- CALCUL DE L'AZIMUT DU REPERE

Après la visée sur le soleil, un repère éloigné (chateau d'eau de Saint-Louis) a été observé

L'angle soleil-repère est :

- visée de 16 h. 19 : $193^{\circ} 14'$

- visée de 16h. 26 : $193^{\circ} 26'$

L'azimut géographique du repère est :

- visée de 16h.19 :

$$80^{\circ} 16' + 180^{\circ} + 193^{\circ} 14' = \underline{\underline{93^{\circ} 30'}}$$

- visée de 16h.25 :

$$80^{\circ} 02' + 180^{\circ} + 193^{\circ} 26' = \underline{\underline{93^{\circ} 28'}}$$

AZIMUT PAR L'ANGLE HORAIRE DU SOLEIL

I. OBSERVATIONS

Station: Observateur M^r:

Date: { matin ⁽¹⁾ / soir } Théodolite:

Etat du chronomètre ⁽²⁾

Opération antérieure : à h m s T.C.G. Etat E_{G1} = H M S ou 2 H M S

Opération postérieure : à h m s T.C.G. Etat E_{G2} = H M S ou 2 H M S

Etat adopté pour l'heure des observations solaires h m s Etat - E_{G0} = H M S ou 2 H M S

POINT VISÉ	CERCLE Δ	VERNIER	LECTURES AZIMUTALES		MOYENNE DES VERNIERS	LECTURES AZIMUTALES MOYENNES		HEURES LUES SUR LE CHRONOMÈTRE	HEURE MOYENNE (centre Soleil) E _{G0} HEURE T.C.G. (H ₀)
			1	2		1	2		
1 ^{ère} OBSERVATION	Repère	D	1	.....	.....	.....	.....	Heure { d'été ⁽¹⁾ / d'hiver	
		D	2	.....	.....	.....	.....
	Soleil	Bord qui.....	D	1	.....	.....	.....	.....	H M S
		Bord qui.....	D	2	.....	.....	.....	.....
						Angle Soleil Repère			
2 ^{ème} OBSERVATION	Repère	G	2	.....	.....	.....	.....
		G	1	.....	.....	.....	.....
	Soleil	Bord qui.....	G	2	.....	.....	.....	.....	H M S
		Bord qui.....	G	1	.....	.....	.....	.....
						Angle Soleil Repère			

I.S.N. - 2462 - B.T. - Astro - 1947

II. CALCULS

Latitude φ ⁽³⁾ = Longitude M par rapport à PARIS Observatoire =

A. CALCUL DE LA DÉCLINAISON D ⁽⁴⁾

	1 ^{re} OBSERVATION		2 ^e OBSERVATION		TRANSFORMATION EN GRADES	
	1 ^{re} OBSERVATION	2 ^e OBSERVATION	1 ^{re} OBSERVATION	2 ^e OBSERVATION	1 ^{re} OBSERVATION	2 ^e OBSERVATION
A midi (T.C.G) D =
Variation pour 1 Heure =
1 ^{re} Obs. Var ^{on} pour (..... - 12 ^h) =
2 ^e Obs. Var ^{on} pour (..... - 12 ^h) =
D pour les heures des observations

- (1) Rayer la mention inutile.
- (2) L'état du chronomètre est la correction à ajouter à l'heure donnée par le chronomètre pour avoir l'heure rapportée au méridien de Greenwich (T.C.G. = G.M.T. = Temps Civil Universel). Ceci est immédiat si l'on peut recevoir l'heure par téléphone ou radio. Il est pris avant et après l'opération; on interpole s'il y a lieu, pour l'heure de l'observation. Cette heure doit être connue avec une précision de 2 ou 3 secondes.
- (3) φ et M, Latitude et Longitude du lieu d'observation prises sur la carte en grades à 1/2 kilomètre près.
- (4) Tables du Soleil et tables numériques diverses (Extrait de la Connaissance des Temps) Pages 2 à 17, 4^e colonne des pages de droite.
- (5) Minutes de temps exprimées en partie décimale d'heure.
- (6) Tables du Soleil et tables numériques diverses (Extrait de la Connaissance des Temps) Pages 2 à 17, 6^e colonne des pages de droite.
- (7) Tables d (Pages 67 et 68) de la notice sur l'emploi des tables du Soleil.
- (8) Tables d (Pages 69) - d° - - d° -
- (9) Pour passer de az à Z voir page 17 de la notice sur l'emploi des tables du Soleil.
- (10) Chapitre V (Pages 44 à 48) de la notice sur l'emploi des tables du Soleil; + le signe + si le lieu d'observation est à l'Ouest du méridien origine de la projection Lambert; - s'il est à l'Est de ce méridien.

FEUILLE DE PROGRAMMATION POUR LE HP-25

Titre Calcul de l'Azimut du Soleil par l'heure Page 1Appuyez sur **EST** en mode RUN, passez en mode PRGM, puis introduisez votre programme.

AFFICHAGE		TOUCHES	X	Y	Z	T	COMMENTAIRES	REGISTRES
PAS	CODE							
00								
01	15 00	9 H					Heure locale	R ₀ Angle horaire AH
02	31	↑						
03	74	R/S						
04	15 00	9 H					Heure midi vrai	R ₁ Latitude L
05	41	-						
06	74	R/S						
07	15 00	9 H					Longitude station	R ₂
08	01	1						
09	05	5						
10	71	÷						R ₃
11	41	-						
12	01	1						
13	05	5						R ₄
14	61	X						
15	23 00	STO ∅						R ₅
16	14 34	f STK						
17	74	R/S					Latitude station	
18	15 00	9 H						R ₆
19	23 01	STO 1						
20	14 04	f sin						
21	31	↑						R ₇
22	24 00	RCL ∅						
23	14 05	f cos						
24	61	X						
25	74	R/S					Déclinaison du soleil	
26	15 00	9 H						
27	14 06	f TAN						
28	31	↑						
29	24 01	RCL 1						
30	14 05	f cos						
31	61	X						
32	41	-						
33	24 00	RCL ∅						
34	14 04	f sin						
35	71	÷						
36	15 22	9 1/x						
37	15 06	9 tan					lecture de az	
38	74	R/S						
39	14 34	f STK						
40	14 33	f REG						
41	74	R/S					Initialisation	
42	13 01	GTO 01						
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								

